

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



**Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil**

Título: “Modelo de Análisis de la Capacidad Portante del Puente del Paso Superior de la Circunvalación en las Afueras de la Ciudad de Matanzas”

**AUTOR: CECILIA MEDINA RAMÍREZ**

**TUTOR(ES): MSC. ING. ALEJANDRO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ.**

**ING. REYNALDO GIRÁLDEZ TOLEDO**

**Matanzas, 2020**

## **PENSAMIENTO**

“En la tierra hacen falta personas, que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan ,mejor ahora que mañana .”

-Che.

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que yo, **Cecilia Medina Ramírez** soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

## NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### Miembros del Tribunal:

---

**Presidente**

**Secretario**

**Vocal**

## DEDICATORIA

A mi madre Mercedes Ramírez Pérez

A mi padre Néstor Medina Sopena

A mis hermanas Yanerky Medina Ramírez y Madelín Álvarez Pérez

En fin a todos mis seres queridos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi madre Mercedes Ramírez Pérez, a mi padre Néstor Medina Sopena y a mis hermanas Yanerky Medina Ramírez y Madelín Álvarez Pérez por el apoyo que me han brindado y el impulso dado para continuar los estudios.

A mis tutores Alejandro Hernández Hernández y Reynaldo Giráldez Toledo por las horas brindadas para una adecuada confección del trabajo.

A mis amigos más cercanos y compañeros de trabajo, por la ayuda, opiniones y consejos en la confección del trabajo.

A todo aquel que hizo posible la realización de este trabajo.

## 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 cuentan con un modelo que permita conocer cuál es el estado actual de las mismas. En este trabajo se presenta el modelo computacional del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas específicamente en la carretera de la Circunvalación que sirve de enlace con la Carretera Central. El modelo está concebido con todas las características reales de la estructura: dimensiones, materiales utilizados, cargas impuestas, secciones y daños que presenta el puente, según los planos y memorias descriptivas consultadas. Realizado este estudio se elabora la modelación estructural del puente y se analiza el efecto de las cargas móviles sobre la estructura, utilizando el *software* SAP 2000, teniendo en cuenta la velocidad del material móvil que por ahí transita y el resto de las cargas que actúan en la estructura. En el análisis de los resultados los esfuerzos a los que se somete la estructura los cuales fueron en todos los casos menores que las cargas que puede resistir el puente actualmente lo que garantiza que no debe existir riesgo de fallo. Es necesaria una reparación del puente para mejorar su estética y su confiabilidad ya que son muy visibles los problemas de pérdida de sección y de humedad que presenta.

**Palabras claves:** cargas; estructura; hormigón; modelación; modelo; puentes; SAP2000.

## ABSTRACT

Structural modeling is the process by which the behavior of the structure is represented as real as possible. In the city of Matanzas known as the "City of Bridges" most of these structures do not have a model that allows us to know what their current status is. This work presents the computational model of the Bridge of greatest step in blockade in the city of Matanzas, specifically on the blockade highway that serves as a link with the Central Highway. The model is conceived with all the real characteristics of the structure: dimensions, materials used, imposed loads, sections and damages that the bridge presents, according to the drawings and descriptive memories consulted. Once this study is carried out, the structural modeling of the bridge is carried out and the effect of the mobile loads on the structure is analyzed, using the SAP 2000 *software*, taking into account the speed of the moving material that passes through it and the rest of the loads acting on the structure. In the analysis of the results, it is verified that the speed does not influence the stresses to which the structure is subjected, which in all cases were less than the loads that the bridge can currently withstand, which guarantees that there should be no risk of failure. . A repair of the bridge is necessary to improve its aesthetics and its reliability since the problems of section loss and humidity that it presents are very visible. Taking into account the speed of the moving material that passes through it and the rest of the loads acting on the structure. In the analysis of the results, it is verified that the speed does not influence the stresses to which the structure is subjected, which were in all cases less than the loads that the bridge can currently withstand, which guarantees that there should be no risk of failure. . A repair of the bridge is necessary to improve its aesthetics and its reliability since the problems of section loss and humidity that it presents are very visible. Taking into account the speed of the moving material that passes through it and the rest of the loads acting on the structure. In the analysis of the results, the efforts to which the structure is subjected, which were in all cases less than the loads that the bridge can currently withstand, which guarantees that there should be no risk of failure. A repair of the bridge is necessary to improve its aesthetics and reliability since the problems of section loss and moisture that it presents are very visible.

**Keywords:** loads; structure; concrete; modeling; model; bridges; SAP2000.



## TABLA DE CONTENIDO

Introducción .....	8
Capítulo 1: Análisis de Estado del Arte de la Modelación Computacional y el Análisis Dinámico.....	14
1.1 Antecedentes del Tema.....	14
1.2 Puentes de carretera: .....	16
1.2.1 Generalidades:.....	17
1.2.2 Materiales utilizados en la construcción de los puentes: .....	17
1.2.3 Clasificación de los Puentes: .....	18
1.2.4 Partes constitutivas de los Puentes:.....	19
1.2.5 Funcionamiento de los Puentes e Intervención de las fuerzas en la construcción de los Puentes:.....	20
1.2.6 Importancia de los puentes.....	21
1.3 Cargas actuantes en los puentes:.....	21
1.4 Evolución de las cargas vehiculares en el tiempo. Su influencia: .....	23
1.5 Deterioro de los puentes: .....	26
1.5.1 Pérdida de sección por corrosión del acero en vigas y columnas. ....	27
1.6 Análisis dinámico: .....	29
1.6.1 Cargas armónicas.....	30
1.6.2 Cargas móviles.....	30
1.7 Vibraciones: .....	31
1.8 Frecuencias Naturales: .....	33
1.9 Modelación estructural: .....	34
1.9.1 Clasificación de Elementos a modelar.....	35
1.9.2 Etapas de la modelación estructural.....	36
1.9.3 Ventajas y desventajas de la modelación computacional.....	36
1.9.4 Programas para modelar.....	37
1.10 Modelación estructural de los Puentes:.....	39
1.11 Método de elementos finitos:.....	41
1.11.1 Tipos de Elemento Finito.....	42
1.11.2 Hipótesis de Discretización.....	43
1.11.3 Importancia del Método de Elementos finitos:.....	43
1.12 Conclusiones Parciales del capítulo:.....	44
Capítulo 2 Modelación Estructural del Puente del paso Superior de la Circunvalación de la Ciudad de matanzas .....	45
2.1 Características generales del proyecto del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas.....	45
2.1.1 Geometría, secciones y vínculos estructurales.....	46
2.1.2 Materiales utilizados.....	49
2.1.3 Estado de Deterioro del puente.....	49
2.2 Descripción del modelo.....	52
2.2.1 Geometría y vínculos de los elementos: .....	52
2.2.2 Comportamiento de los materiales.....	54
2.2.3 Cargas actuantes.....	55
2.2.4 Validación del modelo.....	59

2.2.5 Estados de carga.....	61
2.2.6 Calibración de malla.....	61
2.2.7 Conclusiones Parciales.....	66
Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	68
3.1 Análisis de los resultados obtenidos en el modelo del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas.....	68
3.1.1 Deformaciones.....	68
3.1.2 Momentos Flectores.....	69
3.1.3 Momento Flector y Fuerza Axial en las columnas.....	71
3.2 Comparación de los resultados obtenidos en el Modelo Computacional con los valores permisibles de la estructura.....	77
3.2.1 Diagrama de Interacción de las columnas del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas.....	77
3.2.2 Calculo de Momento Nominal en las vigas.....	79
3.2.3 Comparación de los resultados.....	80
3.3 Conclusiones Parciales.....	81
Conclusiones.....	82
Recomendaciones.....	83
Referencias Bibliográficas.....	84
Anexos.....	88
Anexo 1 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 1 Combinación de Carga 2.....	88
Anexo 2 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 1 Combinación de Carga 2.....	91
Anexo 3 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 1.....	91
Anexo 4 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 1.....	97
Anexo 5 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 2.....	97
Anexo 6 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 2.....	100
Anexo 7 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 1.....	101
Anexo 8 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 1.....	104
Anexo 9 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 2.....	104
Anexo 10 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 2.....	108

## INTRODUCCIÓN

La Carretera Central es considerada una de las Siete maravillas de la Ingeniería Civil en Cuba, según selección realizada en 1997 por la Unión Nacional de Arquitectos e Ingenieros de la Construcción de Cuba-UNAIC. Con el paso de los años, estudiosos de esa obra refuerzan su criterio de que fue el primer megaproyecto realizado en Cuba, por la complejidad de su ejecución y porque atravesó la isla por su centro.

Considerando que uno de los territorios atravesados por esta importante vía, es la provincia de Matanzas, que contiene elementos en su arquitectura que la califican a nivel del país y en su región geográfica; son las construcciones de puentes en toda su extensión, realizadas por afamados arquitectos y contratistas foráneos, aquí radicados . Por esta razón se conoce a Matanzas como la Ciudad de los Puentes. (Arestuche, 2012)

En el trazado de la Carretera Central de la Habana a Matanzas se construyeron circunvalaciones, con el fin de que los vehículos que no lo necesiten eviten ingresar a las ciudades o poblados, permitiendo acortar el tiempo de viaje, reduciendo los atascos y el riesgo de atropellos a peatones que implican dicha travesía. En su diseño se vió la necesidad de la creación de intersecciones a nivel para el cruce vial de dos o más vías de igual o distinta jerarquía sin ningún tipo de segregación vertical, con prioridad de tipo pare o ceda el paso, las semaforizadas y las glorietas normales, de estas pueden derivarse diferentes clases, dependiendo de la cantidad de ramales y los tipos de canalizaciones. Muchas de estas intersecciones constituyen puentes de gran importancia.

Con el pasar de los años estas obras de fábrica se ven afectadas por el ambiente agresivo, eventos meteorológicos y la variación de las cargas que por ellos circulan; es por esto que se hallan con un alto grado de deterioro, a pesar de las acciones de mantenimiento que se han tomado para prolongar su vida útil.

El puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas es ejemplo de lo explicado anteriormente, construido entre 1983 y 1984, con el uso del catálogo de elementos de la tipificación cubano-soviética para puentes de carretera. Se encuentra ubicado en las afueras de la ciudad de Matanzas específicamente en la carretera de la

Circunvalación conocida como la Jaiba, que sirve de enlace con la Carretera Central y en el punto donde esta cruza el Ferrocarril Central, desarrollándose un intercambio a dos niveles de varios ramales, facilitándose el paso vehicular hacia distintas localidades y al mismo tiempo permitiéndose, mediante la construcción del paso superior, el cruce con la vía del Ferrocarril Central. Es un puente de estribos abiertos y aproches recubiertos con losas de hormigón. Tiene cinco luces, enmarcadas en cuatro pórticos de pila de cinco columnas con cabezal. Toda la estructura es prefabricada. Su sección transversal se conforma con 11 vigas, el tablero, la calzada de circulación, de 8 metros de ancho, con aceras a ambos lados y pretilas de protección. Al cierre de 2007 se detectan patologías a consecuencia del paso del tiempo, ciertas indisciplinas sociales y la falta de un mantenimiento estable y sostenido, que no lo inutilizan; pero sí comprometen su uso futuro por lo que se realizó un proyecto el 11/02/2013, basado en un informe técnico del 21/10/2011, que aún no se ha ejecutado, el cual será base de estudio de esta tesis. (Arestuche, 2009; Ing. Clemer, 2013).

Con el paso del tiempo, no existe documentación, ni ninguna investigación que demuestre la capacidad estructural real de esta obra. Por esto se plantea como **situación problemática actual:** El paso del tiempo y la falta de mantenimiento así como ciertas indisciplinas sociales han propiciado que la estructura del puente del Paso Superior de la Circunvalación en las afueras de la ciudad de Matanzas, sufriera ciertos deterioros que han sido tratados en menor o mayor medida. Actualmente se desconoce cómo ha variado su capacidad estructural ante las nuevas cargas de circulación y los cambios sufridos en las estructuras como consecuencia de los deterioros que presenta.

Por tanto se plantea como **problema de investigación:** se desconoce la capacidad portante ante las cargas actuantes que permitan confirmar la seguridad y el correcto funcionamiento estructural en el futuro, del puente del Paso Superior de la Circunvalación en las afueras de la ciudad de Matanzas.

Ante este problema se establece como **hipótesis:** si se elabora la modelación del puente con la utilización del *software* SAP2000, se puede describir el comportamiento estructural del puente del Paso Superior de la Circunvalación en las afueras de la ciudad de Matanzas ante la acción de las cargas actuantes, determinando o analizando los esfuerzos y deformaciones

que sufre cada uno de sus elementos estructurales, teniendo en cuenta los daños que presenta la estructura.

Definiéndose como **Objetivo General:** Analizar el comportamiento estructural del puente del Paso Superior de la Circunvalación ante la acción de las cargas actuantes teniendo en cuenta el estado de daño mediante el empleo del *software* SAP2000. Para asegurar el cumplimiento del mismo se delimitan los siguientes **objetivos específicos:**

- Analizar el estado del arte referente a la modelación computacional de puentes de carretera.
- Elaborar un modelo computacional del puente del Paso Superior de la Circunvalación en las afueras de la ciudad de Matanzas
- Analizar el comportamiento estructural del puente del Paso Superior de la Circunvalación en las afueras de la ciudad de Matanzas a partir de los resultados obtenidos bajo las condiciones actuales y su variación con respecto al estado original.

**Variables:**

**Variable dependiente:** El análisis del estado tenso-deformacional que se obtiene del modelo numérico del puente realizado en el Sap2000.

**Variables independientes:** Se determinan como variables independientes las Rigideces, la geometría, las cargas, los vínculos, los materiales.

**Tareas de la investigación:**

1. El análisis del estado del arte referente al análisis dinámico de estructuras y modelación estructural de puentes de carretera.
2. La elaboración del modelo computacional.
3. El análisis del modelo estructural obtenido del puente teniéndose en cuenta geometría, materiales, uniones, apoyos y varios esquemas de cargas y su variación con respecto al estado original.

**Métodos Científicos:**

**Analítico-sintético.** Establece la relación recíproca entre el análisis y la síntesis. Analizar significa desmembrar en sus partes constituyentes a un objeto o fenómeno de la realidad objetiva para su mejor comprensión, mientras que la síntesis se refiere a la integración nuevamente de sus partes, en un proceso inverso. Todo lo referido ocurre a nivel de pensamiento, posibilitando una interpretación más acabada de tales objetos y fenómenos en todas sus partes e integración.

**Inductivo-deductivo.** Mediante la inducción se lleva a cabo un proceso donde el pensamiento va de las partes que constituyen un objeto o fenómeno hasta el todo, mientras que la deducción es el camino contrario. Es así como inducción quiere decir ir de las partes al todo y deducción significa ir del todo a las partes. A nivel del pensamiento este método posibilita una mejor comprensión e interpretación del objeto de investigación con el cual se trabaja.

**Histórico-lógico.** Se refiere a la historicidad y a la lógica implícita en la investigación, sobre todo a la que se corresponde con el problema científico objeto de estudio. Este método posibilita emprender un trabajo basado en la sistematicidad que favorece el ordenamiento y la comprensión del texto científico y la propia lógica del fundamento en el cual este se sustenta.

**Hipotético-deductivo.** Hipótesis y deducciones constituyen una unión inseparable que acompaña a toda investigación. La hipótesis es la respuesta anticipada del problema científico que se aborda en la investigación, la cual se logra a través de deducciones. Este método, aunque no se excluye de ningún tipo de investigación científica, por lo general se declara únicamente cuando se emplea una hipótesis como parte del diseño teórico del trabajo científico que se realiza.

**Modelación.** Se refiere a la utilización de un modelo que imita a la realidad a una escala por lo general reducida (modelo icónico), o que entra en analogía con esa realidad (modelo analógico), existiendo además los llamados modelos teóricos. En la actualidad es posible emplear modelos analógicos a partir de las posibilidades que ofrecen las computadoras y modelos teóricos a partir de comprobaciones matemáticas. Con tales modelos se trabaja y se experimenta, por lo que los mismos sustituyen la labor directa del investigador sobre la

realidad que es objeto de investigación. Muchos especialistas consideran que también son modelos aquellas proyecciones que anteceden un resultado, sirviendo de punto de partida para su elaboración definitiva.

**Enfoque sistémico.** Se refiere a la concepción sistémica que se adopta en la investigación al considerar a los objetos y fenómenos de la realidad objetiva como un todo, integrado por partes constituyentes que se encuentran interrelacionadas estructural y funcionalmente. Ello supone que un cambio en una de las partes del todo, repercute en sus otras partes y en el propio sistema como un todo. Para algunos autores este método debe llamarse sistémico estructural.

#### **Estructura de la tesis:**

**Introducción.** Se detalla el protocolo de investigación, donde se plantea la situación polémica, el problema investigativo, el objetivo general y los objetivos específicos, los métodos de investigación utilizados y los principales valores que presenta la tesis.

**Capítulo 1:** En este capítulo queda recogido el estado del arte, donde se establecen los conceptos fundamentales basados en la información de los materiales recopilados, estos son: Modelación estructural, métodos más utilizados para la modelación estructural, puentes de carreteras, tipología de puentes, cargas circulantes en puentes.

**Capítulo 2:** Se realiza un modelo del puente teniendo en cuenta su geometría, vínculos estructurales, materiales y las cargas, así como su estado de daño.

**Capítulo 3:** Se realiza el análisis del comportamiento estructural de los elementos que componen el puente, determinando así su capacidad portante.

**Conclusiones:** A partir de los objetivos trazados, la situación polémica planteada y utilizando los métodos de investigación se obtienen los resultados y se arriban a conclusiones que respondan a los objetivos.

**Recomendaciones:** Se sugiere el seguimiento y desarrollo de la investigación tanto a la Universidad como a las entidades interesadas en el tema contribuyendo a un mayor conocimiento del estado actual de los puentes y las construcciones en la provincia y el país.

**Bibliografía**

**Anexos**



# **CAPÍTULO 1: ANÁLISIS DE ESTADO DEL ARTE DE LA MODELACIÓN COMPUTACIONAL Y EL ANÁLISIS DINÁMICO.**

Este capítulo tiene como objetivo analizar el estado del arte referente al análisis dinámico de las estructuras y la modelación computacional; definiendo conceptos como cargas dinámicas, vibraciones, oscilaciones naturales y elementos finitos, teniendo en cuenta las cargas que se producen en puentes.

## **1.1 Antecedentes del Tema.**

La modelación juega un papel fundamental como medio de solución de problemas existentes en el campo de la ingeniería. Por tal motivo el desarrollo y utilización de los modelos para sistemas en general es una de las tareas científicas más importantes a desarrollar en la actualidad. Los modelos y los métodos de modelación se convierten por tanto en importantes herramientas de trabajo (Castaneda, 2018).

La modelación debe ser concebida como un proceso que transita de un problema real hasta la solución, pasando por varias etapas. (Duménigo, 2015)

Sobre el tema del análisis del comportamiento de los puentes bajo la acción de los distintos tipos de cargas, existen diversas investigaciones como: (Such, 2014) en su trabajo, Simulación de cargas móviles sobre estructuras mediante un mallado móvil de elementos finitos, estudia una metodología para analizar la respuesta dinámica de estructuras sometidas a cargas móviles. También en la investigación de la Evaluación de puente colgante vehicular, mediante método de elementos finitos y análisis de vibraciones; caso Puente Cunyac-2018 por (Chalco, 2019) estudió el estado situacional de la integridad de un sistema estructural construido, como lo es el puente colgante vehicular Cunyac, se llevó a cabo el análisis modal, luego, la medición de vibraciones ambientales con acelerómetros triaxiales de baja frecuencia, de los cuales se obtuvieron las aceleraciones, bajo dos condiciones, la primera debido al paso de vehículos y la segunda sin el paso de vehículos ni peatones para obtener un modelo numérico calibrado de elementos finitos del puente Cunyac, cuyo comportamiento modal, frecuencias y períodos asociados se aproximan a los medidos directamente sobre la estructura, cuyos márgenes de diferencia son inferiores al

0.85 %, sobre el modelo numérico representativo de la estructura del puente. Otro estudio significativo es Análisis del puente con vigas pretensadas, en la parroquia de la Iberia, perteneciente a la provincia de El Oro, por (Manzanares, 2017) donde realiza el análisis de la estructura de un puente con vigas pretensadas aplicando las especificaciones y requerimientos establecidos en la norma AASHTO. En el estudio realizado por (Mendoza y Zubieta), se realiza el análisis y diseño del puente de Aynamayo, de 45 m de luz, que comprende, el análisis de información básica, el predimensionamiento de la viga y losa, el proceso constructivo, la verificación estructural de esfuerzos, el diseño por flexión y corte, el diseño de rigidizadores y conectores, así mismo el diseño de muros de contención y apoyos de neopreno, terminando la modelación de toda la estructura utilizando el *software* de elementos finitos SAP 2000. Además en la investigación realizada por (Palta, 2009) se tuvo como objetivo evaluar los materiales y soldaduras que se utilizarán en la construcción del puente sobre el río Santa Cruz y simular su resistencia mediante SAP 2000 aplicando el método LRFD de la norma AASHTO.

En el artículo, *Model for Probabilistic Assessment of Structural Safety of Concrete Bridges* (Henriques, 2006) se investiga la descripción de las características principales de la metodología desarrollada para la evaluación probabilística de la seguridad y funcionalidad de puentes de hormigón teniendo en cuenta las relaciones constitutivas no lineales de los materiales, los efectos diferidos y las incertidumbres asociadas a los parámetros de proyectos de este tipo de estructuras. El modelo estructural usado está basado en las técnicas de los elementos finitos usando una formulación elasto-viscoplástica para la estimación precisa de la respuesta y de la capacidad resistente de estructuras de hormigón.

El Ing. Civil, (Arévalo, 2017) en su proyecto de investigación: Análisis estructural y diseño de un puente colgante asimétrico sobre el río Mayo en el sector Churuyacu-Lamas, con aplicación del programa SAP2000, de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, determina los resultados que evidencian a todas luces que es posible, a partir de la correcta aplicación de las teorías, estudios y aplicación del programa SAP 2000, lograr el Análisis y Diseño de un puente colgante asimétrico.

En Cuba se han realizado varios estudios sobre esta temática pudiendo mencionar: Análisis de la capacidad de carga del puente nuevo de Buey Vaca (García, 2019), donde se analizan

los resultados obtenidos por el SAP 2000 verificando 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. Además se encuentra: Análisis Estructural de un Puente en la Autopista Matanzas – Varadero. Modelación y Análisis de su Capacidad (Pérez, 2006), donde se analiza la respuesta del puente ante la acción de las nuevas cargas del tráfico, utilizando el *software* SAP 2000. En el Análisis de superestructuras de puentes mediante diferentes métodos de cálculos y programas profesionales de (Álvarez, 2017), donde presenta la implementación de Hojas de Cálculo elaboradas en MathCad con el método correspondiente para análisis de puentes de losa y puentes de vigas y losas para su uso en la docencia y compara los resultados con los obtenidos por *software* profesionales que practiquen la modelación por elementos finitos como son el SAP 2000 y el STAAD Pro. El Ingeniero Civil (Rodríguez, 2015) en su trabajo de diploma investiga La Obtención de un modelo de cargas verticales móviles para puentes de tipología cubana, en la Carretera de Holguín-Moa, específicamente el puente sobre el río Mayarí, donde se obtuvieron valores de cortantes y momentos generados por las cargas móviles producidas por el tráfico y a través de la extrapolación se lograron los valores de los esfuerzos para un período de hasta 100 años. Con los resultados de los efectos extrapolados y fijando una configuración geométrica similar a lo establecido por la NC733:2009, mediante un proceso de ingeniería inversa se determinaron los esfuerzos que le corresponden a un modelo que reporta las solicitaciones del parque vehicular cubano real, para un período de recurrencia de 50 años.

En este trabajo se propone analizar el comportamiento de la estructura propuesta ante la acción de las cargas reales que hoy lo afectan y los daños estructurales y arquitectónicos que presenta. El principal aporte de este trabajo es la aplicación del método de integración directa con cargas móviles en una real aplicando el *software* SAP 2000.

## **1.2 Puentes de carretera:**

Los puentes siempre han fascinado a la humanidad, ya que son como los pies alargados y colectivos de los seres humanos. A veces no se nota su importancia porque están ahí, silenciosamente, sin notarse apenas su existencia. (Herrera, 2006).

Un puente es una construcción que permita salvar un accidente geográfico como un río, un valle, un camino, una vía férrea, un cuerpo de agua o cualquier otro obstáculo físico. Su diseño varía dependiendo de su función, y la naturaleza del terreno sobre el que se construya. Al momento de diseñar un puente es de suma importancia tener en cuenta la calidad del suelo o roca donde habrá de apoyarse y el régimen del río por encima del que cruza para así garantizar la vida del mismo. (Romero. 2013)

### **1.2.1 Generalidades:**

La necesidad humana de cruzar pequeños ríos y arroyos fue el inicio de la historia de los puentes. Con el paso de los años el desarrollo de las construcciones los ha llevado desde una simple losa hasta grandes puentes colgantes que miden kilómetros y que llegan a cruzar bahías. (García., R. D. (2019).

En la construcción de este tipo de estructuras se deben cuidar diversos aspectos de vital importancia tales como: estabilidad, resistencia al desplazamiento y a la rotura, entre otros. El diseño de cada puente varía dependiendo de su función y la naturaleza del terreno sobre el que el puente es construido. (Bermúdez 2017)

La NC-733-2009: Carreteras – Puentes y alcantarillas – Requisitos de diseño y método de cálculo, plantea que los puentes: son obras de fábrica que salvan como obstáculo una corriente de agua, en los cuales se requiere para su diseño tener en cuenta los estudios hidrológicos e hidráulicos, como complemento al resto de los estudios que requiere un puente.

### **1.2.2 Materiales utilizados en la construcción de los puentes:**

Se usan diversos materiales en la construcción de puentes. En la antigüedad, se utilizaba principalmente madera y posteriormente roca. Más recientemente se han construido los puentes metálicos, material que les da mucha mayor fuerza. (García, 2019).

Los principales materiales que se emplean para la edificación de los puentes son:

- Piedra

- Madera

- Acero
- Hormigón armado (concreto)
- Hormigón pretensado
- Hormigón postensado
- Mixtos

### **1.2.3 Clasificación de los Puentes:**

Varios autores basan sus criterios en diferentes conceptos como tipo de material usado, tipo de sección transversal, según la función que realizan y forma estructural que poseen, dentro de los cuales se encuentran (Villarino 2010) y (Gómez 2015)

#### **Clasificación según su utilización:**

- Pasarela
- Puentes de carreteras
- Puentes de ferrocarril
- Puentes para el transporte de fluidos

#### **Clasificación según tipo de material:**

- Puentes de madera
- Puentes de hormigón armado
- Puentes de hormigón ligero
- Puentes de piedra
- Puentes metálicos
- Puentes de hormigón pretensado
- Puentes de aluminio

#### **Clasificación según la estructura**

- Puentes de estructura hiperestática: Son aquellos puentes que aunque los tableros son independientes uno de otros desde el punto de vista estático existe alguna relación de dependencia con los apoyos. (Niño, 2007).
- Puentes de estructura isostática: Son las estructuras en las cuales el tablero es estáticamente independiente del entre tablero y en lo concerniente a flexión para los apoyos. (Niño, 2007).

## Clasificación según la estructura longitudinal

- Puentes de tramo recto
- Puentes de arco
- Puentes colgantes

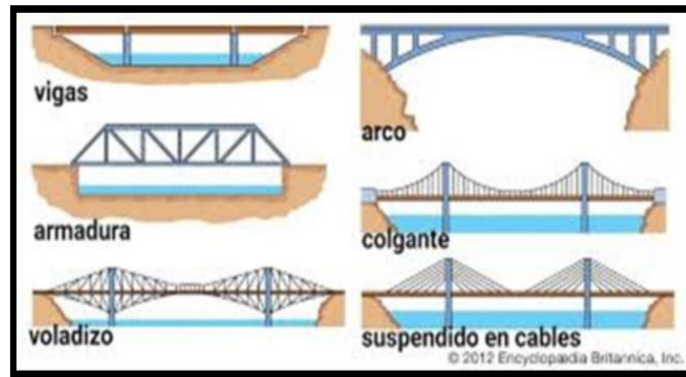


Figura 1.1: Tipos de puentes. (Martínez 2004-2005)

El puente que se está estudiando es de la tipología viga que es un tipo muy básico de los puentes que se apoyan en varias vigas de varias formas y tamaños. O sea se apoyan sobre piezas rectas horizontales o casi-horizontales apoyadas en dos o más puntos que soportan las cargas que actúan sobre ellas mediante su capacidad para resistir flexiones. Los puentes vigas pueden estar inclinados o en forma de V. Su luz máxima puede llegar a ser de hasta 500 m, por lo mismo su estructura puede formarse por vigas simplemente apoyadas o continuas apoyadas en diversos puntos. (Martínez 2004-2005) Es considerado el puente más elemental del mundo y existen tres tipos de los mismos:

- Losa maciza de hormigón armado o pretensado
- Losa aligerada: Presenta la ventaja de reducir considerablemente el peso.
- Tablero de Vigas de Alma Llena.

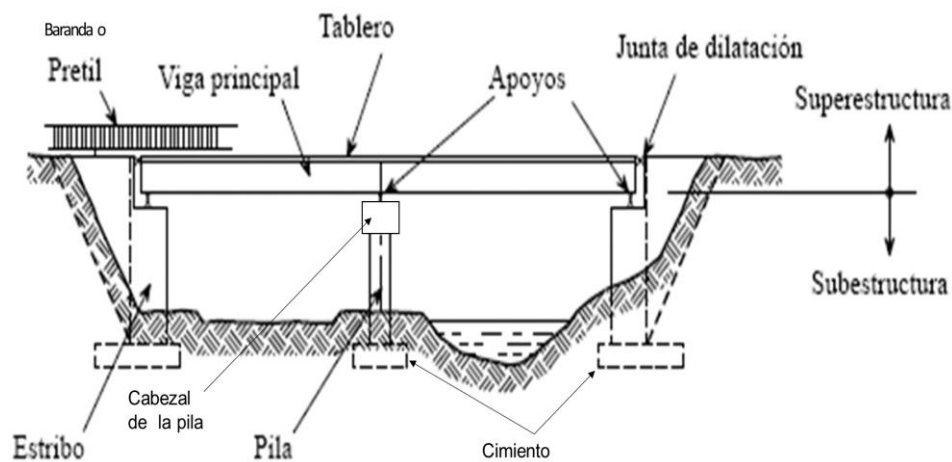
### 1.2.4 Partes constitutivas de los Puentes:

Los puentes están formados por la superestructura, infraestructura y las cimentaciones. La infraestructura es la encargada de soportar la superestructura, transmitiendo las reacciones de las vigas del puente a las fundaciones, y estas transfieren las cargas a los estratos del subsuelo. (Arnal 2000).

**La infraestructura** de puentes carreteros está compuesta por los apoyos extremos o estribos y los apoyos internos o pilas, las cuales separan al puente en tramos.

**La superestructura** o conjunto de los tramos que salvan los vanos situados entre los soportes; consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas dinámicas (tráfico), y las armaduras constituidas por vigas, cables, o bóvedas y arcos que transmiten sus tensiones (cargas) a las pilas y los estribos. (Guzmán 2008).

Los elementos que componen la superestructura y la subestructura definidos por (E 1987); (Glez 1998); (Villarino 2010); Manual de Carretera del Paraguay (2011); (Gómez 2015); son:



*Figura 1.2: Partes constitutivas de los puentes. (García, 2019).*

### **1.2.5 Funcionamiento de los Puentes e Intervención de las fuerzas en la construcción de los Puentes:**

La principal diferencia entre los tipos existentes de puentes según el estudio (Flores, Ménez, 2009) es las distancias que estos pueden cruzar en un solo palmo, o sea, la distancia entre los dos apoyos del Puente, sean estas columnas o torres. Esta diferencia se debe a la forma en que cada tipo de puente trata con dos fuerzas importantes: la compresión y la tensión. (Flores, Ménez, 2009)

Cuando la fuerza de compresión actuante vence a la capacidad soportante de compresión del puente ocurre el abrochamiento, como mismo puede romper si la tensión actuante supera la capacidad de soportar tensión del puente. Para evitar estos fenómenos es necesario disipar o transferir dichas fuerzas. Para la transferencia es necesario llevarla de un área débil aun área más fuerte, diseñada para resistir la misma, y para disipar las fuerzas actuantes se le debe extender sobre un área más grande. Entonces se puede decir que los puentes en forma de arco son un buen ejemplo de disipación, mientras que los puentes en suspensión lo son de transferencia. (Flores, Ménez, 2009)

### **1.2.6 Importancia de los puentes.**

La infraestructura de un país y su desarrollo constituyen la plataforma más importante para su crecimiento económico. Los puentes, permiten la comunicación por vía terrestre, y se han convertido en un elemento de gran trascendencia de integración nacional, al permitir el desplazamiento de su población a lo largo del territorio nacional y al poner en contacto a productores, distribuidores y consumidores para hacer realidad la actividad económica. En el aspecto militar, desempeñan un papel de gran importancia, ya que en condiciones de guerra, no siempre basta con los llamados “camino militares”. De esta manera se puede intuir que la interrupción de una tropa se logra de manera más eficaz destruyendo total o parcialmente los puentes en los tramos de más difícil acceso. (Herrera, 2006).

### **1.3 Cargas actuantes en los puentes:**

Los puentes y viaductos son diseñados para soportar una diversidad de cargas, entre los que se cuentan:

- La fuerza de frenado y arranque tendrá en todo caso un valor mínimo, que es función de la anchura de la plataforma, pero que no será inferior a 140kN. Superiormente también está limitada por un valor función del ancho de plataforma y nunca superior a 720kN. (Ministerio de Fomento, 2000)
- De acuerdo con la IAP, la fuerza centrífuga es función del radio de curvatura en planta, de la velocidad específica del tramo en el que se encuentra el puente y de la masa de la



sobrecarga de uso. Los valores habituales de este esfuerzo transversal al puente, suelen situarse entre los 3,0kN/m y los 4kN/m.

- El empuje transversal del viento suele situarse entre 1,5Kn/m de tablero y 3,0kN/m. El valor del empuje longitudinal debido al viento, se considera como el 25% del empuje transversal, por tanto, se situará en valores del orden de 0,4kN/m a 1,2kN/m. (Ministerio de Fomento, 2000)

- El valor del empuje longitudinal debido al viento, se considera como el 25% del empuje transversal, por tanto, se situará en valores del orden de 0,4kN/m a 1,2kN/m. (Ministerio de Fomento, 2000)

- Cargas muertas:

La carga muerta, también llamada "carga estructural" o "carga permanente", es el peso del puente mismo. Las fuerzas de gravedad se contrarrestan por los soportes del puente, ya sea por arcos, pilares, vigas o cables de suspensión y esta fuerza determina qué tan largo y ancho se puede extender el puente. Se requiere de mantenimiento para mitigar los efectos del desgaste y asentamiento de los materiales. En otras palabras se puede manifestar que las cargas muertas son cargas permanentes y que no son debidas al uso de la estructura. En esta categoría se pueden clasificar las cargas correspondientes al peso propio y al peso de los materiales que soporta la estructura tales como acabados, divisiones, fachadas,

- Sismos (En (NC: 733-2009) página 41) se especifica que:

- 1- Los análisis de la respuesta sísmica y las consideraciones para el diseño de los puentes se deberán realizar mediante el método estático equivalente o método dinámico del análisis modal, según proceda en correspondencia con la geometría y tipología de la estructura, siguiendo lo especificado en la (NC: 46-2017)

- 2-Ante un evento sísmico las estructuras de los puentes se deberán proyectar de acuerdo a la intensidad de la zona de construcción de la obra, aunque en puentes de grandes luces

de importancia vital por consideraciones económicas o de otro tipo, podrán ser proyectadas para condiciones extremas.

3-Para el proyecto típico se deberá evaluar la carga sísmica, pudiéndose disponer de soluciones de arriostramiento adicionales para la subestructura en caso de ser necesario.

4- La fuerza sísmica se habrá de combinar solamente con la carga permanente, excluyéndose otro tipo de cargas.

La zona de Matanzas no está catalogada como una zona altamente sísmica por lo que no se aplicará el diseño sismorresistentes a obras utilitarias u ordinarias, solo a las obras catalogadas como esenciales. El estudio sismorresistente se realizará solo en algunas zonas del país. (Normalización, 2017).

#### **1.4 Evolución de las cargas vehiculares en el tiempo. Su influencia:**

Las cargas de los vehículos permisibles es uno de los elementos de mayor importancia para poder realizar la evaluación de las cargas que puede soportar un puente. A medida que el tiempo pasa han ido evolucionado de manera indiscutible los medios de transporte y por tanto los puentes que se construyen, por lo que se hace muy embarazoso poder presagiar que tipos de vehículos circularan por los mismos. (Simanca 2017)



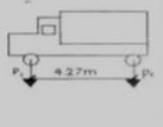
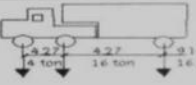

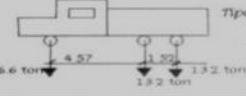
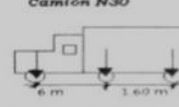
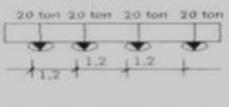
AÑOS	VEHÍCULOS U OTROS	CARGA TOTAL												
1. Hasta 1910		5 a 10 ton												
2. Desde 1910		15 ton												
3. Desde 1930	 <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: top;"> <thead> <tr> <th>Tipo H</th> <th>P<sub>1</sub></th> <th>P<sub>2</sub></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H 10</td> <td>2</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>H 15</td> <td>3</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>H 20</td> <td>4</td> <td>16</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo H	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	H 10	2	8	H 15	3	12	H 20	4	16	10 ton 15 ton 20 ton
Tipo H	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>												
H 10	2	8												
H 15	3	12												
H 20	4	16												
4. Desde 1944	  <p>Tipo HS20 - 44 para vías principales, y en otras vías secundarias se aplican las cargas tipo H.</p>	Camión HS20 36 ton												
5. Desde 1964	 <p>Tipo A distribuida</p> $A_1 = \frac{350,320,000,000}{L^3 + 60P} = 225000$	Camión Bc 33 ton.												
6. Desde 1973 hasta 1999	 	Camión N30 de 30 ton Vehículo NK 80 de 80 ton.												

Figura 1.3: Evolución de los vehículos con el paso del tiempo. (García, 2019).

En 1916, se discute el origen de la carga distribuida usada en el diseño de puentes, donde algunas personas tenían la idea de que una manada de ganado vacuno pesaba más por pie cuadrado que una multitud de personas, y esto era tomado en ese entonces como referencia. No siendo realmente el caso, ya que el límite real para lo anterior es aproximadamente 60 libra/pie<sup>2</sup> [0,291 t/m<sup>2</sup>]. (Romero. 2013)

En 1944, la AASHTO desarrolló un nuevo concepto denominado camiones hipotéticos, en dos variantes: H (con dos ejes) y HS (con tres ejes) (Figura 4: Fig. 3), estos eran camiones usados solamente para el diseño y no se parecían a ningún camión legítimo existente sobre las carreteras.

a) Vehículos H.

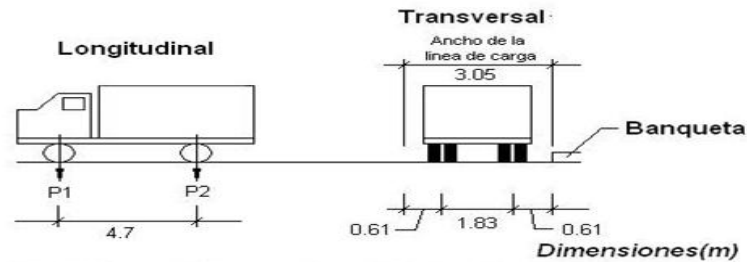


Fig. 3 Disposición para los vehículos H.

Tabla 4: Cargas por eje y total para los vehículos tipo H.

Vehículos	P1(kN)	P2(kN)	Peso total(kN)
H15	30	120	150
H20	40	160	200
H25	50	200	250

b) Vehículos HS.

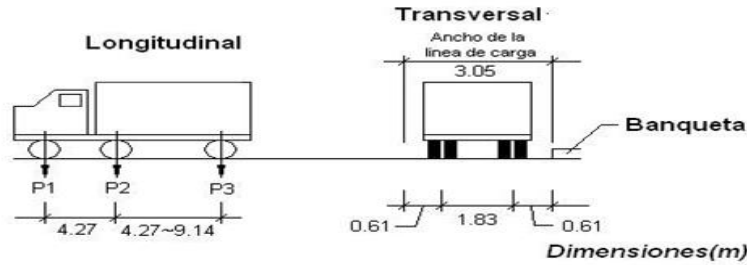


Fig. 4 Disposición para los vehículos HS.

Tabla 5: Cargas por eje y total para los vehículos tipo HS.

Figura 1.4: Camiones desarrollados por la AASHTO en 1944. Fuente: Lic. Ing Pedro A. Hernández Delgado. Módulo 2: Normativas. Análisis-Diseño. NC. 733.2009 y AASHTO 2002.

En 1974 se establece la primera norma cubana para el diseño de puentes de carretera y ferrocarril. En 1984 se actualiza esta norma, la cual aún está vigente para ferrocarriles. En esta norma se abandona la filosofía de diseño de la AASHTO y se adopta el criterio de la norma soviética, la cual a su vez estaba influenciada por la norma DIN alemana, la más avanzada de Europa. En esta actualización se introduciría el vehículo de carga excepcional NK-80. (Romero. 2013)

Para el 2009 se realizaron modificaciones en la misma, pero permanecían los criterios principales y solo se regresaba al criterio de diseño de la AASHTO. En los puentes de autopistas, carreteras y urbanos, el diseño se realizaría con el vehículo (MS-32) y con el

vehículo excepcional de tipo militar (NK-80), de acuerdo a las disposiciones establecidas en la actual norma. El diseño se deberá realizar con el vehículo de cálculo MS-32 con una Carga de Vehículo (CV) de 32 t. (Romero. 2013)

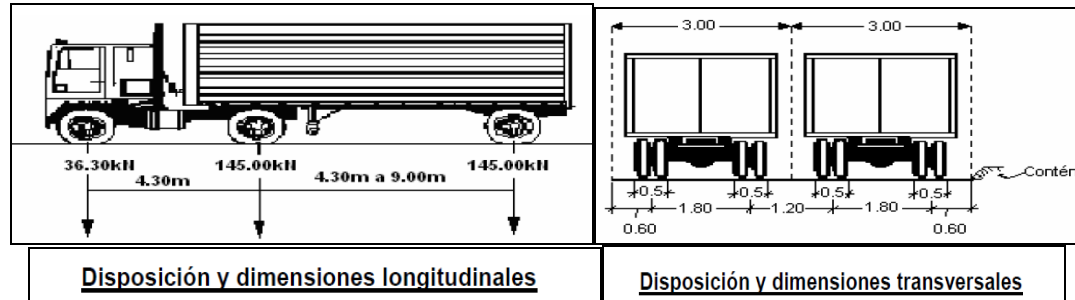


Figura 1.5: Disposición y dimensiones. (NC. 733-2009).

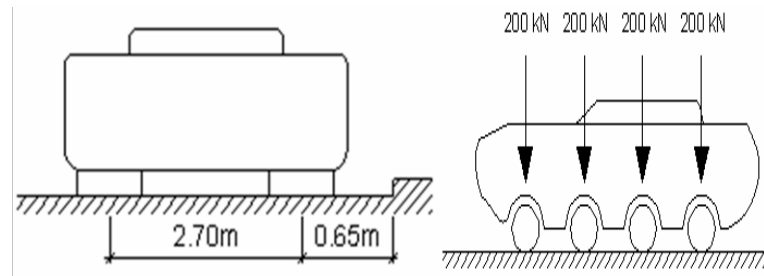


Figura 1.6: Disposición longitudinal de la carga NK-80 y Disposición transversal respecto al borde de la carga NK-80. (NC. 733-2009).

### 1.5 Deterioro de los puentes:

La naturaleza y grado de daño estructural de los puentes debido a la agresividad del medio ambiente y la interacción con las cargas actuantes pueden ser descritos en términos cualitativos o cuantitativos, y constituyen un aspecto de primordial importancia para determinar el nivel de deterioro del mismo y así determinar la condición estructural de este.

Según (Romero. 2013) el deterioro estructural de los puentes es producido por una o varias de las siguientes causas:

- Poca planificación de las acciones de mantenimiento.

- Carencia de fondos para la realización de los mantenimientos regulares.
- Inadecuados diseños, detalles y ejecución de las estructuras.
- Agresividad del medio ambiente.
- Proceso de envejecimiento.
- Incremento del volumen de tráfico.
- Incremento del volumen del inventario de puentes.
- Incremento de las cargas axiales en carreteras y ferrocarriles.

### **1.5.1 Pérdida de sección por corrosión del acero en vigas y columnas.**

El problema de la corrosión produce la desvalorización de los bienes inmuebles por los agrietamientos y desprendimiento del material que provoca el deterioro estético y funcional de la estructura, aun cuando no se produzca el colapso de la misma. (Prieto, 2013).

La corrosión es la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas. La característica fundamental de este fenómeno, es que sólo ocurre en presencia de un electrólito, ocasionando regiones plenamente identificadas, llamadas estas anódicas y catódicas. (Físicanet – Corrosión). (Prieto, 2013).

#### **Prevención de la corrosión. (Prieto, 2013).**

Para prevenir que exista la posibilidad de que en un futuro la corrosión provoque un deterioro en la estructura de hormigón armado, se debe tomar en cuenta 3 parámetros que son:

- Que el hormigón tenga una estructura de poros adecuada
  - Que el recubrimiento tenga el espesor suficiente
  - Que el hormigón esté libre de cloruros
- A partir de los parámetros anteriores, es importante tener en cuenta:

- Los procesos de difusión de los ataques ya sea por carbonatación o por la presencia de iones de cloruro
- La humedad
- La temperatura

### **Principales problemas presentados en las estructuras por corrosión:**

La corrosión es una de las causas más comunes de deterioro de las estructuras de hormigón armado, esta puede afectar al acero (por reducción de su sección y propiedades mecánicas), al hormigón (por su fisuración) y a la sección en conjunto acero-hormigón (por pérdida de adherencia).

**Efectos en el sistema Hormigón Armado, (Prieto, 2013):** Una de las características que permiten que el acero y el hormigón trabajen conjuntamente es la adherencia junto con el anclaje entre ambos, durante el proceso de corrosión aparecen productos que quedan expuestos al contacto con el hormigón, por lo tanto, la naturaleza de la frontera entre el acero y hormigón es variable, y se pierde la adherencia con el acero.

Al incrementarse las tensiones radiales ejercidas por los productos de la corrosión, se producen en mayor medida las fisuras en el hormigón. A niveles pequeños de corrosión se aumenta la adherencia entre el acero y el hormigón, pero con niveles de corrosión que producen las primeras fisuras, la adherencia entre ambos materiales disminuye súbitamente, una varilla corroída presenta mayores afectaciones, como es lógico, en la corruga que en la sección en sí. En barras de refuerzo en las que se ha perdido el 3% de sección transversal, puede haberse perdido hasta un 20% de la corruga, lo cual perjudica el acuíñamiento entre el acero y el hormigón.



*Figura 1.7: Efectos en el hormigón armado. (Prieto, 2013).*

### **1.6 Análisis dinámico:**

Los ingenieros han investigado y desarrollado diversos métodos y estudios para poder asegurar que las estructuras resistan las cargas actuantes tanto para las que fueron diseñadas como para las actuales, entre estos métodos podemos encontrar: el análisis dinámico, análisis estático “equivalente”, análisis modal, análisis no lineal, por mencionar algunos. (Cruz, 2016).

En el caso de los métodos de análisis dinámico propiamente dicho, por lo general el problema se vuelve más complejo, pero a la vez más preciso. Comprenden la resolución de los principales parámetros en el tiempo y toman en consideración un número significativo de factores que son decisivos, dígame velocidad de circulación de las cargas, tonelaje de las mismas, masa de la estructura, etcétera; así como que es posible obtener las variables dinámicas de respuestas para tantos modos de oscilación como se desee. (Rodríguez Castellanos 2014). (Cruz, 2016).

El análisis dinámico incluye estudiar tres aspectos importantes (García, 2017), (Toledo, 2019):

- Análisis modal.
- Análisis de las sollicitaciones exteriores.
- Análisis de las fuerzas dinámicas inducidas.



El objeto de la dinámica estructural es el análisis de estructuras bajo cargas dinámicas, es decir cargas que varían en el tiempo. Aunque la mayoría de las estructuras pueden diseñarse considerando sólo cargas estáticas, hay importantes excepciones que requieren del proyectista la posibilidad de distinguir entre cargas estáticas y dinámicas. (Barto 2007). (Cruz, 2016).

El análisis modal es el proceso mediante el cual se determinan las características inherentes de la estructura necesaria para la formulación de un modelo matemático de comportamiento dinámico. Este modelo se lleva a cabo sobre la base de parámetros modales propios de la estructura como son la frecuencia natural, modos de vibración y relaciones de amortiguamiento que dependen de características tales como masa, rigidez y amortiguamiento. (Rao, 2012). (Toledo, 2019).

### **1.6.1 Cargas armónicas.**

Se define como una carga que varía en una función seno o coseno.

Función seno:

$$f(t) = F \operatorname{sen} \omega t \quad (1.1)$$

Función coseno:

$$f(t) = F \operatorname{cos} \omega t \quad (1.2)$$

Los ejemplos de movimiento armónico incluyen la vibración producida por una máquina rotativa desequilibrada, las oscilaciones de una chimenea alta debido al vórtice derramando en un viento constante, y el movimiento vertical de un automóvil en una superficie irregular de la carretera.

### **1.6.2 Cargas móviles.**

Las cargas móviles son cargas que se aplican en una estructura y que generalmente viene acompañada de cambios rápidos tanto de intensidad como de posición. De modo que durante su acción, están generando un movimiento considerable (inercial). Las cargas

móviles originan modificaciones tanto en la magnitud de las tensiones como en las deformaciones que ocurren, lo que puede afectar directamente la forma y límites de rotura en las estructuras. (Toledo, 2019)

Las cargas móviles pueden clasificarse según la forma de movimiento:

**Móviles:** Son aquellas cargas cuya dirección del movimiento es perpendicular a la dirección en la que se produce la carga. Tal es el caso como en el desplazamiento de un vehículo, la forma en la que un tren se desplaza sobre rieles, entre otros. (Toledo, 2019)

**De impacto:** Son aquellas en las que la dirección del movimiento coincide con las de la dirección en la que se origina la carga. Están caracterizadas por un tiempo de acción bastante corto, casi instantáneo. (Toledo, 2019)

#### □ **Cargas periódicas.**

Las cargas periódicas son aquellas que provocan períodos de oscilación constante a lo largo del tiempo. (Toledo, 2019)

Ejemplo de ello son los motores que mediante movimientos internos son capaces de introducir esfuerzos periódicos a las estructuras. (Toledo, 2019)

#### □ **Cargas aleatorias.**

También conocidas como no deterministas son aquellas en las cuales no se conoce con exactitud su valor de fuerza excitatriz, aunque se dispone de información probabilística sobre los mismos. (Sircovich-Saar, 2006)

### **1.7 Vibraciones:**

El análisis de la vibración de los puentes tiene fundamentalmente dos vertientes de aplicación. Por un lado, el modelar o medir la respuesta de los puentes ante ciertos tipos de excitaciones, puede servir para evaluar potenciales daños sufridos por este tipo de estructura, estimando con ello el nivel de daño estructural e incluso, la posición en la que se presenta este debilitamiento estructural. Por otro lado, y al estar asociados los niveles

de vibración de estas estructuras al nivel de esfuerzos en sus elementos, es posible identificar qué factores, asociados a los vehículos o al mismo puente, afectan de manera importante la respuesta del puente y los esfuerzos inducidos en éste. Los estudios de vibraciones en puentes se están enfocando al análisis modal, empleando para ello funciones de transferencia en frecuencia. Estos estudios de sensibilidad y paramétricos requieren de un manejo, filtrado e interpretación adecuados de la señal registrada experimentalmente. (Rodríguez, 2017).

Cualquier técnica experimental para la medición de vibraciones en puentes considera los siguientes factores. (Rodríguez, 2017).

I) Los métodos empleados para la excitación de la estructura.

II) Los transductores usados para medir la vibración.

III) Los procedimientos de prueba manejados.

En su forma más sencilla, una vibración se puede considerar como la oscilación o el movimiento repetitivo de un objeto alrededor de una posición de equilibrio. La posición de equilibrio es a la que llegará cuando la fuerza que actúa sobre él sea cero. Este tipo de vibración se llama vibración de cuerpo entero, lo que quiere decir que todas las partes del cuerpo se mueven juntas en la misma dirección en cualquier momento. (White, 2010).

La vibración de un objeto es causada por una fuerza de **excitación**. Esta fuerza se puede aplicar externamente al objeto o puede tener su origen dentro del objeto. Más adelante veremos que la proporción (frecuencia) y la magnitud de la vibración de un objeto dado, están completamente determinados por la fuerza de excitación, su dirección y frecuencia. (White, 2010).

Existen varias maneras de clasificar las vibraciones, estas pueden ser:

Por la causa del movimiento

Vibración libre.

Vibración forzada.

- Por la pérdida de energía

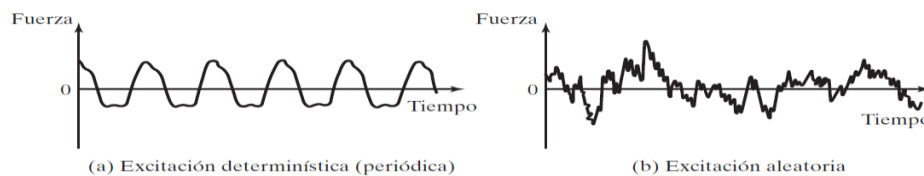
Si no se pierde o disipa energía por fricción u otra resistencia durante la oscilación, la vibración se conoce como vibración no amortiguada. Sin embargo, si se pierde energía se llama vibración amortiguada.

- Por las características de los elementos

Si todos los componentes básicos de un sistema vibratorio (resorte, masa, amortiguador) tienen un comportamiento lineal, entonces se está en presencia de vibraciones lineales; por el contrario si este sistema no se comporta de esta manera, entonces son vibraciones no lineales.

- Por la determinación de las causas del movimiento

Las vibraciones determinísticas son aquellas en las cuales se conoce el valor o magnitud de la excitación que actúa sobre el sistema en cualquier intervalo de tiempo. En el caso de las vibraciones aleatorias en las cuales la excitación no se puede pronosticar se tiende a hacer una recopilación de registros y se puede estimar este valor a través de métodos estadísticos.



*Figura 1.8 Excitaciones determinísticas y aleatorias (Rao, 2012)*

## 1.8 Frecuencias Naturales:

De cualquier estructura física se puede hacer un modelo en forma de un número de resortes, masas y amortiguadores. Los amortiguadores absorben la energía pero los resortes y las masas no lo hacen. Como se observó en la sección anterior, un resorte y resonancia a su frecuencia natural característica. Si se le aplica energía a un sistema

resorte-masa, el sistema vibrará a su frecuencia natural, y el nivel de las vibraciones dependerá de la fuerza de la fuente de energía y de la absorción inherente al sistema. . La frecuencia natural de un sistema resorte-masa no amortiguado se da en la siguiente ecuación, (White, 2010):

$$F_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (1.3)$$

Donde  $F_n$  = la frecuencia natural

$k$  = la constante del resorte, o rigidez

$m$  = la masa

De eso se puede ver que si la rigidez aumenta, la frecuencia natural también aumentará, y si la masa aumenta, la frecuencia natural disminuye. Si el sistema tiene absorción, lo que tienen todos los sistemas físicos, su frecuencia natural es un poco más baja y depende de la cantidad de absorción. (White, 2010).

### **1.9 Modelación estructural:**

La modelación es el proceso mediante el cual se crea una idealización matemática que pretende representar una estructura lo más real posible. (Pérez 2018)

En la actualidad el empleo de las herramientas informáticas ha tenido un auge extraordinario en la modelación estructural. Utilizando el método de elementos finitos se encuentran gran variedad de programas como ABAQUS, ANSYS, SAP 2000, ETABS, STAAD, RESCOL. (Alfonso, 2015)

Para que un modelo describa el comportamiento de una estructura lo más real posible debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La geometría de la estructura.
- Propiedades de los materiales que la constituyen.
- Ubicación y magnitud de las cargas.

- Elementos que la componen ya sean en una, dos o tres dimensiones.
- Conexiones internas entre los elementos.
- Los apoyos externos y la interacción de la estructura con el medio.

A continuación se proporcionan una serie de conceptos fundamentales para garantizar el total entendimiento de lo que significa la Modelación. Los mismos son:

**Modelación:** proceso que sirve para representar o describir otra cosa, es decir crear prototipos (primer diseño). El modelo puede tener una forma semejante o ser totalmente distinto de un objeto real. (Pérez 2018)

**Modelo:** una representación simplificada de un sistema real, un proceso o una teoría, con el que se pretende aumentar su comprensión hacer predicciones y posiblemente ayudar a controlar el sistema. (Pérez 2018)

**Analógico:** Modelo con apariencia física distinta al original, pero con comportamiento representativo. (Pérez 2018)

**Analítico:** Relaciones matemáticas o lógicas que representen leyes físicas que se cree gobiernan el comportamiento de la situación bajo investigación. (Pérez 2018)

### 1.9.1 Clasificación de Elementos a modelar.

Los elementos estructurales se clasifican en unidimensionales, cuando una de sus dimensiones es mucho mayor que las restantes, bidimensionales, cuando una de sus dimensiones es pequeña comparada con las otras dos, y tridimensionales cuando ninguna de sus dimensiones resulta ser mayor que las otras. (GÓMEZ 2012)

Según (GÓMEZ 2012) los métodos de cálculo para abordar el análisis global de una estructura se clasifican en:

**1. Análisis lineales:** Están basados en la hipótesis de comportamiento elástico-lineal de los materiales constitutivos y en la consideración del equilibrio en la estructura sin deformar (análisis en primer orden).

**2. Análisis no lineales:** Tienen en cuenta la no linealidad mecánica, esto es, el comportamiento tenso-deformacional no lineal de los materiales, y la no linealidad geométrica, es decir, la consideración de las condiciones de equilibrio sobre la estructura deformada (análisis en segundo orden). Estos pueden considerar, a su vez, una sola o ambas de las causas de la no linealidad citadas.

### 1.9.2 Etapas de la modelación estructural.

La modelación estructural atraviesa por varias etapas, estas son:

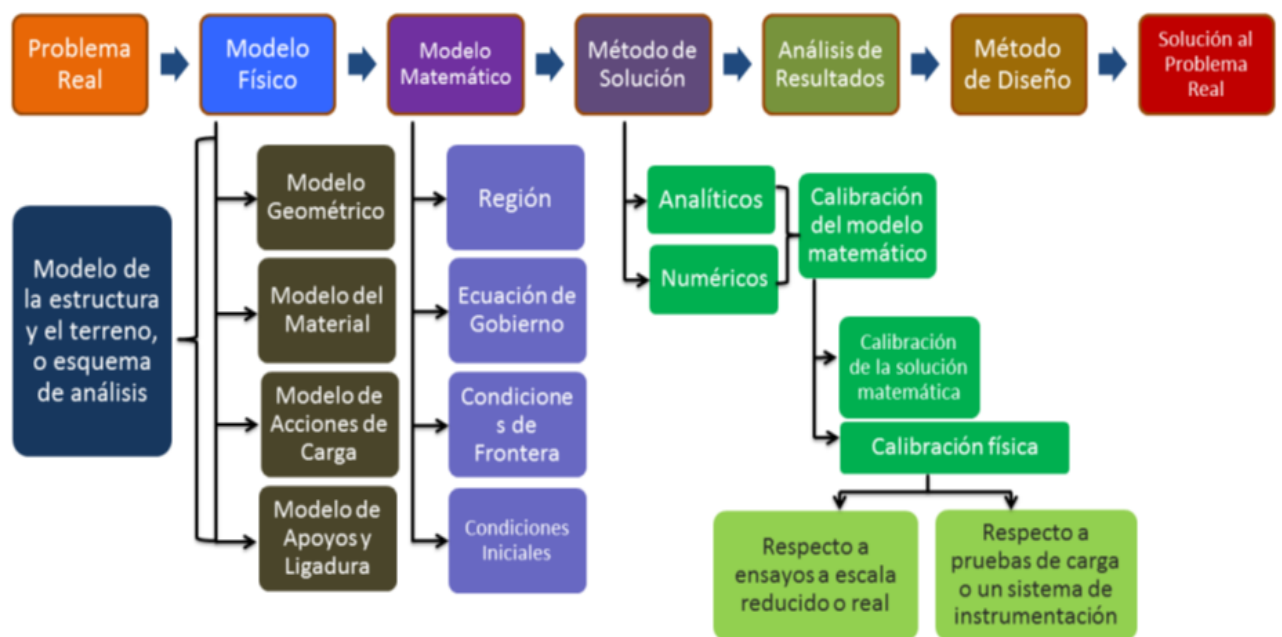


Gráfico 1.1: Etapas de la modelación estructural. (García, 2015).

### 1.9.3 Ventajas y desventajas de la modelación computacional.

Según (Möller, 2014) la modelación computacional posee ciertas ventajas y desventajas.

Ventajas:

- Suple la experimentación física y convencional, cuando ella no es factible por diversas razones.
- Permite analizar numerosos efectos al realizar diversas alteraciones.

- Permite incluir elementos de incertidumbre.
- Tiempos rápidos de respuesta
- Facilita el entrenamiento de personal y la enseñanza-aprendizaje de sistemas complejos y análisis diversos.
- Permite experimentar con situaciones nuevas y anticipar resultados

#### Desventajas:

- En situaciones complejas puede requerir equipo costoso y puede tardar mucho tiempo para desarrollarse
- No genera soluciones óptimas para los problemas
- No produce respuestas por sí mismo, el usuario debe generar las condiciones y restricciones.
- Es una aproximación del sistema real.
- Requiere de equipo computacional y el conocimiento de algún *software* de modelación y saberlo aplicar.
- Es un enfoque de ensayo y error que puede generar diferentes soluciones.

#### **1.9.4 Programas para modelar.**

Algunos de los programas de mayor importancia para la modelación se pueden definir:

SAFE. Programa desarrollado por la empresa CSI, *Computer and Structures*, Inc. en Berkeley, California, EEUU. Es la última herramienta para el diseño de sistemas de pisos de concreto y fundaciones. La maquetación de modelos es rápida y eficiente con las herramientas de dibujos sofisticadas, o utilizar una de las opciones de importación para traer los datos de CAD, hojas de cálculo o programas de bases de datos. Losas y cimientos pueden ser de cualquier forma, y pueden incluir bordes circulares y con curvas *spline*. Es un programa que automatiza el análisis y diseño de simple a complejas cimentaciones de concreto usando avanzados sistemas de modelación. El programa puede



analizar y diseñar losas de formas arbitrarias y de espesor variable, de paneles desnivelados, con aberturas, vigas de bordes y discontinuidades. El enmallado es automático y está basado en parámetros especificados por el usuario. Las cimentaciones son modeladas como placas gruesas sobre cimentaciones elásticas, donde solamente la rigidez a la compresión del suelo es automáticamente sincretizada basada en el módulo de la reacción de la sub-base que es especificada para la cimentación. (CASTANEDA 2018)

Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015. Este programa utiliza la tecnología de modelo de objetos de componentes (COM), introducida por Microsoft, que proporciona arquitectura abierta y programable por cualquier ingeniero. Posee una integración abierta con programas como Microsoft Excel, Microsoft Word y AutoCAD.

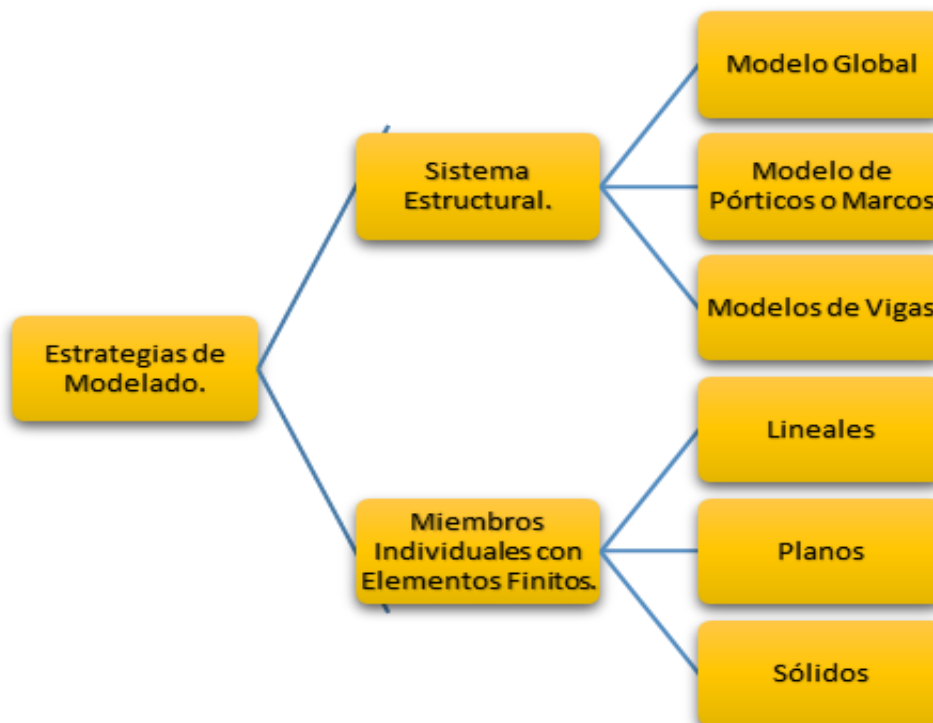
Fue creada específicamente para el modelado, análisis y diseño de estructuras. Posee potentes técnicas de generación de mallas tanto manuales como de forma automática, que a la vez permiten la obtención de resultados más exactos. Permite a los ingenieros estructurales explorar alternativas de diseño e investigar el comportamiento lineal y no lineal auténtico de cualquier estructura. Presenta gran flexibilidad al obtener resultados de los análisis, pudiéndose ver por elementos individuales, por partes de la estructura o para todo el conjunto, en forma de diagramas y planos.

SAP2000. Es un programa desarrollado por la empresa CSI, *Computer and Structures*, Inc. En Berkeley, California, EEUU. Desde hace más de 30 años ha estado en continuo desarrollo, para brindarle al ingeniero una herramienta, confiable, sofisticada y fácil de usar sobre la base de una poderosa e intuitiva interfaz gráfica con procedimientos de modelaje, análisis y diseño estructural a la vanguardia a nivel mundial. Dicho *software* determina a través del método de elementos finitos la respuesta en términos de fuerza, esfuerzos y deformadas en los elementos de área y sólidos, presentando una salida gráfica y por tablas, haciéndolo una herramienta muy versátil para ingenieros estructurales dedicados a la investigación, desarrollo de proyectos y construcción.(García, 2016 ). Cabe señalar que este último es el programa que será utilizado para la modelación de la estructura objeto de este proyecto de tesis.

### 1.10 Modelación estructural de los Puentes:

Para poder lograr una adecuada modelación de los puentes, es necesaria la fragmentación del sistema en subsistemas con un mayor nivel de maniobrabilidad, ya que es bastante complicado considerar en un prototipo global las relaciones existentes entre los componentes estructurales y sus correspondientes relaciones físicas y espaciales, sobre todo en sistemas de configuración espacial compleja, por lo que con fines de modelado se recomienda fragmentar el prototipo global en subsistemas, pórticos, vigas, pilas u otros elementos estructurales independientes. La Fig. 1.2 muestra una clasificación de los enfoques más usados para el modelado de puentes. (Quintana, 2000).

Clasificación de los más usados enfoques del modelado de sistemas de puentes.



*Gráfico 1.2: Clasificación de los más usados enfoques del modelado de sistemas de puentes. (Quintana, 2000).*

Una breve explicación de las características predominantes de cada uno de estos modelos se presenta a continuación. (Quintana, 2000).

**Modelo Global:** Su uso está limitado a puentes pequeños formados preferentemente por un marco único, a la obtención de una respuesta aproximada esencialmente en el rango elástico y a que se posea durante el proceso de análisis estructural una buena caracterización de los apoyos a lo largo de toda la estructura al ser sometido a una determinada acción sísmica. Este tipo de modelo se usa comúnmente para calcular con un análisis espectral la demanda sísmica (fuerzas y desplazamientos elásticos) en un modelo estructural elástico lineal. (Quintana, 2000).

**Modelo de Marcos:** Constituyen una útil herramienta de trabajo para la cuantificación de la respuesta sísmica global de un puente a través de la caracterización de la respuesta de los marcos independientes; mediante el mismo se establece un detallado del modelo seleccionado y se efectúa un análisis no lineal a través del cual es posible obtener una adecuada estimación, tanto de la capacidad como de la demanda sísmica. Este modelo tiene el inconveniente de que es muy difícil poder correlacionar el comportamiento de un elemento con respecto a otro, lo que trae como consecuencia la disminución de la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de resonancia, debido al decremento de la excitación armónica, esta situación se puede contrarrestar en el proceso de modelado por medio de la colocación de marcos fronteras o resortes (modelado lineal o no lineal de juntas de expansión). (Quintana, 2000).

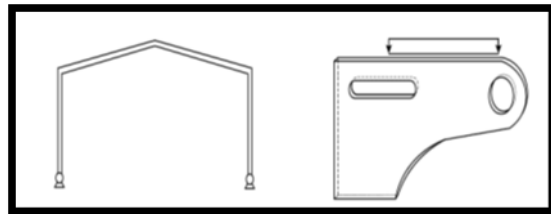
**Modelo de Elementos de Marcos:** El desarrollo de modelos adecuados para el modelo de marcos requiere de una caracterización detallada de todos y cada uno de los elementos que intervienen en la rigidez de la estructura global. Estos modelos pueden incluir el efecto de la flexibilidad en la cimentación, que pueden a su vez ser combinados en el modelo de marcos por medio de elementos subestructurados y por restricciones geométricas. En este caso es muy importante la hipótesis de considerar la superestructura infinitamente rígida en su plano, lo cual simplifica notablemente el análisis. (Quintana, 2000).

La segunda estrategia de modelado (miembros estructurales individuales) es la empleada para definir una discretización matemática entre los puntos nodales que intervienen en la definición de un determinado prototipo de puente, compuesto por elementos individuales

que modelan los cabezales, las vigas, los marcos, etc. En las estructuras los elementos están conectados por medio de los nodos definidos de una determinada discretización estructural, compatible con una respuesta modal desconocida y que generalmente es el desplazamiento en un grado de libertad. (Quintana, 2000).

### 1.11 Método de elementos finitos:

Las estructuras, suelen dividirse en discretas o reticulares y continuas. Las primeras son aquellas que están formadas por un ensamblaje de elementos claramente diferenciados unos de otros y unidos en una serie de puntos concretos, de tal manera que el sistema total tiene forma de malla o retícula. La característica fundamental de las estructuras discretas es que su deformación puede definirse de manera exacta mediante un número finito de parámetros, como por ejemplo las deformaciones de los puntos de unión de unos elementos y otros. De esta manera el equilibrio de toda la estructura puede representarse mediante las ecuaciones de dichas deformaciones. (Lizarza, 2000).



*Figura 1.9: Estructura reticulada discreta y estructura continua. (Lizarza, 2000)*

Uno de los métodos más empleados hoy en día es el método del elemento finito (MEF en español o FEM en inglés) este es un método numérico para la resolución de ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. Se basa en dividir el cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema en una serie de subdominios no intersectantes entre sí denominados elementos finitos. (Pérez 2018)

Las propiedades y las relaciones gobernantes del fenómeno estudiado se asumen sobre estos elementos, y se expresan matemáticamente en términos de valores desconocidos en

puntos específicos de los elementos denominados nodos. Estos nodos sirven de conexión entre los elementos. En los modelos sólidos, los desplazamientos en cada elemento están directamente relacionados con los desplazamientos nodales, y los desplazamientos nodales se relacionan a su vez con las deformaciones y los esfuerzos en los elementos. El método de los elementos finitos trata de seleccionar los desplazamientos nodales de forma que los esfuerzos estén en equilibrio (de forma aproximada) con las cargas aplicadas. (García 2016)

### **1.11.1 Tipos de Elemento Finito.**

Dependiendo de la dimensión, los elementos básicos se pueden dividir en tres categorías basadas en (Pérez 2018):

1. Elemento de línea: *Truss, beam* y los elementos de restricción.
2. Elementos de área: *Plane stress, plain strain, axisymmetric, membrane, plate* y *shell*.
3. Elementos de volumen: *Sólido brick, tetrahedral* y *hexahedral* son elementos de volumen.

Los criterios para la selección del elemento apropiado para cada aplicación son:

Se debe primero dibujar un bosquejo del sistema físico indicando su geometría, condiciones de frontera, cargas y discontinuidades geométricas o de material. El bosquejo debe además incluir un sistema de coordenadas globales y las dimensiones de la estructura. (Pérez, 2018)

Después, se debe examinar si el modelo puede ser reducido, o simplificado. Esfuerzo plano, deformación plana y modelos asimétricos, permiten la reducción de problemas tridimensionales a bidimensionales. Además, la presencia de planos de simetría permite modelar sólo una parte de la estructura. (Pérez, 2018)

### 1.11.2 Hipótesis de Discretización.

La configuración deformada de la estructura no puede venir dada por un vector finito como en estructuras discretas, sino que es una función vectorial  $u$ , que indica cuáles son las deformaciones de cualquier punto, y que tiene tres componentes escalares:

$$u = \left. \begin{array}{l} u(x, y, z) \\ v(x, y, z) \\ w(x, y, z) \end{array} \right\} (1.4)$$

Esta función es la solución de la ecuación diferencial que gobierna el problema, y si éste está bien planteado, cumplirá las condiciones de contorno impuestas, pero en principio no puede asegurarse que esta función  $u$  tenga una expresión analítica manejable, ni siquiera que pueda calcularse. Por lo tanto la función  $u$  no podrá conocerse en general.

Para resolver este problema, el Método de los Elementos Finitos recurre a la hipótesis de discretización, que se basa en dos aspectos muy importantes de esta hipótesis, sobre los que hay que hacer hincapié:

- La función solución del problema  $u$  es aproximada de forma independiente en cada elemento. Para una estructura discretizada en varios elementos, pueden utilizarse funciones de interpolación distintas para cada uno de ellos, a juicio del analista, aunque deben cumplirse ciertas condiciones de compatibilidad en las fronteras entre los elementos.
- La función solución es aproximada dentro de cada elemento, apoyándose en un número finito (y pequeño) de parámetros, que son los valores de dicha función en los nudos que configuran el elemento y a veces sus derivadas.

### 1.11.3 Importancia del Método de Elementos finitos:

Permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de resolver por métodos matemáticos tradicionales. Anteriormente era necesario realizar

prototipos, ensayarlos e ir realizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado costo económico.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo.

### **1.12 Conclusiones Parciales del capítulo:**

La modelación es el proceso mediante el cual se crea una idealización matemática que pretende representar una estructura lo más real posible. Para poder lograr una adecuada modelación de los puentes, es necesaria la fragmentación del sistema en subsistemas con un mayor nivel de maniobrabilidad, donde se pueda analizar más detalladamente las cargas a las que son sometidos, que provocan el deterioro del mismo con el transcurso del tiempo.

En la actualidad el uso de programas informáticos para la modelación estructural es de gran importancia, ya que brinda en un plazo corto de tiempo resultados del comportamiento de las estructuras analizadas, y puede realizar pruebas en el modelo sin tener que afectar la estructura real, permitiendo dar soluciones a problemas existentes en el campo de la ingeniería convirtiéndose en importantes herramientas de trabajo.

## CAPÍTULO 2 MODELACIÓN ESTRUCTURAL DEL PUENTE DEL PASO SUPERIOR DE LA CIRCUNVALACIÓN DE LA CIUDAD DE MATANZAS

En este capítulo se realiza una descripción del puente teniendo en cuenta la geometría, materiales, vínculos a tierra y entre los elementos estructurales, cargas, secciones y su estado de daños; con el objetivo de crear un modelo en el *software* SAP 2000 lo más real posible. Para obtener el modelo deseado se hace la calibración de este y así se logra analizar con mayor precisión su comportamiento bajo el efecto de las cargas móviles.

### 2.1 Características generales del proyecto del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas.

Fue construido entre 1983 y 1984, con el uso del catálogo de elementos de la tipificación cubano-soviética para puentes de carretera, como paso superior de la circunvalación, que salva los obstáculos de la llamada carretera de la Jaiba y el Ferrocarril Central en las afueras de la ciudad de Matanzas, desarrollándose un intercambio a dos niveles de varios ramales, facilitándose el paso vehicular hacia distintas localidades y al mismo tiempo permitiendo, mediante la construcción del paso superior, el cruce con la vía del Ferrocarril Central. (González Arestuche, 2009; Ing. Clemer, 2013).



*Figura 2.1: Vista longitudinal del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas en el 2009 y en la actualidad. (Elaboración propia)*

Es un puente de estribos abiertos y aproches recubiertos con losas de Hormigón. Tiene cinco luces, enmarcadas en cuatro pórticos de pila de cinco columnas con cabezal. Toda la estructura es prefabricada. Su sección transversal se conforma con 11 vigas, el tablero,



la calzada de circulación, de 8 metros de ancho, con aceras a ambos lados y pretilos de protección. Al cierre de 2007 se detectan patologías a consecuencia de la falta de un mantenimiento estable y sostenido, que no lo inutilizan; pero sí comprometen su uso futuro. (Arestuche, 2009).

### **2.1.1 Geometría, secciones y vínculos estructurales.**

Este puente se proyectó según las regulaciones de proyecto para el cálculo y diseño de puentes y alcantarillas y las que corresponden al empleo de hormigón *in-situ* para el cálculo de obras de hormigón armado, además se emplearon para ello los elementos típicos pertenecientes al Catálogo de Elementos Prefabricados de Puentes de carreteras del sistema soviético (1975).

La sección de tablero consiste en vigas de hormigón armado prefabricado, de sección T y de 13.62 m de longitud con espaciamiento entre ellas de 1.24 m de eje a eje, con alas de 0.80 m y de 0.10 m de espesor. Se colocaron 11 vigas completándose posteriormente la losa de tablero con un hormigonado *in-situ* entre las vigas y sobre éstas, para un espesor total de 0.20 m de losa. Debido a las características específicas de esta estructura, ubicada totalmente en un tramo de curva tiene como datos que se conoce el radio de curvatura de 305.858 m, el PI es en la estación 96+4.55 m, el PC es en 92+9.755 m, el PT es 99+9.395 m y el grado de curvatura es  $3^{\circ} 45' 0''$  y cuyos apoyos ubicados aproximadamente a 14.00 m entre ellos, presentan cada uno un ángulo de esviaje diferente, es que las vigas contemplan inclinaciones en las cabezas extremas. De esta forma se distinguen tres vigas interiores (1, 2 y 3) de igual longitud y cuya única diferencia radica en la inclinación extrema de las cabezas. Estas vigas tienen acero saliente a ambos lados y en la parte superior, para ser utilizado en el posterior completamiento de la sección de hormigón para la conformación de la losa de tablero. De igual forma se ejecutaron tres vigas exteriores (1, 2 y 3) que se diferencian de las interiores en que se elimina el acero saliente en una de las caras laterales (exterior) y que además se adiciona un acero saliente por la parte superior de la viga posteriormente utilizado en la conformación de los pedestales que forman parte de las barandas. Estas se

completan con la colocación sobre los pedestales, de vigas de defensa de hormigón prefabricado.



Figura 2.2: Vista de las vigas y elementos de apoyo. (Elaboración propia)

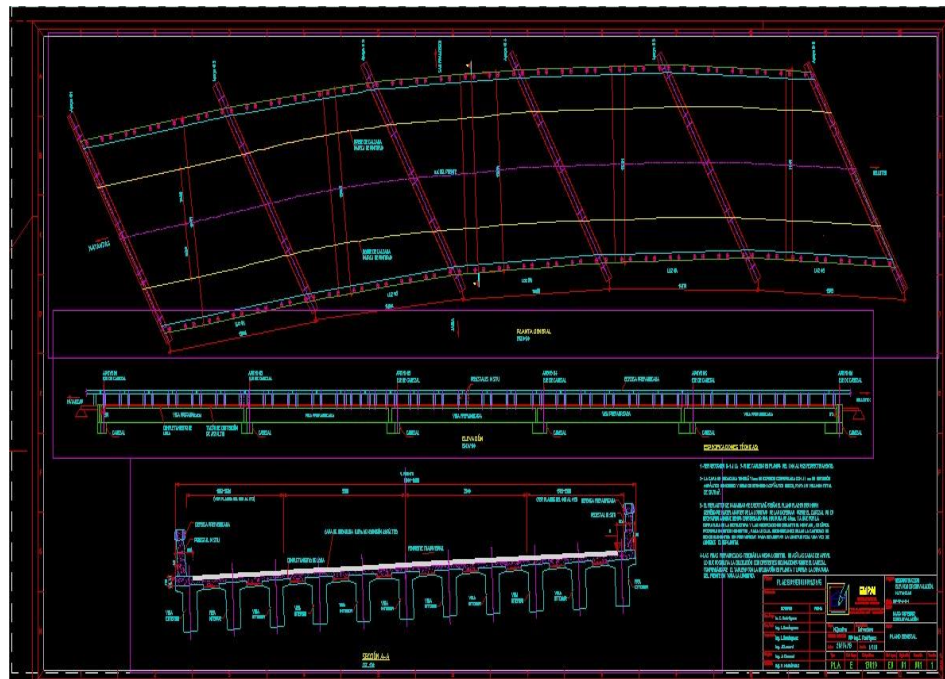


Figura 2.3: Plano General con la vista en planta y la sección transversal. (Elaboración propia)

La longitud total del puente es de aproximadamente 70.00 m, conformado por 5 luces de  $\pm 14.00$  m. Debido al trazado curvo y al ángulo de esviaje que presenta la estructura en cada apoyo, esta longitud no se cumple exactamente, por lo que el elemento prefabricado se colocó en cada luz con un ángulo diferente, pero al mismo tiempo cuidando que las

secciones de viga queden lo mejor alineadas posibles sobre los cabezales en las pilas. Como que en cada apoyo va cambiando la posición de las vigas y lo hace con un ángulo diferente, se hizo necesario ir variando la longitud del hormigonado *in-situ* entre ellas, así se tuvo que este varía desde un valor de 440 mm en la luz #1 hasta un valor de 320 mm en la luz #5, motivo por el cual los anchos de tablero también varían, desde un valor de 13200 mm para la luz #1 hasta un valor de 12000 mm para la luz #5.

La losa como se mencionó anteriormente consta de un espesor de 0.20 m, con una longitud total de 70 m, es decir, que cada tramo es de 14 m y su ancho es de aproximadamente 12.5 m. En la parte superior de la losa del tablero se definió una calzada de rodadura de 7000 mm, es decir 3500 mm a cada lado del eje, con paseos a ambos lados de ésta que varían también su ancho desde aproximadamente 2600 mm para la luz #1 hasta 2000 mm para la luz #5, limitada en ambos extremos por un recercamiento de hormigón de 500 mm donde están ubicadas las barandas laterales del paso. Esta longitud de calzada que varía de 12200 mm a 11000 mm, está cubierta totalmente por una capa de hormigón asfáltico de 70 mm de espesor conformada por 40 mm de hormigón asfáltico semidenso y 30 mm denso.

La estructura cuenta de 5 columnas de hormigón armado, de sección de 0.6 m x 0.7 m y de 5.00 m de altura, las cuales están empotradas a las vigas transversales (cabezales) y al terreno. La distancia que existe entre los ejes de cada columna es de 3.6 m.

De acuerdo al levantamiento topográfico realizado, los cabezales presentan una inclinación para tomar la superelevación de la vía que se comporta de la siguiente manera; para el apoyo #1 la pendiente transversal es de 3.44%, de 4.43% para los apoyos #2 y #6, y de 2.77% para los apoyos #3, #4 y #5.

De manera general, se colocaron las vigas sobre los aparatos de apoyo que tienen de dimensión 300x150x42 del tipo PJ-B pertenecientes a la firma CAUCHO JEMA, S.A. los cuales son ubicados sobre la superficie del cabezal debidamente nivelada.

La losa de aproche en ambos accesos fue concebida superficial, apoyada en un extremo en el respaldo que se construyó sobre el cabezal a partir de aceros que se colocaron en

este mediante barrenos de  $\varnothing$  50 mm practicados en el cabezal en la posición adecuada y rellenos posteriormente con resina. En el otro extremo, apoyó sobre un tacón de hormigón simple de  $R'_{bk} = 10$  MPa, y se construyó sobre una capa de mejoramiento compactado al 95 % del Próctor Standard.

### 2.1.2 Materiales utilizados.

El material utilizado para la elaboración de los elementos del puente es el hormigón armado donde se empleó hormigón de calidad de 30 MPa ( $300 \text{ kg/cm}^2$ ) tanto para el hormigonado *in-situ* como en las piezas prefabricadas y se empleó acero estructural ASTM 0615 (G-40) con resistencia característica,  $R_{ak} = 300$  MPa, según la NC 7-2002: Barras de Acero para Refuerzo de Hormigón; siendo este el que se define en el Catálogo de Elementos prefabricados y los planos del proyecto.

### 2.1.3 Estado de Deterioro del puente.

Después de varios años de explotación se presentó en el año 2011 y 2013 una propuesta para la reparación de dicho puente debido al deterioro que ya presentaba. Ninguno de estos proyectos de reparación ha sido ejecutado, por lo que el estado actual del puente es:

- Juntas de dilatación del puente en mal estado.



*Figura 2.4: Juntas de dilatación en mal estado. (Elaboración propia)*

- Pérdida de la sección en vigas y elementos de apoyo debido a la corrosión del acero.



*Figura 2.5: Pérdida de sección en los elementos estructurales. (Elaboración propia)*

- Presencia de vida vegetal en la estructura.



*Figura 2.6: Presencia de vegetación en la estructura. (Elaboración propia)*

- Grandes baches y pérdida de la capa de rodadura.



*Figura 2.7: Bacheo y pérdida de la capa de rodadura. (Elaboración propia)*

- Agrietamiento en las columnas.
- Presencia de humedad debido al estancamiento de agua en algunos elementos.



*Figura 2.8: Agrietamiento y presencia de humedad. (Elaboración propia)*

Para su reparación en el informe técnico del (Ing. Clemer, 2013) se puntualizaron las siguientes recomendaciones:

- Considerar una estructura continua en los apoyos interiores (pilas), eliminando las juntas, tan perjudiciales tanto para la losa del tablero como para los cabezales, pues se minimiza la entrada de agua superficial, polvo, grasas, tierra y otros agentes que atentan contra la integridad de esos elementos.
- Colocación de aparatos de apoyo de elastómero de tipo zunchado debajo de cada una de las vigas en sus extremos sobre los cabezales, capaces de acomodar y transmitir los movimientos de rotación y traslación a la que estará sometida la superestructura.
- Colocación de junta de calzada sólo en los estribos, en este caso se propone un perfil de compresión de neopreno, capaz de asimilar los desplazamientos de la superestructura y al mismo tiempo eliminar la entrada de agua y otros agentes hacia el estribo.
- Proyección de los elementos con recubrimientos según normativas actuales, superiores a los empleados en la época en que se construyó la obra.

- Entre los trabajos preliminares a realizar una vez que se ha retirado la estructura actual, es la de limpieza e inspección detallada de los cabezales con el fin de determinar posibles grietas y desconchados, lo cual conllevaría realizar algún trabajo de reparación en los mismos. De ser necesario, dicha reparación se realizará con mortero reparador *Maxrest* u otro similar.

## 2.2 Descripción del modelo.

### 2.2.1 Geometría y vínculos de los elementos:

En la realización del modelo computacional en el Sap2000 se emplearon para cada elemento estructural las medidas correspondientes tomadas de la memoria descriptiva del proyecto consultado como referencia, así como los planos existentes del mismo.

*Tabla 2.1 Dimensiones de vigas y columnas*

<i>Elementos</i>	<i>Secciones [m]</i>	<i>Longitudes [m]</i>
Viga cabezal	0.7x0.62	17.4
Viga Interior	B1=1.02	13.62
	B2=0.4	
	B3=0.4	
	B4=0.2	
	D1=0.9	
	D2=0.1	
	D3=0	
	D4=0.05	
	D5=0	
Viga Exteror	D6=0.75	13.62
	B1=1.24	
	B2=0.4	
	B3=0.4	
	B4=0.2	
D1=0.9		

	D2=0.1	
	D3=0	
	D4=0.05	
	D5=0	
	D6=0.75	
Columna	0.6x0.7	5

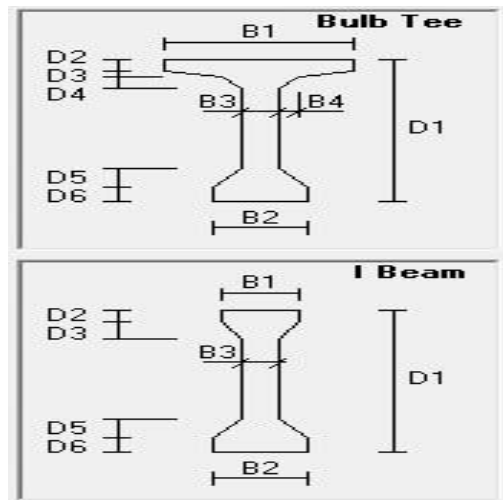


Figura 2.9: Dimensiones de las secciones de las vigas interiores y exteriores. (SAP2000).

Tabla 2.2 Dimensiones de la losa.

Elemento	Sección [m]	Longitud [m]
Losa	12.5 x 0.20	70

En el modelo se agregaron como elementos tipo *frames*, a las vigas tanto longitudinales como transversales y a las columnas. La losa se diseñó como un elemento tipo *Shell*.

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 de las columnas al suelo se asumieron como empotramientos teniendo en cuenta su cimentación 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 5 columnas y vigas de cabezal, abarcando 4 luces de 3.6 m cada una.

### 2.2.2 Comportamiento de los materiales.

Anteriormente en el epígrafe 2.1.2 fue definido y descrito el material utilizado en los elementos estructurales del puente que es el hormigón armado, según lo especificado en el proyecto y esos mismos datos fueron tomados para la concepción del modelo, donde se puede ver el comportamiento del mismo, teniendo en cuenta que se realizó un modelo lineal-elástico, considerando que en estudios anteriores se ha asumido de este modo y se han obtenido buenos resultados.

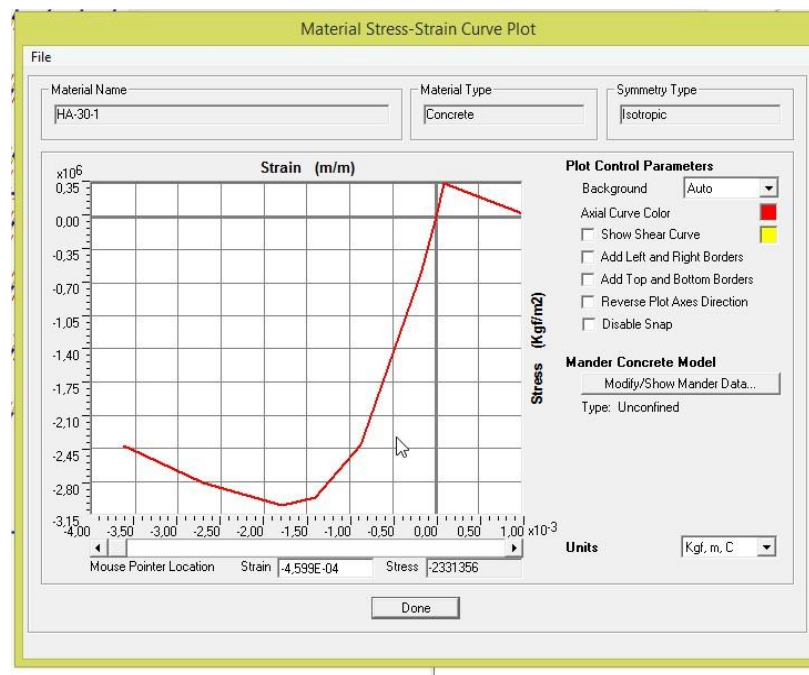
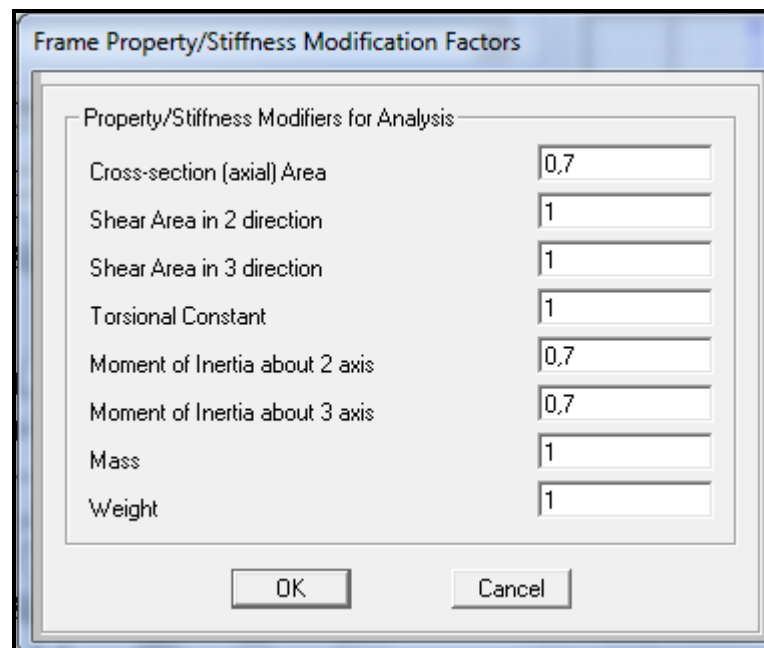


Figura 2.10: Imagen de la Curva de comportamiento del Hormigón Armado (el SAP 2000)

Existen vigas longitudinales, que como ya se mencionó anteriormente, presentan un alto grado de deterioro debido a la corrosión, donde se observa la pérdida de sección de estos elementos, lo que se tiene en cuenta en el modelo. Para poder asumir este grado

de deterioro, se asignaron elementos *frames*, a los cuales se les modificaron algunas propiedades de las mostradas a continuación:



*Figura 2.11: Ventana que muestra los factores a modificar en las secciones (el SAP 2000)*

En el modelo, las propiedades de “*Cross-section (axial) area*” y *Moment of Inertia about 2 and 3 axis*, se les modificó sus valores, reduciéndose la resistencia de los elementos mencionados antes, donde se asumió un valor de 0.7, debido a que las secciones van a tener pérdidas aproximadas a un 30 % y así reducir la rigidez de los mismos para obtener resultados más cercanos a la realidad

### **2.2.3 Cargas actuantes.**

Según lo planteado en (NC: 733-2009) las cargas se considerarán en las combinaciones de este proyecto serán las siguientes:

#### **Peso propio según los materiales de la estructura y sus accesorios:**

El peso de los elementos de las estructuras se calcula a partir de los volúmenes de acuerdo a las dimensiones del proyecto en función de los pesos volumétricos

componentes en correspondencia. En el caso de los accesorios tales como: rellenos, pavimentos, contenes, aceras, pretilas, juntas, tuberías, cables, postes, luminarias, se deben determinar en cada caso de acuerdo a la clase, tipo y material del mismo. (NC733-2009).

Tabla 2.3 Peso Específico de los Materiales

<i>Materiales Utilizados</i>	<i>Peso Volumétrico KN/m<sup>3</sup></i>
Hormigón Armado compactación normal (agregados normales).	25
Hormigón Asfáltico	23
Hormigón Armado compactación mecánica (agregados normales).	24

Fuente: (NC283 2003). Densidad de Materiales Naturales, Artificiales y de Elementos de

Construcción como carga de Diseño.

**Cargas accidentales móviles:** Para los puentes de autopistas, carreteras y urbanos el diseño se deberá realizar con el vehículo **MS-32** y con el vehículo **NK-80** de acuerdo a las disposiciones establecidas en la presente norma.

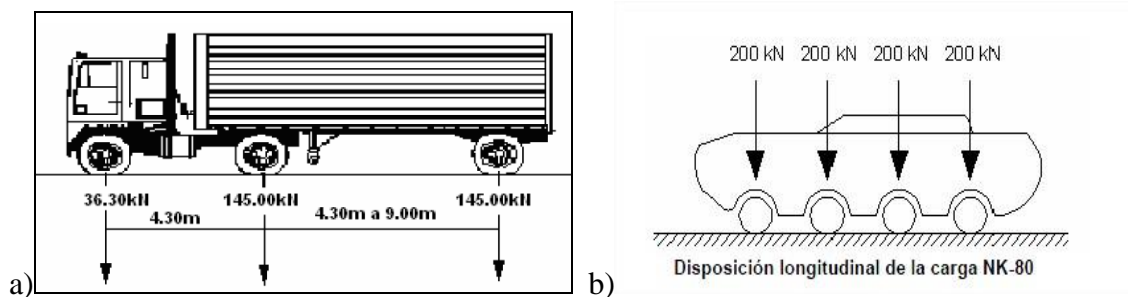


Figura 2.12: a) Vehículo MS-32 y b) Vehículo NK-80.

Tabla 2.4 Características del vehículo de diseño MS-32

No.	Características Principales	Unidad de medida	MS-32
1	Peso del vehículo	KN	326.30
2	Peso por eje		
	Eje delantero	KN	36.30
	Eje tándem intermedio	KN	145.00
	Eje tándem trasero.	KN	145.00
3	Ancho del neumático		
	Delantero	m	0.25
	Trasero	m	0.50
4	Longitud del área de contacto del neumático con el pavimento.	m	0.20
5	Distancia entre ejes		
	Delantero- intermedio	m	4.30
	Intermedio- trasero	m	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.		

Tabla 2.5 Características del vehículo de diseño NK-80

No.	Características Principales	Unidad de medida	NK-80
1	Peso del vehículo	KN	800.00
2	Peso por eje	KN	200.00
3	Ancho del neumático	m	0.80

4	Longitud del área de contacto del neumático con el pavimento (paralelo al sentido del tránsito)	m	0.20
5	Distancia entre ejes	m	1.20
6	Ancho nominal del vehículo		No definido

**Fuerza Centrípeta:** Se tiene en cuenta según lo planteado en la NC 733-2009 de Carreteras, puentes y alcantarillas que los puentes ubicados en curvas horizontales del trazado de la vía, deberán ser capaces de soportar la fuerza centrífuga que genera la carga vertical móvil que transita a la velocidad de diseño. Se habrá de determinar la fuerza centrífuga para puentes en curvas de radio menores o iguales a 600,00 m para cada senda de tránsito, mediante la fórmula:

$$F_c = \frac{P * V^2}{127 * R} \quad (2.1)$$

$$127 * R$$

Donde:

**FC:** fuerza centrífuga (kN)

**P:** peso del vehículo (kN)

**V:** velocidad de diseño de la vía (km/h)

**R:** radio de curvatura (m)

El valor de fuerza centrífuga calculado para el vehículo MS-32, para una velocidad de diseño de 70 Km/h y radio de curvatura de 305.858, es de 41 kN. Para el vehículo NK-80 no se calcula fuerza centrífuga debido a que tiene una velocidad de circulación muy pequeña que no influye en el modelo.

La fuerza centrífuga se deberá considerar aplicada a 1,80m sobre el nivel de la rasante.

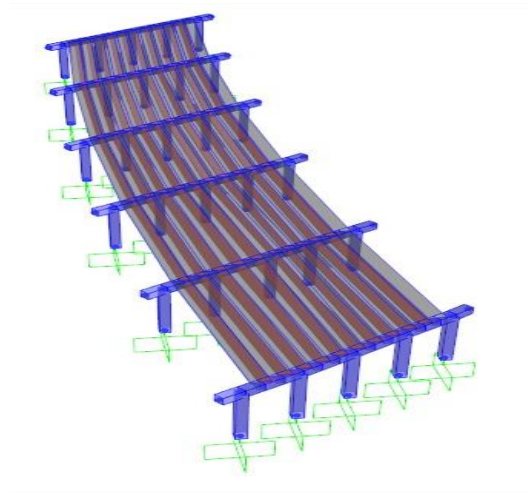
**Otras cargas consideradas:** Además se tendrán en cuenta en el diseño la carga de viento sobre el puente y la carga aportada por la lluvia cuando cae sobre todo el área de la losa del puente.

**Combinaciones de cargas:** Las combinaciones de cargas a introducir en el modelo según la NC 450-2006: Edificaciones. Factores de Carga o Ponderación, son:

$$1,2 (G) + 1,6 (Q) \quad (2.2)$$

$$1,2 (G) + 1,4 (W) + 0,5 (Q) \quad (2.3)$$

Partiendo de la recopilación de los datos expuestos anteriormente, estos son introducidos en el *software* SAP 2000 para la realización de la modelación del puente y observar el comportamiento del mismo ante las condiciones y cargas que se le imponen.

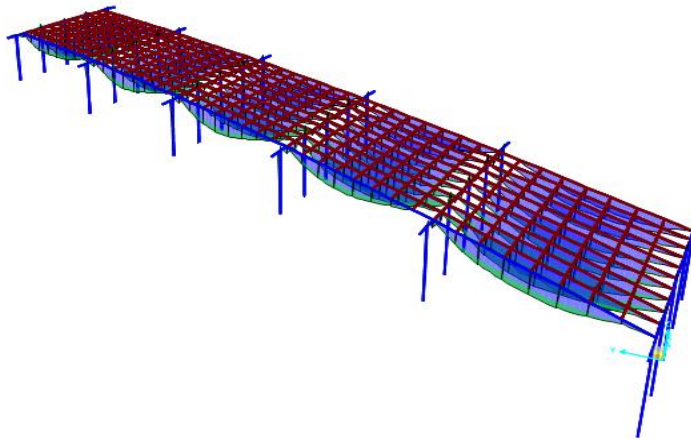


*Figura 2.13: Imágenes del modelo en el Sap2000.*

#### **2.2.4 Validación del modelo.**

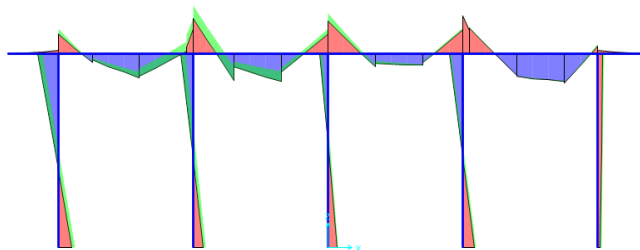
Aunque no exista ninguna documentación de pruebas de cargas aplicadas a este puente para realizar una correcta validación del modelo creado en el SAP2000, se determinó que el diseño está correcto si su comportamiento bajo la acción de las distintas combinaciones de carga, cumple con los siguientes requisitos:

- Las vigas longitudinales en sus apoyos sobre los cabezales (vigas transversales), sus momentos son igual a cero.
- En las vigas longitudinales, el mayor momento se encontrará en el centro de las mismas.



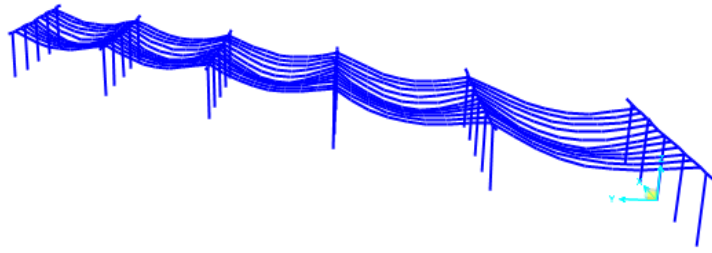
*Figura 2.14: Imagen del modelo donde se evidencia el comportamiento de las vigas Longitudinales. (SAP2000).*

- Los cabezales (vigas transversales), tendrán momentos negativos y positivos.



*Figura 2.15: Imagen del modelo donde se muestra el comportamiento de las vigas transversales. (SAP2000).*

- Las mayores deformaciones se encuentran en los puntos más cercanos a donde circulan las cargas móviles.



*Figura 2.16: Imagen del modelo donde se observa el comportamiento de las deformaciones cuando el vehículo pasa por el centro del puente. (SAP2000).*

### **2.2.5 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 y tipos de vehículos.

1era serie de modelos: El primer modelo concebido proyecta el vehículo de diseño MS-32 que se traslada sobre el puente por el carril izquierdo siguiendo la trayectoria sobre las vigas # 53, la # 359, la # 555, la # 709, la # 849 en una sola dirección, y posición.

2da serie de modelos: El segundo modelo concebido proyecta el vehículo de diseño MS-32 que se traslada sobre el puente por el carril derecho siguiendo la trayectoria sobre las vigas # 933, la # 793, la # 639, la # 387, la # 114 en una sola dirección y posición contraria a la del primer modelo.

3ra serie de modelos: El tercer modelo concebido proyecta el vehículo de diseño NK-80 que se traslada sobre el puente por el centro del mismo siguiendo la trayectoria sobre las vigas # 67, la # 373, la # 597, la # 737, la # 891 en una sola dirección y posición.

### **2.2.6 Calibración de malla.**

Para obtener una correcta calibración se tuvo que mallar el área de la losa varias veces, es decir, ir aumentando la cantidad de elementos *Shell*, comparando el resultado de las



solicitaciones de cada mallado hasta obtener el análisis deseado, de no ser así cuando creas un elemento tipo área de grandes dimensiones empleando el método de elementos finitos, las tensiones en su interior son constantes, algo que no es cierto, ya que si existen tensiones debido al peso de los elementos antes mencionados.

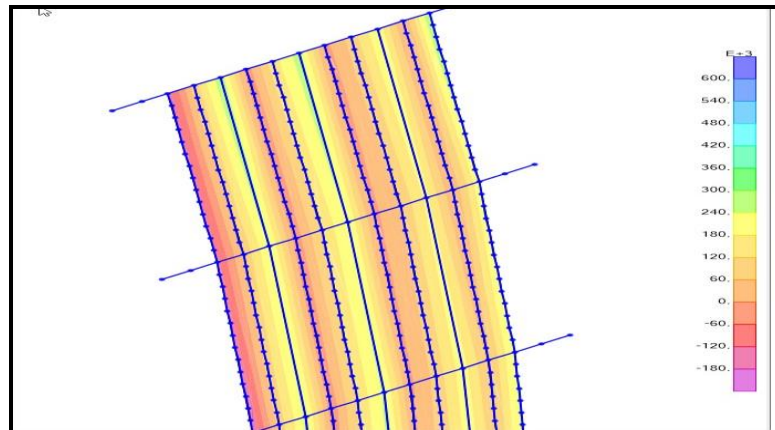


Figura 2.17: Resultados obtenidos del primer mallado (SAP2000).

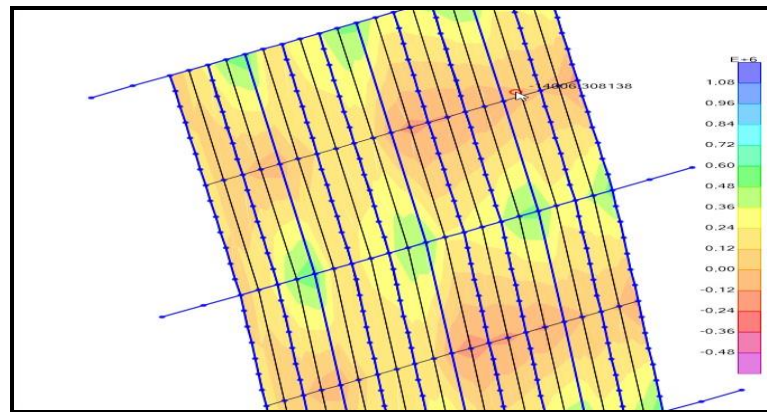


Figura 2.18: Resultados obtenidos en el segundo mallado (SAP2000).

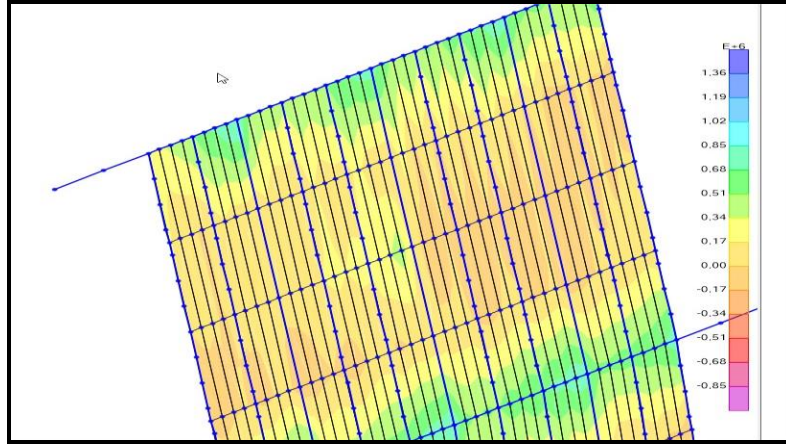


Figura 2.19: Resultados obtenidos en el tercer mallado (SAP2000).

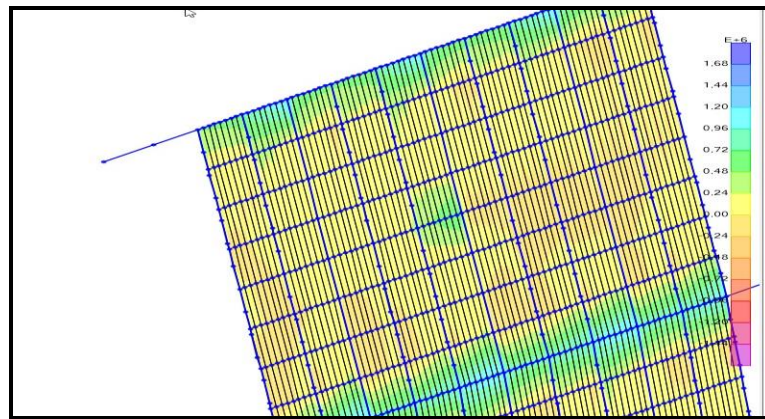


Figura 2.20: Resultados obtenidos en el cuarto mallado (SAP2000).

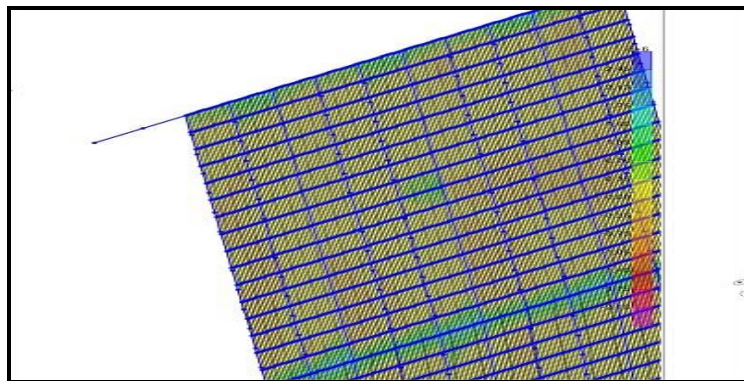


Figura 2.21: Resultados obtenidos en el quinto mallado (SAP2000)

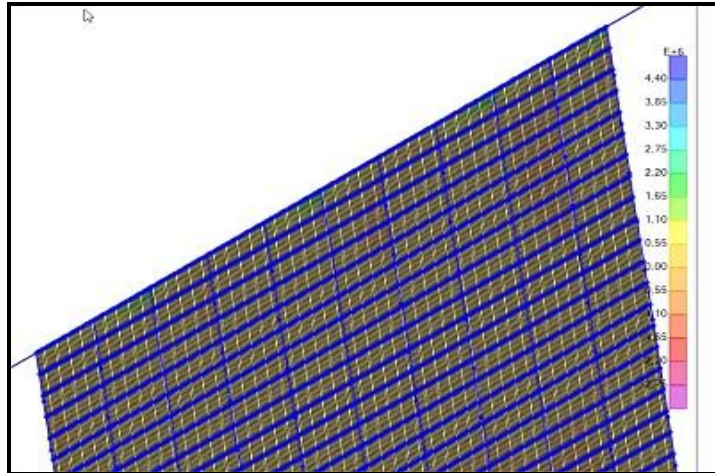


Figura 2.22: Resultados obtenidos en el último mallado. (SAP2000).

En los siguientes gráficos se pueden observar los resultados alojados por el SAP2000, que representan a la cantidad de elementos en cada mallado y las tensiones obtenidas en cuatro puntos específicos de la estructura. En ellos se observa que en un primer momento las tensiones van aumentando pero, ya a partir del séptimo mallado empiezan a tener un comportamiento estable, lo que garantiza que el modelo está correctamente diseñado.

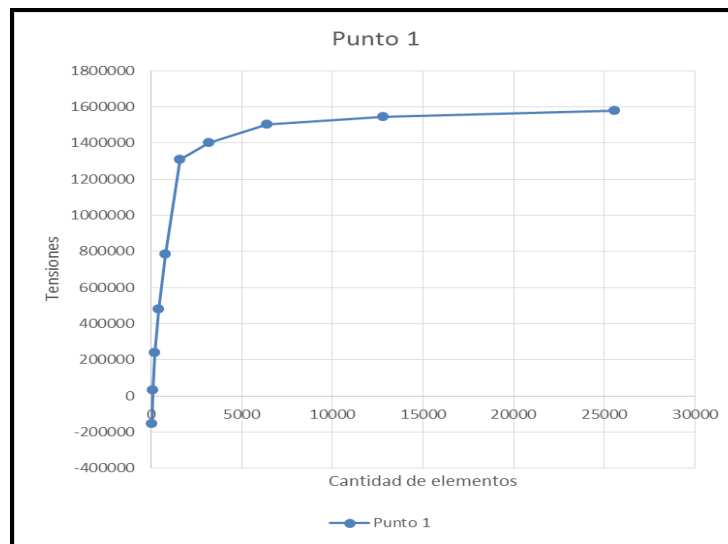
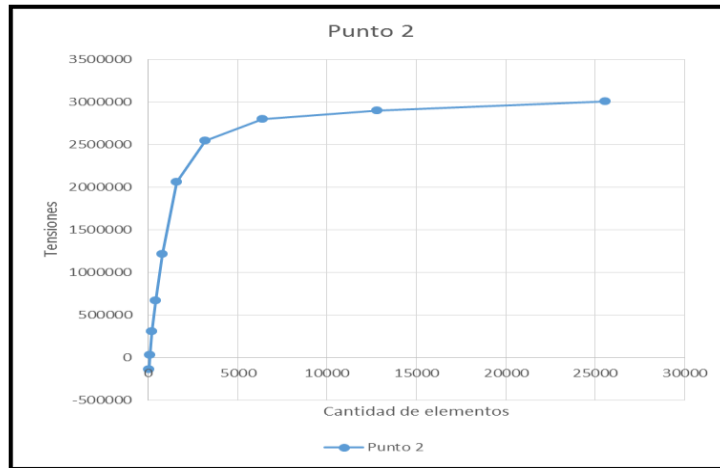
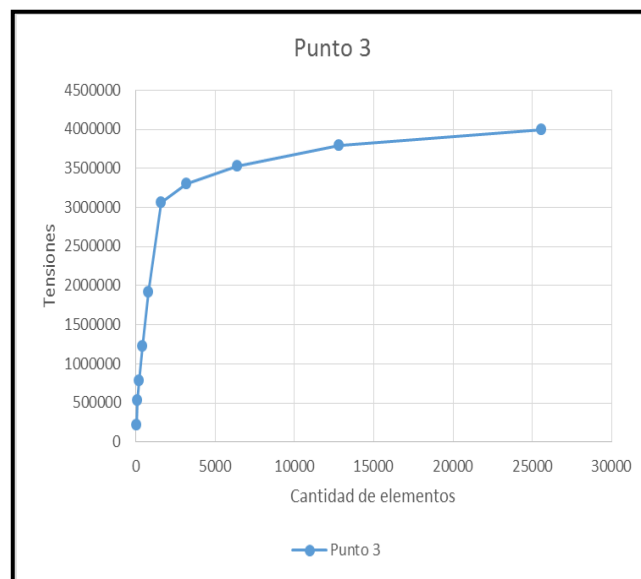


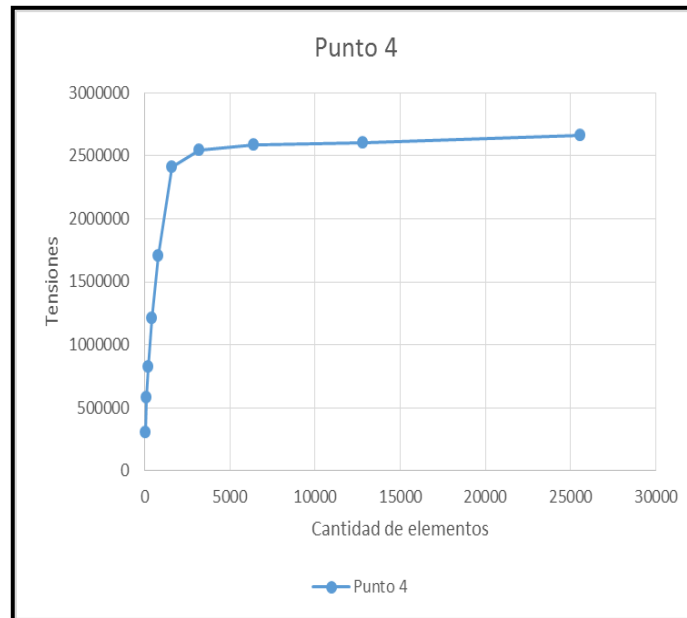
Figura 2.23: Resultados de Cantidad de elementos contra Tensiones obtenidos por el SAP2000 en el Punto 1.



*Figura 2.24: Resultados de Cantidad de elementos contra Tensiones obtenidos por el SAP2000 en el Punto 2.*



*Figura 2.25: Resultados de Cantidad de elementos contra Tensiones obtenidos por el SAP2000 en el Punto 3.*



*Figura 2.26: Resultados de Cantidad de elementos contra Tensiones obtenidos por el SAP2000 en el Punto 4.*

### **2.2.7 Conclusiones Parciales.**

La estructura corresponde a un puente de elementos de la tipificación cubano-soviética para puentes de carretera, como paso superior de la circunvalación, que salva los obstáculos de la llamada carretera de la Jaiba y el Ferrocarril Central en las afueras de la ciudad de Matanzas, y al mismo tiempo permitiendo, mediante la construcción del paso superior, el cruce con la vía del Ferrocarril Central. Es un puente de estribos abiertos y aproches recubiertos con losas de Hormigón Armado. Tiene cinco luces de 14 m aproximadamente, enmarcadas en cuatro pórticos de pila de cinco columnas de sección de 0.6x0.7 m, con cabezal de sección de 0.7x0.62 m. Toda la estructura es prefabricada. Su sección transversal se conforma con 11 vigas, el tablero, la calzada de circulación, de 8 metros de ancho, con aceras a ambos lados y pretilas de protección.

En la realización del modelo de este puente en el SAP2000, se utilizaron las medidas definidas en el proyecto, sin violar ningún dato establecido. Se realizó una inspección visual para una valoración del estado actual del puente, determinando que es necesario un

rápido mantenimiento debido a los problemas de pérdida de sección en los elementos de la estructura por la corrosión del acero, aunque no es el único padecimiento observado, si se puede asumir, que es el más grave. Para establecer las cargas actuantes, se asumieron los valores reales de las densidades y dimensiones de sus elementos. Los vehículos de diseños establecidos fueron el MS-32 y el NK-80, por lo cual se tienen en cuenta tres estados de cargas diferentes, con variaciones en el tipo de vehículo y su posición, para analizar el comportamiento que trae consigo el paso de los mismos y las deformaciones que provocan a la estructura.

## CAPÍTULO 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

### 3.1 Análisis de los resultados obtenidos en el modelo del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas.

Una vez confeccionados los modelos computacionales se pueden obtener los resultados que permiten conocer el comportamiento real de la estructura ante las cargas que le fueron impuestas. Se toman en cuenta los resultados de los diagramas de las Deformaciones máximas, los momentos máximos en las vigas, los momentos máximos en la losa del tablero, así como los valores de momentos flectores y de fuerza axial en las columnas.

#### 3.1.1 Deformaciones

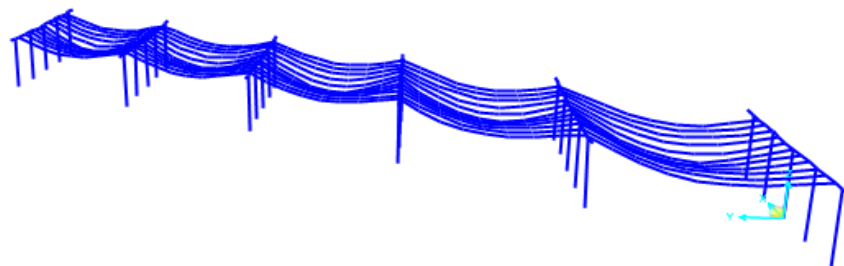
Al analizar el resultado de los diagramas de Deformaciones en los modelos computacionales como resultado de los diferentes escalones de carga a los que fue sometida la estructura, es notable la similitud existente a simple vista entre los mismos, mostrando una mayor flecha en las vigas de los extremos.

Según el análisis realizado los valores obtenidos en el *software* de deformación máxima en cada estado de carga son:

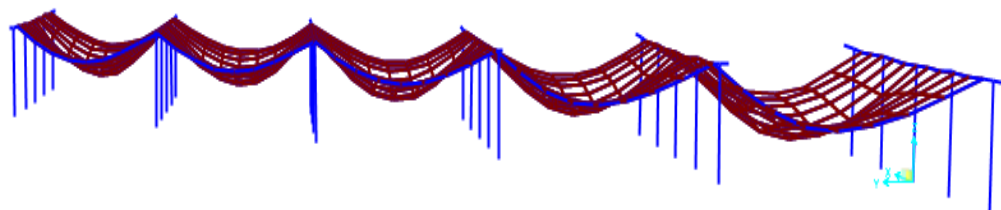
*Tabla 3.1 Valores de Deformación en cada Estado de carga.*

<i>Estados de cargas</i>	<i>Deformación (m)</i>
1	0.0095
2	0.0091
3	0.0113

El mayor valor de deformación máxima entre los tres estados según el análisis realizado es de 0.0113 m.



*Figura 3.1 Diagrama de deformaciones de los modelos computacionales del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas. Vista Plano 3D. (SAP2000).*



*Figura 3.2 Diagrama de deformaciones de los modelos computacionales del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas. Vista Plano 3D. (SAP2000).*

### **3.1.2 Momentos Flectores.**

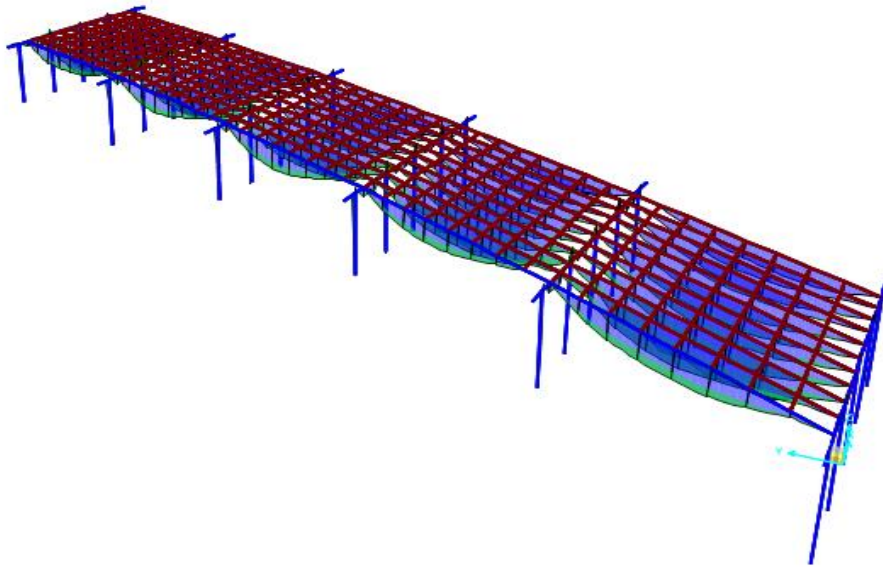
Los resultados de los Momentos en los elementos Vigas y Losa del puente fueron similares a los obtenidos en el análisis de las Deformaciones. A pesar de la variación en los vehículos y cargas en cada estado, los valores de momento para estos elementos



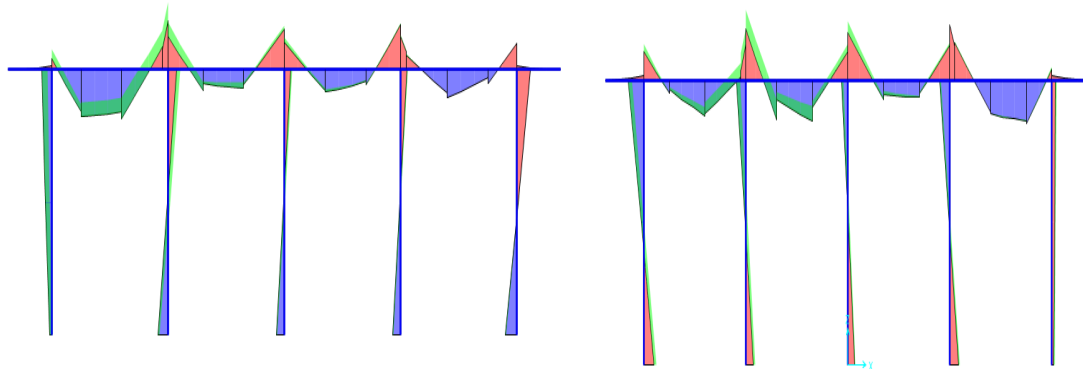
fueron los mismos debido a que el tipo de vehículos no influye, sólo se toma el que se encuentre sobre la posición más desfavorable.

*Tabla 3.2 Valores de Momentos máximos y mínimos.*

<i>Momentos</i>	<i>Estados</i>	<i>Viga Longitudinal (KN-m)</i>	<i>Viga transversal (KN-m)</i>
Momentos Positivos	1er	715	212
	2do	733	206
	3ro	1232	262
Momentos Negativos	1er	-	-288
	2do	-	-303
	3ro	-	-314



*Figura 3.3 Diagrama de Momentos en las vigas longitudinales del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas. Vista 3D. (SAP2000).*



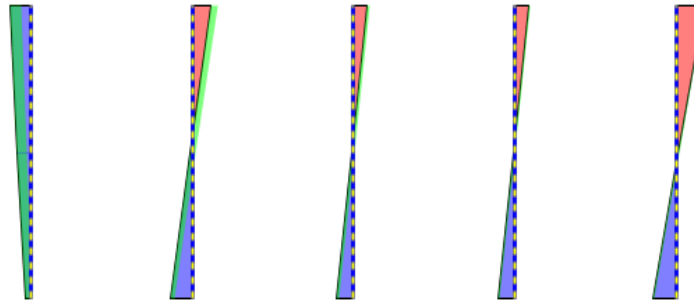
*Figura 3.4 Diagrama de Momentos en las vigas transversales del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas. Vista Plano XZ. (SAP2000).*

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.

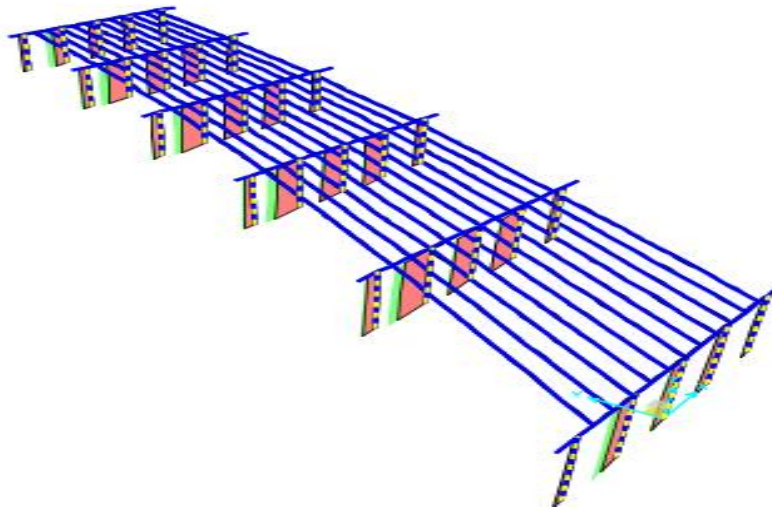
### **3.1.3 Momento Flector y Fuerza Axial en las columnas.**

Para cada columna existe un valor correspondiente de Momentos y Fuerza Axial para cada estado de carga que incluyen dos combinaciones de cargas, el cual no presenta variación entre cada modelo. A pesar de presentar diferencia de valores, el gráfico es igual para cada uno de los pórticos.

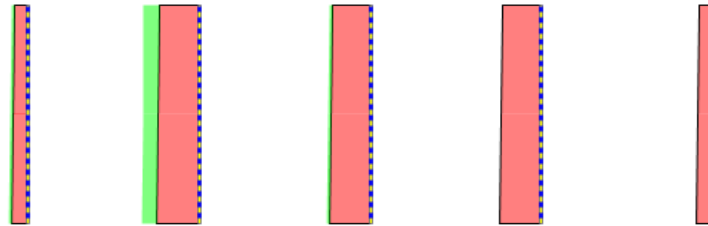


*Figura 3.5 Gráfico de Momento flector en las columnas. Vista Plano XZ. (SAP2000).*

Los valores del Momento flector en estos gráficos son prácticamente imperceptibles debido a que son realmente pequeños en comparación con los que presentan las vigas. Estos valores serán propiamente mostrados en las tablas donde también serán expuestos los valores de Fuerza Axial de las columnas.



*Figura 3.6 Gráfico de Fuerza Axial en las columnas del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas. Vista 3D. (SAP2000).*



*Figura 3.7 Gráfico de Fuerza Axial en las columnas del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas. Vista plano XZ. (SAP2000).*

A continuación se muestra una de las tablas de los valores de Momentos y Fuerza Axial de las columnas, para el primer estado de carga con la primera combinación de cargas. En los Anexos 1, 3, 5, 7 y 9, se pueden observar los demás valores para los otros dos estados con las dos combinaciones de cargas correspondientes.

*Tabla 3.3 Valores de Momentos y Fuerza Axial para las columnas en el primer Estado de carga con la primera combinación de carga.*

<i>No. de Columnas</i>	<i>Altura de columna</i>	<i>Tipo de solicitación</i>	<i>Axial (kN)</i>	<i>M 3(kN-m)</i>
1	0	Max	-221,266	-59,6078
1	5	Max	-158,285	92,6155
1	0	Min	-246,756	-72,8372
1	5	Min	-183,775	71,3915
2	0	Max	-531,38	-42,546
2	5	Max	-468,399	54,8842
2	0	Min	-885,159	-55,788
2	5	Min	-822,178	35,4482
3	0	Max	-520,607	-41,0791
3	5	Max	-457,625	38,0589
3	0	Min	-604,866	-45,0264
3	5	Min	-541,884	26,728

4	0	Max	-555,606	-50,7895
4	5	Max	-492,625	59,6307
4	0	Min	-561,877	-57,8571
4	5	Min	-498,896	53,1238
5	0	Max	-265,524	-11,8551
5	5	Max	-202,543	-21,6689
5	0	Min	-270,973	-18,457
5	5	Min	-207,992	-27,3087
78	0	Max	-403,353	-67,466
78	5	Max	-340,372	146,43
78	0	Min	-475,273	-83,3583
78	5	Min	-412,292	114,6061
79	0	Max	-1023,041	-10,1612
79	5	Max	-960,06	16,3732
79	0	Min	-1391,199	-20,8094
79	5	Min	-1328,218	-4,9964
80	0	Max	-968,554	-16,3256
80	5	Max	-905,572	21,2438
80	0	Min	-1052,737	-22,9337
80	5	Min	-989,755	7,0132
81	0	Max	-988,234	-26,2248
81	5	Max	-925,253	30,5406
81	0	Min	-995,818	-27,9648
81	5	Min	-932,837	28,5069
82	0	Max	-374,423	26,1579
82	5	Max	-311,441	-78,0779
82	0	Min	-377,891	24,4256
82	5	Min	-314,91	-79,6913
89	0	Max	-385,531	-48,3659
89	5	Max	-322,549	127,9854
89	0	Min	-454,821	-63,6194

89	5	Min	-391,84	97,0534
90	0	Max	-990,422	8,5396
90	5	Max	-927,44	-2,1077
90	0	Min	-1359,156	-1,3694
90	5	Min	-1296,174	-21,8393
91	0	Max	-943,697	2,0597
91	5	Max	-880,716	4,7354
91	0	Min	-1019,865	-4,8777
91	5	Min	-956,884	-9,5483
92	0	Max	-981,118	-7,5518
92	5	Max	-918,137	13,3091
92	0	Min	-988,591	-9,1272
92	5	Min	-925,609	11,6014
93	0	Max	-375,124	42,3213
93	5	Max	-312,143	-90,2286
93	0	Min	-378,048	40,8342
93	5	Min	-315,067	-91,7789
100	0	Max	-375,587	-34,3735
100	5	Max	-312,605	116,695
100	0	Min	-441,401	-50,3131
100	5	Min	-378,419	85,6508
101	0	Max	-983,555	22,6644
101	5	Max	-920,574	-15,6617
101	0	Min	-1352,099	13,0779
101	5	Min	-1289,117	-34,8306
102	0	Max	-923,702	16,3813
102	5	Max	-860,72	-8,5988
102	0	Min	-996,675	9,4669
102	5	Min	-933,693	-22,8011
103	0	Max	-969,371	7,7911
103	5	Max	-906,39	0,441

103	0	Min	-977,077	4,9569
103	5	Min	-914,096	-2,4959
104	0	Max	-374,965	55,5011
104	5	Max	-311,984	-99,1158
104	0	Min	-377,925	53,0028
104	5	Min	-314,943	-101,4504
111	0	Max	-367,678	-20,7768
111	5	Max	-304,697	104,872
111	0	Min	-431,11	-37,005
111	5	Min	-368,129	73,73
112	0	Max	-971,179	36,3094
112	5	Max	-908,198	-29,4817
112	0	Min	-1338,899	27,522
112	5	Min	-1275,918	-47,2606
113	0	Max	-932,961	29,0013
113	5	Max	-869,98	-18,6972
113	0	Min	-999,76	22,049
113	5	Min	-936,778	-32,6547
114	0	Max	-965,305	23,4534
114	5	Max	-902,324	-15,0225
114	0	Min	-973,028	20,1992
114	5	Min	-910,047	-18,3317
115	0	Max	-383,964	68,4732
115	5	Max	-320,982	-109,3697
115	0	Min	-386,632	65,6876
115	5	Min	-323,65	-111,7434
122	0	Max	-247,567	12,4809
122	5	Max	-184,586	52,9755
122	0	Min	-307,25	-2,872
122	5	Min	-244,269	23,0941
123	0	Max	-533,579	52,8877

123	5	Max	-470,597	-44,9042
123	0	Min	-880,507	43,5189
123	5	Min	-817,526	-62,8777
124	0	Max	-499,529	42,3071
124	5	Max	-436,547	-31,8684
124	0	Min	-519,059	37,1855
124	5	Min	-456,077	-40,2899
125	0	Max	-513,985	41,95
125	5	Max	-451,004	-34,2913
125	0	Min	-519,138	38,264
125	5	Min	-456,156	-37,9505
126	0	Max	-224,403	58,0268
126	5	Max	-161,422	-68,9486
126	0	Min	-225,857	54,9359
126	5	Min	-162,876	-71,3937

### 3.2 Comparación de los resultados obtenidos en el Modelo Computacional con los valores permisibles de la estructura.

#### 3.2.1 Diagrama de Interacción de las columnas del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas.

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 3.4 Combinación de valores de Momento y Fuerza Axial para las columnas.*

<i>Columnas</i>	
<i>Axial</i>	<i>M 3</i>
-6191,09	0



-6191,09	236,93
-6078,79	395,14
-5265,03	519,16
-4413,09	607,49
-3510,22	664,15
-3070,51	721,66
-2523,68	770,02
-1610,82	657,23
-355,26	384,9
1134	0

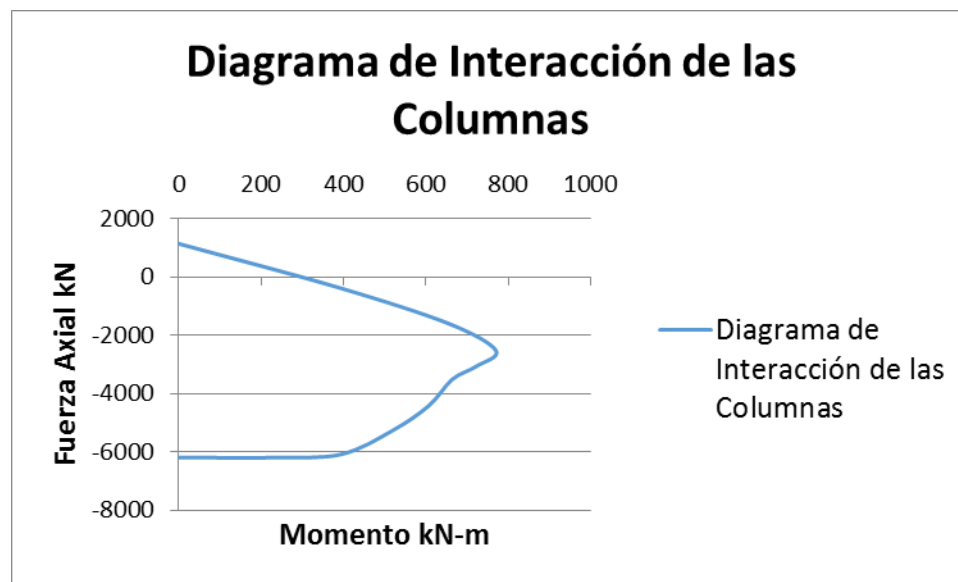
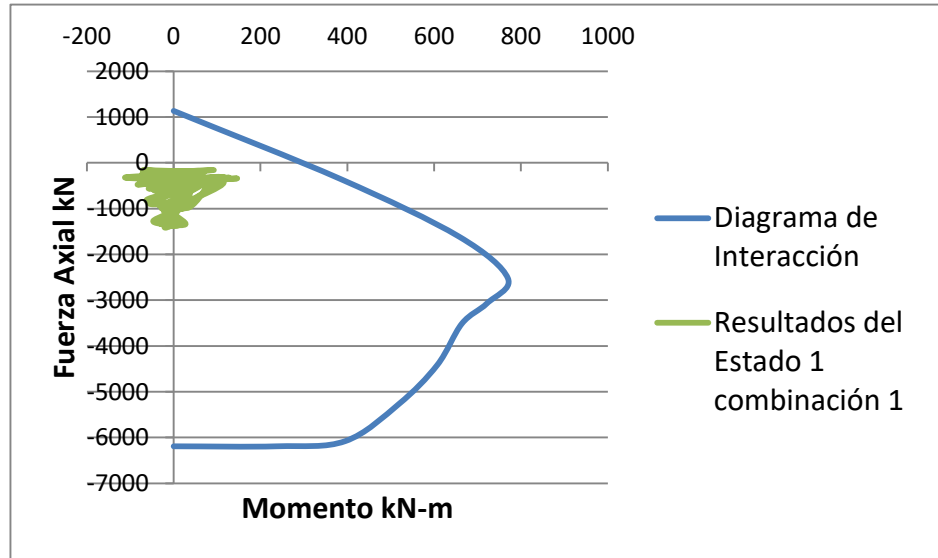


Figura 3.8: Diagrama de Interacción de las Columnas (SAP2000). (Elaborado en Excel a partir de los resultado del SAP)

Para un análisis final de las fuerzas que actúan sobre las columnas, es necesario colocar los datos anteriores en un solo diagrama de interacción, para cada estado de carga con cada combinación de carga, para así conocer si la curva que forman las combinaciones de Momento Flector y Fuerza Axial que puede soportar la estructura es mayor que la curva de las combinaciones de cargas reales actuales.

A continuación se muestra solo el diagrama de interacción para el Primer Estado con la Primera Combinación de Carga, los demás Diagramas para los otros dos estado con las dos combinaciones se podrán observar en los Anexos #2, #4, #6, #8, y #10.



*Figura 3.9: Diagrama de Interacción de las columnas en el Primer Estado con la Primera Combinación. (Elaborado en Excel a partir de los resultado del SAP.*

En la figura anterior se observa el Diagrama de Interacción, donde se determina que todos los puntos de las combinaciones de carga se encuentran por dentro del diagrama de interacción de las columnas por lo que se puede decir que las columnas resisten los esfuerzos a los que están sometidos.

### **3.2.2 Calculo de Momento Nominal en las vigas.**

Al igual que el análisis anterior que fue realizado con las columnas, es necesario conocer el Momento Nominal de las vigas y la losa, o sea el momento que puede resistir estos elementos y así compararlos con los valores que actúan hoy sobre ellos para comprobar el estado del puente.

En el caso de las vigas longitudinales y transversales es posible calcular el Momento Nominal a partir de la siguiente fórmula:

$$Mn(\text{viga})= 0.85*f'c*a*b(d-a/2)+fy*A's(d-ds)$$

Donde:

$$a=fy*(As-A's)/0.85*b*f'c$$

Con:

*Tabla 3.5 Datos Para el cálculo de las Vigas Longitudinales y Transversales.*

<i>Abreviaturas</i>	<i>Valor en las Vigas Transversales</i>	<i>Valor en las Vigas Longitudinales</i>
f'c	30 MPa	30 MPa
fy	300 MPa	300 MPa
A's	28.14 cm <sup>2</sup>	15.92 cm <sup>2</sup>
As	56.16 cm <sup>2</sup>	69.16 cm <sup>2</sup>
ds	7.5 cm	9.55 cm
d	62.5 cm	80.45 cm
a	5.31 cm	6.14 cm

Por tanto:

$$Mn (+) (\text{viga transversal})= 96671.54 \text{ KNcm} = 966.71 \text{ KNm.}$$

$$Mn (-) (\text{viga transversal})= 37858.4 \text{ KNcm} = 378.58 \text{ KNm.}$$

$$Mn(\text{viga longitudinal})= 123425.8 \text{ KNcm} = 1234.25 \text{ KNm}$$

### **3.2.3 Comparación de los resultados.**

Una vez que se han obtenido todos los resultados de las fuerzas actuantes a partir del *software* y se han calculado el de los valores permisibles de los elementos de la estructura tales como vigas, columnas y losa, se deben comparar para la correcta evaluación del estado del puente.

Si los valores actuantes son menores que los permisibles entonces se puede decir que la estructura resiste las cargas bajo las que trabaja actualmente y no debe presentar problemas para soportarlas.

Tabla 3.6 Comparación de Momentos Actuantes y permisibles de las Vigas.

<i>Elementos</i>	<i>Momentos (KNm)</i>	
	<i>Actuantes</i>	<i>Nominales</i>
Viga transversal	262	966.71
Viga Longitudinal	1232	1234.25

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.

### **3.3 Conclusiones Parciales.**

- El análisis de las solicitaciones que se generan en los elementos, vigas longitudinales, vigas transversales y columnas son considerablemente menores que las capacidades nominales de las secciones transversales de estos elementos, por lo cual la estructura resiste dichas solicitaciones.

## CONCLUSIONES

Una vez obtenidos todos los resultados de la investigación podemos concluir que:

1- 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.

2- Para realizar el análisis general de un puente es necesario seccionarlo y modelar sus elementos independientes. En el caso del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas, 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.

3- El Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas, requiere actualmente acciones de mantenimiento solamente, no intervenciones constructivas que interesen su capacidad estructural.

4- 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.

## RECOMENDACIONES

A partir de lo expuesto anteriormente se recomienda:

- 1- Ejecutar un proyecto de reparación del Puente del Paso Superior de la Circunvalación de la ciudad de Matanzas para corregir los deterioros que presenta.
- 2- Realizar el análisis de la capacidad de carga de todos los puentes de la ciudad para conocer el estado en el cual se encuentran estas estructuras actualmente y para soportar cargas futuras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbas, S. (1990) *“Nonlinear Analysis of Segmentally Erected Reinforced and Prestressed Concrete Cable Stayed Bridges”*. Informe UCB/SEMM - 90/24. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de California en Berkeley. California.
- ALFONSO, I., RODRÍGUEZ-IGLESIAS, V. & FIGUEROA, I. A. J. M. 2015. Potencialidades computacionales del Método de los Elementos Finitos para la modelación y simulación de materiales compuestos: revisión. 20, 293-303.
- Álvarez, R. D. (2017). "Análisis de superestructuras de puentes mediante diferentes métodos de cálculos y programas profesionales."
- Arnal (2000). Lecciones de puentes. Caracas, Venezuela, Universidad Central de Venezuela.
- Betancourt, G. H. (2015). "Problemática en intersecciones viales de áreas urbanas: causas y soluciones."
- Castaneda, C. Y. V. (2018). Modelación numérica de base para maquinaria tipo cuchilla del Central Mario Muñoz.
- CASTELLANOS-TORO, S., MARMOLEJO, M., MARULANDA, J., CRUZ, A. & THOMSON, P. 2018. *Frequencies and damping ratios of bridges through Operational Modal Analysis using smartphones*.
- Chalco, L. A. V. (2019). "Evaluación de puente colgante vehicular, mediante método de elementos finitos y análisis de vibraciones; caso Puente Cunyac."
- Chopra , A. (1995) *“Dynamics of Structures. Theory and Applications to Earthquake Engineering”*. Prentice Hall. Englewood Cliffs, Nueva Jersey.
- Clement, I. A. (2013). "Memoria descriptiva de la Reconstrucción Elevado Circunvalación Matanzas."

- COSTA, C., RIBEIRO, D., JORGE, P., SILVA, R., ARÊDE, A. & CALÇADA, R. 2016. *Calibration of the numerical model of a stone masonry railway bridge based on experimentally identified modal parameters. Engineering Structures, 123, 354-371.*
- Cruz, A. A. R. (2016). "Método para el análisis dinámico de puentes frente a cargas móviles."
- Flores, D. L., et al. (2009). "Como intervienen las fuerzas en la construcción de los puentes colgantes."
- García., R. D. (2019). "Análisis de la capacidad de carga del puente nuevo de Buey Vaca."
- Gillies, A. G. (1979) "*Post Elastic Dynamic Analysis of Three – Dimensional Frame Structures*". Informe No. 218. Universidad de Auckland. Nueva Zelanda.
- Gómez, J. D. (2015). "Puentes."
- GÓMEZ, M. Á. (2012). "Capítulo V. Modelación y Análisis Estructural de Edificios Altos. Diseño Estructural de Edificios Altos Tipo Torre Empleando Concreto de Alta Resistencia."
- González Arestuche, L. R. (2012). "Estudio del estado de los Puentes en la Carretera Central en su travesía por la provincia de Matanzas." 2 6: 19.
- Guzmán, M. (2008). "Consideraciones de diseño en la infraestructura de puentes carreteras."
- Herrera, L. L. (2005-2006). "Sistema de Gestión Integral de Puentes."
- LIN, W. & YODA, T. 2017. *Chapter Four - Loads and Load Distribution. In: LIN, W. & YODA, T. (eds.) Bridge Engineering. Butterworth-Heinemann.*
- Liu, K. et al., 2009. *Experimental and numerical analysis of a composite bridge for high-speed trains. Journal of Sound and Vibration, 320(1-2), pp.201-220. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022460X08006329>.*



- LIZARZA, J. T. C. 2000. Método de los elementos finitos para análisis estructural, Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Navarra.
- Manzanares, S. X. M. (2017). "Análisis del Puente con vigas pretensada, en la Parroquia de la Iberia, Perteneciente a la provincia del Oro."
- Martínez, J. C. (2004-2005). Estudio Aplicado de los costes de la prevención de Riesgos Laborales en la Construcción de Puentes de Hormigón. Tipología de Puentes. Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya.
- Morante, M. R. V. (2019). "Diseño de losa en el puente carrozable de concreto armado en Santa Elena."
- MÖLLER, D. P. 2014. *Introduction to Transportation Analysis, Modeling and Simulation, Springer.*
- NC733 (2009). Carreteras. Puentes y Alcantarillas. Requisitos de diseño y Métodos de cálculo. Cuba.
- Niño, J. A. F. (2007). "Diseño simplificado de puentes."
- NORMALIZACIÓN, N. C. S. 2017. Requisitos Básicos para Diseño y Construcción.
- Palta, J. L. A. (2009). "Simulación de Puentes Mediante el Software SAP 2000 y Calificación de materiales y soldaduras."
- Pérez, W. S. (2018). Modelación de las tensiones en las zonas cercanas a los ganchos de izares de las losas GP-IV.
- PÉREZ, H. A., GÓMEZ PILOTO, E. & ARMAS, N. D. J. R. D. A. E. I. 2006. Análisis Estructural de un Puente en la Autopista Matanzas-Varadero. Modelación y Análisis de su Capacidad.
- Powell, G. H. (1997) *“Concepts and Principles for the Application of Nonlinear Structural Analysis in Bridge Design.”, Informe No. UCB/SEMM-97/08. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de California en Berkeley, California.*

- Prieto, J. P. y. J. (2013). Corrosión del acero en elementos de Hormigón Armado: vigas y columnas.
- Quintana, E. d. J. V. (2000). "Criterios de modelación de puentes de concreto reforzado con fines de evaluación por desempeño y de análisis estructural."
- Rodríguez, J. K. A. P. y. M. A. S. (2017). "Campañas experimentales de vibración forzada en puentes en concreto."
- Rodríguez, R. R. (2015). "Obtención de un modelo de cargas verticales móviles para puentes de tipología cubana en la carretera Holguín –Moa."
- Romero., J. G. (2013). Determinación de la capacidad de carga para un puente en explotación.
- SIRCOVICH-SAAR, O. 2006. *Dynamics in the practice of structural design*, WIT Press.
- Stefano, M. A. y. S. (2017). "Análisis estructural y diseño de un puente colgante asimétrico sobre el río Mayo en el sector Churuyacu-Lamas, con aplicación del programa SAP2000."
- Such, M. (2014). "Simulación de cargas móviles sobre estructuras mediante un mallado móvil de elementos finitos."
- Toledo, R. G. (2019). "Análisis de la capacidad estructural del puente KM 2.151 del Ramal Dubrocq."
- White, G. (2010). "Introducción al análisis de vibraciones."
- Zubieta, C. R. M. y. O. J. T. "Análisis y diseño estructural de una nueva alternativa para el puente Aynamayo."

## ANEXOS

**Anexo 1 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 1 Combinación de Carga 2**

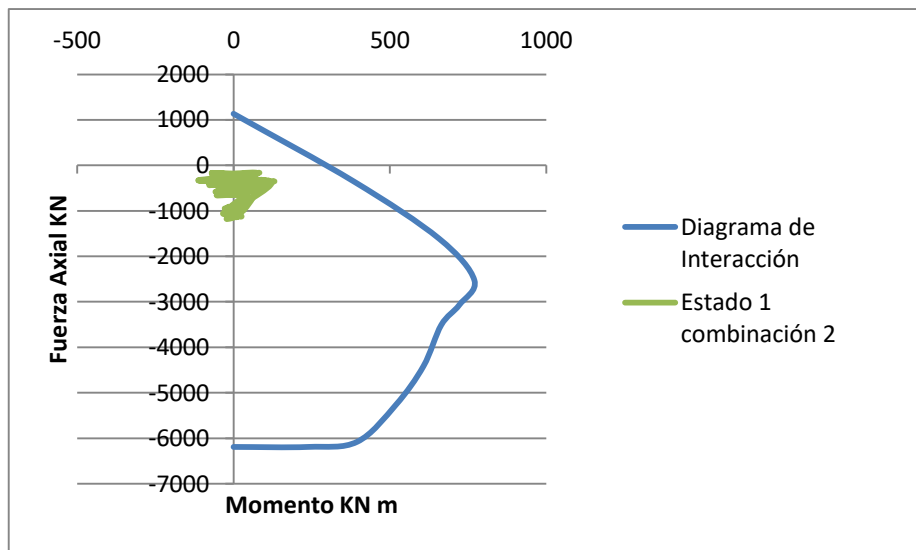
Frame	Station	OutputCase	StepType	P	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN-m
1	0	viento 1	Max	-226,092	-64,6745
1	5	viento 1	Max	-163,111	82,904
1	0	viento 1	Min	-234,058	-68,8087
1	5	viento 1	Min	-171,076	76,2715
2	0	viento 1	Max	-549,42	-50,1897
2	5	viento 1	Max	-486,438	52,0426
2	0	viento 1	Min	-659,976	-54,3278
2	5	viento 1	Min	-596,994	45,9689
3	0	viento 1	Max	-541,303	-46,776
3	5	viento 1	Max	-478,321	40,6726
3	0	viento 1	Min	-567,634	-48,0095
3	5	viento 1	Min	-504,652	37,1317
4	0	viento 1	Max	-578,848	-55,9108
4	5	viento 1	Max	-515,867	60,0691
4	0	viento 1	Min	-580,808	-58,1194
4	5	viento 1	Min	-517,827	58,0356
5	0	viento 1	Max	-273,924	-15,2742
5	5	viento 1	Max	-210,942	-24,2267
5	0	viento 1	Min	-275,627	-17,3372
5	5	viento 1	Min	-212,645	-25,9891
78	0	viento 1	Max	-414,627	-72,7162
78	5	viento 1	Max	-351,646	131,0246
78	0	viento 1	Min	-437,102	-77,6825
78	5	viento 1	Min	-374,121	121,0797
79	0	viento 1	Max	-1062,017	-19,2522
79	5	viento 1	Max	-999,035	16,629
79	0	viento 1	Min	-1177,066	-22,5797
79	5	viento 1	Min	-1114,085	9,951
80	0	viento 1	Max	-1009,31	-24,2376
80	5	viento 1	Max	-946,329	24,3466
80	0	viento 1	Min	-1035,617	-26,3027
80	5	viento 1	Min	-972,636	19,8996
81	0	viento 1	Max	-1030,929	-30,1461

81	5	viento 1	Max	-967,947	32,9657
81	0	viento 1	Min	-1033,299	-30,6899
81	5	viento 1	Min	-970,317	32,3301
82	0	viento 1	Max	-384,874	24,3138
82	5	viento 1	Max	-321,892	-79,8925
82	0	viento 1	Min	-385,957	23,7724
82	5	viento 1	Min	-322,976	-80,3967
89	0	viento 1	Max	-397,467	-53,6593
89	5	viento 1	Max	-334,485	113,251
89	0	viento 1	Min	-419,12	-58,4261
89	5	viento 1	Min	-356,139	103,5848
90	0	viento 1	Max	-1028,761	-0,3416
90	5	viento 1	Max	-965,779	-1,1115
90	0	viento 1	Min	-1143,99	-3,4382
90	5	viento 1	Min	-1081,009	-7,2776
91	0	viento 1	Max	-983,968	-5,554
91	5	viento 1	Max	-920,986	7,3571
91	0	viento 1	Min	-1007,77	-7,7219
91	5	viento 1	Min	-944,789	2,8935
92	0	viento 1	Max	-1024,042	-11,436
92	5	viento 1	Max	-961,06	15,7312
92	0	viento 1	Min	-1026,377	-11,9283
92	5	viento 1	Min	-963,395	15,1976
93	0	viento 1	Max	-385,261	40,5042
93	5	viento 1	Max	-322,28	-92,0396
93	0	viento 1	Min	-386,175	40,0395
93	5	viento 1	Min	-323,194	-92,5241
100	0	viento 1	Max	-387,342	-39,8777
100	5	viento 1	Max	-324,36	101,9623
100	0	viento 1	Min	-407,909	-44,8589
100	5	viento 1	Min	-344,927	92,261
101	0	viento 1	Max	-1022,249	14,4197
101	5	viento 1	Max	-959,268	-15,0041
101	0	viento 1	Min	-1137,419	11,4239
101	5	viento 1	Min	-1074,438	-20,9944
102	0	viento 1	Max	-963,68	9,239
102	5	viento 1	Max	-900,699	-6,3898
102	0	viento 1	Min	-986,484	7,0782
102	5	viento 1	Min	-923,503	-10,8281
103	0	viento 1	Max	-1012,805	3,581
103	5	viento 1	Max	-949,824	2,328

103	0	viento 1	Min	-1015,213	2,6953
103	5	viento 1	Min	-952,232	1,4102
104	0	viento 1	Max	-384,912	53,3861
104	5	viento 1	Max	-321,931	-101,2123
104	0	viento 1	Min	-385,837	52,6053
104	5	viento 1	Min	-322,856	-101,9419
111	0	viento 1	Max	-379,232	-26,1227
111	5	viento 1	Max	-316,251	89,9462
111	0	viento 1	Min	-399,054	-31,194
111	5	viento 1	Min	-336,073	80,2143
112	0	viento 1	Max	-1009,691	28,6706
112	5	viento 1	Max	-946,71	-28,5688
112	0	viento 1	Min	-1124,604	25,9245
112	5	viento 1	Min	-1061,622	-34,1247
113	0	viento 1	Max	-972,143	22,2441
113	5	viento 1	Max	-909,162	-16,7853
113	0	viento 1	Min	-993,018	20,0715
113	5	viento 1	Min	-930,036	-21,147
114	0	viento 1	Max	-1009,097	19,4576
114	5	viento 1	Max	-946,115	-13,6414
114	0	viento 1	Min	-1011,51	18,4407
114	5	viento 1	Min	-948,529	-14,6755
115	0	viento 1	Max	-394,046	66,5258
115	5	viento 1	Max	-331,064	-111,6478
115	0	viento 1	Min	-394,879	65,6553
115	5	viento 1	Min	-331,898	-112,3896
122	0	viento 1	Max	-255,18	8,2066
122	5	viento 1	Max	-192,199	37,1591
122	0	viento 1	Min	-273,831	3,4088
122	5	viento 1	Min	-210,849	27,8212
123	0	viento 1	Max	-553,14	45,213
123	5	viento 1	Max	-490,159	-43,8354
123	0	viento 1	Min	-661,555	42,2853
123	5	viento 1	Min	-598,574	-49,4521
124	0	viento 1	Max	-518,359	37,4116
124	5	viento 1	Max	-455,378	-30,5159
124	0	viento 1	Min	-524,462	35,8111
124	5	viento 1	Min	-461,481	-33,1476
125	0	viento 1	Max	-535,817	38,3376
125	5	viento 1	Max	-472,835	-33,5284
125	0	viento 1	Min	-537,427	37,1857

125	5	viento 1	Min	-474,445	-34,6719
126	0	viento 1	Max	-227,698	55,3706
126	5	viento 1	Max	-164,717	-69,4133
126	0	viento 1	Min	-228,153	54,4047
126	5	viento 1	Min	-165,171	-70,1775

**Anexo 2 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 1 Combinación de Carga 2**



**Anexo 3 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 1**

Frame	Station	OutputCase	StepType	P	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN-m
1	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-220,58	-59,8722
1	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-157,599	73,3323
1	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-222,113	-62,0457
1	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-159,132	71,6251
2	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-528,549	-46,3556
2	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-465,567	46,201

		v2			
2	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-532,735	-49,0113
2	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-469,753	43,508
3	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-523,377	-42,7496
3	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-460,395	43,588
3	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-542,235	-47,6149
3	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-479,253	35,9736
4	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-559,985	-51,1791
4	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-497,003	73,0228
4	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-906,611	-61,5427
4	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-843,63	53,4946
5	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-268,549	1,1307
5	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-205,568	-25,4419
5	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-342,718	-14,2596
5	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-279,737	-56,804
78	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-400,16	-67,1846
78	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-337,178	116,0957
78	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-403,993	-69,3774
78	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-341,012	114,0219
79	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-1017,401	-17,5582
79	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-954,42	13,4737
79	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1025,779	-19,8983
79	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-962,797	11,1145
80	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-970,882	-22,3188

80	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-907,901	35,5911
80	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1057,438	-29,5089
80	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-994,457	20,6934
81	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-994,497	-24,9338
81	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-931,516	46,1437
81	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1361,923	-35,0509
81	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1298,942	25,8525
82	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-375,675	39,9785
82	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-312,693	-78,1925
82	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-446,633	24,2248
82	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-383,652	-109,5886
89	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-384,217	-48,9817
89	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-321,236	99,1834
89	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-387,78	-50,9304
89	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-324,798	97,2069
90	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-984,459	0,5882
90	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-921,478	-3,4262
90	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-992,248	-1,4562
90	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-929,267	-5,4279
91	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-943,308	-4,1575
91	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-880,327	18,9612
91	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1029,724	-11,4521
91	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-966,743	4,0755
92	0	1.2 cp+ 1.6 cu	Max	-987,247	-7,1662

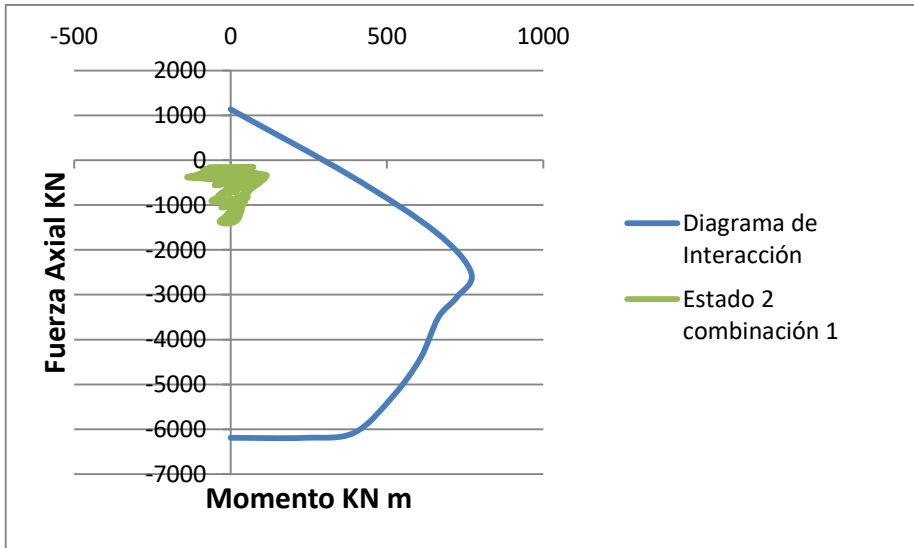


		v2			
92	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-924,266	29,2403
92	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1355,015	-17,0019
92	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1292,033	9,7521
93	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-375,979	54,9427
93	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-312,998	-89,9581
93	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-441,797	39,9349
93	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-378,816	-120,1674
100	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-374,961	-36,0162
100	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-311,98	87,8039
100	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-377,704	-37,1647
100	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-314,723	86,6356
101	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-977,519	14,8243
101	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-914,538	-17,3357
101	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-985,132	13,6588
101	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-922,151	-18,7981
102	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-923,439	10,0541
102	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-860,457	5,2218
102	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1000,027	2,9789
102	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-937,046	-9,1349
103	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-975,96	6,7216
103	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-912,979	16,1889
103	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1345,206	-2,7952
103	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1282,225	-2,8537

104	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-375,575	66,9559
104	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-312,594	-99,0332
104	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-436,744	52,6101
104	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-373,763	-128,6202
111	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-367,329	-22,449
111	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-304,348	76,0247
111	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-369,798	-23,7182
111	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-306,816	74,8159
112	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-964,225	29,3155
112	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-901,243	-30,5254
112	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-972,185	27,7707
112	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-909,204	-32,3323
113	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-930,603	22,6886
113	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-867,621	-4,9756
113	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1005,073	15,8714
113	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-942,092	-19,2712
114	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-971,891	22,1521
114	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-908,91	-0,4531
114	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1340,615	13,3228
114	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-1277,634	-18,3463
115	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-385,666	80,1175
115	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-322,684	-109,4743
115	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-444,673	65,5702
115	5	1.2 cp+ 1.6 cu	Min	-381,692	-138,8203

		v2			
122	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-246,617	13,2375
122	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-183,636	25,9022
122	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-249,787	8,9005
122	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-186,805	22,2031
123	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-526,543	47,8155
123	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-463,562	-44,2731
123	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-534,545	42,8495
123	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-471,563	-49,2338
124	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-497,062	39,0029
124	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-434,081	-21,3106
124	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-562,275	34,297
124	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-499,294	-33,5447
125	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-517,507	43,6585
125	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-454,526	-26,2308
125	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-870,498	34,44
125	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-807,517	-40,8207
126	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-224,575	66,7343
126	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Max	-161,594	-68,5051
126	0	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-250,57	54,4174
126	5	1.2 cp+ 1.6 cu v2	Min	-187,589	-89,9405

**Anexo 4 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 1**



**Anexo 5 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 2.**

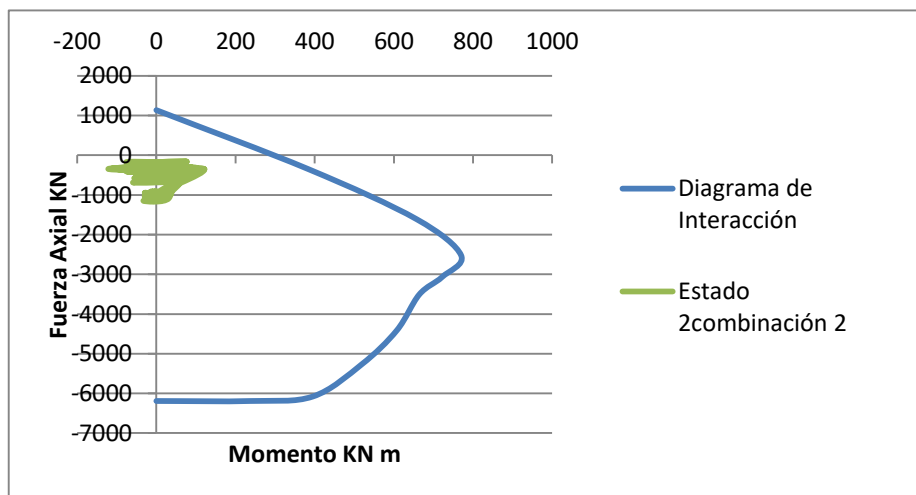
Frame	Station	OutputCase	StepType	P	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN-m
1	0	viento 2	Max	-225,878	-64,7572
1	5	viento 2	Max	-162,896	76,878
1	0	viento 2	Min	-226,357	-65,4364
1	5	viento 2	Min	-163,375	76,3445
2	0	viento 2	Max	-548,535	-51,3802
2	5	viento 2	Max	-485,553	49,3291
2	0	viento 2	Min	-549,843	-52,2101
2	5	viento 2	Min	-486,862	48,4876
3	0	viento 2	Max	-542,168	-47,298
3	5	viento 2	Max	-479,187	42,4005
3	0	viento 2	Min	-548,062	-48,8184
3	5	viento 2	Min	-485,08	40,021
4	0	viento 2	Max	-580,217	-56,0326
4	5	viento 2	Max	-517,235	64,2541
4	0	viento 2	Min	-688,537	-59,2712

4	5	viento 2	Min	-625,556	58,1515
5	0	viento 2	Max	-274,869	-11,2161
5	5	viento 2	Max	-211,888	-25,4058
5	0	viento 2	Min	-298,047	-16,0256
5	5	viento 2	Min	-235,065	-35,2064
78	0	viento 2	Max	-413,629	-72,6282
78	5	viento 2	Max	-350,648	121,5452
78	0	viento 2	Min	-414,827	-73,3135
78	5	viento 2	Min	-351,846	120,8971
79	0	viento 2	Max	-1060,254	-21,5637
79	5	viento 2	Max	-997,273	15,7229
79	0	viento 2	Min	-1062,872	-22,295
79	5	viento 2	Min	-999,891	14,9857
80	0	viento 2	Max	-1010,038	-26,1105
80	5	viento 2	Max	-947,056	28,8301
80	0	viento 2	Min	-1037,086	-28,3574
80	5	viento 2	Min	-974,105	24,1746
81	0	viento 2	Max	-1032,886	-29,7427
81	5	viento 2	Max	-969,905	37,8416
81	0	viento 2	Min	-1147,706	-32,9043
81	5	viento 2	Min	-1084,725	31,5006
82	0	viento 2	Max	-385,265	28,6327
82	5	viento 2	Max	-322,283	-79,9284
82	0	viento 2	Min	-407,439	23,7097
82	5	viento 2	Min	-344,458	-89,7396
89	0	viento 2	Max	-397,056	-53,8518
89	5	viento 2	Max	-334,075	104,2504
89	0	viento 2	Min	-398,17	-54,4607
89	5	viento 2	Min	-335,188	103,6327
90	0	viento 2	Max	-1026,898	-2,8264
90	5	viento 2	Max	-963,916	-1,5235
90	0	viento 2	Min	-1029,332	-3,4653
90	5	viento 2	Min	-966,35	-2,149
91	0	viento 2	Max	-983,846	-7,4969
91	5	viento 2	Max	-920,865	11,8027
91	0	viento 2	Min	-1010,851	-9,7764
91	5	viento 2	Min	-947,87	7,1509
92	0	viento 2	Max	-1025,957	-11,3155
92	5	viento 2	Max	-962,975	20,7097
92	0	viento 2	Min	-1140,884	-14,3891
92	5	viento 2	Min	-1077,903	14,6197

93	0	viento 2	Max	-385,529	44,4484
93	5	viento 2	Max	-322,547	-91,9551
93	0	viento 2	Min	-406,097	39,7585
93	5	viento 2	Min	-343,115	-101,3955
100	0	viento 2	Max	-387,146	-40,3911
100	5	viento 2	Max	-324,165	92,9338
100	0	viento 2	Min	-388,003	-40,75
100	5	viento 2	Min	-325,022	92,5687
101	0	viento 2	Max	-1020,363	11,9696
101	5	viento 2	Max	-957,382	-15,5272
101	0	viento 2	Min	-1022,742	11,6054
101	5	viento 2	Min	-959,761	-15,9842
102	0	viento 2	Max	-963,598	7,2617
102	5	viento 2	Max	-900,616	-2,0709
102	0	viento 2	Min	-987,532	5,0507
102	5	viento 2	Min	-924,55	-6,5574
103	0	viento 2	Max	-1014,864	3,2467
103	5	viento 2	Max	-951,883	7,2492
103	0	viento 2	Min	-1130,254	0,2728
103	5	viento 2	Min	-1067,272	1,2984
104	0	viento 2	Max	-385,103	56,9657
104	5	viento 2	Max	-322,121	-101,1865
104	0	viento 2	Min	-404,218	52,4826
104	5	viento 2	Min	-341,237	-110,4325
111	0	viento 2	Max	-379,123	-26,6452
111	5	viento 2	Max	-316,141	80,9314
111	0	viento 2	Min	-379,894	-27,0419
111	5	viento 2	Min	-316,913	80,5537
112	0	viento 2	Max	-1007,518	26,485
112	5	viento 2	Max	-944,537	-28,895
112	0	viento 2	Min	-1010,006	26,0022
112	5	viento 2	Min	-947,024	-29,4597
113	0	viento 2	Max	-971,406	20,2714
113	5	viento 2	Max	-908,425	-12,4973
113	0	viento 2	Min	-994,678	18,141
113	5	viento 2	Min	-931,697	-16,9647
114	0	viento 2	Max	-1011,155	19,051
114	5	viento 2	Max	-948,173	-9,0885
114	0	viento 2	Min	-1126,381	16,2918
114	5	viento 2	Min	-1063,4	-14,6801
115	0	viento 2	Max	-394,578	70,1646

115	5	viento 2	Max	-331,596	-111,6805
115	0	viento 2	Min	-413,017	65,6186
115	5	viento 2	Min	-350,036	-120,8511
122	0	viento 2	Max	-254,883	8,443
122	5	viento 2	Max	-191,902	28,6987
122	0	viento 2	Min	-255,874	7,0877
122	5	viento 2	Min	-192,892	27,5427
123	0	viento 2	Max	-550,942	43,628
123	5	viento 2	Max	-487,96	-43,6381
123	0	viento 2	Min	-553,442	42,0761
123	5	viento 2	Min	-490,461	-45,1883
124	0	viento 2	Max	-517,588	36,3791
124	5	viento 2	Max	-454,607	-27,2166
124	0	viento 2	Min	-537,967	34,9085
124	5	viento 2	Min	-474,986	-31,0398
125	0	viento 2	Max	-536,917	38,8715
125	5	viento 2	Max	-473,936	-31,0095
125	0	viento 2	Min	-647,227	35,9907
125	5	viento 2	Min	-584,246	-35,5689
126	0	viento 2	Max	-227,752	58,0917
126	5	viento 2	Max	-164,771	-69,2748
126	0	viento 2	Min	-235,876	54,2427
126	5	viento 2	Min	-172,894	-75,9733

**Anexo 6 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 2 Combinación de Carga 2.**



**Anexo 7 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 1.**

Frame	Station	OutputCase	StepType	P	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN-m
1	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-205,119	-59,2845
1	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-142,137	75,2085
1	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-222,415	-66,2312
1	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-159,434	69,7345
2	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-531,931	-46,0026
2	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-468,95	73,0176
2	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-615,321	-64,9569
2	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-552,34	43,3912
3	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-521,722	-42,1292
3	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-458,74	66,6919
3	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1452,854	-62,3898
3	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1389,873	35,4177
4	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-554,707	-38,6239
4	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-491,726	56,6202
4	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-809,834	-54,5217
4	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-746,852	20,2351
5	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-247,489	-11,6134
5	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-184,508	-19,5815
5	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-270,91	-20,0987
5	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-207,928	-30,301
78	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-379,816	-65,4941
78	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-316,834	121,8366
78	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-404,125	-72,1832
78	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-341,143	110,4882
79	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-1023,358	-17,7021
79	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-960,376	51,3739
79	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1287,954	-37,1547
79	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1224,973	11,4073
80	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-969,069	-12,5212
80	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-906,088	43,5807
80	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1976,273	-34,4254
80	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1913,291	0,0956
81	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-988,996	-8,5541
81	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-926,015	31,5825
81	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1241,213	-29,1706
81	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1178,232	-9,7504

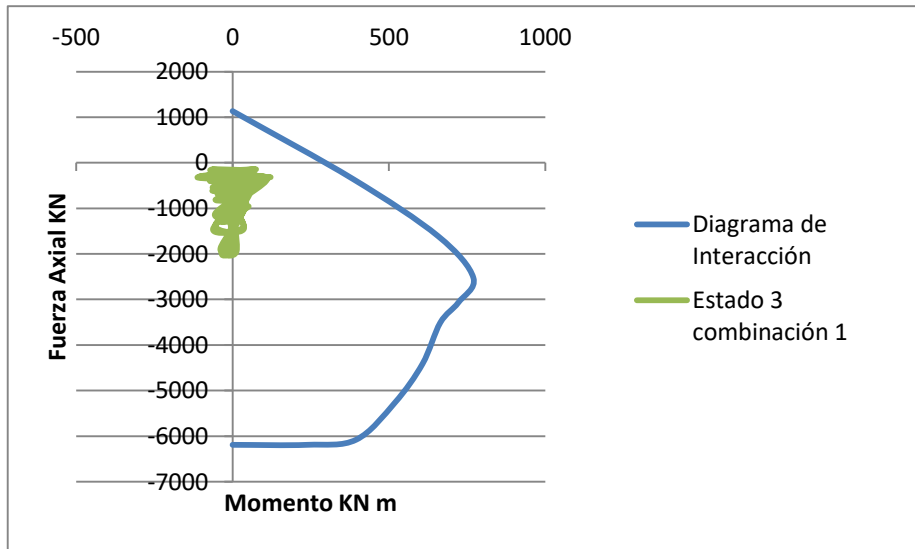


82	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-352,468	27,4236
82	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-289,487	-74,6028
82	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-377,805	23,0401
82	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-314,823	-83,4103
89	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-361,433	-46,8528
89	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-298,452	101,6555
89	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-387,803	-51,1775
89	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-324,821	93,1776
90	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-985,077	1,2826
90	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-922,095	35,0054
90	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1239,878	-18,6294
90	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1176,897	-5,7393
91	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-944,076	7,0867
91	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-881,095	25,9398
91	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1951,422	-15,6104
91	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1888,441	-18,4126
92	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-981,951	10,2459
92	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-918,97	14,5253
92	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1233,071	-10,6384
92	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1170,089	-27,7546
93	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-349,883	42,4784
93	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-286,901	-85,7414
93	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-378,274	38,3473
93	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-315,292	-93,7204
100	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-350,134	-33,8072
100	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-287,153	90,3762
100	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-377,697	-37,8139
100	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-314,716	82,3178
101	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-978,196	17,2345
101	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-915,215	21,6304
101	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1228,586	-4,3551
101	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1165,604	-20,9014
102	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-923,72	20,9117
102	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-860,738	12,546
102	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1932,196	-1,1323
102	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1869,215	-30,9009
103	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-971,205	24,3929
103	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-908,223	-0,000774
103	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1205,33	4,9418
103	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1142,349	-40,506
104	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-348,243	55,8095

104	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-285,262	-94,2582
104	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-378,025	50,3408
104	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-315,044	-101,6921
111	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-341,841	-20,1707
111	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-278,859	77,7447
111	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-369,684	-24,1857
111	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-306,703	70,3185
112	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-965,55	31,648
112	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-902,569	7,9376
112	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1201,549	10,0977
112	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1138,568	-34,2346
113	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-930,816	32,5876
113	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-867,835	0,7675
113	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1942,966	12,9044
113	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1879,985	-38,7094
114	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-972,325	40,4693
114	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-909,344	-15,4382
114	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1188,05	20,371
114	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1125,069	-56,3932
115	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-357,197	68,9215
115	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-294,215	-104,2993
115	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-386,771	63,1993
115	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-323,789	-112,0976
122	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-221,753	16,5688
122	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-158,772	26,0288
122	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-249,668	9,1035
122	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-186,687	17,0005
123	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-528,245	47,5455
123	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-465,264	-10,1236
123	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-739,117	29,6138
123	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-676,136	-48,6666
124	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-497,272	51,8713
124	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-434,29	-31,5086
124	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1437,021	36,7833
124	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-1374,039	-55,443
125	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-517,916	55,5947
125	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-454,935	-34,3836
125	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-603,292	38,1293
125	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-540,31	-64,0246
126	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-206,249	58,5804
126	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Max	-143,268	-66,338

126	0	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-226,059	54,2365
126	5	1.2 cp+ 1.6 cu v3	Min	-163,078	-71,8378

**Anexo 8 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 1.**



**Anexo 9 Tabla de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 2.**

Frame	Station	OutputCase	StepType	P	M3
Text	m	Text	Text	KN	KN-m
1	0	viento 3	Max	-221,046	-64,5735
1	5	viento 3	Max	-158,065	77,4643
1	0	viento 3	Min	-226,451	-66,7443
1	5	viento 3	Min	-163,47	75,7537
2	0	viento 3	Max	-549,592	-51,2699
2	5	viento 3	Max	-486,61	57,7093
2	0	viento 3	Min	-575,651	-57,1931
2	5	viento 3	Min	-512,67	48,4511
3	0	viento 3	Max	-541,651	-47,1042
3	5	viento 3	Max	-478,67	49,6205
3	0	viento 3	Min	-832,63	-53,4356

3	5	viento 3	Min	-769,649	39,8473
4	0	viento 3	Max	-578,567	-52,1091
4	5	viento 3	Max	-515,586	59,1283
4	0	viento 3	Min	-658,295	-57,0771
4	5	viento 3	Min	-595,313	47,7579
5	0	viento 3	Max	-268,288	-15,1986
5	5	viento 3	Max	-205,306	-23,5744
5	0	viento 3	Min	-275,607	-17,8503
5	5	viento 3	Min	-212,625	-26,9242
78	0	viento 3	Max	-407,272	-72,1
78	5	viento 3	Max	-344,29	123,3392
78	0	viento 3	Min	-414,868	-74,1903
78	5	viento 3	Min	-351,887	119,7928
79	0	viento 3	Max	-1062,116	-21,6087
79	5	viento 3	Max	-999,134	27,5667
79	0	viento 3	Min	-1144,802	-27,6876
79	5	viento 3	Min	-1081,821	15,0772
80	0	viento 3	Max	-1009,471	-23,0488
80	5	viento 3	Max	-946,49	31,3269
80	0	viento 3	Min	-1324,222	-29,8938
80	5	viento 3	Min	-1261,241	17,7378
81	0	viento 3	Max	-1031,167	-24,624
81	5	viento 3	Max	-968,186	33,2913
81	0	viento 3	Min	-1109,985	-31,0667
81	5	viento 3	Min	-1047,003	20,3747
82	0	viento 3	Max	-378,013	24,7093
82	5	viento 3	Max	-315,031	-78,8066
82	0	viento 3	Min	-385,93	23,3395
82	5	viento 3	Min	-322,949	-81,5589
89	0	viento 3	Max	-389,936	-53,1865
89	5	viento 3	Max	-326,955	105,0229
89	0	viento 3	Min	-398,177	-54,538
89	5	viento 3	Min	-335,195	102,3736
90	0	viento 3	Max	-1027,091	-2,6094
90	5	viento 3	Max	-964,109	10,4864
90	0	viento 3	Min	-1106,716	-8,8319
90	5	viento 3	Min	-1043,735	-2,2464
91	0	viento 3	Max	-984,086	-3,983
91	5	viento 3	Max	-921,105	13,9835
91	0	viento 3	Min	-1298,882	-11,0759
91	5	viento 3	Min	-1235,9	0,1234

92	0	viento 3	Max	-1024,302	-5,8742
92	5	viento 3	Max	-961,321	16,1113
92	0	viento 3	Min	-1102,777	-12,4005
92	5	viento 3	Min	-1039,795	2,8988
93	0	viento 3	Max	-377,373	40,5533
93	5	viento 3	Max	-314,392	-90,6374
93	0	viento 3	Min	-386,246	39,2624
93	5	viento 3	Min	-323,264	-93,1308
100	0	viento 3	Max	-379,388	-39,7008
100	5	viento 3	Max	-316,407	93,7377
100	0	viento 3	Min	-388,001	-40,9529
100	5	viento 3	Min	-325,02	91,2194
101	0	viento 3	Max	-1020,574	12,7228
101	5	viento 3	Max	-957,593	-3,3503
101	0	viento 3	Min	-1098,821	5,9761
101	5	viento 3	Min	-1035,84	-16,6415
102	0	viento 3	Max	-963,686	10,6547
102	5	viento 3	Max	-900,704	0,2179
102	0	viento 3	Min	-1278,835	3,766
102	5	viento 3	Min	-1215,853	-13,3592
103	0	viento 3	Max	-1013,378	8,769
103	5	viento 3	Max	-950,397	2,1899
103	0	viento 3	Min	-1086,542	2,6905
103	5	viento 3	Min	-1023,561	-10,4679
104	0	viento 3	Max	-376,562	53,4824
104	5	viento 3	Max	-313,58	-99,6944
104	0	viento 3	Min	-385,869	51,7735
104	5	viento 3	Min	-322,887	-102,0175
111	0	viento 3	Max	-371,158	-25,9333
111	5	viento 3	Max	-308,176	81,4689
111	0	viento 3	Min	-379,859	-27,188
111	5	viento 3	Min	-316,877	79,1482
112	0	viento 3	Max	-1007,932	27,2139
112	5	viento 3	Max	-944,951	-16,8753
112	0	viento 3	Min	-1081,682	20,4794
112	5	viento 3	Min	-1018,701	-30,0541
113	0	viento 3	Max	-971,473	23,3648
113	5	viento 3	Max	-908,491	-10,7026
113	0	viento 3	Min	-1287,77	17,2138
113	5	viento 3	Min	-1224,788	-23,0391
114	0	viento 3	Max	-1011,29	24,7751

114	5	viento 3	Max	-948,309	-13,7713
114	0	viento 3	Min	-1078,705	18,4944
114	5	viento 3	Min	-1015,723	-26,5697
115	0	viento 3	Max	-385,681	66,6659
115	5	viento 3	Max	-322,7	-110,0633
115	0	viento 3	Min	-394,923	64,8777
115	5	viento 3	Min	-331,942	-112,5003
122	0	viento 3	Max	-247,113	9,484
122	5	viento 3	Max	-184,132	28,7383
122	0	viento 3	Min	-255,837	7,1511
122	5	viento 3	Min	-192,855	25,9169
123	0	viento 3	Max	-551,473	43,5436
123	5	viento 3	Max	-488,492	-32,9664
123	0	viento 3	Min	-617,371	37,9399
123	5	viento 3	Min	-554,39	-45,0111
124	0	viento 3	Max	-517,654	40,4005
124	5	viento 3	Max	-454,672	-30,4035
124	0	viento 3	Min	-811,325	35,6854
124	5	viento 3	Min	-748,344	-37,883
125	0	viento 3	Max	-537,045	42,6016
125	5	viento 3	Max	-474,064	-33,5573
125	0	viento 3	Min	-563,725	37,1436
125	5	viento 3	Min	-500,744	-42,8201
126	0	viento 3	Max	-222,025	55,5436
126	5	viento 3	Max	-159,044	-68,5975
126	0	viento 3	Min	-228,216	54,1861
126	5	viento 3	Min	-165,234	-70,3162

**Anexo 10 Diagrama de Interacción de los resultados obtenidos por el SAP2000, en el análisis de las columnas, en el Estado 3 Combinación de Carga 2.**

