

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES
METÁLICOS EXISTENTES. CASO DE ESTUDIO:. PUENTES ANTIGUA VÍA
FÉRREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES. SECTOR BOCAS – PALMAS.**

**RICHARD LEONARDO GONZÁLEZ CAMARGO
CARLOS MARIO FRANCO GUTIERREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

**EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES
METÁLICOS EXISTENTES. CASO DE ESTUDIO: PUENTES ANTIGUA VÍA
FÉRREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES. SECTOR BOCAS – PALMAS.**

**RICHARD LEONARDO GONZÁLEZ CAMARGO
CARLOS MARIO FRANCO GUTIERREZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director de Proyecto:
ALVARO VIVIESCAS JAIMES
Ingeniero Civil, PhD**

**Codirector de Proyecto:
GUSTAVO CHIO
Ingeniero Civil, PhD**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. INFORMACIÓN DESCRIPTIVA DE LOS PUENTES	21
1.1. CAPTURA DE INFORMACIÓN PUENTE 1:	21
1.1.1. Identificación territorial	21
1.1.2. Localización de la estructura.	21
1.1.3. Identificación de la estructura	24
1.1.4. Inspección por elementos	27
1.1.4.1. Superficie y equipamientos	27
1.1.4.2. Subestructura en concreto	30
1.1.4.3. Superestructura metálica	36
1.1.4.4. Cauce	40
1.1.5. Síntesis de Daños en la Estructura Metálica:	40
1.1.5.1. Corrosión	40
1.1.5.2. Pintura Deteriorada	45
1.1.5.3. Daños en perfiles metálicos y miembros de armaduras	46
1.1.5.4. Daños en las conexiones	47
1.2. CAPTURA DE INFORMACIÓN PUENTE 2	48
1.2.1. Identificación territorial	48
1.2.2. Localización de la estructura	48
1.2.3. Identificación de la estructura	51
1.2.4. Inspección por elementos.	54
1.2.4.1. Superficie y equipamientos	54
1.2.4.2. Subestructura en concreto	60
1.2.4.3. Superestructura metálica	73
1.2.4.4. Cauce	79
1.2.5. Síntesis de Daños en la Estructura Metálica	80

1.2.5.1. Corrosión	80
1.2.5.2. Pintura Deteriorada	83
1.2.5.3. Daños en perfiles metálicos y miembros de armaduras	84
1.2.5.4. Daños en las conexiones:	86
2. ALCANCES	93
3. LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO	95
3.1.PUENTE 1	98
3.1.1. Luz, ancho, ancho libre y altura:	98
3.1.2. Secciones transversales de los elementos	99
3.1.3. Conexiones	101
3.2. Puente 2:	105
3.2.1. Luz, ancho, ancho libre y altura.	105
3.2.3.Conexiones	110
4. MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN SAP-2000	112
4.1.CARGA MÍNIMA	112
4.2.CARGA C40-95	112
4.3. MODELAMIENTO PUENTE 1:	113
4.3.1Combinaciones de carga.	117
4.3.2. Carga de Impacto.	117
4.3.3. Carga de Tablero.	118
4.4. MODELAMIENTO PUENTE 2:	118
5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS	123
6. CHEQUEO SOLICITACIÓN Vs. RESISTENCIA	124
RECOMENDACIONES	127

CONCLUSIONES	130
BIBLIOGRAFÍA	133
ANEXOS	135

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica puntos de referencia.	22
Figura 2. Vía Desvío Bocas – Puente 1.	22
Figura 3. Ubicación geográfica puente 1 y puente 2.	23
Figura 4. Localización Puente 1.	23
Figura 5. Localización Puente 1.	24
Figura 7. Acceso al puente 1.	26
Figura 8. Vista general puente 1.	26
Figura 9. Tablones que hacen la vez de tablero.	27
Figura 10. Apoyo derecho costado occidental.	28
Figura 11. Apoyo izquierdo costado oriental.	29
Figura 12. Acumulación material orgánico en elementos.	30
Figura 13. Estribo costado oriental.	31
Figura 14. Estribo costado occidental.	31
Figura 15. Invasión de microorganismos vegetales en la aleta del estribo.	33
Figura 16. Invasión y grieta de gran espesor y profundidad en la pantalla del estribo costado oriental.	34
Figura 17. No hay grieta entre pantalla y aleta.	35
Figura 18. Unión entre pantalla y muro de retorno izquierdo en el estribo costado oriental.	35
Figura 19. Grieta estribo.	36
Figura 20. Conexiones típicas con remaches.	37
Figura 21. Armadura lateral tipo Warren.	37
Figura 22. Elementos Transversales de grandes dimensiones y un riostrado inferior.	38
Figura 23. Perfiles laminados.	38
Figura 24. Remache faltante.	39
Figura 25. Elementos sin corrosión aunque con pintura deteriorada.	41

Figura 26. Estado de corrosión elementos.	42
Figura 27. Estado de corrosión media de elementos.	43
Figura 28. Remache con alto nivel de corrosión. Sección con alto nivel de corrosión. Gran pérdida de sección, Corrosión severa cordón inferior cercha.	45
Figura 29. Elemento con pintura deteriorada.	46
Figura 30. Ubicación geográfica puntos de referencia.	48
Figura 31. Vía Desvío Bocas – Puente 2.	49
Figura 32. Ubicación geográfica puente 1 y puente 2.	49
Figura 33. Localización Puente 1.	50
Figura 34. Localización Puente 2.	50
Figura 35. Referencia costados del puente Puente 2 con respecto al norte geográfico.	51
Figura 36. Señalización al inicio de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres. Fuente (Autores). Enero 2013	52
Figura 37. Señalización. Costado Occidental puente 2.	52
Figura 38. Acceso al puente 2.	53
Figura 39. Vista general puente 2.	54
Figura 40. Tablones que hacen la vez de tablero.	55
Figura 41. Apoyo izquierdo costado oriental.	56
Figura 42. Apoyo derecho costado oriental.	56
Figura 43. Apoyo izquierdo costado occidental.	57
Figura 44. Apoyo derecho costado occidental.	57
Figura 45. Apoyo izquierdo costado oriental.	58
Figura 46. Apoyo izquierdo costado oriental.	58
Figura 47. Apoyo Puente 2.	59
Figura 48. Conexión apoyo puente 2.	59
Figura 49. Estado apoyo puente 2.	60
Figura 50. Estribo costado occidental.	61
Figura 51. Estribo costado occidental.	61
Figura 52. .Estribo costado oriental puente 2.	62

Figura 53. Estribo costado oriental puente 2.	62
Figura 54. Muro de retorno estribo costado oriental.	63
Figura 55. Hormigueros en la parte superior.	65
Figura 56. Hormigueros en la parte superior.	65
Figura 57. Daño en la aleta del estribo (costado Occidental).	66
Figura 58. Hormiguero en la aleta del estribo (costado Occidental).	66
Figura 59. Contaminación estribo Puente 2.	67
Figura 60. Contaminación estribo occidental puente 2.	68
Figura 61. Invasión por parte de microorganismos vegetales y hormigueros en el estribo occidental del puente 2.	68
Figura 62. Posible carbonatación del concreto.	69
Figura 63. Contaminación estribo oriental puente 2.	69
Figura 64. Grieta de gran espesor.	69
Figura 65. No hay grieta entre el muro de retorno y la pantalla.	70
Figura 66. Fisura entre pantalla y muro de retorno izquierdo en el estribo costado oriental.	70
Figura 67. Socavación general en el estribo costado oriental.	71
Figura 68. Cimentación descubierta. Estribo costado oriental.	72
Figura 69. Socavación local en la parte inferior del estribo.	72
Figura 70. Socavación local en la parte inferior del estribo.	73
Figura 71. Socavación local en la aleta del estribo (costado Occidental).	73
Figura 72. Conexiones típicas con remaches.	74
Figura 73. Riostrado Inferior.	75
Figura 74. Armadura lateral tipo Baltimore.	75
Figura 75. Elementos Transversales de grandes dimensiones y un riostrado inferior.	76
Figura 76. Perfil del cordón inferior de la armadura en la parte central del puente.	77
Figura 77. Perfil del cordón inferior de la armadura en la parte cercana a los apoyos del puente.	77

Figura 78. Cordón superior de la armadura.	78
Figura 79. Elementos de la cercha (T armados, C armados con celosías).	78
Figura 80. Conexión típica con remaches, de los elementos de la cercha.	79
Figura 81. Montante cercha puente 2.	81
Figura 82. Corrosión leve elementos cercha puente 2.	82
Figura 83. Corrosión media viga puente 2. 3	83
Figura 84. Corrosión media cordón superior puente 2.	83
Figura 85. Elemento con pintura deteriorada.	84
Figura 86. Abolladura por impacto en elemento vertical de la cercha.	85
Figura 87. Esquema Puente 1. .	96
Figura 88. Esquema Puente 2.	97
Figura 89. Puente 1. Luz, ancho, ancho libre y altura..	98
Figura 90. Denominación nodos de la armadura, Puente 1.	99
Figura 91. Elemento 1-2:	99
Figura 92. Elemento 1-12:	100
Figura 93. Elemento 11-2:	100
Figura 94. Elemento 2-1:	101
Figura 95. Nomenclatura de las conexiones, Puente 1.	101
Figura 96. Conexión TIPO I, Puente 1.	102
Figura 97. Conexión TIPO II, Puente 1.	102
Figura 98. Conexión TIPO III, Puente 1.	103
Figura 99. Conexión TIPO IV, Puente 1.	103
Figura 100. Conexión TIPO V, Puente 1.	104
Figura 101. Puente 2 Luz, ancho, ancho libre y altura.	105
Figura 102. Vista lateral puente 2.	106
Figura 103. Corte A-A', Puente 2.	106
Figura 104. Denominación de los nodos en la armadura, Puente 2.	107
Figura 105. Sección del elemento tipo 1-2, Puente 2.	107
Figura 106. Sección del elemento tipo 1-26, Puente 2..	108
Figura 107. Sección del elemento tipo 3-4 (cordón superior), Puente 2.	108

Figura 108. Sección del elemento tipo 2-25, Puente 2.	109
Figura 109. Sección del elemento tipo 3-23(Diagonal Larga), Puente 2..	109
Figura 110. Sección del elemento tipo 2-26, Puente 2..	110
Figura 111. Sección del elemento tipo 3-25, Puente 2.	110
Figura 112. Conexiones	111
Figura 113. Líneas de carga camión C40-95.	113
Figura 114. Condición de apoyo puente 1.	113
Figura 115. Modelo tridimensional Puente 1.	114
Figura 116. Lane puente 1. Hipótesis de tránsito.	114
Figura 117. Introducción camión de carga C40-95.	115
Figura 118. Carga de Vía.	115
Figura 119. Moving Load Sap200.	116
Figura 120. Liberación grados de libertad puente 1.	116
Figura 121. Modelo final con elementos extruidos.	117
Figura 122. Apoyo puente 2.	118
Figura 123. Liberación grados de libertad cercha puente 2.	119
Figura 124. Carga viva puente 2.	119
Figura 125. Lane puente 2. Hipótesis de tránsito.	120
Figura 126. Modelo final Puente 2, idealización.	121

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ancho admisible fisuras de acuerdo a su condición de exposición]	32
Tabla 2. Ancho admisible fisuras de acuerdo a su condición de exposición.]	64

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. CD con archivos digitales de: Modelo Puente 1, Modelo Puente 2, Modelo Puente 1 Modificado, Modelo Puente 2 Modificado y Fotos Puentes.	135
Anexo B. Análisis de elementos.	136

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACION DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE PUENTES METALICOS EXISTENTES.CASO DE ESTUDIO: PUENTES ANTIGUA VIA FERREA CAFÉ MADRID-SABANA DE TORRES. SECTOR BOCAS PALMAS*

AUTORES: GONZALEZ CAMARGO, Richard Leonardo
FRANCO GUTIERREZ, Carlos Mario**

PALABRAS CLAVES:PUENTES METALICOS, ANTIGUA VIA FERREA, VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL, MODELAMIENTO, SOLICITACION, RESISTENCIA, CORROSION, DETERIORO.

CONTENIDO:

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la vulnerabilidad estructural de la superestructura de dos (2) de los puentes metálicos existentes que hacen parte del corredor de la antigua vía férrea entre Café Madrid y Sabana de Torres en el sector Bocas Palmas; se hace una descripción con el debido registro fotográfico del estado actual de los puentes recalcando la falta de mantenimiento y abandono que ha llevado a su deterioro, se hace una captación de la información de acuerdo al manual de inspección de puentes y pontones del invias, se justifican las consideraciones tenidas en cuenta para realizar el modelamiento de las estructuras en cuanto a las cargas aplicadas que se encuentran en el código Colombiano de Puentes de 1995 y en cuanto a las penalizaciones o reducciones de las propiedades de los elementos de acuerdo a la visita a campo para el modelamiento en el software de elementos finitos SAP2000, se analiza la resistencia de los elementos de las armaduras sometidos a tracción, a compresión y un análisis de flexión de las vigas para finalmente mediante un chequeo entre la solicitación de carga y la resistencia ofrecida por los elementos concluir si estos son aptos para soportar la carga en caso de habilitar el Puente para tránsito vehicular. Finalmente se dan unas recomendaciones que deben ser tenidas en cuenta en la continuacion del estudio el cual conlleva mas etapas y esta es apenas una parte inicial.

*Proyecto de grado.Modalidad investigación.

**Facultad De Ingenierias Fisico-Mecanicas. Escuela De Ingenieria Civil. Director De Proyecto. Ing.PhD. Alvaro Viviescas Jaimes. Codirector:Ing.PhD. Gustavo Chio

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE STRUCTURAL VULNERABILITY OF EXISTING STEEL BRIDGES.CASE STUDY: BRIDGES OLD RAILWAY CAFE MADRID-SABANA DE TORRES. SECTOR BOCAS PALMS

AUTHORS: GONZALEZ CAMARGO, Richard Leonardo
FRANCO GUTIERREZ, Carlos Mario**

KEY WORDS: BRIDGES, STEEL, OLD RAILWAY, STRUCTURAL VULNERABILITY, MODELING, SOLICITATION, RESISTANCE, CORROSION, DETERIORATION.

CONTENT:

The main objective of this work is to evaluate the structural vulnerability of the superstructure of two (2) of the existing steel bridges that are part of the corridor of the old railway between Café Madrid and Sabana de Torres in the Bocas Palmas sector; is a description with the photographic record of the current state of the bridges stressing the lack of maintenance and abandonment that has led to its deterioration, is a collection of information according to the manual inspection of bridges and pontoons of the invias, justified the considerations taken into account for the modeling of structures in terms of the applied loads encountered in code Colombian bridges of 1995 and in regarding penalties or reductions of the properties of the elements according to the visit to camp for modeling in finite element SAP2000 software, resistance of reinforcement elements subjected to tensile, compressive and bending of beams analysis analyzes finally through a check between the solicitation of load and resistance offered by the elements finally if these are suitable to withstand the load in case of enabling the bridge for vehicular traffic. Finally given some recommendations which must be taken into account in the continuation of the study which involves more steps and this is just an initial part.

* Degree Project. Investigation Modality.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering.Civil Engineering School. From Project Manager. Alvaro Viviescas Jaimes. Ing.PhD. Alvaro Viviescas Jaimes. Codirector:Ing.PhD. Gustavo Chio

INTRODUCCIÓN

Si analizamos las vías férreas construidas en nuestro país encontramos un número considerable de kilómetros que han sufrido los inevitables efectos del paso del tiempo y del abandono en cuanto al mantenimiento indispensable para todo tipo de obra civil.

La Cámara de Comercio junto con la gobernación de Santander, en una iniciativa en pro del desarrollo y aprovechamiento de recursos nacionales existentes, y con la visión de rehabilitar aquellos que dentro del inventario nacional se han quedado en el olvido y que con un óptimo mantenimiento podrían seguir prestando un buen servicio a las comunidades correspondientes, han visto en la infraestructura de las vías férreas una solución viable a la comunicación intermunicipal y regional. En vista de este problema y asumiendo las responsabilidades para con nuestra sociedad, que como estudiantes y futuros profesionales de ingeniería hemos adquirido, enfocaremos nuestros conocimientos hacia el análisis y estudio de dicho problema para finalmente dar una conclusión que ayude a tomar una decisión a cerca de la viabilidad de la ejecución de las obras que satisfagan las necesidades de las regiones.

Tras los duros golpes de las olas invernales que han afectado el país ha surgido la necesidad de plantear soluciones o alternativas a través de la ingeniería para hacer frente a las consecuencias de tal manera que se subsanen, de manera parcial o total, los daños o pérdidas sociales y económicas sufridas por las diferentes regiones del país.

A raíz de lo anteriormente descrito, específicamente el estudio estará encaminado al diagnóstico y la viabilidad de la utilización o no para tráfico

vehicular, de dos puentes seleccionados que hacen parte de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres en el sector Bocas-Palmas, en el departamento de Santander. El presente trabajo es el estudio preliminar que posiblemente continuará más adelante como proyectos de grado de otros compañeros.

1. INFORMACIÓN DESCRIPTIVA DE LOS PUENTES

1.1. CAPTURA DE INFORMACIÓN PUENTE 1:

1.1.1. Identificación territorial. De acuerdo a la clasificación del manual para la inspección visual de puentes y pontones del INVIAS, el puente está localizado en la zona territorial correspondiente a *Santander*, territorial identificada con el *código 22*.

1.1.2. Localización de la estructura. El puente se encuentra sobre la vía denominada: “antigua vía férrea Café Madrid-Sabana de Torres”, cabe resaltar que el puente no pertenece a alguna concesión vial o corredor de mantenimiento integral. Este puente se ubica a 19 km del casco urbano del área metropolitana de Bucaramanga, tomando la vía Bucaramanga – Rionegro (rumbo Rionegro) y desviando hacia la izquierda aproximadamente en el kilómetro 16.3(ver figura 1-5) (a partir de la denominada “Virgen” a la salida de Bucaramanga), en el desvío llamado “Balneario Brisas del Río”.



Figura 1. Ubicación geográfica puntos de referencia. Fuente Google earth. Enero 2013



Figura 2. Vía Desvío Bocas – Puente 1. Fuente Google earth. Enero 2013



Figura 3. Ubicación geográfica puente 1 y puente 2. Fuente Google earth. Enero 2013



Figura 4. Localización Puente 1. Fuente Google earth. Enero 2013



Figura 5. Localización Puente 1. Fuente Google earth. Enero 2013

1.1.3. Identificación de la estructura. Puente de estructura metálica construido hace aproximadamente 90 años con el fin de hacer parte de la infraestructura de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres. Actualmente aunque está “prohibido” el paso de peatones y vehículos, es transitado por los peatones, motocicletas, vehículos livianos y algunos vehículos de mediana envergadura como volquetas y camiones pequeños. (Ver figura 6).



Figura 6. Señalización al inicio de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres. Fuente (Autores).Enero 2013

Es un puente con armadura de paso inferior, que de acuerdo con el manual de inspección de puentes y pontones del INVIAS su clasificación según estructuración longitudinal corresponde a un puente de vigas *simplemente apoyadas* que corresponde al *código 01*, según su estructuración transversal corresponde al *código 05, armadura de paso inferior*, con perfiles armados con láminas y ángulos que brindan una sección transversal resistente de grandes proporciones y con platinas de conexión conectadas a los perfiles por medio de remaches, elementos de conexión típicos de la época. El puente salva uno de los afluentes que desembocan en el río Bocas, cuyo caudal varía desde cero a grandes proporciones que casi hacen el gálibo cero.(ver figura 7)

- **Esviaje:** 0 grados.



Figura 7. Acceso al puente 1. Fuente (Autores). Enero 2013

- **Dimensiones generales:**

El puente tiene una longitud total de 24.6 metros, un ancho de 6.04 metros y las armaduras laterales tienen una altura de 3 metros. El gálibo vertical tiene una dimensión de 2.46 metros.(ver figura 8)



Figura 8. Vista general puente 1. Fuente (Autores). Enero 2013

1.1.4. Inspección por elementos

1.1.4.1. Superficie y equipamientos: En cuanto al tipo de superficie se clasifica de acuerdo con el manual de inspección de puentes y pontones del INVIAS con el código *00* correspondiente a *otro tipo de superficie*, ya que debido a la condición inicial de uso de este puente como puente ferroviario nunca conto con un tablero como tal, sino que la población que actualmente hace uso de este puente adaptó “provisionalmente” tablonas apoyados en los elementos longitudinales del puente y una capa de material heterogéneo probablemente extraído de los alrededores con el fin de poder transitar por esta vía. (ver figura 9)

Actualmente el puente no cuenta con los elementos mínimos con los cuales debe contar un puente que es transitado por los habitantes de esta región como lo son un tablero como tal construido y diseñado técnicamente que tenga una superficie de rodadura cómoda, drenajes, andenes con sus respectivas barandas de protección, iluminación y señalización.



Figura 9. Tablonas que hacen la vez de tablero. Fuente (Autores). Enero 2013

- **Apoyos:**

Los apoyos del puente se encuentran en un estado de total invasión por parte de la vegetación y tierra. La falta de mantenimiento ha dado lugar a que esta vegetación presente se acumule, retenga suciedad y por tanto agua, factor principal para el desarrollo de la corrosión de elementos metálicos. Es por esto que el estado de los apoyos no es muy bueno y la recomendación es hacer prontamente mantenimiento a estos. (ver figura 10)



Figura 10. Apoyo derecho costado occidental. Fuente (Autores).Enero 2013

Después de una limpieza se pudo observar los tipos de apoyo con los que cuenta el puente. Este puente cuenta con apoyos de segundo grado en ambos lados de la estructura. Consta de una rótula que en condiciones ideales permite el giro e impide movimientos en las direcciones horizontal y vertical.



Figura 11. Apoyo izquierdo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013

Como se observa en las fotos y como era de esperarse los elementos de los apoyo se encuentran en un nivel medio de corrosión donde ya se han perdido características de los materiales y parte de la sección de algunos elementos, afectando el correcto funcionamiento de los apoyos. Esto se observa más claramente en los apoyos del costado oriental. Los elementos de la cercha que llegan a estos nodos se ven con acumulación de mugre y algo afectados por la corrosión. Por inspección visual se consideran en un estado de deterioro medio.



Figura 12. Acumulación material orgánico en elementos. Fuente (Autores).Enero 2013

Cabe aclarar que esta evaluación acerca de la corrosión es netamente visual y sin pruebas que permitan evaluar la condición interna de los materiales en este sentido.

1.1.4.2. Subestructura en concreto: En cuanto a la subestructura del puente podemos observar que cuenta, en su costado occidental, con estribos de pantalla con aleta en uno de sus extremos y en el otro extremo no cuenta ni con aleta ni con muro de retorno; finaliza en la roca adyacente. Al costado oriental el estribo consta de pantalla y con aletas a cada lado. Las aletas, además de servir de apoyo a la estructura del puente, sirven como muro de contención frontal al terraplén de aproximación y como protección del estribo contra el cauce de la corriente.(ver figura 13-14).



Figura 13. Estribo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 14. Estribo costado occidental. Fuente (Autores).Enero 2013

El material predominante y único en los estribos y aletas tenemos el *concreto reforzado* identificado con el código 03 que indica el manual de inspección de puentes del INVIAS. [1].

Normalmente los elementos de concreto reforzado son propensos a presentar fisura incluso bajo las condiciones de servicio. De acuerdo al manual de inspección se define un ancho de fisura admisible para ciertas condiciones de exposición del concreto reforzado:

Tabla 1. Ancho admisible fisuras de acuerdo a su condición de exposición.[1]

CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN	ANCHO ADMISIBLE DE LA FISURA (mm)
Aire seco o membrana protectora	0,40
Ambiente húmedo (aire húmedo, suelo)	0,30
Productos químicos descongelantes	0,20
Humedecimiento y secado de agua de mar	0,15
Estructuras de retención de agua, excluyendo tuberías sin presión	0,10
Elementos de concreto pre esforzado	0,10

En este caso, los estribos presentan fisura de gran espesor (mayor a 0.5 mm), consideradas por el manual, como una manifestación patológica que pueden afectar el funcionamiento normal de la estructura.

En el estribo del costado occidental se puede observar varias fisuras de gran longitud y ancho superior a los 0.5 mm. Posiblemente son grietas de construcción pues se presentan al parecer en los límites entre una y otra sección de fundida del concreto del estribo.

Se observan también daños ocurridos durante el funcionamiento básicamente por condiciones de exposición al medio y por falta de mantenimiento, reparación y rehabilitación, debidos al abandono total por parte de las autoridades competentes. Se encontraron los siguientes daños:

Contaminación del concreto: Se nota la presencia de microorganismos como se pueden ver en la figura 15 y 16. en la estructura de concreto afectando la

estética y dando la posibilidad a fallas de carácter físico y químico e incrementando el deterioro de daños preexistentes. La existencia de microorganismos de origen vegetal, como se evidencia en la fotografía, incide en la producción de sustancias que pueden ocasionar ataques químicos al concreto dando cabida a la desintegración de la pasta de cemento. En la imagen se ve ya avanzada la invasión de la vegetación. Además se ve comprometida la saturación del material pues esta vegetación aumenta la permeabilidad del concreto e induce a daños por procesos de humedecimiento y secado alternadamente, conduciendo a la transformación de los compuestos del cemento.

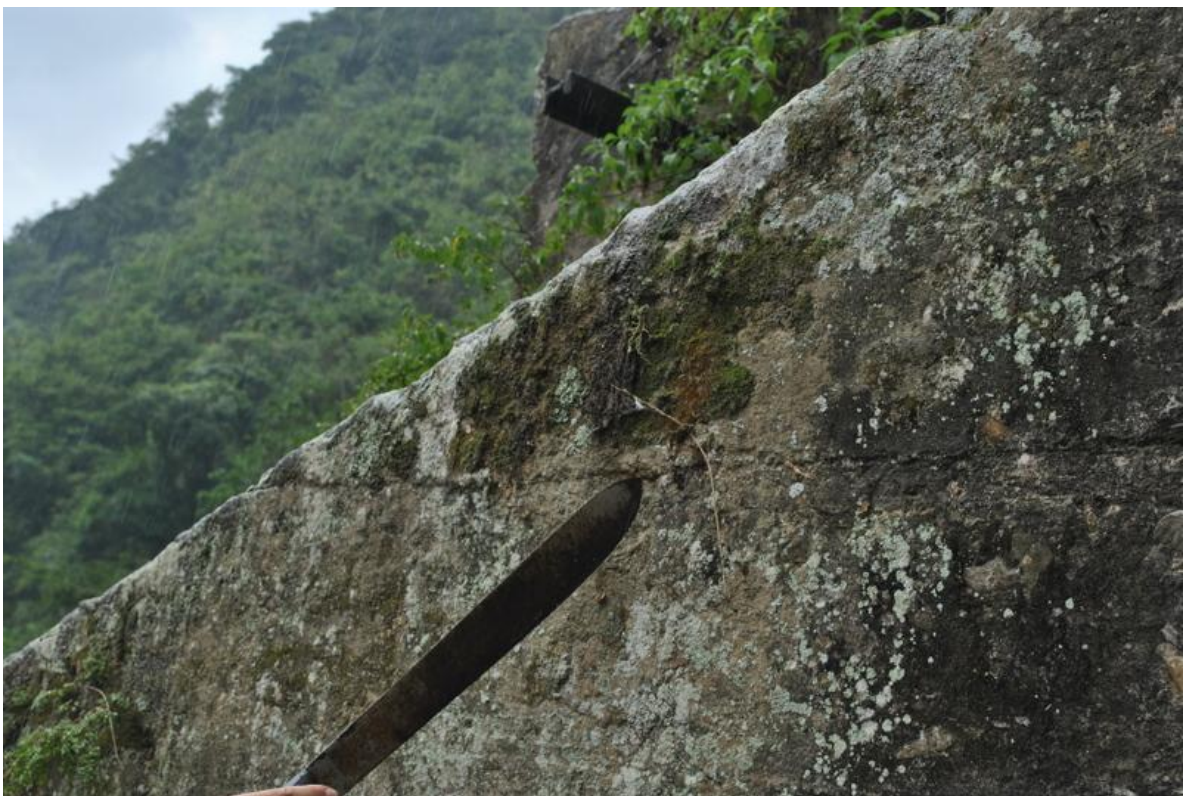


Figura 15. Invasión de microorganismos vegetales en la aleta del estribo.

Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 16. Invasión y grieta de gran espesor y profundidad en la pantalla del estribo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013

A pesar de ser muy comunes las grietas entre la pantalla y las aletas o muros de retorno en este estribo no se evidencian dichas grietas ver figura 17. en el muro de retorno derecho del estribo del costado oriental. Sin embargo en el lado izquierdo del mismo costado sí se encontró una grieta de espesor considerable al parecer por construcción ver figura 19



Figura 17. No hay grieta entre pantalla y aleta. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 18.Unión entre pantalla y muro de retorno izquierdo en el estribo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 19. Grieta estribo. Fuente (Autores).Enero 2013

Socavación: El paso del agua y de materiales abrasivos transportados por la corriente no han generado erosión en el concreto de los estribos. No se ve desgaste ni socavación en el material del concreto.

1.1.4.3. Superestructura metálica: En cuanto a la superestructura se destacan elementos de grandes dimensiones debido a que la estructura fue diseñada inicialmente para uso ferroviario, lo cual implica una carga muy alta de diseño y por el año de fabricación (1920) podemos considerar que no se contaban con herramientas con las que se cuentan hoy, como lo son los software de diseño, métodos y teorías más exactos, y estadística aplicada para posibilitar un diseño más eficiente.

El puente tiene armaduras de paso inferior tipo Warren, cuenta con conexiones hechas con remaches como se puede apreciar en la figura 20, conexión típica de la época. Además, está conformado por vigas longitudinales de grandes dimensiones que transfieren su carga a las vigas transversales, estas a su vez a la armadura y finalmente a la subestructura. En la parte superior e inferior la estructura se observa un riostrado para rigidizar la misma. ver figura 21 y 22.



Figura 20. Conexiones típicas con remaches. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 21. Armadura lateral tipo Warren. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 22. Elementos Transversales de grandes dimensiones y un riostrado inferior. Fuente (Autores).Enero 2013

Perfiles metálicos: El puente cuenta con vigas longitudinales y transversales de perfiles laminados. Los perfiles transversales constan de un perfil en “I” de gran altura; Las vigas longitudinales son perfiles “I” también laminados; Los cordones inferiores, superiores, diagonales y montantes, pertenecientes a la armadura, constan también de perfiles laminados.ver figura 23.



Figura 23.Perfiles laminados. Fuente (Autores).Enero 2013

A nivel general el acero en este puente se encuentra en un estado aceptable en cuanto a pandeos de los elementos sometidos a compresión, en cuanto a deflexiones, pero la corrosión ha afectado a algunos elementos de manera considerable. Se encontraron dos elementos con pandeo local en las aletas y corrosión media en las vigas transversales y longitudinales, y severa en el cordón inferior de la armadura izquierda. También se ve corrosión en los apoyos y sus elementos anexos, zonas de acumulación de material orgánico y agua. En cuanto a grietas y deflexiones, los perfiles metálicos no presentan daños. Se encuentra una sola conexión donde un remache se ha caído, se puede observar en la figura 24 cosa no muy crítica pues en resistencia no se disminuye considerablemente y en cuanto a excentricidad tampoco es demasiada su afectación. Los problemas de pintura, en los elementos no corroídos son de fácil solución; en algunos elementos presenta impactos de vehículos y en las conexiones no se encontraron excentricidades, aplastamiento de las platinas, desgarramiento, corte en el conector, ni bloque de cortante; sí se encontró corrosión en las conexiones correspondientes a los apoyos, afectando remaches y platinas, por la razón antes mencionada: “la acumulación de vegetación y tierra en estas zonas”.



Figura 24. Remache faltante. Fuente (Autores). Enero 2013

1.1.4.4. Cauce: No se presenta inestabilidad de taludes o terraplenes en las zonas aledañas a la estructura; No se presenta fenómeno de erosión en el lecho o márgenes del río que contribuyan a la socavación de la cimentación y pantalla de los estribos que afecte el funcionamiento normal de la estructura.

Puente en general:

A nivel general, aparentemente el puente cuenta con una buena condición estructural; los elementos se ven afectados por la corrosión pero aún se está a tiempo de reparar. Hay muy poco de pandeos locales; las conexiones se ven en buen estado también, con sus remaches completos y tampoco corroídos, salvo, como siempre se ha dicho, en las zonas aledañas a los apoyos. En este sentido la observación es dar prioridad en atención a la corrosión causada en estas zonas, realizando ensayos detallados para determinar el nivel de corrosión y poder evaluar cuantitativamente el daño ocasionado y determinar qué tanto ha disminuido la capacidad de los elementos. En este proyecto se realizará la cuantificación de los daños pero a nivel visual, tomando reducciones bien conservadoras en las características de los elementos como el área, de manera tal que si los resultados arrojan respuestas positivas en cuanto a resistencia de los elementos frente a lo solicitado, estaremos del lado de la seguridad. De ser necesario, si los elementos no resisten lo solicitado bajo este criterio, para obtener resultados más precisos se debe proceder a ensayos de caracterización para un mejor análisis.

1.1.5. Síntesis de Daños en la Estructura Metálica:

1.1.5.1. Corrosión: Reacción química de algunos materiales como el metal, producido por el contacto, en este caso, de las partes metálicas con el ambiente y el agua. Inspeccionando los elementos metálicos del puente y con especial atención a aletas inferiores de las vigas, a las platinas de apoyo, a los cordones inferiores de las armaduras y a las conexiones (zonas más expuestas a la acumulación de agua, basura y vegetación), y clasificando el nivel de

corrosión entre leve, medio y severo, se obtuvieron las siguientes observaciones en este aspecto. Cabe destacar que el puente cuenta con elementos en buen estado en cuanto a corrosión; aunque la pintura no se ha conservado muy bien, aún no se ve, aparentemente, los efectos de este proceso químico, dejando por fuera, a muchos de los perfiles, de esta afectación. (ver figura 25)



Figura 25. Elementos sin corrosión aunque con pintura deteriorada. Fuente (Autores).Enero 2013

Corrosión leve donde no se ha perdido parte de la sección transversal del elemento y su solución es sencillamente la aplicación de pintura sobre la zona corroída, claro está con la previa preparación de la superficie y su correcta aplicación.

Se encontraron los siguientes elementos que a nuestro juicio, de acuerdo a la inspección visual y medida aproximada de la profundidad de la corrosión en el elemento, sufren de corrosión leve:(ver figura 26)



Figura 26. Estado de corrosión elementos. Fuente (Autores).Enero 2013

Corrosión media en la que ya se ha afectado la sección transversal del elemento y por tanto su capacidad estructural ha disminuido. La solución es este caso es la aplicación de un procedimiento más complejo o el reemplazo del elemento. En este caso, como los elementos fueron sobrediseñados, para una carga mucho mayor a la que se plantea con el nuevo uso de la vía y por tanto los elementos así estén reducidos en su capacidad estructural, la recomendación es detener el proceso de corrosión, no recuperar su capacidad y de acá en adelante mantener los elementos protegidos contra la acción de este efecto electroquímico.

La corrosión de los perfiles de metal requiere de un de un tratamiento con sustrato para remover partes corroídas e impurezas, así como la aplicación de pinturas anticorrosivas en las secciones donde es necesario reemplazar el material.(ver figura 27)



Figura 27. Estado de corrosión media de elementos. Fuente (Autores).Enero 2013

Corrosión severa tras la que el elemento ya ha perdido gran parte o la totalidad de la sección transversal luego su capacidad estructural se ve demasiado afectada y en este caso la recomendación es el reemplazo inmediato del elemento para no comprometer la estabilidad de la estructura y evitar un posible colapso o grave accidente. No se encontraron elementos cuya

corrosión se considere como severa y sea indispensable el inmediato reemplazo del elemento.(ver figura 28)





Figura 28. Remache con alto nivel de corrosión. Sección con alto nivel de corrosión. Gran pérdida de sección, Corrosión severa cordón inferior cercha.

Fuente (Autores). Enero 2013

1.1.5.2. Pintura Deteriorada: La pintura al ser la principal protección de los elementos metálicos contra la corrosión es de gran interés. El mantenimiento de la pintura adecuada de los elementos es vital para evitar que se inicie el proceso de deterioro de las propiedades físicas y químicas del mismo, fruto de la corrosión. Daños de este tipo se tienen a continuación en la figura 29.



Figura 29. Elemento con pintura deteriorada. Fuente (Autores).Enero 2013

La pintura es el medio generalmente empleado para evitar la oxidación del acero, esta debe ser aplicada en intervalos máximos de 5 a 10 años, dependiendo del ambiente. Además de la pintura, es esencial contar con un drenaje adecuado, previniendo la acumulación de agua en cualquier parte de la estructura. La recomendación en este sentido es hacer el debido mantenimiento a la pintura, no sin antes resolver los problemas de corrosión.

1.1.5.3. Daños en perfiles metálicos y miembros de armaduras: Los elementos de las armaduras laterales suelen presentar dos tipos de pandeo: pandeo local y pandeo general lateral. Ambos presentados en elementos sometidos a compresión axial representan en determinados casos situaciones críticas de mucho cuidado donde se genera básicamente una redistribución de los esfuerzos, cosa que no se ha contemplado en los diseños. En este puente se encontraron dos casos de pandeo local; pandeo general no se evidenció. Esto se resume en un cuadro mencionado a continuación, junto con los daños considerados para afectar el modelo inicial del puente.

Cuadro resumen de elementos afectados por la corrosión, pandeo local y abolladura por impacto: Ver anexo 1. CUADRO RESUMEN ELEMENTOS AFECTADOS POR LA CORROSIÓN, PANDEO LOCAL Y ABOLLADURA POR IMPACTO.

Otra patología importante a analizar son las fisuras en vigas longitudinales y transversales. Se verificó la presencia de estas fisuras en zonas de concentración de esfuerzos (luces y zonas cercanas a los apoyos) y no se encontró este tipo de patología.

Finalmente se verifica que los elementos a flexión no presenten deflexiones excesivas que puedan ocasionar esfuerzos no presupuestados que podrían afectar la funcionalidad de la estructura. No se encontraron daños en este aspecto.

1.1.5.4. Daños en las conexiones

Conexiones en estructura metálica: Tras una observación general de los elementos de conexión se tiene lo siguiente:

- Las conexiones cuentan con una simetría en sus remaches y por tanto no hay excentricidad en ellas.
- No se observa ausencia aunque si mal estado (corrosión) de los remaches en algunas de las conexiones, predominando el deterioro en los remaches que conectan los elementos que convergen en los apoyos. Esto debido a la acumulación de maleza, tierra y mugre en estas zonas y por tanto la presencia constante de agua retenida.
- No se observó aplastamiento de la platina de conexión, desgarramiento, cortes, fisuras o corrosión generalizada.

1.2. CAPTURA DE INFORMACIÓN PUENTE 2

1.2.1. Identificación territorial. De acuerdo a la clasificación del manual para la inspección visual de puentes y pontones del INVIAS, el puente está localizado en la zona territorial correspondiente a *Santander*, territorial identificada con el *código 22*.(ver figura 30)

1.2.2. Localización de la estructura, El puente se encuentra sobre la vía denominada: “antigua vía férrea Café Madrid-Sabana de Torres”, cabe resaltar que el puente no pertenece a alguna concesión vial o corredor de mantenimiento integral. Este puente se ubica a 20 km del casco urbano del área metropolitana de Bucaramanga, 1 kilómetro más adelante del anterior puente, tomando la vía Bucaramanga – Rionegro (rumbo Rionegro) y desviando hacia la izquierda aproximadamente en el kilómetro 16.3 (a partir de la denominada “Virgen” a la salida de Bucaramanga), en el desvío llamado “Balneario Brisas del Río”.(ver figuras 31-35)



Figura 30. Ubicación geográfica puntos de referencia. Fuente Google earth.Enero 2013

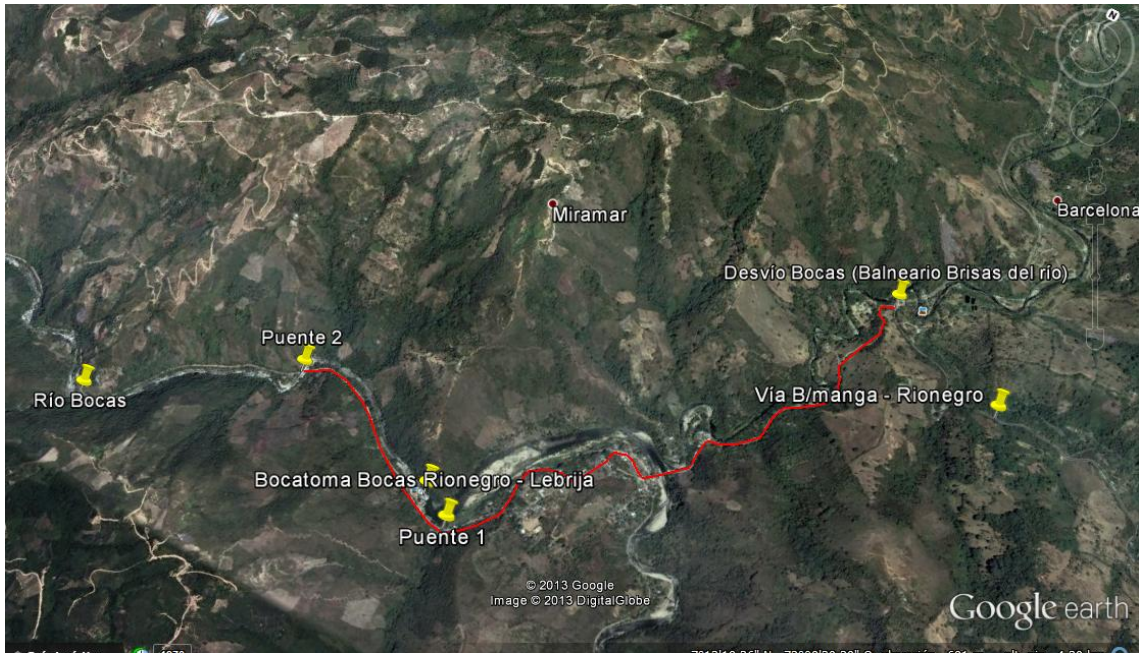


Figura 31. Vía Desvío Bocas – Puente 2. Fuente Google earth.Enero 2013



Figura 32. Ubicación geográfica puente 1 y puente 2. Fuente Google earth.Enero 2013



Figura 33. Localización Puente 1. Fuente Google earth.Enero 2013



Figura 34. Localización Puente 2. Fuente Google earth.Enero 2013



Figura 35. Referencia costados del puente Puente 2 con respecto al norte geográfico. Fuente Google earth.Enero 2013

1.2.3. Identificación de la estructura. Puente de estructura metálica construido hace aproximadamente 90 años con el fin de hacer parte de la infraestructura de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres. Actualmente aunque está “prohibido” el paso de peatones y vehículos como de aprecia en las figuras 36 y 37, es transitado por los peatones, motocicletas, vehículos livianos y algunos vehículos de mediana envergadura como volquetas y camiones pequeños.



Figura 36. Señalización al inicio de la antigua vía férrea Café Madrid – Sabana de Torres. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 37. Señalización. Costado Occidental puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

Es un puente con armadura de paso inferior, que de acuerdo con el manual de inspección de puentes y pontones del INVIAS su clasificación según

estructuración longitudinal corresponde a un puente de vigas *simplemente apoyadas* que corresponde al *código 01*, según su estructuración transversal corresponde al *código 05, armadura de paso inferior*, con perfiles armados con láminas y ángulos que brindan una sección transversal resistente de grandes proporciones y con platinas de conexión conectadas a los perfiles por medio de remaches, elementos de conexión típicos de la época. El puente salva uno de los pasos que causa el río Bocas a lo largo del trayecto de la vía.

- **Esviaje:** 0 grados.



Figura 38. Acceso al puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

- **Dimensiones generales:**

El puente tiene una longitud total de 62.2 metros, un ancho de 5.57 metros y las armaduras laterales tienen una altura de 7.4 metros. El gálibo vertical tiene una dimensión de 6.8 metros.



Figura 39. Vista general puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

1.2.4. Inspección por elementos.

1.2.4.1. Superficie y equipamientos: En cuanto al tipo de superficie se clasifica de acuerdo con el manual de inspección de puentes y pontones del INVIAS con el código 00 correspondiente a *otro tipo de superficie*, ya que debido a la condición inicial de uso de este puente como puente ferroviario nunca conto con un tablero como tal, sino que la población que actualmente hace uso de este puente adaptó “provisionalmente” tablonas apoyados en los elementos longitudinales del puente y una capa de material heterogéneo probablemente extraído de los alrededores con el fin de poder transitar por esta vía.

Actualmente el puente no cuenta con los elementos mínimos con los cuales debe contar un puente que es transitado por los habitantes de esta región como lo son un tablero como tal construido y diseñado técnicamente que tenga una superficie de rodadura cómoda, drenajes, andenes con sus respectivas barandas de protección, iluminación y señalización.



Figura 40. Tablones que hacen la vez de tablero. Fuente (Autores).Enero 2013

- **Apoyos:**

Los apoyos del puente se encuentran en un estado de total invasión por parte de la vegetación y tierra. La falta de mantenimiento ha dado lugar a que esta vegetación presente se acumule, retenga suciedad y por tanto agua, factor principal para el desarrollo de la corrosión de elementos metálicos. Es por esto

que el estado de los apoyos no es muy bueno y la recomendación es hacer prontamente mantenimiento a estos.como se sprechia en las siguiente figuras



Figura 41. Apoyo izquierdo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 42. Apoyo derecho costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 43. Apoyo izquierdo costado occidental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 44. Apoyo derecho costado occidental. Fuente (Autores).Enero 2013

Después de una limpieza se pudo observar los tipos de apoyo con los que cuenta el puente. Este puente cuenta con apoyos de primer grado en ambos lados de la estructura. Consta de dos perfiles en “L” que se deslizan sobre un perfil anclado al estribo. Como se aprecia en las siguientes figuras



Figura 45. Apoyo izquierdo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 46. Apoyo izquierdo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 47. Apoyo Puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 48. Conexión apoyo puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 49. Estado apoyo puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

Como se observa en las fotos y como era de esperarse los elementos de los apoyos se encuentran en un nivel medio de corrosión donde ya se han perdido características de los materiales y parte de la sección de algunos elementos, afectando el correcto funcionamiento de los apoyos. Esto se observa más claramente en los apoyos del costado oriental. A pesar de esto, los elementos de la cercha que llegan a los nodos de los apoyos no se ven muy afectados por este fenómeno y se consideran en buen estado.

Cabe aclarar que esta evaluación acerca de la corrosión es netamente visual y sin pruebas que permitan evaluar la condición interna de los materiales en este sentido.

1.2.4.2.Subestructura en concreto: En cuanto a la subestructura del puente podemos observar que cuenta, en su costado occidental, con estribos de pantalla con aleta en uno de sus extremos y en el otro extremo no cuenta ni

con aleta ni con muro de retorno; finaliza en la roca adyacente. Al costado oriental el estribo consta de pantalla y dos muros de retorno, uno a cada lado. Las aletas y muros de retorno, además de servir de apoyo a la estructura del puente, sirve como muro de contención frontal al terraplén de aproximación y como protección del estribo contra el cauce de la corriente. como se observa en las siguientes figuras



Figura 50. Estribo costado occidental. Fuente (Autores). Enero 2013



Figura 51. Estribo costado occidental. Fuente (Autores). Enero 2013



Figura 52. .Estribo costado oriental puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 53. Estribo costado oriental puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 54. Muro de retorno estribo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013

El material predominante y único en los estribos y aletas tenemos el *concreto reforzado* identificado con el código 03 que indica el manual de inspección de puentes del INVIAS.

Normalmente los elementos de concreto reforzado son propensos a presentar fisura incluso bajo las condiciones de servicio. De acuerdo al manual de inspección se define un ancho de fisura admisible para ciertas condiciones de exposición del concreto reforzado:

Tabla 2. Ancho admisible fisuras de acuerdo a su condición de exposición. [1]

CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN	ANCHO ADMISIBLE DE LA FISURA (mm)
Aire seco o membrana protectora	0,40
Ambiente húmedo (aire húmedo, suelo)	0,30
Productos químicos descongelantes	0,20
Humedecimiento y secado de agua de mar	0,15
Estructuras de retención de agua, excluyendo tuberías sin presión	0,10
Elementos de concreto pre esforzado	0,10

En este caso, los estribos presentan fisura de gran espesor (mayor a 0.5 mm), consideradas por el manual, como una manifestación patológica que pueden afectar el funcionamiento normal de la estructura.

En el estribo del costado occidental se puede observar varias fisuras de gran longitud y ancho superior a los 0.5 mm. Posiblemente son grietas de construcción pues se presentan al parecer en los límites entre una y otra sección de fundida del concreto del estribo. También se encontraron otros daños por construcción como hormigueros y segregación.

Teniendo el concepto de “Hormiguero” según el “manual de inspección de puentes” como: “Alteración sufrida por el concreto, definida por la presencia de oquedades superficiales que quedan en el concreto endurecido, evidenciando zonas vacías en las caras de los elementos. Los hormigueros son causados generalmente por la falta de vibrado, compactación excesiva o deficiente, prácticas inapropiadas en la colocación del concreto en zonas con alta densidad de refuerzo, dosificaciones inadecuadas de mezclas de concreto, etc.”.

También, definiendo “Segregación” de acuerdo al manual como: “Distribución inadecuada de los componentes de la mezcla, manifestada como la separación de éstos con la pasta, proporcionando un desplazamiento de los agregados gruesos hacia la parte inferior. La segregación es ocasionada entre otros factores por una dosificación inadecuada, concreto vertido de alturas excesivas, falta o exceso de vibrado, empleo de agregados gruesos sin aparente cohesión, exceso de agregados gruesos o finos, etc.”

Con base en esta información se encontró lo siguiente:(verfiguras 55-58)



Figura 55. Hormigueros en la parte superior. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 56. Hormigueros en la parte superior. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 57. Daño en la aleta del estribo (costado Occidental). Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 58. Hormiguero en la aleta del estribo (costado Occidental). Fuente (Autores).Enero 2013

Se observan también daños ocurridos durante el funcionamiento básicamente por condiciones de exposición al medio y por falta de mantenimiento,

reparación y rehabilitación, debidos al abandono total por parte de las autoridades competentes. Se encontraron los siguientes daños:

Contaminación del concreto: Se nota la presencia de microorganismos en la estructura de concreto afectando la estética y dando la posibilidad a fallas de carácter físico y químico e incrementando el deterioro de daños preexistentes. La existencia de microorganismos de origen vegetal, como se evidencia en la fotografía, incide en la producción de sustancias que pueden ocasionar ataques químicos al concreto dando cabida a la desintegración de la pasta de cemento. En la imagen se ve ya avanzada la invasión de la vegetación. Además se ve comprometida la saturación del material pues esta vegetación aumenta la permeabilidad del concreto e induce a daños por procesos de humedecimiento y secado alternadamente, conduciendo a la transformación de los compuestos del cemento.(ver figuras 59-64)



Figura 59. Contaminación estribo Puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 60. Contaminación estribo occidental puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 61. Invasión por parte de microorganismos vegetales y hormigueros en el estribo occidental del puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 62. Posible carbonatación del concreto. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 63. Contaminación estribo oriental puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 64. Grieta de gran espesor. Fuente (Autores).Enero 2013

A pesar de ser muy comunes las grietas entre la pantalla y las aletas o muros de retorno en este estribo no se evidencian dichas grietas en el muro de retorno derecho del estribo del costado oriental. Sin embargo en el lado izquierdo del mismo costado sí se encontró una grieta de espesor considerable:



Figura 65. No hay grieta entre el muro de retorno y la pantalla. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 66. Fisura entre pantalla y muro de retorno izquierdo en el estribo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013

Socavación: El paso del agua y de materiales abrasivos transportados por la corriente han generado erosión en el concreto de los estribos, desgastando y socavando el material fino del concreto, en la pantalla de uno de los estribos y en el otro en la cimentación, dando cabida a que de continuarse este proceso se comprometa la estabilidad del estribo y lógicamente también del puente. La socavación se encuentra en un estado incipiente (no por eso no importante) en el estribo occidental y en un estado más avanzado en la cimentación del estribo oriental.

En la siguientes figuras se ve claramente que se ha presentado una socavación general donde a lo ancho del lecho del río el material se ha ido desplazando del sitio y dejando al descubierto parte de la cimentación.



Figura 67. Socavación general en el estribo costado oriental. Fuente (Autores). Enero 2013



Figura 68. Cimentación descubierta. Estribo costado oriental. Fuente (Autores).Enero 2013

En la pantalla y aleta del estribo occidental se evidencia una socavación local causada por el paso constante de la corriente. En cuanto a la socavación general que afectaría a la cimentación de este estribo no se puede decir algo concreto. A simple vista no se puede definir si se ha afectado o no; habría que ingresar al río para esto. (ver figuras 69-71)

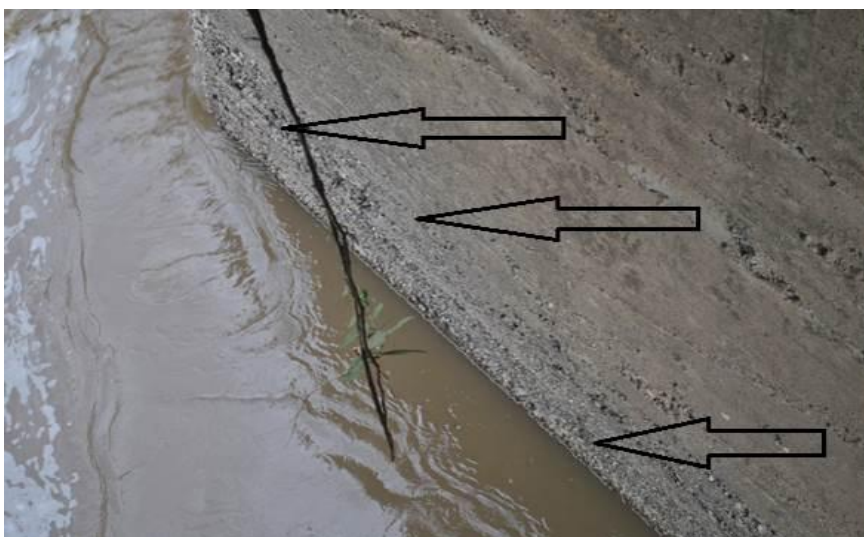


Figura 69. Socavación local en la parte inferior del estribo. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 70. Socavación local en la parte inferior del estribo. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 71. Socavación local en la aleta del estribo (costado Occidental). Fuente (Autores).Enero 2013

1.2.4.3. Superestructura metálica: En cuanto a la superestructura se destacan elementos de grandes dimensiones debido a que la estructura fue diseñada inicialmente para uso ferroviario, lo cual implica una carga muy alta de diseño y por el año de fabricación (1920) podemos considerar que no se contaban con herramientas con las que se cuentan hoy, como lo son los

software de diseño, métodos y teorías más exactos, y estadística aplicada para posibilitar un diseño más eficiente.

El puente cuenta con armaduras de paso inferior tipo Baltimore, cuenta con conexiones hechas con remaches, conexión típica de la época. Cuenta además con vigas longitudinales de grandes dimensiones que transfieren su carga a las vigas transversales, estas a su vez a la armadura y finalmente a la subestructura. En la parte superior e inferior la estructura cuenta con un riostrado para rigidizar la misma.(ver figura 72)



Figura 72. Conexiones típicas con remaches. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 73. Riostrado Inferior. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 74. Armadura lateral tipo Baltimore. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 75. Elementos Transversales de grandes dimensiones y un riostrado inferior. Fuente (Autores).Enero 2013

Perfiles metálicos:

El puente cuenta con vigas longitudinales y transversales de perfiles armados. Los perfiles transversales constan de un perfil en “I” de gran altura a la cual van remachados ángulos en L como refuerzo en las aletas inferiores y superiores; Las vigas longitudinales son perfiles “I” laminados; Los cordones inferiores, pertenecientes a la armadura, constan de una placa vertical, y un perfil “L” como aleta inferior en los elementos cercanos a los apoyos, y dos perfiles “L” como aletas inferiores en los elementos que se encuentran en la luz del puente. Los montantes son perfiles en I armados; Las diagonales están conformadas por dos “C” y celosía. Finalmente el cordón superior se conforma por dos “C” armadas y una platina en la parte superior.



Figura 76. Perfil del cordón inferior de la armadura en la parte central del puente. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 77. Perfil del cordón inferior de la armadura en la parte cercana a los apoyos del puente. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 78. Cordón superior de la armadura. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 79. Elementos de la cercha (I armados, C armados con celosías).

Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 80. Conexión típica con remaches, de los elementos de la cercha.

Fuente (Autores).Enero 2013

A nivel general el acero en este puente se encuentra en un estado mucho mejor que el del anterior puente. Los daños en este caso son más que todo por pandeos locales en las aletas de algunos elementos aunque también la corrosión ha afectado los elementos anexos a los apoyos, zonas de acumulación de material orgánico y agua. En cuanto a grietas y deflexiones, los perfiles metálicos no presentan daños. No presenta falta de remaches, los problemas de pintura son de fácil solución, en algunos elementos presenta impactos de vehículos y en las conexiones no se encontraron excentricidades, aplastamiento de las platinas, desgarramiento, corte en el conector, ni bloque de cortante; sí se encontró corrosión en las conexiones correspondientes a los apoyos, afectando remaches y platinas, por la razón antes mencionada: la acumulación de vegetación y tierra en estas zonas”.

1.2.4.4. Cauce: No se presenta inestabilidad de taludes o terraplenes en las zonas aledañas a la estructura; Se presenta fenómeno de erosión en el lecho o márgenes del río contribuyendo a la socavación de la cimentación y pantalla de

los estribos afectando el funcionamiento normal de la estructura como ya se ha mencionado con más detalle antes, en la parte correspondiente al examen visual de estructuras de concreto (estribos).

Puente en general: A nivel general, aparentemente el puente cuenta con una buena condición estructural; los elementos se ven no muy afectados por la corrosión aunque un poco por pandeos locales; las conexiones se ven en buen estado también, con sus remaches completos y tampoco corroídos, salvo, como siempre se ha dicho, en las zonas aledañas a los apoyos. En este sentido la observación es dar prioridad en atención a la corrosión causada en estas zonas, realizando ensayos detallados para determinar el nivel de corrosión y poder evaluar cuantitativamente el daño ocasionado y determinar qué tanto ha disminuido la capacidad de los elementos. En este proyecto se realizará la cuantificación de los daños pero a nivel visual, tomando reducciones bien conservadoras en las características de los elementos como el área, de manera tal que si los resultados arrojan respuestas positivas en cuanto a resistencia de los elementos frente a lo solicitado, estaremos del lado de la seguridad. De ser necesario, si los elementos no resisten lo solicitado bajo este criterio, para obtener resultados más precisos se debe proceder a ensayos de caracterización para un mejor análisis.

1.2.5. Síntesis de Daños en la Estructura Metálica

1.2.5.1. Corrosión: Reacción química de algunos materiales como el metal, producido por el contacto, en este caso, de las partes metálicas con el ambiente y el agua. Inspeccionando los elementos metálicos del puente y con especial atención a aletas inferiores de las vigas, a las platinas de apoyo, a los cordones inferiores de las armaduras y a las conexiones (zonas más expuestas a la acumulación de agua, basura y vegetación), y clasificando el nivel de corrosión entre leve, medio y severo, se obtuvieron las siguientes observaciones en este aspecto. Cabe destacar que el puente cuenta con

elementos en buen estado en cuanto a corrosión; la pintura se ha conservado muy bien y aún no se ve aparentemente los efectos de este proceso químico afectando a muchos de los perfiles. (ver figura 81)



Figura 81. Montante cercha puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

Corrosión leve donde no se ha perdido parte de la sección transversal del elemento y su solución es sencillamente la aplicación de pintura sobre la zona corroída, claro está con la previa preparación de la superficie y su correcta aplicación.

Se encontraron los siguientes elementos que a nuestro juicio, de acuerdo a la inspección visual y medida aproximada de la profundidad de la corrosión en el elemento, sufren de corrosión leve: (ver figura 82)



Figura 82. Corrosión leve elementos cercha puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

Corrosión media en la que ya se ha afectado la sección transversal del elemento y por tanto su capacidad estructural ha disminuido. La solución en este caso es la aplicación de un procedimiento más complejo o el reemplazo del elemento. En este caso, como los elementos fueron sobrediseñados, para una carga mucho mayor a la que se plantea con el nuevo uso de la vía y por tanto los elementos así estén reducidos en su capacidad estructural, la recomendación es detener el proceso de corrosión, no recuperar su capacidad y de acá en adelante mantener los elementos protegidos contra la acción de este efecto electroquímico.

La corrosión de los perfiles de metal requiere de un de un tratamiento con sustrato para remover partes corroídas e impurezas, así como la aplicación de pinturas anticorrosivas en las secciones donde es necesario reemplazar el material.



Figura 83. Corrosión media viga puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013



Figura 84. Corrosión media cordón superior puente 2. Fuente (Autores).Enero 2013

Corrosión severa tras la que el elemento ya ha perdido gran parte o la totalidad de la sección transversal luego su capacidad estructural se ve demasiado afectada y en este caso la recomendación es el reemplazo inmediato del elemento para no comprometer la estabilidad de la estructura y evitar un posible colapso o grave accidente. No se encontraron elementos cuya corrosión se considere como severa y sea indispensable el inmediato reemplazo del elemento.

1.2.5.2. Pintura Deteriorada: La pintura al ser la principal protección de los elementos metálicos contra la corrosión es de gran interés. El mantenimiento

de la pintura adecuada de los elementos es vital para evitar que se inicie el proceso de deterioro de las propiedades físicas y químicas del mismo, como se observa en la figura 86 fruto de la corrosión. El inventario de daños de este tipo lo se tiene a continuación:



Figura 85. Elemento con pintura deteriorada. Fuente (Autores).Enero 2013

La pintura es el medio generalmente empleado para evitar la oxidación del acero, esta debe ser aplicada en intervalos máximos de 5 a 10 años, dependiendo del ambiente. Además de la pintura, es esencial contar con un drenaje adecuado, previniendo la acumulación de agua en cualquier parte de la estructura. La recomendación en este sentido es hacer el debido mantenimiento a la pintura, no sin antes resolver los problemas de corrosión.

1.2.5.3. Daños en perfiles metálicos y miembros de armaduras: Los elementos de las armaduras laterales suelen presentar dos tipos de pandeo: pandeo local y pandeo general lateral. Ambos presentados en elementos sometidos a compresión axial representan en determinados casos situaciones críticas de mucho cuidado donde se genera básicamente una redistribución de los esfuerzos, cosa que no se ha contemplado en los diseños. En este puente

se encontraron muchos casos de pandeo local de la aleta del perfil. El pandeo general lateral no se ve a simple vista.

Cuadro resumen de elementos afectados por la corrosión, pandeo local y abolladura por impacto: . CUADRO RESUMEN ELEMENTOS AFECTADOS POR LA CORROSIÓN, PANDEO LOCAL Y ABOLLADURA POR IMPACTO.CAPITULO 2

Otra patología importante a analizar son las fisuras en vigas longitudinales y transversales. Se verificó la presencia de estas fisuras en zonas de concentración de esfuerzos (luces y zonas cercanas a los apoyos) y no se encontró este tipo de patología.

En cuanto a abolladuras por impacto, generalmente por choques de vehículos, se encontraron los siguientes daños (ver figura 86)



Figura 86. Abolladura por impacto en elemento vertical de la cercha. Fuente (Autores).Enero 2013

Finalmente se verifica que los elementos a flexión no presenten deflexiones excesivas que puedan ocasionar esfuerzos no presupuestados que podrían

afectar la funcionalidad de la estructura. No se encontraron daños en este aspecto.

1.2.5.4. Daños en las conexiones:




Conexiones en estructura metálica:



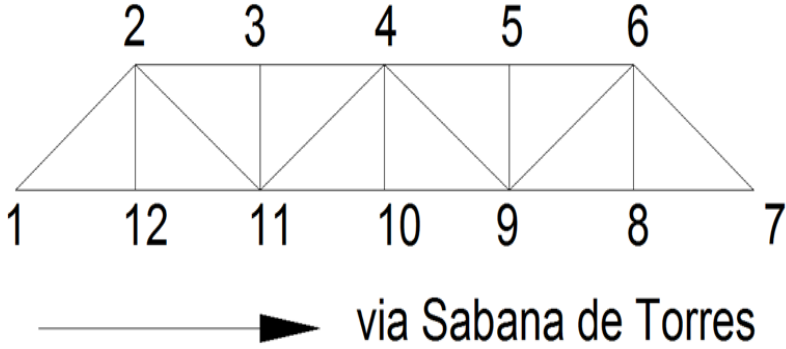
Tras una observación general de los elementos de conexión se tiene lo siguiente: Las conexiones cuentan con una simetría en sus remaches y por tanto no hay excentricidad en ellas.



No se observa ausencia aunque si mal estado (corrosión) de los remaches en algunas de las conexiones, predominando el deterioro en los remaches que conectan los elementos que convergen en los apoyos. Esto debido a la acumulación de maleza, tierra y mugre en estas zonas y por tanto la presencia constante de agua retenida.





No se observó aplastamiento de la platina de conexión, desgarramiento, cortes, fisuras o corrosión generalizada.





**CUADRO RESUMEN ELEMENTOS AFECTADOS POR LA CORROSIÓN,
PANDEO LOCAL Y ABOLLADURA POR IMPACTO.**

Puente 1	
<u>Elemento</u>	<u>Afectación en el modelo</u>
Vigas Longitudinales.	<p>Se redujeron en: 4 mm en el espesor de las aletas superiores y 1 cm a cada lado en el ancho de la aleta superior.</p> 
Vigas Transversales.	<p>Se redujeron en: 4 mm en el espesor de las aletas superiores y 1 cm a cada lado en el ancho de la aleta superior. Por corrosión.</p> 
Elemento Inferior Cercha Izquierda.	<p>Se redujo 1 cm de espesor al alma. Por corrosión.</p> 

Elemento 6-7	Se quitó el aleta izq. Superior. Por pandeo local.	
Elemento 9-8	Se quitó el aleta izq. Superior. Por pandeo local.	
Superior		
		
Inferior		
Lado Izquierdo (Rumbo Bocas - Sabana)		
Puente 2		
<u>Elemento</u>	<u>Afectación en el modelo (Todos por pandeo local del elemento).</u>	

<p>24-27</p>	<p>Se quitó aleta derecha.</p>	
<p>8-15</p>	<p>Se quitó aleta derecha posterior.</p>	

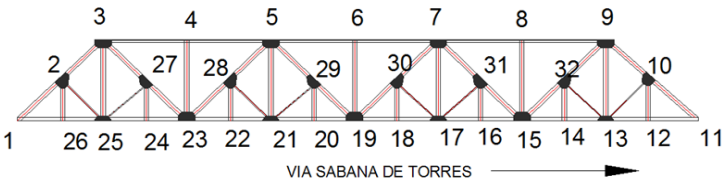
		
5-21	Se quitó aleta izquierda frontal.	
5'-21'	Se quitó aleta derecha e izquierda frontal.	
4-23	Se quitó aleta Izquierda frontal.	

<p>7'-30'</p>	<p>Se quitó aleta izquierda superior.</p>	
<p>7-17</p>	<p>Se quitó aleta derecha frontal.</p>	
<p>31-15</p>	<p>Se quietó aleta derecha inferior.</p>	
<p>10-11</p>	<p>Se quitó placa derecha inferior.</p>	

26-25	Se quitó aleta izquierda.	
-------	---------------------------	--

NOTA: Los números con apóstrofo (ej. 5') representan el mismo nodo de la otra cercha (cercha lado derecho).

Superior



Inferior

Lado Izquierdo (Rumbo Bocas - Sabana)

2. ALCANCES

Estudios	Alcance
Topográfico	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.
Hidrológico, hidráulico y de socavación	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 y geotécnico	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 de la superestructura del puente; se analizaron 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. Todas la medidas tomadas para

Estudios	Alcance
	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 y que las cargas aplicadas no incluyen cargas de sismo, quedando limitado a cargas verticales.

3. LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO

Se procede al levantamiento geométrico de los puentes en estudio teniendo en cuenta que las unidades mostradas en las diferentes figuras se encuentran en metros de no ser especificado lo contrario.

Se define el esquema general de la ubicación de los elementos de las cerchas para cada puente se observan en las figuras siguientes .

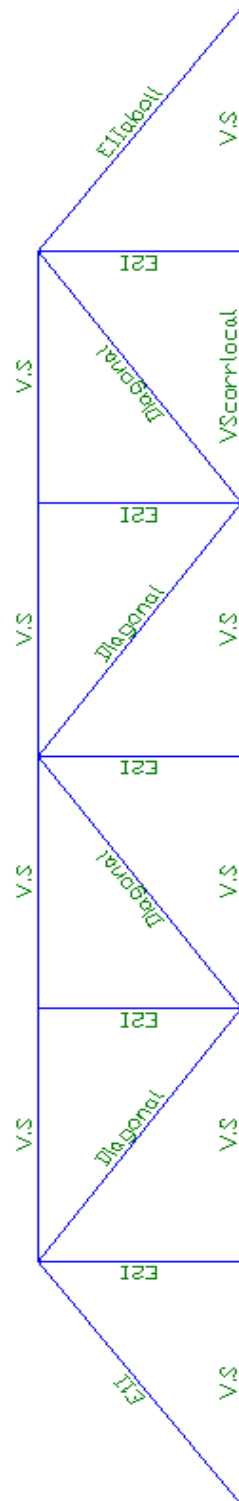


Figura 87. Esquema Puente 1. Fuente (Autores).

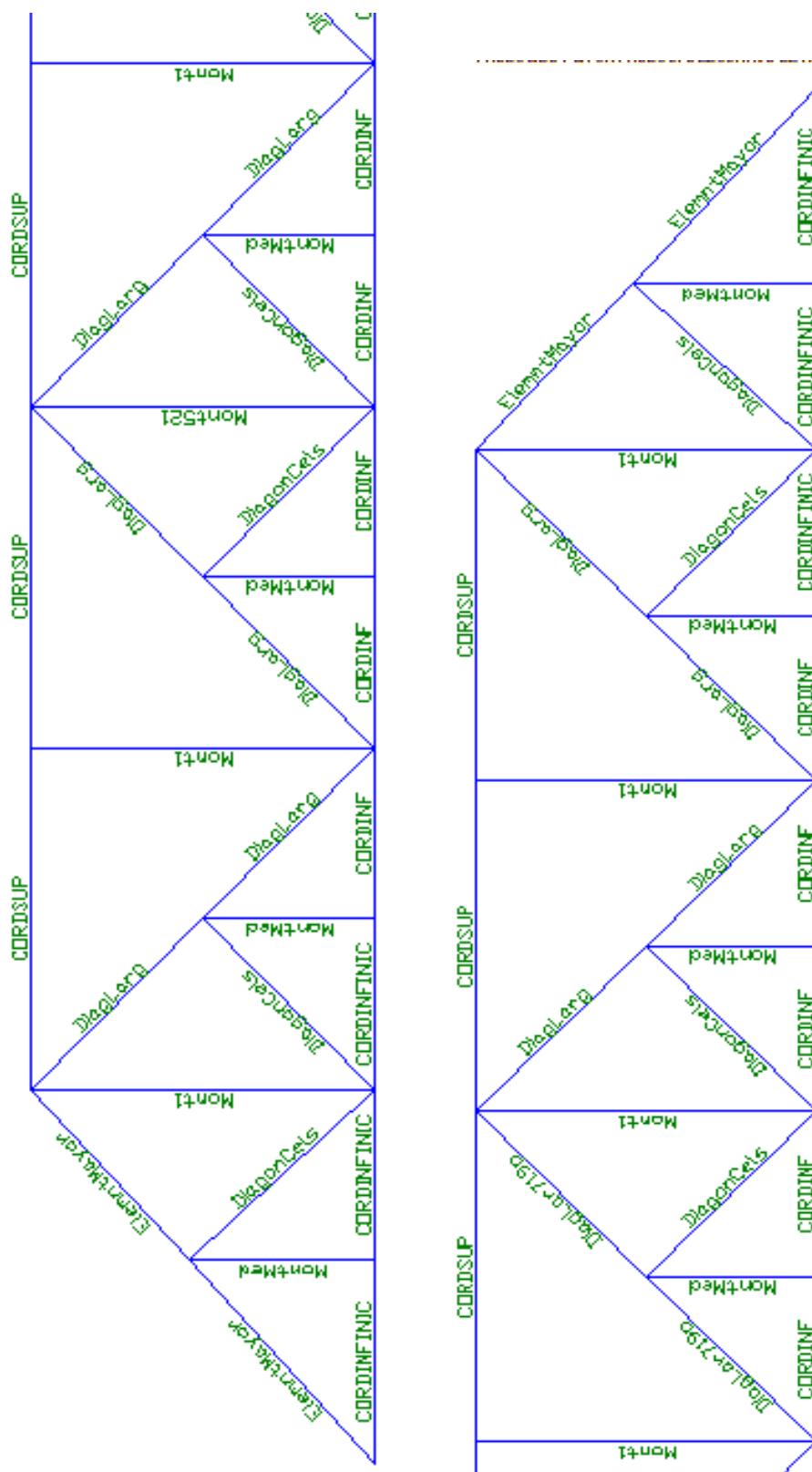


Figura 88. Esquema Puente 2. Fuente (Autores).

3.1.PUENTE 1

3.1.1. Luz, ancho, ancho libre y altura:

El Puente 1 cuenta con una luz de 24,6 metros, un ancho de 6,04 metros y la armadura tiene una altura de 3 metros.

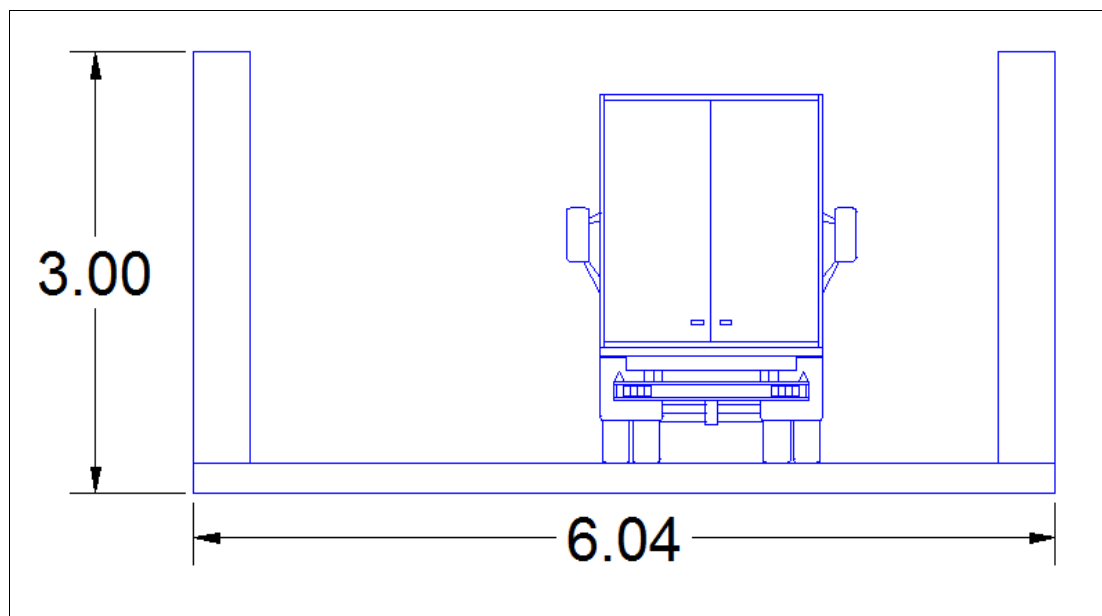
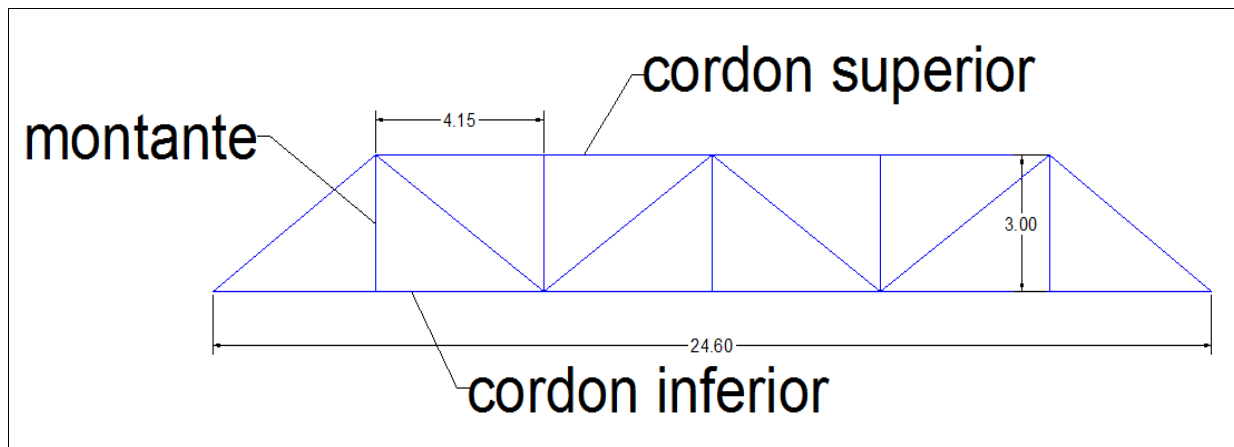


Figura 89. Puente 1. Luz, ancho, ancho libre y altura. Fuente (Autores).

3.1.2. Secciones transversales de los elementos: Para la ubicación de los diferentes elementos tenemos en cuenta la siguiente denominación de los nodos:

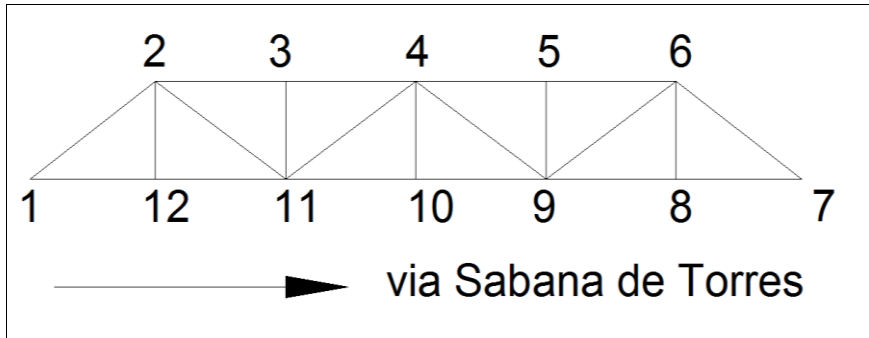


Figura 90. Denominación nodos de la armadura, Puente 1. Fuente (Autores).

El Puente tiene 4 tipos de secciones para los elementos así:

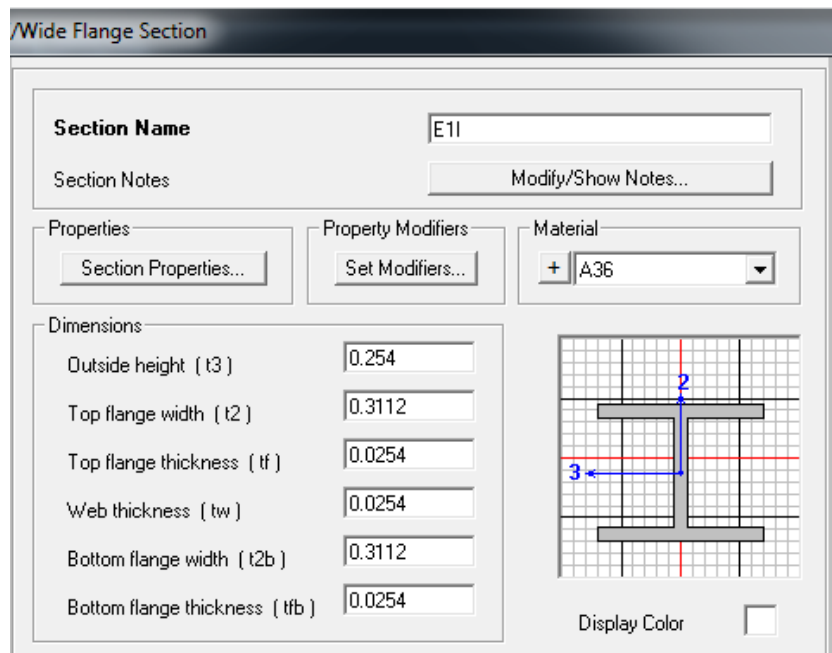


Figura 91. Elemento 1-2:

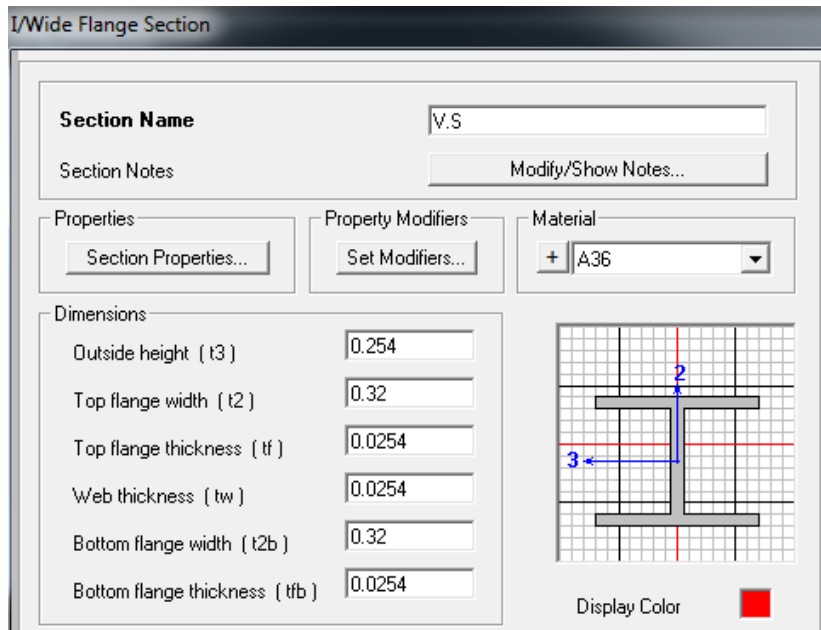


Figura 92. Elemento 1-12: Fuente (Autores).

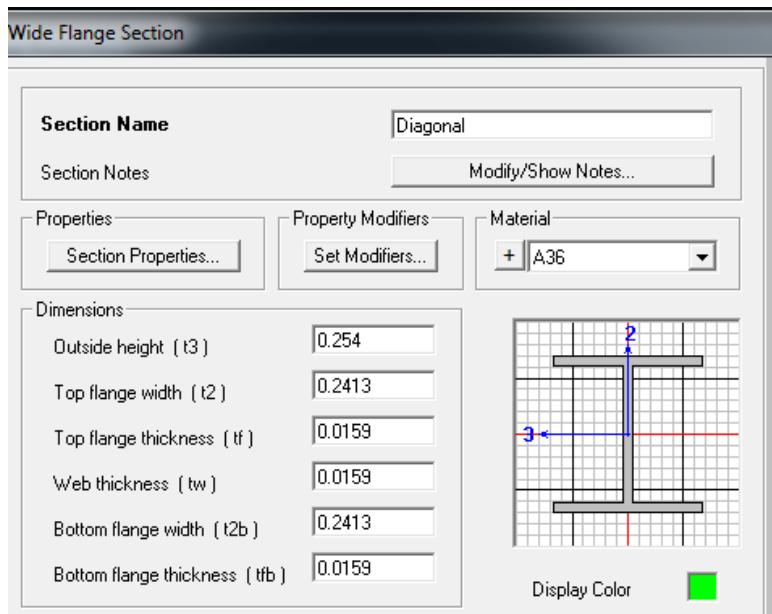


Figura 93. Elemento 11-2: Fuente (Autores).

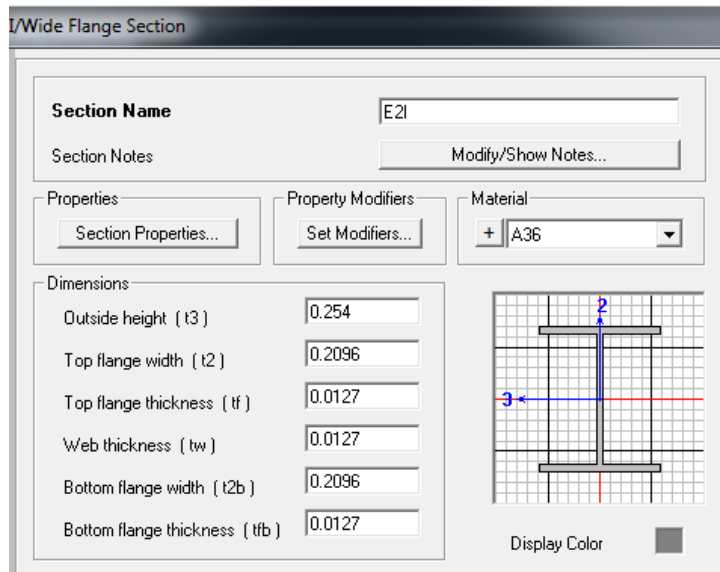


Figura 94.Elemento 2-1: Fuente (Autores).

3.1.3. Conexiones

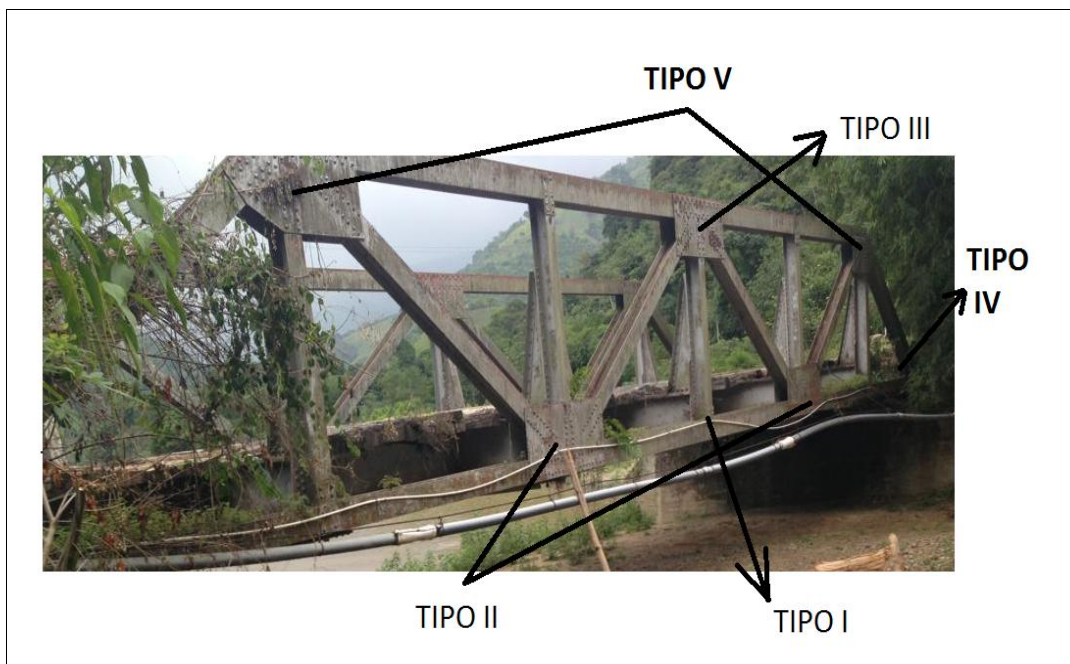


Figura 95. Nomenclatura de las conexiones, Puente 1. Fuente (Autores).

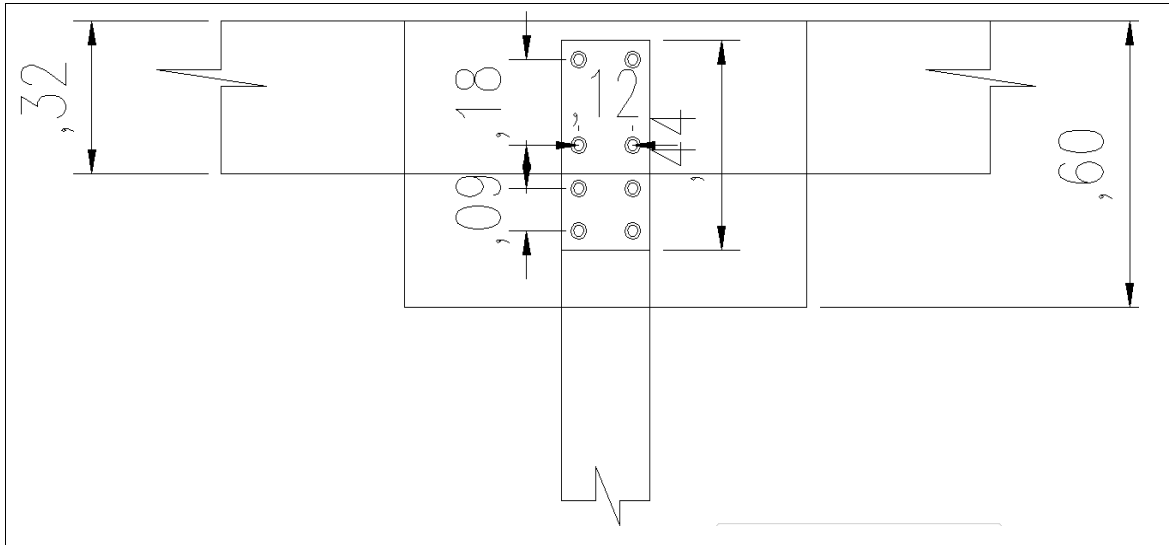


Figura 96. Conexión TIPO I, Punte 1. Fuente (Autores).

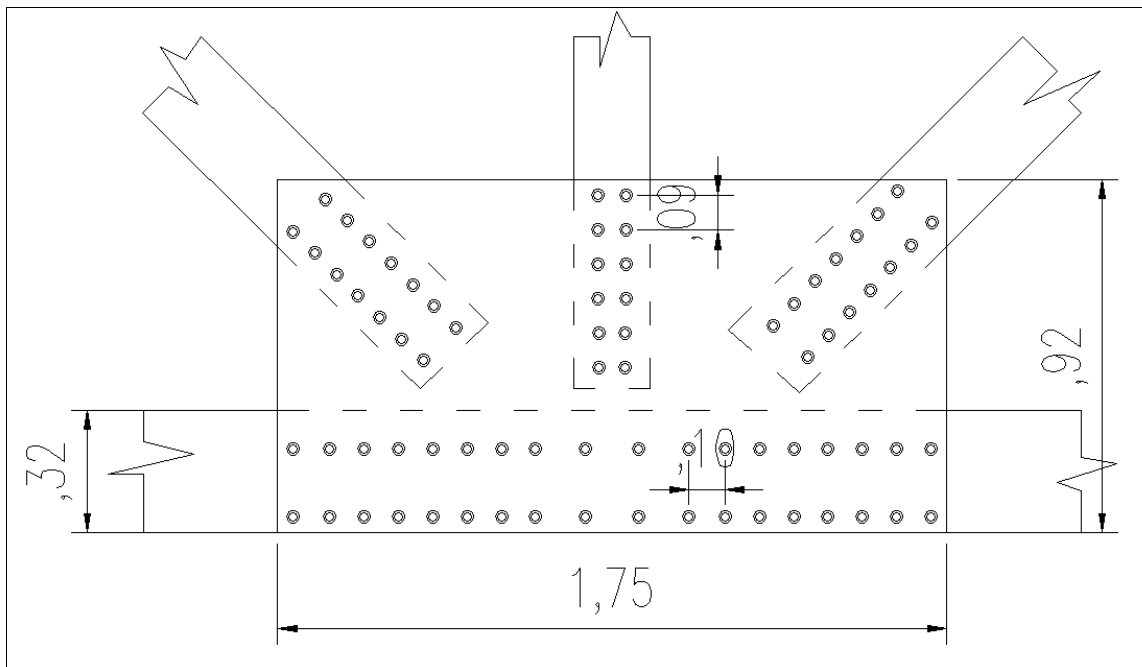


Figura 97. Conexión TIPO II, Punte 1. Fuente (Autores).

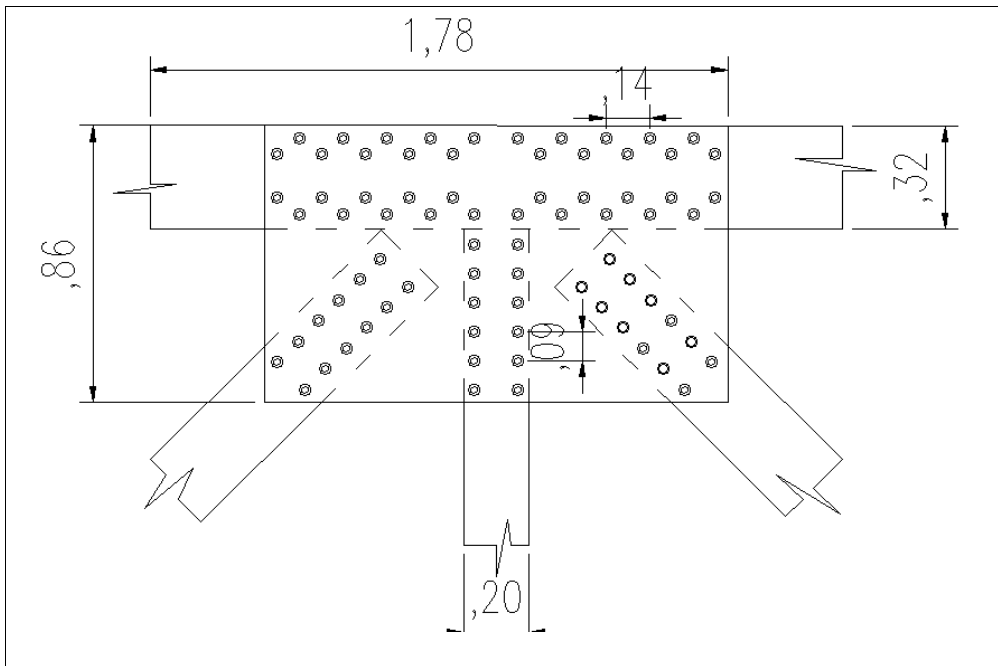


Figura 98. Conexión TIPO III, Puente 1. Fuente (Autores).

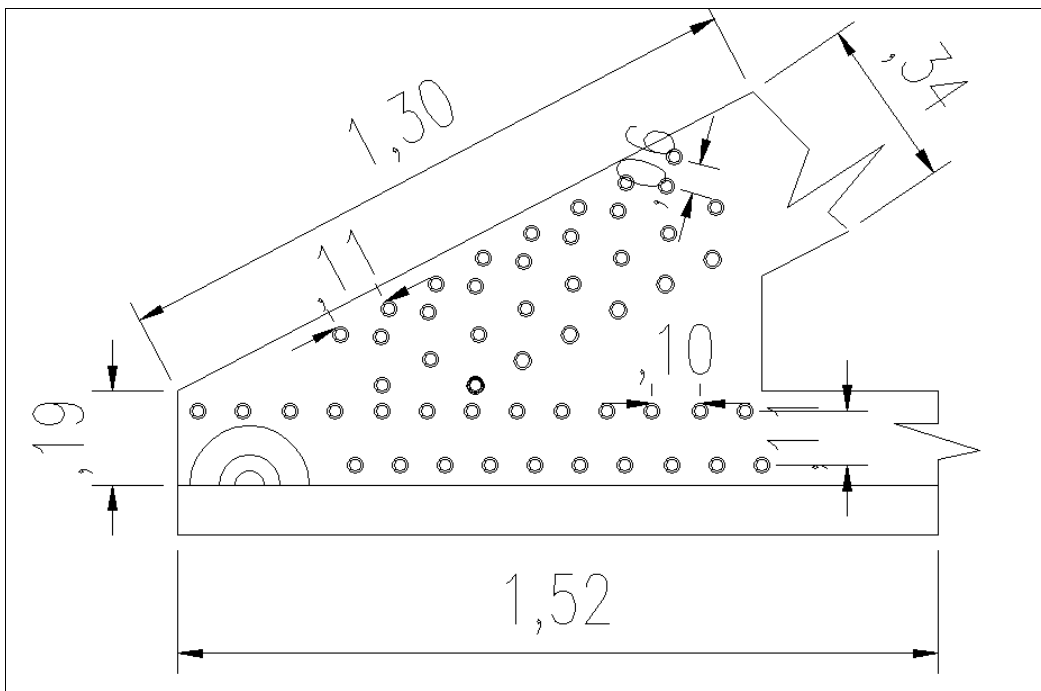


Figura 99. Conexión TIPO IV, Puente 1. Fuente (Autores).

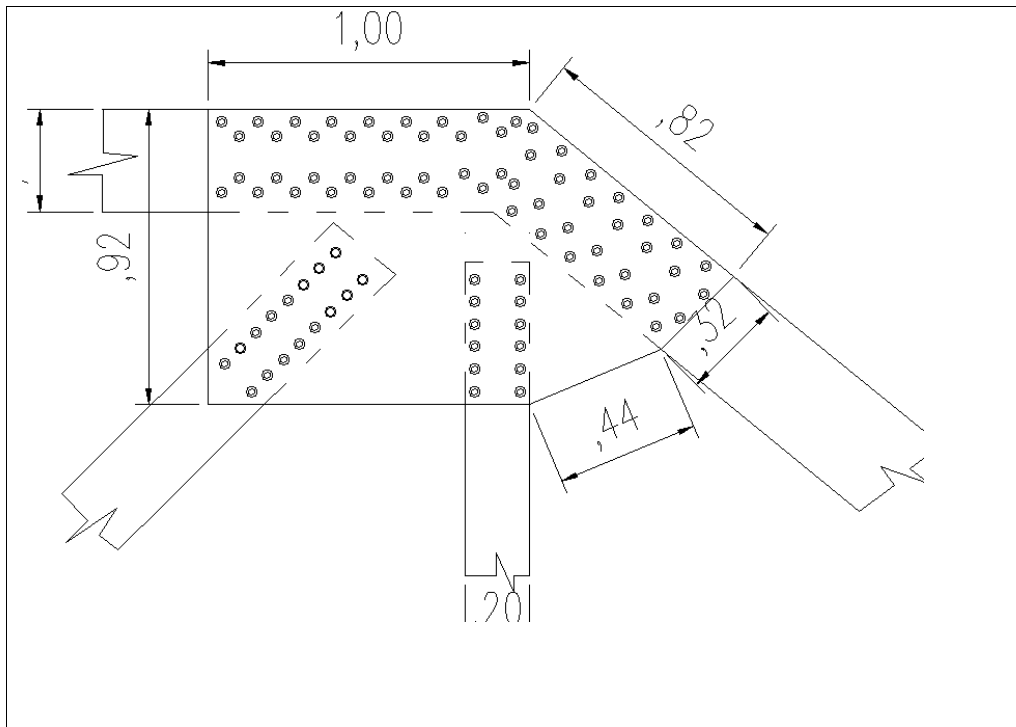


Figura 100. Conexión TIPO V, Puesto 1. Fuente (Autores).

3.2. Puente 2:

3.2.1. Luz, ancho, ancho libre y altura.

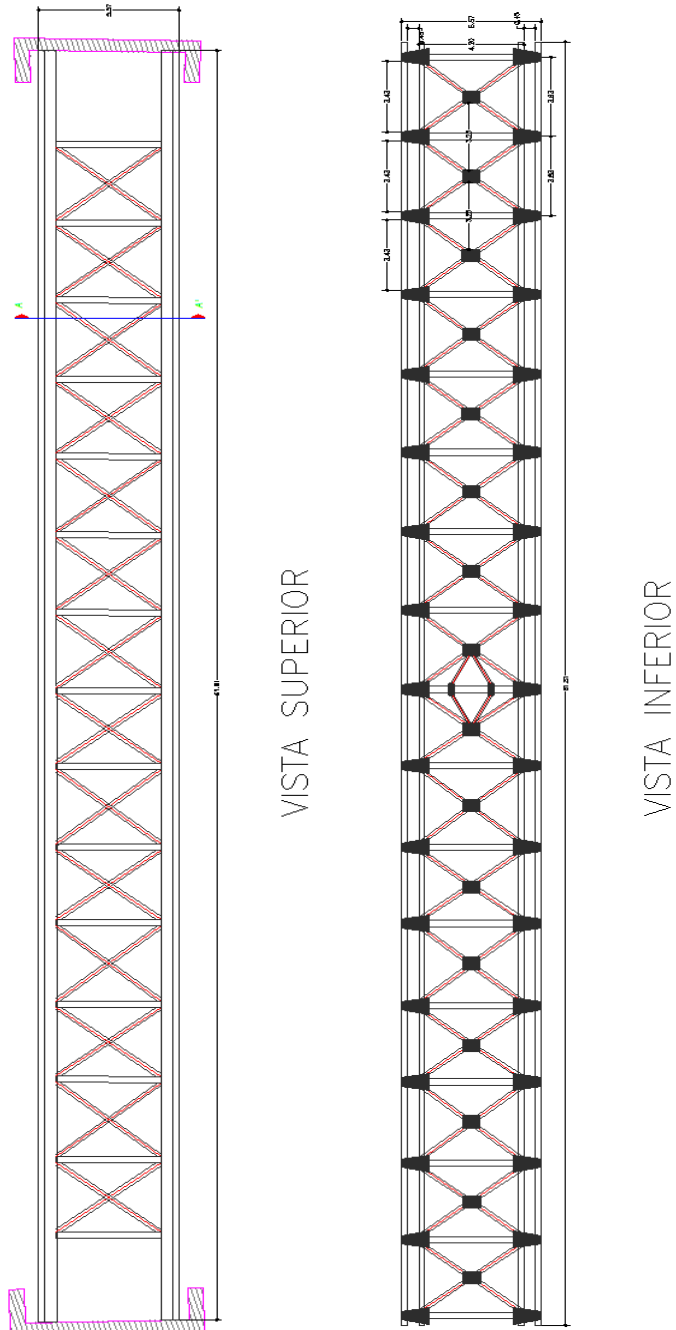


Figura 101. Puente 2 Luz, ancho, ancho libre y altura. Fuente (Autores).

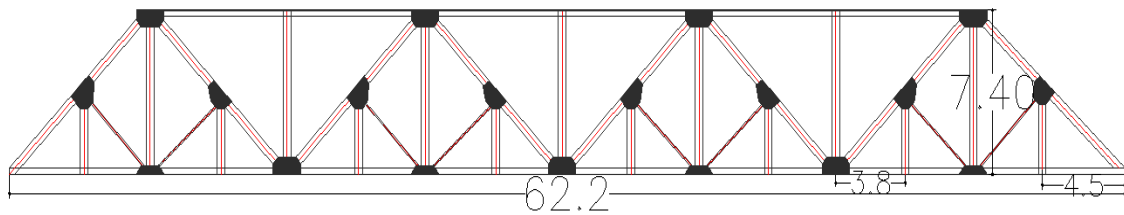


Figura 102. Vista lateral puente 2. Fuente (Autores).

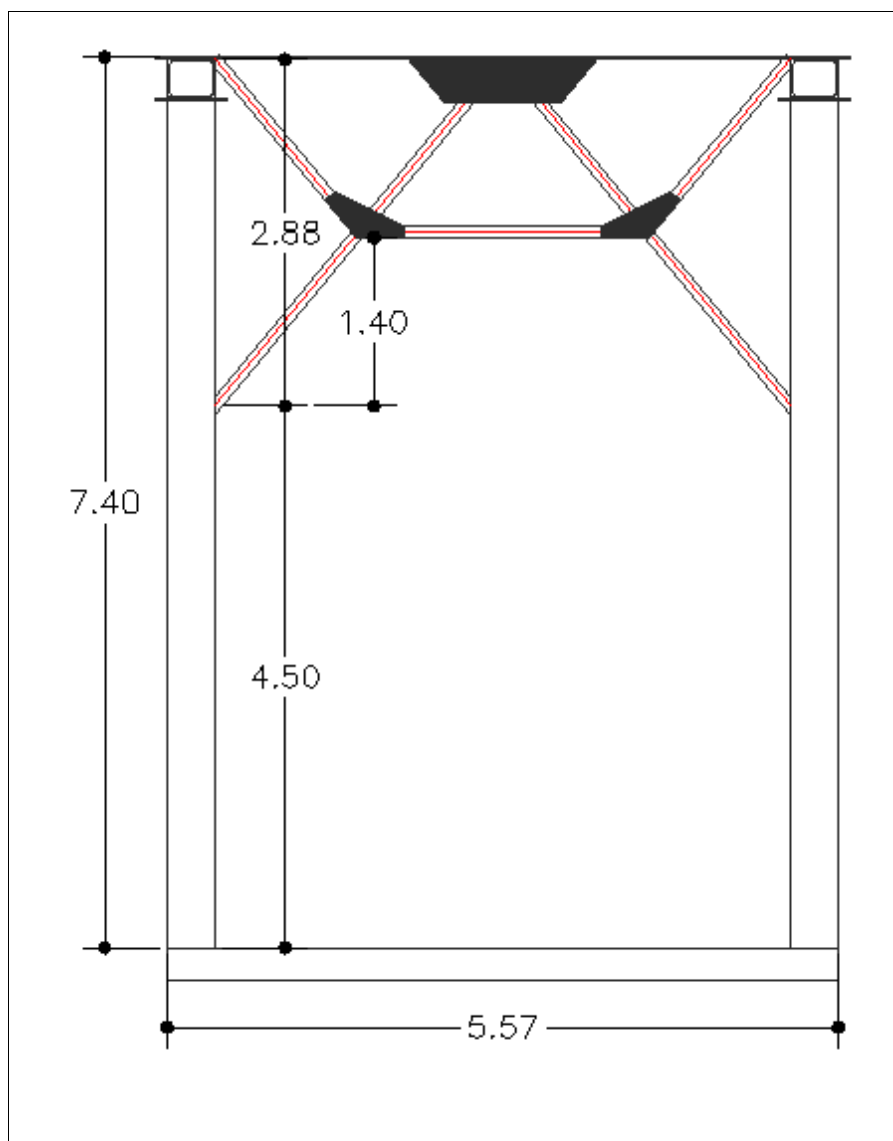


Figura 103. Corte A-A', Puente 2. Fuente (Autores).

Secciones transversales de los elementos:

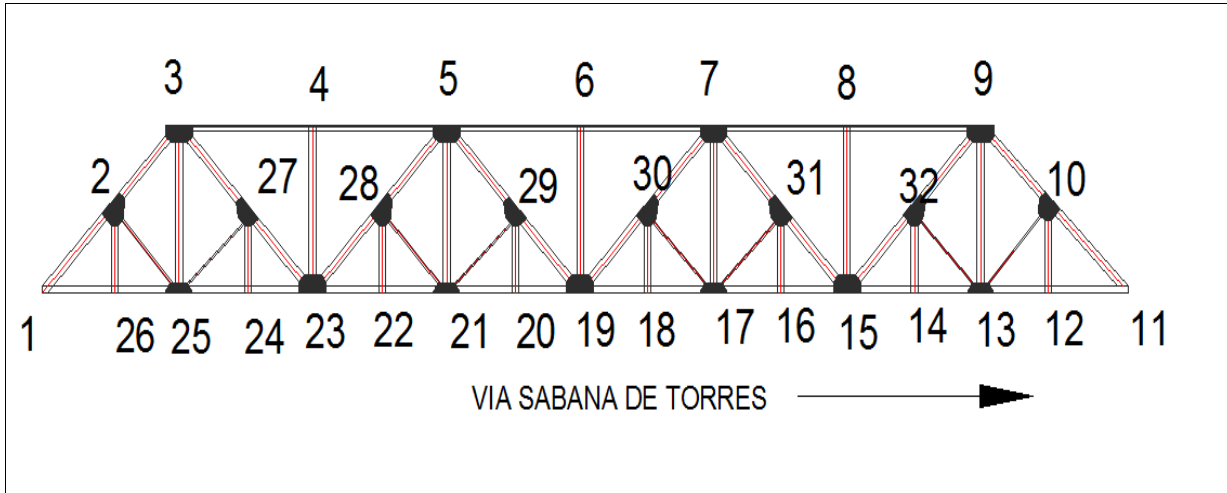


Figura 104. Denominación de los nodos en la armadura, Puente2. Fuente (Autores).

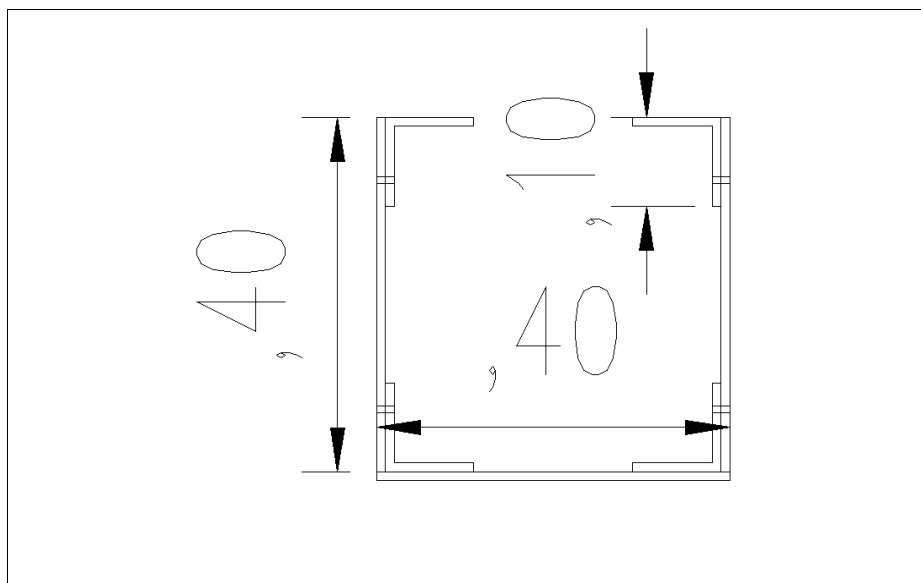


Figura 105. Sección del elemento tipo 1-2, Puente 2. Fuente (Autores).

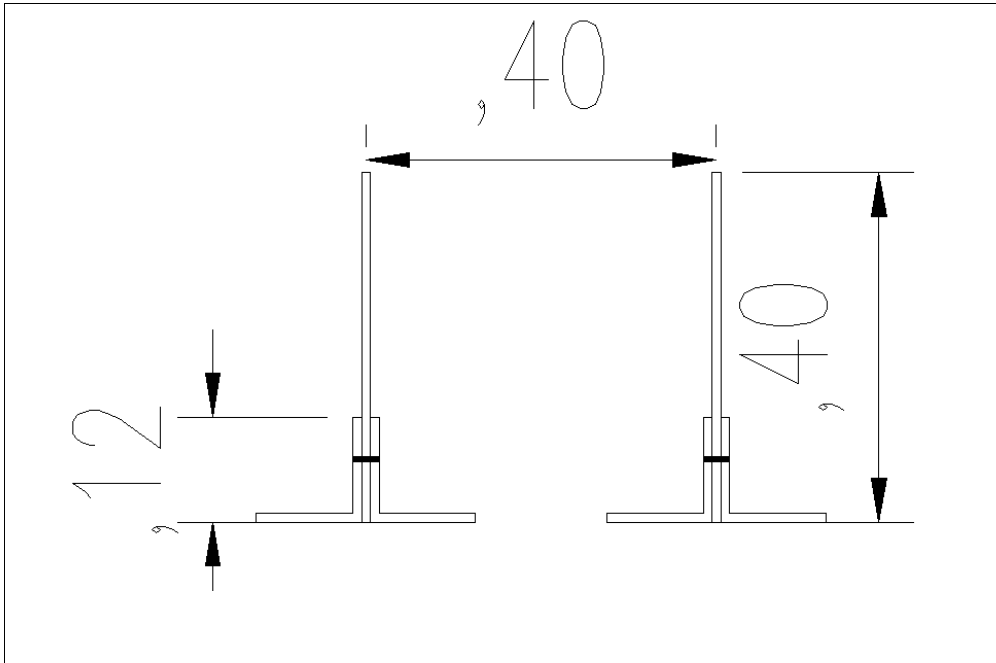


Figura 106. Sección del elemento tipo 1-26, Puente 2. Fuente (Autores).

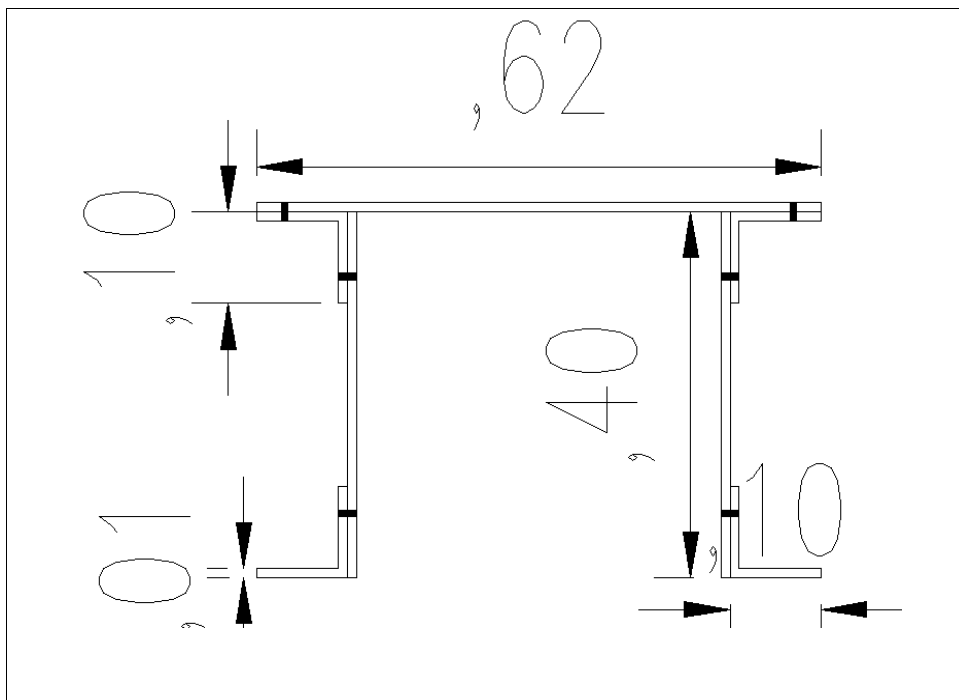


Figura 107. Sección del elemento tipo 3-4 (cordón superior), Puente 2. Fuente (Autores).

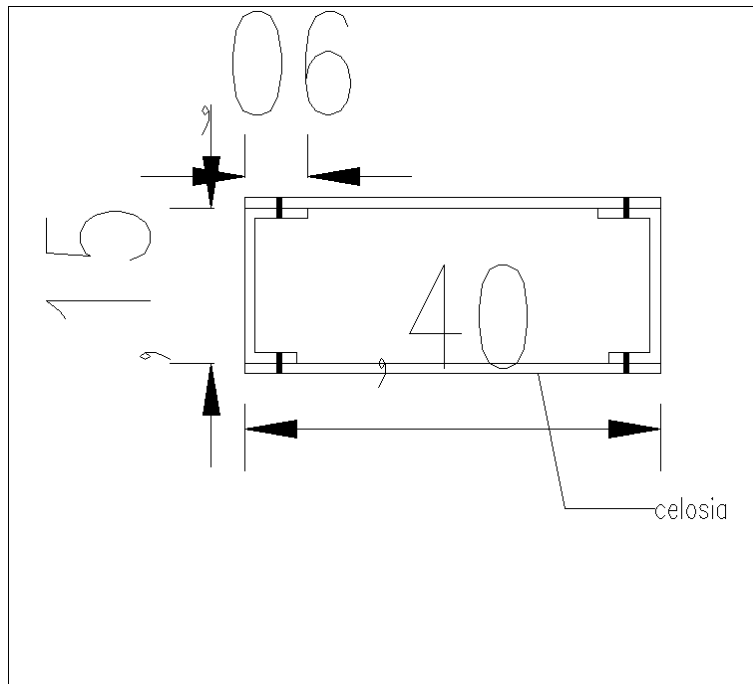


Figura 108. Sección del elemento tipo 2-25, Puente 2. Fuente (Autores).

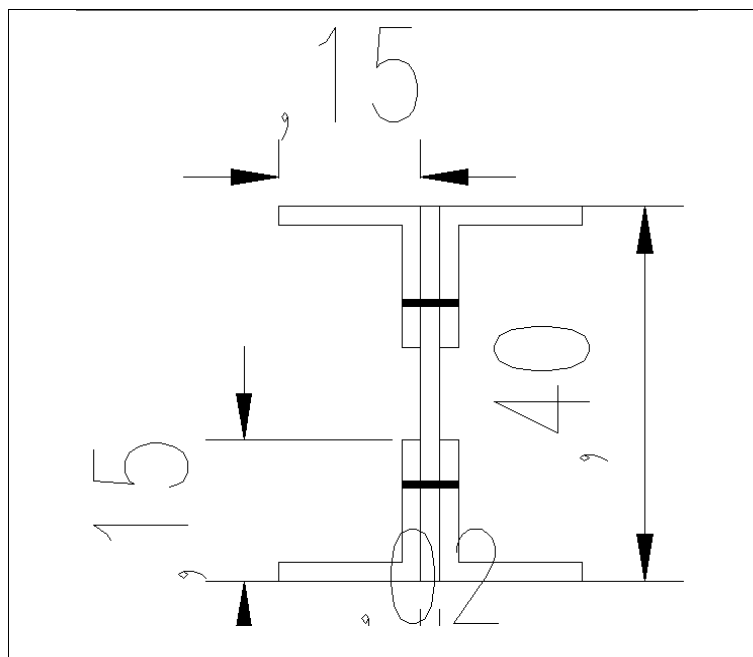


Figura 109. Sección del elemento tipo 3-23(Diagonal Larga), Puente 2. Fuente (Autores).

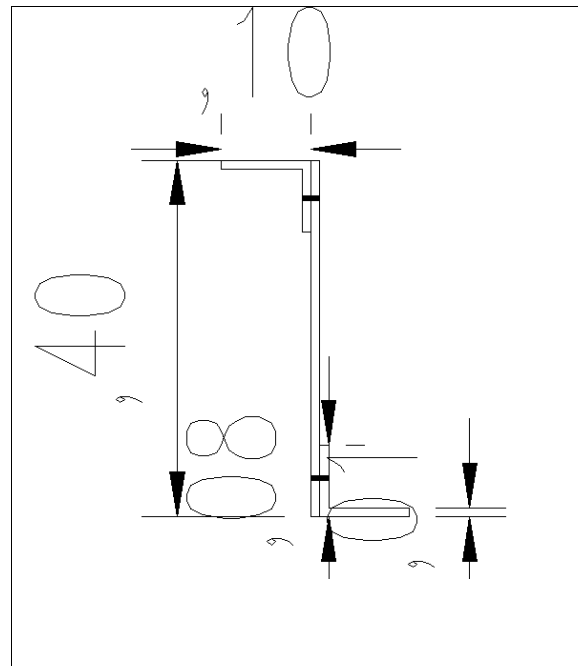


Figura 110. Sección del elemento tipo 2-26, Puente 2. Fuente (Autores).

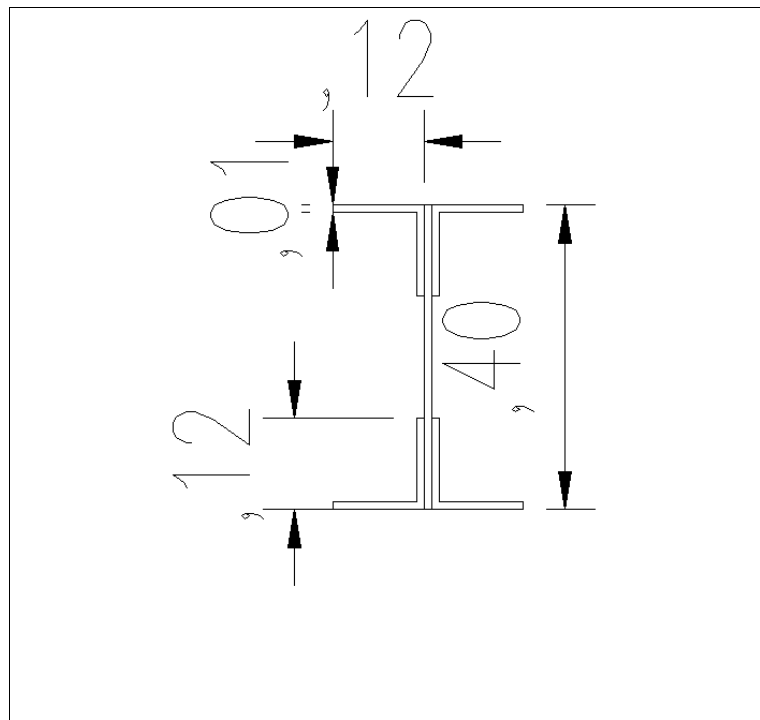


Figura 111. Sección del elemento tipo 3-25, Puente 2. Fuente (Autores).

3.2.3.Conexiones: Debido a la altura del Puente, no fue posible hacer la medición adecuada de las conexiones tipo de la estructura ubicadas en la parte

mas alta, sin embargo se hicieron bosquejos que representan las conexiones de los elementos:

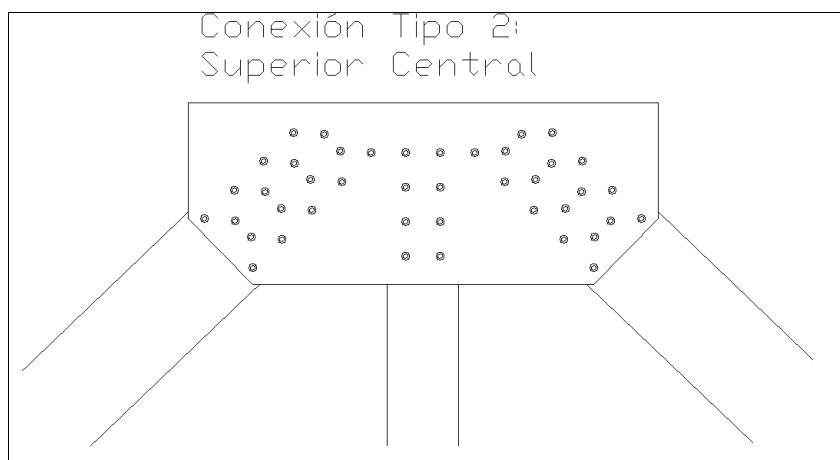
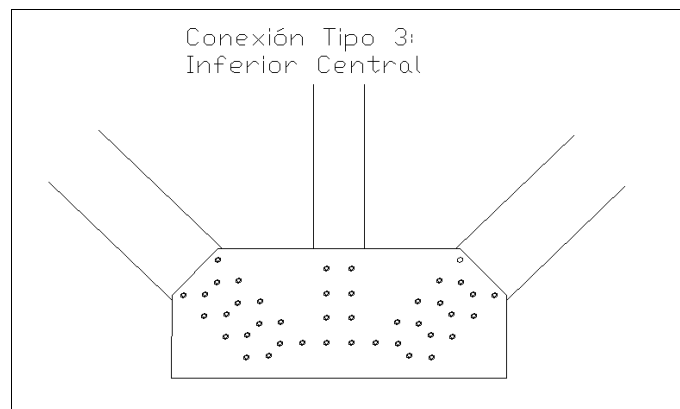
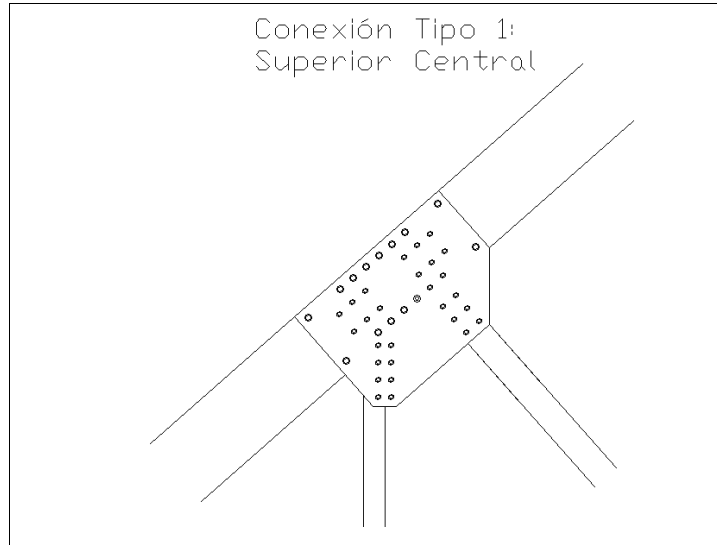


Figura 112. Conexiones .Fuente (Autores).

4. MODELAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS EN SAP-2000

De acuerdo con el código colombiano de puentes de 1995 las estructuras para puentes deben diseñarse para que soporten las cargas y fuerzas como lo son: carga viva, carga muerta, impacto o efecto dinámico de la carga viva, carga de viento y demás fuerzas que se puedan presentar y deban ser consideradas en el diseño como son: la fuerza longitudinal de la carga viva, fuerza centrífuga, fuerzas térmicas, empuje de tierras, flotación, retracción del fraguado, acortamiento de la estructura, fuerzas de montaje, fuerzas de la corriente de agua y fuerzas sísmicas.

4.1.CARGA MÍNIMA

Los puentes ubicados en las vías que forman parte de la Red Nacional de Carreteras, definida en la ley No 105 de 1993, deben diseñarse para la carga C40-95.

4.2.CARGA C40-95

Consiste en un camión de tres ejes. La carga se designa con la letra C seguido por un número que indica el peso total del vehículo en toneladas. La distancia variable entre los ejes posteriores tiene por objeto simular el paso de los vehículos que transitan hoy día. La distancia variable da también una carga más apropiada para luces continuas donde los ejes con cargas más pesadas pueden colocarse sobre las luces adyacentes de tal manera que produzcan momentos máximos negativos.

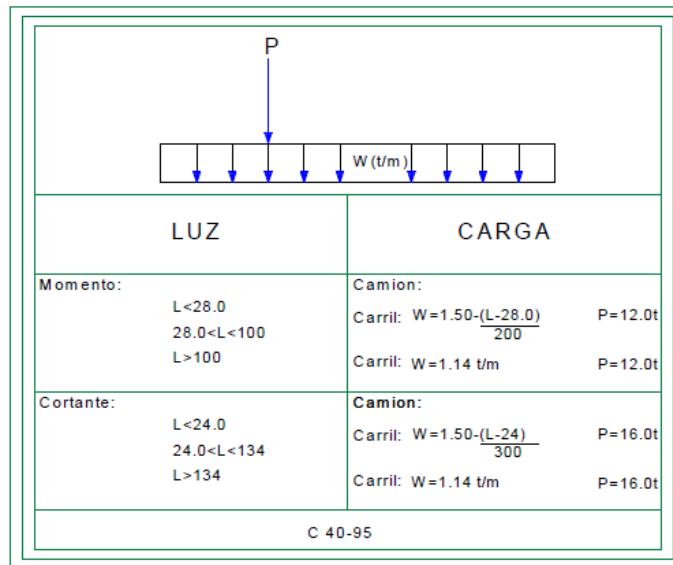


Figura 113. Líneas de carga camión C40-95.

Fuente: Código Colombiano de Diseño de Puentes.

4.3. MODELAMIENTO PUENTE 1:

En la visita a campo se determino que los apoyos del puente son de segundo grado en ambos extremos, consideración que fue tomada a la hora de realizar el modelo ya que esta condicion es mas critica para el funcionamiento de la estructura:



Figura 114. Condición de apoyo puente 1. Fuente (Autores).

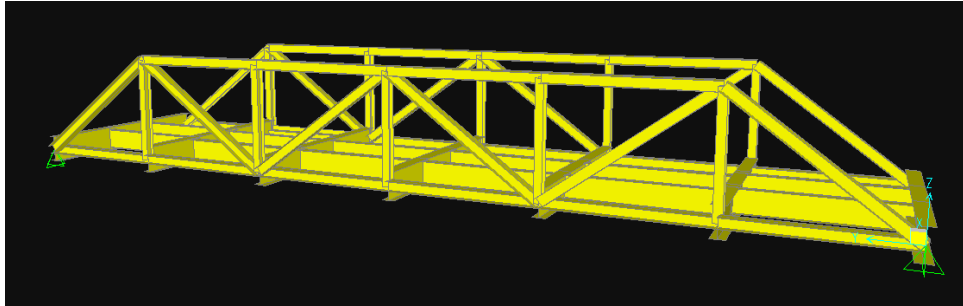


Figura 115. Modelo tridimensional Puente 1. Fuente (Autores).

Para simular el paso del vehículo de carga C40-95 en las hipotéticas diferentes situaciones en que pudiera atravesar el puente se establecieron tres posibles situaciones:

La primera situación corresponde al paso del vehículo por el centro, la segunda situación plantea el paso del vehículo por el lado derecho y la tercera situación por el lado izquierdo del ancho de vía transitable; teniendo en cuenta que el puente tiene un ancho de 6.1 metros y en caso de habilitarse para tránsito vehicular se construyera un tablero con su respectivo andén con un ancho de 0.5 metros y baranda para paso peatonal, entonces el espacio transitable sería de 4.8 metros y dichas hipótesis en el modelo se muestran de la siguiente manera.(ver figura 116)

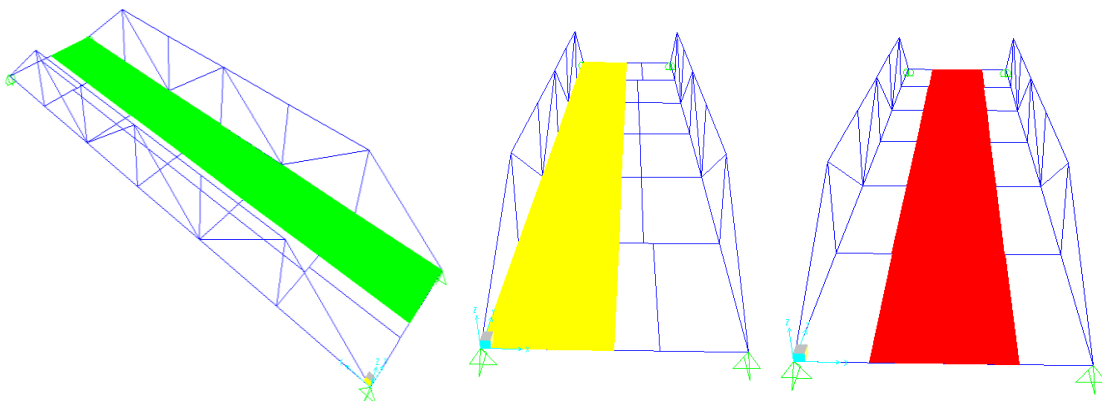


Figura 116. Lane puente 1. Hipótesis de tránsito. Fuente (Autores).

Una vez establecidos los carriles mediante la función *Lane* por donde probablemente transitarían los vehículos, se configura el vehículo C40-95 en el programa:

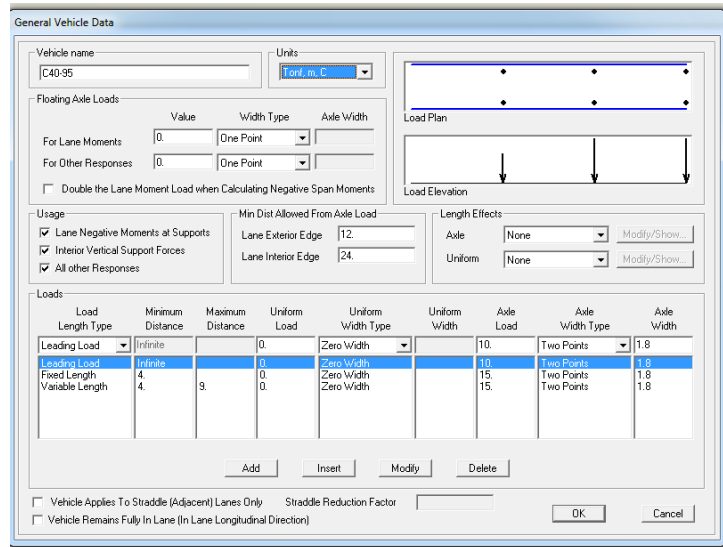


Figura 117. Introducción camión de carga C40-95. Fuente (Autores).

Una vez establecido el vehículo y los carriles de transito procedemos a establecer el tren de carga, que en este caso coincide con un solo vehículo del tipo ya establecido:

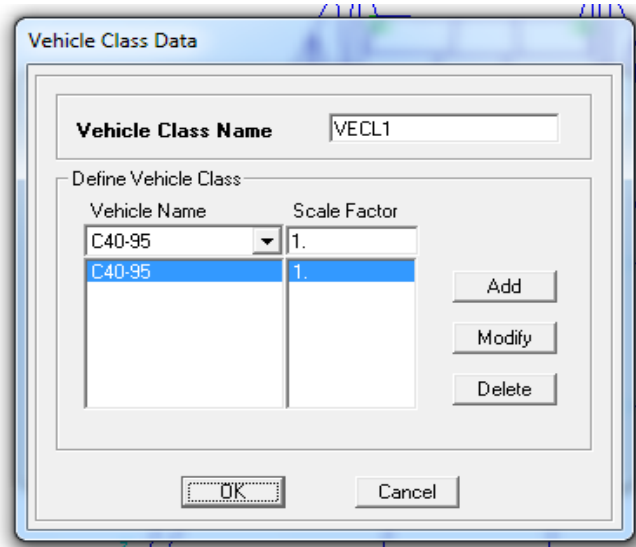


Figura 118. Carga de Vía. Fuente (Autores).

Con el tren de carga establecido, generamos el caso de carga *moving load* con el tren de carga que hemos configurado previamente:

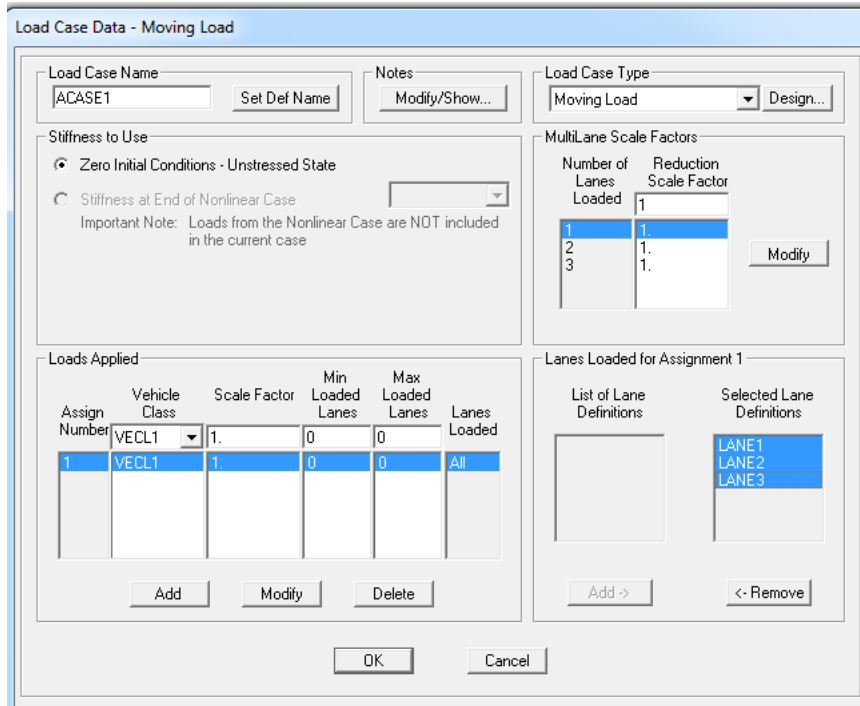


Figura 119. Moving Load Sap200. Fuente (Autores).

Previamente liberamos los grados de libertad correspondientes a los momentos ya que las vigas transversales del puente no transfieren momento a la armadura, por tanto esta solo está sometida a fuerzas axiales de compresión y tracción:

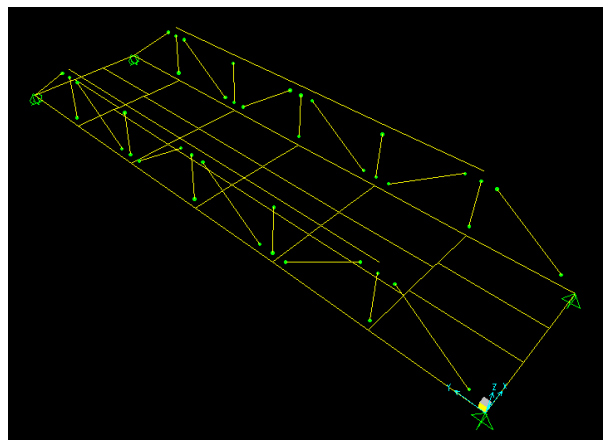


Figura 120. Liberación grados de libertad puente 1. Fuente (Autores).

Adicional a esto tenemos en cuenta el peso del tablero en caso de su posible construcción en el futuro, al hacer esta consideración estamos trabajando una carga más elevada que la que actualmente soporta el puente con el tablero provisional; esta condición es más crítica para la estructura y por tanto nuestro análisis tendrá un factor más alto de seguridad:

4.3.1 Combinaciones de carga.

Para el diseño la combinación más desfavorable es (Tabla A.3.12-1) del Código Colombiano de Puentes de 1995:

- Grupo (I) = $1.3D + 2.171*(L + \text{Impacto})$; $D = \text{Carga Muerta}$, $L = \text{Carga viva}$
- Grupo (I) = $1.3D + 2.8223*(L)$

Esta mayoración de cargas la introducimos al programa con la función *load combination* y de esta analizamos los resultados obtenidos.

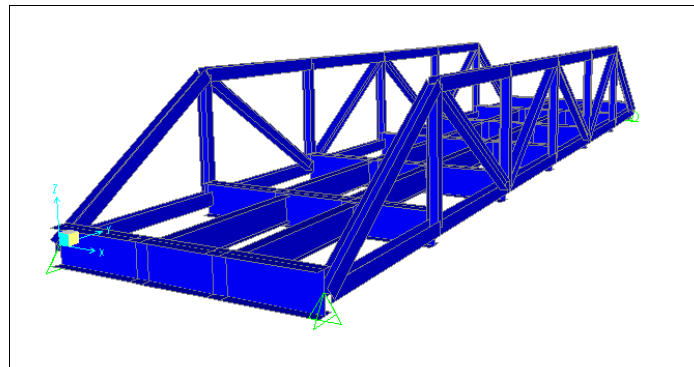


Figura 121. Modelo final con elementos extruidos. Fuente (Autores).

4.3.2. Carga de Impacto. Otra carga que debemos tener en cuenta es la carga de impacto, la cual según el código colombiano de Puentes se halla así:

$$\text{Impacto} = \frac{16}{L + 40}$$

Ecuación 1.

$$Impacto = \frac{16}{24.6 + 40} = 0.247 ; L = Luz del Puente$$

Ecuación 2

4.3.3. Carga de Tablero. Considerando que a futuro se construyera el tablero adecuado y necesario para el puente, se tuvo en cuenta esta carga en el modelo. Se supuso un tablero de concreto reforzado con un peso uniformemente distribuido de 4.8 KN/m² y se cargó sobre las vigas longitudinales y transversales con el criterio de adherencia por elemento.

4.4. MODELAMIENTO PUENTE 2:

En la visita a campo se observó que el apoyo esta la estructura en contacto con platina del apoyoal estribo (ver figura 123); por efectos de corrosión y repetitivos ciclos de carga y descarga que ha sufrido la estructura es posible pensar que ya el apoyo trabaja como un apoyo de segundo grado, consideración que fue tomada en cuenta a la hora de realizar el modelo ya que esta condicion es mas critica para el funcionamiento de la estructura:



Figura 122. Apoyo puente 2. Fuente (Autores).

Para el puente 2 de la misma manera que para el puente 1 realizamos la liberación de los grados de libertad para tener en cuenta que las vigas transversales no transfieren momento a los elementos de las armaduras:

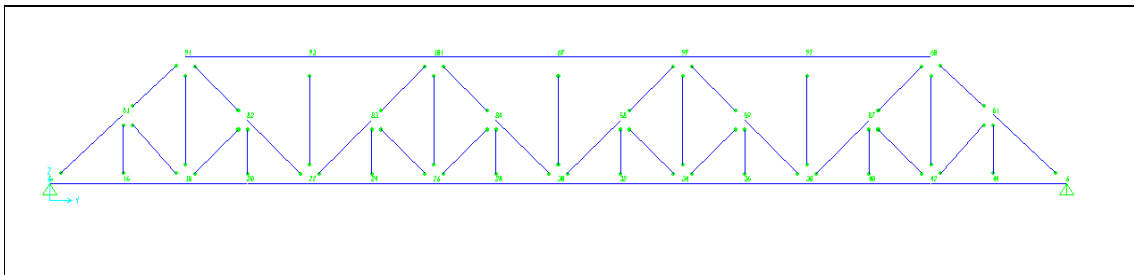


Figura 123. Liberación grados de libertad cerca puente 2. Fuente (Autores).

El camión o carga de diseño es el C40-95 de acuerdo a lo establecido por el código colombiano de Puentes de 1995, pero debemos tener en cuenta que la luz del puente se encuentra entre los $28 < L < 100$ por tanto el modelo se carga con una carga distribuida en función de la luz hallado basándonos en la tabla mostrada en este mismo capítulo (Figura 113) y se tienen en cuenta además los valores de cargas puntuales los cuales son también introducidos en el programa:

General Vehicle Data

Vehicle name: C40-95 Units: Conf. m. C

Floating Axle Loads

	Value	Width Type	Axle Width
For Lane Moments	12	One Point	
For Other Responses	16	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: 0.3048

Lane Interior Edge: 0.6096

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
Trailing Load	Infinite		1.5	Zero Width				
Trailing Load	Infinite		1.5	Zero Width				

Vehicle Applies To Straddle (Adjacent) Lanes Only

Vehicle Remains Fully In Lane (In Lane Longitudinal Direction)

Straddle Reduction Factor: []

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

Figura 124. Carga viva puente 2. Fuente (Autores).

Este puente debido a su geometría se caracteriza por ser un puente angosto aportando un ancho interno libre de apenas 4.8 metros; dejando un espacio libre para el andén de paso peatonal de 0.5 metros tenemos finalmente un ancho transitable de 4.3 metros.

Tomando el ancho de 4.3 metros planteamos las hipótesis de que el vehículo transite por el centro, lado derecho y por ultimo lado izquierdo del espacio transitable tomando siempre el ancho del carril la medida reglamentaria de 3.05 metros:

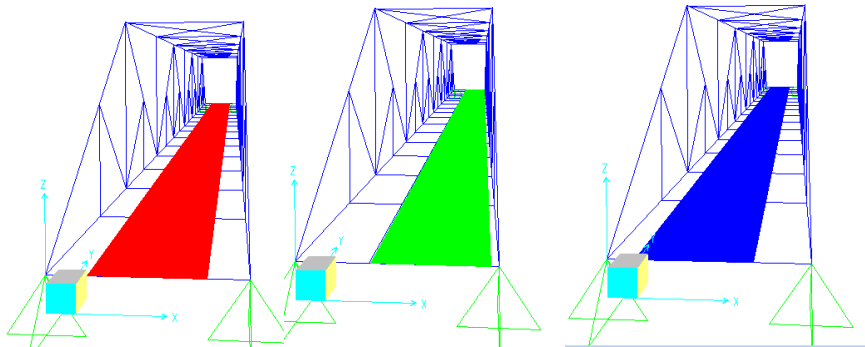


Figura 125. Lane puente 2. Hipótesis de tránsito. Fuente (Autores).

Carga de impacto:

$$Impacto = \frac{16}{L + 40}$$

Ecuación 3.

$$Impacto = \frac{16}{62.2 + 40} = 0.156$$

$L = Luz del Puente$

Ecuación 4

4.3.3. Carga de Tablero:

Considerando que a futuro se construyera el tablero adecuado y necesario para el puente, se tuvo en cuenta esta carga en el modelo. Se supuso un tablero de concreto reforzado con un peso uniformemente distribuido de 4.8 KN/m² y se

cargó sobre las vigas longitudinales y transversales con el criterio de aferencia por elemento.

Para el diseño la combinación más desfavorable es (Tabla A.3.12-1):

- $Grupo (I)=1.3D+2.171*(L + Impacto)$
- $Grupo (I)=1.3D+2.8223*(L)$

Esta mayoración de cargas la introducimos al programa con la función *load combination* y de esta analizamos los resultados obtenidos:

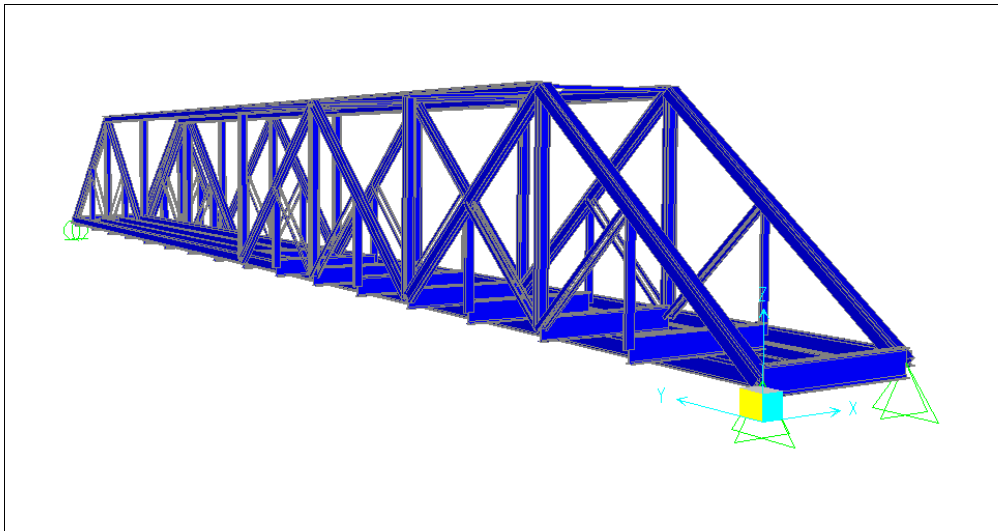


Figura 126. Modelo final Puente 2, idealización. Fuente (Autores).

Para tener en cuenta el efecto de la corrosión, envejecimiento y pandeos locales que se evidenciaron en cada puente, el modelamiento de las estructuras se realizó con base en unas modificaciones de algunos elementos de acuerdo a la estimación y localización de los daños encontrados, disminuyendo propiedades de los materiales y geometría de las secciones de los elementos afectados. La consideración del envejecimiento se realizó disminuyendo en un 20% el módulo de elasticidad del acero junto con su respectiva resistencia a la fluencia y resistencia última. En cuanto a los efectos de corrosión y pandeos locales localizados se eliminaron o redujeron partes de

la sección transversal consideradas como no aportantes a la resistencia del elemento y se hizo de acuerdo a la tabla que se puede encontrar en el .
CUADRO RESUMEN ELEMENTOS AFECTADOS POR LA CORROSIÓN,
PANDEO LOCAL Y ABOLLADURA POR IMPACTO.

5. ANÁLISIS DE ELEMENTOS

Se analizaron los elementos solicitados a flexión, carga de tracción y compresión, correspondiendo a las vigas transversales, vigas longitudinales y elementos solicitados por tracción y compresión axial de las cerchas. En cuanto a tracción axial se hizo chequeo de: Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta, estado límite para rotura por tensión sobre el área neta y estado límite para rotura por bloque de cortante. Para compresión axial se tuvo en cuenta: Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos, Pandeo por flexión de miembros armados y Pandeo por flexión de miembros con elementos esbeltos. Finalmente en elementos sometidos a flexión simple como las vigas longitudinales y transversales se tuvo en cuenta: La plastificación de la sección, Pandeo lateral – torsional, Pandeo local de la aleta a compresión, Fluencia en la aleta a compresión y Fluencia de la aleta a tensión.

Se tuvo en cuenta una reducción del 20% por envejecimiento en cuanto a fluencia del acero, resistencia última del acero y módulo de elasticidad. Se toma este porcentaje basándonos en la consulta de artículos [B] de estudios hechos a Puentes que datan de la misma fecha de construcción y también de tipo ferroviario, suponiendo que el acero implementado es en estos puentes es de características similares a las de nuestros puentes en estudio y el cual clasifican como acero S 275 JO con resistencia última 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 reducido con el fin de trabajar con un margen de seguridad siendo conservadores en los resultados obtenidos. Los resultados del análisis de cada elemento se encuentran en el anexo 2.

6. CHEQUEO SOLICITACIÓN Vs. RESISTENCIA

RESISTENCIA Vs. SOLICITADO

Puente 1

Num.	Sección	SOLICITADO						RESISTENCIA			VERIFICACIÓN		
		Frame	F. Comp. [KN]	Frame	F. Trac. [KN]	Frame	F. Mom. [KN-m]	R. Comp. [KN]	R. Trac. [KN]	R. Mom. [KN-m]	Comp.	Trac.	Mom.
1	DIAGONAL	37	-624,17	36	1063,03	36	2,97	1335,05	2151,50		Ok	Ok	NA
2	E1I ABOLL	25	-1491,45	25	-525,60	25	4,39				NA	NA	NA
3	E1I	24	-1512,46	22	-528,88	22	5,25	3065,90			Ok	NA	NA
4	E2I	32	-9,44	33	452,71	26	0,00	1222,30	1581,70		Ok	Ok	NA
5	V INF	80	-8,25	73	37,34	71	476,44			1030,22	NA	NA	Ok
6	VS CORR LATER	12	-494,66	10	754,90	10	23,64	3101,40			Ok	NA	NA
7	VS CORR LOC	7	-474,70	7	17,23	7	16,74				NA	NA	NA
8	VS	16	-1885,17	4	761,27	3	28,03		3727,40		NA	Ok	NA
9	VT	61	-2,86	55	3,96	56	1109,91			3096,70	NA	NA	Ok

Puente 2

Num.	Sección	SOLICITADO						RESISTENCIA			VERIFICACIÓN		
		Frame	F. Comp. [KN]	Frame	F. Trac. [KN]	Frame	F. Mom. [KN-m]	R. Comp. [KN]	R. Trac. [KN]	R. Mom. [KN-m]	Comp.	Trac.	Mom.
1	Cord Inf	58	-916,43	127	1656,68	132	105,12	6134,80	6911,90		Ok	Ok	NA
2	Cord Inf Corr Loc	124	-889,08	0	9,00	124	46,79				NA	NA	NA
3	Cord Inf Inic	21	-925,20	0	9,00	147	52,64	2107,70	2268,90		Ok	Ok	NA
4	Cord Sup	30	-4526,43	0	9,00	30	56,92	7603,60			Ok	NA	NA
5	Diag Lar 715	53	-1420,10	0	9,00	53	5,50				NA	NA	NA
6	Diag Lar 719P	11	-297,65	12	728,10	11	5,50	2639,12	2468,90		Ok	Ok	NA
7	Diag Lar	151	-1473,64	4	1983,25	43	6,66				NA	NA	NA
8	Diagon Cels	103	-362,33	0	9,00	0	4,00	806,30	1258,90		Ok	Ok	NA
9	Element Mayor 911P	64	-2850,32	0	9,00	64	5,99	3012,30	2866,90		Ok	Ok	NA
10	Element Mayor	153	-2938,86	0	9,00	153	6,63				NA	NA	NA
11	Mont 1	68	-46,25	234	708,87	0	4,00				NA	NA	NA
12	Mont 423	62	-44,41	0	9,00	0	4,00	432,50	1481,80		Ok	Ok	NA
13	Mont 521	0	9,00	29	700,72	0	4,00				NA	NA	NA
14	Mont 521P	0	9,00	28	679,70	0	4,00				NA	NA	NA
15	Mont 717	0	9,00	50	677,25	0	4,00				NA	NA	NA
16	Mont 815	63	-46,27	0	9,00	0	4,00				NA	NA	NA
17	Mont Med	0	9,00	79	472,66	0	4,00				NA	NA	NA
18	Mont Med 2427	0	9,00	71	441,82	0	4,00	254,80	955,30		Ok	Ok	NA
19	V Long	175	-4,34	168	22,81	1	644,09			335,98	NA	NA	Ok
20	V Transv	223	0,00	217	0,00	223	1492,82			1619,20	NA	NA	Ok

NA:No aplica. OK=El elemento resiste lo solicitado.

Para identificar los elementos ver 3.LEVANTAMIENTO GEOMETRICO. Esquemas de los Puentes.

EXCLUSIÓN DE RESPONSABILIDADES

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.

RECOMENDACIONES

- Levantamiento geométrico: Se recomienda realizar un levantamiento más detallado de los elementos y conexiones superiores de la estructura del puente 2. Esto debido a que no se contaba con los elementos indispensables de seguridad para acceder a 7 metros de altura sobre el nivel del tablero del puente y medir con precisión las secciones y conexiones.
- Hidrología e hidráulica: Se recomienda mediante aforos y batimetrías determinar el caudal de diseño. Así mismo realizar un análisis de la cuenca hidrográfica, las precipitaciones, caudal máximo y el nivel de aguas máximas, para analizar con más detalle el efecto del paso del río sobre los estribos, así como la posibilidad de que la profundidad hidráulica sea tal que afecte al puente con cargas no consideradas como la de objetos arrastrados por la corriente que lleguen a impactarlo o por el mismo paso de la corriente sobre la estructura del puente. También se recomienda realizar la determinación de las líneas de corriente para establecer su orientación y sus variaciones debidas a la presencia de obstáculos, meandros, zonas de depósitos de materiales, sedimentos, efecto de reducción de la sección hidráulica y recomendación de obras de protección del cauce.
- Estructura: Se recomienda hacer pruebas de esclerometría en los estribos para verificar la resistencia que actualmente aporta el concreto, la presencia de grietas es un indicio del paso del tiempo en servicio y el contacto con el agua pudo afectar la durabilidad del concreto; como subestructura del puente los estribos son de vital importancia ya que de nada serviría que la superestructura tenga aún una vida útil larga si la subestructura falla antes.

También se recomienda realizar ensayos no destructivos a los elementos metálicos con el fin de conocer más a fondo los efectos de la corrosión sobre ellos y determinar la vida útil de los materiales. Pruebas como por ejemplo la de “Líquidos penetrantes” y la de “Partículas magnéticas” para la detección de defectos superficiales y subsuperficiales; ensayos como “Ultrasonido” y “Radiografía” para detectar defectos internos de los elementos. Esta información a manera de complemento al primero de todos los ensayos no destructivos, “La Inspección Visual”, que ya se realizó e informó en este proyecto.

Además se recomienda para el estribo hacer una inspección detallada, hacer un estudio de afección por carbonatación realizando una regata o extrayendo un núcleo de concreto (preferiblemente cerca de un borde) en donde se sospeche hay carbonatación, luego limpiar el substrato y mediante una solución de fenolftaleína rociada en el concreto y tras el ensayo de tracción indirecta se encuentra que las zonas carbonatadas del concreto no cambian de color, mientras que las áreas sin carbonatación adquirirán un color violeta. Este cambio apreciable de color permite conocer el alcance del frente de carbonatación dentro del concreto.

La pintura es el medio generalmente empleado para evitar la oxidación del acero, esta debe ser aplicada en intervalos máximos de 5 a 10 años, dependiendo del ambiente. Además de la pintura en caso de tomarse la decisión de habilitar el puente para tráfico vehicular, se deberá hacer un sistema de drenaje efectivo que prevenga la acumulación de agua en cualquier parte de la estructura.

En cuanto a los apoyos de los puentes la recomendación es hacer una inspección profunda para analizar la actual condición de apoyo teniendo en cuenta la afectación por corrosión, ver si coincide con la condición de diseño y tomar las debidas acciones correctivas si es el caso.

Además, se recomienda analizar la posibilidad de que las cerchas no trabajen como tal sino como pórticos. Esto debido a las grandes dimensiones de las conexiones y por tanto la alternativa de que se presente una transmisión de momentos en los nodos de la cercha.

Para la calibración del modelo se recomienda realizar pruebas no destructivas como son la de vibración ambiental y de cargas estáticas con el fin de hacer mediciones en la respuesta de los Puentes ante estas cargas y comparar con nuestro modelo en el software disminuyendo así la incertidumbre entre el modelo y la realidad.

Para establecer con exactitud las propiedades mecánicas del acero constituyente de las estructuras se debe hacer extracción de probetas (ensayo destructivo) y realizar un ensayo de composición química y pruebas de tracción.

Por último, concluir que la forma más adecuada y económica para evitar un estado patológico es el mantenimiento preventivo. La aplicación en un corto plazo de este, junto con un mantenimiento correctivo, es indispensable para poder garantizar la seguridad de las personas que hoy día hacen uso, indebido o no, de estas estructuras para el tránsito de vehículos por esta zona.

CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta los alcances definidos en el capítulo de **ALCANCES** y después de hacer inspección visual de los puentes, su levantamiento geométrico, su modelación en software, la correspondiente calibración del modelo teniendo en cuenta envejecimiento, corrosión y pandeos presentes en la estructura, el análisis de elementos reducidos en capacidad (sección y propiedades de los materiales) y finalmente la comparación entre resistencia y carga aplicada en cada viga y cada elemento de la cercha llegamos a las siguientes conclusiones para este proyecto de grado:

Puente 1:

- Por simple inspección el principal problema que presenta la estructura es el de la corrosión de algunos de sus elementos debido a la falta de mantenimiento, pues de haberse hecho la inversión necesaria de mantenimiento periódico el puente muy seguramente estaría en un excelente estado, sobre todo para las cargas que soporta actualmente y en un futuro si se decide a rehabilitar la vía para uso vehicular.
- Los estribos del puente se encuentran en un estado donde se ve bastante invadido por microorganismos de origen vegetal dando cabida a fallas de carácter físico y químico e incrementando el deterioro de daños preexistentes. La existencia de microorganismos de origen vegetal incide en la producción de sustancias que pueden ocasionar ataques químicos al concreto dando cabida a la desintegración de la pasta de cemento, además se ve comprometida la saturación del material pues esta vegetación aumenta la permeabilidad del concreto e induce a daños por procesos de humedecimiento y secado alternadamente, conduciendo a la transformación de los compuestos del cemento.

- Comparando resistencia contra carga aplica aplicada se concluye que los elementos analizados soportan adecuadamente la carga de diseño aplicada de acuerdo al Código Colombiano de Puentes de 1995. Esto aún después de reducir propiedades y características de los elementos por los efectos de corrosión, envejecimiento y pandeos locales identificados y localizados en la estructura.
- El puente puede ser rehabilitado a pesar de la corrosión generalizada, a la corrosión localizada en algunos puntos y a los pandeos locales presentes en la estructura. La condición de deterioro por la acción del agua y el oxígeno, puede ser controlada con tratamientos superficiales, en los casos de daño de pintura y corrosión leve, y donde se tenga corrosión grave se puede solucionar reemplazando el elemento o dejar el que está, pero detener el proceso corrosivo. En el caso de elementos pandeados pueden dejarse de esta forma puesto que se cumple muy por encima de la resistencia requerida.

Puente 2:

- Por simple inspección el principal problema que presenta la estructura es el de pandeo local de algunos de sus elementos, ocurridos probablemente durante el tiempo de servicio para el tren de la antigua vía férrea.
- Los estribos del puente también se encuentran en un estado de invasión por microorganismos de origen vegetal dando cabida a fallas de carácter físico y químico e incrementando el deterioro de daños preexistentes. También se observa claramente el estado avanzado de socavación general y local en los estribos del puente, dando cabida a una falla por cimentación.
- Comparando resistencia contra carga aplica aplicada se concluye que los elementos analizados soportan adecuadamente la carga de diseño aplicada de acuerdo al Código Colombiano de Puentes de 1995. Esto aún después de reducir propiedades y características de los elementos por los efectos de

corrosión, envejecimiento y pandeos locales identificados y localizados en la estructura.

- El puente puede ser rehabilitado a pesar de la corrosión generalizada, a la corrosión localizada en algunos puntos y a los pandeos locales presentes en la estructura. La condición de deterioro por la acción del agua y el oxígeno, puede ser controlada con tratamientos superficiales, en los casos de daño de pintura y corrosión leve, y donde se tenga corrosión grave se puede solucionar reemplazando el elemento o dejar el que está, pero detener el proceso corrosivo. En el caso de elementos pandeados pueden dejarse de esta forma puesto que se cumple muy por encima de la resistencia requerida.
- La falta de la aplicación de los debidos ensayos para este tipo de estudios conlleva a que los resultados obtenidos en este proyecto de grado no estén tan aproximados a la realidad. Sin embargo, al ser tan evidente la diferencia entre la resistencia de los elementos y sus cargas solicitadas, se puede concluir con seguridad que los elementos resisten la sollicitación de carga establecida de acuerdo al Código Colombiano de Puentes de 1995.
- Al momento de realizar una inspección visual de puentes, se observa la importancia y necesidad del conocimiento técnico en cuanto al estudio y análisis de patologías, dado que estas afectan considerablemente la vida útil de las estructuras sobre todo por su naturaleza expansiva.
- Existe una limitante en cuanto al número de carriles para estos puentes. El ancho libre de estos solo permite un carril. Debido a que los puentes cuentan con armadura de paso inferior diseñados para solo el paso de un tren, se imposibilita la ampliación de la estructura para la inclusión de un nuevo carril.
- El mantenimiento preventivo es la mejor forma de prevenir condiciones patológicas.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Washington D.C. 2010. Fifth Edition. [3].
- Assessment procedure and rehabilitation of riveted railway girders: The Compasso Bridge. Engineering Structures 31 (2009). [5].
- Comisión Asesora Permanente Para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, Título F. Bogotá D.C. 2010. [4].
- Edgar Muñoz, Rafael Hernández, Edgar Valbuena, Luz Trujillo, Libardo Santacruz. Rehabilitación de los puentes de la Red de carreteras de Colombia, basados en inspecciones visuales, estudios especializados y estrategias de reparación. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 20 No1,º Abril de 2005. [8].
- MINISTERIO DE TRANSPORTE, INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS; UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Manual para la inspección visual de puentes y pontones. Bogotá D.C. Octubre de 2006. Volumen 1. [1].
- Ministerio de Transporte; INVIAS; Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Código Colombiano de Puentes de 1995. Bogotá D.C. Diciembre de 1995. [2].

- Nilson Tadeu Mascia, Artur Lenz Sartorti. Identificación y análisis de patologías en puentes de carreteras urbanas y rurales. Revista Ingeniería de Construcción Vol. 26 No1, Abril de 2011. [7].
- Pastor Virviescas Gómez/Especial para El Espectador. Túnel al pasado y puente al futuro. Bucaramanga. [9].
- Rosa E. Malavé, Miguel Sánchez, Oladis de Rincón, William Campos, Zaida Castro, Antonio J. Acosta y Dayrol López. Evaluación de la corrosión en un puente ferroviario como aporte a la evaluación estructural, diagnóstico y propuesta de rehabilitación. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia. Vol. 30, Edición Especial, 210 - 222, 2007. [6].
- VANGUARDIA LIBERAL. Elaborarán estudios técnicos de transitabilidad para Supervía. Bucaramanga, Santander. [10].

ANEXOS

Anexo A. CD con archivos digitales de: Modelo Puente 1, Modelo Puente 2, Modelo Puente 1 Modificado, Modelo Puente 2 Modificado y Fotos Puentes.

Anexo B. Análisis de elementos.

VER 3.LEVANTAMIENTO GEOMETRICO.ESQUEMAS DE LOS PUENTES
PARA IDENTIFICAR LOS ELEMENTOS

PUENTE 1.

ELEMENTOS A TRACCIÓN:

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA

CERCHA: E2I

ϕP_n 1.581,7 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta:

f_y 202,4 Mpa
 ϕ 0,95
 A_g 8.225,80 mm2 *Área bruta*

ϕP_n 1.581,7 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el
área neta:

f_u	326,4	Mpa		Tipo I		
ϕ	0,8			D hueco	25,4	mm
A_g	8.225,8	mm2	<i>Área bruta</i>	No. Huecos	4	
A_h	114,3	mm2	<i>Área huecos</i>	t elemento	12,7	mm
A_n	8.111,5	mm2	<i>Área neta</i>	A huecos	1.290,3	mm2
U	0,8					
A_e	6.489,2	mm2	<i>Área</i>			

efectiva

ϕPn 1.694,5 KN

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-									
fy	202,4	Mpa					Tipo I		
fu	326,4	Mpa	Tracción			D hueco	25,4	mm	
ϕ	0,8		L e		Agv	No. Huecos	2		
Agv	2.032,0	mm2	160	12,7		t elemento	12,7	mm	
Ant	1.386,84	mm2	Cortante			A huecos	645,2	mm2	
Agv	30.480,0	mm2	2400	12,7					
Anv	23.383,24	mm2				Tipo I			
Pn1	4.990.650,52	N				D hueco	25,4	mm	
Pn2	4.154.155,78	N			Agv	No. Huecos	22		
						t elemento	12,7	mm	
ϕPn	3.323,3	KN				A huecos	7.096,8	mm2	

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA CERCHA:

VSCorrLater

ϕPn 3.727,4 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta:

fy 202,4 Mpa

ϕ 0,95
 Ag 19.385,28 mm² *Área bruta*

ϕP_n 3.727,4 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

fu	326,4	Mpa			Tipo I	
ϕ	0,8			D hueco	25,4	mm
Ag	19.385,3	mm ²	<i>Área bruta</i>	No. Huecos	4	
Ah	117,0	mm ²	<i>Área huecos</i>	t elemento	15,4	mm
An	19.268,3	mm ²	<i>Área neta</i>	A huecos	1.564,6	mm ²
U	0,8					
Ae	15.414,6	mm ²	<i>Área efectiva</i>			

ϕP_n 4.025,1 KN

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-						
fy	202,4	Mpa			Tipo I	
fu	326,4	Mpa	Tracción		D hueco	25,4 mm
ϕ	0,8		L e	Agt	No. Huecos	2
Agt	6.160,0	mm ²	400	15,4	t	15,4 mm

Ant	5.377,68	mm2	Cortante	elemento	A huecos	782,3	mm2
Agv	49.280,0	mm2	3200 15,4				
Anv	37.545,20	mm2			Tipo I		
Pn1	8.599.635,97	N			D hueco	25,4	mm
Pn2	7.739.837,95	N			No.	30	
				Agv	Huecos		
					t	15,4	mm
				elemento			
ϕPn	6.191,9	KN			A huecos	11.734,8	mm2

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA CERCHA: Diagonal

ϕPn 2.151,5 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta:

fy 202,4 Mpa
 ϕ 0,95
 Ag 11.189,49 mm2 *Área bruta*

ϕPn 2.151,5 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

fu 326,4 Mpa
 ϕ 0,8
 D hueco 25,4 mm

Ag	11.189,5	mm ²	Área bruta	No. Huecos	4	
Ah	114,3	mm ²	Área huecos	t elemento	12,7	mm
An	11.075,2	mm ²	Área neta	A huecos	1.290,3	mm ²
U	0,8					
Ae	8.860,2	mm ²	Área efectiva			
φPn	2.313,6					KN

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-						
fy	202,4	Mpa				Tipo I
fu	326,4	Mpa	Tracción			D hueco 25,4 mm
φ	0,8		L e			No. Huecos 2
Agt	2.032,0	mm ²	160 12,7	Agt		t elemento 12,7 mm
Ant	1.386,84	mm ²	Cortante			A huecos 645,2 mm ²
Agv	30.480,0	mm ²	2400 12,7			
Anv	23.383,24	mm ²				Tipo I
Pn1	4.990.650,52	N				D hueco 25,4 mm
Pn2	4.154.155,78	N		Agv		No. Huecos 22
						t elemento 12,7 mm
φPn	3.323,3					A huecos 7.096,8 mm ²

ELEMENTOS A COMPRESIÓN:

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA:

E1I

fy	202,4	Mpa
E	160.000,0	MPa
φ	0,9	

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1

I laminada

Ag	20970,24	mm ²
rx	103,61	mm
ry	78,10	mm
Ix	2,25E+08	mm ⁴
Iy	1,28E+08	mm ⁴
h	203,2	mm
tw	25,4	mm
Kc	0,76	

AlmaE1

Esbeltez **No**
local **Esbelto**

			Caso	λ_r	
b	203,2	mm	Atiesados	5	41,89
t	25,4	mm			
b/t	8,00				

Propiedades de la sección recta

-

A	20970,24
I _x	2,25E+08
I _y	1,28E+08
r _x	103,61
r _y	78,10
K	1
L	5000
KL/r _x	48,26
KL/r _y	64,02
KL/r	64,02

}
200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

ϕP_n : 3065,9

KN

Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).

Caso 2 Miembros armados a compresión no

esbeltos.

Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.

Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 ϕP_n : **3065,90**

Fe	385,25	Mpa
Fcr	162,45	Mpa
Ag	20.970,24	mm ²
Pn	3.406.556,56	N
ϕP_n	3.065.900,90	N

4,71*(E/fy)^{0,5}
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA:

E2I

fy	202,4	Mpa
E	160.000,0	MPa
ϕ	0,9	

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36

	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1 **I laminada**

Ag	8225,8	mm ²
rx	104,66	mm
ry	48,69	mm
Ix	9,01E+07	mm ⁴
Iy	1,95E+07	mm ⁴
h	228,6	mm
tw	12,7	mm
Kc	0,76	

AlmaE1

Esbeltez **No**
 local **Esbelto**

b	228,6	mm
t	12,7	mm
b/t	18,00	


	Caso	λ_r
Atiesados	5	41,89

Propiedades de la sección recta

-

A	8225,8
Ix	9,01E+07
Iy	1,95E+07
rx	104,66

ry	48,69
K	1
L	3000
KL/rx	28,66
KL/ry	61,62
KL/r	61,62



Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

ϕP_n : 1222,3031

KN

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 **ϕP_n : 1222,30**

Fe	415,94	Mpa
Fcr	165,10	Mpa
Ag	8.225,80	mm ²
Pn	1.358.114,58	N
ϕP_n	1.222.303,13	N

$4,71 \cdot (E/f_y)^{0,5}$

132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA:

VSCorrLater

fy	202,4	Mpa
E	160.000,0	MPa
φ	0,9	

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1 I laminada

Ag	19385,28	mm ²
rx	107,49	mm
ry	84,37	mm
Ix	2,24E+08	mm ⁴
Iy	1,38E+08	mm ⁴
h	203,2	mm
tw	15,4	mm
Kc	0,76	

AlmaE1

Esbeltez **No**
 local **Esbelto**

		Caso	λ_r
b	203,2	Atiesados	5
t	15,4		
b/t	13,19		

Propiedades de la sección recta

A	19385,28
I _x	2,24E+08
I _y	1,38E+08
r _x	107,49
r _y	84,37
K	1
L	4150
KL/r _x	38,61
KL/r _y	49,19
KL/r	49,19

} <200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

ϕP_n : 3101,4142

KN

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.

Caso 4 Miembros con elementos esbeltos
(Laminados).

Caso 1 ϕP_n : **3101,41**

Fe	652,73	Mpa
Fcr	177,76	Mpa
Ag	19.385,28	mm ²
Pn	3.446.015,81	N
ϕP_n	3.101.414,23	N

$$4,71 \cdot (E/f_y)^{0,5}$$

132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA:

Diagonal

f_y	202,4	Mpa
E	160.000,0	MPa
ϕ	0,9	

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1

I laminada

Ag	11189,49	mm ²
rx	104,84	mm
ry	57,66	mm
Ix	1,23E+08	mm ⁴
Iy	3,72E+07	mm ⁴
h	222,25	mm
tw	15,875	mm
Kc	0,76	

AlmaE1

Esbeltez **No**

local **Esbelto**

b	222,25	mm
t	15,875	mm
b/t	14,00	


	Caso	λ_r
Atiesados	5	41,89

Propiedades de la sección recta

-

A	11189,49
Ix	1,23E+08
Iy	3,72E+07
rx	104,84
ry	57,66
K	1

L	5120,8
KL/rx	48,84
KL/ry	88,81
KL/r	88,81



Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

ϕP_n : 1335,0485

KN

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 **ϕP_n : 1335,05**

Fe	200,21	Mpa	$4,71*(E/f_y)^{0,5}$
Fcr	132,57	Mpa	132,43
Ag	11.189,49	mm ²	
Pn	1.483.387,24	N	
ϕP_n	1.335.048,52	N	

ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN:

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS A FLEXIÓN

Elemento 1

Viga Longitudinal Puente 1

fy	202,4	Mpa
E	160.000	MPa
fu	326	MPa
Kc	0,76	
FL	200,84	MPa
ϕ_b	1	

	Caso	λ_p	λ_r
No Atiesados	10	10,68	28,12
	11	10,68	23,38
	12	15,18	25,59
	13	10,68	28,12
Atiesados	14	23,62	28,96
	15	105,72	160,26
	16	10,68	28,12
	17	31,49	39,36
	18	31,49	39,36
	19	68,04	160,26
	20	1,97	8,72

Dimensiones y Propiedades de la Sección

Recta

Ag	23900	mm ²
Xtrazo	127	mm
Ytrazo	304,8	mm
Ix	1,31E+09	mm ⁴

ly	6,12E+07	mm ⁴
Zx	5,09E+06	mm ³
Zy	7,87E+05	mm ³
Sx	2178036,606	mm ³
Sy	1	
Jc	3770000	mm ⁴
Mp	1.030,22	KN-m

Definición de esbeltez

Elemento:	Alma		mm		mm
Atiesado	15	h	556,6	tw	22,2

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r	
25,07	105,72	160,26	Elemento Compacto

Elemento:	Aleta		mm		mm
No Atiesado	10	b	127	t	22,2

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r	
5,72	10,68	28,12	Elemento Compacto

CASOS

1	Miembros de sección compacta en I con simetría doble y canales, solicitados por flexión al rededor de su eje mayor (alma compacta y aletas compactas).
2	Miembro de sección en I con simetría doble, con alma compacta y aletas no compactas o esbeltas, solicitadas por flexión al rededor de su eje mayor.
3	Otros miembros de sección en I con alma compacta o no compacta, solicitadas por flexión al rededor de su eje mayor.
4	Miembros de sección en I con simetría doble o simple, con alma esbelta, solicitadas por flexión al rededor de su eje mayor.

Caso 1 >>>> $\phi M_n = 1.030,22 \text{ KN-m}$

Caso 1 **Mn** **1030,216** **KN-m**

Plastificación de la sección recta **Mn** **1.030,22** **KN-m**

Zx	5090000	mm ³
fy	202	Mpa
Mp	1.030,22	KN-m

Pandeo Lateral Torsional

Mn **1030,216** **KN-m**

Ag	23900	mm ²	Jc	3770000	mm ⁴
Iy	61220000	mm ⁴	h0	578,8	mm
ry	50,61132557	mm ⁴			

Mn

Lb	4000	mm	No se aplica Pandeo Lateral Torsional	<=	Mp
Lp	2504,465867	mm			
Lr	11366,04183	mm			
Cb	1				
Mp	1030,216	KN-m			
fy	202	Mpa			
Sx	2178036,606	mm ³			
E	160.000	Mpa			
rts	62,75398073		<i>Fórmula conservadora</i>		
bf	254	Ancho de aleta (mm)			
tf	22,2	Espesor aleta (mm)			
tw	22,2	Espesor alma (mm)			
h	556,6	Altura alma (mm)			
Fcr	2,50621E-05	Mpa			

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS A FLEXIÓN

Elemento 1

Viga Transversal Puento 1

fy	202,4	Mpa
E	160.000	MPa
fu	326	MPa
Kc	0,76	
FL	202,40	MPa
φb	1	

		λp	λr
No Atiesados	10	10,68	28,12
	11	10,68	23,29
	12	15,18	25,59
	13	10,68	28,12
Atiesados	14	23,62	28,96
	15	105,72	160,26
	16	10,68	28,12
	17	31,49	39,36
	18	31,49	39,36
	19	68,04	160,26
	20	1,97	8,72

Dimensiones y Propiedades de la Sección

Recta

Ag	56200	mm ²
Xtrazo	177,8	mm
Ytrazo	387,3	mm

Ix	4,96E+09	mm ⁴
Iy	3,04E+08	mm ⁴
Zx	1,53E+07	mm ³
Zy	2,81E+06	mm ³
Sx	6402478,379	mm ³
Sy	1	
Jc	28380000	mm ⁴
Mp	3.096,72	KN-m

Definición de esbeltez

Elemento:	Alma		mm		mm
Atiesado	15	h	694,7	tw	40

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r
17,37	105,72	160,26

Elemento Compacto

Elemento:	Aleta		mm		mm
No Atiesado	10	b	177,8	t	40

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r
4,45	10,68	28,12

Elemento Compacto

Caso 1	>>>>>	Mn = 3.096,72 KN-m
---------------	-------	---------------------------

Caso 1 Mn 3096,72 KN-m

Plastificación de la sección recta

Mn 3.096,72 KN-m

Zx	15300000	mm ³
fy	202	Mpa
Mp	3.096,72	KN-m

Pandeo Lateral Torsional

Mn 3096,72 KN-m

Ag	56200	mm ²
Iy	303500000	mm ⁴
ry	73,48711365	mm ⁴

Jc	28380000
h0	578,8

Lb	6000	mm
Lp	3636,458159	mm
Lr	24566,40655	mm
Cb	1	
Mp	3096,72	KN-m
fy	202	Mpa
Sx	6402478,379	mm ³
E	160.000	Mpa
rts	89,15893944	<i>Fórmula conservadora</i>
bf	355,6	Ancho de aleta (mm)

Mn		
No se aplica Pandeo Lateral Torsional	<=	Mp

tf	40	Espesor aleta (mm)
tw	40	Espesor alma (mm)
h	694,7	Altura alma (mm)
Fcr	5,51807E-06	Mpa

PUENTE 2.

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA CERCHA:

DiagLarga719P

ϕP_n 2.468,9 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta:

fy 202,4 Mpa
 ϕ 0,95
 Ag 21.800,00 mm2 *Área bruta*

ϕP_n 4.191,7 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

fu	326,4	Mpa		Tipo I	
ϕ	0,8		D hueco	25,4	mm
Ag	21.800,0	mm2	<i>Área bruta</i>	No.	6
Ah	114,3	mm2	<i>Área</i>	Huecos	
			t elemento	12,7	mm

			<i>huecos</i>			
An	21.685,7	mm2	Área neta	A huecos	1.935,5	mm2
U	0,8					
Ae	17.348,6	mm2	Área efectiva			
ϕP_n	4.530,1	KN				

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-								
fy	202,4	Mpa					Tipo I	
fu	326,4	Mpa					D hueco	25,4 mm
ϕ	0,8		L	e			No.	2
							Huecos	
Agt	2.540,0	mm2	200	12,7			t elemento	12,7 mm
Ant	1.894,84	mm2					A huecos	645,2 mm2
Agv	20.320,0	mm2	1600	12,7				
Anv	15.158,72	mm2					Tipo I	
Pn1	3.482.779,72	N					D hueco	25,4 mm
Pn2	3.086.136,58	N					No.	16
							Huecos	
							t elemento	12,7 mm
ϕP_n	2.468,9	KN					A huecos	5.161,3 mm2

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA CERCHA:

DiagLarga719P

ϕPn 2.468,9 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta:

fy 202,4 Mpa
 ϕ 0,95
 Ag 21.800,00 mm2 *Área bruta*

ϕPn 4.191,7 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

fu	326,4	Mpa		Tipo I	
ϕ	0,8		D hueco	25,4	mm
Ag	21.800,0	mm2	<i>Área bruta</i>	No. Huecos	6
Ah	114,3	mm2	<i>Área huecos</i>	t elemento	12,7
An	21.685,7	mm2	<i>Área neta</i>	A huecos	1.935,5
U	0,8				
Ae	17.348,6	mm2	<i>Área efectiva</i>		

ϕPn 4.530,1 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

fu	326,4	Mpa			Tipo I	
φ	0,8			D hueco	25,4	mm
Ag	17.700,0	mm2	Área bruta	No. Huecos	8	
Ah	114,3	mm2	Área huecos	t elemento	12,7	mm
An	17.585,7	mm2	Área neta	A huecos	2.580,6	mm2
U	0,8					
Ae	14.068,6	mm2	Área efectiva			
φPn	3.673,6	KN				

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-						
fy	202,4	Mpa			Tipo I	
fu	326,4	Mpa	Tracción		D hueco	25,4 mm
φ	0,8		L e		No. Huecos	2
Agt	4.064,0	mm2	320 12,7	Agt	t elemento	12,7 mm
Ant	3.418,84	mm2	Cortante		A huecos	645,2 mm2
Agv	20.320,0	mm2	1600 12,7			
Anv	14.513,56	mm2			Tipo I	
Pn1	3.664.889,19	N		Agv	D hueco	25,4 mm

Pn2	3.583.570,18	N	No. Huecos	18	
			t elemento	12,7	mm
ϕPn	2.866,9	KN	A huecos	5.806,4	mm ²

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA CERCHA: Mont423

ϕPn 1.481,8 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área

bruta:

f_y	202,4	Mpa	
ϕ	0,95		
A_g	18.900,00	mm ²	Área bruta

ϕPn 3.634,1 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área

neta:

f_u	326,4	Mpa		Tipo I	
ϕ	0,8		D hueco	25,4	mm
A_g	18.900,0	mm ²	Área bruta	No. Huecos	6
A_h	114,3	mm ²	Área	t	12,7 mm

			<i>huecos</i>	elemento		
An	18.785,7	mm ²	Área neta	A huecos	1.935,5	mm ²
U	0,8					
Ae	15.028,6	mm ²	Área efectiva			
φPn	3.924,3	KN				

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-							
fy	202,4	Mpa				Tipo I	
fu	326,4	Mpa	Tracción			D hueco	25,4 mm
φ	0,8		L e			No.	2
Agt	2.540,0	mm ²	200	12,7	Agt	Huecos	
Ant	1.894,84	mm ²	Cortante			t elemento	12,7 mm
Agv	10.160,0	mm ²	800	12,7		A huecos	645,2 mm ²
Anv	6.934,20	mm ²				Tipo I	
Pn1	1.872.089,73	N				D hueco	25,4 mm
Pn2	1.852.306,18	N				No.	10
					Agv	Huecos	
						t elemento	12,7 mm
φPn	1.481,8	KN				A huecos	3.225,8 mm ²

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA CERCHA:

Montmed2427

ϕP_n 955,3 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área

bruta:

f_y	202,4	Mpa	
ϕ	0,95		
A_g	9.100,00	mm ²	Área bruta

ϕP_n 1.749,7 KN

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

f_u	326,4	Mpa		Tipo I	
ϕ	0,8			D hueco	25,4 mm
A_g	9.100,0	mm ²	Área bruta	No. Huecos	4
A_h	111,6	mm ²	Área huecos	t elemento	10 mm
A_n	8.988,4	mm ²	Área neta	A huecos	1.016,0 mm ²
U	0,8				
A_e	7.190,7	mm ²	Área efectiva		

ϕP_n 1.877,6 KN

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-								
fy	202,4	Mpa					Tipo I	
fu	326,4	Mpa	Tracción			D hueco	25,4	mm
φ	0,8		L e		Agt	No.	2	
						Huecos		
Agt	1.600,0	mm2	160	10		t elemento	10	mm
Ant	1.092,00	mm2	Cortante			A huecos	508,0	mm2
Agv	8.000,0	mm2	800	10				
Anv	4.444,00	mm2				Tipo I		
Pn1	1.194.152,96	N				D hueco	25,4	mm
Pn2	1.327.948,80	N			Agv	No.	14	
						Huecos		
						t elemento	10	mm
φPn	955,3	KN				A huecos	3.556,0	mm2

ELEMENTOS A TRACCIÓN

ELEMENTO DE LA
CERCHA: CordInf

φPn 6.911,9 KN

Estado límite para fluencia por tensión sobre el área bruta:

fy	202,4	Mpa	
φ	0,95		
Ag	40.800,00	mm2	Área bruta

ϕP_n **7.845,0** **KN**

Estado límite para rotura por tensión sobre el área neta:

fu	326,4	Mpa			Tipo I	
ϕ	0,8			D hueco	25,4	mm
Ag	40.800,0	mm2	Área bruta	No. Huecos	6	
Ah	127,0	mm2	Área huecos	t elemento	25,4	mm
An	40.673,0	mm2	Área neta	A huecos	3.871,0	mm2
U	0,8					
Ae	32.538,4	mm2	Área efectiva			

ϕP_n **8.496,4** **KN**

Estado límite para rotura por bloque de cortante:

-						
fy	202,4	Mpa			Tipo I	
fu	326,4	Mpa	Tracción		D hueco	25,4 mm
ϕ	0,8		L e	Ag	No. Huecos	2
Agt	5.080,0	mm2	200 25,4		t elemento	25,4 mm
Ant	3.789,68	mm2	Cortante		A huecos	1.290,3 mm2
Agv	60.960,0	mm2	2400 25,4			
Anv	41.605,20	mm2		Agv	Tipo I	

Pn1 9.176.154,37 N

Pn2 8.639.933,95 N

ϕPn 6.911,9 KN

D hueco 25,4 mm

No. Huecos 30

t elemento 25,4 mm

A huecos 19.354,8 mm²

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA:

CordInflnic

fy	202,4
E	160.000,0
ϕ	0,9

Mpa

MPa

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los
elementos

Elemento 1	L	2	(Elementos iguales)
Ag	1900	mm2	1.900,00 mm2
rx	30,78	mm	
ry	30,78	mm	
Ix	1,80E+06	mm4	
Iy	1,80E+06	mm4	
h	100	mm	
tw	10	mm	
Kc	0,76		

AletaE1

Esbeltez **No**
local **Esbelto**

		Caso	λ_r	
b	100	No Atiesados	3	12,65
t	10			
b/t	10,00			

Propiedades de la
sección recta

A	11800
---	-------

lx	1,85E+08
ly	5,31E+08
rx	125,21
ry	212,13
K	1
L	4500
KL/rx	35,94
KL/ry	21,21
KL/r	35,94

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 3 >

ϕP_n	2107,72
[KN]:	

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 3 ϕP_n : **2107,717228**

h	400	mm
rib	30,78	mm
ri	2,89	mm
a	103,86	mm
α	6,50	<i>Buscando el mayor α</i>

(KL/r)m	36,07
---------	-------

Fe	1214,03	MPa	$4,71*(E/(Qfy))^0,5$	
Fcr	198,47	188,76 MPa	249,7150088	
Ag	11.800	mm2		
Q	0,28		$0.56*(E/fy)^0.5$	Chequeos Qs (Laminados)
Qs	0,28		15,75	
Qa	1,00			
Pn	2.341.908,03	N	$1,03(E/fy)^0,5$	
ϕPn	2.107.717,23	N	28,96	

Caso Perfil Armado >> El perfil es laminado o armado?

Elemento 1	Hay elementos no atiesados esbeltos?	si
<u>Qs</u>	<u>1,00</u>	si
		no

Laminado >>	Qs	1
	b/t	10
Armado >>	Qs	1
	b/t	10

$0.64*(E*Kc/fy)^0.5$	Chequeos Qs (Armados)
15,69	
$1,17(E*Kc/fy)^0,5$	
25,25	

Hay elementos atiesados esbeltos?	no
-----------------------------------	----

Qa

0,92

si

no

f = Fcr(Q=1)	188,76	MPa
A	11.800	mm ²
Ae	10.856,52	mm ²
A a restar	943,48	mm ²

Elemento 1

Caso:

a

b	100	mm
t	10	mm
b/t	10	
be-a	5,65	mm
be-b	-36,93	mm
be	5,65	mm
A a restar	943,48	mm ²

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA: DiagLarga719P

fy	202,4
E	160.000,0
ϕ	0,9

Mpa
MPa

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1	L	3	(Elementos iguales)
Ag	4600	mm ²	9.200,00 mm ²
rx	27,82	mm	
ry	46,63	mm	
Ix	3,56E+06	mm ⁴	
Iy	1,00E+07	mm ⁴	
h	150	mm	
tw	20	mm	
Kc	0,76		

AletaE1

Esbeltez local No Esbelto

b	150	mm
t	20	mm
b/t	7,50	

	Caso	λ_r
No Atiesados	2	15,69

Propiedades de la sección recta

A	21800
Ix	4,99E+08
Iy	8,04E+07
rx	151,29
ry	60,73
K	1
L	5300
KL/rx	35,03
KL/ry	87,27
KL/r	87,27

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 2639,12

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1

φPn:

2639,12

Fe	207,33
Fcr	134,51
Ag	21.800,00
Pn	2.932.360,89
φPn	2.639.124,80

Mpa
Mpa
mm2
N
N

$4,71 \cdot (E/f_y)^{0,5}$
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA: Diagoncels

fy	202,4
E	160.000,0
ϕ	0,9

Mpa
MPa

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento	C	2	(Elementos iguales)
1			
Ag	4200	mm ²	4.200,00 mm ²
rx	50,54	mm	
ry	13,14	mm	
Ix	1,07E+07	mm ⁴	
Iy	7,25E+05	mm ⁴	
h	150	mm	
tw	20	mm	
Kc	0,76		

AletaE1

Esbeltez local **No Esbelto**

b	50	mm
t	20	mm
b/t	2,50	

	Caso	λ_r
No Atiesados	3	12,65

Propiedades de la sección recta

A	8400
Ix	2,15E+07
Iy	2,67E+08
rx	50,56
ry	178,29
K	1
L	5525
KL/rx	109,28
KL/ry	30,99
KL/r	109,28

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 806,274

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 ϕP_n : 806,27

Fe	132,22
Fcr	106,65
Ag	8.400,00
Pn	895.860,03
ϕP_n	806.274,02

Mpa
Mpa
mm²
N
N

4,71*(E/fy)^{0,5}
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA:
Elementmayor911P

fy	202,4
E	160.000,0
ϕ	0,9

Mpa
MPa

	Caso
No Atiesados	1
	2
	3
	4
Atiesados	5
	6
	7
	8
	9

Propiedades de los elementos

Elemento 1	L	3	(Elementos iguales)
Ag	1900	mm ²	3.800,00 mm ²
rx	30,78	mm	
ry	30,78	mm	
Ix	1,80E+06	mm ⁴	
Iy	1,80E+06	mm ⁴	
h	100	mm	
tw	10	mm	
Kc	0,76		

AletaE1

Esbeltez local **No Esbelto**

	Caso	λ_r
b	3	12,65
No Atiesados		

mm

t	10	mm
b/t	10,00	

Propiedades de la sección recta

A	17700	
Ix	3,62E+08	
Iy	5,28E+08	
rx	143,01	
ry	172,72	
K	1	
L	5091	
KL/rx	35,60	} < 200
KL/ry	29,48	
KL/r	35,60	

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 3012,32

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1

φPn:

3012,32

Fe	1246,09
Fcr	189,10
Ag	17.700,00
Pn	3.347.021,62
φPn	3.012.319,46

Mpa

Mpa

mm²

N

N

$4,71 \cdot (E/f_y)^{0,5}$
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA: Mont423

fy	202,4
E	160.000,0
ϕ	0,9

Mpa
MPa

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1 **L** **3** (Elementos iguales)

Ag	2300	mm ²	4.600,00	mm ²
rx	37,18	mm		
ry	37,18	mm		
Ix	3,18E+06	mm ⁴		
Iy	3,18E+06	mm ⁴		
h	120	mm		
tw	10	mm		
Kc	0,76			

AletaE1

Esbeltez local **No Esbelto**

	Caso	λ_r
b	3	12,65
t		

b/t	12,00
-----	-------

Propiedades de la sección recta

A	18900
Ix	2,40E+08
Iy	1,90E+07
rx	112,69
ry	31,71
K	1
L	7400
KL/rx	65,67
KL/ry	233,39
KL/r	233,39

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 432,466

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 ϕP_n : 432,47

Fe	28,99	Mpa
Fcr	25,42	Mpa
Ag	18.900,00	mm ²
Pn	480.517,80	N
ϕP_n	432.466,02	N

4,71*(E/fy)^{0,5}
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA: Montmed2427

fy	202,4
E	160.000,0
φ	0,9

Mpa
MPa

	Caso	λr
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1	L	1	(Elementos iguales)
Ag	1700	mm2	0,00 mm2
rx	23,66	mm	
ry	31,34	mm	
Ix	9,52E+05	mm4	
Iy	1,67E+06	mm4	
h	100	mm	
tw	10	mm	
Kc	0,76		

AletaE1

Esbeltez local **No Esbelto**

		Caso	λr
b	100	No Atiesados	3
t	10		
			12,65

b/t	10,00
-----	-------

Propiedades de la sección
recta

A	5700
Ix	9,23E+07
Iy	3,29E+06
rx	127,25
ry	24,02
K	1
L	4012
KL/rx	31,53
KL/ry	166,99
KL/r	166,99

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente
tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 254,763

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 ϕP_n : 254,76

Fe	56,63	Mpa
Fcr	49,66	Mpa
Ag	5.700,00	mm ²
Pn	283.069,69	N
ϕP_n	254.762,72	N

$4,71 \cdot (E/f_y)^{0,5}$
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA: CordSup

fy	202,4	Mpa
E	160.000,0	MPa
φ	0,9	

	Caso	λr
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1 **L** **4** (Elementos iguales)

Ag	4200	mm ²	12.600,00	mm ²
rx	20,87	mm		
ry	14,86	mm		
ix	1,83E+06	mm ⁴		
iy	9,28E+05	mm ⁴		
h	150	mm		
tw	20	mm		
Kc	0,76			

AletaE1

Esbeltez local No Esbelto

Caso	λr
------	----

b	150
t	20
b/t	7,50

mm
mm

No Atiesados	3	12,65
-----------------	---	-------

Propiedades de la
sección recta

A	47200
Ix	1,19E+09
Iy	2,49E+09
rx	158,78
ry	229,68
K	1
L	7600
KL/rx	47,86
KL/ry	33,09
KL/r	47,86

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente
tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 7603,6

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 ϕP_n : 7603,60

Fe	689,28
Fcr	178,99
Ag	47.200,00
Pn	8.448.442,06
ϕP_n	7.603.597,86

Mpa
Mpa
mm²
N
N

4,71*(E/fy)^{0,5}
132,43

ANÁLISIS DE ELEMENTOS SOMETIDOS A COMPRESIÓN AXIAL

ELEMENTO DE LA CERCHA: CordInf

fy	202,4
E	160.000,0
ϕ	0,9

Mpa
MPa

	Caso	λ_r
No Atiesados	1	15,75
	2	15,69
	3	12,65
	4	21,09
Atiesados	5	41,89
	6	39,36
	7	39,36
	8	41,89
	9	86,96

Propiedades de los elementos

Elemento 1	T	2	(Elementos iguales)
Ag	20400	mm ²	20.400,00 mm ²
rx	126,41	mm	
ry	57,86	mm	
Ix	3,26E+08	mm ⁴	
Iy	6,83E+07	mm ⁴	
h	370	mm	
tw	30	mm	
Kc	0,76		

AletaE1

Esbeltez local No Esbelto

	Caso	λ_r
b	1	15,75

t	30	mm
b/t	5,00	

Propiedades de la sección recta

A	40800
Ix	6,59E+08
Iy	1,78E+09
rx	127,09
ry	208,87
K	1
L	7600
KL/rx	59,80
KL/ry	36,39
KL/r	59,80

} < 200

Escoger caso de acuerdo a la siguiente tabla:

Caso 1

>>>>

fPn [KN]: 6134,76

- Caso 1 Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (laminado o armado).
- Caso 2 Miembros armados a compresión no esbeltos.
- Caso 3 Miembros armados a compresión esbeltos.
- Caso 4 Miembros con elementos esbeltos (Laminados).

Caso 1 ϕP_n : 6134,76

Fe	441,59	Mpa
Fcr	167,07	Mpa
Ag	40.800,00	mm ²
Pn	6.816.404,86	N
ϕP_n	6.134.764,37	N

$4,71 \cdot (E/f_y)^{0,5}$
132,43

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS A FLEXIÓN

Elemento 1

Viga Longitudinal
Puente 2

fy	202,4	Mpa
E	160.000	MPa
fu	326	MPa
Kc	0,76	
FL	202,40	MPa
ϕ_b	1	

		λ_p	λ_r
No Atiesados	10	10,68	28,12
	11	10,68	23,29
	12	15,18	25,59
	13	10,68	28,12
Atiesados	14	23,62	28,96
	15	105,72	160,26
	16	10,68	28,12
	17	31,49	39,36
	18	31,49	39,36
	19	68,04	160,26
	20	1,97	8,72

Dimensiones y Propiedades de la Sección Recta

Ag	13400	mm ²
Xtrazo	90	mm
Ytrazo	175	mm
Ix	2,46E+08	mm ⁴
Iy	1,97E+07	mm ⁴
Zx	1,66E+06	mm ³
Zy	3,55E+05	mm ³
Sx	702571,4286	mm ³
Sy	1	
Jc	1,66E+06	mm ⁴
Mp	335,98	KN-m

Definición de esbeltez

Elemento:	Alma		mm		mm
Atiesado	15	h	310	tw	20

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r
15,50	105,72	160,26

Elemento Compacto

Elemento:	Aleta		mm		mm
No Atiesado	10	b	175	t	20

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r
8,75	10,68	28,12

Elemento Compacto

Caso 1 >>>> Mn = 335,98 KN-m

Caso 1 Mn 335,984 KN-m

Plastificación de la sección recta

Mn 335,98 KN-m

Zx	1660000	mm ³
fy	202	Mpa
Mp	335,98	KN-m

Pandeo Lateral Torsional

Mn 335,984 KN-m

Ag	13400	mm ²
Iy	19650000	mm ⁴
ry	38,29383646	mm ⁴

Jc	1660000
ho	330

Lb	4500	mm
Lp	1894,943577	mm
Lr	25165,1017	mm

Mn		
No se aplica Pandeo Lateral Torsional	<=	Mp

Cb	1	
Mp	335,984	KN-m
fy	202	Mpa
Sx	702571,4286	mm ³
E	160.000	Mpa
r _{ts}	94,31451752	<i>Fórmula conservadora</i>
bf	350	Ancho de aleta (mm)
tf	20	Espesor aleta (mm)
tw	20	Espesor alma (mm)
h	310	Altura alma (mm)
Fcr	8,76673E-06	Mpa

ANÁLISIS DE LOS ELEMENTOS A FLEXIÓN

Elemento 1

Viga Transversal Puente
2

fy	202,4	Mpa
E	160.000	MPa
fu	326	MPa
Kc	0,666666667	
FL	202,40	MPa
φ _b	1	

		λ _p	λ _r
No Atiesados	10	10,68	28,12
	11	10,68	21,81
	12	15,18	25,59
	13	10,68	28,12
Atiesados	14	23,62	28,96
	15	105,72	160,26
	16	10,68	28,12

	17	31,49	39,36
	18	31,49	39,36
	19	68,04	160,26
	20	1,97	8,72

Dimensiones y Propiedades de la Sección Recta

Ag	28800	mm ²
Xtrazo	210	mm
Ytrazo	400	mm
Ix	2,66E+09	mm ⁴
Iy	3,80E+07	mm ⁴
Zx	8,00E+06	mm ³
Zy	6,56E+05	mm ³
Sx	3500000	mm ³
Sy	1	
Jc	9,53E+06	mm ⁴
Mp	1.619,20	KN-m

Definición de esbeltez

Elemento:	Alma		mm		mm
Atiesado	15	h	720	tw	20

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r
36,00	105,72	160,26

Elemento Compacto

Elemento:	Aleta		mm		mm
No Atiesado	11	b	100	t	20

Rel. Ancho / espesor	λ_p	λ_r
5,00	10,68	21,81

Elemento Compacto

Caso 1 >>>> **Mn = 1.619,20 KN-m**

Caso 1 Mn 1619,2 KN-m

Plastificación de la sección recta

Mn 1.619,20 KN-m

Zx	8000000	mm ³
fy	202	Mpa
Mp	1.619,20	KN-m

Pandeo Lateral Torsional

Mn 1619,2 KN-m

Ag	28800	mm ²
Iy	38000000	mm ⁴
ry	36,32415786	mm ⁴

Jc	9530000
ho	760

Lb	4800	mm
Lp	1797,475417	mm
Lr	8900,654076	mm
Cb	1	
Mp	1619,2	KN-m
fy	202	Mpa
Sx	3500000	mm ³
E	160.000	Mpa
r _{ts}	45,64354646	
bf	200	Ancho de aleta (mm)
tf	20	Espesor aleta (mm)
tw	20	Espesor alma (mm)
h	720	Altura alma (mm)
Fcr	3,28987E-05	Mpa

Mn		
No se aplica Pandeo Lateral Torsional	<=	Mp

Fórmula conservadora