

**EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES
METÁLICOS CASO DE ESTUDIO: PUENTES ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ
MADRID-SABANA DE TORRES, SECTOR PALMAS – EL CONCHAL.**

**LUIS ALBERTO CAYACHOA GARCÍA
OSCAR DAVID VERA ROJAS**

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

2013

**EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES
METÁLICOS CASO DE ESTUDIO: PUENTES ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ
MADRID-SABANA DE TORRES, SECTOR PALMAS – EL CONCHAL.**

**LUIS ALBERTO CAYACHOA GARCÍA
OSCAR DAVID VERA ROJAS**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Civil**

**Director:
Dr. ÁLVARO VIVIESCAS
Ingeniero Civil**

**Codirector:
Dr. GUSTAVO CHÍO CHO
Ingeniero Civil**

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

2013

AGRADECIMIENTOS

Al ser superior que me permitió tener una vida perfecta, con salud y una familia que me apoya en todo, a mi mama Luz Amparo Rojas Ayala que me ha brindado todo su amor y apoyo en el tiempo que llevo de vida, a mis compañeros de universidad por todo lo que me enseñaron durante la carrera y a mis profesores que más que enseñanzas académicas fueron una guía para la vida.

Gracias a cada una de las personas que aportaron e hicieron de esta experiencia inolvidable.

Oscar David Vera Rojas

AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me ha bendecido dándome salud y fortaleza para culminar mis estudios, a mis padres Luis Alberto Cayachoa Lizarazo y Alix García Díaz quienes me apoyaron en todo momento durante el tiempo que estuve realizando mis estudios, a todos los profesores con los que vi clases y quienes imparten a diario sus infinitos conocimientos y agradezco a Universidad Industrial de Santander el haberme acogido con los brazos abiertos y haberme permitido tener formación universitaria de primera calidad, la cual es característica de esta magna institución.

Luis Alberto Cayachoa García.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	18
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1 PUENTES	20
2.2 CLASIFICACIÓN	20
2.2.1 Según el material	20
2.2.2 Según el mecanismo de transmisión de cargas	20
2.2.3 Por la ubicación del tablero	21
2.2.4 Por sus condiciones estáticas	21
2.2.5 Atendiendo a la función que cumplen	21
2.2.6 Por el ángulo que forma el eje del puente con el paso inferior	22
2.2.7 Por su duración	22
2.3 PUENTES METÁLICOS	22
2.4 UNIONES Y CONEXIONES	23
2.5 TIPOS DE UNIONES Y CONEXIONES	23
2.5.1 Por soldadura	23
2.5.2 Conexiones apernadas	26
2.6 PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES	26
2.7 PATOLOGÍAS PUENTES DE ACERO	27
3. LOCALIZACIÓN DEL SECTOR	31
4. INVENTARIO TRAMO PALMAS-EL CONCHAL	34
5. PUENTES DE ESTUDIO	35
5.1 PUENTE SANDRA	35

5.1.1 Ubicación	35
5.1.2 Geometría	36
5.1.3 Tipo de puente	37
5.1.4 Descripción del puente	38
5.1.5 Patologías	39
5.2 PUENTE LA HONDA	40
5.2.1 Ubicación	40
5.2.2 Geometría	41
5.2.3 Tipo de puente	42
5.2.4 Descripción del puente	43
5.2.5 Patologías	46
6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS - MODELAMIENTO EN SAP 2000	47
6.1 AVALUÓ DE CARGAS	47
6.1.1 Cargas Muertas Sobreimpuestas	47
6.2 MATERIALES	49
6.2.1 Madera	49
6.2.2 Estructura metálica	49
6.2.3 Norma	49
6.3 MODELO UTILIZADO	49
6.4 PUENTE SANDRA	50
6.4.1 Definición de materiales	53
6.4.2 Definición de secciones	54
6.4.3 Consideraciones de análisis	54
6.4.4 Definición de cargas de puente	55
6.4.5 Tipo de camión	57
6.4.6 Definición de combinaciones de diseño	57
6.4.7 Resultados	60
6.5 PUENTE LA HONDA	62
6.5.1 Definición de materiales	64
6.5.2 Definición de secciones	65

6.5.3 Consideraciones de análisis	66
6.5.4 Definición de cargas de puente	67
6.5.5 Definición de combinaciones de diseño	68
6.5.6 Resultados	68
7. ANÁLISIS BASADO EN LA NORMA NSR-10	72
7.1 PUENTE LA HONDA	72
8. ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
9. CONTROL POR DEFLEXIONES - (Según el código colombiano de diseño de puentes)	86
10. CONCLUSIONES	88
11. RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFÍA	91
ANEXOS	92

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de uniones y conexiones metálicas.	24
Figura 2. Tipos de conexiones de perfiles.	24
Figura 3. Tipos de soldadura.	25
Figura 4. Tipos de biseles.	25
Figura 5. Tipología de corrosión del acero.	28
Figura 6. Desvío entrada brisas	31
Figura 7. Tramo Brisas-Palmas	32
Figura 8. Tramo Palmas-El Conchal	32
Figura 9. Ubicación satelital puente Sandra	35
Figura 10. Vista en planta de puente Sandra	36
Figura 11. Sección transversal puente Sandra	36
Figura 12. Sección transversal viga principal puente Sandra	37
Figura 13. Tablero en huellas puente Sandra	38
Figura 14. Vista lateral viga principal puente Sandra	39
Figura 15. Ubicación satelital puente La Honda	40
Figura 16. Vista alzada puente La Honda	41
Figura 17. Celosía puente La Honda	41
Figura 18. Vista en planta puente La Honda	42
Figura 19. Tablero puente La Honda	43
Figura 20. Advertencias puesta por Invias en puente La Honda	44
Figura 21. Celosía puente La Honda	44
Figura 22. Cercha principal puente La Honda	45
Figura 23. Arriostramiento y vigas centrales puente La Honda	45
Figura 24. Distribución de cargas camión C40-95 y C30-95	48
Figura 25. Separación entre llantas camión tipo	48

Figura 26. Paso por puente Sandra	50
Figura 27. Arriostramiento puente Sandra	51
Figura 28. Viga principal puente Sandra	51
Figura 29. Vista modelo en 3d suministrado por SAP 2000 puente Sandra	52
Figura 30. Definición de materiales en SAP 2000 puente Sandra	53
Figura 31. Definición secciones en SAP 2000 puente Sandra	54
Figura 32. Constrain tipo Equal SAP 2000	55
Figura 33. Definición línea de carga	56
Figura 34. Introducción de datos para camión C40-95 para SAP 2000	57
Figura 35. Combinación cargas modelo para puente Sandra	59
Figura 36. Diagrama de momentos por combo de diseño puente Sandra	60
Figura 37. Diagrama de cortantes por combo de diseño puente Sandra	61
Figura 38. Vista puente La Honda	62
Figura 39. Cercha principal puente La Honda	63
Figura 40. Vista modelo en 3d suministrado por SAP 2000 puente La Honda	63
Figura 41. Definición materiales SAP 2000 puente La Honda	64
Figura 42. Definición secciones (celosía) SAP 2000 puente La Honda	65
Figura 43. Definición secciones (viga armada) SAP 2000 puente La Honda	65
Figura 44. Definición línea de carga puente La Honda	66
Figura 45. Asignación relases (1) SAP 2000 puente La Honda	67
Figura 46. Asignación relases (2) SAP 2000 puente La Honda	67
Figura 47. Deformada por combo de diseño puente La Honda	68
Figura 48. Diagrama de momentos por combo de diseño puente La Honda	69
Figura 49. Diagrama de cortantes por combo de diseño puente La Honda	70
Figura 50. Diagrama de axiales por combo de diseño puente La Honda	71
Figura 51. Análisis basado en la norma NSR-10 – Puente La Honda	72
Figura 52. Puente Sandra	83
Figura 53. Análisis de resultados	84
Figura 54. Deflexiones obtenidas de SAP 2000 para puente Sandra	86
Figura 55. Deflexiones obtenidas de SAP 2000 para puente La Honda	87

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Inventario tramo palmas El Conchal	34
Tabla 2. Cargas Muertas	47

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Inventario tramo Palmas-El Conchal	92

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES METÁLICOS
CASO DE ESTUDIO: PUENTES ANTIGUA VÍA FÉRREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES,
SECTOR PALMAS – EL CONCHAL.

AUTORES: LUIS ALBERTO CAYACHOA GARCÍA **
OSCAR DAVID VERA ROJAS

PALABRAS CLAVES: SAP, NSR, Modelo estático lineal del rango elástico, Solicitaciones, Esfuerzos, Vía férrea, Levantamiento geométrico, Estructura.

En el siguiente artículo se describe la manera en que se llevó a cabo el estudio de dos puentes de estructura metálica, ubicados sobre la antigua vía férrea que unía a Café Madrid con Sabana de Torres en el departamento de Santander.

Para llevar a cabo este estudio fue necesario hacer 4 visitas hasta el sitio en estudio, para este caso el tramo correspondiente fue el ubicado entre los caseríos de Palmas y el Conchal, sobre la vía nombrada. En la primera visita se hizo reconocimiento del tramo escogido, en la segunda visita se realizó un inventario de las estructuras encontradas en este tramo y se tomaron medidas básicas sin profundizar, después de esto se escogieron dos puentes metálicos en conjunto con los directores del proyecto de grado, en la tercera visita se hizo levantamiento geométrico detallado del puente Sandra y en la cuarta visita se hizo también un completo levantamiento geométrico del puente La Honda.

Después de realizadas estas visitas se procedió a modelar los puentes en el software SAP 2000 y basados en un modelo estático lineal del rango elástico para poder conocer los esfuerzos a los cuales está siendo solicitado cada elemento, este modelamiento se hizo basados en la actual norma NSR-10 y en el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes; luego de obtener resultados en el software SAP 2000 se realizó el correspondiente análisis basado en la NSR-10 capítulo F programando una tabla en Excel.

Finalmente se compararon los valores de los esfuerzos a los cuales está solicitado cada elemento de la estructura con los esfuerzos nominales que teóricamente resistirá la y se llegó a la conclusión que los elementos de los dos puentes resistirán las cargas impuestas (teniendo en cuenta las limitaciones del estudio) para su uso vehicular.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director de proyecto: Dr. Álvaro Viviescas. Ingeniero Civil; Codirector de proyecto: Dr. Gustavo Chío Cho. Ingeniero Civil

ABSTRACT

TITLE: STRUCTURAL VULNERABILITY ASSESSMENT OF BRIDGES METAL CASE STUDY: OLD RAILROAD BRIDGES CAFE MADRID-SABANA DE TORRES, PALMS SECTOR - EL CONCHAL.*

AUTHORS: LUIS ALBERTO CAYACHOA GARCÍA**
OSCAR DAVID VERA ROJAS

KEYWORDS: SAP, NSR, Linear static model the elastic range, Solicitations, Stresses, Railway line, Geometric lifting, Structure

The following article describes the way in which the study took place two bridges of steel structure, located on the old railway line between Café Madrid and Sabana de Torres in the department of Santander.

To carry out this study was necessary to make four visits to the site in study; in this case, the relevant section was located between the villages of Palmas and Conchal on the road named. In the first visit was recognised the section that was chosen. In the second visit was made an inventory of the structures found in this stretch and was taken basic measures, in addition we chose two metallic bridges in conjunction with the directors of the project grade. In the third visit was lifted details geometric of Sandra's bridge and in the fourth visit was also a complete geometric lifting of Honda's bridge.

After undertaking these visits we proceeded to model the bridges in the software SAP 2000 and based in a linear static model the elastic range to meet the stresses which each element is being requested, this modeling was based on the current NSR -10 and the Colombian Code Seismic Design of Bridges, after obtained results in the software SAP 2000 was performed appropriate analysis based on the chapter F NSR-10 which was programmed a table in Excel.

Finally we compared the values of the stresses to which each element is applied to the structure with nominal theoretical effort that the structure will resist. We concluded that the elements resist the loads imposed of the two bridges (taking into account the limitations of study) for vehicular use.

* Degree work

** Faculty of Physical Engineering ** Mechanical. School of Civil Engineering. Project Director: Dr. Alvaro Viviescas. Civil Engineer, Project Co-Director: Dr. Gustavo Chio Cho. Civil Engineer

INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de un estudio netamente académico, en el cual por limitaciones de presupuesto y tiempo no fue posible la realización de pruebas extractivas, ensayos de vibración ambiental, levantamiento topográfico de precisión, etc. Por todo lo anterior los autores no se responsabilizan por la utilización en el campo profesional de la información aquí consignada

La problemática sobre éste tema ya es amplia y conocida, la necesidad de comunicar a Santander con el resto del país y en especial garantizar la ininterrumpida comunicación vehicular entre las ciudades de Bucaramanga y Barrancabermeja utilizando la antigua vía férrea, como vía alterna a la principal conocida por todos.

Desde hace muchos años las personas están utilizando ésta vía, la cual era para uso exclusivo de tren, para transportarse de municipio a municipio y retirar el producto de la región, poniendo en riesgo su integridad. La comunidad mediante varias agremiaciones ha estado pidiendo al INVIAS habilitar el corredor férreo para su uso vehicular.

Teniendo en cuenta la existencia del trazado y la estabilidad demostrada a lo largo de su existencia, convierten a éste corredor en una alternativa muy probable para brindar comunicación terrestre de Bucaramanga no solo con Sabana de Torres, sino con todo el Magdalena Medio.

Nuestro proyecto pretende hacer un análisis estático lineal y un estudio estructural basados en el estado actual de algunos de los puentes que están sobre este corredor, ayudando así a tener más clara la inversión necesaria que se requiere para habilitar vehicularmente esta vía.

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 de los 2 puentes seleccionados para el estudio y generar un modelo numérico
- Identificar las principales patologías presentes en los puentes evaluados
- Modelar los puentes bajo estudio aplicando las cargas indicadas en el 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 TEÓRICO

2.1 PUENTES

Son estructuras utilizadas para sortear obstáculos o accidentes geográficos como ríos, cañones, cualquier cuerpo de agua o incluso construcciones hechas por el hombre. Estos existen de diversas tipologías las cuales están en función del tipo de obstáculo a sortear, el tipo de terreno existente para cimentar e incluso el simple gusto del diseñador. También se pueden diferenciar por el tipo de material en que están contruidos siendo los más comunes el acero, el hormigón armado y la madera.

2.2 CLASIFICACIÓN:

2.2.1 Según el material

- Metálicos
- Madera
- Hormigón armado
- Piedra

2.2.2 Según el mecanismo de transmisión de cargas

- Aporticado
- De vigas
- Colgante

2.2.3 Por la ubicación del tablero

- Armadura superior
- Armadura inferior

2.2.4 Por sus condiciones estáticas

2.2.4.1 Isostáticos

- Puentes simplemente apoyados
- Puentes continuos con articulaciones(Gerber)
- Puentes en arco(articulados)

2.2.4.2 Hiperestáticos

- Puentes continuos
- Puentes en arco
- Puentes aporticados

2.2.5 Atendiendo a la función que cumplen

- Viaducto
- Peatonal o pasarela
- Ferroviarios
- Acueducto
- Mixto

2.2.6 Por el ángulo que forma el eje del puente con el paso inferior

- Puentes rectos
- Puentes esviados
- Puentes curvos

2.2.7 Por su duración

- Definitivos
- Temporales

2.3 PUENTES METÁLICOS

El material más usado para este tipo de puentes es el acero, el cual se empezó a fabricar comercialmente hacia el año 1860, permitiendo así construir puentes en este material, el primer puente en el que se usó el acero ampliamente fue el de Saint-Louis sobre el río Mississippi en el año 1874.

Entre las ventajas para la elección de este material se tiene:

- Versatilidad
- Rapidez en la construcción(rápido montaje)
- Permite abarcar grandes luces
- Fácil reparación o modificaciones en campo

Algunas desventajas son:

- Mayor costo comparado con el concreto reforzado
- Si no se hace constante mantenimiento estará afectado por patologías químicas y físicas

- Se necesita personal bien capacitado para el montaje
- Alto costo de mantenimiento(mantenimiento permanente)

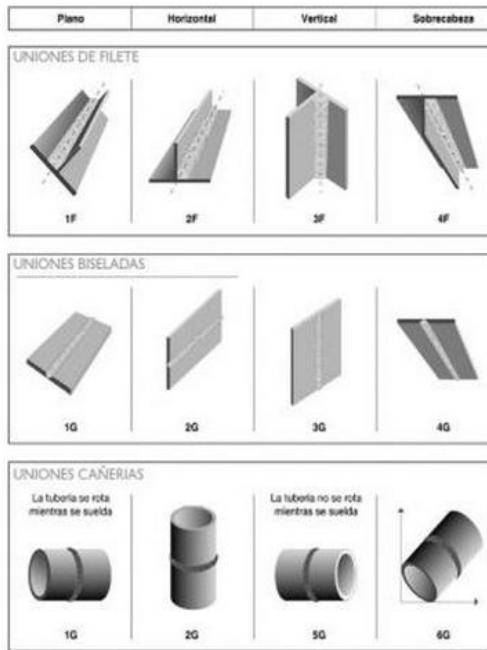
2.4 UNIONES Y CONEXIONES

Debido a que la construcción de puentes metálicos se hace mediante montaje de piezas prefabricadas esto requiere que las diferentes piezas o elementos que lo componen sean ensambladas in situ garantizando una excelente unión entre elementos, de modo que garantice el buen comportamiento de la estructura. Para la elección del tipo de unión a usar se debe tener en cuenta las limitaciones constructivas, la facilidad de fabricación, el comportamiento de la conexión (flexible, por contacto, rígida o por fricción entre otras), aspectos de montaje y aspectos relacionados con el clima.

2.5 TIPOS DE UNIONES Y CONEXIONES

2.5.1 Por soldadura. Es una de las formas más usadas para conexión de acero estructural, básicamente consiste en unir dos piezas de acero mediante la fusión parcial de las caras a unir con o sin soporte de material agregado. Algunas de las ventajas de las conexiones soldadas es lograr mayor rigidez en los nodos, menores costos, debido a que no hay necesidad de hacer perforaciones, menor cantidad de aceros para materializar la unión logrando una mayor limpieza y acabado en las estructuras. Las posiciones de soldadura típica son: plana, vertical, horizontal y sobre cabeza y expresan parcialmente las dificultades de la soldadura en terreno.

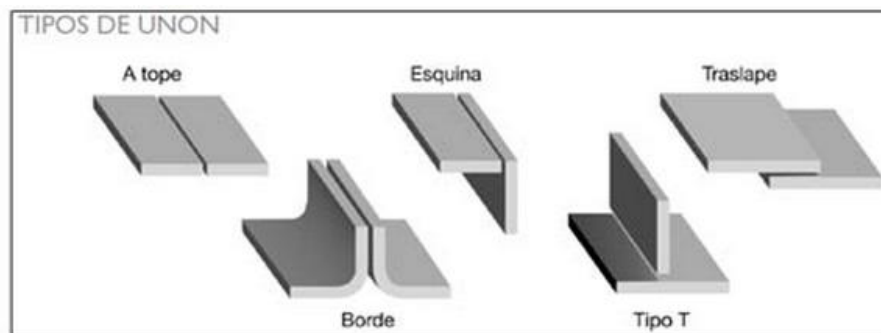
Figura 1. Tipos de uniones y conexiones metálicas.



Fuente: Indura en Véliz S, Sebastián; Seminario FAU 2009

Los tipos de conexiones de perfiles y planchas por soldadura son las observadas en la Figura 2.

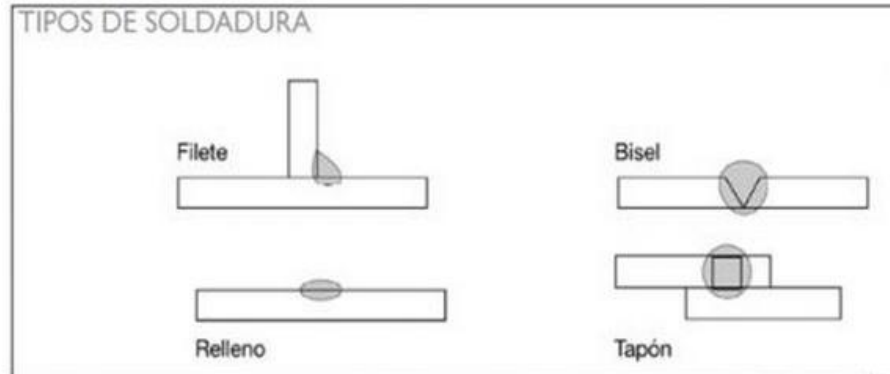
Figura 2. Tipos de conexiones de perfiles.



Fuente: Indura en Véliz S, Sebastián; Seminario FAU 2009

Tipos de soldadura:

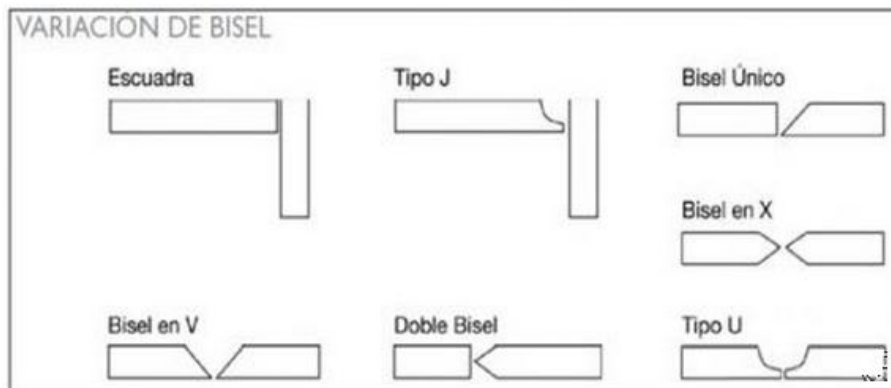
Figura 3. Tipos de soldadura.



Fuente: Indura en Véliz S, Sebastián; Seminario FAU 2009

Tipos de biseles:

Figura 4. Tipos de biseles.



Fuente: Indura en Véliz S, Sebastián; Seminario FAU 2009

Entre los variados tipos de soldadura tenemos:

- Soldadura oxiacetilénica: la temperatura se logra encendiendo una mezcla de gases de oxígeno y acetileno en el soplete capaz de fundir los bordes de las planchas a unir a la que se le agrega el material de aporte proveniente de una varilla con la que se rellena el borde a soldar

- Soldadura al arco: los procesos más utilizados hoy en día son la soldadura por arco eléctrico en que se genera un arco voltaico entre la pieza a soldar y la varilla del electrodo la cual produce temperaturas de hasta 3000 °C.
- Soldadura por electrodo manual revestido (stick metal arc welding): consiste en un alambre de acero, consumible, cubierto con un revestimiento que se funde bajo la acción del arco eléctrico generado entre su extremo libre y la pieza a ser soldada. El alambre soldado constituye el metal de relleno, que llena el vacío entre las partes, soldándolas.
- Soldadura por arco sumergido: se emplea un equipo compuesto de un alambre de acero desnudo, asociado a un dispositivo inyector de fundente. Al generarse el arco eléctrico, el alambre se funde soldando las partes y el fundente es depositado sobre la soldadura, protegiéndola.

2.5.2 Conexiones apernadas. Otra forma frecuente de materializar las uniones de estructuras metálicas es mediante pernos. El avance en la tecnología ha permitido fabricar pernos de gran resistencia lo cual hace que estas uniones sean muy seguras. Generalmente la tendencia es hacer las conexiones apernadas en campo (contrario a las uniones soldadas que se trabajan en taller) lo cual permite trabajar en un ambiente controlado ya que las uniones apernadas requieren de una precisión milimétrica y los planos deben ser respetados estrictamente. Entre las ventajas de las uniones apernadas se tiene que existe una amplia gama de dimensiones y resistencia, no se necesita una especial capacitación del personal, no exige un ambiente especial para el montaje y simplifica los procesos de reciclaje de los elementos.

2.6 PATOLOGÍAS ESTRUCTURALES

Cuando se habla de patología estructural se hace referencia al campo de la ingeniería que estudia las formas manifiestas, los orígenes, las consecuencias y mecanismos de ocurrencias de fallas y sistemas de daños en las estructuras.

Las patologías estructurales que se presentan en los puentes varían en intensidad e incidencia, lo que generalmente provoca altos gastos de reparación. En un aspecto similar siempre existirán consideraciones estéticas, y a menudo reducciones de la capacidad de resistencia, conduciendo incluso a una falla estructural parcial o total.

El estudio de la patología estructural involucra el análisis detallado del problema, describiendo sus causas, formas manifiestas, mecanismos de ocurrencia, mantención estructural y profilaxis. Los tratamientos más adoptados en el momento de descubrir una patología en un puente son:

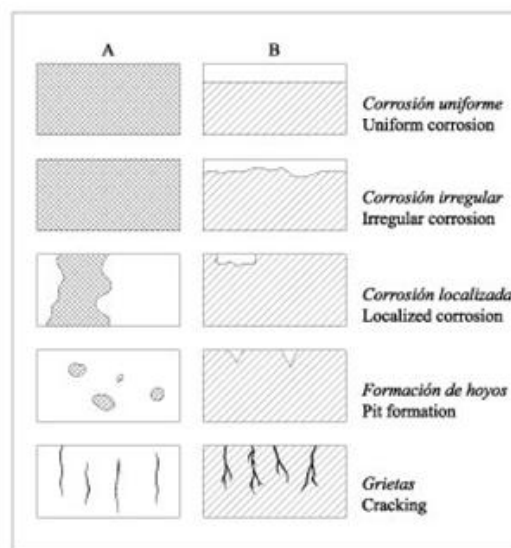
- **Recuperación:** ejecución de procedimientos necesarios para recobrar la capacidad resistente y soporte de la estructura
- **Restauración:** intervención que solo restablece las condiciones estéticas de la estructura
- **Reforzamiento:** actividades para aumentar la resistencia de la estructura o su capacidad de soporte
- **Limitación de vida útil:** esta opción debe ser adoptada cuando el tratamiento de recuperación no es económicamente viable
- **Demolición:** es el tratamiento externo, puede variar desde la demolición parcial de la estructura hasta su completa demolición.

2.7 PATOLOGÍAS PUENTES DE ACERO

- **Oxidación del acero:** La corrosión puede ser definida de una manera sencilla, como la tendencia espontánea del metal producido y conformado para volver a su estado original con la menor energía libre. La otra definición, ampliamente aceptada es la que afirma que la corrosión es el deterioro de las propiedades que se produce cuando un material reacciona con el medio ambiente.

La corrosión involucra una amplia variedad de mecanismos generadores, que pueden ser clasificados en cuatro grupos: corrosión en ambiente acuoso (90%), oxidación y corrosión por calor (8%), corrosión en ambientes orgánicos (1.8%), corrosión por metales líquidos (0.2%). La causa más frecuente de deterioro en las estructuras de metal es la oxidación del acero. La corrosión de las estructuras de acero se muestra en la siguiente figura.

Figura 5. Tipología de corrosión del acero.



Tipología de la corrosión del acero. (A) vista superior, (B) vista lateral

Fuente: Autores del proyecto.

- **Deterioro causado por sobrecarga:** En lo que se refiere a indicios de falla, estos pueden ir desde la presencia de agrietamientos y fisuras que limitan la funcionalidad de la obra, hasta el posible colapso total de la estructura. Así, dejando a un lado las características de sus materiales de construcción, en términos estadísticos, aproximadamente el 4% de los puentes construidos a nivel mundial han presentado algún tipo de falla. Ahora bien, de este 4%, existen evidencias de que el 12% de los puentes fallan por causas de sobrecarga.

- **Sobrecarga vertical:** Un puente debe soportar diversos tipos de carga. En principio, se encuentran el peso propio de la estructura, el de los vehículos que lo transitan (ej: automóviles, camiones, y trenes), y el de los peatones que lo emplean. Cuando se presenta una carga por encima de los niveles permisibles, se tiene la existencia de una sobrecarga, que puede deberse a factores como: el cambio de uso, incremento en los volúmenes de tráfico, la presencia excesiva de nieve, la violación de límites de carga por parte de los usuarios de la estructura, y el cruce de vehículos especiales.
- **Sobrecarga horizontal:** La subestructura de un puente está conformada por: estribos, pilas y muros de contención, los que se deben diseñar para resistir las cargas laterales inducidas por el suelo y la presión hidrostática.
- **Deterioro causado por falta de refuerzos:** La falta de refuerzos en las estructuras de acero puede llevar al desplazamiento severo y extremo, provocando un colapso, debido al pandeo. Otro fenómeno relacionado a la falta de refuerzo es la vibración excesiva.
- **Deterioro causado por efectos térmicos:** Según Pfeil (1983) las variaciones de temperatura actúan sobre las estructuras creando movimientos de elongación y encogimiento. Cuando estos movimientos son detenidos por un soporte, se ejerce gran esfuerzo sobre el material que pudiera exceder su límite de rendimiento, en especial en estructuras hiperestáticas, provocando así deformaciones plásticas. Este efecto es reducido con el empleo de espacios intermedios entre los soportes y conexiones, y usando equipamiento de soporte en buenas condiciones.
- **Daño causado por el efecto del fuego:** Según Pfeil and Pfeil (2009), las altas temperaturas sobre 100°C, tienden a eliminar el límite de rendimiento del material, provocando un diagrama de curva esfuerzo- deformación, también

creando una gran variación del módulo de elasticidad. Según Silva (2001) las temperaturas sobre 250 y 300°C causan desplazamiento en los aceros, por lo tanto un tratamiento térmico es la mejor alternativa para aumentar el tiempo de resistencia de un elemento bajo condiciones de fuego.

- **Grietas causadas por fatiga y/o concentración de esfuerzo:** Algunos detalles inapropiados producen alta concentración de esfuerzo en partes metálicas, que pueden crear grietas en el metal. Algunos ejemplos son las esquinas entrantes en ángulos agudos, variaciones puntiagudas del espesor o ancho de la placa, concentraciones de soldadura. Las fisuras o grietas por fatiga se producen en estructuras expuestas a carga cíclica como es el caso de los puentes. Estas variaciones de carga provocan oscilaciones de esfuerzo que pueden generar fisuras y grietas. En los puntos de concentración de esfuerzo, los efectos de fatiga son más agudos. Las rupturas generadas por fatiga son muy peligrosas y frágiles. Algunos factores que pueden provocar grietas y fisuras son: alta frecuencia de tráfico de camiones pesados; variación a gran escala del esfuerzo; calidad del material; calidad de la soldadura, edad e historia de las cargas del Puente.
- **Daños por soldadura:** Las fallas por soldadura, ya sean por bajo rendimiento o material inadecuado, pueden provocar daños severos a la estructura generando una ruptura leve.
- **Daños causados por excesiva vibración:** El uso de las estructuras de piso, con grandes espacios intermedios que reducen el pandeo, pueden provocar vibraciones incómodas. La norma ABNT: NBR 8800 (2009) indica que el problema de vibraciones puede ser considerado en el diseño estructural, a través del análisis dinámico. Los efectos nocivos de la vibración pueden volverse incómodos para los usuarios y un riesgo de ruptura para la estructura por efecto cíclico, generando fatiga.

3. LOCALIZACIÓN DEL SECTOR

El sector en estudio se encuentra en la antigua vía férrea Café Madrid-Magdalena Medio, en el tramo que comprende del km 20 al km 30, entre los sectores conocidos como Palmas y El Conchal; para acceder a él se puede avanzar por la carrera 15 hacia el norte de Bucaramanga pasando por el sector conocido como “la cemento” tomando la vía al mar, se debe desviar hacia la izquierda en el km 12 vía al mar o mejor conocido como “Balneario Brisas”, una vez tomado este desvío se avanza derecho por la única vía existente hasta llegar a la antigua estación de Palmas que se encuentra a 20 kms del desvío en el balneario Brisas.

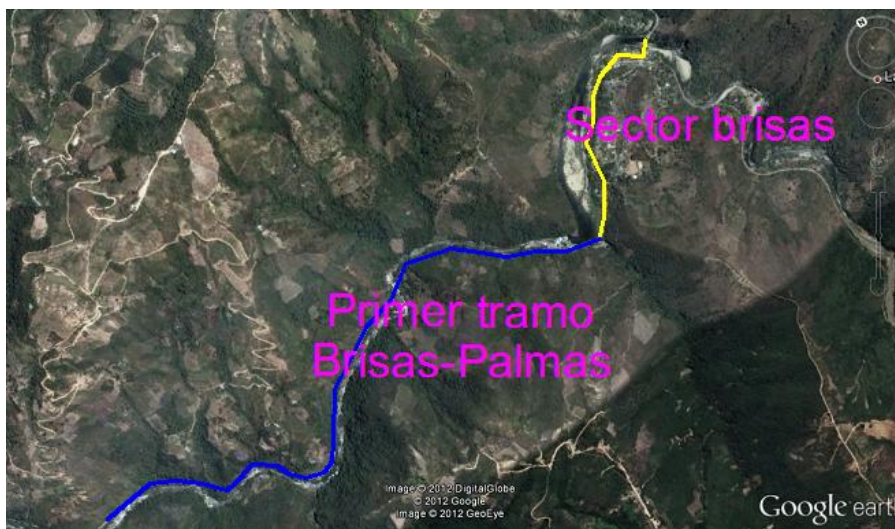
Figura 6.Desvío entrada brisas



Fuente: Autores del proyecto

Km 12, vía al mar (Bucaramanga-Rionegro), desvío hacia la izquierda. Entrada Balneario Brisas.

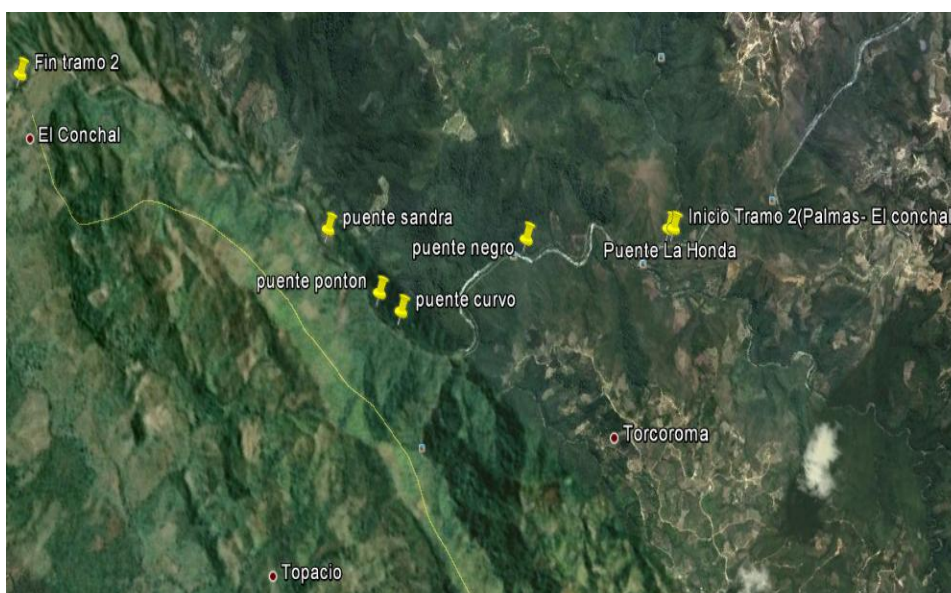
Figura 7. Tramo Brisas-Palmas



Fuente: Autores del proyecto

El primer tramo comprende desde el sector de Brisas hasta Palmas, más exactamente desde el primer puente metálico antes de la represa, hasta metros antes del Puente Honda. Éste tramo no es objeto de estudio por lo tanto solo se indica como ruta para llegar al tramo 2.

Figura 8. Tramo Palmas-El Conchal



Fuente: Autores del proyecto

El tramo dos será el objeto de nuestro estudio y comprende desde metros antes del puente onda hasta la vereda El Conchal, se señalan los puentes de éste tramo.

- Puente La Honda
- Puente Concreto
- Puente el Negro
- Puente Pontón
- Puente Curvo
- Puente Sandra

4. INVENTARIO TRAMO PALMAS-EL CONCHAL

Tabla 1. Inventario tramo palmas El Conchal

Tipo estructura	Nombre	Ubicación geografica	Abscisa sobre la via
Puente metalico	Puente La Honda	Latitud: 7°13'32.55"N, Longitud: 73°13'39.54"O	km 20 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Falso Tunel	Falso Tunel	Latitud: 7°13'54.54"N, Longitud: 73°13'49.46"O	km 20+680 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Puente metalico	Puente El Negro	Latitud: 7°14'10.70" N, Longitud:73°14'14.35" O	km 21+900 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Puente en hormigon armado	Puente Arco	Latitud: 7°14'27.31"N, Longitud: 73°14'59.61"O	km 23+120 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Puente metalico	Puente Curvo	Latitud:7°14' 32.61" N, Longitud:73°14'55,21" O	km 23+250 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Puente metalico	Puente Ponton	Latitud: 7°14'44.98" N, Longitud: 73°14'53.41"	km 23+450 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Puente metalico	Puente Sandra	Latitud:7°14'49.00"N, Longitud:73°14'58.10"O	km 25+300 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Boxcoulvert	Box 5	Latitud: 7°15'20.22"N, Longitud: 73°14'56.57"O	km 25+863 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Boxcoulvert	Box 4	Latitud: 7°15'9.18"N, Longitud: 73°14'59.02"O	km 26+745 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Boxcoulvert	Box 3	Latitud: 7°15'56.11"N, Longitud: 73°15'6.28"O	km 27+400 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Boxcoulvert	Box 2	Latitud: 7°16'20.41"N, Longitud: 73°15'9.06"O	km 28+136 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana
Boxcoulvert	Box 1	Latitud:7°16'43.26"N, Longitud:73°15'20.83"O	km 28+980 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana

Fuente: Autores del proyecto

5. PUENTES DE ESTUDIO

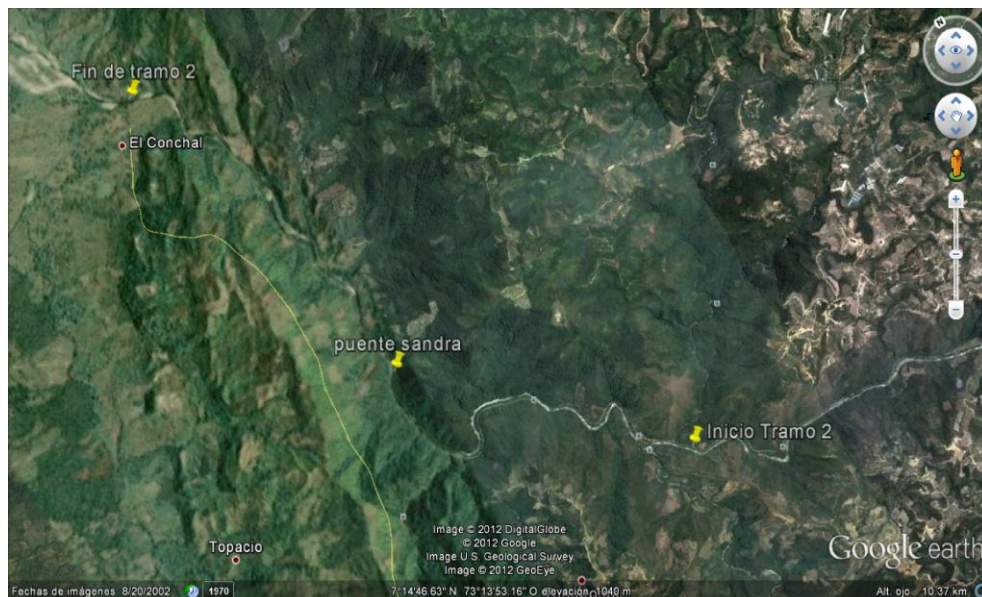
En el tramo se encuentran 5 puentes de los cuales se escogieron 2 en común acuerdo con el director y el codirector del proyecto para su estudio. El levantamiento de los puentes se centra en su geometría, patologías, y conexiones para evaluar su estado actual, y poderlos modelar de la forma más precisa posible. Después de recorrido el tramo a estudio y de revisar cada uno de los puentes existentes se escogen los siguientes:

- Puente La Honda
- Puente Sandra

5.1 PUENTE SANDRA

5.1.1 Ubicación

Figura 9. Ubicación satelital puente Sandra



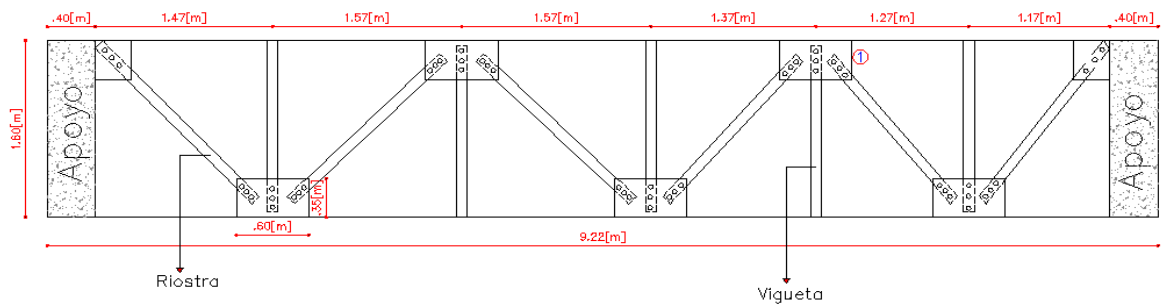
Fuente: Autores del proyecto

En la figura 9 se puede observar la ubicación del puente Sandra en el tramo que nos correspondió, más exactamente en el km 25 + 300 mt de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres.

5.1.2 Geometría

Figura 10. Vista en planta de puente Sandra

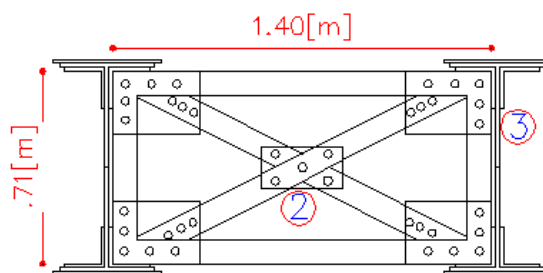
Planta Puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

Figura 11. Sección transversal puente Sandra

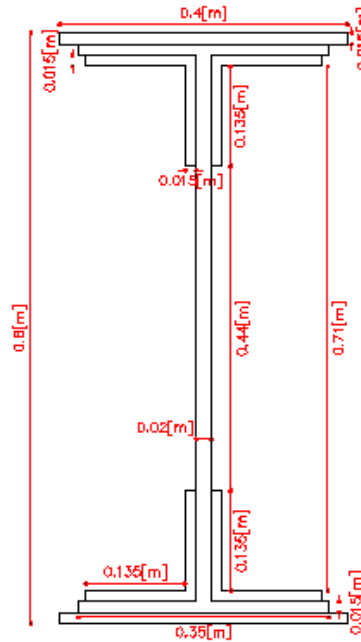
Sección Transversal(ST)



Fuente: Autores del proyecto

Figura 12. Sección transversal viga principal puente Sandra

Sección Transversal Viga W
(sin escala)



Fuente: Autores del proyecto

5.1.3 Tipo de puente

Clasificación

1. **Según el material:** Metálico
2. **Según el mecanismo de transmisión de cargas:** De vigas
3. **Según la ubicación del tablero:** Vigas I de alma llena
4. **Por las condiciones estáticas:** Isostático, simplemente apoyado
5. **Atendiendo a la función que cumplen:** Ferroviarios
6. **Por el ángulo que forma el eje del puente con el paso inferior:** Puente recto
7. **Por su duración:** Definitivo

5.1.4 Descripción del puente

Figura 13. Tablero en huellas puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

Se observa en la Figura 13 puente metálico conformado por dos grandes vigas longitudinales de sección transversal I armada, separadas entre sí 1,4 mt, simplemente apoyadas en estribos de hormigón con una luz total de 8,42 m, estas vigas a su vez están unidas por una riostra superior a lo largo del puente y por varias riostras transversales compuestas por ángulos en acero.

Sobre las vigas longitudinales se apoyan transversalmente listones de madera de sección transversal 0,2 mt x 0,2 mt, y de 2,5 mt de largo y separados entre sí cada 30 cm; sobre estos listones y ubicados en sentido longitudinal del puente descansan elementos de acero (rieles) pertenecientes a la antigua vía férrea, instalados en forma de “huellas vehiculares” conformadas por 5 rieles en una

huella y 7 rieles en la otra; los rieles de cada huella se encuentran unidos entre sí por guayas de acero y en medio de los rieles se encuentra un relleno de tierra.

Este puente se usa para sortear una depresión en la topografía del terreno la cual se presume que fue formada por una antigua quebrada y que actualmente ha desaparecido.

Figura 14. Vista lateral viga principal puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

Se observa en la Figura. 14 el tipo de sección transversal I armada correspondiente a las 2 vigas longitudinales del puente, esta viga armada se encuentra unida por pernos.

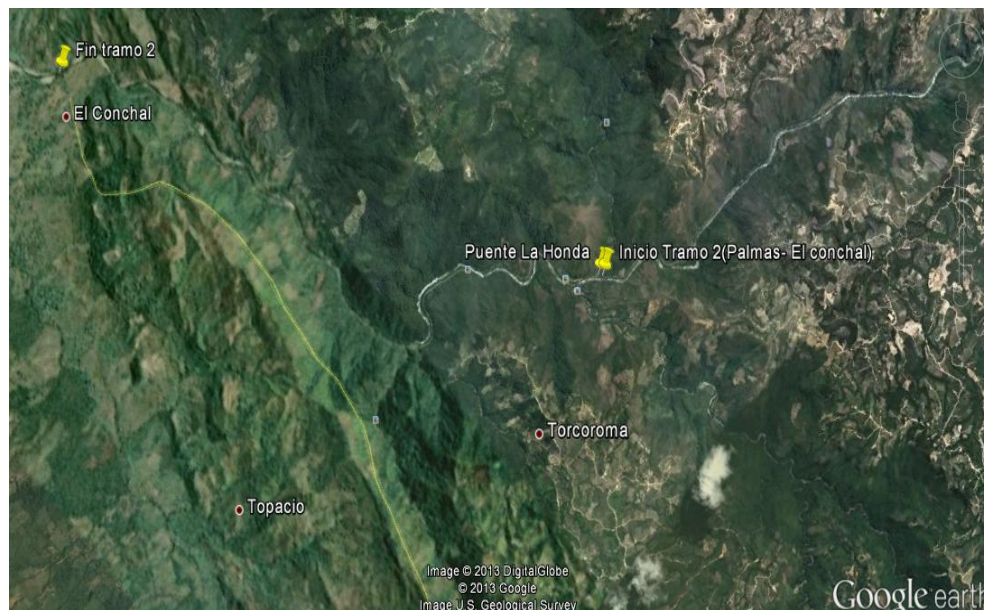
5.1.5 Patologías. Las principales patologías presentes en esta estructura son oxidación, pérdida de 4 pernos y abolladuras de poca importancia por caída de rocas.

Se observó que el tipo de corrosión imperante es corrosión uniforme, se pudo observar que aproximadamente un 20% de los elementos la presentan, sin embargo esta es superficial y ningún elemento presenta disminución significativa de sección transversal, en cuanto a la pérdida de pernos no se pudo identificar si fue producida por estrés del material o sobreesfuerzos.

5.2 PUENTE LA HONDA

5.2.1 Ubicación

Figura 15. Ubicación satelital puente La Honda



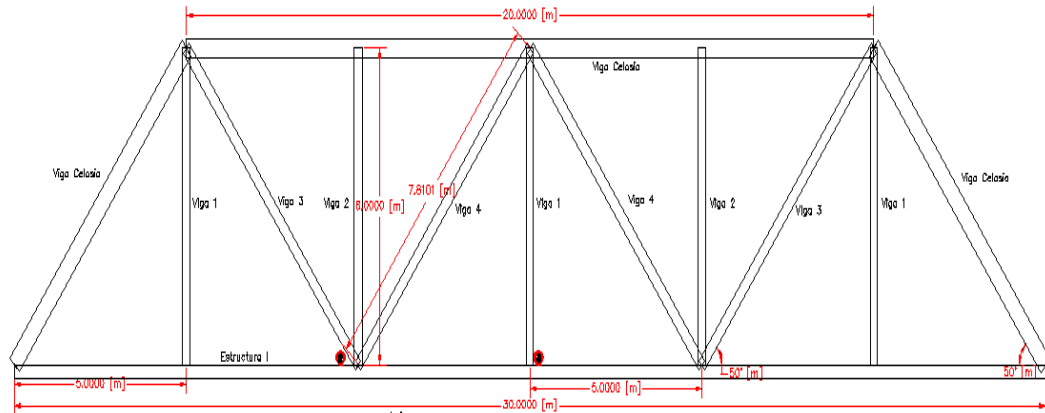
Fuente: Autores del proyecto

En la figura 15 se puede observar la ubicación del puente La Honda en el tramo 2 (Palmas-El Conchal) más exactamente km 20 de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres.

5.2.2 Geometría

Figura 16. Vista alzada puente La Honda

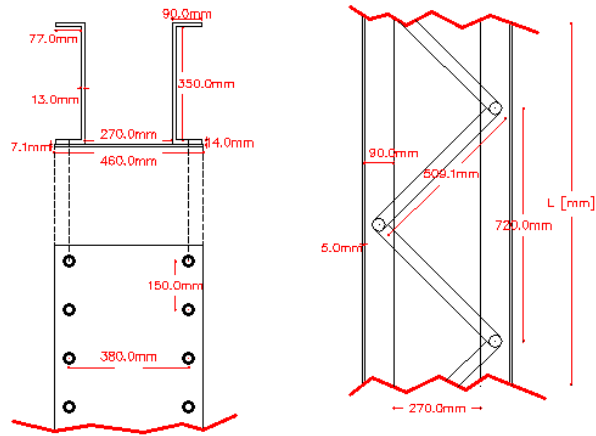
Puente La Honda (Alzada)



Fuente: Autores del proyecto

Figura 17. Celosía puente La Honda

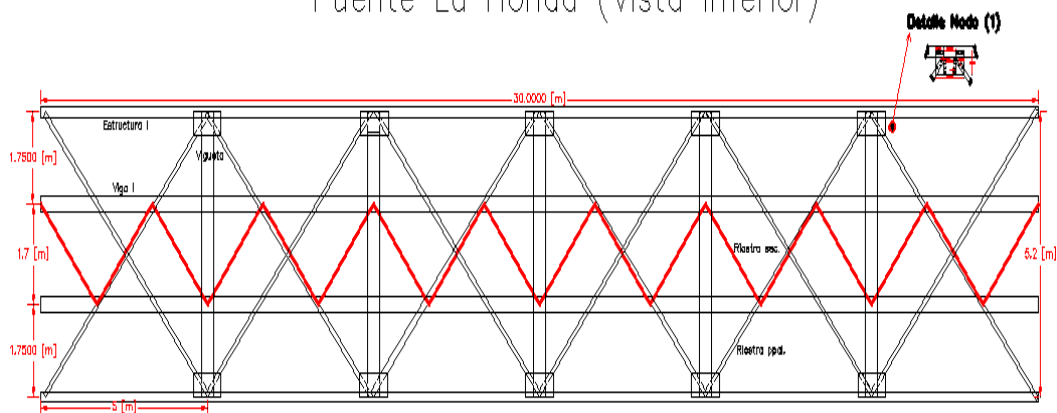
Viga Celosía



Fuente: Autores del proyecto

Figura 18. Vista en planta puente La Honda

Puente La Honda (Vista Inferior)



Fuente: Autores del proyecto

5.2.3 Tipo de puente

Clasificación

1. **Según el material:** Metálico
2. **Según el mecanismo de transmisión de cargas:** De vigas
3. **Según la ubicación del tablero:** Armadura superior
4. **Por las condiciones estáticas:** Isostático, simplemente apoyado
5. **Atendiendo a la función que cumplen:** Ferroviarios
6. **Por el ángulo que forma el eje del puente con el paso inferior:** Puente recto
7. **Por su duración:** Definitivo

5.2.4 Descripción del puente

Figura 19. Tablero puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Se observa en la Figura. 19 un puente metálico de armadura superior, simplemente apoyado en estribos de concreto, con una luz de 30 mt, el tablero está compuesto por listones de madera de aproximadamente 0,15 mt x 0,15 mt de sección transversal cada uno, simplemente apoyados sobre las vigas inferiores del puente, el puente no tiene barandas de ningún tipo que ofrezcan seguridad a los transeúntes ni a los vehículos que por allí circulan, la única “protección” que se observa, es una serie de advertencias que prohíben la circulación tanto de vehículos como de peatones.

Este puente se usa para sortear las aguas de la quebrada La Onda 50 metros antes de que esta se una al río de Oro

Figura 20. Advertencias puesta por Invias en puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Figura 21. Celosía puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Figura 22. Cercha principal puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Figura 23. Arriostramiento y vigas centrales puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Se observa en la figura 23 el tipo de armadura que presenta el puente La Honda, conformado en su parte inferior por vigas longitudinales de sección transversal I simple y cortadas por vigas transversales también de sección transversal I simple pero de un espesor considerablemente mayor; sobre estas dos clases de vigas se apoya el tablero existente.

El puente en sus laterales está conformado por dos grandes cerchas que a su vez se conforma de elementos inclinados, verticales centrales y horizontales inferiores de sección transversal I simple de diversas dimensiones y elementos horizontales superiores e inclinados iniciales y finales de sección transversal armada compuesta por dos elementos tipo "C" y una lámina superior conformando así una celosía.

5.2.5 Patologías. En la visita de campo se observan pequeñas abolladuras producidas por golpes de rocas, además de esto se observa oxidación superficial en algunos elementos. Para este puente el porcentaje aproximado de elementos presentando corrosión es de un 25% pero al igual que en puente Sandra la corrosión es superficial uniforme y ninguno de los elementos principales presenta pérdida significativa de sección transversal la cual pueda poner en riesgo la estabilidad de la estructura. El único elemento que presenta pérdida de sección transversal significativa es uno perteneciente al arriostramiento inferior del puente.

6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS - MODELAMIENTO EN SAP 2000

6.1 AVALUÓ DE CARGAS

6.1.1 Cargas Muertas Sobreimpuestas

6.1.1.1 Calculo de cargas

- Cargas Muertas

Tabla 2. Cargas Muertas

Rodadura(Entablado de madera)			
Densidad	e	L	w
900 kg/m ³	0,15 m	4.00 m	540.0 kg/m

Fuente: Autores del proyecto

Total carga muerta $W=540.0$ kg/m

- Cargas Muertas Propias

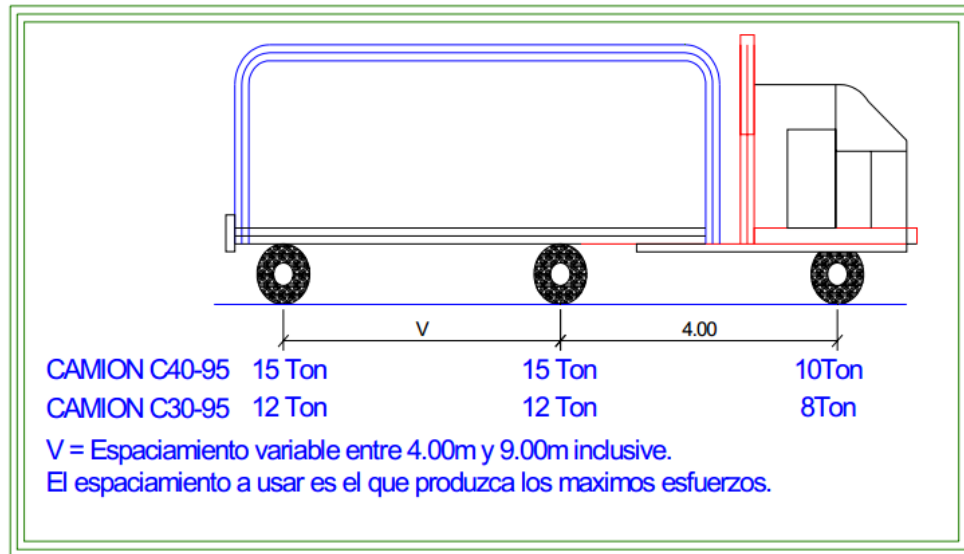
Las cargas muertas propias son calculadas automáticamente por el programa de diseño estructural SAP2000®. Este programa se basa en las densidades y secciones reales que han sido previamente creadas para calcular sus masas y pesos.

- Cargas Vivas

Según el código colombiano de puentes, las cargas vivas son las debidas al tráfico y en su apartado A .3.4 nos explica su forma de evaluación. Se debe tomar el máximo entre cargas de carril y cargas de camión. Pero consultando especialistas

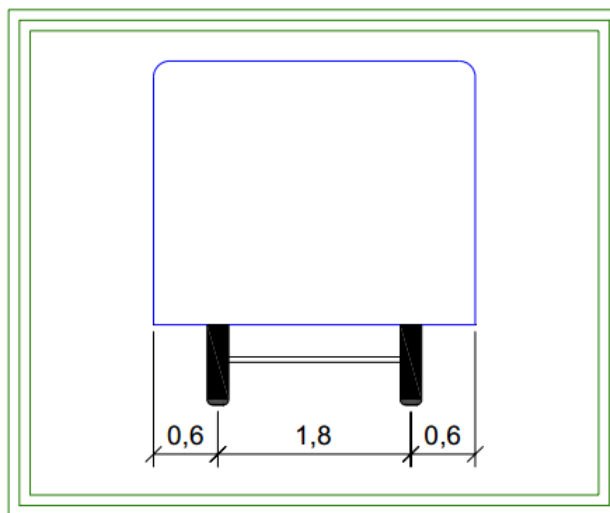
y nuestro director, para luces menores a 100m priman las cargas de camión. Por lo tanto se utilizó las cargas de camión estándar como se muestra en el artículo A.3.4.2.1.2. y el camión a utilizar fue el camión C 40-95.

Figura 24. Distribución de cargas camión C40-95 y C30-95



Fuente: Autores del proyecto

Figura 25. Separación entre llantas camión tipo



Fuente: Autores del proyecto

Se utilizó combinaciones obtenidas de las líneas de Influencia dadas por el programa de análisis estructural SAP2000.

6.2 MATERIALES

6.2.1 Madera

- Losa del puente: Densidad= 900 kg/cm³

6.2.2 Estructura metálica

- Perfiles IPE(alas espesor constante): Norma ASTM A 36 $f_y=252$ MPa (2520 kg/cm²)
- Ángulos y Platinas: Norma ASTM A 36 $f_y=252$ MPa (2520 kg/cm²)
- Soldadura: E - 70 XX

6.2.3 Norma

- Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes
- Código AISC-LRFD-93

6.3 MODELO UTILIZADO

Para modelar las estructuras seleccionadas en este estudio se usó un modelo estático lineal de rango elástico

6.4 PUENTE SANDRA

Se inicia visitando el sitio donde se encuentra la estructura y haciendo un levantamiento del puente para medir su geometría y el estado de sus elementos.

Figura 26. Paso por puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

Figura 27. Arriostramiento puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

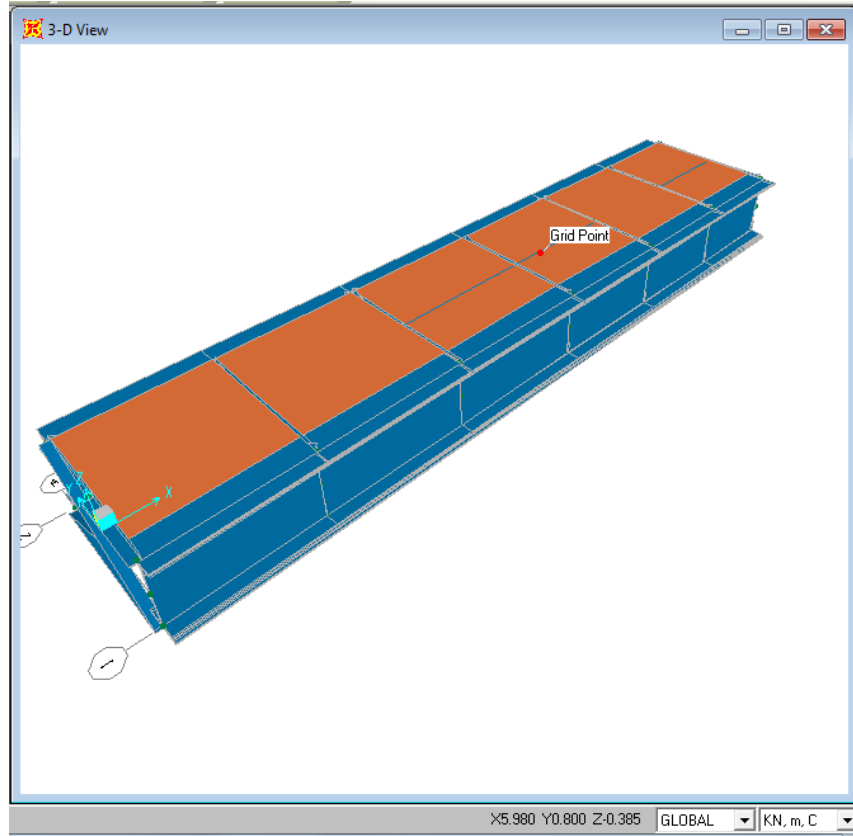
Figura 28. Viga principal puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

Y a partir de estos datos, se va a un modelo numérico tridimensional como lo es:

Figura 29. Vista modelo en 3d suministrado por SAP 2000 puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

Para lograr este modelo se siguieron varios pasos

Primero fue la definición de geometría y propiedades mecánicas de los elementos que conformarían dicho modelo.

6.4.1 Definición de materiales

Acero

Figura 30. Definición de materiales en SAP 2000 puente Sandra

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. The dialog is organized into several sections:

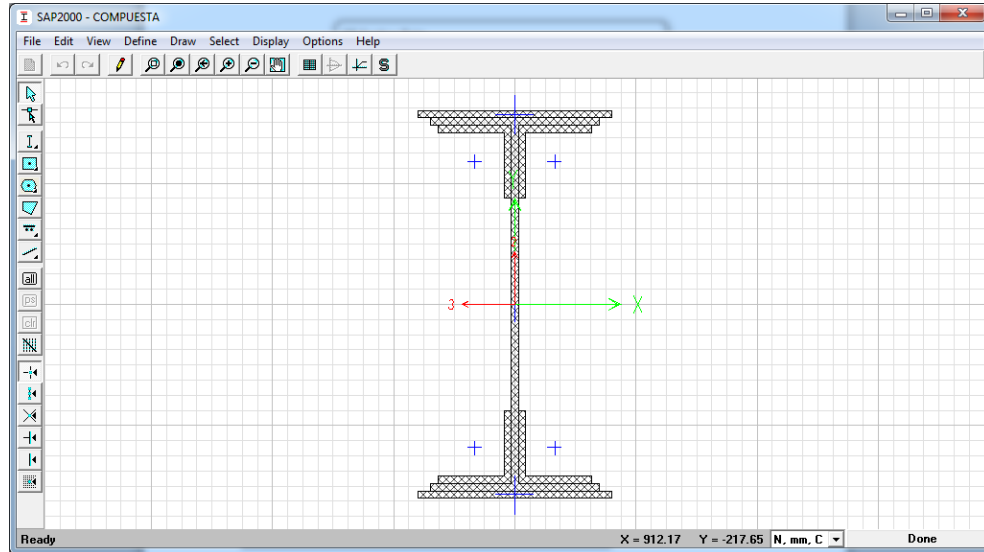
- General Data:**
 - Material Name and Display Color: A36
 - Material Type: Steel
 - Material Notes: Modify/Show Notes...
- Weight and Mass:**
 - Weight per Unit Volume: 7.697E-05
 - Mass per Unit Volume: 7.849E-09
- Units:**
 - Units: N, mm, C
- Isotropic Property Data:**
 - Modulus of Elasticity, E: 199947.98
 - Poisson's Ratio, U: 0.3
 - Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05
 - Shear Modulus, G: 76903.07
- Other Properties for Steel Materials:**
 - Minimum Yield Stress, Fy: 248.2113
 - Minimum Tensile Stress, Fu: 399.896
 - Effective Yield Stress, Fye: 372.3169
 - Effective Tensile Stress, Fue: 439.8856

At the bottom of the dialog, there is a checkbox labeled 'Switch To Advanced Property Display' which is currently unchecked. Below the checkbox are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fuente: Autores del proyecto

6.4.2 Definición de secciones

Figura 31. Definición secciones en SAP 2000 puente Sandra



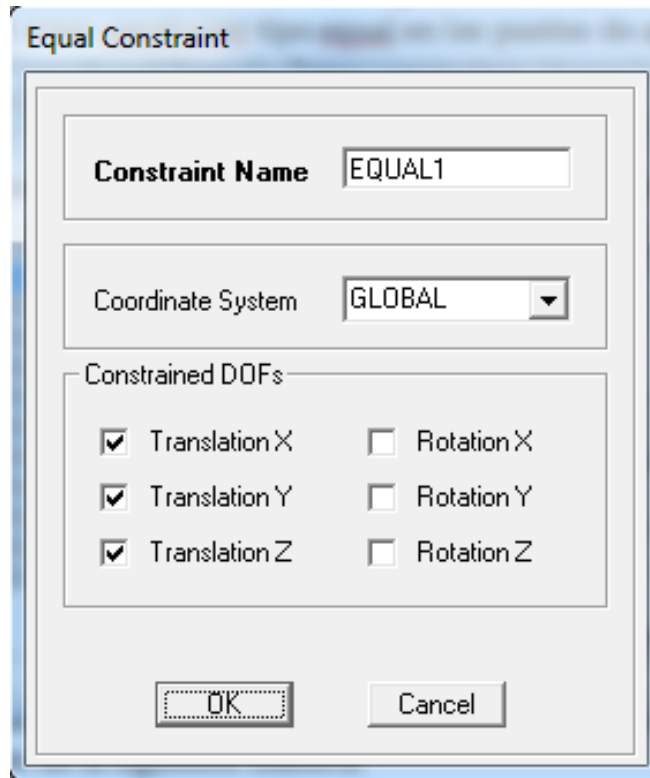
Fuente: Autores del proyecto

6.4.3 Consideraciones de análisis. El puente se consideró simplemente apoyado, con un extremo fijo articulado y el otro simplemente apoyado, con libertad de rotaciones y desplazamientos en la dirección paralela al puente.

Para poder tener en cuenta todos los elementos del puente y hacer que en el modelo se comporten de la manera más cercana a la realidad, se trazó las vigas principales. Y después las riostras, que se trazaron en la altura a la que se encontrarían con respecto al centroide de las vigas principales. Si se observa el dibujo sin extrusión nos damos cuenta que se encuentran desconectadas de la viga. Entonces para hacer dicha conexión se procedió crear constraint tipo equal en los puntos de apoyo de las riostras y al punto de la viga que al cual llegaría. Estos constraints tienen la particularidad que serán de igual movimiento (desplazamientos), para las vigas principales y la riostra; esto es porque se supone que las secciones planas permanecen planas, y estamos suponiendo que

las riostras llegan a la sección de la viga. Pero también tendrán diferente rotación, todo esto debido a que las riostras no se encuentran empotradas a la viga.

Figura 32. Constrain tipo Equal SAP 2000



Fuente: Autores del proyecto

6.4.4 Definición de cargas de puente. Las cargas vivas de camión fueron asignadas automáticamente por modulo bridge de SAP2000 y se hicieron de la siguiente manera.

Primero fue crear el lane, la línea de carga para esto se escriben los nombres de los frames que he definido como línea de carga y selecciono un ancho de 3.00 m. A esta línea se le asignó una sección nula con la intención que no participara con ningún tipo de carga.

Figura 33. Definición línea de carga

Lane Data

Lane Name: LANE1

Frame	Centerline Offset	Lane Width
66	0.5	0
67	0.5	0
68	0.5	0
69	0.5	0
70	0.5	0
71	0.5	0

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, Reverse Order, Reverse Sign, Move Lane...

Lane Edge Type:
Left Edge: Interior
Right Edge: Interior

Maximum Lane Load Discretization Lengths:
Along Lane: 3.048
Across Lane: 3.048

Additional Lane Load Discretization Parameters Along Lane:
 Discretization Length Not Greater Than 1/ [] of Span Length
 Discretization Length Not Greater Than 1/ 10. of Lane Length

Objects Loaded By Lane:
 Program Determined
 Group []

Display Color: Yellow

Buttons: OK, Cancel

Status Bar: X0.000 Y0.000 Z0.000 GLOBAL KN, m, C

Fuente: Autores del proyecto

Cabe aclarar que esta línea de carga no pasa precisamente por el centro del puente, sino desfasado del eje para poder simular una situación más crítica.

6.4.5 Tipo de camión

Figura 34. Introducción de datos para camión C40-95 para SAP 2000

General Vehicle Data

Vehicle name: C40-95 Units: Tonf, m, C

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	0.	One Point	
For Other Responses	0.	One Point	

Double the Lane Moment Load when Calculating Negative Span Moments

Usage

Lane Negative Moments at Supports
 Interior Vertical Support Forces
 All other Responses

Min Dist Allowed From Axle Load

Lane Exterior Edge: 3.048E-04
Lane Interior Edge: 6.096E-04

Length Effects

Axle: None
Uniform: None

Loads

Load Length Type	Minimum Distance	Maximum Distance	Uniform Load	Uniform Width Type	Uniform Width	Axle Load	Axle Width Type	Axle Width
Variable Length	4.	9.	0.	Fixed Width	3.	15.	Fixed Width Line	3.048
Leading Load	Infinite		0.	Fixed Width	3.	10.	Fixed Width Line	3.048
Fixed Length	4.		0.	Fixed Width	3.	15.	Fixed Width Line	3.048
Variable Length	4.	9.	0.	Fixed Width	3.	15.	Fixed Width Line	3.048

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only Straddle Reduction Factor:

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Buttons: Add, Insert, Modify, Delete, OK, Cancel

Fuente: Autores del proyecto

Para que estos se tengan en cuenta en el análisis se creó el caso de carga al que llamamos carga vivap.

6.4.6 Definición de combinaciones de diseño. Al tratarse de un puente simplemente apoyado, las Cargas sísmicas son absorbidas por la infraestructura, por lo cual solo se tendrá una combinación de diseño

Como lo define el CCP-94

$$\gamma * [\beta_D * D + \beta_L * L + I + \beta_C * CF + \beta_E * E + \beta_B * B + \beta_F * CF + \beta_W * W + \beta_{WL} * WL + \beta_L * LF + \beta_R * R + S + T + \beta_{EQ} * EQ]$$

N=Numero del grupo

$\gamma =$ Factor de carga, ver tabla A. 3.12.1

$\beta =$ Coeficiente de carga, ver tabla A. 3.12.1

D=Carga muerta

L=Carga viva

I=Impacto

E=Empuje de tierras

B=Flotación

W=Fuerza del viento sobre la estructura

WL= Fuerza del viento sobre la carga viva

CF=Fuerza centrífuga

R=Acortamiento de la estructura

S=Retracción del fraguado

T=Temperatura

EQ=Sismo

SF= Presión por flujo de la corriente

Para esto se calculó primero el impacto

$$I = \frac{16}{40 + L} \leq 0.30$$

$$I = \frac{16}{40 + 8.42} = 0.33 \rightarrow I = 0.30$$

$$1.3*(1.3*D+1.67*(L+I))=1.69D+2.82L$$

Y en el modelo finalmente la combinación utilizada es:

Figura 35. Combinación cargas modelo para puente Sandra

Load Combination Data

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

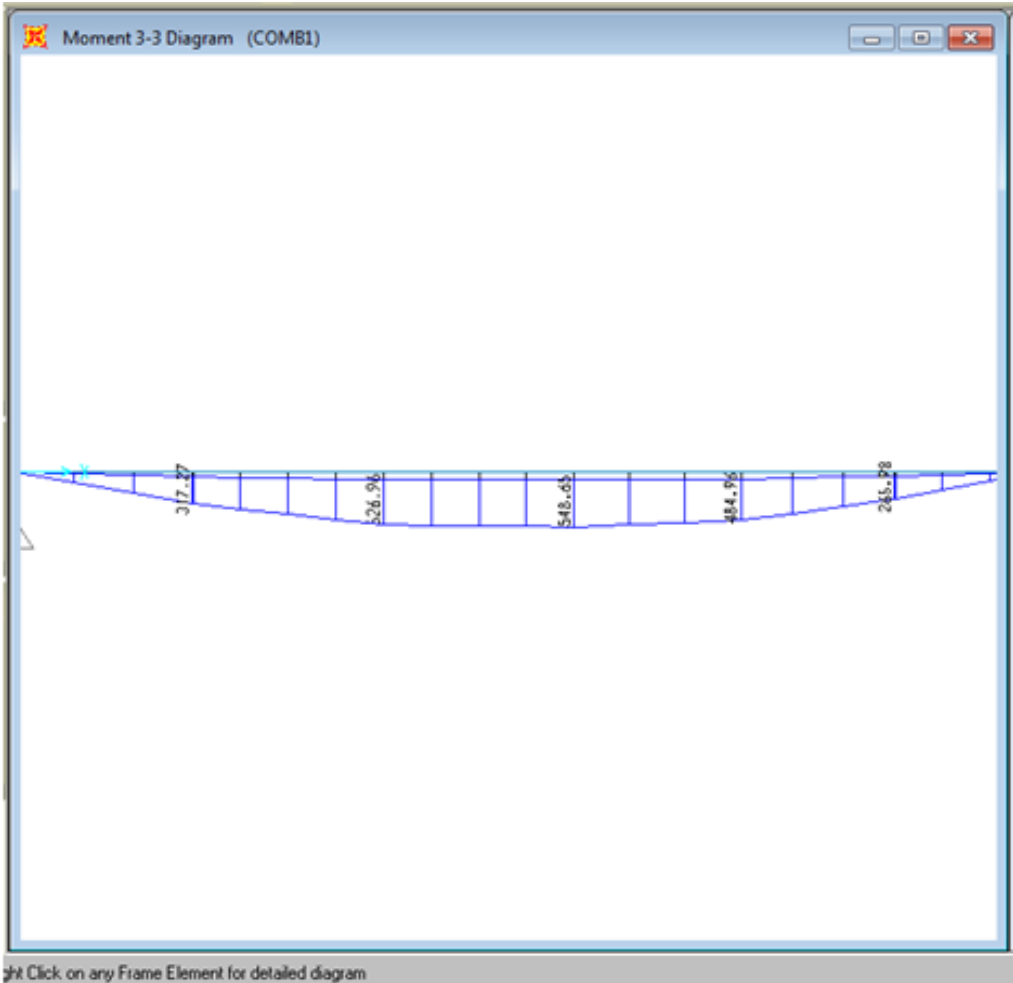
Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
DEAD	Linear Static	1.69
DEAD	Linear Static	1.69
VIVAP	Moving Load	2.8223

Fuente: Autores del proyecto

6.4.7 Resultados

6.4.7.1 Diagrama de momentos por combo de diseño

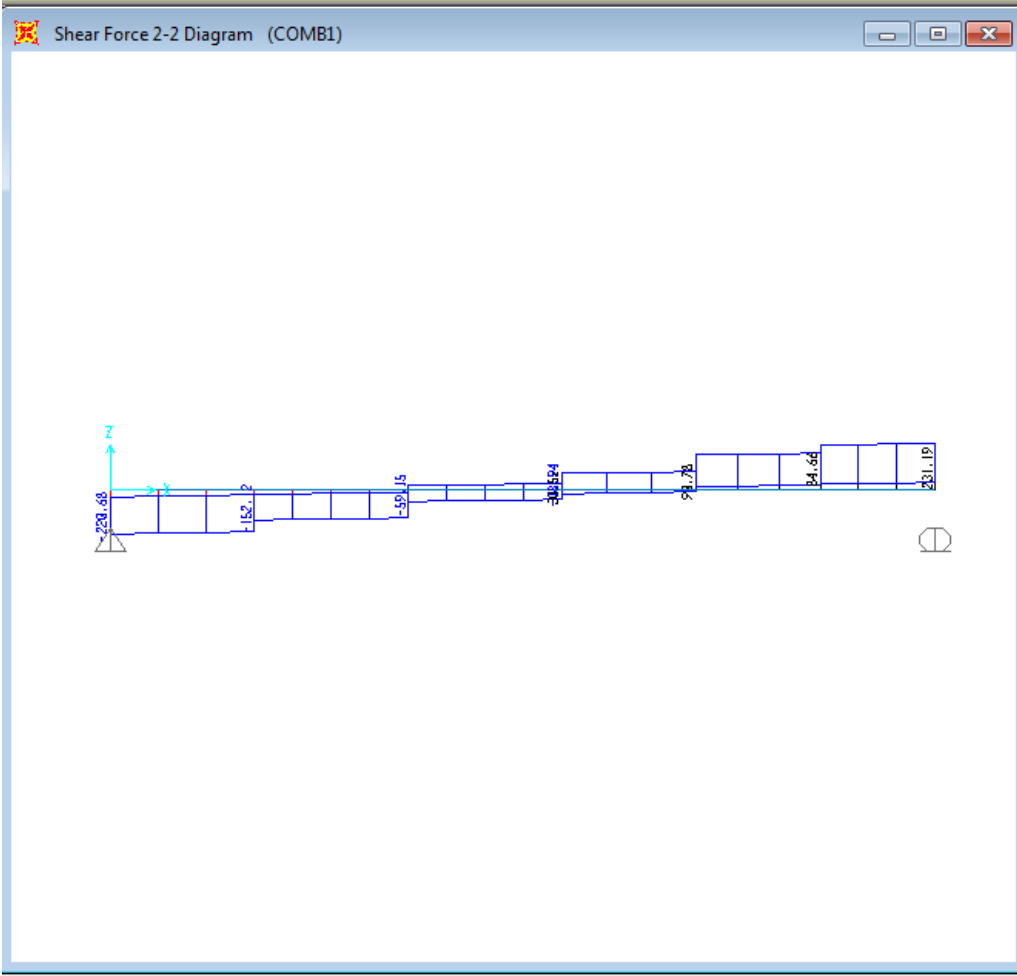
Figura 36. Diagrama de momentos por combo de diseño puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

6.4.7.2 Diagrama de cortantes por combo de diseño

Figura 37. Diagrama de cortantes por combo de diseño puente Sandra



Fuente: Autores del proyecto

6.5 PUENTE LA HONDA

Se inicia visitando el sitio donde se encuentra la estructura y haciendo un levantamiento del puente para medir su geometría y el estado de sus elementos.

Figura 38. Vista puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

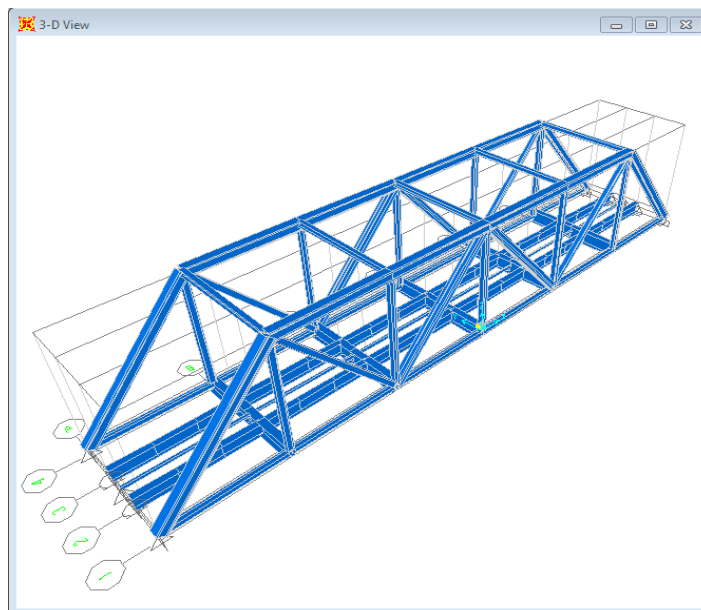
Figura 39. Cercha principal puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Y a partir de estos datos, se va a un modelo numérico tridimensional como se muestra a continuación.

Figura 40. Vista modelo en 3d suministrado por SAP 2000 puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Para lograr este modelo se siguieron varios pasos

Primero fue la definición de geometría y propiedades mecánicas de los elementos que conformarían dicho modelo.

6.5.1 Definición de materiales

Acero

Figura 41. Definición materiales SAP 2000 puente La Honda

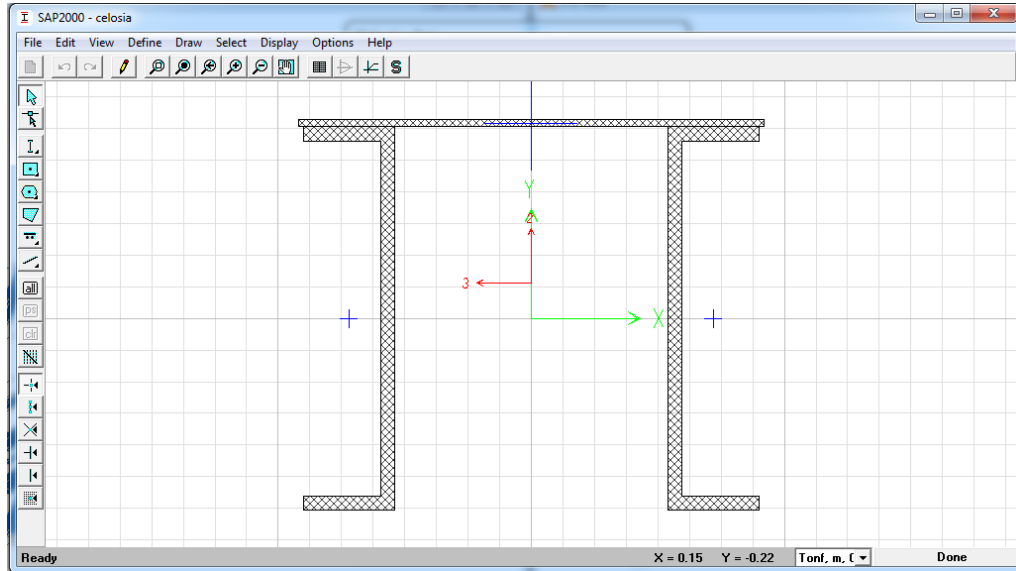
The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and contains several sections for defining material properties. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (A36), 'Material Type' (Steel), and 'Material Notes' (Modify/Show Notes...). The 'Weight and Mass' section includes 'Weight per Unit Volume' (7.697E-05), 'Mass per Unit Volume' (7.849E-09), and 'Units' (N, mm, C). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus of Elasticity, E' (199947.98), 'Poisson's Ratio, U' (0.3), 'Coefficient of Thermal Expansion, A' (1.170E-05), and 'Shear Modulus, G' (76903.07). The 'Other Properties for Steel Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, Fy' (248.2113), 'Minimum Tensile Stress, Fu' (399.896), 'Effective Yield Stress, Fye' (372.3169), and 'Effective Tensile Stress, Fue' (439.8856). At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Property	Value
Material Name and Display Color	A36
Material Type	Steel
Weight per Unit Volume	7.697E-05
Mass per Unit Volume	7.849E-09
Units	N, mm, C
Modulus of Elasticity, E	199947.98
Poisson's Ratio, U	0.3
Coefficient of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	76903.07
Minimum Yield Stress, Fy	248.2113
Minimum Tensile Stress, Fu	399.896
Effective Yield Stress, Fye	372.3169
Effective Tensile Stress, Fue	439.8856

Fuente: Autores del proyecto

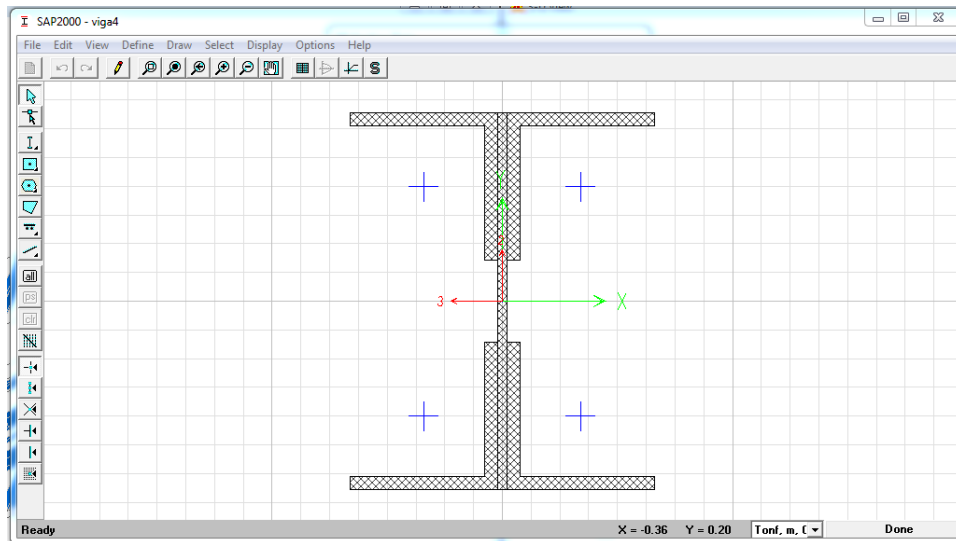
6.5.2 Definición de secciones

Figura 42. Definición secciones (celosía) SAP 2000 puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Figura 43. Definición secciones (viga armada) SAP 2000 puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Línea de carga

Figura 44. Definición línea de carga puente La Honda

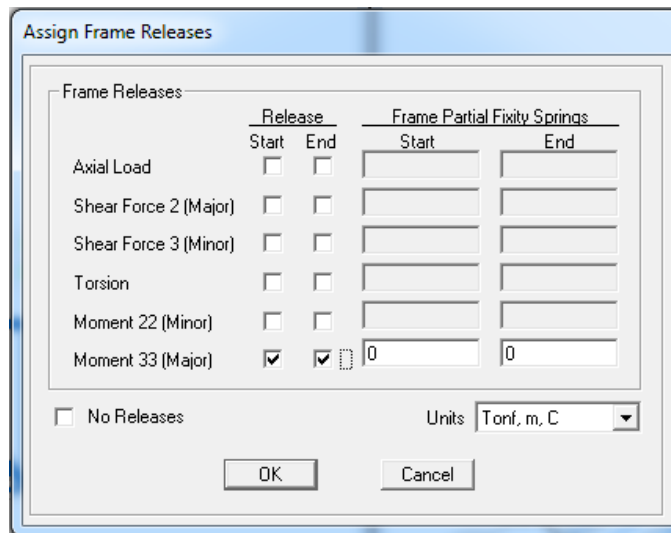
Frame	Centerline Offset	Lane Width
35	1	0
35	1	0
36	1	0
37	1	0
38	1	0
39	1	0
40	1	0

Fuente: Autores del proyecto

6.5.3 Consideraciones de análisis. El puente se consideró simplemente apoyado, con un extremo fijo articulado y el otro simplemente apoyado, con libertad de rotaciones y desplazamientos en la dirección paralela al puente.

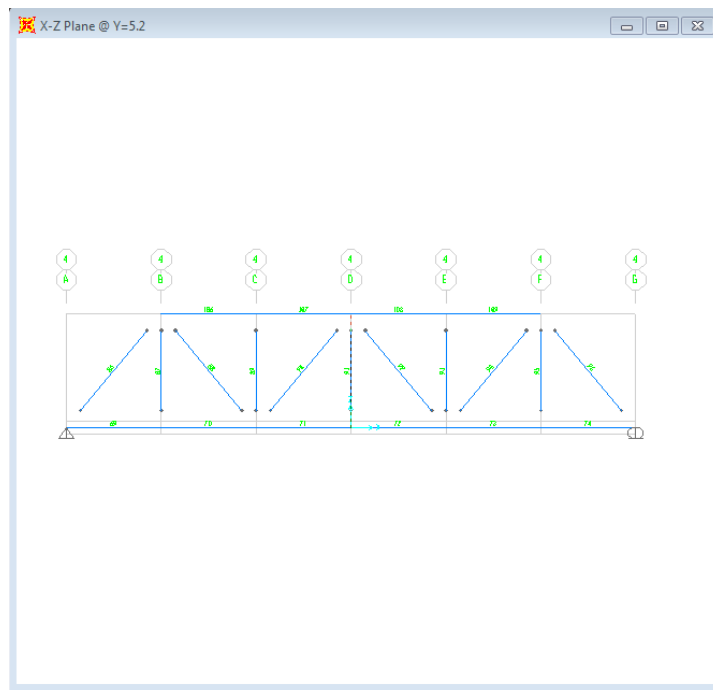
En los elementos de cercha se hicieron releases a momento para modelar articulaciones.

Figura 45. Asignación relases (1) SAP 2000 puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Figura 46. Asignación relases (2) SAP 2000 puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

6.5.4 Definición de cargas de puente. Las cargas vivas de camión fueron asignadas automáticamente por modulo bridge de SAP2000 y se hicieron de la siguiente manera.

Primero fue crear el lane, la línea de carga para esto se escriben los nombres de los frames que se han definido como línea de carga y se selecciona un ancho de 3.00 m

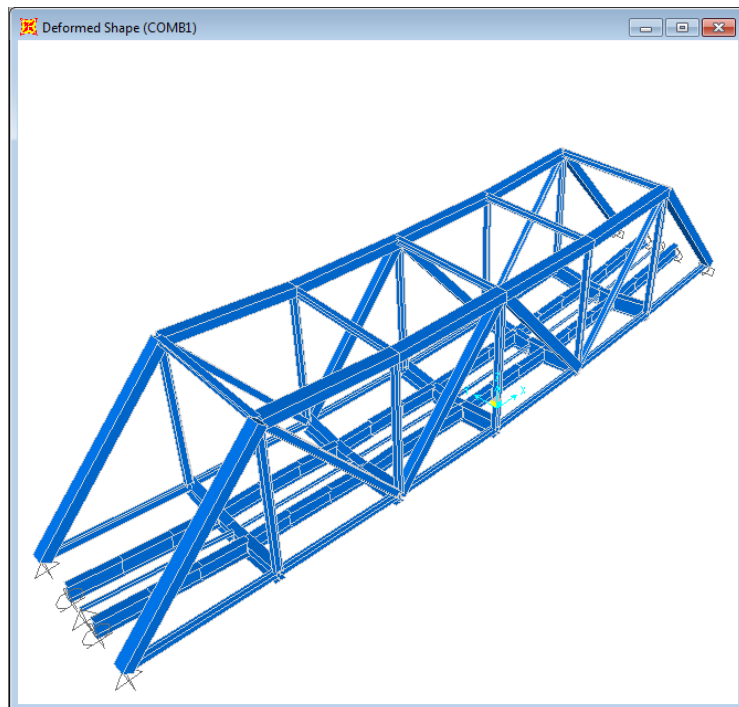
Es el mismo procedimiento utilizado para el puente Sandra.

6.5.5 Definición de combinaciones de diseño. Al tratarse de un puente simplemente apoyado, las Cargas sísmicas son absorbidas por la infraestructura, por lo cual solo se tendrá una combinación de diseño, la misma utilizada en el puente Sandra.

6.5.6 Resultados

6.5.6.1 Deformada por combo de diseño

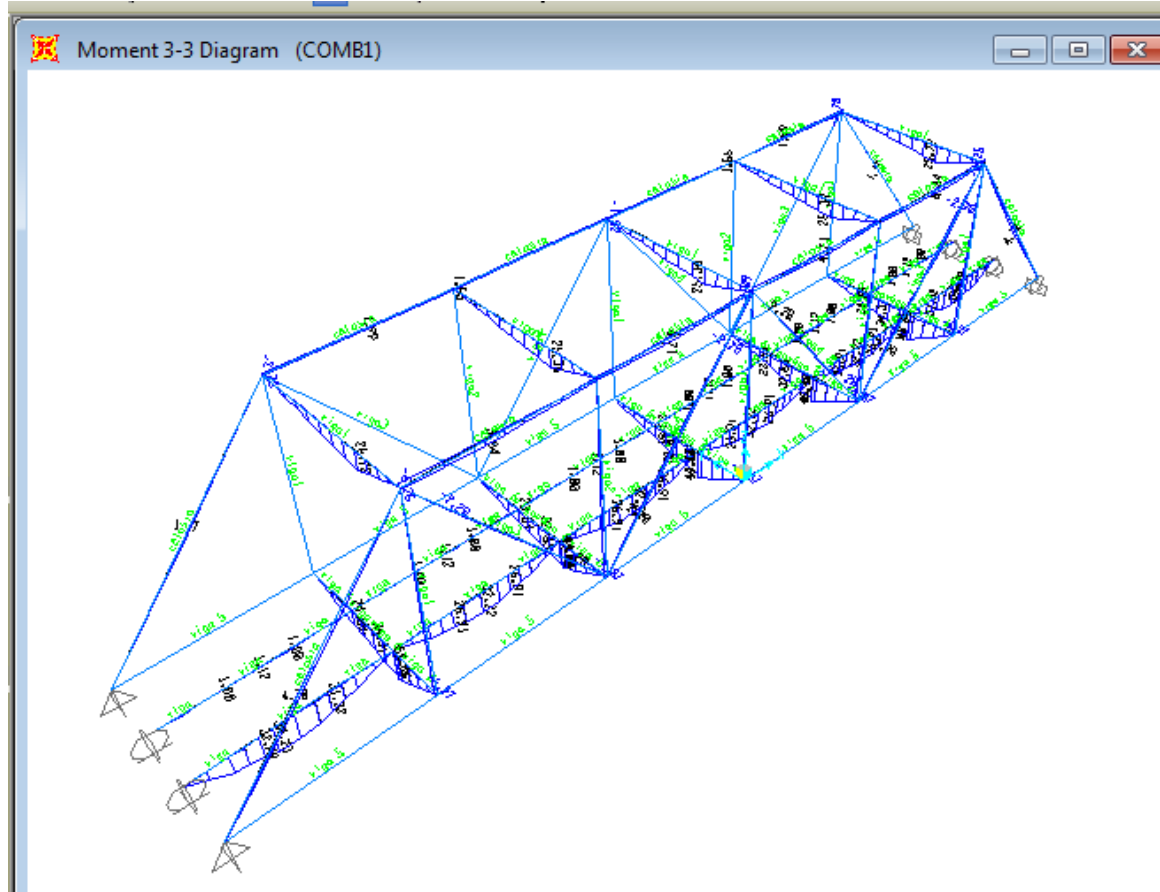
Figura 47. Deformada por combo de diseño puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

6.5.6.2 Diagrama de momentos por combo de diseño

Figura 48. Diagrama de momentos por combo de diseño puente La Honda

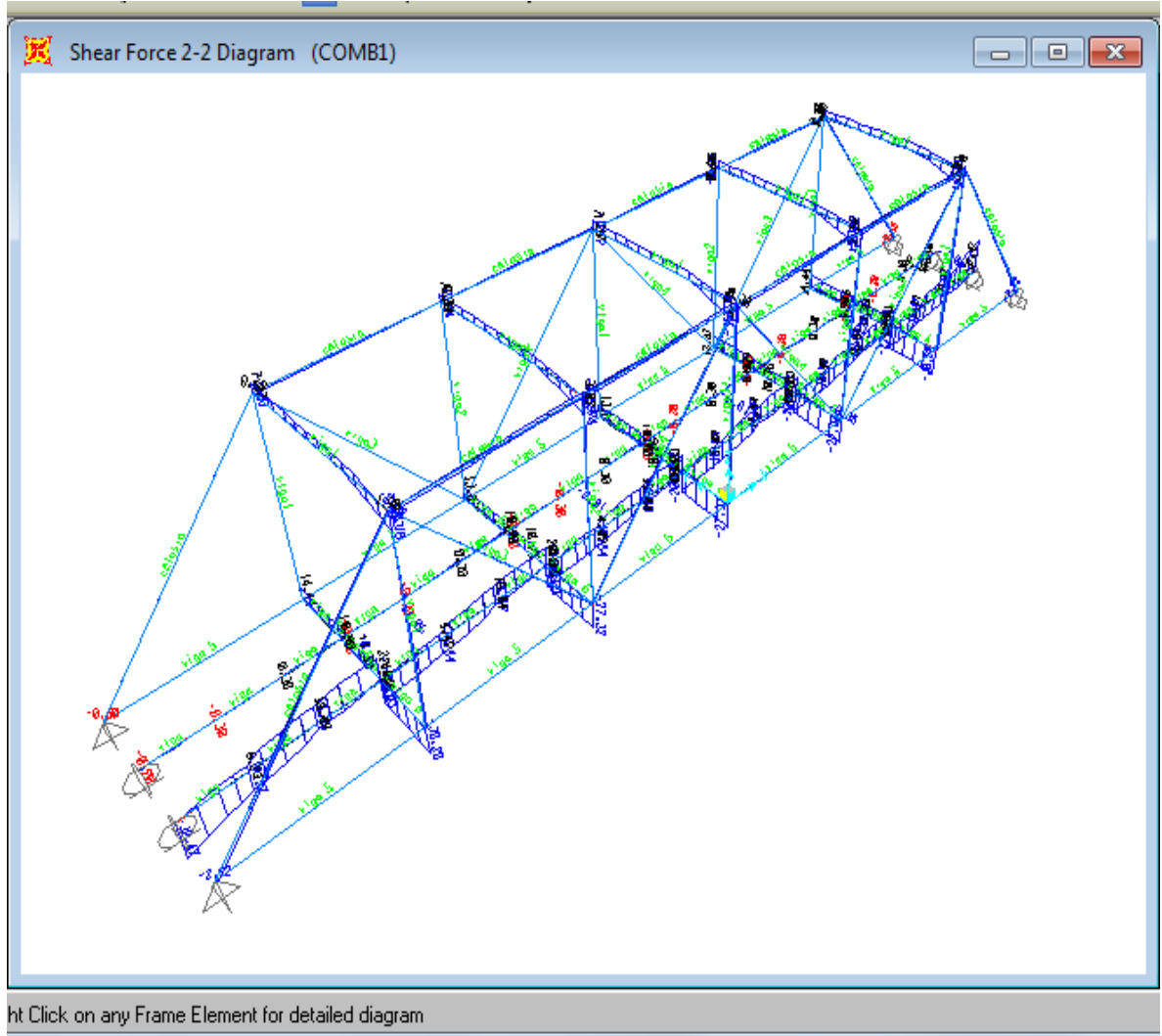


Fuente: Autores del proyecto

Como se puede observar tan solo las vigas transversales se encuentran solicitadas por flexión considerable, la viga longitudinal que aparece solicitada, es una viga que en realidad no existe, pero fue incluida en el modelo para aplicar la carga de camión. Esta carga, no pasa precisamente por el centro, para simular una situación más crítica; cuando el camión se orille. Los elementos de cercha se encontraran solicitados a tensión y compresión principalmente.

6.5.6.3 Diagrama de cortantes por combo de diseño

Figura 49. Diagrama de cortantes por combo de diseño puente La Honda

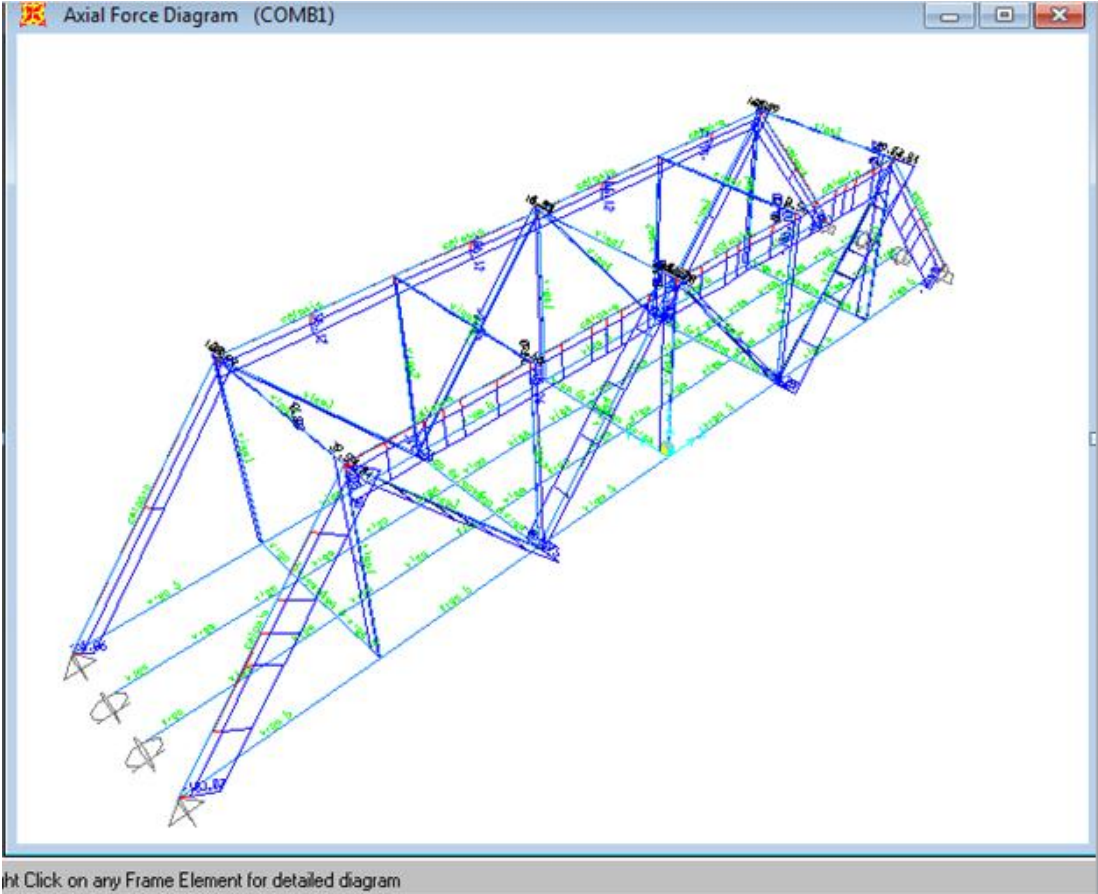


Fuente: Autores del proyecto

De nuevo los únicos elementos que tienen fuerzas cortantes considerables son las vigas transversales que sostienen el tablero.

6.5.6.4 Diagrama de axiales por combo de diseño

Figura 50. Diagrama de axiales por combo de diseño puente La Honda



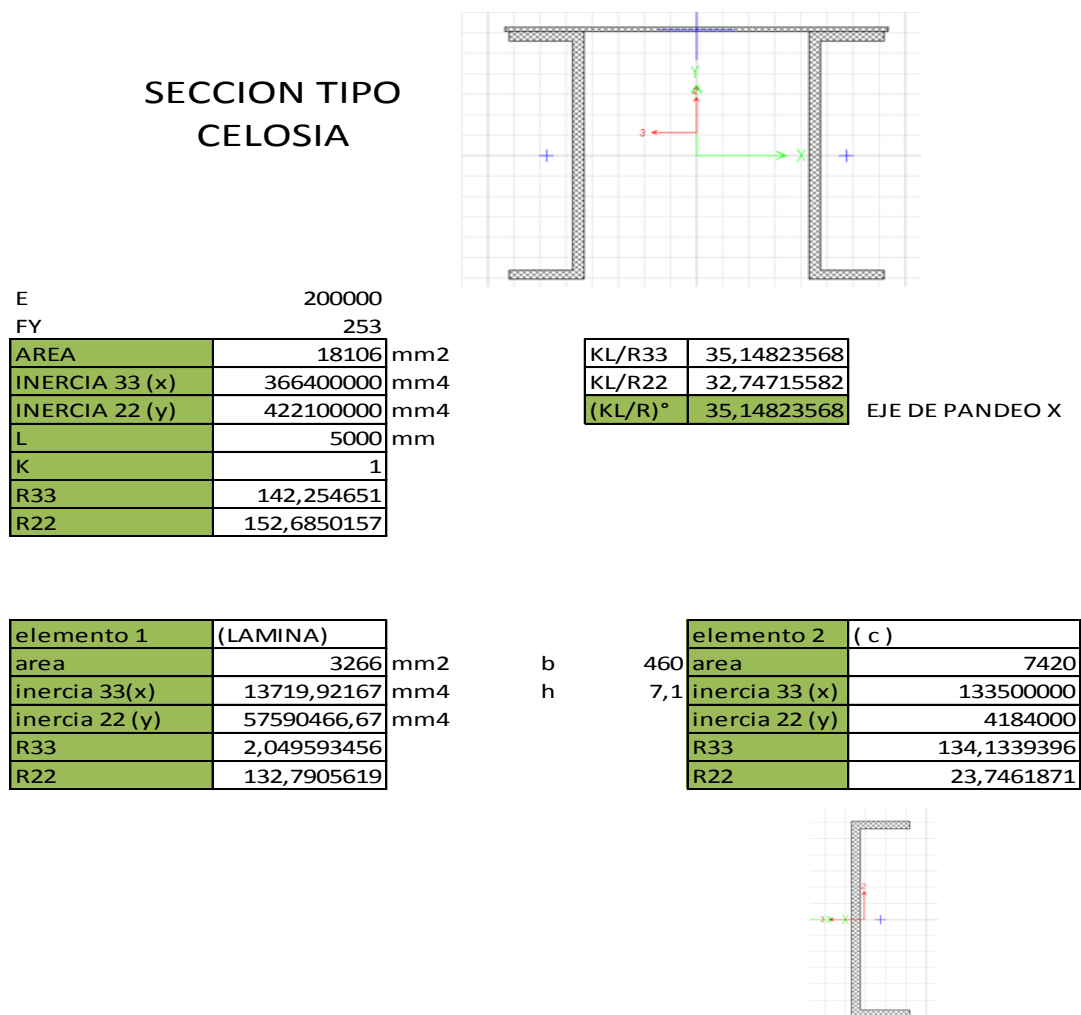
Fuente: Autores del proyecto

7. ANÁLISIS BASADO EN LA NORMA NSR-10

7.1 PUENTE LA HONDA

En común acuerdo con el director y codirector de proyecto se hace el análisis basado en la NSR-10 debido a que esta norma se encuentra más actualizada que el código colombiano de diseño sísmico de puentes. Además del hecho de que el cálculo de la resistencia nominal no difiere en ambas normativas.

Figura 51. Análisis basado en la norma NSR-10 – Puentes La Honda



ATIESADOS	
placa horizontal	H

460.00

NO ATIESADOS	
placa horizontal	

h	380.00	mm
tw	7.10	mm
h/tw	53.52	< λ_r
E	200000.00	mpa
fy	253.00	mpa
λ_r caso 8	41.89	

tabla F.2.2.4-1a NSR-10

si

h	40.00	mm
tw	7.10	mm
h/tw	5.63	< λ_r
E	200000.00	mpa
fy	253.00	mpa
kc	0.50	
λ_r caso 2	29.53	

no

tabla F.2.2.4-1a NSR-10

ATIESADOS	
c	

h	350.00	mm
tw	14.00	mm
h/tw	25.00	< λ_r
E	200000.00	mpa
fy	253.00	mpa
λ_r caso 5	41.89	

tabla F.2.2.4-1a NSR-10

no

NO ATIESADOS	
c	

h	77.00	mm
tw	14.00	mm
h/tw	5.50	< λ_r
E	200000.00	mpa
fy	253.00	mpa
λ_r caso 1	15.75	

no

tabla F.2.2.4-1a NSR-10

F.2.5.7.2 NSR-10

be	314.76
Ae	17074.76
At	18106.00

Qa=Q	0.94
------	------

h	367.55
Alfa	89.66
ai	54.03

Seccion con perfiles no Esbeltos		
modificado	(KL/R)m	42.49

A) $KL/r < 4,71(E/QFy)^{1/2}$
 $F_{cr} = Q[0,658^{1/2}(QFy/Fe)]Fy$

B) $KL/r > 4,71(E/QFy)^{1/2}$
 $F_{cr} = 0,877Fe$

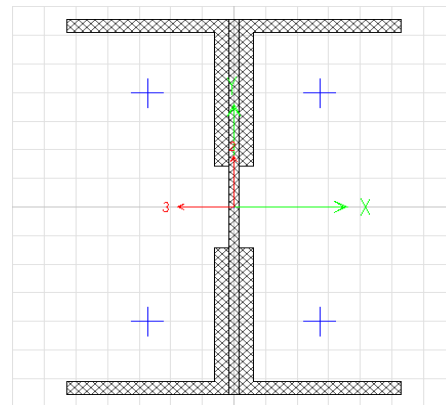
136.37 CASO A	Fe	1093.49
	fcr	217.77 Mpa

pn	3942.88 kn
ϕPn	3548.59 kn

SECCION TIPO VIGA 4

E 200000.00
 fy 253.00
 Fu 408.00

AREA	21200.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	537200000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	85200000.00	mm ⁴
L	7810.00	mm
K	1.00	
R33	159.18	
R22	63.39	

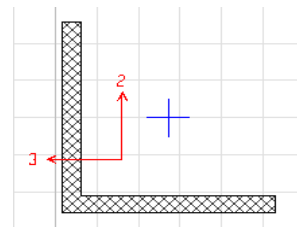


KL/R33	49.06
KL/R22	123.20
(KL/R) ^o	123.20

EJE DE PANDEO Y

elemento 1	(LAMINA)	
area	4100.00	mm ²
inercia 33(x)	574300000.00	mm ⁴
inercia 22 (y)	34170.00	mm ⁴
R33	374.26	
R22	2.89	

elemento 2	(L)	
area	4284.00	mm ²
inercia 33 (x)	10510000.00	mm ⁴
inercia 22 (y)	10510000.00	mm ⁴
R33	49.53	
R22	49.53	



ATIESADOS	
placa vertical	H
	268.00

h	165.00	mm
tw	10.00	mm
h/tw	16.50	< λr
E	200000.00	
fy	253.00	mpa
λr caso 8	41.89	

NO ATIESADOS	
placa vertical	

h	51.50	
tw	10.00	
h/tw	5.15	< λr
E	200000.00	
fy	253.00	
kc	0.76	
λr caso 2	36.52	

no

no

ATIESADOS	
L	

h	35.00	mm
tw	14.00	mm
h/tw	2.50	< λr
E	200000.00	mpa
fy	253.00	mpa
λr caso 5	41.89	

NO ATIESADOS	
L	

h	160.00	mm
tw	14.00	mm
h/tw	11.43	< λr
E	200000.00	mpa
fy	253.00	mpa
λr caso 1	15.75	

no

no

Seccion con perfiles no Esbeltos caso F.2.5.3

h	90.00
Alfa	0.12
ai	34581.03

A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{1/2}$
 $Fcr = [0,658^{(Fy/Fe)}]Fy$

modificado (KL/R)m 123.60

B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{1/2}$
 $Fcr = 0,877Fe$

132.43	CASO A	Fe	129.21 Mpa
		fcr	111.48 Mpa

p_n	2363.33 kn
ϕP_n	2127.00 kn

TENSION F.2.4.2

D Hueco 25.40

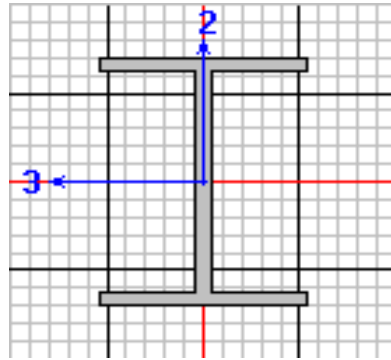
Para fluencia por tensión sobre el área bruta

P_n	5363.60 kn	ϕP_n	4827.24
-------	------------	------------	---------

Para rotura por tensión sobre el área neta

P_u	8644.42	$A_n=A_e$	21187.30
ϕP_u	6483.31		

SECCION TIPO VIGA TIPO 3



E	200000.00
fy	253.00
Fu	403.00

AREA	9955.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	108300000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	30340000.00	mm ⁴
L	6000.00	mm
K	1.00	
R33	104.30	
R22	55.21	

KL/R33	57.53
KL/R22	108.68
(KL/R) ^o	108.68

EJE DE PANDEO Y

ELEMENTOS ATIESADOS

h	225.00	mm
tw	15.00	mm
h/tw	15.00	< λ_r
E	200000.00	
fy	253.00	mpa
λ_r caso 8	41.89	

no

ELEMENTOS NO ATIESADOS

h	117.00	
tw	10.00	
h/tw	11.70	< λ_r
E	200000.00	
fy	253.00	
λ_r caso 1	15.75	

no

Seccion con perfiles no Esbeltos caso F.2.5.3

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

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

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

$Fcr = 0,877Fe$

132.43	CASO B	Fe	167.11 Mpa
		fcr	134.25 Mpa
		pn	1336.47 kn
		ϕPn	1202.83 kn

TENSION F.2.4.2

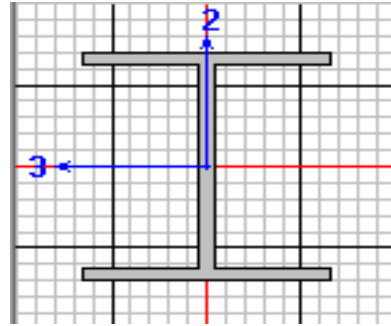
Para fluencia por tensión sobre el área bruta

Pn	2518.62 kn	ϕPn	2266.75
----	------------	-----------	---------

Para rotura por tensión sobre el área neta

Pu	4011.87	An=Ae=Ag	9955.00
ϕPu	3008.90		

SECCION TIPO VIGA 1



E	200000.00
f_y	253.00
F_u	408.00

AREA	9340.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	110000000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	20100000.00	mm ⁴
L	6000.00	mm
K	1.00	
R33	108.52	
R22	46.39	

KL/R33	55.29
KL/R22	129.34
$(KL/R)^\circ$	129.34

EJE DE PANDEO Y

ELEMENTOS ATIESADOS

h	240.00	mm
tw	15.00	mm
h/tw	16.00	$< \lambda_r$
E	200000.00	
f_y	253.00	mpa
λ_r caso 8	41.89	

no

ELEMENTOS NO ATIESADOS

h	100.00	
tw	10.00	
h/tw	10.00	$< \lambda_r$
E	200000.00	
f_y	253.00	
λ_r caso 1	15.75	

no

Seccion con perfiles no Esbeltos caso F.2.5.3

132.43 CASO B

Fe	118.00 Mpa
fcr	103.13 Mpa

Pn	963.22 kn
φPn	866.90 kn

- A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{1/2}$
 $Fcr = [0,658^{(Fy/Fe)}]Fy$
- B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{1/2}$
 $Fcr = 0,877Fe$

TENSION F.2.4.2

Para fluencia por tensión sobre el área bruta

Pn	2363.02 kn	φPn	2126.72
----	------------	-----	---------

Para rotura por tensión sobre el área neta

Pu	3810.72	An=Ae=Ag	9340.00
φPu	2858.04		

Seccion con perfiles no Esbeltos caso F.2.5.3

132.43 CASO B

Fe	118.00 Mpa
fcr	103.13 Mpa

Pn	963.22 kn
φPn	866.90 kn

- A) $KL/r < 4,71(E/Fy)^{1/2}$
 $Fcr = [0,658^{(Fy/Fe)}]Fy$
- B) $KL/r > 4,71(E/Fy)^{1/2}$
 $Fcr = 0,877Fe$

TENSION F.2.4.2

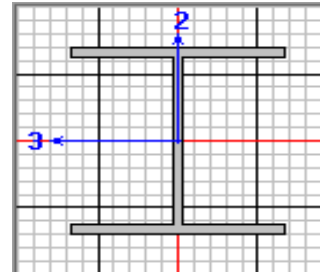
Para fluencia por tensión sobre el área bruta

Pn	2363.02 kn	φPn	2126.72 kn
----	------------	-----	------------

Para rotura por tensión sobre el área neta

Pu	3810.72	An=Ae=Ag	9340.00
φPu	2858.04		

SECCION TIPO VIGA 5



E	200000.00	
f_y	253.00	
AREA	9220.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	30310000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	100800000.00	mm ⁴
R33	57.34	
R22	104.56	
Lb	5000.00	mm
Zx	394500.00	mm ³

ELEMENTOS NO ATIESADOS	
b	111.75 mm
t	14.00 mm
b/t	7.98
caso 10	10.68
COMPACTO	

ELEMENTOS ATIESADOS	
h	230.00 mm
tw	12.00 mm
b/t	19.17
caso 15	105.72
COMPACTO	

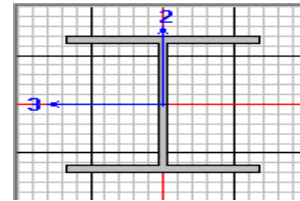
MIEMBROS DE SECCION COMPACTA EN I CON SIMETRÍA DOBLE, F.2.6.2

F.2.6.2.1

$M_n = M_p$	99.81 kn	momento plástico
$\phi M_n = \phi M_p$	89.83 KN	

Lp	5174.07
NO APLICA LÍMITE DE PANDEO	

SECCION TIPO VIGA



E	200000.00	
f_y	253.00	
AREA	27100.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	1744000000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	124500000.00	mm ⁴
R33	253.68	
R22	67.78	
Lb	1666.00	mm
Zx	6371000.00	mm ³

ELEMENTOS NO ATIESADOS

b	155.00	mm
t	25.00	mm
b/t	6.20	
caso 10	10.68	
COMPACTO		

ELEMENTOS ATIESADOS

h	580.00	mm
tw	20.00	mm
b/t	29.00	
caso 15	105.72	
COMPACTO		

MIEMBROS DE SECCION COMPACTA EN I CON SIMETRÍA DOBLE, F.2.6.2

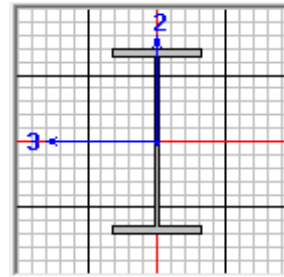
F.2.6.2.1

$M_n = M_p$	1611.86 kn	momento plástico
$\phi M_n = \phi M_p$	1450.68 kn	

Lp 3354.03

NO APLICA LÍMITE DE PANDEO

SECCION TIPO VIGA 6



E	200000.00	
f_y	253.00	
AREA	38062.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	3891000000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	258200000.00	mm ⁴
R33	319.73	
R22	82.36	
Lb	1750.00	mm
Zx	11383405.00	

ELEMENTOS NO ATIESADOS

b	180.00	mm
t	33.00	mm
b/t	5.45	
caso 10	10.68	
COMPACTO		

ELEMENTOS ATIESADOS

h	710.00	mm
tw	20.50	mm
b/t	34.63	
caso 15	105.72	
COMPACTO		

MIEMBROS DE SECCION COMPACTA EN I CON SIMETRÍA DOBLE, F.2.6.2

F.2.6.2.1

$M_n = M_p$	2880.00 kn	momento plástico
$\phi M_n = \phi M_p$	2592.00 kn	

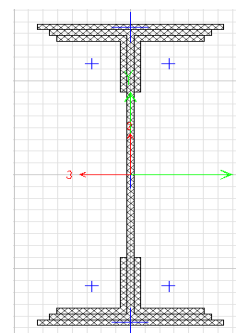
L_p	4075.68
-------	---------

NO APLICA LÍMITE DE PANDEO

Fuente: Autores del proyecto

Figura 52. Puente Sandra

SECCION TIPO COMPUESTA



E	200000.00	
fy	253.00	
AREA	50700.00	mm ²
INERCIA 33 (x)	5717000000.00	mm ⁴
INERCIA 22 (y)	347500000.00	mm ⁴
R33	335.80	
R22	82.79	
Lb	1570.00	mm
Zx	22664583.00	

ELEMENTOS NO ATIESADOS

b	175.00	mm
t	20.00	mm
b/t	8.75	
caso 10	10.68	
COMPACTO		

ELEMENTOS ATIESADOS

h	710.00	mm
tw	20.00	mm
b/t	35.50	
caso 15	105.72	
COMPACTO		

MIEMBROS DE SECCION COMPACTA EN I CON SIMETRÍA DOBLE, F.2.6.2

F.2.6.2.1

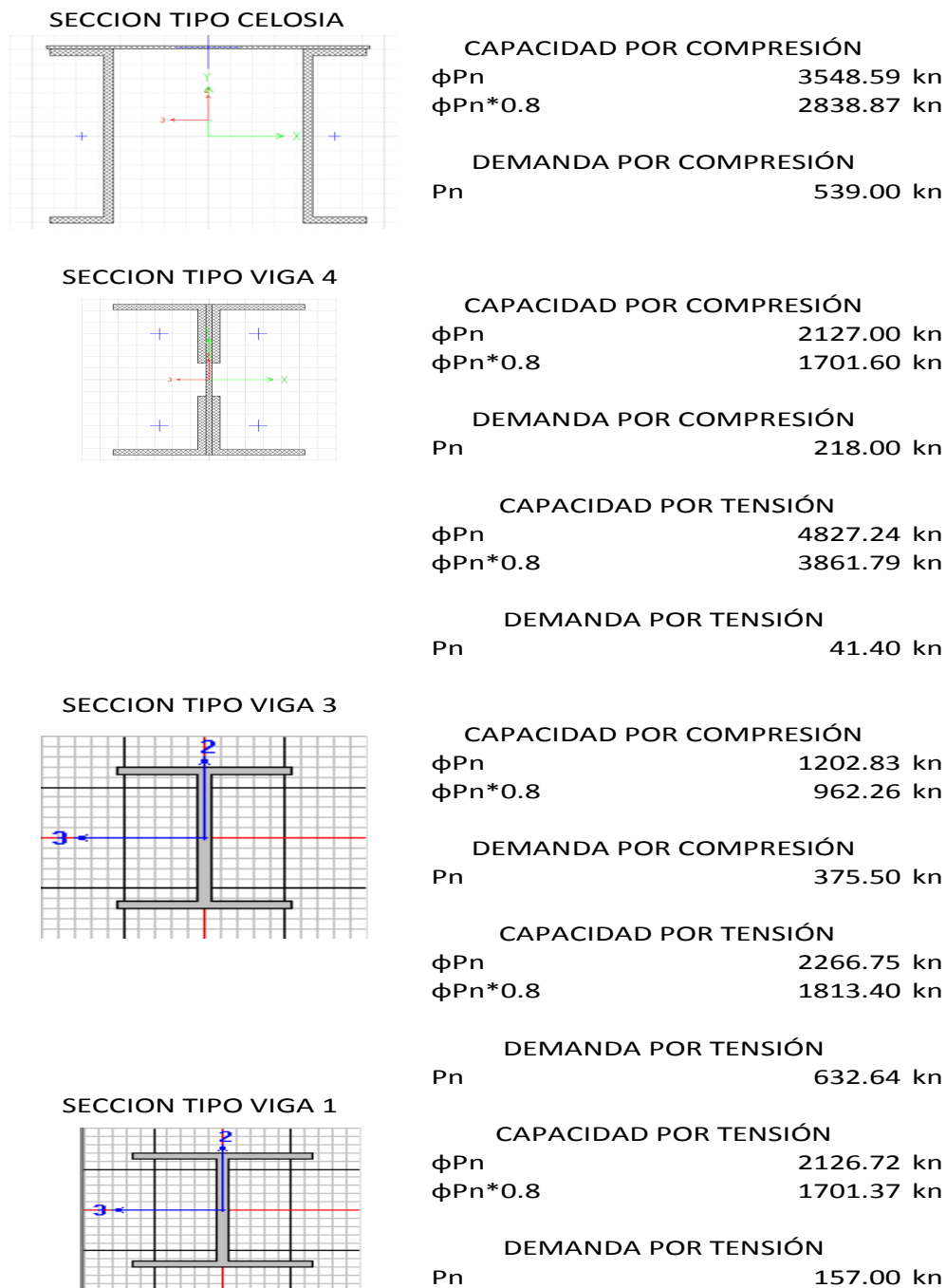
Mn=Mp	5734.14 kn	momento plástico
$\phi M_n = \phi M_p$	5160.73 kn	
Lp	4096.76	

NO APLICA LÍMITE DE PANDEO

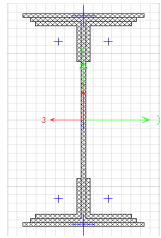
Fuente: Autores del proyecto

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Figura 53. Análisis de resultados



SECCION TIPO COMPUESTA



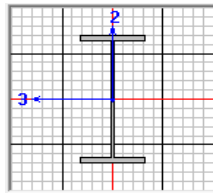
CAPACIDAD POR FLEXIÓN

ϕM_n	5160.73 kn-m
$\phi M_n * 0.8$	4128.58 kn-m

DEMANDA POR FLEXIÓN

M_n	548.65 kn-m
-------	-------------

SECCION TIPO VIGA 6



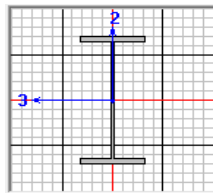
CAPACIDAD POR FLEXIÓN

ϕM_n	2592.00 kn-m
$\phi M_n * 0.8$	2073.60 kn-m

DEMANDA POR FLEXIÓN

M_n	321.96 kn-m
-------	-------------

SECCION TIPO VIGA



CAPACIDAD POR FLEXIÓN

ϕM_n	1450.68 kn-m
$\phi M_n * 0.8$	1160.54 kn-m

DEMANDA POR FLEXIÓN

M_n	315.73 kn-m
-------	-------------

Fuente: Autores del proyecto

Nota: se usa un factor de seguridad de valor 0,8 para la capacidad de cada elemento

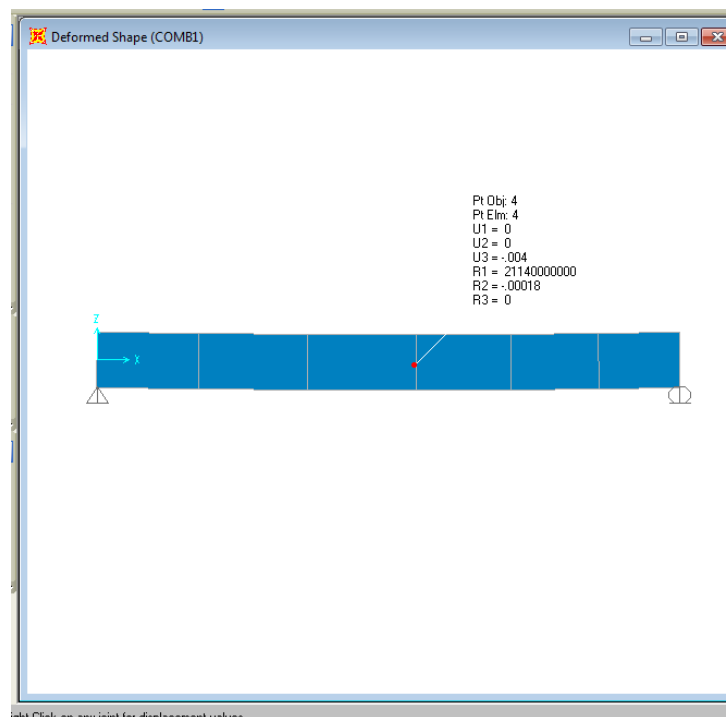
9. CONTROL POR DEFLEXIONES - (Según el código colombiano de diseño de puentes)

El código colombiano de diseño de puentes en el literal A.9.6.2 cita “Los miembros con luces simples o continuas preferiblemente deberán diseñarse de tal forma que la deflexión causada por las cargas vivas de servicio más impacto no exceda 1/800 de la luz, excepto en puentes de zonas urbanas utilizados parcialmente por peatones, en que la relación no debe exceder 1/1000”

$$\text{Deflexion maxima por cargas vivas de servicio} < \frac{l}{800}$$
$$\text{Def max(puente Sandra)} < \frac{l}{800} = \frac{8,42}{800} = 0,0105[m]$$

Deflexiones en SAP 2000 para puente Sandra

Figura 54. Deflexiones obtenidas de SAP 2000 para puente Sandra



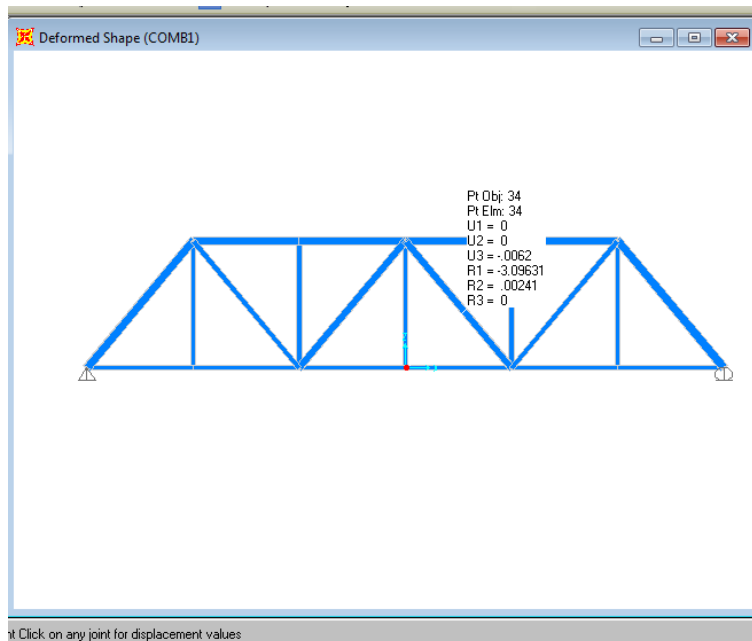
Fuente: Autores del proyecto

Se observa que la deflexión a la que está sometido el puente Sandra está por debajo a la que este resiste, por lo tanto cumple el chequeo por deflexiones

$$Def_{max}(\text{puente La Honda}) < \frac{l}{800} = \frac{30}{800} = 0,0375[m]$$

Deflexiones en SAP 2000 para puente La Honda

Figura 55. Deflexiones obtenidas de SAP 2000 para puente La Honda



Fuente: Autores del proyecto

Se observa que la deflexión a la que está sometida el puente La Honda está por debajo a la que este resiste, por lo tanto cumple el chequeo por deflexiones

10. CONCLUSIONES

- Después de 4 visitas hasta el lugar donde se encuentran los puentes bajo estudio se logró un completo levantamiento geométrico, donde se detalló a fondo dimensiones de los elementos que los componen; mediante el uso del calibrador se obtuvieron los espesores de los aceros usados para conformar cada puente, además de esto se llevó un completo registro fotográfico de cada detalle de los puentes a modelar y con esta información se dibujaron los puentes en AutoCAD para por ultimo generar los modelos en SAP 2000
- Se pudo observar que las principales patologías presentes en las estructuras escogidas para el estudio son la oxidación y abolladuras de poca importancia por caída de rocas.

Se observó que en los dos casos el tipo de corrosión imperante es corrosión uniforme para el caso de puente Sandra se pudo observar que aproximadamente un 20% de los elementos la presentan, sin embargo esta es de tipo superficial uniforme y ningún elemento presenta disminución significativa de sección transversal, además de esto en este puente se observó perdida de 4 pernos en diferentes nodos pero no fue posible identificar si la perdida de estos se dio debido a fatiga del material o fue por error de construcción. Para el caso de puente La Honda el porcentaje aproximado de elementos presentando corrosión fue de un 25% pero al igual que en puente Sandra la corrosión es superficial uniforme y ninguno de los elementos principales presenta pérdida significativa de sección transversal la cual pueda poner en riesgo la estabilidad de la estructura. El único elemento que presenta perdida de sección transversal significativa es uno perteneciente al arriostamiento inferior del puente, sin embargo dado que este elemento no está diseñado para soportar cargas verticales no se ve afectada la estructura principal del puente.

- Observando los resultados obtenidos tanto en el modelamiento numérico en SAP 2000 como en el análisis basado en la norma NSR-10 título F, se concluye que las dos estructuras analizadas están diseñadas para soportar cargas muy superiores a las solicitadas y por lo tanto no es vulnerable a sufrir deformaciones que excedan el límite plástico lo cual generaría daños irreparables en la estructura (de acuerdo al análisis simplificado en esta primera fase del estudio)
- A priori se encontró que no es necesario ningún tipo de reforzamiento en el puente Sandra debido a que los resultados obtenidos fueron satisfactorios y por lo tanto la estructura tal y como esta soportara las cargas a las que será solicitada en uso vehicular.
- Se recomienda para los dos puentes un mantenimiento que conste de retiro de oxidación y aplicación de pinturas anticorrosivas que protejan y alarguen la vida útil de los materiales.
- Para el puente La Honda se recomienda cambio total de uno de los elementos de la riostra inferior, el cual presenta pérdida significativa de sección transversal, sin embargo este elemento no es de vital importancia debido a que no hace parte de la estructura principal, por otra parte al igual que puente Sandra no se recomienda ningún tipo de reforzamiento estructural.
- Atendiendo las indicaciones anteriores y recordando las limitaciones del estudio se considera viable la utilización de estos puentes para uso vehicular, sin embargo, para hacer un diagnóstico definitivo de la vulnerabilidad del puente, se recomienda realizar los procedimientos descritos en el capítulo 11 – recomendaciones.

11. RECOMENDACIONES

Para obtener resultados más consistentes se hace necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Hacer levantamiento topográfico detallado de cada estructura
- Realizar una completa caracterización de los materiales de la estructura
- Analizar la estructura dinámicamente teniendo en cuenta fuerzas por sismo y por viento
- Detallamiento minucioso de los estribos del puente, tanto en el material como en su geometría
- Evaluar detalladamente nodos y uniones

BIBLIOGRAFÍA

- CHÍO CHO, Gustavo y MALDONADO RONDÓN Esperanza. Metodología para construcción de funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño a puentes de hormigón armado. Bucaramanga: Publicaciones UIS, 2006. 204 p
- COMISIÓN ASESORA PERMANENTE PARA EL RÉGIMEN DE CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente Tomo 1, Capítulo F, Estructuras Metálicas: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá: 2010. (NSR 10)
- HERNÁNDEZ, Eliud. Manual de Aplicación del programa SAP2000 v14. Venezuela: Computers and Structures, Inc, 2008. 363 p
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, Bogotá: 1995. 619p
- MALDONADO RONDÓN, Esperanza, CASAS Juan Ramón y CANAS José. Modelo de Vulnerabilidad Sísmica De Puentes Basados en Conjuntos Difusos. Bucaramanga: 2000. 100 p.
- Manual Simplificado De Diseño De Puentes Usando SAP2000
- TAKEUCHI, Caori Patricia. Conexiones en Estructuras Metálicas. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia (sede Bogotá), 2006. 124 p

ANEXOS

ANEXO A. Inventario tramo Palmas-El Conchal

Puente La Honda

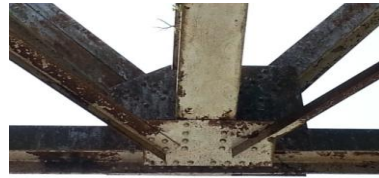
FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Puente La Honda	Ancho(distancia transversal entre vigas)	1,7 internas 5,4 externas
Clase de estructura	Puente Metálico	Ancho efectivo de transito	5,2
Tipología	Armadura superior	Ancho total estructura	5,6
Ubicación geográfica	Latitud: 7°13'32.55"N, Longitud: 73°13'39.54"O	Longitud Luz	30
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	32
Ubicación en la vía	km 20 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	6,5
Superficie de Rodadura	maderos ubicados transversalmente	Espacio Libre Vertical	13
Fecha de Construcción	1929	Tipo de viga	W
Tipo de obstáculo que cruza	cause del rio La Honda	Distancia entre viguetas transversales	5
3. Patologías			
3.1 Tipo estructural		3.2 Tipo ambiental	
Descripción: se observa una pequeña abolladura en una viga lateral externa, sin embargo esta no es de mayor importancia, no se observa pérdida de pernos		Descripción: se observa que uno de los elementos de la riostra inferior presenta oxidación de gran consideración, y falta poco para que dicho elemento se parte en dos, sin embargo este elemento no hace parte de la estructura principal	
4. Conexión Nodos			
Descripción: la conexión de nodos se materializa mediante pernos y cordones de soldadura			
5. Observaciones			
El puente se observa en buenas condiciones generales, el tablero o superficie de rodadura esta compuesta por bolillos de madera de sección transversal cuadrada, ubicados transversalmente, durante el transcurso de la elaboración de este proyecto de grado, dos motociclistas cayeron al vacío en este puente y perdieron la vida			

6. Registro Fotográfico

6.1 Vista General



6.2 Detalle Nodos



6.3 Detalle Sección Transversal



6.4 Patologías



Falso Túnel

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Falso Túnel	Largo	10
Clase de estructura	Columnas en concreto armado	Ancho	4
Tipología	falso túnel para protección por derrumbes	Distancia entre columnas longitudinales	2
Ubicación geográfica	Latitud: 7°13'54.54"N, Longitud: 73°13'49.46"O	Sección transversal columnas	0,3 x 0,3
Identificación de la carretera	Antigua vía férrea café madrid-sabana	Altura estructura	6
Ubicación en la vía	km 20+680 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana		
Superficie de Rodadura	terreno natural		
Fecha de Construcción	Ns		
Tipo uso	protección contra derrumbes		
3. Observaciones			
<p>Se observan 10 columnas a cada lado de la vía de sección transversal 0,3 x 0,3 m, están unidas longitudinalmente por pequeñas vigas de acero de sección transversal I, la estructura hace parte de un antiguo falso túnel que servía de protección contra derrumbes, el momento carece de losa superior</p>			



Puente el Negro

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometria de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Puente El Negro	Ancho(distancia transversal entre vigas)	1,8
Clase de estructura	Puente Metalico	Ancho efectivo de transito	3
Tipologia	Armadura inferior	Ancho total estructura	3
Ubicación geografica	Latitud: 7°14'10.70" N, Longitud:73°14'14.35" O	Longitud Luz	104
Identificación de la carretera	Antigua vía Ferrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	106
Ubicación en la vía	km 21+900 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	3,6
Superficie de Rodadura	maderos ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	23
Fecha de Construcción	1929	Tipo de viga	W
Tipo de obstáculo que cruza	rio Lebrija	Distancia entre viguetas transversales	1,25
3. Patologías			
3.1 Tipo estructural		3.2 Tipo ambiental	
Descripción: se observan abolladuras en las bases de las columnas centrales al parecer debido a golpes con rocas por crecientes del rio, en algunos nodos se observan perdida de pernos		Descripción: algunos elementos presentan oxidación tanto en las vigas como en los pernos, sin embargo no se observan perdidas importantes de area transversal	
4. Conexión Nodos			
Descripción: las conexiones se presentan con pernos y cordones de soldadura			
5. Observaciones			
El puente se observa en buenas condiciones generales, el tablero está conformado por bolillos de madera de seccion transversal rectangular ubicados transversalmente, el puente no tiene barandas. La seccion transversal varia de viga armada a una mas delgada y por ultimo a una armadura inferior. Las columnas son estructuras en acero que descansan sobre dados de concreto.			

6. Registro Fotografico

6.1 Vista General



6.2 Detalle Nodos



6.3 Detalle Seccion Transversal



6.4 Patologias



Puente Arco

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Puente arco	Ancho(distancia transversal entre vigas)	Na
Clase de estructura	Puente en concreto armado	Ancho efectivo de tránsito	2,8
Tipología	Arco inferior	Ancho total estructura	3,2
Ubicación geográfica	Latitud: 7°14'27.31"N, Longitud: 73°14'59.61"O	Longitud Luz	27,4
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	Na
Ubicación en la vía	km 23+120 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	14,7
Superficie de Rodadura	concreto	Espacio Libre Vertical	14,7
Fecha de Construcción	1929	Tipo de viga	Na
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas lluvias por escorrentía	Distancia entre viguetas transversales	Na
3. Observaciones			
Puente en hormigón armado con estructura de arco inferior			



Puente Curvo

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometria de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Puente curvo	Ancho(distancia transversal entre vigas)	1,5
Clase de estructura	Puente Metalico	Ancho efectivo de transito	3
Tipologia	Armadura inferior	Ancho total estructura	3
Ubicación geografica	Latitud:7°14' 32.61" N, Longitud:73°14'55,21" O	Longitud Luz	41
Identificación de la carretera	Antigua vía Ferrea café madrid- sabana	Longitud total estructura	43
Ubicación en la vía	km 23+250 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,4
Superficie de Rodadura	Rieles ubicados transversalmente	Espacio Libre Vertical	21
Fecha de Construcción	1929	Tipo de viga	I
Tipo de obstáculo que cruza	rio lebrija	Distancia entre viguetas transversales	3,8
3. Patologías			
3.1 Tipo estructural		3.2 Tipo ambiental	
Descripción: se observan abolladuras en una de las bases, se presume que es debido a golpes con roca durante alguna creciente del rio, pues se observa en medio de estos elementos material orgánico arrastrado, faltan algunos pernos		Descripción: corrosión superficial sin perdida significativa de área transversal en algunos elementos, vegetación.	
4. Conexión Nodos			
Descripción: las conexiones están materializadas mediante roblones y laminas con cordón de soldadura			
5. Observaciones			
El puente se observa en buenas condiciones generales, el tablero está conformado por rieles de la misma antigua vía férrea ubicados transversalmente y carece de barandas de proteccion, la distancia de entre riel y riel es en promedio 15 cm, debido a que la distancia de riel a riel es hueca genera gran temor al cruzarlo a pie, la seccion es tipo I armada, con columnas en acero que descansan sobre un dado de concreto.			

6. Registro Fotografico

6.1 Vista General



6.2 Detalle Nodos



6.3 Detalle Seccion Transversal



6.4 Patologias



Puente Pontón

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Puente Pontón	Ancho(distancia transversal entre vigas)	1,5
Clase de estructura	Puente Metálico	Ancho efectivo de transito	3
Tipología	Armadura inferior	Ancho total estructura	3
Ubicación geográfica	Latitud: 7°14'44.98" N, Longitud: 73°14'53.41"	Longitud Luz	48
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	50
Ubicación en la vía	km 23+450 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	3,45
Superficie de Rodadura	Rieles ubicados transversalmente	Espacio Libre Vertical	16,3
Fecha de Construcción	1929	Tipo de viga	W
Tipo de obstáculo que cruza	rio lebrija	Distancia entre viguetas transversales	3,8
3. Patologías			
3.1 Tipo estructural		3.2 Tipo ambiental	
Descripción: se observan abolladuras en una de las bases, se presume que es debido a golpes con roca durante alguna creciente del rio, pues se observa en medio de estos elementos material orgánico arrastrado		Descripción: Se nota corrosión superficial en algunos elementos. Y vegetación cerca a las columnas de concreto.	
4. Conexión Nodos			
Descripción: las conexiones están materializadas mediante roblones y laminas con cordón de soldadura			
5. Observaciones			
El puente se observa en buenas condiciones generales, el tablero está conformado por rieles ubicados transversalmente de la misma antigua vía férrea, y carece de barandas, la distancia de entre riel y riel es en promedio 15 cm, debido a que la distancia de riel a riel es hueca genera gran temor al cruzarlo a pie. El puente comienza con vigas tipo w y sigue con una estructura inferior apoyada en una columna en concreto.			

6. Registro Fotográfico

6.1 Vista General



6.2 Detalle Nodos



6.3 Detalle Seccion Transversal



6.4 Patologias



Puente Sandra

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Puente Sandra	Ancho(distancia transversal entre vigas)	1,6
Clase de estructura	Puente Metalico	Ancho efectivo de transito	2,5
Tipología	Vigas I de alma llena	Ancho total estructura	2,5
Ubicación geografica	Latitud:7°14'49.00"N, Longitud:73°14'58.10"O	Longitud Luz	8,42
Identificación de la carretera	Antigua vía Ferrea Bucaramanga- sabana	Longitud total estructura	9,22
Ubicación en la vía	km 25+300 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,1
Superficie de Rodadura	huella en Rieles ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	2
Fecha de Construcción	1929	Tipo de viga	I(armada)
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas lluvias por escorrentía	Distancia entre viguetas transversales	variable
3. Patologías			
3.1 Tipo estructural		3.2 Tipo ambiental	
Descripción: abolladura en una de las vigas principales debido a caída de roca, pérdida de 4 pernos en diferentes nodos		Descripción: corrosión superficial sin perdida significativa de área transversal en algunos elementos, vegetación.	
4. Conexión Nodos			
Descripción: Por pernos(roblones) y laminas con cordón de soldadura			
5. Observaciones			
El puente se observa en buenas condiciones generales, el tablero está conformado de tablonces puestos provisionalmente por la comunidad, los cuales están sujetos a las vigas por medio de guayas, se observan en muy malas condiciones. Las huellas están conformadas por rieles de la antigua vía férrea que a su vez están sujetos con guayas a el tablero , el espacio libre entre riel y riel está relleno de arena y agregado compactado. El riesgo para los motociclistas es alto ya que hay que guardar equilibrio pasando por una de las huellas.			

6. Registro Fotografico

6.1 Vista General



6.2 Detalle Nodos



6.3 Detalle Seccion Transversal



6.4 Patologias



Boxculvert #5

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Box 5	Ancho cajón	2,6
Clase de estructura	Box Couvert	Largo Cajón	3,9
Tipología	cajón en concreto armado		
Ubicación geográfica	Latitud: 7°15'20.22"N, Longitud: 73°14'56.57"O	Longitud Luz	3,9
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	4,6
Ubicación en la vía	km 25+863 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,6
Superficie de Rodadura	huella en Rieles ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	1,6
Fecha de Construcción	Ns		
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas lluvias por escorrentía		
3. Observaciones			
Cajón en concreto, se observa en buenas condiciones generales, la superficie de rodadura esta compuesta por huellas conformadas por rieles de la antigua vía férrea ubicados longitudinalmente sobre maderos de sección transversal rectangular ubicados transversalmente			

4. Registro Fotográfico



Boxcoulvert #4

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Box 4	Ancho cajón	2,6
Clase de estructura	Box Coulvert	Largo Cajón	4,6
Tipología	cajón en concreto armado		
Ubicación geográfica	Latitud: 7°15'9.18"N, Longitud: 73°14'59.02"O	Longitud Luz	4,6
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	5,6
Ubicación en la vía	km 26+745 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,8
Superficie de Rodadura	huella en Rieles ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	1,8
Fecha de Construcción	Ns		
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas lluvias por escorrentía		
3. Observaciones			
Cajón en concreto, se observa en buenas condiciones generales, la superficie de rodadura esta compuesta por huellas conformadas por rieles de la antigua vía férrea ubicados longitudinalmente sobre maderos de sección transversal rectangular ubicados transversalmente			

4. Registro Fotográfico



Boxculvert #3

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Box 3	Ancho cajón	2,6
Clase de estructura	Box Couvert	Largo Cajón	4,8
Tipología	cajón en concreto armado		
Ubicación geográfica	Latitud: 7°15'56.11"N, Longitud: 73°15'6.28"O	Longitud Luz	4,8
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid- sabana	Longitud total estructura	6
Ubicación en la vía	km 27+400 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,4
Superficie de Rodadura	huella en Rieles ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	1,4
Fecha de Construcción	Ns		
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas Iluvias por escorrentía		
3. Observaciones			
<p>Cajón en concreto, se observa en buenas condiciones generales, la superficie de rodadura esta compuesta por huellas conformadas por rieles de la antigua vía férrea ubicados longitudinalmente sobre maderos de sección transversal rectangular ubicados transversalmente</p>			



Boxculvert #2

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Box 2	Ancho cajón	2,6
Clase de estructura	Box Coulvert	Largo Cajón	5,4
Tipología	cajón en concreto armado		
Ubicación geográfica	Latitud: 7°16'20.41"N, Longitud: 73°15'9.06"O	Longitud Luz	5,4
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid- sabana	Longitud total estructura	6,5
Ubicación en la vía	km 28+136 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,4
Superficie de Rodadura	huella en Rieles ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	1,4
Fecha de Construcción	Ns		
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas Iluvias por escorrentía		
3. Observaciones			
Cajon en concreto, se observa en buenas condiciones generales, la superficie de rodadura esta compuesta por huellas conformadas por rieles de la antigua via ferrea ubicados longitudinalmente sobre maderos de seccion transversal rectangular ubicados transversalmente			



Boxcoulvert #2

Boxcoulvert #1

FORMATO DE INVENTARIO			
1. Datos Generales de la Estructura		2. Geometría de la Estructura[m]	
Nombre de la estructura	Box 1	Ancho cajón	2,6
Clase de estructura	Box Coulvert	Largo Cajón	6
Tipología	cajón en concreto armado		
Ubicación geográfica	Latitud:7°16'43.26"N, Longitud:73°15'20.83"O	Longitud Luz	6
Identificación de la carretera	Antigua vía Férrea café madrid-sabana	Longitud total estructura	7
Ubicación en la vía	km 28+980 ant. vía ferr. Bucaramanga-Sabana	Altura estructura	1,7
Superficie de Rodadura	huella en Rieles ubicados longitudinalmente	Espacio Libre Vertical	1,7
Fecha de Construcción	Ns		
Tipo de obstáculo que cruza	Cause aguas lluvias por escorrentía		
3. Observaciones			
Cajon en concreto, se observa en buenas condiciones generales, la superficie de rodadura esta compuesta por huellas conformadas por rieles de la antigua via ferrea ubicados longitudinalmente sobre maderos de seccion transversal rectangular ubicados transversalmente			

