

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES
METÁLICOS EXISTENTES.**

**CASO DE ESTUDIO: PUENTE ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ MADRID-
SABANA DE TORRES. SECTOR EL CONCHAL- SABANA DE TORRES,
TRAMO B.**

**ALVARO SAID GÓMEZ MERCHÁN
FRANCISCO JAVIER PINEDA CADENA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES
METÁLICOS EXISTENTES.**

**CASO DE ESTUDIO: PUENTE ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ MADRID-
SABANA DE TORRES. SECTOR EL CONCHAL- SABANA DE TORRES,
TRAMO B.**

**ALVARO SAID GÓMEZ MERCHÁN
FRANCISCO JAVIER PINEDA CADENA**

Proyecto de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

**ÁLVARO VIVIESCAS JAIMES
Ingeniero Civil, PhD.**

Co-director:

**GUSTAVO CHIO CHO
Ingeniero Civil, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

AGRADECIMIENTOS

A nuestro director y co-director:

Director: Ingeniero Civil, PhD. Álvaro Viviescas Jaimes.

Co-director: Ingeniero Civil, PhD. Gustavo Chio Cho.

Estamos muy agradecidos por la colaboración, dedicación, tolerancia, esmero y guía en la realización satisfactoria de este trabajo de grado.

A la Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, por permitir la disposición en las presentaciones de esta investigación.

DEDICATORIA

A mi madre Gloria Inés Merchán Guerrero y a mi padre Álvaro Gómez Peña.

Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan y que me ha infundado siempre, pero más que nada, por su amor.

A mi hermano Edinsson Ferney Gómez Merchán.

Por ser el ejemplo de un hermano mayor y de la cual aprendí aciertos y de momentos difíciles, por el valor mostrado de seguir adelante, por sus buenos consejos y ante todo por su gran afecto.

A mis amigos.

Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora, seguimos siendo amigos: Francisco Pineda, Darío Patiño, Alfonso Fonseca, Luis Jaimes y Sergio Pardo por haberme ayudado a realizar este trabajo.

Finalmente a los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de nuestro camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis y dificultades durante nuestro paso por la Universidad.

¡Gracias a ustedes!

ALVARO SAID GOMEZ MERCHAN

DEDICATORIA

A DIOS por darme la sabiduría, iluminación y discernimiento en el recorrido de mi carrera universitaria, y así, haber alcanzado la meta anhelada.

A MIS PADRES: Hortensia María Cadena Salas y Manuel Francisco Pineda Díaz (Q.E.D.P), por el amor y los consejos, que fueron de gran ayuda para obtener este logro, porque sin ellos no hubiese sido posible.

A MI HERMANA: Claudia Betina Pineda Cadena por el apoyo incondicional y por la muestra de su gran afecto.

A MIS AMIGOS: Por su apoyo y aliento para seguir adelante en mi carrera universitaria en especial a Jair Alberto Torres Luna, Orlando Miguel Ospino Ospino, Álvaro Said Gómez Merchán y Sergio Andrés Pardo Suarez.

FRANCISCO JAVIER PINEDA CADENA

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	19
1. OBJETIVOS	20
1.1 OBJETIVO GENERAL	20
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	20
2. MARCO TEORICO	21
2.1 HISTORIA DE PUENTES METÁLICOS.	21
2.2 TIPOS DE PUENTES Y EVOLUCIÓN EN LA HISTORIA.	26
2.3 PARTES FUNDAMENTALES QUE CONSTITUYEN UN PUENTE.	30
2.3.1 La superestructura	30
2.3.2 Elementos principales	30
2.3.3 Elementos secundarios	31
2.3.4 Arriostramiento	31
2.3.5 Calzadas	31
2.3.6 Señalización	32
2.3.7 Aceras	32
2.3.8 Juntas	32
2.3.9 Barandas	33
2.3.10 La subestructura o infraestructura	33
2.3.11 Estribos	33
2.3.12 Pilotes	33
2.3.13 Pilas	33
3. PUENTE ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES. SECTOR EL CONCHAL- SABANA DE TORRES, TRAMO B.	35
3.1 ALCANCES DEL ESTUDIO	36
3.2 FORMATO DE INVENTARIO DE PUENTES	37

3.3 FORMATO DE INSPECCION PRINCIPAL DE PUENTES	39
3.4 INSPECCIÓN PRINCIPAL	40
3.4.1 Calificación	40
3.4.2 Tipo de daño	40
3.5 PATOLOGIAS	41
3.6 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO	42
3.7 RUTA DE ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO	43
3.8 DESCRIPCION DE LA ZONA	44
3.9 HIDROLOGIA DE LA ZONA	44
3.10 GEOLOGIA DE LA ZONA	45
3.10.1 Colinas y montañas	45
3.10.2 Terrazas	46
3.10.3 Planicie Aluvia	46
3.11 INVENTARIO GENERAL DE LOS BOX CULVERT Y PUENTES.	46
3.11.1 Equipo y/o elementos	46
3.11.2 Identificación territorial	47
3.11.3 Localización de las estructuras.	47
3.11.4 Identificación de las estructuras	48
3.12 BOX CULVERT	49
3.13 PUENTE LA SANTOS	59
4. LEVANTAMIENTO DETALLADO DE LOS PUENTES DE ESTUDIO.	61
4.1 PUENTE VENECIA	61
4.2 PUENTE CHOCOA	64
4.2.1 Detalle de uniones	67
5. MODELAMIENTO	69
5.1 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES.	71
5.1.1 Especificaciones del acero A-36	71
5.1.2 Métodos de análisis	73
5.1.3 Normatividad	73
5.1.4 Camión de diseño	73

5.1.5 Líneas de carga (LANE)	74
5.2 MODELAMIENTO DEL PUENTE VENECIA (ARMADURA DE PASO SUPERIOR- 04)	75
5.2.1 Control de deflexiones	77
5.3 MODELAMIENTO DEL PUENTE CHOCOA (ARMADURA DE PASO INFERIOR-05)	78
5.3.1 Control de deflexiones	80
6. EVALUACION DE CARGAS	81
6.1 PUENTE VENECIA	82
6.2 PUENTE CHOCOA	83
7. CONCLUSIONES	86
BIBLIOGRAFIA	88
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Puente de Coalbrookdale sobre el río Severn	26
Figura 2. Puente La Santos, Sabana de Torres, Santander (COLOMBIA).	27
Figura 3. Parte lateral del puente Chocóa, Sabana de Torres, Santander (COLOMBIA).	28
Figura 4. Partes fundamentales que constituyen un puente	30
Figura 5. Tipos de calzadas.	32
Figura 6. Departamento de Santander, Colombia.	43
Figura 7. Vía entre Bucaramanga-Sabana de Torres, Colombia.	43
Figura 8. Mapa hidrológico. IDEAM.	44
Figura 9. Parte inferior Box 1.	49
Figura 10. Parte lateral del Box 2.	50
Figura 11. Parte inferior y lateral del Box 3.	51
Figura 12. Parte inferior y lateral del Box 4.	52
Figura 13. Parte lateral e inferior del Box 5.	53
Figura 14. Parte lateral del Box 6.	54
Figura 15. Parte lateral del Box 7.	55
Figura 16. Vista superior del Box 8.	56
Figura 17. Parte inferior del Box 9.	57
Figura 18. Parte inferior del Box 10.	58
Figura 19. Foto puente La Santos.	60
Figura 20. Foto puente Venecia.	63
Figura 21. Foto puente Chocóa.	66
Figura 22. Detalle de uniones en el puente Chocóa.	67
Figura 23. Detalle de uniones en el puente Chocóa.	67
Figura 24. Datos de propiedades del material.	72

Figura 25. Camión tipo.	73
Figura 26. Líneas de carga.	74
Figura 27. Rieles de diseño.	75
Figura 28. Modelo del puente Venecia.	76
Figura 29. Modelo del puente Chocoa, vista lateral y superior.	78
Figura 30. Modelo del puente Chocoa.	79
Figura 31. Análisis de la viga principal del puente Venecia. (Ver cálculos anexo 2.2).	82
Figura 32. Análisis del cordón superior, postes y diagonales del puente Chocoa. (Ver cálculos anexo 2.1)	83
Figura 33. Análisis del cordón inferior y diagonales del puente Chocoa. (Ver anexo cálculos 2.1)	84
Figura 34. Análisis de la viga transversal y longitudinal del puente Chocoa. (Ver anexo cálculos 2.1)	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación.	40
Tabla 2. Tipo de daño.	40
Tabla 3. Patologías. [2]	41
Tabla 4. Códigos territoriales.	47
Tabla 5. Tipo de puente.	48
Tabla 6. Composición del acero A-36.	71
Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero A-36.	71

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Formatos SIPUCOL.	89
ANEXO B. Análisis de secciones presentes en las estructuras.	91

RESUMEN

TITULO: Evaluación de la vulnerabilidad estructural de puentes metálicos existentes. Caso de estudio: Puente antigua vía férrea Café Madrid-Sabana de Torres. Sector El Conchal- Sabana de Torres, tramo B.

AUTORES: Álvaro Said Gómez Merchán**
Francisco Javier Pineda Cadena

FACULTAD: Ingenierías Físico-Mecánicas

ESCUELA: Ingeniería Civil

DIRECTOR: Ing. Civil. PhD. Álvaro Viviescas Jaimes

PALABRAS CLAVES: Puentes, Vulnerabilidad, Patologías, Modelamiento.

CONTENIDO: En la investigación “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES METÁLICOS EXISTENTES.CASO DE ESTUDIO: PUENTE ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES.SECTOR EL CONCHAL- SABANA DE TORRES, TRAMO B” se desarrolla, el estudio de una vía alternativa para las vías Bucaramanga-Barrancabermeja y Bucaramanga-Magdalena medio, debido a los diferentes problemas que presenta en la vía actual tales como grietas en el pavimento, expansiones, deslizamiento de taludes y destrucción parcial de la banca. La vía alternativa sería de Café Madrid-Sabana de Torres, en la cual, se estudia los puentes metálicos existentes y se evalúa el comportamiento estructural de puentes metálicos existentes para determinar su capacidad resistente y el deterioro ocasionado por la falta de mantenimiento.

Se realiza un levantamiento geométrico detallado de los puentes bajo estudio para luego generar su modelo numérico manteniendo la patología estructural y natural presentada. Se efectúa el estudio y viabilidad de los puentes existentes por medio del software de modelamiento de estructuras SAP 2000, donde evalúa la capacidad de carga de los puentes metálicos bajo estudio. Sin embargo, al efectuarse el modelamiento de los puentes bajo estudio se aplican las cargas indicadas en el Código Colombiano de Puentes de 1995 (CCP-95) para determinar su vulnerabilidad de la superestructura.

Luego se establece el análisis de los resultados con la Norma Colombiana Sismo Resistente 2010 (N.S.R-10). Título F (Estructuras Metálicas), por medio de la cual hacemos la evaluación de cargas por flexión, fluencia, rotura y pandeo, ya que, este proyecto solo realizó el estudio de vulnerabilidad para la superestructura, sin tener en cuenta el análisis de la evaluación de cargas por fatiga, uniones y estribos que son de suma importancia para considerar el reforzamiento o el retiro definitivo de estos puentes bajo estudio.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, Ingeniero Civil, PhD. Co-director: Gustavo Chio Cho, Ingeniero Civil, PhD.

ABSTRACT

TITLE: Evaluation of the structural vulnerability of the existing metal bridges. Case study: bridge old railway Café Madrid- Sabana de Torres. El Conchal-Sabana de Torres sector. Section B.*

AUTHORS: Álvaro Said Gómez Merchán**
Francisco Javier Pineda Cadena

FACULTY: Physical Mechanical Engineering

SCHOOL: Civil Engineering

DIRECTOR: Ing. Civil. PhD. Alvaro Viviescas Jaimes

MAIN WORDS: Bridges, Vulnerability, Pathologies, Modeling.

CONTENT: The research: "EVALUATION OF THE STRUCTURAL VULNERABILITY OF THE EXISTING METAL BRIDGES. CASE STUDY: BRIDGE OLD RAILWAY CAFÉ MADRID- SABANA DE TORRES. EL CONCHAL-SABANA DE TORRES SECTOR. SECTION B" develops the study of an alternative route for Bucaramanga- Barrancabermeja and Bucaramanga-Madgalena medio routes; it is due to the different problems presented in the actual path such as cracks in the pavement, expansions, slope landslides and partial destruction of the borderlines. The alternative route would be Café Madrid-Sabana de Torres, in which it is studied the existing metal bridges and it is evaluated the structural performance of the existing metal bridges to determine their strength capacity and the deterioration caused by lack of maintenance.

It is carried out a detailed geometric lifting of the bridges under study to generate their numerical model keeping the structural and natural pathology presented. The study and viability of the existing bridges is carry out through the structural modeling software SAP 2000, where it is evaluated the capacity of the metal bridges under study. Nevertheless at the time of carry out the modeling of the bridges under study; the loads indicated in Bridges Colombian Code 1995 (CCP-95) are apply to determine the vulnerability of the superstructure.

Then it is establish the results analysis with Colombian Earthquake Resistant Standard 2010 (NSR-10). Tittle F (Metal Structures) through which it is evaluated the bending loads, creep limit, breaking and bulging, due to that this project only conducted the study of vulnerability for the superstructure, without taking into account the analysis evaluation of fatigue loads, joints and abutments which are of highest importance to consider the strengthening or permanent removal of these bridges under study.

* Work degree

** School Physical-Mechanical Engineering. School of Civil Engineering. Directed: Álvaro Viviescas Jaimes, Civil Engineer, PhD. Co-director: Gustavo Chio Cho, Civil Engineer, PhD.

INTRODUCCION

El propósito de investigación en la vías que conecta Bucaramanga-Barrancabermeja y Bucaramanga-Magdalena medio, surge por los diferentes problemas de diverso tipo, tales como grietas en el pavimento, expansiones, obstrucción y destrucción de alcantarillados, deslizamientos de taludes, destrucción parcial de la banca y destrucción en estribos de puentes, causados principalmente por coluviones, la falla geológica ubicada en la vereda La Renta llamada LA LEONA y la ola invernal.

De esta manera se busca una solución de una vía alternativa, que pretenda conservar esa importante actividad comercial e industrial entre estas dos regiones reduciendo al máximo la vulnerabilidad estructural de la vía vehicular.

La vía de comunicación alterna planteada sería la antigua vía férrea Café Madrid - Sabana de Torres. Realizando a su vez el estudio y la viabilidad de los puentes existentes por medio del software de modelamiento de estructuras SAP 2000, donde se evalúa la capacidad de carga de los puentes metálicos manteniendo la patología estructural y natural presentada.

Al analizar los resultados obtenidos de la evaluación de cargas por flexión, fluencia, rotura y pandeo se estudiara la viabilidad del reforzamiento de las estructuras para soportar las cargas vehiculares y peatonales, pero sin tener en cuenta un análisis de fatiga, uniones y estribos los cuales deberían considerarse para ver la factibilidad real del reforzamiento y el buen funcionamiento de estos puentes metálicos.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Evaluar el comportamiento estructural de puentes metálicos existentes para determinar su capacidad resistente debido al impacto del tiempo y el deterioro ocasionado por la falta de mantenimiento.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ❖ Realizar el levantamiento geométrico detallado del puente en estudio y generar su modelo numérico.
- ❖ Identificar la principal patología presente en el puente evaluado.
- ❖ Modelar el puente bajo estudio aplicando las cargas indicadas en código colombiano de Puentes de 1995 (CCP-95) para determinar su vulnerabilidad.
- ❖ Diagnosticar la viabilidad de reforzamiento de los puentes en estudio y/o recomendación de retiro definitivo.

2. MARCO TEORICO

2.1 HISTORIA DE PUENTES METÁLICOS.

El hierro es utilizado en las estructuras por primera vez al llegar la revolución industrial, que aplicó a los materiales exigencias de resistencia sin precedente en la construcción de puentes, de grandes terminales ferroviarias y de edificios industriales. Esto llevo al desarrollo de procesos siderúrgicos (Los materiales siderúrgicos o productos férreos son aleaciones en las que el elemento químico hierro (Fe) es predominante.).

Según Billington, el símbolo más duradero de la aplicación estructural del hierro en el siglo XVIII es el llamado Puente de Hierro, *Iron Bridge*, construido en 1779 por Abraham Darby III de piezas de hierro colado y una luz de 30 m.

Luego en 1796 se dio al servicio el puente de Sunderland, diseñado por R. Burdon, con una luz de 72 m, y por la misma época el de Southwark, diseñado por John Rennie, con una luz central de 73 m. En 1810 Thomas Telford desarrolló un nuevo tipo de puente, en forma de arco de hierro colado de 46 m de luz, sobre el Bonar, cuya forma aprovechaba óptimamente las propiedades del nuevo material. De estos puentes sobrevive el de Craigelachie, de igual luz, construido en 1814.

Aunque estos puentes no eran los de mayor luz, lo que separa a Telford de los demás es su preocupación por la estética, logrando arcos de hierro visualmente más atractivos que los de sus contemporáneos y además técnicamente superiores.

El más impresionante de los puentes de Telford es el puente colgante sobre los estrechos de *Menai*, construido entre 1818 y 1826, con una luz de 177 m.

En su diseño Telford pasó del hierro colado al forjado, por su mayor capacidad para absorber los esfuerzos de tensión.

El auge de los ferrocarriles aceleró enormemente el ritmo de industrialización y urbanización en los 25 años siguientes a la terminación del puente de Menai.

Dicho período fue dominado por dos ingenieros, también ingleses: Robert Stephenson (1803-1859) e Isambard Kingdom Brunel (1806-1859). Las estructuras de hierro se usaron entonces no solo en los puentes sino en un espectro muy amplio que incluía fábricas, edificios públicos y todo lo que tuviera que ver con los ferrocarriles. Una carga grande y trepidante, que debe ir casi a nivel, como es la locomotora, exigió nuevas consideraciones y la búsqueda de otras formas. De esta época son el puente *Britannia*, diseñado por Stephenson, muy próximo al de Telford pero esta vez para soportar el paso del ferrocarril, y el *Saltash*, igualmente ferroviario, obra de Brunel.

El primero de ellos fue terminado en 1850 y se caracteriza por su forma tubularrecta. Tiene dos luces principales de 140 m cada una y dos laterales de 70 m. Las dos vigas, una para cada sentido de circulación, tienen paredes verticales de hierro, unidas por placas horizontales, arriba y abajo, del mismo material, para formar cajones huecos por los que corren los trenes. Las dos torres de los apoyos intermedios reflejan la incertidumbre de Stephenson; él había planeado inicialmente construir un puente colgante con un tablero horizontal muy rígido pero al final, la rigidez resultante de éste hizo innecesarios los cables.

El puente Saltash, tiene dos luces de 139 m y diecisiete en los accesos que varían entre 21 y 28 m. Su mejor concepción estructural, al compararlo con el *Britannia*, resultó en un ahorro por metro de aproximadamente el 50%. El enfoque atrevido de Brunel fue imaginar una nueva forma en la que el tubo en arco pudiera rigidizarlos cables a la vez que éstos pudieran atar los extremos del arco.

En la misma época, en Francia, Gustavo Eiffel concluía un puente de hierro colado, de siete luces y 488 m de largo, sobre el río Garonne. Entre 1867 y 1869 Eiffel construyó cuatro viaductos a lo largo de una línea férrea. De los cuatro el más atractivo es el de Rouzat, conformado por tres vigas de 60 m, de un solo carril, en celosía, apoyadas sobre dos torres también de 60 m. Estas fueron de las primeras torres en hierro y Eiffel ensanchó en curva sus bases para reflejar visualmente la influencia de las cargas de viento laterales.

Por otra parte Eiffel desarrolló también un nuevo sistema constructivo, lanzándolas vigas horizontalmente desde las colinas laterales para que pasando sobre las torres se unieran en el centro, con lo cual hizo innecesaria la construcción de cimbras sobre el profundo valle; método sigue siendo utilizado en nuestros días.

En 1875 Eiffel fue el ganador en un concurso internacional para la construcción de un puente ferroviario sobre el río Douro. Propuso un arco en forma de cuarto de una, articulado en los apoyos, con acartelamientos opuestos en las dos direcciones principales; en planta se ensancha en los apoyos y se adelgaza, a la vez que aumenta en altura, a medida que se aleja de ellos.

En opinión de Billington, Garabit es la obra maestra en la carrera de Eiffel como constructor de puentes y la mejor obra de arte estructural jamás construida en forma de arco.

Mientras en Europa se presentaban los desarrollos anteriores, en los Estados Unidos se destacaban en la construcción de puentes John Augusto Roebling (1806-1869) con sus puentes colgantes en Niágara, Cincinnati y Brooklyn, y James Buchanan Eads (1820-1889), con su puente en arco sobre el río Mississippi en San Luis.

Roebing nació en Alemania y recibió en Berlín su diploma de ingeniero pero en 1831 emigró a los Estados Unidos, estableciendo allí en 1841 una fábrica de cables de hierro para halar los botes que recorrían los canales del nordeste de dicho país. En 1855, construyó un puente colgante mixto (carruajes y ferrocarril) sobre el río Niágara, con una luz de 250 m.

En dicha figura se pueden observar los tirantes, anclados a la roca, con que Roebing empíricamente controló las oscilaciones. El puente funcionó adecuadamente hasta 1897, año en que fue desmontado, constituyendo el único en su clase que sostuvo un ferrocarril por un período tan prolongado.

A éste siguió el puente Cincinnati sobre el río Ohio, suspendido de cables de hierro en una luz de 322 m, en su momento la mayor del mundo y que sirvió de prototipo para su obra maestra: el puente de Brooklyn, sobre el río East en Nueva York, cuyos planos presentó en 1869. Lamentablemente John Roebing murió el mismo año víctima de un infortunado accidente mientras hacía el levantamiento topográfico para la construcción de la obra y ésta tuvo que ser terminada por su hijo Washington, víctima a su vez de la enfermedad de los buzos mientras inspeccionaba la construcción de sus pilas. Sólo gracias al apoyo de su esposa Emily, esta obra monumental, primera en utilizar cables de acero, pudo ser concluida en 1883.

En cuanto al puente de San Luis, diseñado por Eads, no tenía precedente ni en tamaño ni en material pues Eads decidió construir en acero tres arcos de 159m cada uno, luces que eran 50% mayores que las de sus equivalentes europeos.

Fue su único puente y constituye una obra maestra tanto desde el punto de vista técnico como del estético.

Por la misma época se construyó el *Forth Bridge*, utilizando enormes armaduras en voladizo para salvar el estuario de Forth en Escocia. Lo diseñó Benjamín Baker (1840-1907), quien como Eads, en toda su vida sólo produjo un gran puente, amén de muchas otras obras sobresalientes. En el diseño del Forth aprovechó una porción de tierra alta en la mitad del estuario para salvar el espacio con dos grandes luces centrales de 522 m cada una, 36 m más que la del puente de Brooklyn, y con el acero elevándose a 104 m por encima de las pilas de mampostería. Su longitud total es de 1626 m. Volviendo a los Estados Unidos corresponde el turno a tres grandes constructores cuyas obras cubrieron desde las postrimerías del siglo XIX hasta bien entrada la segunda mitad del presente: Gustav Lindenthal, Othmar Ammann y David Steinman. A Lindenthal (1850-1935), nacido en Austria y formado como ingeniero en Alemania, le correspondió enfrentar el problema urbano ocasionado por el auge de los ferrocarriles y en especial el vínculo entre los estados de Nueva Inglaterra y Nueva Jersey. Experimentó con la forma como ningún otro y trató los puentes como obras de arte estructural, filosofía que marcó indeleblemente a dos de sus colaboradores: precisamente, Ammann y Steinman.

Las dos primeras obras de Lindenthal fueron ejecutadas en Pittsburgh: la primera, el Puente Smithfield, constituida por armaduras de acero de dos luces de 110 m en forma de lente, similares a las del Saltash, para salvar el río Momongahela, inaugurado en 1883, y la segunda, un puente sobre el río Allegheny. A comienzos de siglo fue nombrado Comisionado de Puentes de la ciudad de Nueva York y como tal diseñó los puentes Queensboro y Manhattan.¹

¹ Disponible en: http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_civil/puentesmetalicoshistoria/

2.2 TIPOS DE PUENTES Y EVOLUCIÓN EN LA HISTORIA.

Los materiales derivados del hierro, sucesivamente, utilizados en la construcción de puentes metálicos son: hierro fundido, forjado y acero, tal como a continuación se describen:

- ❖ **Puentes de fundición:** Aparecieron por primera vez al final del siglo XVIII; el primero fue el de Coalbrookdale, construido en 1779, sobre el río Severn, en Inglaterra, compuesto por cinco arcos paralelos de 30.5m de luz, fue concebido por el maestro forjador Abraham Darcy.

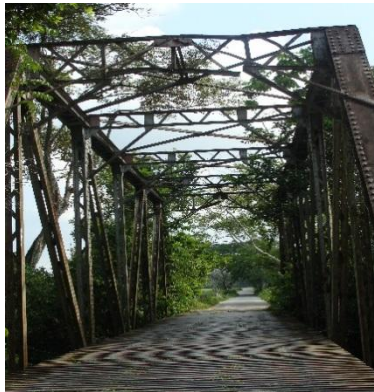
Se introdujo la construcción de puentes por una decisión gubernamental que ordenaba la construcción de tres puentes de fundición, tal decisión, motivada esencialmente por razones de prestigio, se intentaba introducir en Francia una técnica moderna utilizada en Inglaterra. De estos tres puentes, subsiste solamente la Pasarela de las Artes, cuyo proyecto inicial se debe a Louis-Alexandre de Cessart, fue terminada en 1803 y ofrece tráfico solamente peatonal.

Figura 1. Puente de Coalbrookdale sobre el río Severn



- ❖ **Puentes de hierro forjado:** Fueron iniciados a principios del siglo XIX, el empleo del hierro se desarrolló rápidamente. El hierro era más caro que la fundición, al existir más trabajo de elaboración, pero poseía mayor resistencia a la tracción. Así, los constructores disponían por primera vez de un material que permitía realizar los tres grandes tipos de puentes: puentes suspendidos, puentes de vigas y puentes en arco. Los primeros puentes construidos con hierro fueron los colgantes, fue la invención de las cadenas articuladas formadas por barras de hierro articuladas, patentadas en 1817 por Brown, en Inglaterra, lo que permitió pasar a cubrir luces mucho mayores. El primer puente colgante, de cadenas constituidas por barras de hierro, fue el de Berwick, construido en 1820 por Brown, en Inglaterra, con una luz de 137 metros.

Figura 2. Puente La Santos, Sabana de Torres, Santander (COLOMBIA).



- ❖ **Puentes de acero:** La fabricación comercial del acero, después de 1856, permitió su empleo en los puentes, debido a sus características físicas, y principalmente por su resistencia. Sustituyó totalmente a la fundición y al hierro; a medida que las posibilidades del acero eran mejor apreciadas. El primer gran puente donde el acero fue muy ampliamente utilizado es el de Saint Louis, sobre el río Mississippi, diseñado por James Buchanan Eads, entre 1868 y 1874, incluye tres claros, 153 m, 159 m y 153 m, respectivamente. Sólo a finales del siglo XIX, en Francia, comenzó a utilizarse el acero en los

puentes de vigas y en los puentes de arco, a pesar que su costo era menor. El arquitecto Eiffel tenía dudas sobre la regularidad de su fabricación y todavía prefirió el hierro para la realización de su torre de 300 m, de alto, en 1889.

Sin embargo, el éxito técnico de la torre Eiffel, constituyó un estímulo para la construcción metálica y favoreció indirectamente al desarrollo de los puentes de acero. El puente de Brooklyn sobre el río oeste, en Nueva York, diseñado por Jonh Roebling, 18836, el Firth of Fort en Escocia, diseñado por Benjamín Baker, en 18897, y el puente Saint Louis en 1874, ilustran los tres grandes tipos de puentes de acero: puentes colgantes, puentes de vigas y arco.

Los puentes metálicos modulares, propiamente, aparecieron al terminar la Segunda Guerra Mundial, inventados por Sir Donald Coleman Bailey, de origen Inglés, por quien adoptó el nombre genérico de puentes Bailey.

Figura 3. Parte lateral del puente Chocóa, Sabana de Torres, Santander (COLOMBIA).



El equipo original Bailey fue proyectado para vehículos militares, formando un simple puente de tablero inferior. Es decir, la superficie de rodadura o calzada, está soportada en los extremos inferiores, por dos vigas principales que están compuestas de un cierto número de paneles Bailey, unidos con bulones, de extremo a extremo y conectados lateralmente, para formar vigas rígidas de una orilla a otra. Una considerable variedad, en la clase, de componentes permiten que sean montados muchos tipos de puentes metálicos modulares, para diferentes

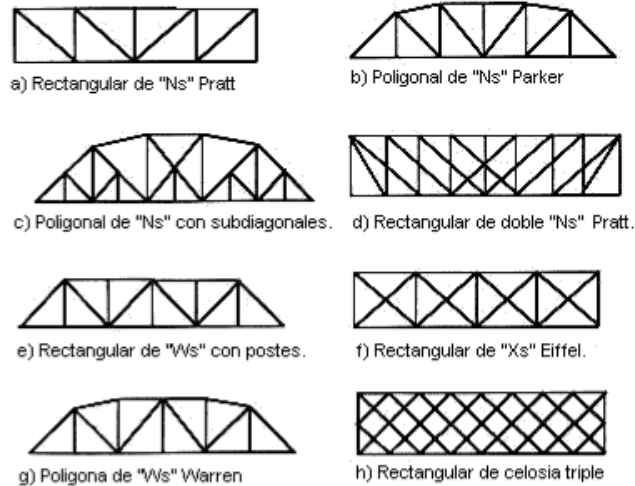
situaciones que sean necesarios, ahora pueden construirse usando el equipo Bailey, con éxito en todas partes del mundo, en cualquier tipo de estructuras de ingeniería, para las que en el pasado se usaban armazones de acero.

De las muchas patentes que surgieron en 1840 y 1850, los tipos básicos, de armaduras, que se impusieron son los siguientes: armadura "Ns", patentada por los estadounidenses hermanos Pratt, en 1844; esta configuración se distingue por tener sus diagonales bajando, siempre, en dirección del centro del tramo, de forma que sólo están sujetas a tensión, puede variar según su silueta sea rectangular o poligonal las armaduras poligonales "Ns", con tramos del orden de los cien metros, pueden tener diagonales adicionales que no alcancen de cordón superior a cordón inferior, denominados subdiagonales en 1847, también, se patentó la armadura "doble Ns", en la cual, los postes quedan más cercanos unos a otros las diagonales los atraviesa por sus puntos medios hasta terminar en el próximo panel.

Armadura "Ws", patentada en 1848 por dos ingenieros británicos, esta configuración tiene sus diagonales en direcciones alternadas y generalmente combinadas con los elementos verticales o postes, armadura "Xs", o "sistema Eiffel", esta armadura de celosía, tiene tres sistemas de diagonales tipo "W" superpuestos²

² Proyecto de grado: Aplicaciones de puentes metálicos modulares en el Salvador, Universidad de el Salvador. Evolución de los puentes de armadura metálica

Figura 4. Partes fundamentales que constituyen un puente



2.3 PARTES FUNDAMENTALES QUE CONSTITUYEN UN PUENTE.

En un puente se distinguen fundamentalmente, la superestructura, la subestructura o infraestructura.

2.3.1 La superestructura. Es la parte superior del puente, que une y salva la distancia entre uno o más claros. La superestructura consiste en el tablero o parte que soporta directamente las cargas o las armaduras, la cual está conformada por elementos principales y secundarios.

2.3.2 Elementos principales. Constituidos por el tablero, vigas principales, estructuras en arco que reciben las cargas vivas (transito) y cargas muertas (peso propio de la estructura) y lo transmiten a los apoyos intermedios o extremo de la infraestructura.

2.3.3 Elementos secundarios. Complementan la superestructura, en el funcionamiento, estabilidad y seguridad, garantizando el funcionamiento del puente para el tránsito vehicular.

2.3.4 Arriostramiento. En los puentes de estructura metálica, según la ubicación, los arriostramientos pueden clasificarse como sigue:

- a. Arriostramiento del portal: Se encuentra en la parte superior de los extremos de la armadura y proporcionan estabilidad lateral y transferencia de cortante entre armaduras.
- b. Arriostramiento transversal: Miembros estructurales secundarios que se atraviesan de lado a lado entre armaduras en nudos interiores.
- c. Arriostramiento lateral superior: Están situados en el plano de la cuerda superior y proporciona estabilidad lateral entre las dos armaduras y resistencia contra los esfuerzos provocados por el viento.

En cualquiera de los casos, los arriostramientos permiten mantener la geometría de la estructura, estabilidad y rigidez para minimizar deformaciones, da funcionamiento correcto al más largo plazo sin grandes costos, así mismo, evita que ocurran fenómenos locales por funcionamiento de la estructura, tal como pandeo, aplastamiento, otros.

2.3.5 Calzadas. Las calzadas de los puentes metálicos modulares se construyen con lámina de acero lagrimada, tablonés de madera, concreto asfáltico, tablonés de madera o estructura de acero y concreto hidráulico.

Figura 5. Tipos de calzadas.



a) Calzada de lámina de acero lagrimada.



b) Calzada de tablonces de madera.



c) Calzada de pavimento asfáltico.



d) Calzada de concreto hidráulico.

2.3.6 Señalización. La señalización vertical y horizontal que advierta la existencia y acceso al puente es importante, para su funcionamiento, y es vital cuando se establece un límite de peso y dimensiones del vehículo que circula en la estructura.

2.3.7 Aceras. Son elementos que forman parte de un puente con la finalidad de dar paso a los peatones, con seguridad; estas se incluyen dentro del ancho del puente o se crea una circulación exclusiva para peatones de manera independiente.

2.3.8 Juntas. Permiten salvaguardar la unión del puente con la carretera de manera independiente y resistente a la circulación de los vehículos, garantizando los como cambios de temperatura, efectos del tránsito, asentamientos diferenciales o tolerancias requeridas, compatibles con las condiciones de apoyo.

2.3.9 Barandas. Son elementos de seguridad que protegen los laterales de circulación peatonal y caída de vehículos.

2.3.10 La subestructura o infraestructura. Es la parte inferior del puente, formada por las cimentaciones, estribos, pilas y aletones. A través de esta se transmiten las cargas en los apoyos al suelo. Los apoyos extremos son los estribos, y las pilas son los apoyos intermedios.

2.3.11 Estribos. Un estribo, es un muro de retención que soporta verticalmente el extremo de la superestructura de un puente y a la vez, transmite las cargas al suelo de cimentación, lateralmente sostiene el relleno de tierra detrás del muro y protege contra la erosión.

Los estribos pueden ser hechos de concreto reforzado, mampostería reforzada o mampostería de piedra. La construcción de un estribo es independiente del tablero. Según el tipo de estribo que se diseñe, se controlan las fuerzas que se transmiten al ajuste de dispositivos de apoyo o cabezal, entre el tablero y el estribo. Generalmente, un estribo consta de: base de estribo, columna de estribo, muros de ala, pantalla, asiento de puente o viga cabezal del estribo y pilotes.

2.3.12 Pilotes. Sirven para sustentar el estribo y las fuerzas que le son transmitidas, cuando los estratos apropiados para cimentación se hallan a gran profundidad. Los pilotes, son relativamente largos y esbeltos, hechos de concreto reforzado, se introducen al terreno ya sea hincados o colados in-situ. Los pilotes cortos son del orden de 10m a 20m.

2.3.13 Pilas. Son los soportes intermedios de un puente, tienen como función primordial la transmisión de las cargas, horizontales y verticales provenientes de la superestructura hacia las cimentaciones. Varían en forma geométrica y material de

elaboración, por el tipo de superestructura. Los tipos de pilas más comunes son: pilas de marco, pared y pila columna aislada entre otras.³

³ Proyecto de grado: Aplicaciones de puentes metálicos modulares en el Salvador, Universidad de el Salvador. Partes fundamentales que constituyen un puente

3. PUENTE ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES. SECTOR EL CONCHAL- SABANA DE TORRES, TRAMO B.

La malla vial del país es de vital importancia para el transporte terrestre, contribuyendo al desarrollo económico, social y cultural del país. El INVIAS es el encargado de mantener en buen estado las carreteras, caminos y puentes en la red vial proporcionando mantenimiento a las rutas de competencia rural, municipal, intermunicipal y troncales. La antigua vía férrea Café Madrid- Sabana de Torres, fue construida a mediados del siglo XIX aproximadamente, con el fin de brindar un servicio a la comunidad. Ello se combinó con el vencimiento del periodo de la actividad comercial y la no conservación de la vía férrea, provocando el posterior deterioro de la obra civil.

En la actualidad la vía es de uso vehicular y peatonal, pero sin ninguna clase de mantenimiento de la vía, descuidando a su vez los puentes existentes y falta de un estudio de vulnerabilidad. Se hará una descripción general de los Box culverts y puentes de la zona de estudio, basándonos en los formatos concebidos en SIPUCOL (Sistema de Puentes de Colombia) el cual consta de:

- ❖ Generalidades.
- ❖ Inventario.
- ❖ Inspección Principal.
- ❖ Inspección Especial.
- ❖ Inspección Rutinaria, Mantenimiento Rutinario y Limpieza.
- ❖ Priorización de Obras de Reparación y Refuerzo.
- ❖ Control de Presupuesto, Costos y Avance de Obras.
- ❖ Diseño de Obras de Reparación y Refuerzo.
- ❖ Evaluación de Capacidad de Carga.

Nota: Estructuras con luces menores de diez (10) metros no se consideran como puentes, y por lo tanto no son incluidas dentro del Sistema de Administración de Mantenimiento de Puentes SIPUCOL.

3.1 ALCANCES DEL ESTUDIO

TOPOGRAFIA: Levantamiento del puente 1 con precisión media. El modelamiento de la estructura se realizó con medidas tomadas con cinta métrica lo cual puede generar un pequeño margen de error con respecto a la realidad, pero no muy relevante. Levantamiento del puente 2 con baja precisión a pesar del uso de un equipo topográfico no se realizó un levantamiento con la altimetría detallada y suficiente para establecer las medidas precisas de altura de la estructura y de las conexiones y elementos del cordón superior de la armadura, sin embargo el equipo se aprovechó para las medidas de la parte de la estructura que soporta el tablero.

HIDROLOGICO, HIDRAULICO Y SOCAVACION.

No se realizaron aforos ni estudios correspondientes para determinar el caudal de diseño, por inspección visual se puede detectar una posible socavación de algunos de los estribos.

SUELOS.

No se observan asentamientos en el suelo portante de la cimentación de los puentes, ni fallas en taludes aledaños a las estructuras, por lo cual no se considera de vital importancia los estudios referentes a este aspecto.

ESTUDIO ESTRUCTURAL.

Se realizó un estudio de la vulnerabilidad estructural de la superestructura del puente; se realizó el análisis de evaluación de cargas los elementos de las armaduras solicitados por tensión y compresión axial, vigas transversales y

longitudinales que hacen parte de la estructura con el fin de hacer un chequeo entre la resistencia y la sollicitación exigida a la estructura teniendo en cuenta los parámetros de deterioro, fatiga y pandeos, siendo los resultados limitados a la falta de pruebas y ensayos tanto destructivos como no destructivos.

Tomas la medidas tomadas para la calibración del modelo fueron de acuerdo a inspección visual y medidas tomadas con instrumentos de baja precisión. Se aclara además que las conexiones entre los elementos de la estructura no fueron objeto de este estudio, pero sí el levantamiento geométrico.

Los formatos a trabajar en este proyecto de grado serán los siguientes:

3.2 FORMATO DE INVENTARIO DE PUENTES

Este formato se hizo en referencia del Formato de Inventario de Puentes establecido en SIPUCOL⁴ (Ver anexo 1.1).

⁴ Ministerio de Transporte, Colombia. Instituto Nacional de Vías, SIPUCOL.

Formato de Inventario de Puentes				
		Regional	Carretera	Identificacion de l puente
Nombre		Identificacion		
Carretera		Subestructura		
Datos administrativos		Estribos		Pilas
Año de construccion		Tipo		Tipo
Direccion de Absc.		Material		Material
Requisitos de inspeccion		Tipo de cimentacion		Tipo de cimentacion
Estacion de conteo				
Fecha de recoleccion de datos		Detalles		Señales
Iniciales del inspector		Tipo de baranda		Carga maxima
Datos tecnicos		Superf. De rodadura		Velocidad maxima
Geometria		Junta de expansion		Otra
Numero de luces		Apoyos		
Long. Luz menor(m)		Tipo de apoyos fijos sobre estribos		
Long. Luz mayor(m)		Tipo de apoyos moviles sobre estribos		
Longitud total(m)		Tipo de apoyos fijos en pilas		
Ancho del tablero(m)		Tipo de apoyos moviles en pilas		
Ancho del separador(m)		Tipo de apoyos fijos en vigas		
Ancho del anden izquierdo(m)		Tipo de apoyos moviles en vigas		
Ancho del anden derecho(m)				
Ancho del calzada(m)		Vehiculo de diseño		
Ancho del bordillos(m)		Clase de distribucion de carga		
Ancho del acceso(m)				
Altura de las pilas(m)		Miembros interesados		
Altura de las estribos(m)		Propietario		
Longitud de apoyo en pilas(m)		Departamento		
Longitud de apoyo en estribos(m)		Administrador vial		
Puente en terraplen(S/N)		Proyectista		
Puente en curva(S/N)		Municipio		
Esviajamiento(gra)		Posicion Geografica		
Superestructura, tipo Principal			Grados	Minutos
Diseño tipo(S/N)		Latitud (N)		
Tipo de estructuracion transversal		Longitud(O)		
Tipo de estructuracion Longitudinal				
Material		Altitud(m)		

3.3 FORMATO DE INSPECCION PRINCIPAL DE PUENTES

Este formato se hizo en referencia del Formato de Inspección Principal de Puentes establecido en SIPUCOL (Ver anexo 1.2).

Formulario de Inspeccion Principal de Puentes										
					Regional	Carretera	Identificacion de l puente			
Nombre					Identificacion					
Carretera					Fecha		Tiempo			
Temperatura					Inspector		Administrador			
Componente	Clasificacion	Mantenimiento	Insp. Esp	No. de nodos	Tipo de daño	Reparaciones				Daño
						Tipo	Cantidad	Año	Costo	
1. Superficie del puente										
2. Juntas de expansion										
3. Andenes/ bordillos										
4. Barandas										
5. Conos / Taludes										
6. Aletas										
7. Estribos										
8. Pilas										
9. Apoyos										
10. Losa										
11. Vigas/Largueros/Diafragmas										
12. Elementos										
13. Cables/Pendolones/Torres/Macizos										
14. Elementos de armadura										
15. Cauce										
16. Otros elementos										
17. Puente en general										
Observaciones Generales:										

3.4 INSPECCIÓN PRINCIPAL

3.4.1 Calificación [1]

Tabla 1. Clasificación.

0	Sin daño o daño insignificante
1	Daño pequeño pero no es necesario reparación (excepto mantenimiento menor)
2	Algún daño, reparación necesaria cuando se presente la ocasión. El componente funciona como se diseño
3	Daño significativo, reparación necesaria muy pronto
4	Daño grave, reparación necesaria inmediatamente
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente
?	Desconocido

3.4.2 Tipo de daño

Tabla 2. Tipo de daño.

10	Daño estructural (Sobrecarga / diseño insuficiente).
15	Vibración excesiva
20	Impacto
30	Asentamiento / Movimiento
40	Erosión / socavación
50	Corrosión de acero estructural
55	Faltan remaches y/o pernos
60	Daño en concreto/corrosión de reforzamiento
65	Daño en concreto/acero expuesto
70	Descomposición
80	Infiltración

3.5 PATOLOGIAS

Tabla 3. Patologías. [2]

DETERIOROS HABITUALES EN PUENTES METÁLICOS	
DETERIORO	CAUSA
PÉRDIDA DE PINTURA DE PROTECCIÓN PICADURAS CORROSIÓN CORROSIÓN DE ELEMENTOS DE CONEXIÓN	ATAQUE QUÍMICO
PÉRDIDA DE SECCIÓN DELAMINACIÓN PÉRDIDA DE ROBLONES TORNILLOS Y TUERCAS SOLDADURAS DAÑADAS	CORROSIÓN
ABOLLAMIENTO Ó APLASTAMIENTO	GOLPE Ó IMPACTO
PÉRDIDA DE ROBLONES, TORNILLOS Y TUERCAS ENTALLA	DEFICIENTE EJECUCIÓN
DELAMINACIÓN	DEFICIENTE FABRICACIÓN
CORROSIÓN CORROSIÓN DE ELEMENTOS DE CONEXIÓN	PRESENCIA DE AGUA

La principal patología presente de los puentes en estudio es el deterioro de la estructura metálica, se origina básicamente por acciones del medio las cuales generan el fenómeno de corrosión. En consecuencia, en este caso se identificaron cuatro factores que pueden incidir en la activación del fenómeno, especialmente en la estructura metálica ya que no se encontraron evidencias de corrosión en los estribos de concreto, estos son:

- La acción del oxígeno y el agua sobre la superficie metálica, estos dos elementos atmosféricos, son los más importantes en términos de la corrosión, el primero es el elemento oxidante por naturaleza. El segundo, puede estar en fase de vapor o en fase líquida, depositarse por condensación en la superficie.
- La presencia de gases en la atmósfera, tales como gas carbónico (CO₂), anhídrido sulfuroso (SO₂) y amonio (NH₃), los cuales se disolverán y

depositaran en la superficie metálica, generando la oxidación del metal. En este caso específico, se generan ambientes agresivos por la presencia de CO₂ proveniente de la extracción de petróleo en la zona.

- El tiempo real de humectación, esto es el lapso de tiempo en el cual la superficie se mantiene mojada por efectos de la temperatura, humedad relativa, condensación, evaporación y lluvias.
- La velocidad y dirección del viento, afectan los bordes de las estructuras expuestas a vientos preferenciales; se corroen más rápido que las otras, ya que se crean diferencias de concentración de contaminantes en sus superficies.

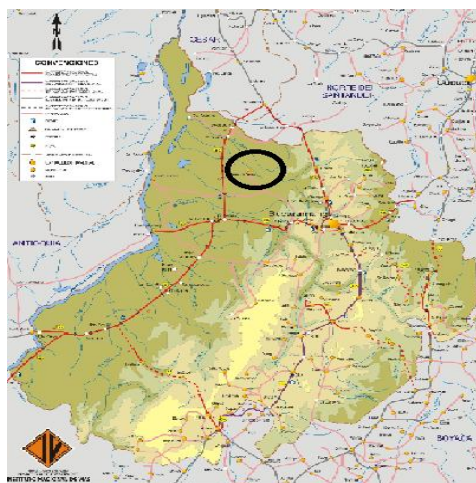
Todos los factores mencionados dependen de parámetros ambientales como son la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y las precipitaciones. La diferencia de temperatura entre el día y la noche y en consecuencia la diferencia de humedad relativa facilita que haya un tiempo de humectación mayor en la superficie, que aunado a los agentes agresivos que se van disolviendo generan las pilas electroquímicas.

Otra Patología presente en las estructuras es el abollamiento leve en algunos de los elementos de las estructuras debido a golpes por vehículos y por elementos arrastrados por las crecientes del afluente, estos abollamiento al no estar en elementos principales si no en elementos secundarios como arrostramientos no afectan de manera significativa las estabilidad y capacidad de carga de la estructura.

3.6 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO

La zona se encuentra en gobierno por el municipio Sabana de Torres en el noroccidente del departamento de Santander.

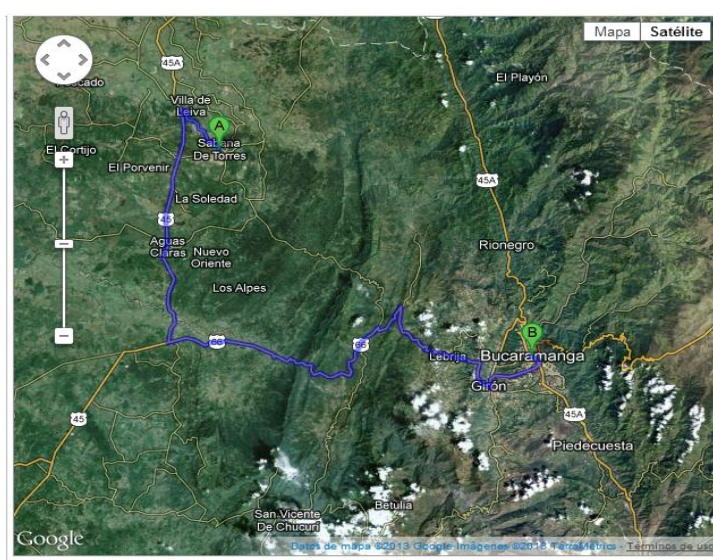
Figura 6. Departamento de Santander, Colombia.



3.7 RUTA DE ACCESO A LA ZONA DE ESTUDIO

Se toma la ruta 66 saliendo por el sur de Bucaramanga hacia el municipio de Giron, bordeando el rio Lebrija se toma la antigua vía férrea hacia el noroccidente para luego tomar la ruta 45, luego se toma la ruta hacia el norte llegando al municipio Sabana de Torres.

Figura 7. Vía entre Bucaramanga-Sabana de Torres, Colombia.



3.8 DESCRIPCION DE LA ZONA

La zona de estudio consta de 10 km de recorrido de la antigua vía Férrea entre el municipio Sabana de Torres - Provincia con una altura sobre el nivel del mar de 110 msnm aproximadamente, presentando un clima húmedo tropical. En el inventario hecho en la zona, se encontraron 10 Box-Coulvert y 3 puentes.

El Puente Venecia y el Puente Chocóa son los puentes de estudio seleccionados de este proyecto, los cuales fueron asignados por el director y codirector, por la fácil toma de medias y levantamiento.

3.9 HIDROLOGIA DE LA ZONA

Lo conforman los ríos de Oro, Rionegro, Suratá, Cáchira, Paturia conformando así el río Lebrija, que va de oriente a occidente a lo largo del departamento de Santander.

Figura 8. Mapa hidrológico. IDEAM.



3.10 GEOLOGIA DE LA ZONA

El ámbito geológico del municipio Sabana de Torres se restringe a formaciones aluviales del cuaternario depositadas por el río Magdalena en su migración hacia el occidente y modeladas posteriormente por los tributarios a él en dos grandes cuencas: Río Sogamoso y Lebrija.

La zona está dominada por formas aluviales, restos de terraza, colinas onduladas y escarpadas, y vegas inundables. Las formaciones presentes en el área son Colorado, Real, y depósitos actuales.

El área corresponde a los sistemas colinados del Magdalena medio, producto de la evolución de las terrazas aluviales que el mismo río durante su migración al oeste depositó. Existen dos vertientes claramente diferenciadas las del río Lebrija que ocupan aproximadamente el 76% del territorio municipal, en ella están los complejos cenagosos de Paredes y La Chocóa, que se conectan indirectamente al río. Los sistemas de bajos que dan lugar a estas ciénagas, regulan hídricamente el sector, sin embargo la presión sobre estos cuerpos por el mal uso del suelo está reduciendo constante e irreversiblemente su espejo de agua.

Los suelos evolucionan de acuerdo a su posición fisiográfica, por ello en Sabana se diferencian las siguientes clases de suelo:

3.10.1 Colinas y montañas. Suelos rojizos en las partes altas y pardo a pardo amarillento en las partes bajas de la pendiente; texturas medias y finas que evidencian el material parental, areniscas y arcillas, características de lixiviación; poros con revestimientos de hierro oxidado que parecen más nítidos y abundantes alrededor de las manchas angulosas.

3.10.2 Terrazas. Se encuentran suelos rojizos con un AH de lixiviación, un Bs que presenta sobre los pedos superficies brillantes, siendo más rojizo y arcilloso que el A. También se encuentra gravilla en superficie y más abundante en profundidad. En Sabana de Torres (que se puede considerar como una terraza a nivel superior), se encontraron suelos desarrollados sobre material arenoso con un Ah ocre, un A claro, arenoso, un Bh muy oscuro y un Bs endurecido.

3.10.3 Planicie Aluvial. La zona presenta suelos jóvenes e incipientes, de textura media a fina. En partes se encuentra arcillas gleizadas; en otras partes, como pie de talud de terrazas, se encuentra material orgánico acumulado y muy poco o nada descompuesto (ciénagas, pantanos)⁵

3.11 INVENTARIO GENERAL DE LOS BOX CULVERT Y PUENTES.

3.11.1 Equipo y/o elementos

- Cinta métrica.
- Calibrador pie de Rey.
- Escuadra Mágica.
- Plomada.
- Cámara fotográfica 8.0 Megapíxeles.
- Botas de seguridad.
- Lápiz Mongol No. 2.

⁵ Geografía Sabana de Torres. Cabildo Verde

3.11.2 Identificación territorial

Tabla 4. Códigos territoriales.

CÓDIGO	TERRITORIAL	CÓDIGO	TERRITORIAL
1	ANTIOQUIA	14	HUILA
2	ATLÁNTICO	15	MAGDALENA
3	BOLÍVAR	16	META
4	BOYACÁ	17	NARIÑO
5	CALDAS	18	NORTE DE SANTANDER
6	CAQUETÁ	19	PUTUMAYO
7	CASANARE	20	QUINDÍO
8	CAUCA	21	RISARALDA
9	CESAR	22	SANTANDER
10	CHOCO	23	SUCRE
11	CÓRDOBA	24	TOLIMA
12	CUNDINAMARCA	25	VALLE
13	GUAJIRA	26	OCAÑA

Nota: Como observamos en el cuadro anterior, el código del Departamento de Santander es 22.

3.11.3 Localización de las estructuras.

- Nombre de la vía: Antigua vía férrea.
- Código de la vía: 22.
- Mantenimiento integral (Encargado): INVIAS

3.11.4 Identificación de las estructuras

Tabla 5. Tipo de puente.

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Losa sobre vigas
02	Losa simplemente apoyada
03	Viga Cajón
04	Armadura de paso superior
05	Armadura de paso inferior
06	Arco Superior
07	Arco Inferior

Tabla 3 Tipo de Puente según estructuración longitudinal

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Vigas simplemente apoyadas
02	Vigas continuas
03	Puente colgante
04	Puente atirantado
05	Pórtico
06	Box culvert

- Tipo de puente según estructuración transversal: 05 (Armadura de paso inferior).
- Tipo de puente según estructuración longitudinal: 06 (Box culvert).

3.12 Box Culvert

FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
1	Box culvert	K0+300	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3,50	2,1	3	4	1,5
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados longitudinalmente y una losa hecha de concreto.				

Figura 9. Parte inferior Box 1.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
2	Box culvert	K0+550	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3,7	2	3	4	1,7
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados transversalmente que se apoyan en rieles longitudinales y una losa hecha de concreto y asfalto.				

Figura 10. Parte lateral del Box 2.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
3	Box culvert	K0+750	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
4,5	2,1	3,5	4,3	1,6
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados longitudinalmente y una losa hecha de concreto.				

Figura 11. Parte inferior y lateral del Box 3.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
4	Box culvert	K1+250	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
4,1	2	3,3	4	1,6
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados longitudinalmente apoyados en rieles transversales en los estribos y una losa hecha de asfalto.				

Figura 12. Parte inferior y lateral del Box 4.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
5	Box culvert	K1+550	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3,5	2	3	4	1,8
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados transversalmente y una losa hecha de concreto y asfalto.				

Figura 13. Parte lateral e inferior del Box 5.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
6	Box culvert	K2+050	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3	2	3	4	1,6
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados transversalmente apoyados en rieles longitudinales y una losa hecha de asfalto y concreto.				

Figura 14. Parte lateral del Box 6.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
7	Box culvert	K2+450	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3	2	3	4	1,6
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados longitudinalmente y una losa hecha de concreto.				

Figura 15. Parte lateral del Box 7.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
8	Box culvert	K2+750	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3	2	3	4	1,6
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados transversalmente y una losa hecha de asfalto.				

Figura 16. Vista superior del Box 8.



En la imagen se observa la alta vegetación de la zona que ha provocado el daño del estribo derecho del Box Culvert 8.

FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
9	Box culvert	K3+750	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3,2	2,1	3	4	1,7
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados longitudinalmente y una losa hecha de asfalto.				

Figura 17. Parte inferior del Box 9.



FORMATO INVENTARIO BOX CULVERT				
1. DATOS GENERALES				
Nombre	Descripción	Abscisa	Capa de rodadura	Fecha de construcción
10	Box culvert	K4+100	capa asfáltica	No registra
2. GEOMETRIA				
Dimensiones caja		Luz	Longitud estructural	Altura estructural
Largo	Ancho			
3,5	1,5	3	4	1,6
3. Observación				
Sirve principalmente para escorrentías, está elaborado básicamente de concreto y observamos una capa de rodadura conformada por rieles ubicados longitudinalmente y una losa hecha de concreto y asfalto.				

Figura 18. Parte inferior del Box 10.



3.13 PUENTE LA SANTOS

Formato de Inventario de Puentes					
		Regional		Carretera	Identificacion de l puente
Nombre	LA SANTOS	Identificacion	22(SANTANDER)	Sabana de Torres	05 (ARMADURA DE PASO INFERIOR)
Carretera	ANTIGUA VIA FERREA	Subestructura			
Datos administrativos		Estribos		Pilas	
Año de construccion	1959	Tipo	ABIERTO	Tipo	.
Direccion de Absc.	K2+300	Material	CONCRETO	Material	.
Requisitos de inspeccion	.	Tipo de cimentacion	.	Tipo de cimentacion	.
Estacion de conteo	2				
Fecha de recoleccion de datos	03/02/2013	Detalles		Señales	
Iniciales del inspector	A.S.G.M	Tipo de baranda	.	Carga maxima	.
Datos tecnicos		Superf. De rodadura	RIELES	Velocidad maxima	.
Geometria		Junta de expansion	NO	Otra	.
Numero de luces	1	Apoyos			
Long. Luz menor(m)	24	Tipo de apoyos fijos sobre estribos		1	
Long. Luz mayor(m)	24	Tipo de apoyos moviles sobre estribos		1	
Longitud total(m)	25	Tipo de apoyos fijos en pilas		.	
Ancho del tablero(m)	3.8	Tipo de apoyos moviles en pilas		.	
Ancho del separador(m)	.	Tipo de apoyos fijos en vigas		.	
Ancho del anden izquierdo(m)	.	Tipo de apoyos moviles en vigas		.	
Ancho del anden derecho(m)	.				
Ancho del calzada(m)	.	Vehiculo de diseño		NS	
Ancho del bordillos(m)	.	Clase de distribucion de carga		NS	
Ancho del acceso(m)	.				
Altura de las pilas(m)	.	Miembros interesados			
Altura de las estribos(m)	3.5	Propietario			
Longitud de apoyo en pilas(m)	.	Departamento	SANTANDER		
Longitud de apoyo en estribos(m)	.	Administrador vial	INVIAS		
Puente en terraplen(S/N)	S	Proyectista	UIS		
Puente en curva(S/N)	.	Municipio	SABANA DE TORRES		
Esviajamiento(gra)	.	Posicion Geografica			
Superestructura, tipo Principal				Grados	Minutos
Diseño tipo(S/N)	S	Latitud (N)	7	24	
Tipo de estructuracion transversal	RIELES	Longitud(O)	73	30	
Tipo de estructuracion Longitudinal	VIGAS				
Material	A-36	Altitud(m)	110		

Registro fotográfico del Punte La Santos

Figura 19.Foto puente La Santos.



Observación:

Presenta alta vegetación, corrosión, daño estructural, falta de remaches, vibración excesiva y falta de mantenimiento.

4. LEVANTAMIENTO DETALLADO DE LOS PUENTES DE ESTUDIO.

4.1 PUENTE VENECIA

Formato de Inventario de Puentes					
		Regional		Carretera	Identificacion de l puente
Nombre	VENECIA	Identificacion	22 (SANTANDER)	Sabana de Torres	04 (ARMADURA DE PASO SUPERIOR)
Carretera	ANTIGUA VIA FERREA	Subestructura			
Datos administrativos		Estribos		Pilas	
Año de construccion	1959	Tipo	ABIERTO	Tipo	.
Direccion de Absc.	K1-800	Material	CONCRETO	Material	.
Requisitos de inspeccion	.	Tipo de cimentacion	.	Tipo de cimentacion	.
Estacion de conteo	1				
Fecha de recoleccion de datos	03/02/2013	Detalles		Señales	
Iniciales del inspector	F.J.P.C	Tipo de baranda	.	Carga maxima	.
Datos tecnicos		Superf. De rodadura	RIELES	Velocidad maxima	.
Geometria		Junta de expansion	NO	Otra	.
Numero de luces	1	Apoyos			
Long. Luz menor(m)	14	Tipo de apoyos fijos sobre estribos		1	
Long. Luz mayor(m)	14	Tipo de apoyos moviles sobre estribos		1	
Longitud total(m)	16	Tipo de apoyos fijos en pilas		.	
Ancho del tablero(m)	3.6	Tipo de apoyos moviles en pilas		.	
Ancho del separador(m)	.	Tipo de apoyos fijos en vigas		.	
Ancho del anden izquierdo(m)	.	Tipo de apoyos moviles en vigas		.	
Ancho del anden derecho(m)	.				
Ancho del calzada(m)	.	Veiculo de diseño		NS	
Ancho del bordillos(m)	.	Clase de distribucion de carga		NS	
Ancho del acceso(m)	.				
Altura de las pilas(m)	.	Miembros interesados			
Altura de las estribos(m)	3.5	Propietario			
Longitud de apoyo en pilas(m)	.	Departamento	SANTANDER		
Longitud de apoyo en estribos(m)	.	Administrador vial	INVIAS		
Puente en terraplen(S/N)	S	Proyectista	UIS		
Puente en curva(S/N)	.	Municipio	SABANA DE TORRES		
Esviajamiento(gra)	.	Posicion Geografica			
Superestructura, tipo Principal			Grados	Minutos	
Diseño tipo(S/N)	S	Latitud (N)	7	24	
Tipo de estructuracion transversal	RIELES	Longitud(O)	73	30	
Tipo de estructuracion Longitudinal	VIGAS				
Material	A-36	Altitud(m)	110		

Formulario de Inspeccion Principal de Puentes										
							Regional	Carretera	Identificacion de l puente	
Nombre	VENECIA		Identificacion	22 (SANTANDER)	SABANA DE TORRES	04 (ARMADURA DE PASO SUPERIOR)				
Carretera	ANTIGUA VIA FERREA		Fecha	20/04/2013	Tiempo	8 HORAS				
Temperatura	35°C		Inspector	-	Administrador	ALVARO SAID GOMEZ MERCHAN				
Componente	Clasificacion	Mantenimiento	Insp. Esp	No. de nodos	Tipo de daño	Reparaciones				Daño
						Tipo	Cantidad	Año	Costo	
1. Superficie del puente	3	S	-	-	10	NS	NS	NS	NS	NS
2. Juntas de expansion	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
3. Andenes/ bordillos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
4. Barandas	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
5. Conos / Taludes	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
6. Aletas	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
7. Estribos	2	S	S	-	60	NS	NS	NS	NS	NS
8. Pilas	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
9. Apoyos	1	S	S	4	65	NS	NS	NS	NS	NS
10. Losa	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
11. Vigas/Largueros/Diafragmas	1	S	S	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
12. Elementos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
13. Cables/Pendolones/Torres/Macizos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
14. Elementos de armadura	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
15. Cauce	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
16. Otros elementos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
17. Puente en general	1	S	S	4	65	NS	NS	NS	NS	NS
Observaciones Generales: No existe una base de datos sobre el puente existente de los mantenimientos que pudo haber recibido anteriormente.										

Registro fotográfico del Puente Venecia

Figura 20. Foto puente Venecia.



4.2 PUENTE CHOCOA

Formato de Inventario de Puentes					
		Regional		Carretera	Identificacion de l puente
Nombre	CHOCOA	Identificacion	22(SANTANDER)	Sabana de Torres	05 (ARMADURA DE PASO INFERIOR)
Carretera	ANTIGUA VIA FERREA	Subestructura			
Datos administrativos		Estribos		Pilas	
Año de construccion	1959	Tipo	ABIERTO	Tipo	.
Direccion de Absc.	K3+300	Material	CONCRETO	Material	.
Requisitos de inspeccion	.	Tipo de cimentacion	.	Tipo de cimentacion	.
Estacion de conteo	3				
Fecha de recoleccion de datos	03/02/2013	Detalles		Señales	
Iniciales del inspector	F.J.P.C	Tipo de baranda	.	Carga maxima	.
Datos tecnicos		Superf. De rodadura	RIELES	Velocidad maxima	.
Geometria		Junta de expansion	NO	Otra	.
Numero de luces	1	Apoyos			
Long. Luz menor(m)	21	Tipo de apoyos fijos sobre estribos	1		
Long. Luz mayor(m)	21	Tipo de apoyos moviles sobre estribos	1		
Longitud total(m)	22	Tipo de apoyos fijos en pilas	.		
Ancho del tablero(m)	3.8	Tipo de apoyos moviles en pilas	.		
Ancho del separador(m)	.	Tipo de apoyos fijos en vigas	.		
Ancho del anden izquierdo(m)	.	Tipo de apoyos moviles en vigas	.		
Ancho del anden derecho(m)	.				
Ancho del calzada(m)	.	Yehiculo de diseño	NS		
Ancho del bordillos(m)	.	Clase de distribucion de carga	NS		
Ancho del acceso(m)	.				
Altura de las pilas(m)	.	Miembros interesados			
Altura de las estribos(m)	3.5	Propietario			
Longitud de apoyo en pilas(m)	.	Departamento	SANTANDER		
Longitud de apoyo en estribos(m)	.	Administrador vial	INVIAS		
Puente en terraplen(S/N)	S	Proyectista	UIS		
Puente en curva(S/N)	.	Municipio	SABANA DE TORRES		
Esviajamiento(gra)	.	Posicion Geografica			
Superestructura, tipo Principal		Grados		Minutos	
Diseño tipo(S/N)	S	Latitud (N)	7	24	
Tipo de estructuracion transversal	RIELES	Longitud(O)	73	30	
Tipo de estructuracion Longitudinal	VIGAS				
Material	A-36	Altitud(m)	110		

Formulario de Inspeccion Principal de Puentes										
					Regional	Carretera	Identificacion de l puente			
Nombre	CHCOCA		Identificacion	22 (SANTANDER)	SABANA DE TORRES	05 (ARMADURA DE PASO INFERIOR)				
Carretera	ANTIGUA VIA FERREA		Fecha	20/04/2013	Tiempo	8 HORAS				
Temperatura	35°C		Inspector	-	Administrador	FRANCISCO JAVIER PINEDA CADENA				
Componente	Clasificacion	Manteni miento	Insp. Esp	No. de nodos	Tipo de daño	Reparaciones				Daño
						Tipo	Cantidad	Año	Costo	
1. Superficie del puente	3	S	-	-	10	NS	NS	NS	NS	NS
2. Juntas de expansion	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
3. Andenes/ bordillos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
4. Barandas	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
5. Conos / Taludes	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
6. Aletas	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
7. Estribos	2	S	S	-	60	NS	NS	NS	NS	NS
8. Pilas	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
9. Apoyos	1	S	S	4	65	NS	NS	NS	NS	NS
10. Losa	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
11. Vigas/Largueros/Diafragmas	1	S	S	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
12. Elementos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
13. Cables/Pendolones/Torres/Macizos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
14. Elementos de armadura	1	S	S	20	65	NS	NS	NS	NS	NS
15. Cauce	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
16. Otros elementos	-	-	-	-	-	NS	NS	NS	NS	NS
17. Puente en general	1	S	S	24	65	NS	NS	NS	NS	NS
Observaciones Generales: No existe una base de datos sobre el puente existente de los mantenimientos que pudo haber recibido anteriormente.										

Registro fotográfico del Puente Chocoa

Figura 21. Foto puente Chocoa.



4.2.1 Detalle de uniones

Figura 22. Detalle de uniones en el puente Chocoa.

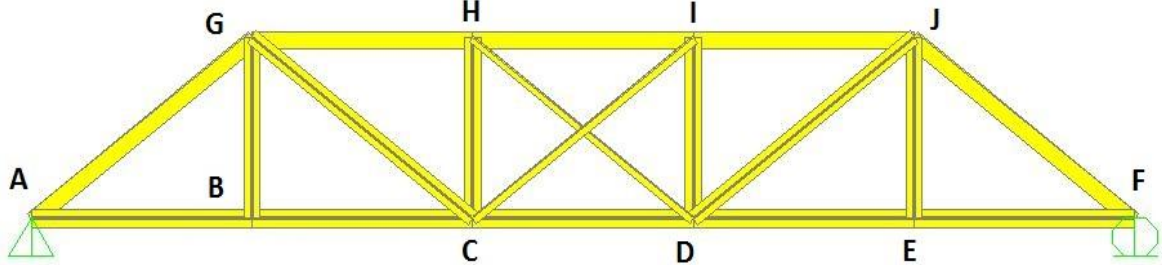

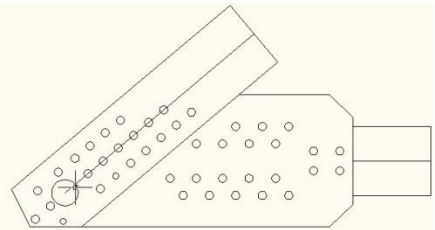

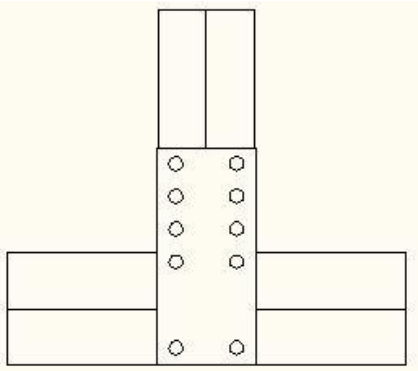

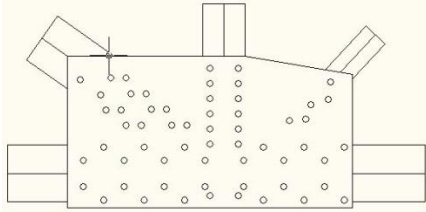

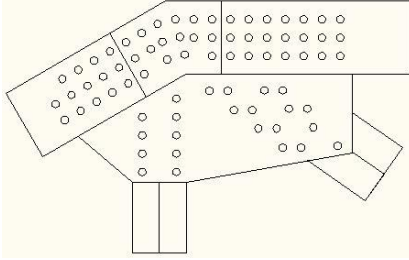

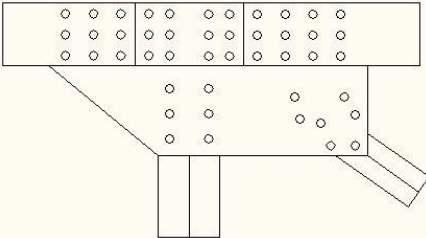


Figura 23. Detalle de uniones en el puente Chocoa.

IMAGEN	MODELO	UBICACIÓN
		<p>NODOS A y F</p>
		<p>NODOS B y E</p>

		<p>NODOS C y D</p>
		<p>NODOS G y J</p>
		<p>NODOS H y I</p>

5. MODELAMIENTO

- Para el modelamiento de los puentes objeto de estudio se utilizó el software de elementos finitos SAP2000 v14.2.4.
- Realizándose algunas consideraciones como los materiales a utilizar, ejemplo de ello el acero A-36 el cual se modelo con un material que trae el software por defecto (ASTM A36) cuyas propiedades de muestran en el numeral **(6.1.1)**.
- En las visitas de campo a las estructuras en estudio se identificaron los diferentes elementos que las componen, caso como el puente Chocoa que al ser un puente de paso inferior con cerchas laterales se lograron identificar sus elementos principales como vigas longitudinales, vigas transversales, cordón superior, cordón inferior, postes y demás elementos. De igual manera se logró tomar las dimensiones de los mismos para un posterior modelamiento en el software, estos elementos se encuentran detallados en el numeral **(6.2)** los cuales se modelaron con elementos tipo FRAME.
- Para lograr un completo análisis de un puente es de suma importancia el análisis e identificación de los tipos de uniones presentes en la estructura, ya que estas llegan a ser las partes más críticas de la estructuras ya sea por falta de pernos, pérdida de sección o por las grandes fuerzas externas e internas que llegue a soportar, las uniones encontradas en los puentes se encuentran detalladas en el numeral **(5.2.1)**, en el modelo digital a estas uniones se les liberó la capacidad de transmitir momentos mediante la herramienta **RELEASES** quedando como elementos biarticulados, liberando así momentos en sus dos ejes principales.

- Para el modelamiento del tablero presente en la estructura se tomó primero el número de rieles que lo conforman, la longitud promedio de ellos y las dimensiones del riel tipo (**Figura 27**), con estos datos y la ayuda de catálogos de rieles se pudo modelar un tablero equivalente de concreto de 3000 Psi para cada puente y están detallados en los numerales **6.2**puente Venecia y **6.3** Puente Chocóa.
- Para finalizar el análisis digital de las estructuras se modeló una carga viva móvil de un camión tipo C40-95 (**Numeral 6.1.4**)establecido como camión de diseño por la Norma Colombiana de diseño Puentes de 1995, debido a que los puentes son para tránsito en un solo carril se modelaron tres (3) diferentes líneas de carga, el primer caso el camión de diseño va centrado en el eje del carril, segundo caso el camión de diseño va excéntrico 80 [cm] a la derecha del eje del carril y la tercera línea de carga es con el camión de diseño excéntrico 80 [cm] a la izquierda del eje del carril.
- Como ultima consideración en el modelo se tomaron los apoyos de los puentes en los estribos como apoyos de primer grado y segundo grado estas consideraciones se tomaron debido a las características presentes en los apoyos existentes.
- Combinación de cargas critica Grupo A1 = 1.33 [1.33*WD + 1.67*WL + Impacto].

5.1 ESPECIFICACIONES DE LOS MATERIALES.

5.1.1 Especificaciones del acero A-36

Tabla 6. Composición del acero A-36.

Composición química de la colada.

Carbono (C)	0,26% máx
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máx
Azufre (S)	0,05% máx
Silicio (Si)	0,40% máx
* Cobre (Cu)	0,20% mínimo

*Cuando se especifique

Tiene una densidad de 7850 kg/m³ (0.28 lb/in³). El acero A-36 en barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulgadas (203,2 mm), tiene un límite de fluencia mínimo de 250 MPA (36 ksi), y un límite de rotura mínimo de 410 MPa (58 ksi). Las planchas con espesores mayores de 8 pulgadas (203,2 mm), tienen un límite de fluencia mínimo de 220 MPA (32 ksi) y el mismo límite de rotura.

Tabla 7. Propiedades mecánicas del acero A-36.

Propiedades Mecánicas

Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Máx	Min	Máx
250	36000	58000	80000	400	550

El puente se ha modelado con acero A-36 teniendo en cuenta las siguientes características:

Figura 24. Datos de propiedades del material.

General Data	
Material Name and Display Color	A36 ■
Material Type	Steel
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	7.849
Mass per Unit Volume	0.8004

Units	
Units	Tonf, m, C

Isotropic Property Data	
Modulus of Elasticity, E	16311215
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	6273544.

Other Properties for Steel Materials	
Minimum Yield Stress, Fy	20248.4
Minimum Tensile Stress, Fu	40778.04
Effective Yield Stress, Fye	37965.76
Effective Tensile Stress, Fue	44855.84

Nota: La fluencia del acero A-36 y el módulo de elasticidad, fueron reducidos un 20% por envejecimiento. Esta reducción está basada en la consulta hecha en el artículo [4], donde se hicieron estudios a puentes que son de la misma fecha de construcción y para el uso ferroviario. Suponiendo que el acero implementado es en estos puentes es de características similares a las de nuestros puentes bajo estudio, el cual se clasifica como acero S 275 JO con resistencia ultima entre 430 y 508 Mpa y una resistencia a la fluencia de 225 Gpa que se asemejan a las propiedades del acero usado en nuestro estudio (200 GPa) y con el fin de trabajar con un factor de seguridad siendo conservadores en los resultados obtenidos. Los resultados del análisis de cada elemento se encuentran en el anexo 2.

5.1.2 Métodos de análisis. Análisis Estructural: Método de Análisis por deflexión, fluencia, rotura y pandeo.

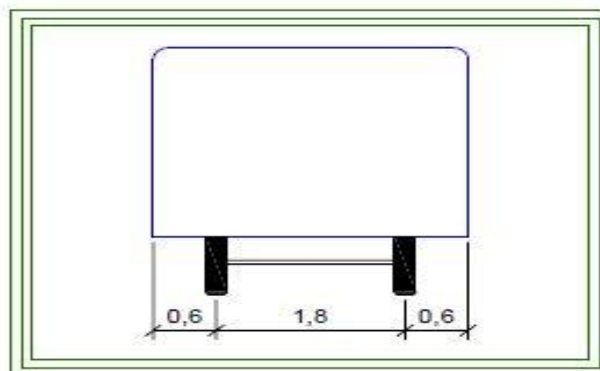
5.1.3 Normatividad

- ❖ Código Colombiano de Puentes de 1995.
- ❖ N.S.R. 10.

5.1.4 Camión de diseño

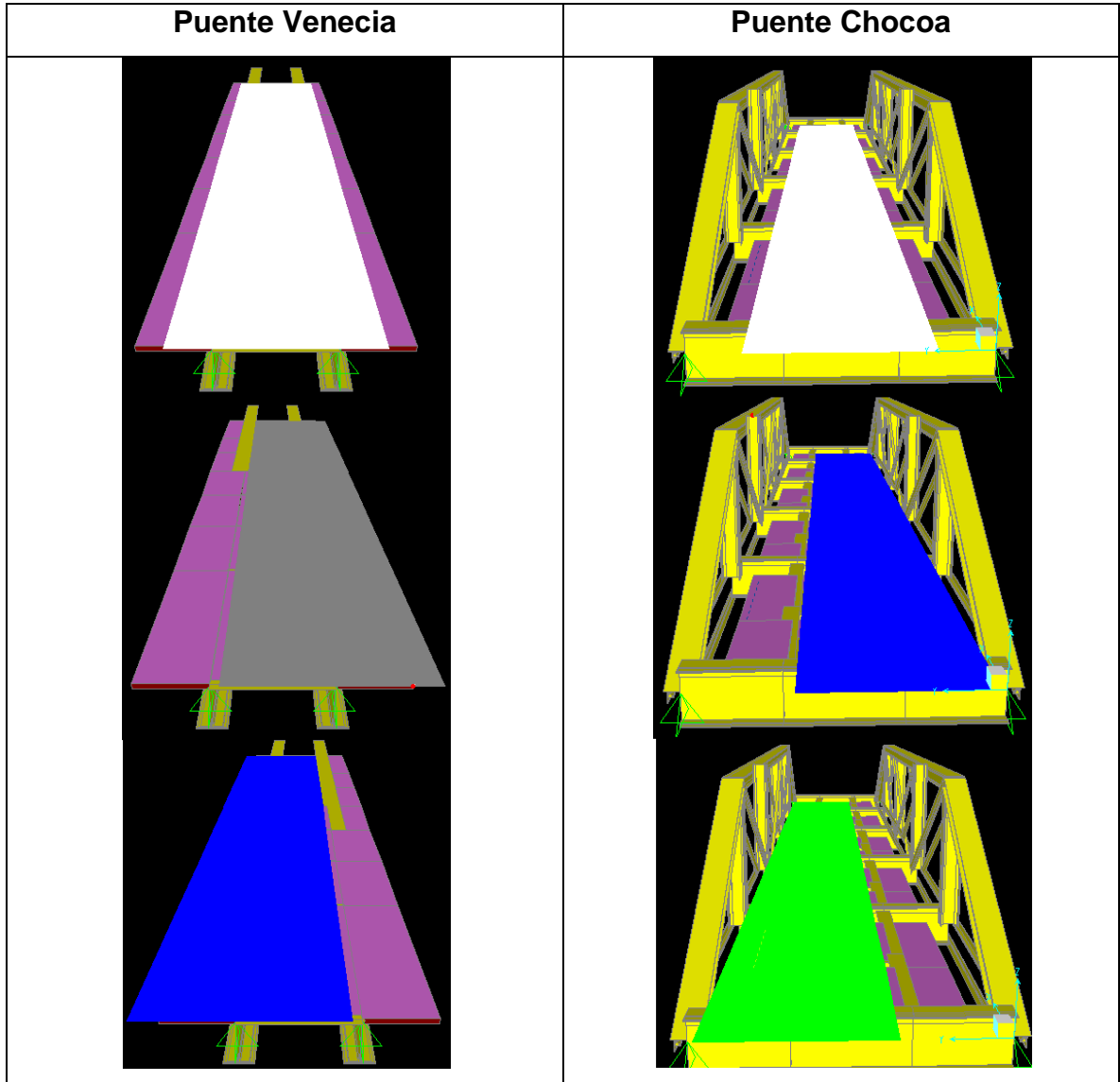
Camión C40-95. [3]

Figura 25. Camión tipo.



5.1.5 Líneas de carga (LANE)

Figura 26. Líneas de carga.



En el modelo la carga viva se representa por el camión de diseño c40-95 establecido por el código colombiano de diseño puentes de 1995, haciendo en cada modelo tres diferentes líneas de carga (LANE) como se muestra en las imágenes, las líneas de carga se escogieron para representar los casos más críticos de tránsito en un solo carril, llevando tránsito en su eje central y en los dos extremos del tablero.

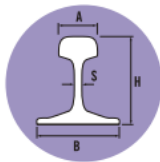
5.2 MODELAMIENTO DEL PUENTE VENECIA (ARMADURA DE PASO SUPERIOR- 04)

Especificaciones:

Figura 27. Rieles de diseño.



Riel ligero - Perfiles americanos



	PESO PESO		BOLETO HONGO A		ALTURA ALTURA H		PATIM BASE B		ALMA ALMA S	
	kg/m	lb/yda	mm	pol./pulg.	mm	pol./pulg.	mm	pol./pulg.	mm	pol./pulg.
ASCE 85	42.17	85.00	65.09	2 9/16	131.76	5 3/16	131.76	5 3/16	14.29	9/16
ASCE 80 (TR40)	39.68	80.00	63.50	2 1/2	127.00	5	127.00	5	13.89	35/64
ASCE 75 (TR37)	37.20	75.00	62.7	2 15/32	122.2	4 13/16	122.2	4 13/16	13.49	17/32
ASCE 60 (TR30)	29.76	60.00	60.32	2 3/8	107.95	4 1/4	107.95	4 1/4	12.30	31/64
ASCE 40	19.84	40.00	47.62	1 7/8	88.90	3 1/2	88.90	3 1/2	9.92	25/64
ASCE 30	14.88	30.00	42.86	1 11/16	79.37	3 1/8	79.37	3 1/8	8.33	21/64
ASCE 25	12.40	25.00	38.10	1 1/2	69.85	2 3/4	69.85	2 3/4	7.54	19/64
ASCE 20	9.92	20.00	34.13	1 11/32	66.67	2 5/8	66.67	2 5/8	6.35	1/4

- ❖ Numero de rieles en el tablero: 90 [un]
- ❖ Longitud : 3,60 [m]
- ❖ Peso de los rieles.

$$W_R = 29,76 \text{ [Kg/m]}$$

- ❖ Luz $L = 16$ [m]
- ❖ Peso de la losa en rieles.

$$Wl = 90 * 3,60 * 29,76 = 9643,24 \text{ [kg]}$$

- ❖ Espesor de la placa de concreto es equivalente al peso de los rieles.

$$e = \frac{9,64324}{2,4 * 16 * 3,6} = 0,069 \text{ [m]}$$

Figura 28. Modelo del puente Venecia.


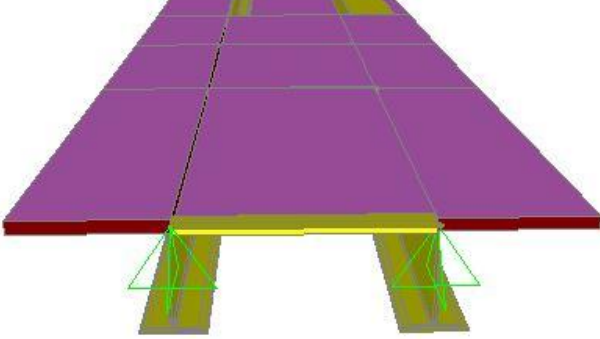

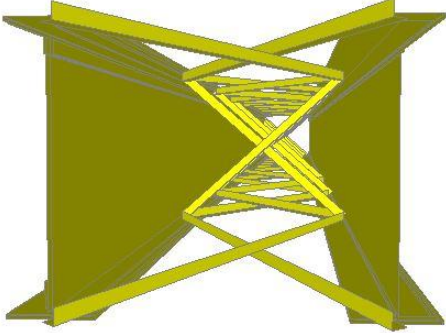


Imagen	Modelo
	
	

Imagen	Modelo
	

5.2.1 Control de deflexiones. Según el código Colombiano de puentes en la sección A.9.6. – DEFLEXIONES.

$$\frac{LUZ}{800} < \delta \text{ En la luz.}$$

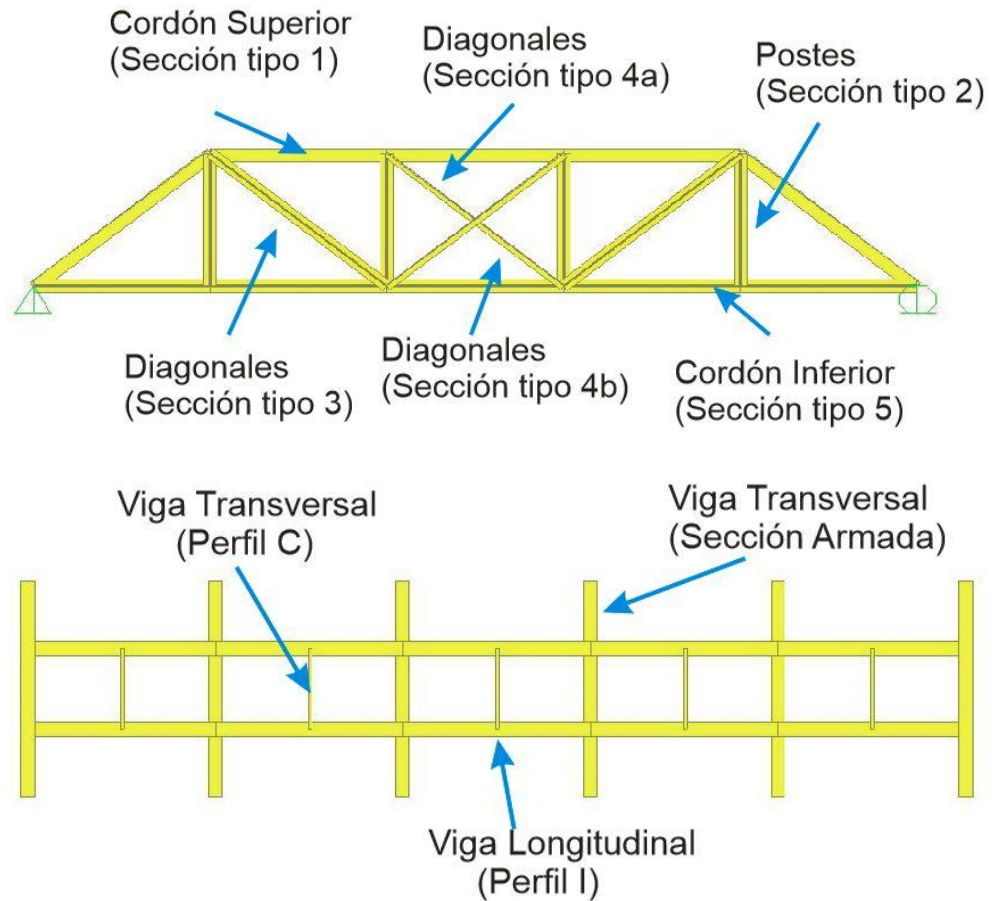
$$\frac{16}{800} = 0,02 \text{ [m].}$$

DEFLEXIONES CALCULADAS EN SOFTWARE (CARGA VIVA).

$$\delta = 0,0089 \text{ [m]. [Cumple].}$$

5.3 MODELAMIENTO DEL PUENTE CHOCOA (ARMADURA DE PASO INFERIOR-05)

Figura 29. Modelo del puente Chocoa, vista lateral y superior.



Especificaciones:

- ❖ Numero de rieles en el tablero:136 [un]
- ❖ Longitud:3,80 [m]
- ❖ Peso de los rieles.

$$W_R = 29,76 \text{ [Kg/m]}$$

- ❖ Peso de la losa en rieles.

$$Wl = 136 * 3,80 * 29,76 = 15380 \text{ [kg]}$$

- ❖ Luz

$$L = 21 \text{ [m]}$$

- ❖ Espesor de la placa de concreto determinada por el peso de los rieles.

$$e = \frac{15,380}{2,4 * 21 * 3,8} = 0.08 \text{ [m]}$$

Figura 30. Modelo del puente Chocoa.


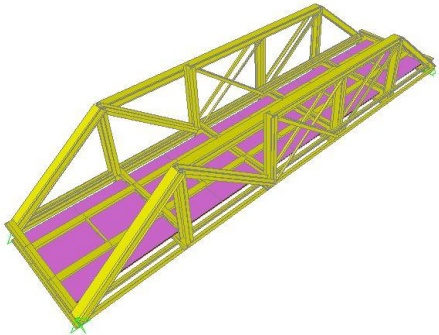

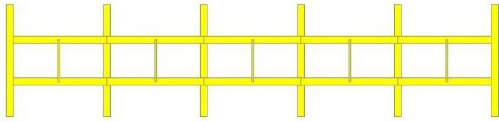

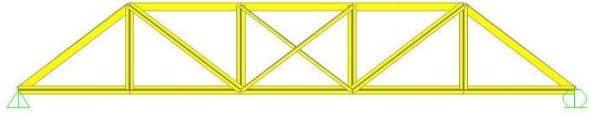
Imagen	Modelo
	
	

Imagen	Modelo
	

En el modelo del Puente Chocó las riostras inferiores no se modelaron por su alto deterioro (Presentan pérdida masiva de pernos por corrosión y elementos con abolladuras de grandes dimensiones esto debido a las crecientes del afluente que transportan rocas y vegetación de gran tamaño).

5.3.1 Control de deflexiones. Según el código Colombiano de puentes en la sección A.9.6. – DEFLEXIONES.

$$\frac{LUZ}{800} < \delta \text{ En la luz.} \qquad \frac{21}{800} = 0,026 \text{ [m].}$$

DEFLEXIONES CALCULADAS EN SOFTWARE (CARGA VIVA).

$$\delta = 0,0076 \text{ [m]. [Cumple]}$$

6. EVALUACION DE CARGAS

La evaluación de cargas de los elementos de los Puentes objeto de estudio se presentan a continuación en una tabla resumen con calculo Tipo referenciados en el **Anexo 2**.

Columna 1: Fotografía del elemento a modelar y evaluar tomada en campo.

Columna 2: Modelo digital de la sección tipo.

Columna 3: Propiedades de la Sección arrojadas por el software Sap2000 v14.2.4

Columna 4: Análisis realizado a los elementos, ya solicitados a compresión, tensión, momento flector.


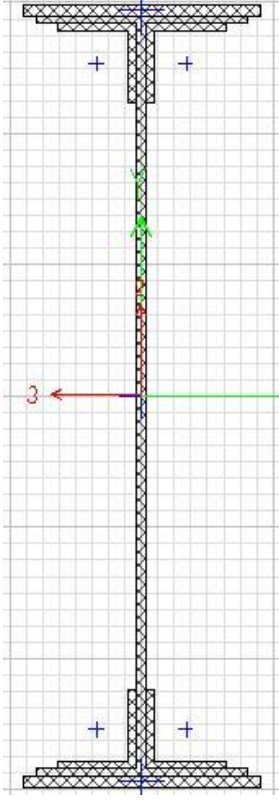
*En el análisis se detalla La línea C40-95 que es la carga de sollicitación por camión de diseño.

*En las líneas Pu se muestra la capacidad de carga del elemento debido al análisis realizado según su sollicitación, Análisis detallados en **Anexo2**.

*El análisis del elemento cumple si: $\emptyset P_n > P_u$.

6.1 PUENTE VENECIA

Figura 31. Análisis de la viga principal del puente Venecia. (Ver cálculos anexo 2.2).

Imagen	Modelo	Propiedades	Análisis																																														
<p data-bbox="258 544 613 630">Viga Principal (Sección Armada)</p> 		<p data-bbox="1150 548 1470 576">Base Material <input type="text" value="A36"/></p> <p data-bbox="1150 597 1470 625">Xcg <input type="text" value="-0.0926"/></p> <p data-bbox="1150 641 1470 669">Ycg <input type="text" value="2.236"/></p> <p data-bbox="1150 711 1470 738">Axis Angle <input type="text" value="90"/></p> <table border="1" data-bbox="1150 760 1470 1307"> <tr><td>A</td><td>75770</td></tr> <tr><td>J</td><td>45690675</td></tr> <tr><td>I33</td><td>2.842E+10</td></tr> <tr><td>I22</td><td>5.494E+08</td></tr> <tr><td>I23</td><td>4389353</td></tr> <tr><td>AS2</td><td>31808</td></tr> <tr><td>AS3</td><td>43164</td></tr> <tr><td>S33(+face)</td><td>38268543</td></tr> <tr><td>S33(-face)</td><td>38039512</td></tr> <tr><td>S22(+face)</td><td>2442833</td></tr> <tr><td>S22(-face)</td><td>2440822</td></tr> <tr><td>Z33</td><td>43495764</td></tr> <tr><td>Z22</td><td>4280758</td></tr> <tr><td>r33</td><td>612.4882</td></tr> <tr><td>r22</td><td>85.153</td></tr> <tr><td>d33pna</td><td>4.5136</td></tr> <tr><td>d22pna</td><td>-2.044E-03</td></tr> </table>	A	75770	J	45690675	I33	2.842E+10	I22	5.494E+08	I23	4389353	AS2	31808	AS3	43164	S33(+face)	38268543	S33(-face)	38039512	S22(+face)	2442833	S22(-face)	2440822	Z33	43495764	Z22	4280758	r33	612.4882	r22	85.153	d33pna	4.5136	d22pna	-2.044E-03	<table border="1" data-bbox="1480 831 1701 998"> <tr><td colspan="2">DISEÑO A FLEXION:</td></tr> <tr><td colspan="2">PLASTIFICACION</td></tr> <tr><td>ØPn</td><td>779 [Ton-f]</td></tr> <tr><td colspan="2">PANDEO</td></tr> <tr><td>ØPn</td><td>No requiere</td></tr> <tr><td>Pu(C40-95)</td><td>580 [Ton-f]</td></tr> </table>	DISEÑO A FLEXION:		PLASTIFICACION		ØPn	779 [Ton-f]	PANDEO		ØPn	No requiere	Pu(C40-95)	580 [Ton-f]
A	75770																																																
J	45690675																																																
I33	2.842E+10																																																
I22	5.494E+08																																																
I23	4389353																																																
AS2	31808																																																
AS3	43164																																																
S33(+face)	38268543																																																
S33(-face)	38039512																																																
S22(+face)	2442833																																																
S22(-face)	2440822																																																
Z33	43495764																																																
Z22	4280758																																																
r33	612.4882																																																
r22	85.153																																																
d33pna	4.5136																																																
d22pna	-2.044E-03																																																
DISEÑO A FLEXION:																																																	
PLASTIFICACION																																																	
ØPn	779 [Ton-f]																																																
PANDEO																																																	
ØPn	No requiere																																																
Pu(C40-95)	580 [Ton-f]																																																

6.2 PUENTE CHOCOA

Figura 32. Análisis del cordón superior, postes y diagonales del puente Chocoa. (Ver cálculos anexo 2.1)


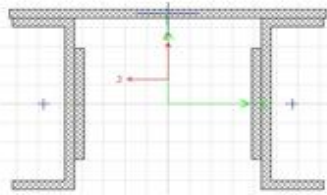

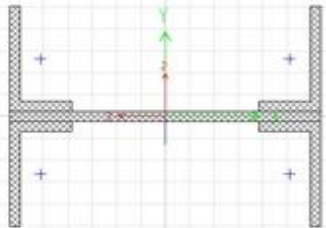

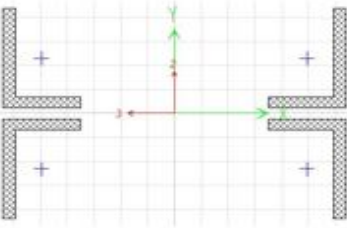
Imagen	Modelo	Propiedades	Análisis										
Cordón Superior (Sección tipo 1) 		Base Material: A36 Xcg: 0. Ycg: 40.1544 Axis Angle: 90 <table border="1"> <tr><td>A</td><td>23576</td></tr> <tr><td>J</td><td>4157560</td></tr> <tr><td>I33</td><td>2.414E+08</td></tr> <tr><td>I22</td><td>5.053E+08</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0.</td></tr> </table>	A	23576	J	4157560	I33	2.414E+08	I22	5.053E+08	I23	0.	DISEÑO COMPRESION: ϕP_n 370 [Ton-f] $P_u(C40-95)$ 220 [Ton-f]
A	23576												
J	4157560												
I33	2.414E+08												
I22	5.053E+08												
I23	0.												
Postes (Sección tipo 2) 		Base Material: A36 Xcg: 0. Ycg: 0. Axis Angle: 90 <table border="1"> <tr><td>A</td><td>17696</td></tr> <tr><td>J</td><td>3558754</td></tr> <tr><td>I33</td><td>73107851</td></tr> <tr><td>I22</td><td>4.756E+08</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0.</td></tr> </table>	A	17696	J	3558754	I33	73107851	I22	4.756E+08	I23	0.	DISEÑO COMPRESION: ϕP_n 280 [Ton-f] $P_u(C40-95)$ 21 [Ton-f] DISEÑO TENSION: FLUENCIA: ϕP_n 320 [Ton-f] ROTURA ϕP_n 250 [Ton-f] $P_u(C40-95)$ 75 [Ton-f]
A	17696												
J	3558754												
I33	73107851												
I22	4.756E+08												
I23	0.												
Diagonales (Sección tipo 3) 		Base Material: A36 Xcg: 0. Ycg: 0. Axis Angle: 90 <table border="1"> <tr><td>A</td><td>11536</td></tr> <tr><td>J</td><td>739569</td></tr> <tr><td>I33</td><td>48895877</td></tr> <tr><td>I22</td><td>3.666E+08</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0.</td></tr> </table>	A	11536	J	739569	I33	48895877	I22	3.666E+08	I23	0.	DISEÑO COMPRESION: ϕP_n 150 [Ton-f] $P_u(C40-95)$ 10 [Ton-f] DISEÑO TENSION: FLUENCIA: ϕP_n 210 [Ton-f] ROTURA ϕP_n 164 [Ton-f] $P_u(C40-95)$ 129 [Ton-f]
A	11536												
J	739569												
I33	48895877												
I22	3.666E+08												
I23	0.												

Figura 33. Análisis del cordón inferior y diagonales del puente Chocoa. (Ver anexo cálculos 2.1)




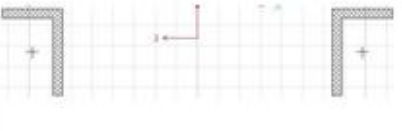

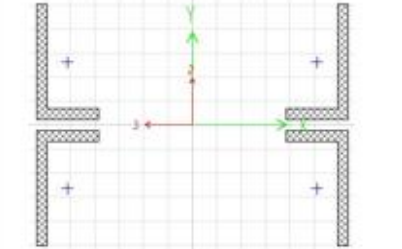

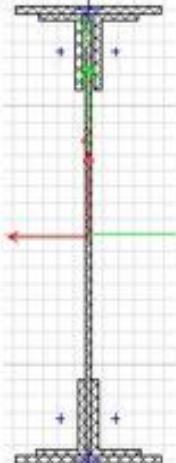

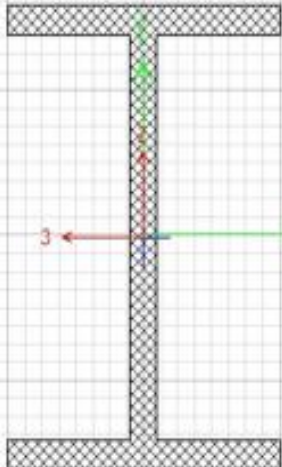
Imagen	Modelo	Propiedades	Análisis										
<p>Diagonales (Sección tipo 4a)</p> 		<p>Base Material: A36</p> <p>Xcg: 0</p> <p>Ycg: -50.6019</p> <p>Axis Angle: 30</p> <table border="1" data-bbox="1157 634 1417 760"> <tr><td>A</td><td>5768</td></tr> <tr><td>J</td><td>368384</td></tr> <tr><td>I33</td><td>9678649</td></tr> <tr><td>I22</td><td>1.833E+08</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0</td></tr> </table>	A	5768	J	368384	I33	9678649	I22	1.833E+08	I23	0	<p>DISEÑO COMPRESION:</p> <p>ØPn 46 [Ton-f]</p> <p>Pu(C40-95) 33 [Ton-f]</p> <p>DISEÑO TENSION:</p> <p>FLUENCIA:</p> <p>ØPn 105 [Ton-f]</p> <p>ROTURA</p> <p>ØPn 76 [Ton-f]</p> <p>Pu(C40-95) 30 [Ton-f]</p>
A	5768												
J	368384												
I33	9678649												
I22	1.833E+08												
I23	0												
<p>Diagonales (Sección tipo 4b)</p> 		<p>Base Material: A36</p> <p>Xcg: 0</p> <p>Ycg: -50.6019</p> <p>Axis Angle: 30</p> <table border="1" data-bbox="1157 956 1417 1081"> <tr><td>A</td><td>5768</td></tr> <tr><td>J</td><td>368384</td></tr> <tr><td>I33</td><td>9678649</td></tr> <tr><td>I22</td><td>2.922E+08</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0</td></tr> </table>	A	5768	J	368384	I33	9678649	I22	2.922E+08	I23	0	<p>DISEÑO COMPRESION:</p> <p>ØPn 46 [Ton-f]</p> <p>Pu(C40-95) 33 [Ton-f]</p> <p>DISEÑO TENSION:</p> <p>FLUENCIA:</p> <p>ØPn 105 [Ton-f]</p> <p>ROTURA</p> <p>ØPn 76 [Ton-f]</p> <p>Pu(C40-95) 30 [Ton-f]</p>
A	5768												
J	368384												
I33	9678649												
I22	2.922E+08												
I23	0												
<p>Cordón Inferior (Sección tipo 5)</p> 		<p>Base Material: A36</p> <p>Xcg: 0</p> <p>Ycg: 0</p> <p>Axis Angle: 30</p> <table border="1" data-bbox="1157 1281 1417 1406"> <tr><td>A</td><td>0.0121</td></tr> <tr><td>J</td><td>7.762E-07</td></tr> <tr><td>I33</td><td>7.302E-05</td></tr> <tr><td>I22</td><td>4.009E-04</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0</td></tr> </table>	A	0.0121	J	7.762E-07	I33	7.302E-05	I22	4.009E-04	I23	0	<p>DISEÑO TENSION:</p> <p>FLUENCIA:</p> <p>ØPn 220 [Ton-f]</p> <p>ROTURA</p> <p>ØPn 170 [Ton-f]</p> <p>Pu(C40-95) 105 [Ton-f]</p>
A	0.0121												
J	7.762E-07												
I33	7.302E-05												
I22	4.009E-04												
I23	0												

Figura 34. Análisis de la viga transversal y longitudinal del puente Chocoa. (Ver anexo cálculos 2.1)

Imagen	Modelo	Propiedades	Análisis										
<p data-bbox="258 412 705 444">Viga Transversal (Sección Armada)</p> 		<p data-bbox="1241 418 1560 451">Base Material <input type="text" value="A36"/></p> <p data-bbox="1241 467 1560 500">Xcg <input type="text" value="0"/></p> <p data-bbox="1241 508 1560 540">Ycg <input type="text" value="-3.5487"/></p> <p data-bbox="1241 573 1560 605">Axis Angle <input type="text" value="90"/> >></p> <table border="1" data-bbox="1247 621 1554 776"> <tr><td>A</td><td>33376</td></tr> <tr><td>J</td><td>7270712</td></tr> <tr><td>I33</td><td>4.232E+09</td></tr> <tr><td>I22</td><td>86761117</td></tr> <tr><td>I23</td><td>0</td></tr> </table>	A	33376	J	7270712	I33	4.232E+09	I22	86761117	I23	0	<p data-bbox="1602 500 1814 532">DISEÑO TENSION:</p> <p data-bbox="1602 532 1814 565">FLUENCIA:</p> <p data-bbox="1602 565 1814 597">ØPn 540 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 597 1814 630">ROTURA</p> <p data-bbox="1602 630 1814 662">ØPn 440 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 662 1814 695">Pu(C40-95) 70 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 695 1814 727">DISEÑO A FLEXION:</p> <p data-bbox="1602 727 1814 760">PLASTIFICACION</p> <p data-bbox="1602 760 1814 792">ØPn 130 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 792 1814 824">PANDEO</p> <p data-bbox="1602 824 1814 857">ØPn No requiere</p> <p data-bbox="1602 857 1814 889">Pu(C40-95) 10 [Ton-f]</p>
A	33376												
J	7270712												
I33	4.232E+09												
I22	86761117												
I23	0												
<p data-bbox="258 894 705 927">Viga Longitudinal (Perfil I)</p> 		<p data-bbox="1230 911 1570 943">Properties <input type="text" value="Section Properties..."/> Property Modifiers <input type="text" value="Set Modifiers..."/></p> <p data-bbox="1230 992 1570 1024">Dimensions</p> <p data-bbox="1241 1024 1560 1057">Outside height (t3) <input type="text" value="0.63"/></p> <p data-bbox="1241 1065 1560 1097">Top flange width (t2) <input type="text" value="0.31"/></p> <p data-bbox="1241 1105 1560 1138">Top flange thickness (t1) <input type="text" value="0.025"/></p> <p data-bbox="1241 1146 1560 1179">Web thickness (tw) <input type="text" value="0.025"/></p> <p data-bbox="1241 1187 1560 1219">Bottom flange width (t2b) <input type="text" value="0.31"/></p> <p data-bbox="1241 1227 1560 1260">Bottom flange thickness (t1b) <input type="text" value="0.025"/></p>	<p data-bbox="1602 984 1814 1016">DISEÑO COMPRESION:</p> <p data-bbox="1602 1016 1814 1049">ØPn 390 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 1049 1814 1081">Pu(C40-95) 80 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 1081 1814 1114">DISEÑO A FLEXION:</p> <p data-bbox="1602 1114 1814 1146">PLASTIFICACION</p> <p data-bbox="1602 1146 1814 1179">ØPn 190 [Ton-f]</p> <p data-bbox="1602 1179 1814 1211">PANDEO</p> <p data-bbox="1602 1211 1814 1243">ØPn No requiere</p> <p data-bbox="1602 1243 1814 1276">Pu(C40-95) 80 [Ton-f]</p>										

7. CONCLUSIONES

- ❖ Se determinó que el comportamiento estructural de los puentes caso de estudio ha sido óptimo al analizar su resistencia bajo los factores de deterioro ocasionados por el impacto del tiempo y la falta de mantenimiento, afectando dicha resistencia en forma mínima. Cabe resaltar que el análisis de resistencia con los factores descritos solo se desarrolló entre las secciones de los elementos que comprenden los puentes y no entre las conexiones de estos mismos.
- ❖ Los factores de deterioro que ocasionan el paso del tiempo y el déficit de mantenimiento en estos puentes reducen gradualmente sus características mecánicas (área efectiva, inercia) y del material (módulo de elasticidad). Aun así, después de 60 años de servicio, con deterioro visible entre sus elementos y con las hipótesis asumidas en reducción de propiedades, estas estructuras cumplen con la resistencia requerida de acuerdo al análisis.
- ❖ Las estructuras se analizaron por medio del software SAP 2000 idealizando las secciones armadas con elementos tipo I, C, L, UPN, placas laminares y sección riel ligero tipo americano. Estos puentes presentan un tablero constituido por rieles.
- ❖ La patología más relevante que presentan las estructuras analizadas es la corrosión leve de sus elementos, efecto común entre las estructuras metálicas. Dicho efecto es ocasionado en estas estructuras debido a las condiciones ambientales de la zona, la cual presenta una humedad relativa del 83 %.
- ❖ La falta de mantenimiento también juega un papel muy importante respecto a la reducción de la resistencia en los puentes de objeto de estudio. Cabe

resaltar que si se realizara un proceso adecuado de mantenimiento preferiblemente con recubrimientos epóxicos a la estructura metálica, el porcentaje de corrosión sería el mínimo.

- ❖ Todos los elementos analizados de las estructuras de objeto de estudio cumplen la relación demanda-capacidad, con lo que no se recomienda reforzarlos ni cambiarlos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que no se realizaron los análisis de fatiga, uniones y los estribos que son parte fundamental de la estructura de los puentes metálicos existentes.
- ❖ El levantamiento geométrico detallado de los puentes se realizó y se encuentra referenciado en el capítulo 1 (Levantamiento general).
- ❖ Las principales patologías se encuentra en la tabla concebida en el capítulo 1 (Levantamiento general).
- ❖ La realización de un levantamiento topográfico (altimetría y planimetría) de precisión es de suma importancia para un proyecto adecuado de reforzamiento y estabilización, tanto del puente como de los estribos, requerido a los fines de proporcionar una seguridad estructural adecuada de estos elementos.
- ❖ Desde el punto de vista de la corrosión, los puentes pueden ser rehabilitados. Se aprecia una corrosión superficial generalizada, con zonas críticas en los extremos y los apoyos, pero la condición puede ser controlada con un buen tratamiento superficial y su revestimiento.

BIBLIOGRAFIA

[1] COLOMBIA, Instituto Nacional de las Vías (INVIAS).

[2] ESPAÑA, curso de auscultación, mantenimiento y rehabilitación de puentes, editorial: publicación hecha por la Escuela abierta de desarrollo en ingeniería y construcción.

[3] COLOMBIA, Ministerio de Transporte, Instituto Nacional de Vías, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes. Bogotá: Inviás, 1995.

[4] Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance.

[5] SALVADOR, Universidad De El Salvador Facultad de Ingeniería Y Arquitectura Escuela de Ingeniería Civil, proyecto de grado: Aplicaciones de puentes metálicos modulares en El Salvador, CARRILLO CHOPIN Fabricio, LÓPEZ PEÑA Helman, p. 8-57.

[7] Disponible en:
http://www.cabildoverde.org/index.php?option=com_content&view=article&id=68&Itemid=62

[8] Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/89693272/Acero-ASTM-A36>

[9] Asociación colombiana de ingeniería sísmica, Norma Colombiana sismo resistente 2010 (NSR-10) título F (ESTRUCTURAS METÁLICAS), Bogotá D.C.

ANEXOS

ANEXO A. Formatos SIPUCOL.

Anexo A.1. Formato inventario de Puentes.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
SECRETARIA GENERAL TECNICA
Sistema de Administración de Puentes
SIPUCOL

Formato de Inventario de Puentes

Nombre :		Identif. :		Regional		Carretera		Identificación del puente	
Carretera :		PR. :		+ :		Regional			

PASOS							
No.	Tipo Paso	Primero (S/N)	Sup/Inf (S/I)	Galibo			
				I	IM	DM	D
1							
2							

DATOS ADMINISTRATIVOS	
Año de construcción :	
Año de reconstrucción :	
Dirección de absc. de la carret. (N/S/E/O)	
Requisitos de inspección :	
Número de secciones de inspección	
Estación de conteo :	
Fecha de recolección de datos :	
Iniciales del Inspector :	

DATOS TECNICOS	
Geometría	
Número de luces	
Longitud luz menor (m) :	
Longitud luz mayor (m) :	
Longitud total (m) :	
Ancho del tablero (m) :	
Ancho del separador (m) :	
Ancho del andén izquierdo (m)	
Ancho del andén derecho (m) :	
Ancho de calzada (m)	
Ancho entre bordillos (m)	
Ancho del acceso (m)	
Altura de pilas (m)	
Altura de estribos (m)	
Longitud de apoyo en pilas (m)	
Longitud de apoyo en estribos (m)	
Puente en terraplén (S/N)	
Puente en Curva / Tangente (C/T)	
Esviajamiento (gra)	

SUPERESTRUCTURA, Tipo principal	
Diseño tipo (S/N) :	
Tipo de estructuración transversal :	
Tipo de estructuración longitudinal :	
Material :	

SUPERESTRUCTURA, Tipo secundario	
Diseño tipo (S/N) :	
Tipo de estructuración transversal :	
Tipo de estructuración longitudinal :	
Material :	

SUBESTRUCTURA			
ESTRIBOS		PILAS	
Tipo :		Tipo :	
Material :		Material :	
Tipo de cimentación :		Tipo de cimentación :	
DETALLES		SEÑALES	
Tipo de baranda		Carga máxima	
Superf. de rodadura		Velocidad máxima	
Junta de expansión		Otra	

APOYOS	
Tipo de apoyos fijos sobre estribos	
Tipo de apoyos móviles sobre estribos	
Tipo de apoyos fijos en pilas	
Tipo de apoyos móviles en pilas	
Tipo de apoyos fijos en vigas	
Tipo de apoyos móviles en vigas	

Vehículo de diseño	
Clase de distribución de carga	

MIEMBROS INTERESADOS			
Propietario			
Departamento			
Administrador Vial			
Proyectista			
Municipio			

POSICION GEOGRAFICA			
	Grados	Minutos	Altitud (m)
Latitud (N)			
Longitud (O)			

Coefficiente de aceleración sísmica (Aa) :	
--	--

Paso por el cauce (S/N)		Long. Variante	
Existe variante (S/N)		Estado (B/R/M)	

CARGA			
Capacidad de carga para tránsito legal			
Long. Luz crítica (m)		Factor de Clasif.	
Capacidad de carga para transportes especiales			
Fuerza cortante (t)		Momento (t.m)	
Linea de carga por rueda (t)			

Observaciones	
---------------	--

Anexo A.2. Formato de inspección principal de Puentes.

INSTITUTO NACIONAL DE VIAS
SECRETARIA GENERAL TECNICA
 Sistema de Administración de Puentes
SIPUCOL
Formato de Inspección Principal de Puentes

Nombre :		Regional		Carretera		Identificación del puente			
Carretera :		PR. +		Fecha :		Tiempo :			
Temperat:		Inspector		Administrador :		Año próxima inspección:			
Componente	Calificación	Mantenimiento	Insp. Esp.	No. de fotos	Tipo de daño	Reparaciones			Daño
						Tipo	Cantidad	Año	
1. Superficie del Punte									
2. Juntas de expansión									
3. Andenes / Bordillos									
4. Barandas									
5. Conos / Taludes									
6. Aletas									
7. Estribos									
8. Pilas									
9. Apoyos									
10. Losa									
11. Vigas / Largueros / Diafragmas									
12. Elementos de arco									
13. Cables / Pendolones / Torres / Macizos									
14. Elementos de armadura									
15. Cauce									
16. Otros elementos									
17. Punte en general									
Observaciones Generales :									

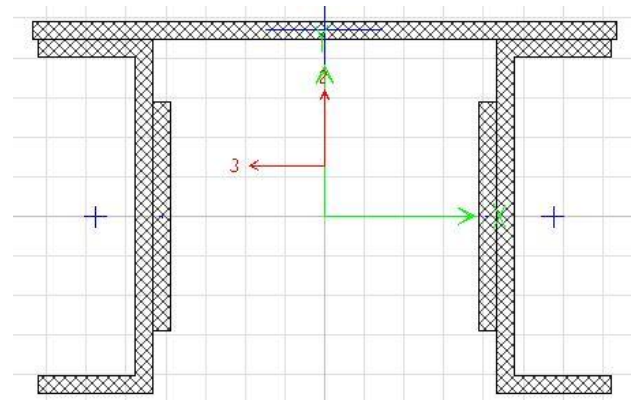
ANEXO B. Análisis de secciones presentes en las estructuras. [9]

Anexo B.1. Puente Chocoa.

Anexo B.1.1. Sección (1) cordón superior.

**ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 PUENTE CHOCOA SECCIÓN TIPO 1
CORDON SUPERIOR SOLICITADO A COMPRESIÓN.**

Área:	23576	[mm ²]	
I33:	2.4140000E+08	[mm ⁴]	
I22:	5.0530000E+08	[mm ⁴]	
L:	5341.35	[mm]	
k:	0.8		
r33:	101.1890623		Eje de pandeo
r22:	146.3994981		
KL/(R33):	42.22867474		
KL/(R22):	29.18780499		



(KL/R)_o:	42.22867474
----------------------------	-------------

Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección armada no se presentan elementos esbeltos.

Radio de Giro de la placa horizontal en el eje Y

Área:	6440	[mm ²]	
I_{xx}:	105186.6667	[mm ⁴]	
R_y=r_{ib}:	4.041451884	[mm]	
E:	160000	[Mpa]	
F_y:	202.4	[Mpa]	

A) $KL/r < 4,71(E/F_y)^{1/2}$

$$F_{cr} = [0,658^{1/2}(F_y/F_e)]F_y$$

B) $KL/r > 4,71(E/F_y)^{1/2}$

$$F_{cr} = 0,877F_e$$

Caso de diseño

CASO A

h:	110	[mm]	
Alfa (α):	13.608971		
a_i:	127.9988678		
(KL/r)_m:	51.00365419		

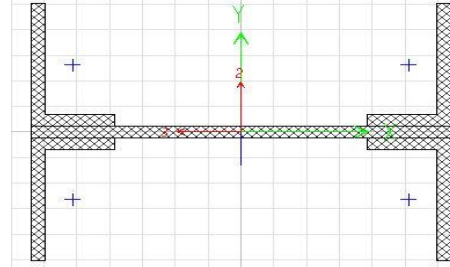
F_e:	607.0397677	[Mpa]	
F_{cr}:	176.0366705	[Mpa]	
f_{ii} (Ø):	0.9		

ØPn compresión: 373.522	[Ton-f]	SOPORTA
Pu C 40-95: 224	[Ton-f]	SOLICITACIÓN

Anexo B.1.2. Sección (2) Postes.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 SECCIÓN PUENTE CHOCOA TIPO 2 POSTES SOLICITADO A TENSIÓN Y COMPRESIÓN.

Área:	17696	[mm ²]
I33:	7.3107851E+07	[mm ⁴]
I22:	4.7560000E+08	[mm ⁴]
L:	3300	[mm]
k:	0.8	
r33:	64.27535059	Eje de pandeo
r22:	163.9394101	



Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección no se presentan elementos esbeltos.

KL/(R33):	41.07328821
KL/(R22):	16.10351042

Área:	1120	[mm ²]
Ixx:	18293.33333	[mm ⁴]
Ry=rib:	4.041451884	[mm]
E:	160000	[Mpa]
Fy:	202.4	[Mpa]

(KL/R) _o :	41.07328821	
h:	82	[mm]
Alfa (α):	10.144869	
ai:	124.4967885	
(KL/r) _m :	49.57481946	

A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{1/2}$

$$F_{cr} = [0,658^{(Fy/Fe)}]Fy$$

B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{1/2}$

$$F_{cr} = 0,877Fe$$

Caso de diseño

CASO A

Fe:	642.5359707	[Mpa]
Fcr:	177.399068	[Mpa]
fii (Ø):	0.9	

Análisis de Tensión, estado limite Rotura.	Análisis de Tensión, estado limite Fluencia.
---	---

$$Pu = \phi * Fy * Ae$$

$$Ae = An * U$$

$$Pu = \phi * Fy * Ag$$

$$\phi: 0.9$$

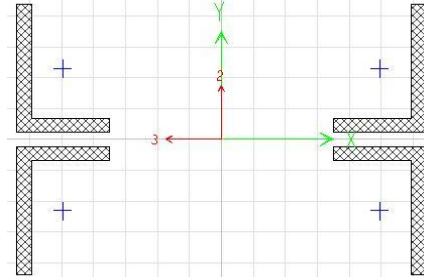
Ø:	0.75	
Fy:	202.4	[Mpa]
Fu:	326.4	[Mpa]
Área pernos:	706.8583471	[mm ²]
An:	16989	[mm ²]
U:	1	
Ae:	16989.14165	[mm ²]

ØPn compresión:	282.5329	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
Pu C 40-95:	21	[Ton-f]	
ØPn Rotura:	257.9	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
ØPn Fluencia:	322.35	[Ton-f]	
Pu C 40-95:	75	[Ton-f]	

Anexo B.1.3. Sección (3) Diagonales.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 SECCIÓN PUENTE CHOCOA TIPO 3 DIAGONALES SOLICITADAS A TENSIÓN Y COMPRESIÓN.

Área:	11536	[mm ²]
I33:	4.8895877E+07	[mm ⁴]
I22:	3.6660000E+08	[mm ⁴]
L:	5341.35	[mm]
k:	0.8	
r33:	65.1041235	Eje de pandeo
r22:	178.2660357	



Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección no se presentan elementos esbeltos.

Área:	1260	[mm ²]
Ixx:	20580	[mm ⁴]
Ry=rib:	4.041451884	[mm]
E:	160000	[Mpa]
Fy:	202.4	[Mpa]

KL/(R33):	65.63455232	
KL/(R22):	23.97024191	
(KL/R) _o :	65.63455232	
h:	72	[mm]
Alfa (α):	8.907690	
ai:	198.9441639	
(KL/r) _m :	79.18447021	

A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{0.5}$

$F_{cr} = [0,658^{0.5}(Fy/Fe)]Fy$

B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{0.5}$

$F_{cr} = 0,877Fe$

Caso de diseño

CASO A

Fe:	251.8486906	[Mpa]
Fcr:	144.5860684	[Mpa]
fii (∅):	0.9	

Análisis de Tensión, estado limite Rotura.	Análisis de Tensión, estado limite Fluencia.
---	---

$P_u = \phi * F_y * A_e$

$A_e = A_n * U$

$P_u = \phi * F_y * A_g$

$\phi: 0.9$

∅:	0.75	
Fy:	202.4	[Mpa]
Fu:	326.4	[Mpa]
Área pernos:	706.8583471	[mm ²]
An:	10829	[mm ²]
U:	1	
Ae:	10829.14165	[mm ²]

∅Pn compresión:	150.11504	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
Pu C 40-95:	10	[Ton-f]	
∅Pn Rotura:	164.38637	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
∅Pn Fluencia:	210.13978	[Ton-f]	
Pu C 40-95:	129	[Ton-f]	

Anexo B.1.4. Sección (4.1) Diagonales.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 PUENTE CHOCOA SECCIÓN TIPO 4a DIAGONAL SOLICITADO A TENSIÓN Y COMPRESIÓN.

Área:	5768	[mm ²]
I33:	9.6786490E+06	[mm ⁴]
I22:	1.8330000E+08	[mm ⁴]
L:	5341.35	[mm]



Análisis por Compresión.

k:	0.8
r33:	40.96328191
r22:	178.2660357

Eje de pandeo

KL/(R33):	104.314884
KL/(R22):	23.97024191
(KL/R) _o :	104.314884

Radio de Giro de la placa horizontal en el eje Y

Área:	1260	[mm ²]
Ixx:	20580	[mm ⁴]
Ry=rib:	4.041451884	[mm]
E:	160000	[Mpa]
Fy:	202.4	[Mpa]

h:	21.4	[mm]
Alfa (α):	2.647563	
ai:	316.1876883	
(KL/r) _m :	123.5883898	

A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{0.5}$

$F_{cr} = [0,658^{(Fy/Fe)}]Fy$

Fe:	103.3866302	[Mpa]
Fcr:	89.19722649	[Mpa]
fii (∅):	0.9	

Caso de diseño

CASO A

B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{0.5}$

$F_{cr} = 0,877Fe$

Análisis de Tensión, estado limite Rotura.	Análisis de Tensión, estado limite Fluencia.
---	---

$P_u = \phi * F_y * A_e$

$A_e = A_n * U$

∅:	0.75	
Fy:	202.4	[Mpa]
Fu:	326.4	[Mpa]
Área pernos:	706.8583471	[mm ²]
An:	5061	[mm ²]
U:	1	
Ae:	5061.141653	[mm ²]

$P_u = \phi * F_y * A_g$

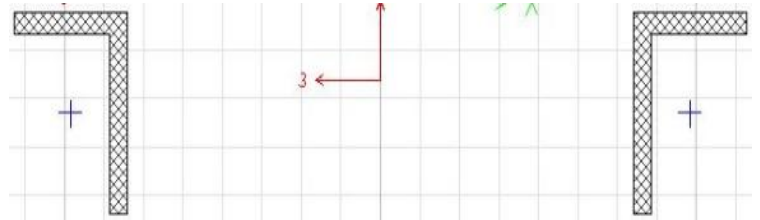
∅:	0.9
----	-----

∅Pn compresión:	46.304064	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
Pu C 40-95:	33	[Ton-f]	
∅Pn Rotura:	76.82813	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
∅Pn Fluencia:	105.06989	[Ton-f]	
Pu C 40-95:	30	[Ton-f]	

Anexo B.1.5. Sección (4.2) Diagonal.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 PUENTE CHOCOA SECCIÓN TIPO 4b DIAGONAL SOLICITADO A TENSIÓN Y COMPRESIÓN.

Área:	5768	[mm ²]
I33:	9.6786490E+06	[mm ⁴]
I22:	2.9220000E+08	[mm ⁴]
L:	5341.35	[mm]



Análisis por Compresión.

k:	0.8
r33:	40.96328191
r22:	225.0751146

Eje de pandeo

KL/(R33):	104.314884
KL/(R22):	18.98512862
(KL/R) _o :	104.314884
h:	21.4
Alfa (α):	2.647563
ai:	316.1876883
(KL/r) _m :	123.5883898

Área:	1260	[mm ²]
Ixx:	20580	[mm ⁴]
Ry=rib:	4.041451884	[mm]
E:	160000	[Mpa]
Fy:	202.4	[Mpa]

[mm²]
[mm⁴]
[mm]
[Mpa]
[Mpa]

[mm]

A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{0.5}$
 $F_{cr} = [0,658^{0.5}(Fy/Fe)]Fy$

Fe:	103.3866302	[Mpa]
Fcr:	89.19722649	[Mpa]
fii (Ø):	0.9	

Caso de diseño
CASO A

B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{0.5}$
 $F_{cr} = 0,877Fe$

Análisis de Tensión, estado limite Rotura.	Análisis de Tensión, estado limite Fluencia.
---	---

$P_u = \phi * F_y * A_e$

$P_u = \phi * F_y * A_g$

$A_e = A_n * U$

Ø:	0.9
----	-----

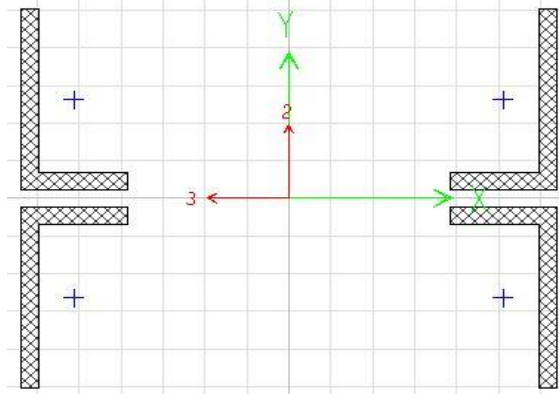
Ø:	0.75	
Fy:	202.4	[Mpa]
Fu:	326.4	[Mpa]
Area pernos:	706.8583471	[mm ²]
An:	5061	[mm ²]
U:	1	
Ae:	5061.141653	[mm ²]

ØPn compresión:	46.30	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
C 40-95:	33	[Ton-f]	
ØPn Rotura:	76.828	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
ØPn Fluencia:	105.07	[Ton-f]	
Pu C 40-95:	30	[Ton-f]	

Anexo B.1.6. Sección (5) Cordon Inferior.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 SECCIÓN PUENTE CHOCOA TIPO 5 CORDON INFERIOR SOLICITADO A TENSIÓN.

Área:	12096	[mm ²]
I33:	7.3016384E+07	[mm ⁴]
I22:	4.0090000E+08	[mm ⁴]
L:	4200	[mm]
k:	0.8	



Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección no se presentan elementos esbeltos.

Análisis de Tensión, estado limite Rotura.

Análisis de Tensión, estado limite Fluencia.

$$P_u = \phi * F_y * A_e$$

$$A_e = A_n * U$$

ϕ :	0.75	
F_y :	202.4	[Mpa]
F_u :	326.4	[Mpa]
Area pernos:	706.8583471	[mm ²]
A_n :	11389	[mm ²]
U:	1	
A_e :	11389.14165	[mm ²]

$$P_u = \phi * F_y * A_g$$

ϕ :	0.9
----------	-----

ϕP_n Rotura: 172.89 [Ton-f]

ϕP_n Fluencia: 220.34 [Ton-f]

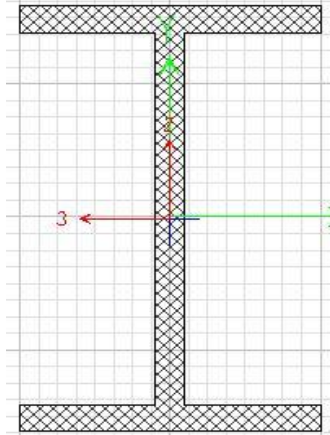
P_u C 40-95: 105 [Ton-f]

**SOPORTA
SOLICITACIÓN**

Anexo B.1.7. Sección (I) Viga Longitudinal.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 SECCIÓN PUENTE CHOCOA PERFIL (I) VIGA LONGITUDINAL SOLICITADA A TENSIÓN Y FLEXIÓN.

Área:	30000	[mm ²]
I33:	1.8300000E+09	[mm ⁴]
I22:	1.2500000E+08	[mm ⁴]
L:	4200	[mm]
k:	0.8	
r33:	64.54972244	



Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección no se presentan elementos esbeltos.

Análisis de Tensión, estado limite Rotura.

Análisis de Tensión, estado limite Fluencia.

$$P_u = \phi * F_y * A_e$$

$$A_e = A_n * U$$

ϕ :	0.75	
F_y :	202.4	[Mpa]
F_u :	326.4	[Mpa]
Area pernos:	706.8583471	[mm ²]
A_n :	29293	[mm ²]
U:	1	
A_e :	29293.14165	[mm ²]

$$P_u = \phi * F_y * A_g$$

ϕ :	0.9	
E:	160000	[Mpa]

$$\phi P_n \text{ Rotura: } 444.66989 \quad [\text{Ton-f}]$$

$$\phi P_n \text{ Fluencia: } 546.48 \quad [\text{Ton-f}]$$

$$P_u \text{ C 40-95: } 70 \quad [\text{Ton-f}]$$

SOPORTA SOLICITACIÓN

ANÁLISIS POR FLEXIÓN PANDEO LATERAL

r_y :	64.54972244
L_b :	2100
L_p :	3194.197638

ANÁLISIS POR FLEXIÓN PLASTIFICACIÓN

$$M_n = M_p = F_y * Z_x$$

$$Z_x \quad 6791250 \quad [\text{mm}^3]$$

$$f_{ii} \quad 0.9$$

$$M_p \quad 137.4549 \quad [\text{Ton-m}]$$

No se aplica estado límite de pandeo lateral torsional de acuerdo a que $L_b < L_p$

$$\phi P_n \text{ Plastificación: } 130 \quad [\text{Ton-f}]$$

$$P_u \text{ C 40-95: } 10 \quad [\text{Ton-f}]$$

SOPORTA SOLICITACIÓN

Anexo B.1.8. Sección (Armada) Viga Transversal.

ANÁLISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 PUENTE CHOCOA SECCIÓN ARMADA VIGA TRANSVERSAL SOLICITADO A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN.

Área:	33376	[mm ²]
I33:	4.2320000E+09	[mm ⁴]
I22:	8.6761117E+07	[mm ⁴]
L:	4800	[mm]
k:	0.8	
r33:	356.0866453	
r22:	50.98535223	Eje de pandeo
KL/(R33):	10.78389221	
KL/(R22):	75.31574917	



(KL/R) _o :	75.31574917
-----------------------	-------------

Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección armada no se presentan elementos esbeltos.

Área:	4200	[mm ²]
I _{xx} :	68600	[mm ⁴]
R _{y=rib} :	4.041451884	[mm]
E:	160000	[Mpa]
F _y :	202.4	[Mpa]

h:	470	[mm]
Alfa (α):	58.147420	
ai:	228.2887323	
(KL/r) _m :	91.03906634	

Caso de diseño
CASO A

A) $KL/r < 4,71(E/F_y)^{1/2}$

$F_{cr} = [0,658^{1/2}(F_y/F_e)]F_y$

F _e :	190.5303379	[Mpa]
F _{cr} :	129.7514547	[Mpa]
fii (φ):	0.9	

B) $KL/r > 4,71(E/F_y)^{1/2}$

$F_{cr} = 0,877F_e$

ØPn compresión:	389.7526097	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
Pu C 40-95:	80	[Ton-f]	

ANÁLISIS POR FLEXIÓN PANDEO LATERAL	ANÁLISIS POR FLEXIÓN PLASTIFICACIÓN
--	--

r _y :	75.31574917
L _b :	1800
L _p :	3726.946903

$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$

Z_x 9608276 [mm³]

fii 0.9

M_p 194.4715062 [Ton-m]

No se aplica estado límite de pandeo lateral torsional de acuerdo a que L_b < L_p

ØPn Plastificación:	190	[Ton-f]	SOPORTA SOLICITACIÓN
Pu C 40-95:	80	[Ton-f]	

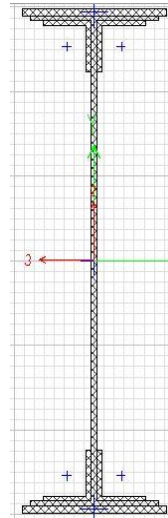
Anexo B.2. Puente Venecia.

Anexo B.2.1. Sección (Armada) Vigas de alma llena.

ANALISIS DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA NSR-10 PUENTE VENECIA SECCIÓN ARMADA VIGA LONGITUDINAL (PRINCIPAL) SOLICITADA A FLEXIÓN.

Área:	75770	[mm ²]
I33:	2.8420000E+10	[mm ⁴]
I22:	5.4940000E+08	[mm ⁴]
L:	16000	[mm]
k:	0.8	
r33:	612.4397819	
r22:	85.15216294	Eje de pandeo
KL/(R33):	20.90001397	
KL/(R22):	150.3191411	

(KL/R) _o :	150.3191411
-----------------------	-------------



Elemento crítico por eje de Pandeo, en la sección armada no se presentan elementos esbeltos.

ANALISIS POR FLEXIÓN PANDEO LATERAL	ANALISIS POR FLEXIÓN PLASTIFICACIÓN
--	--

ry:	150.3191411
Lb:	200
Lp:	7438.437029
E:	160000
Fy:	202.4

$$M_n = M_p = F_y * Z_x$$

$$Z_x = 38268543 \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$f_{ii} = 0.9$$

$$M_p = 774.5553103 \text{ [Ton-m]}$$

No se aplica estado límite de pandeo lateral torsional de acuerdo a que $L_b < L_p$

ϕP_n	SOPORTA SOLICITACIÓN
Plastificación: 779 [Ton-f]	
Pu C 40-95: 580 [Ton-f]	