

TRABAJO DE GRADO TPI

**Estudio Patológico del Puente No. 15 en el Km 242+526, de la vía férrea Bogotá –
Belencito**

GLADYS JANE BARRERA TOLOZA

VIRGINIA RAMOS ARENAS



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERIA

ESPECIALISTA EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

BOGOTA

2015

TRABAJO GRADO TPI
Estudio Patológico del Puente No. 15 en el Km 242+526
de la vía férrea Bogotá – Belencito

Presentado por
INGENIERO CIVIL GLADYS JANE BARRERA TOLOZA
INGENIERO CIVIL VIRGINIA RAMOS ARENAS

Trabajo de Grado para optar al título de Especialista en Patología de la Construcción.

TRABAJO DE CAMPO Y DE INVESTIGACION

INGENIERO ANDRÉS RAMÍREZ GÓMEZ

Docente Evaluador



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

FACULTAD DE INGENIERIA

ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION

BOGOTA

2015

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	9
1. PRELIMINARES	10
1.1. Objetivo General.....	10
1.2. Objetivos Específicos	10
1.3. Justificación	10
1.4. Alcance	11
1.5. Metodología Utilizada en el Estudio Patológico	11
2. DESARROLLO DEL ESTUDIO PATOLÓGICO	13
2.1. Etapa I: Historia Clínica.....	13
2.1.1. Localización del proyecto	13
2.1.2. Descripción del Proyecto	14
<i>a. Descripción de la Estructura.</i>	14
<i>b. Visita de inspección:</i>	17
<i>c. Diagnóstico Preliminar del estado de la Estructura:</i>	17
2.2. Etapa II: Diagnóstico	17
2.2.1. Visita de Inspección del Grupo Interdisciplinario.	17
2.2.2. Levantamiento Detallado de la Estructura y Elaboración de Ensayos, Extracción de Núcleos, Regatas, Pruebas de Carbonatación.	18
2.2.3. Esquema resumen de la patología del puente férreo #15.....	25
2.2.4. Lesiones en la Estructura.....	25
2.2.4.1. <i>Lesiones en elementos de concreto y mampostería</i>	25
2.2.5. Lesiones en los Terraplenes de Acceso y Taludes.	35
2.2.5.1. <i>Escarpe en el terraplén de acceso M.D.</i>	35

2.2.5.2.	<i>Escarpes en el talud de la M.D. aguas arriba.</i>	37
2.2.5.3.	<i>Erosión del talud por acción de aguas</i>	40
2.2.6.	Resultados de Sondeos.	46
2.2.7.	Resultados de los Ensayos de Campo y Laboratorio.	47
2.2.8.	Análisis de los Resultados de los Ensayos.	48
2.2.9.	Revisión Estructural del Puente.	48
2.2.10.	Hipótesis de diferentes causas que generaron las lesiones en la estructura:	49
2.2.10.1.	Fallas de tipo geotécnico	50
a.	Deslizamiento del talud:	50
b.	Asentamiento diferencial:	50
2.2.10.2.	Falla de tipo estructural:	50
2.2.10.3.	Falla de tipo hidráulico:	50
2.2.11.	Análisis de las hipótesis de causa de las lesiones de la estructura.	51
2.2.11.1.	<i>Fallas De Tipo Geotécnico</i>	51
2.2.12.	Diagnóstico Definitivo.	56
2.3.	Intervención en el Puente:	58
2.3.1.	Rehabilitación parcial de la estructura existente:	59
2.3.2.	Construcción de una nueva estructura	59
2.3.3.	Cantidades de materiales: (Anexo F)	60
2.3.4.	Presupuesto: (Anexo E)	61
2.3.5	Procedimiento de intervención.	62
3.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
	REFERENCIAS.	66
	APENDICES	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa de localización de Boyacá en Colombia	13
Figura 2	Mapa del Municipio de Ventaquemada, Boyacá (Colombia)	13
Figura 3	Vista longitudinal del puente.	15
Figura 4	Vista longitudinal del puente	15
Figura 5	Detalle luz central – Vigas metálicas de alma llena.	16
Figura 6	Pilas en mampostería MD.	16
Figura 7	Toma de núcleo en el arco # 1.	19
Figura 8	Recuperación del núcleo No. 5	19
Figura 9	Recuperación del núcleo en la base del arco.	20
Figura 10	Recuperación del núcleo No. 4, obsérvese las cavidades que presenta el concreto.	20
Figura 11	Inyección de agua, al taladro, en el proceso de la extracción del núcleo	21
Figura 12	Concreto del arco con sobre tamaños del agregado.	21
Figura 13	Concreto del arco con sobre tamaños del agregado	21
Figura 14	Toma de Núcleos	22
Figura 15	Demarcación de fisuras	22
Figura 16	Localización de los sondeos	23
Figura 17	Realización de sondeos	23
Figura 18	Realización de sondeos	24
Figura 19	Muestras para ensayos y pruebas de sondeos	24
Figura 20	Esquemas resumen de lesiones	25
Figura 21	Vista longitudinal del puente. Arco No. 1. Fisuras en el arco y tímpano, A1F1 y A1F2	26
Figura 22	<i>Arco #1. Detalles fisura A1F2.</i>	26
Figura 23	<i>Arco #1. Detalles fisura A1F2.</i>	26
Figura 24	<i>Arco #1. Detalles fisura A1F2</i>	27
Figura 25	<i>Arco #1. Detalles fisura A1F2</i>	27
Figura 26	<i>Detalles fisura A1F1</i>	27
Figura 27	<i>Arco #1. Detalles fisura A1F1.</i>	27
Figura 28	<i>Detalle fisura A1F1.</i>	28

Figura 29 Arco A1 – lesión A1F1.	28
Figura 30 Arco A1. Lesiones de infiltración de agua, humedad y problemas de carbonatación del concreto	29
Figura 31 Arco A1. Lesiones de infiltración de agua, humedad y problemas de carbonatación del concreto.	29
Figura 32 Arco #1. Vista aguas abajo. Presenta dos (2) fisuras verticales (A1F1, A1F2) en el plano x- z.	30
Figura 33 Vista aguas abajo. Detalle de la lesión A1F2. Vista aguas abajo.	30
Figura 34 Vista del Arco # 2, aguas arriba	31
Figura 35 Arco #2. Detalle fisuras A2F1 y A2F2	32
Figura 36 Arco #2. Detalles de las fisuras. Lesión A2F1	32
Figura 37 Arco #2. Detalles de las fisuras. Lesión A2F1	32
Figura 38 Vista longitudinal luz central, aguas arriba. Vigas metálicas de alma llena.	33
Figura 39 Detalle de daños en la estructura metálica de corrosión. Grado de corrosión alto. Vista aguas arriba	34
Figura 40 Vista longitudinal luz central, aguas arriba. Vigas metálicas de alma llena. Aguas abajo,	34
Figura 41 Vista del escarpe, nótese lo cerca que está la corona del escarpe a la red férrea.	35
Figura 42 Vista del escarpe, nótese lo cerca que está la corona del escarpe a la red férrea.	35
Figura 43 Detalle del escarpe MD, aguas arriba.	36
Figura 44 Detalle escarpe MD aguas arriba. Fecha 13 – junio de 2014	36
Figura 45 Desplazamientos del talud, por pérdida de material en la pata del talud, por acción de las aguas, observándose las coronas de dichos escarpes.	37
Figura 46 Otro detalle del talud. Fecha 12 abril 2014	37
Figura 47 Vista del talud MD aguas arriba. Fecha: 12 – abril – 2014	38
Figura 48 Vista talud MD aguas arriba de fecha 9-agosto 2014	38
Figura 49 Entorno, acceso al puente férreo. Fecha 9-agosto 2014 visita metalúrgico	39
Figura 50 Vista del talud MD aguas arriba. De fecha 9-agosto 2014	39
Figura 51 Talud margen derecha aguas arriba.	40
Figura 52 Talud MD aguas arriba.	41

Figura 53 Talud MD aguas arriba. Detalle del bloque de material sobre el lecho de la Qda. Y la cuña próxima a desprenderse.	41
Figura 54 Talud MD aguas arriba. Otro detalle del bloque de material sobre el lecho de la Qda. Y la cuña próxima a desprenderse.	42
Figura 55 Talud MD aguas abajo.	43
Figura 56 Detalle del talud aguas arriba del puente.	44
Figura 57 Verticalidad de las paredes de las pilas	45
Figura 58 Perfil de deslizamiento del talud	53
Figura 59 Perfil estratigráfico KM 121+835	54
Figura 60 Perfil estratigráfico KM 121+845	55
Figura 61 Reporte final de áreas afectadas por inundaciones 2010 – 2011	57

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 localización y Profundidad de los sondeos	46
Tabla 2 Resultados de los núcleos	47
Tabla 3 Resistencia de elementos estructurales	47
Tabla 4 Cantidades de materiales para intervención de puente Nuevo y puente Rehabilitado	60
Tabla 5 Presupuesto para la intervención del puente (Véase anexo E)	61

INTRODUCCION

En el presente documento se propone un estudio patológico del puente No. 15 - Caño Frutillo localizado en el corredor férreo Bogotá – Belencito, cuya tipología corresponde a una estructura mixta, las luces laterales son arcos en concreto simple, tímpanos en mampostería y la luz central son vigas metálicas de alma llena. Este puente goza de importancia estratégica por cuanto hace parte de un corredor que tuvo relevancia en el desarrollo del país, y que estuvo en funcionamiento hasta los años 90, transportando gran parte de las riquezas al centro y norte del país.

En un primer lugar, se realizará diagnóstico del paciente evaluando cada uno de sus elementos por medio de ensayos apropiados, con el fin de determinar las causas de su patología y de esta forma poder proyectar una intervención adecuada para el tipo de construcción y la importancia que representa por su valor histórico.

El corredor férreo actualmente está fuera de servicio, sin embargo se tiene proyectado rehabilitarlo y repotenciarlo, para su puesta en funcionamiento.

1. PRELIMINARES

1.1. Objetivo General

Realizar el estudio Patológico del Puente Férreo denominado puente No. 15 - Caño Frutillo localizado en el corredor férreo Bogotá – Belencito y plantear alternativas de intervención, para garantizar la seguridad y durabilidad del proyecto seleccionado.

1.2. Objetivos Específicos

- Identificar las lesiones que presenta la estructura del Puente Férreo denominado puente No. 15 - Caño Frutillo localizado en el corredor férreo Bogotá – Belencito
- Determinar posibles causas que han generado lesiones en el Puente Férreo denominado puente No. 15 - Caño Frutillo localizado en el corredor férreo Bogotá – Belencito
- Revisar la capacidad de carga de la estructura del Puente Férreo, con la nueva carga viva de diseño: Locomotora C21 EMP.
- Realizar el diagnóstico de la estructura del Puente Férreo denominado puente No. 15 - Caño Frutillo localizado en el corredor férreo Bogotá – Belencito
- Definir el tipo de intervención necesario para la conservación del puente en estudio.
- Diseño de la intervención propuesta.

1.3. Justificación

La Red Férrea del país, ha estado fuera de servicio por muchos años, puesto que si bien es cierto que a finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, se implementó una política de construcción de la red férrea, para inter-comunicar el centro del país, tanto con la costa Pacífica como con la costa Atlántica, a través de los puertos marítimos más importantes del país, en la actualidad están fuera de funcionamiento.

El Gobierno Nacional, procedió a construir la red férrea del Pacífico y la red férrea del Norte; sin embargo, el Estado, no se preocupó por implementar un programa de mantenimiento y conservación de las redes férreas, por lo tanto dichas redes, sufrieron un deterioro severo, hasta el punto de colapsar la red en varios puntos localizados.

Aunado a la falta de mantenimiento de dichos corredores férreos y deterioro de los mismos, la red vial carretera, tomó mucho auge, desplazando los productos que se transportaban por la red férrea a la red carretera. Por lo tanto el funcionamiento de la red férrea, se paralizó y su infraestructura quedó abandonada por muchos años.

En la actualidad, el Gobierno Nacional, está interesado en reactivar dicha red a través de la participación del sector privado, mediante el modelo de concesiones. Por esta razón, el Ministerio de Transporte, ha promulgado Decretos y Resoluciones, autorizando al sector privado a presentar propuestas tendientes a modernizar la infraestructura vial tanto vehicular, férrea y aeroportuaria, a través de la Agencia Nacional de Infraestructura – ANI o el Instituto Nacional de Vías – INVIAS o La Aeronáutica Civil.

1.4. Alcance

En el presente proyecto, se evaluará el estado actual que presenta la estructura férrea, identificando e inventariando las diferentes lesiones que presenta cada uno de los elementos estructurales, así como la determinación de las causas que han generado dichos daños y alternativas de intervención, para garantizar la estabilidad y durabilidad de la estructura.

Así mismo, se revisará la capacidad de carga de la estructura, con la carga viva de diseño que corresponde a la Locomotora C21 EMP.

Siguiendo la metodología que debe contener los estudios patológicos, se desarrollarán tres (3) etapas,

- Etapa I: Historia Clínica.
- Etapa II: Diagnóstico
- Etapa III: Intervención

Desarrolladas las etapas I y II, se planteará en la etapa III, se plantea la intervención recomendada, junto con los respectivos diseños.

1.5. Metodología Utilizada en el Estudio Patológico

Para el desarrollo del presente estudio, se proyectaron 3 etapas de trabajo:

Etapa I: Historia Clínica

- Visita de inspección al puente.
- Levantamiento básico de la estructura y registro fotográfico.
- Identificación visual de lesiones.
- Diagnóstico preliminar del estado de la estructura, y recomendaciones con respecto a las actividades a seguir.

Etapa II: Diagnóstico

- Visita de inspección del grupo interdisciplinario, de tal forma que se evalúe las lesiones que presenta el puente y a su vez, se presenten posibles hipótesis de la causa(s) de los daños presentados en la estructura.
- Levantamiento detallado de la estructura.
- Elaboración de ensayos, extracción de núcleos, regatas, pruebas de carbonatación.
- Identificación detallada de las lesiones que presenta la estructura, localización, orientación y grado del daño.
- Realización de sondeos, para conocer el perfil estratigráfico sobre la cual se cimenta la estructura.

Etapa III: Intervención

- Estudio y análisis de la información recopilada y resultados de los sondeos y ensayos.
- Determinación del diagnóstico definitivo
- Planteamiento de la de intervención
- Diseño de la alternativa seleccionada.

2. DESARROLLO DEL ESTUDIO PATOLÓGICO

2.1. Etapa I: Historia Clínica

2.1.1. Localización del proyecto



Figura 1 Mapa de localización de Boyacá en Colombia
Fuente: Shadowfox . (2012). Wikimedia Commons

El Puente Férreo denominado puente No. 15 - Caño Frutillo localizado en el corredor férreo Bogotá – Belencito se encuentra ubicado en el Departamento de Boyacá que está dividido en 123 municipios, 123 corregimientos, 185 inspecciones de policía, así como, numerosos caseríos y sitios poblados con capital en la Ciudad de Tunja.

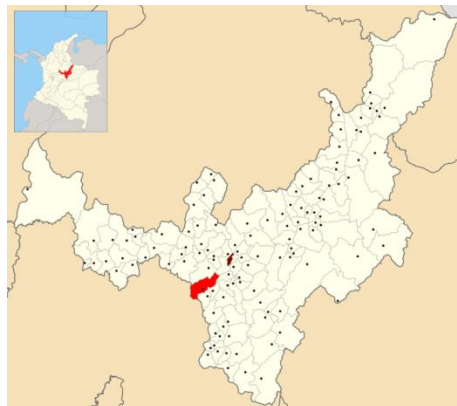


Figura 2 Mapa del Municipio de Ventaquemada, Boyacá (Colombia)
Fuente: Shadowfox . (2012). Wikimedia Commons,

Uno de sus municipios del Departamento de Boyacá es Ventaquemada donde se ubica el puente en estudio.

Coordenadas: 5°21'59"N 73°31'19"O

Superficie Total: 159.3 km²

Altitud Media: 2630 m s. n. m.

Distancia: 29 km a Tunja.

Población (2015):

- Total 15 442 hab.
- Urbana 2399 hab.

Ventaquemada es un municipio colombiano ubicado en la Provincia del Centro en el departamento de Boyacá. Está situado sobre la Troncal Central del Norte a unos 29 km de la ciudad de Tunja, capital del departamento y del puente en donde tuvo lugar la batalla de Boyacá.

El municipio limita al norte con Tunja y Samacá, al sur con Turmequé y Villapinzón, al oriente con Boyacá, Jenesanoy Nuevo Colón y al occidente con Guachetá, Lenguaque y Villapinzón.

Economía

El principal producto agrícola del municipio es la papa; otros productos que se destacan son la arveja, el maíz y las habas. También se desarrolla la ganadería lechera en una menor escala.

2.1.2. Descripción del Proyecto

a. Descripción de la Estructura.

El puente objeto de este estudio, corresponde al puente No. 15 en el Km 242+526 de la vía férrea Bogotá – Belencito.

El puente presenta una longitud total de 21.40 m, compuesta por tres (3) luces, la luz central de 5.52 m de longitud, compuesta por vigas metálicas de alma llena y las luces laterales corresponden a arcos en concreto simple de 4.5 m de luz libre y espesor de los arcos 0.57 m.

Los tímpanos son en piedra pegada con ligante en mortero.



Figura 3 Vista longitudinal del puente.
Fuente: Propia



Figura 4 Vista longitudinal del puente
Fuente: Propia



Figura 5 Detalle luz central – Vigas metálicas de alma llena.
Fuente: Propia



Figura 6 Pilas en mampostería MD.
Fuente: Propia

b. Visita de inspección:

La visita de inspección se realizó el día 12 de abril de 2014, en dicha visita se efectuó un levantamiento básico de la estructura y se procedió a la toma de fotografías.

De igual forma, se procedió a identificar las lesiones que se observaban en la estructura, tomando registro fotográfico de dichos daños.

Posteriormente, se procedió a estudiar y evaluar los daños que presentaba la estructura para emitir un diagnóstico preliminar.

c. Diagnóstico Preliminar del estado de la Estructura:

Evaluated los daños que presenta la estructura, se observa daños graves en los arcos, que son los elementos estructurales de mayor importancia, ya que pueden llegar a comprometer la estabilidad de la estructura.

De dicha inspección, se concluye que el daño que presentan los arcos, posiblemente, obedece a causas geotécnicas y estructurales.

Inspeccionada la estructura, los terraplenes de acceso, las condiciones de los accesos, taludes y en general las condiciones del entorno, observamos un escarpe pronunciado, en el acceso del puente margen derecha aguas arriba, cuya corona se encuentra cercana a la rasante de la vía férrea.

Se concluye en forma preliminar, que el daño que presenta la estructura obedece probablemente a razones estructurales (baja capacidad de carga) y geotécnicas, al presentarse un deslizamiento del talud de la margen derecha que está afectando la cimentación de dicha margen. Por esta razón, se solicitó la visita del ingeniero geotecnista, con el fin de que conceptuara al respecto.

2.2. Etapa II: Diagnóstico

2.2.1. Visita de Inspección del Grupo Interdisciplinario.

El día 13 de junio del 2015, se realizó la visita con un grupo interdisciplinario, compuesto por ingenieros del área de geotecnia, estructural, hidráulica y patología.

Durante la visita, se inspeccionó la estructura se evaluaron los daños, se recorrió la zona aledaña a la estructura. Se discutieron las posibles causas que ocasionaron el daño en la estructura. Dentro de las posibles causas se mencionaron las siguientes:

Los apoyos externos de los arcos, presentaron un asentamiento diferencial, en mayor grado el apoyo de la margen derecha que la izquierda, por las siguientes causas:

- Desplazamiento del material que conforma los taludes aguas arriba, causado por la pérdida del material en la base del talud, por acción del agua, que ha provocado la erosión y socavación de la pata del talud.
- Posible asentamiento diferencial del apoyo.
- Baja capacidad estructural de los arcos.

Se recomendó efectuar un sondeo para conocer el perfil estratigráfico y poder esclarecer la causa del daño en el estribo.

2.2.2. Levantamiento Detallado de la Estructura y Elaboración de Ensayos, Extracción de Núcleos, Regatas, Pruebas de Carbonatación.

Para los trabajos de campo, se contrató con la firma Metal-Puentes, quien se encargó de realizar el levantamiento detallado de la estructura, extracción de núcleos, realización de regatas, ensayos con esclerómetros, pruebas de carbonatación. Dichos trabajos fueron realizados en la última semana de agosto del 2015. Ver Anexo A, registros fotográficos de los trabajos realizados en campo.



Figura 7 Toma de núcleo en el arco # 1.

Fuente: Propia



Figura 8 Recuperación del núcleo No. 5

Fuente: Propia



Figura 9 Recuperación del núcleo en la base del arco.
Fuente: Propia



Figura 10 Recuperación del núcleo No. 4, obsérvese las cavidades que presenta el concreto.
Fuente: Propia



Figura 11 Inyección de agua, al taladro, en el proceso de la extracción del núcleo
Fuente: Propia

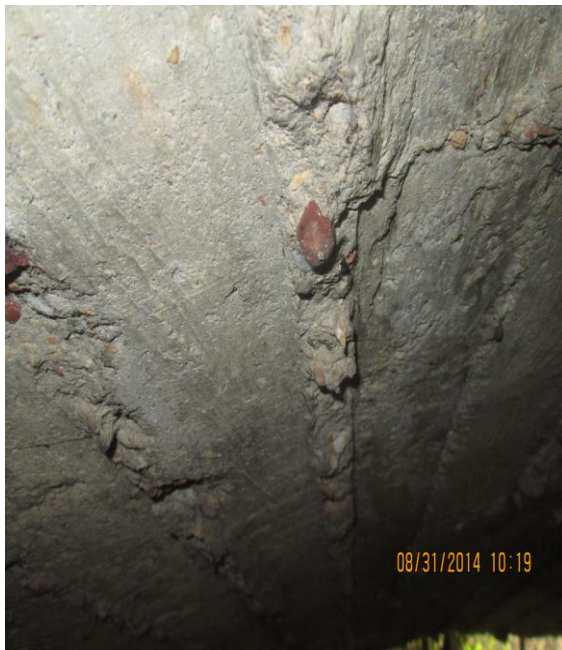


Figura 12 Concreto del arco con sobre tamaños del agregado.
Fuente: Propia



Figura 13 Concreto del arco con sobre tamaños del agregado
Fuente: Propia



Figura 14 Toma de Núcleos
Fuente: Propia



Figura 15 Demarcación de fisuras
Fuente: Propia

2.2.2.1. Realización sondeos.

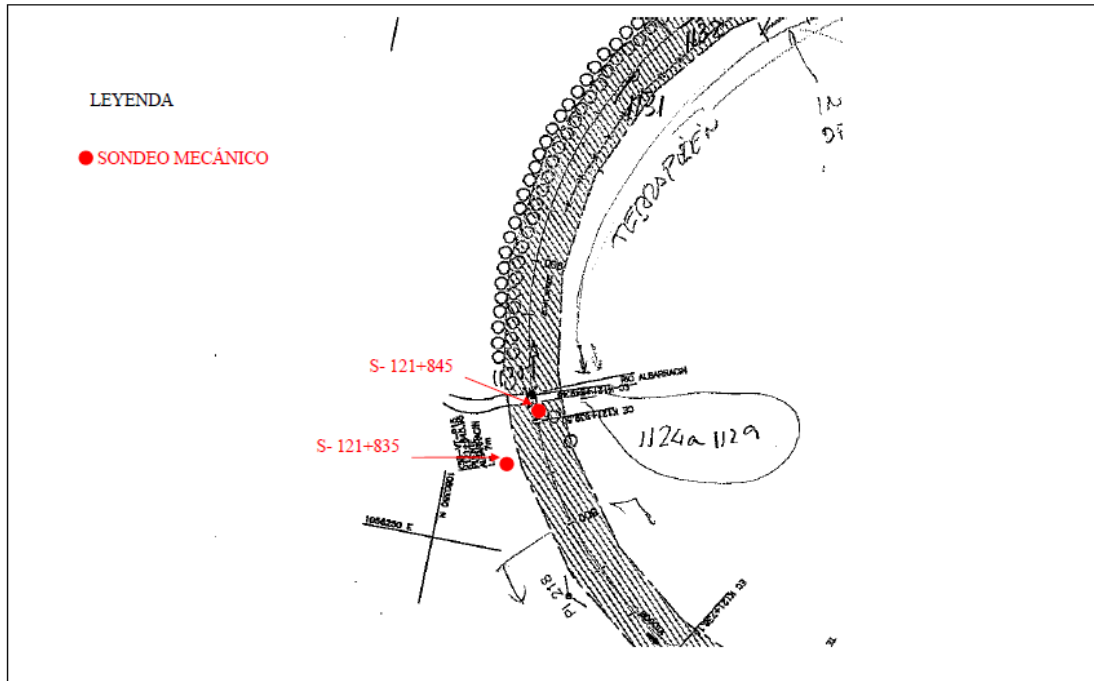


Figura 16 Localización de los sondeos
Fuente: Propia



Figura 17 Realización de sondeos
Fuente: Propia



Figura 18 Realización de sondeos
Fuente: Propia



Figura 19 Muestras para ensayos y pruebas de sondeos
Fuente: Propia

2.2.3. Esquema resumen de la patología del puente férreo #15.

Las lesiones se identificaron en dos (2) grupos:

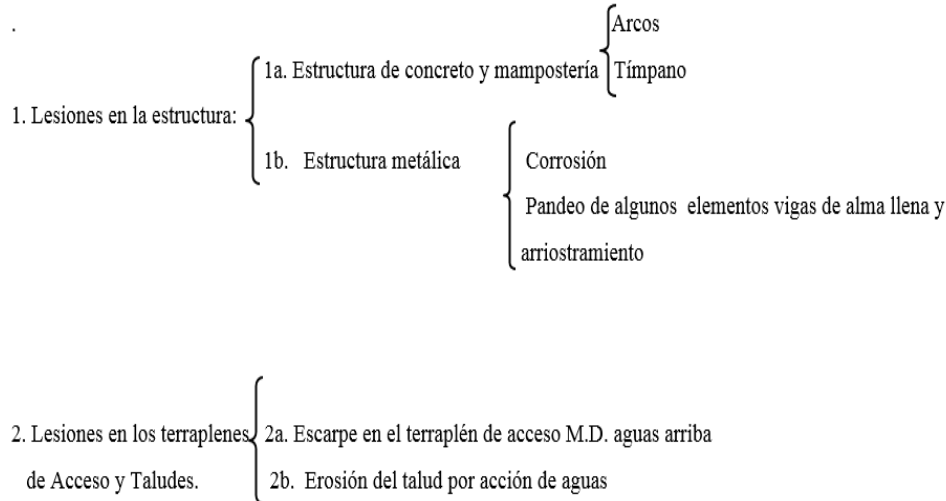


Figura 20 Esquemas resumen de lesiones
 Fuente: Propia

2.2.4. Lesiones en la Estructura.

2.2.4.1. Lesiones en elementos de concreto y mampostería

Arco # 1:

Fisuras: Se presentan 2 fisuras verticales (A1F1, A1F2) en el plano x- z, en los arcos de concreto y en los tímpanos de mampostería. Dichas fisuras, atraviesan el arco de lado a lado, comprometiendo la estabilidad general de la estructura.

Adicionalmente se observa, que este daño, se había presentado con anterioridad y había sido resanado, sin embargo las grietas volvieron aparecer al parecer porque no fue atendida la verdadera causa que generó dichas fisuras. Las fisuras presentan una abertura variable 0.5 – 2.0 cm, lo que permite concluir que el daño es severo.



Figura 21 Vista longitudinal del puente. Arco No. 1. Fisuras en el arco y tímpano, A1F1 y A1F2
Fuente: Propia



Figura 22 Arco #1. Detalles fisura A1F2.
Fuente: Propia

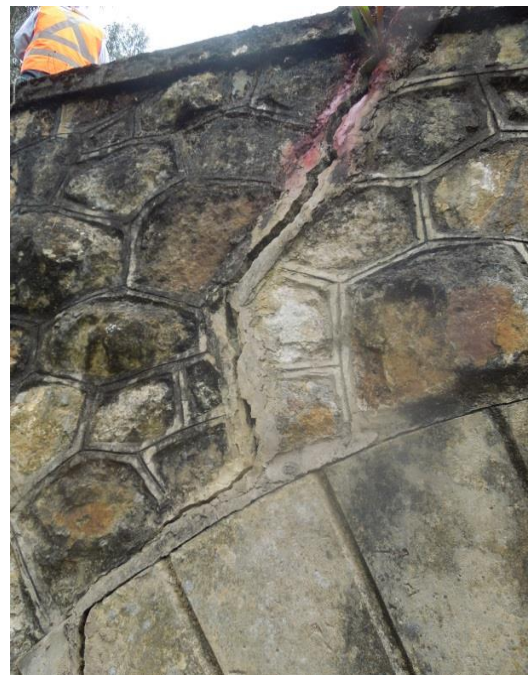


Figura 23 Arco #1. Detalles fisura A1F2.
Fuente: Propia

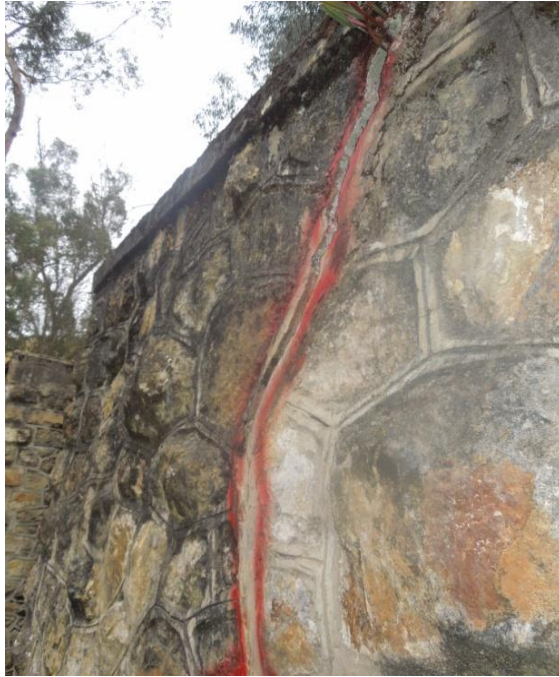


Figura 24 Arco #1. Detalles fisura A1F2
Fuente: Propia



Figura 25 Arco #1. Detalles fisura A1F2
Fuente: Propia



Figura 26 Detalles fisura A1F1
Fuente: Propia



Figura 27 Arco #1. Detalles fisura A1F1. Nótese que la fisura atraviesa la totalidad del arco
Fuente: Propia



Figura 28 Detalle fisura A1F1. Nótese que el concreto de la margen derecha ha sido reparado. Se observa el descolgamiento de la cuña de concreto, que hace pensar que los arcos de concreto no son reforzados, sin embargo esta apreciación será confirmada con los ensayos de campo
Fuente: Propia



Figura 29 Arco A1 – lesión A1F1. Nótese las diferencias en las texturas de los concreto, que nos permite deducir que el concreto de la margen la izquierda, corresponde a la estructura original, mientras que el de la derecha, es un concreto más joven.
Fuente: Propia



Figura 30 Arco A1. Lesiones de infiltración de agua, humedad y problemas de carbonatación del concreto
Fuente: Propia



Figura 31 Arco A1. Lesiones de infiltración de agua, humedad y problemas de carbonatación del concreto.
Fuente: Propia

Arco # 2:

Fisuras: Se presentan 2 fisuras verticales (A2F1, A2F2) en el plano x- z, en los arcos de concreto y en los tímpanos de mampostería. Los daños que presenta el arco # 2, son menores que los daños encontrados en el arco # 1, sin embargo parece ser que las causas de la patología encontrada en cada uno de ellos es muy similar.

Adicionalmente se observa, que este daño, se había presentado con anterioridad y había sido resanado, sin embargo la grietas volvieron aparecer al parecer porque no fue atendida la verdadera causa que generó dichas fisuras. Las fisuras presentan una abertura variable de 0.5 y 2.0 cm, lo que permite concluir que el daño es severo.



Figura 32 Arco #1. Vista aguas abajo. Presenta dos (2) fisuras verticales (A1F1, A1F2) en el plano x- z. Las fisuras, atraviesan el arco como se observa en las fotografías siguientes
Fuente: Propia



Figura 33 Vista aguas abajo. Detalle de la lesión A1F2. Vista aguas abajo. Nótese que la fisura fue resanada anteriormente, sin embargo no atraviesa el arco.
Fuente: Propia



Figura 34 Vista del Arco # 2, aguas arriba
Fuente: Propia



Figura 35 Arco #2. Detalle fisuras A2F1 y A2F2
Fuente: Propia



Figura 36 Arco #2. Detalles de las fisuras. Lesión A2F1
Fuente: Propia



Figura 37 Arco #2. Detalles de las fisuras. Lesión A2F1
Fuente: Propia

2.2.4.2. Lesiones Estructura metálica



Figura 38 Vista longitudinal luz central, aguas arriba. Vigas metálicas de alma llena.
Fuente: Propia



Figura 39 Detalle de daños en la estructura metálica de corrosión. Grado de corrosión alto. Vista aguas arriba
Fuente: Propia



Figura 40 Vista longitudinal luz central, aguas arriba. Vigas metálicas de alma llena. Aguas abajo, nótese que el estado de las vigas es mejor que aguas arriba, muy probablemente, por la acción del viento.
Fuente: Propia

2.2.5. Lesiones en los Terraplenes de Acceso y Taludes.

Se encontraron varias lesiones tanto en los accesos al puente como tal como en los taludes colindantes con la estructura del puente. Adicionalmente se encontraron lesiones por la acción del agua.

Aunque las lesiones de tipo geotécnico, están relacionadas unas con otras, es decir que las causas de las lesiones que se mencionan a continuación, están vinculadas unas con otras, consideramos conveniente analizar los daños en forma separada, para analizar con mayor detenimiento cada una de las lesiones.

2.2.5.1. Escarpe en el terraplén de acceso M.D.

Esta lesión, fue calificada como lesión grave, dado que la corona del escarpe se encuentra muy cerca de la rasante de la vía férrea, amenazando con interrumpir el paso férreo en este punto.

Se tienen varios registros en diferentes épocas de estos daños, las diferencias al parecer son muy pocas, probablemente por los lapsos de tiempo que son cortos.



Figura 41 Vista del escarpe, nótese lo cerca que está la corona del escarpe a la red férrea. Fecha 12 – abril – 2014
Fuente: Propia



Figura 42 Vista del escarpe, nótese lo cerca que está la corona del escarpe a la red férrea. Fecha 12 – abril – 2014
Fuente: Propia



Figura 43 Detalle del escarpe MD, aguas arriba, nótese la proximidad de la corona del escarpe con la vía férrea
Fuente: Propia



Figura 44 Detalle escarpe MD aguas arriba. Fecha 13 – junio de 2014
Fuente: Propia

2.2.5.2. Escarpes en el talud de la M.D. aguas arriba.



Figura 45 Nótese los desplazamientos del talud, por pérdida de material en la pata del talud, por acción de las aguas, observándose las coronas de dichos escarpes. Fecha 12 abril 2014
Fuente: Propia



Figura 46 Otro detalle del talud. Fecha 12 abril 2014
Fuente: Propia



Figura 47 Vista del talud MD aguas arriba. Fecha: 12 - abril - 2014
Fuente: Propia



Figura 48 Vista talud MD aguas arriba de fecha 9-agosto 2014
Fuente: Propia



Figura 49 Entorno, acceso al puente férreo. Fecha 9-agosto 2014 visita metalúrgico
Fuente: Propia



Figura 50 Vista del talud MD aguas arriba. De fecha 9-agosto 2014
Fuente: Propia

2.2.5.3. *Erosión del talud por acción de aguas*



Figura 51 Talud margen derecha aguas arriba. Nótese la erosión del talud. Fecha 12 – abril – 2014
Fuente: Propia



Figura 52 Talud MD aguas arriba. Obsérvese la cuña de terreno que está próximo a desprenderse. De fecha 9-agosto 2014
Fuente: Propia



Figura 53 Talud MD aguas arriba. Detalle del bloque de material sobre el lecho de la Qda. Y la cuña próxima a desprenderse. De fecha 9-agosto 2014
Fuente: Propia



Figura 54 Talud MD aguas arriba. Otro detalle del bloque de material sobre el lecho de la Qda. Y la cuña próxima a desprenderse.
De fecha 9-agosto 2014
Fuente: Propia



Figura 55 Talud MD aguas abajo. Nótese la erosión dada la alta pendiente
Fuente: Propia



Figura 56 Detalle del talud aguas arriba del puente. Obsérvese otros escarpes menores en el talud, por acción de la quebrada, que muy seguramente en épocas de creciente ha arrastrado material de lado y lado de la quebrada, perdiendo soporte la pata del talud, provocando el deslizamiento del material.

Fuente: Propia



Figura 57 Nótese la verticalidad de las paredes de las pilas
Fuente: Propia

2.2.6. Resultados de Sondeos.

De acuerdo a lo acordado, la firma geotecnista, procedió a realizar dos (2) sondeos, para para conocer el perfil estratigráfico sobre la cual se cimenta la estructura.

La firma geotecnista, procedió hacer 2 sondeos, un sondeo en el estribo de la margen derecha (sondeo No. 1) y otro sondeo en el terraplén de acceso al puente de la misma margen (sondeo No. 2).

Tabla 1 localización y Profundidad de los sondeos
Fuente Propia

SONDEO No :	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m)
121+835	15.00
124+845	15.60

A continuación se describen los materiales detectados en las perforaciones realizadas:

Sondeo 121+835

- Suelo vegetal: Detectado de 0.00 a 0.70m
- Relleno terraplén: Mezcla de gravas y bolos de areniscas y cuarcitas con matriz limosa arenosa de color beige. Este material se ha detectado de 0.70 a 3.60m
- Suelo de Alteración de pizarras: Se trata de unas arcillas y arcillas arenosas de color gris claro a niveles más ricos en arenas de color marrón anaranjado con abundantes gravas de pizarras y areniscas, intercalado con algún nivel en el que las pizarras se encontraban menos alteradas. Estos materiales se han detectado desde 3.60 a 10.70m
- Arenas limosas: Se trata de unas arenas finas a medias limosas de color amarillento anaranjado. Estos materiales se han detectado desde 10.70 hasta el final del sondeo, 15.00m.

Sondeo 121+845

- Balasto contaminado: Detectado de 0.00-0.30m
- Relleno terraplén: Mezcla de bolos de arenisca con una matriz arenosa limosa de color amarillento hasta 1.20m y bloques de pizarras y arcillas grises hasta una profundidad de

3.50 y zahorra natural (gravas arenosas) hasta la base. Estos materiales se han detectado desde 0.30 a 5.20m

Ver anexo B, que contiene el estudio de suelos, junto con la información de los sondeos y conclusiones.

2.2.7. Resultados de los Ensayos de Campo y Laboratorio.

Se tomaron núcleos en los dos (2) arcos de concreto y en la mampostería de piedra. Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2 Resultados de los núcleos
Fuente propia

ITEM	PUENTE # 15				
PR	K121+845				
Radio de curvatura del puente	R=120,21; R=154.88				
Longitud total	23,01				
Longitud muros de contención (gaviones)	-				
Tipología	Arco # 1	Luz Metálica	Arco # 2		
Radios de los arcos de concreto	4,5	-	4,5		
Espesores de los arcos	0,57		0,57		
No. de núcleos	2	-	2		
Resistencias de núcleos a la compresión (Mna)	15,3	35,4	-	18,4	25,9
Resistencias de núcleos a la compresión (kg/cm ²)	156	361	-	187,6	264,1

Adicionalmente, se tomaron resistencias en los elementos estructurales, mediante el uso del esclerómetro, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3 Resistencia de elementos estructurales
Fuente Propia

ELEMENTO	RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa)
CONCRETO ARCO NORTE (AC#2)	33
CONCRETO ARCO SUR (AC#1)	25
CONCRETO ANDENES	33
MAMPOSTERIA EN PIEDRA	43

Resultados de ensayos de carbonatación: Se realizaron ensayos de carbonatación, encontrándose que los concretos no reaccionaron a la fenolftaleína, es decir que el PH está por debajo de 9, no obstante al no tener acero de refuerzo y al no tener estaciones severas en donde la filtración de agua pueda afectar al acero, no tiene relevancia este aspecto.

2.2.8. Análisis de los Resultados de los Ensayos.

Para cada uno de los arcos, se tomaron dos (2) sondeos, cuyos valores de resistencia a la compresión, se encuentran muy distanciados uno de otro. Desafortunadamente, solo se tomaron 2 núcleos por elemento. Lo recomendado es tomar tres (3) muestras, (número representativo estadísticamente), pues permite descartar el valor que este más alejado de los otros valores.

Se tomaron dos (2) valores, en cada uno de ellos, puesto que los arcos, presentan una longitud de 4,5 m de longitud, es decir que se trata de una luz muy corta.

En cuanto a las resistencias a compresión de los elementos, obtenida mediante el Esclerómetro, podemos afirmar que dichos valores son muy semejantes a los valores obtenidos en los núcleos de los arcos localizados aguas arriba. Lo que nos permite concluir las resistencias a la compresión de los arcos es de 33 MPa y 25 Mpa respectivamente.

Con respecto a los resultados obtenidos con los ensayos de carbonatación, no es muy importante en este momento, puesto que los arcos son en concreto simple, es decir que los arcos no presentan acero de refuerzo, por lo tanto no se corre el riesgo de que el acero sufra una “Despasivación”, propiciando la corrosión en el elemento.

2.2.9. Revisión Estructural del Puente.

Obtenida la geometría en detalle de la estructura, y la caracterización de los elementos que constituyen al puente, se procedió a modelar el puente en forma tridimensional, mediante el programa SAP 2000, con el fin de conocer los esfuerzos en los elementos.

La revisión estructural se realizó, para los diferentes Grupos de Carga, que define el CÓDIGO AREMA – AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION. Para la carga viva, se tomó la Locomotora que transitará por dicho corredor, con sus respectivos vagones de carga. Esta carga viva, se fue moviendo a lo largo del puente, para obtener las máximas sollicitaciones en cada uno de los elementos estructurales del puente.

Posteriormente, se obtuvo la envolvente, es decir las máximas sollicitaciones en cada elemento, teniendo en cuenta los diferentes grupos de carga, como son carga viva, fuerzas de viento, fuerzas sísmicas, pesos propio etc.

Los resultados finales, arrojaron que:

- De lo anterior se puede concluir que los elementos que conforman la mampostería presentan esfuerzos a tracción en la fibra inferior del arco, por lo tanto es necesario proceder a reforzar dichos arcos, mediante la incorporación de acero de refuerzo con el fin de que tomen los posibles esfuerzos a tracción que se llegaren a presentar.
- En cuanto a los tímpanos y pilas, constituidas en piedra pegada, su comportamiento no es satisfactorio ante eventos sísmicos, dado que este tipo de material, no tiene capacidad de soportar tracciones.
- Con relación a la estructura Metálica, el perfil existente IPE 400 No Cumple con los Nuevos requerimientos de carga por lo tanto se debe modificar con un perfil HEA-500 Grado 50, con la misma distribución de arriostramiento Transversal.

2.2.10. Hipótesis de diferentes causas que generaron las lesiones en la estructura:

A continuación se presentará las posibles causas que han generado las lesiones en los arcos, comprometiendo la estabilidad de la estructura de diferente índole, bien sea geotécnico, estructural o hidráulico.

2.2.10.1. Fallas de tipo geotécnico

a. Deslizamiento del talud:

Es probable que el relleno, sobre el cual se encuentra cimentado el arco, haya presentado deslizamiento con respecto al terreno natural, afectando la cimentación del estribo y por ende la estructura del puente en particular los arcos.

b. Asentamiento diferencial:

Este asentamiento diferencial del cimiento sobre el cual se apoya el arco, que es del orden de 8 cm aproximadamente, se produce quizás por una reacomodación de las partículas, al presentarse deslizamiento de la ladera sobre el cual se apoya el arco. Aunado a lo anterior, los altos niveles freáticos, contribuyen y facilitan los asentamientos diferenciales.

2.2.10.2. Falla de tipo estructural:

Baja capacidad estructural del elemento: De acuerdo con los resultados obtenidos en la revisión estructural del puente, se concluyó que los esfuerzos de tracción generados sobre los arcos tanto por las cargas del relleno como las cargas vivas de las locomotoras, por un valor de 6.5 MPa, superaron los esfuerzos de tracción en el concreto del arco, que son prácticamente cero.

Es importante mencionar, que el arco está constituido en concreto simple, es decir que no presenta acero de refuerzo, por lo tanto el concreto no es capaz de tomar esfuerzos a tracción.

2.2.10.3. Falla de tipo hidráulico:

Socavación del talud sobre el cual se apoya la estructura: En la auscultación de la totalidad de la estructura, se inspeccionó el cauce de la quebrada, observando que la pata del talud se ha venido socavando por la acción de las aguas de la quebrada, e incluso se evidencia vestigios de un muro colapsado en medio del cauce en épocas pasadas y a su vez se observan cuñas de bloques del terreno del talud, sueltas que en cualquier momento caerán. La socavación de la pata del talud,

pudo haber causado deslizamiento y desconfinamiento del talud, agravado por la fuerte pendiente que poseen los taludes del puente.

2.2.11. Análisis de las hipótesis de causa de las lesiones de la estructura.

2.2.11.1. Fallas De Tipo Geotécnico

Para el análisis de esta hipótesis, se procedió a adquirir la geología del sitio en estudio, para conocer su origen y utilizarla como una posible herramienta más, en cuanto a información se refiere.

Por otro lado, se ha consultado diferente literatura geotécnica, como se observa en la bibliografía., determinando que el tipo de deslizamiento que se está presentando en el puente de acuerdo con la geometría que presenta el talud actualmente, corresponde a un deslizamiento de tipo rotacional, por las razones que se mencionan a continuación:

- La composición del terreno corresponde a suelos cohesivos.
- La patología que presenta el talud, corresponde a la descripción del deslizamiento rotacional, como es, la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro, se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo en movimiento. Adicionalmente, visto en planta, se observa una serie de agrietamientos concéntricos y cóncavos en la dirección del movimiento.
- Igualmente, el deslizamiento se ajusta a que este tipo de movimiento produce un área de hundimiento en la parte superior en el escarpe debajo de la corona. El deslizamiento rotacional, presenta el hundimiento en la parte superior tal y como se describió anteriormente y en la parte inferior, por debajo del pie del deslizamiento se presenta una zona de flujos de materiales. En el caso, que nos ocupa, no se observa la zona inferior, puesto que esta zona coincidiría con el lecho de la quebrada, material que muy probablemente ha sido arrastrada por la corriente de la quebrada.

Para verificar la estabilidad del talud, se procedió a determinar el Factor de Seguridad, de tal forma que si es mayor o igual que 1, el talud es estable, de lo contrario se presentará inestabilidad en el

mismo. El Factor de Seguridad, está dado por el cociente entre el momento resistente (MR) o estabilizante y el momento de las fuerzas actuantes (MA).

$$\mathbf{F.S. = \frac{MR}{MA}}$$

$$MR = F.R. * R \quad \rightarrow \quad F.R. = c * L$$

$$MA = F.A. * d \quad \rightarrow \quad F.A = W * d$$

F.S. → Factor de seguridad al deslizamiento

c → Cohesión

L → Longitud de la falla

R → Radio de curvatura de la falla

W → Fuerza que ejerce la masa

Distancia de la fuerza W al centro de curvatura

d → O.

Mediante el método de dovelas aproximada, del método del equilibrio límite, se determinó el factor de seguridad, obteniéndose un valor de F.S. = 0,92, lo que quiere decir que el talud no es estable, dado que el cociente es menor a la unidad.

Por otro lado, se revisaron los sondeos realizados tanto en el estribo del puente (sondeo PK121+845) como en el terraplén de acceso al puente (sondeo PK121+835), encontrándose que la cimentación del puente se encuentra a una profundidad de 7.40 m, espesor aproximado de la zapata 70 cm. Por debajo de la cota de cimentación, se encuentra una capa de 1.60 m de espesor de concreto en mampostería, al parecer muy fracturado y una capa subyacente a esta, que corresponde a concreto con mampostería de espesor aproximado de 1.5 m.

En el perfil estratigráfico del estribo, se observa que hasta una profundidad de 10.5 m, se encuentra concreto con bloques de areniscas o concreto con mampostería, por lo tanto podemos afirmar que la cimentación es buena, sin embargo este apoyo es atravesado por la falla, y es quizás la razón del trituramiento del concreto de 7.40 a 9.0 m, que describe el sondeo en su perfil estratigráfico (sondeo PK121+845), lo que muy probablemente causó movimiento y asentamiento de dicho apoyo.

Es importante recordar, que tanto los arcos en concreto simple como la mampostería en piedra pegada, no poseen capacidad alguna para tomar los esfuerzos de tensión que se presentarían en la parte superior de la estructura ante un posible asentamiento del apoyo, por lo tanto el asentamiento sufrido por el estribo, es la causa de las fisuras que posee la estructura.

A continuación, se presenta un perfil del puente, donde se muestra la corona del deslizamiento, el asentamiento que sufrió y la trayectoria de la falla.

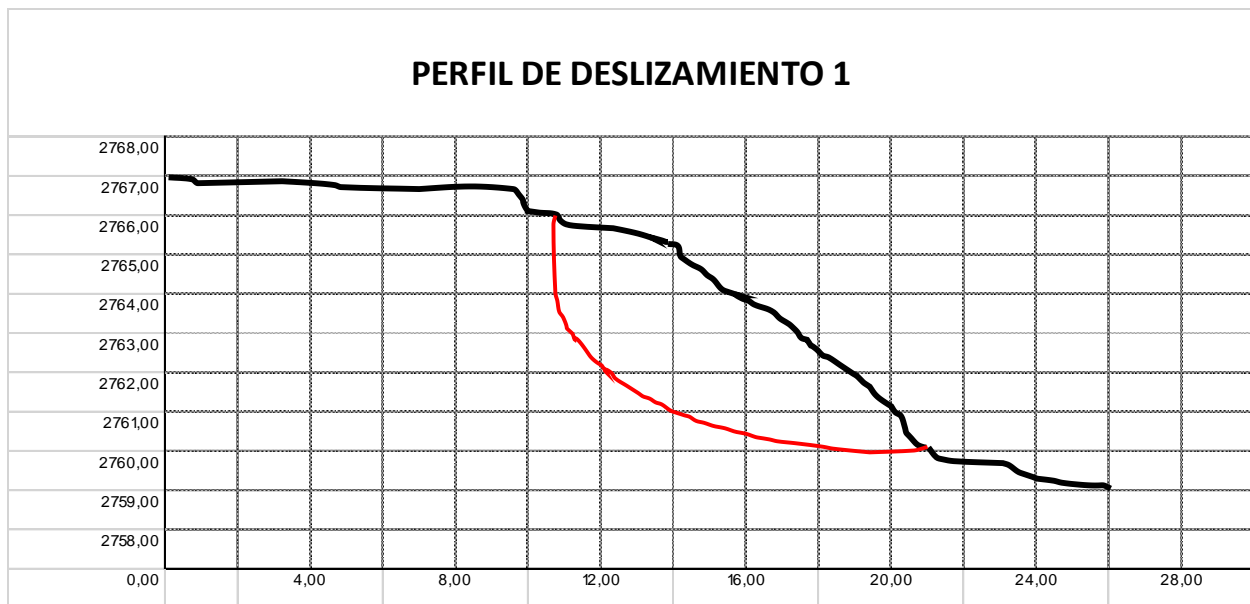


Figura 58 Perfil de deslizamiento del talud
Fuente: Propia

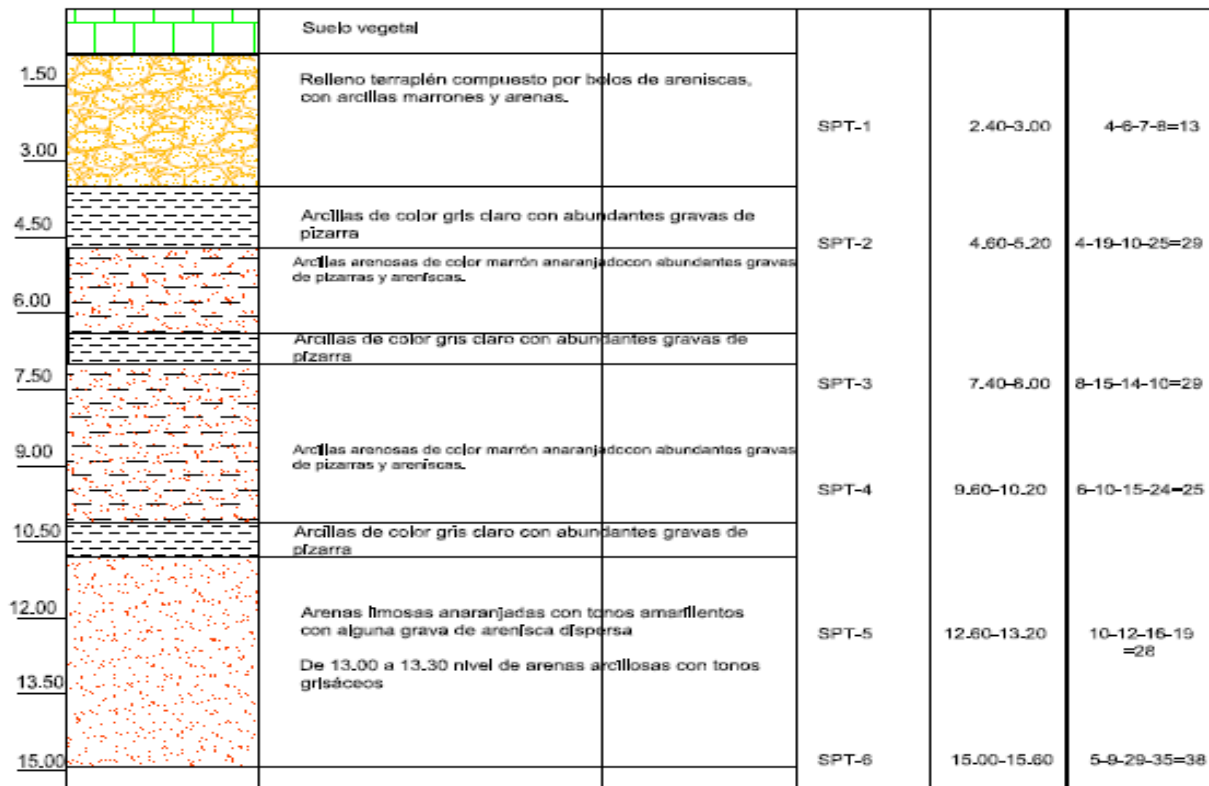


Figura 59 Perfil estratigráfico KM 121+835
 Fuente: Propia

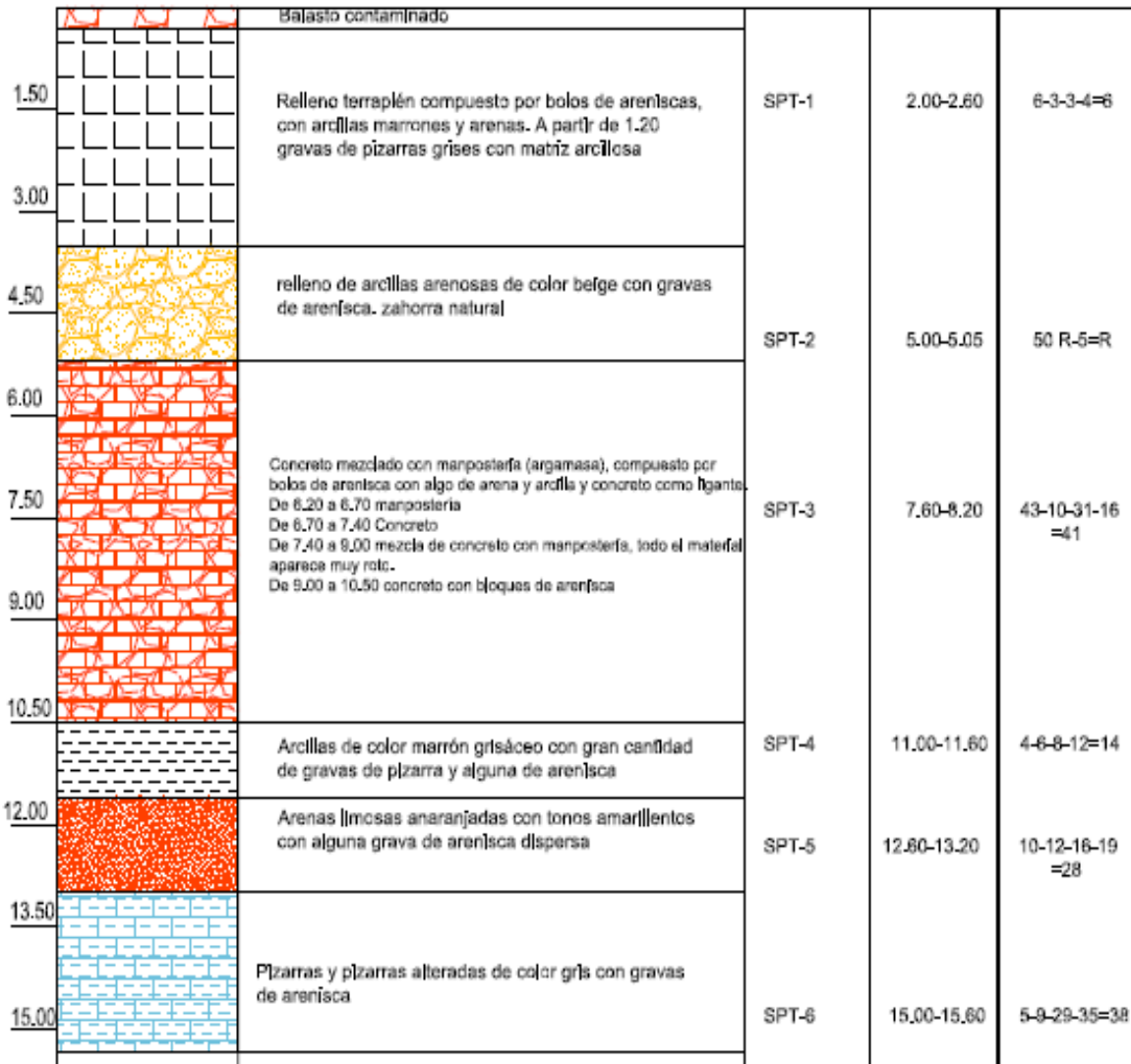


Figura 60 Perfil estratigráfico KM 121+845
 Fuente: Propia

2.2.12. Diagnóstico Definitivo.

Estudiadas y analizadas las posibles causas que ocasionaron las lesiones a la estructura del puente, junto con los resultados de los ensayos y sondeos de campo, se concluye que la causa primaria, fue la socavación y erosión que sufrió el muro de contención en gaviones, localizado en la pata del talud, aguas arriba margen derecha, por acción de las aguas de la Quebrada Frutillo, provocando pérdida de soporte en su base y su consecuente colapso.

El colapso del muro de contención, desencadenó en forma progresiva una serie de eventos, hasta llegar a la fractura de la estructura del puente más exactamente a la fractura del arco de la misma margen.

Muy probablemente, el muro de gaviones, se encontraba cimentado en forma superficial, (característica propia de la infraestructura vial de dicha época (alrededor de 1930), lo que facilitó el proceso de erosión del muro.

Es de anotar, que aguas arriba del puente en estudio, la quebrada presenta una trayectoria en curva, de tal forma que el radio externo corresponde a la margen derecha, por lo tanto el cauce tiende a recostarse en dicha margen, especialmente en épocas de lluvias, cuyo nivel de aguas asciende en forma considerable.

Como eventos desencadenados a raíz de la socavación y colapso del muro de contención, es decir como causas secundarias, podemos mencionar la desestabilización del talud localizado detrás del muro, talud constituido parcialmente por un relleno, para lograr y mantener la cota requerida en el corredor férreo y la fractura del arco de la estructura del puente, causada por la falla rotacional del talud y el des-confinamiento del talud, lo que provocó el asentamiento diferencial en la base del estribo.

Finalmente, consideramos importante mencionar, que la superficie de falla del talud, muy probablemente, atravesó el cimiento del puente, triturando parcialmente la base del cimiento del estribo, en una profundidad aproximada de 8 m, como lo describe el sondeo en su perfil

estratigráfico, lo que causó reacomodación de los bloques fracturados, asentamiento diferencial del apoyo y por ende fractura del arco y tímpanos de la estructura.

Factor Detonante:

Muy probablemente el factor detonante, fueron las fuertes lluvias que se presentaron en el año 2010, que hizo que los caudales se incrementaran considerablemente, aumentando su velocidad y capacidad de arrastre, lo que ocasionó una aceleración en el proceso de erosión y socavación de la base del muro.

Se consultó información del IDEAM de los últimos años, obteniendo lo siguiente:

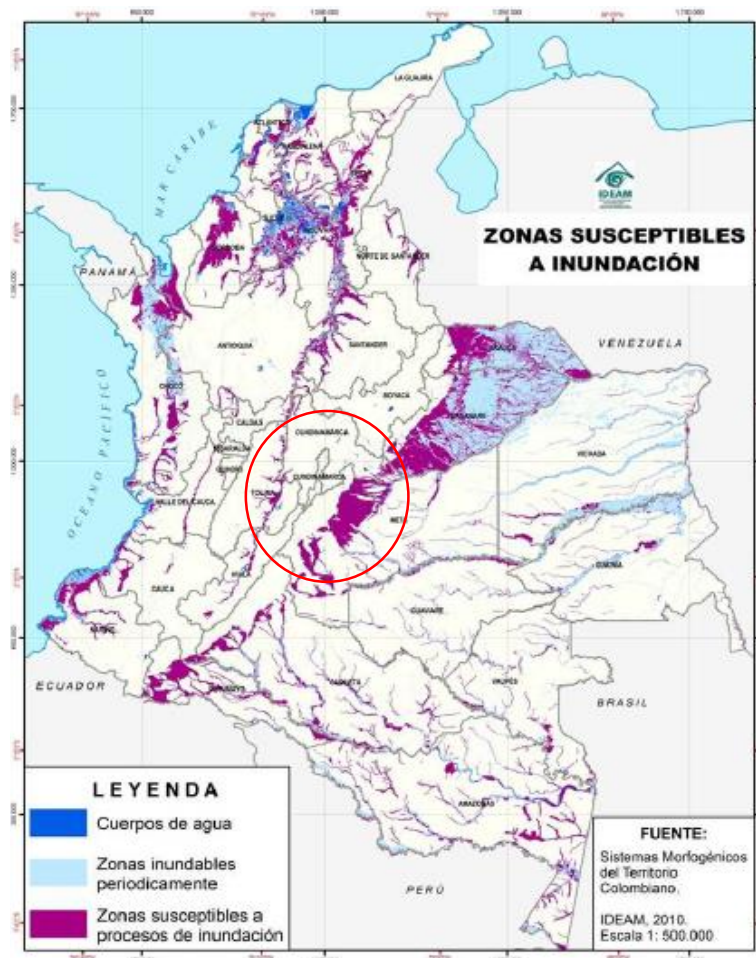


Figura 61 Reporte final de áreas afectadas por inundaciones 2010 – 2011

Fuente: IDEAM, Recuperado de: Sitio web: www.dane.gov.co/files/noticias/Reunidos_presentacion_final_areas.pdf

Ante un fenómeno típico de “La Niña”, los efectos climáticos empiezan a sentirse desde mediados de año con un incremento de las lluvias en las regiones Caribe y Andina. Los mayores impactos se evidenciaron en la segunda temporada lluviosa de 2010 y la primera temporada de lluvias de 2011, manifestándose en un aumento significativo de los niveles de los ríos y con ello las inundaciones lentas, crecientes súbitas en las zonas de alta pendiente y aumento de la amenaza de deslizamientos de tierra.

Es importante señalar, que cada evento “La Niña” es diferente y que su repercusión en el clima nacional, no solo está dada por la intensidad del mismo, sino también, por la interacción que pueda presentar con otro tipo de fenómenos océano-atmosféricos presentes en el Atlántico y más específicamente en el mar Caribe.

Comparando datos de diferentes años se evidencia que para noviembre de 2010, se presenta un aumento significativo de eventos de inundaciones y deslizamientos por efecto del fenómeno de la niña en el departamento de Boyacá.

Nota: se consultaron registros pluviométricos de la región Cundi-Boyacense, de los años comprendidos entre el 2010 y 2014.

2.3. Intervención en el Puente:

El puente tendrá una intervención de dos partes: rehabilitación para conservar, mantener y salvaguardar la estructura existente y construcción de una nueva estructura sobre la estructura antigua la cual protegerá la antigua y será el puente en uso. Por lo tanto será la combinación de estas dos intervenciones.

- Rehabilitación parcial de la estructura existente
- Construcción de una nueva estructura, conservando parcialmente la estructura existente, como lo veremos más adelante.

2.3.1. Rehabilitación parcial de la estructura existente:

Por tratarse la estructura del puente de un Monumento de Interés General, se plantea la rehabilitación parcial de la estructura, de tal forma que se conserve los arcos y tímpanos y que se mantenga la arquitectura del puente; sin embargo estos elementos que quedarán en pie no trabajarán estructuralmente, dado que por la parte interior de los tímpanos se proyectará una viga metálica de alma llena, encargada de recibir y soportar las cargas del peso propio y las cargas vivas.

Dentro de las actividades a ejecutar en la rehabilitación de la estructura se encuentra:

- Construcción de muros de contención, aguas arriba y aguas abajo en las dos márgenes.
- Conformación de los taludes correspondientes a los terraplenes de acceso al puente.
- Demolición y reconstrucción de los arcos fracturados, en concreto reforzado.

2.3.2. Construcción de una nueva estructura.

La nueva estructura, se proyectó buscando la menor intervención posible en la estructura existente, dado su valor histórico.

La nueva estructura consiste en una luz que salva la totalidad de la longitud del puente existente. Los nuevos estribos, se localizan por fuera de los estribos existentes, aproximadamente 5 m a lado y lado. Se tiene proyectado, vigas metálicas de alma llena, trabajando en sección compuesta con una losa en concreto reforzado, sobre la cual se aloja el balasto, traviesas, rieles y contraríeles.

En cuanto a la infraestructura, esta se proyectó, en vigas cabezales sobre las cuales se apoya la superestructura.

La cimentación, consiste en pilotes pre-excavados en concreto reforzado.

Es importante aclarar, que el diseño del nuevo puente, está concebido de tal forma, que no afecta la estructura existente, tal y como se aprecia en los planos de diseño, puesto que los apoyos del nuevo puente, se localizarán por fuera de la estructura y la superestructura está proyectada, en

medio de los dos (2) tímpanos, retirando la estructura metálica de la luz central y parte del relleno.

2.3.3. Cantidades de materiales: (Anexo F)


Tabla 4 Cantidades de materiales para intervención de puente Nuevo y puente Rehabilitado
Fuente propia

Cantidades de Materiales

		ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD
CONSTRUCCION PUENTE NUEVO	SUPERESTRUCTURA	TABLERO (f' c=28 Mpa)	m3	36,5
		ACERO ESTRUCTURAL A-588	kg	25.556,00
		ACERO DE REFUERZO fy=420 Mpa	kg	12.502,00
	INFRAESTRUCTURA	ESTRIBOS Y ALETAS (f' c=21 Mpa)	m3	31,2
		CAISSONS D=1,3 m (No incluye acero de refuerzo)(f' c=28 Mpa)	m3	69,2
		CONCRETO PARA ANILLOS CAISSONS (f' c=14 Mpa)	m3	35,2
		CONCRETO DE LIMPIEZA (f' c=14 Mpa)	m3	2
		ACERO DE REFUERZO Fy=420 Mpa	Kg	12.476,00
	OTROS	APOYOS DE NEOPRENO DUREZA 70 REFORZADO	Un.	4
		TUBERÍAS DE DRENAJE O4"	m	20
		GEOTEXTIL NT 1600	m2	27
		FILTRO EN GRAVA FINA	m3	8
		RELLENO PARA ESTRUCTURAS EN MATERIAL SELECCIONADO	m3	90
		EXCAVACIONES	m3	75
	REHABILITACION PUENTE EXISTENTE	CONCRETO PARA ARCOS (f' c=21 Mpa)	m3	17,3
CONCRETO PARA MUROS DE CONTENCIÓN (f' c=21 Mpa)		m3	83	
ACERO DE REFUERZO fy=420 Mpa		kg	2.783,00	
RETIRO TIMPANOS (PIEDRA PEGADA)		m3	16	
RECONSTRUCCION Y RESANE DE TIMPANOS EN PIEDRA PEGADA		m3	7,2	
DEMOLICION ARCOS EXISTENTES (CONCRETO SIMPLE)		m3	17,3	
RELLENO PARA ESTRUCTURAS EN MATERIAL SELECCIONADO		m3	96	
EXCAVACIONES		m3	192	

2.3.4. Presupuesto: (Anexo E)

Tabla 5 Presupuesto para la intervención del puente (Véase anexo E)
Fuente propia

 <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS FACULTAD DE INGENIERIA ESPECIALISTA EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCION TRABAJO GRADO TPI Estudio Patológico del Puente No. 15 en el Km 242+526, de la vía férrea Bogotá – Belencito PRESUPUESTO</p>								
N°	ITEM DE PAGO	ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION	UND.	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
		GENERAL	PARTICULAR					
1	600.1.1	600-13		Excavaciones varias sin clasificar (estas pendiente incluir las cantidades de muros de contención)	m3	267,00	\$ 22.807,00	\$ 6.089.469,00
2	201.07	201,07		demolicion y retro de elementos de concreto	m3	33,30	\$ 46.413,00	\$ 1.545.552,90
3	610.1	610-13		Rellenos para Estructuras con material seleccionado	m3	186,00	\$ 91.310,00	\$ 16.983.660,00
4	630.3.3P		630.3.3P	Caissons concreto fc=28 MPa (diámetro 1.3 m, incluye excavaciones, soporte temporal, concreto tremie bombeo, no incluye acero de refuerzo)	m3	69,20	\$ 1.547.609,00	\$ 107.094.542,80
5	630.3	630-13		Concreto fc=14 MPa, para anillos pilotes pre-excavados	m3	35,20	\$ 390.000,00	\$ 13.728.000,00
6	630.4	630-14		Concreto fc=28 MPa, para tablero	m3	36,50	\$ 860.000,00	\$ 31.390.000,00
7	630.3	630-13		Concreto fc=21 MPa, para reconstrucción arcos	m4	17,30	\$ 820.000,00	\$ 14.186.000,00
8	630.4	630-13		Concreto fc=21, estribos, aletas y muros	m3	114,20	\$ 620.376,00	\$ 70.846.939,20
9	630.6	630-13		Concreto fc=14 MPa, para limpieza (solado)	m3	2,00	\$ 363.506,00	\$ 727.012,00
10	1P		1P	Concreto fc=21 Mpa Reconstrucción y Resane timpanos en piedra pegada	m3	7,20	\$ 220.000,00	\$ 1.584.000,00
11	640.1	640-13		Acero de refuerzo Fy=420 Mpa.	kg	27.761,00	\$ 4.603,00	\$ 127.783.883,00
12				Acero estructural A-588 Gr. 50	kg	25.556,00	\$ 12.200,00	\$ 311.783.200,00
13	642,1	642-13		Apoyo elastomérico Dureza 70 - reforzado	u	4,00	\$ 1.516.491,00	\$ 6.065.964,00
14	661.1	661-13		Tubería de drenaje diámetro 101,6 mm (4")	m	20,00	\$ 45.000,00	\$ 900.000,00
15	673.1	673-13		Geotextil NT 1600	m2	27,00	\$ 9.122,00	\$ 246.294,00
16	673.2	673-13		Material granular drenante	m3	8,00	\$ 123.228,00	\$ 985.824,00
Subtotal								\$ 711.940.340,90

VALOR BASICO DEL CONTRATO	\$ 711.940.340,90
VALOR IVA (OBRA) (16% SOBRE UTILIDAD OBRA)	\$ 4.314.790,00
SUBTOTAL OBRAS (INCLUYE IVA)	\$ 716.255.130,90
GESTION AMBIENTAL (Incluye PAGA e IVA 16%)	\$ 20.000.000,00
VALOR TOTAL	\$ 736.255.130,90

2.3.5 Procedimiento de intervención.

Intervención estructura existente:

- Retiro de los rieles del puente y de los accesos al mismo en una longitud de 20 m a lado y lado de la estructura, a partir de los estribos.
- Retiro de la estructura metálica existente (luz central).
- Retiro del balasto y del relleno, en la totalidad del puente, hasta una cota que corresponde al inicio o arranque de los arcos.
- Retiro controlado de los tímpanos en piedra, tanto aguas arriba como aguas abajo, en el sector que corresponde a la proyección de los arcos aproximadamente. Esta actividad, se efectuará de manera cuidadosa, con el fin de reutilizar dicho material en la reconstrucción de los tímpanos.
- Retirado el relleno que se encuentra sobre los arcos, se procederá a demoler los arcos existentes, para su re-construcción.
- Paralelo a las actividades anteriormente anotadas, se procederá a la construcción de los cuatro (4) muros de contención. Ver planos (Anexo H)
- Reconstrucción de los arcos incluyendo el acero de refuerzo indicado en el plano Intervención de la Estructura Existente. Se mantendrá, exactamente la misma sección del arco existente. Por otro lado, a las caras verticales exteriores de los arcos, se deberá efectuar al concreto, las juntas ficticias, semejando las dovelas, en la misma forma como se efectuaron desde su inicio.
- Ejecutada la infraestructura de la cimentación de la nueva estructura y concluido el montaje de las vigas metálicas, se procederá a la reconstrucción de los tímpanos, utilizando en lo posible el material retirado. En caso de requerirse material adicional para su reconstrucción, se deberá colocar las piedras de las mismas características a las existentes, en cuanto a dureza, sección, color y rugosidad.

Construcción nueva estructura.

- Con el inicio de las obras de la intervención de la estructura existente, se procede a la fabricación de la estructura metálica, consistente en las vigas de alma llena y posterior transporte de la misma.
- Retirado el relleno sobre arcos, se inicia en forma paralela, la ejecución de los pilotes pre-excavados.
- Posteriormente, se procede a fundir los estribos tipo viga cabezal y las aletas suspendidas.
- Colocación y compactación de los terraplenes de acceso.
- Montaje de las vigas metálicas.
- Fundida del tablero
- Colocación balasto.
- Instalación de los rieles.

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Determinado el diagnóstico final y las causas que ocasionaron los daños que presenta la estructura del puente, se concluye que no es recomendable repotenciar la estructura en estudio, teniendo en cuenta las cargas que van a transitar sobre ella, dado que la tipología que presenta la estructura del puente, pilas y tímpanos en mampostería, no ofrecen un buen comportamiento ante un evento sísmico, dada la poca o nula flexibilidad que presenta la mampostería, para deformarse y absorber esfuerzos, presentándose una falla frágil y como consecuencia el colapso de la estructura.

Como ingenieras civiles y habiendo recibido los conocimientos necesarios para optar al título de Patología de la Construcción, estudiamos detenidamente, en que forma podíamos repotenciar la estructura existente sin afectar su arquitectura, puesto que se trata de un monumento de interés General.

Se planteó el refuerzo con fibra de carbono, encontrando que dicho refuerzo sería muy difícil de aplicarlo dado que se debe colocar por las caras interiores de los elementos, para no afectar su arquitectura. Para el caso particular de la pila de altura 9 m, en cuyo interior se encuentra con un diafragma intermedio y material de relleno, es prácticamente imposible su aplicación y la altísima incertidumbre de su buen funcionamiento.

Por lo anterior, concluimos que lo mejor, era diseñar una estructura nueva, cuyos apoyos se localicen por fuera de la estructura existen, asignándole la totalidad de la responsabilidad a la estructura nueva. Dicha estructura, como se explicó anteriormente, va por el medio de los tímpanos de tal forma que la estructura existente, permanezca en pie, sin alterar su arquitectura.

Por otro lado es importante mencionar, que la estructura del caño Frutillo, fue construida hace 80 años aproximadamente, por lo tanto cumplió ampliamente su vida útil.

Por lo anterior, se concluye que desde el punto de vista de seguridad vial, se recomienda la reposición de la estructura actual por una nueva estructura que cumpla con todos los requerimientos técnicos sismo-resistentes.

Sin embargo, se recomienda la rehabilitación de la estructura, como está propuesta en la etapa de intervención.

Una vez, realizada las diferentes intervenciones recomendadas, se debe monitorear la estructura, taludes y muros de contención, para verificar su buen comportamiento.

REFERENCIAS.

- AREMA -AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE OF WAY ASSOCIATION, 2016, American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association
- INVIAS. Ministerio de Transporte. (2014). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras, INVIAS.
- AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica) Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, 2014, Bogotá D.C
- Alberto Cardona, Norberto Nigro, Victorio Sonzogni, Mario Storti.. (2006). Simulación de Falla de Taludes en Ríos de Llanura. 1 Agosto 2016, de Asociación Argentina de mecánica Computacional Sitio web: <http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/viewFile/471/452>.
- Denise M.S Gersocovich. (2015). Estabilización de Taludes. Rio de Janeiro: Lemoine Editores.
- Crespo Villalaz. (2004). Mecánica de Duelos y Cimentaciones. México: Limusa Editores.
- Shadowxfox . (2012). Mapa de localización del departamento de Boyacá. 24/08/2015, de Wikimedia Commons. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/Boyac%C3%A1#/media/File:Colombia_-_Boyac%C3%A1.svg,
- Shadowxfox . (2012). Mapa del Municipio de Ventaquemada, Boyacá (Colombia)24/08/2015, de Wikimedia Commons. Recuperado de: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Boyaca_-_Ventaquemada.svg
- IDEAM. (2011). REPORTE FINAL DE ÁREAS AFECTADAS POR INUNDACIONES 2010 – 2011. 08/08/2015, de IGAC, IDEAM, DANE Sitio web: www.dane.gov.co/files/noticias/Reunidos_presentacion_final_areas.pdf
- Silva Ramírez, B. (Coord.) y Juárez Aguilar, J. (2013): Manual del modelo de documentación de la Asociación de Psicología Americana (APA) en su sexta edición: México, Puebla: Centro de Lengua y Pensamiento Crítico UPAEP.
- La revista del Ferrocarril. (05/02/2005). Historia y legado patrimonial de los puentes ferroviarios de España. Vía Libre, 1, 2.
- El tiempo. (2015). Listo primer gran corredor férreo de 554,3 km para revivir tren. El Tiempo, 1.
- Normas APA sexta edición por Centro de Escritura Javeriano, se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Attribution-Comercial- Compartir Igual 4.0 Internacional

APENDICES

- Anexo A: Inspección
- Anexo B: Sondeos y Estudios de Suelos.
- Anexo C: Identificación de Lesiones.
- Anexo D: Estudio estructural
- Anexo E: Plano de Calificación
- Anexo F: Cantidades de Materiales
- Anexo G: Presupuesto
- Anexo H Planos