ESTUDIO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

PUENTE TAQUEGRANDE

LOCALIDAD DE SUMAPAZ, BOGOTÁ

ELABORÓ:

ING. PATRICIA DÍAZ BARREIRO

ESP. EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

M.G.s. INGENIERÍA CIVIL P.U.J.

Bogotá D.C., 13 de febrero de 2020

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1
1. OBJETIVOS 2
1.1. OBJETIVOS GENERALES 2
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 2
2. ALCANCE 2
3. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR 3
3.1. REVISIÓN DE LA FASE DOCUMENTAL E INFORMACIÓN RECOPILADA 3
3.1.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PUENTE 3
3.1.2. ESTUDIO DE SUELOS 4
3.1.2.1. Estratificación y Propiedades índice de los materiales 4
3.1.3. CARGAS Y MEDIO AMBIENTE 5
3.1.3.1. Sismicidad 6
3.1.3.2. Clima 6
3.1.4. DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA 7
3.1.5. GEOMETRÍA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE 9
3.1.6. SUBESTRUCTURA 10
3.1.6.1. Estribos 10
3.1.6.2. Aletas 11
3.1.7. SUPERFICIE DEL PUENTE 11
3.1.8. JUNTAS DE EXPANSIÓN 12
3.1.9. BARANDAS 12
3.1.10. DRENAJES 12
3.1.11. SEÑALIZACIÓN 13
4. FASE TOMA DE DATOS 13
4.1. TIPOLOGÍA DE LAS LESIONES 14
4.1.1. CAUSAS DIRECTAS DE LOS PROCESOS PATOLÓGICOS 14

Determinación de causas y extensión del daño 15

4.1.2. REGISTRO FOTOGRÁFICO 15

..... 16

5. FASE DE MUESTREO Y MATERIAL DE PRUEBA 44

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS 45

6.1. PRUEBA DE ULTRASONIDO 45

6.1.1. PRINCIPIOS DE LA PRUEBA 45

6.1.2. ENSAYO DE ULTRASONIDO 46

6.2. ENSAYO DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS 49

6.2.1. PRINCIPIOS DE LA PRUEBA 49

6.2.2. NÚCLEOS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN 51

6.3. SCANNER PRUEBA DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN LA ESTRUCTURA (NORMA ACI 228.2R MÉTODOS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS) . 51

6.3.1. ENSAYO DE FERROSCAN 52

6.4. BAJA DE PH Y CARBONATACIÓN 56

6.4.1. DETERMINACIÓN DE PRESENCIA DE CARBONATACIÓN MEDIANTE REACTIVOS 56

6.4.2. ENSAYO FRENTE DE CARBONATACIÓN 57

6.4.3. DETERMINACIÓN DEL PH DEL CONCRETO 61

6.5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE NÚCLEOS DE CONCRETO 64

6.6. UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS COMO INDICADOR REFERENCIAL DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO 65

6.6.1. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PARÁMETROS DE ULTRASONIDO 66

6.7. ENSAYO MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO 67

7. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PUENTE TAQUEGRANDE A PARTIR DE LOS MATERIALES ENCONTRADOS 69

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN 70
9. CONCLUSIONES 75
10. RECOMENDACIONES 76
11. BIBLIOGRAFÍA 78
12. ANEXOS 78

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización general, Parque Nacional de la Localidad de Sumapaz. Fuente: Google Maps. 4
Ilustración 2. Grado de exposición de la estructura (NTC 5551) 5
Ilustración 3. Esquema de la estructura del Puente Taquegrande, sistema losa apoyada sobre vigas en concreto reforzado. 7
Ilustración 4. Tipología de la superestructura, Puente Taquegrande. 8
Ilustración 5. Levantamiento Puente Taquegrande, vista en planta. 8
Ilustración 6. Levantamiento Puente Taquegrande, perfil longitudinal. 9
Ilustración 7. Levantamiento Puente Taquegrande, sección transversal superestructura. 9
Ilustración 8. Estribos izquierdo y derecho, Puente Taquegrande. 10
Ilustración 9. Levantamiento Puente Taquegrande, Estribos. 10
Ilustración 11. Aletas en ciclópeo, Estribo izquierdo. 11
Ilustración 12. Superficie de rodadura en concreto. 11
Ilustración 13. Juntas de Expansión, costado izquierdo y derecho del puente. 12
Ilustración 14. Bordillos en concreto, y barandas en pasamanos metálicos con postes de concreto. 12
Ilustración 15. Drenajes del Puente Taquegrande ø=8 cm. 13
Ilustración 16. Señalización preventiva, Puente Taquegrande. 13
Ilustración 17. Equipo para medir la velocidad de pulso ultrasónico – Pundit Lab. 45
Ilustración 18. Diagrama simplificado del sistema de operación del Ultrasonic Pulse Velocity – Pundit Lab Proceq 46
Ilustración 19. Varilla de calibración para toma de datos 46
Ilustración 20. Consolidado estadístico de la calidad del concreto de acuerdo con el ensayo de ultrasonido velocidad de pulso por elemento, en losa y vigas del Puente Taquegrande. 48
Ilustración 21. Identificación de toma de ensayos, extracción de núcleos. 49

Ilustración 22. Extracción de núcleo sobre parte superior de placa, paralelo al plano de colocación del concreto, Puente Taquegrande. 50
Ilustración 23. Scanner profesional Hilti. 52
Ilustración 24. Identificación de toma de ensayos, Ferroscan. 52
Ilustración 25. Frente de carbonatación Placa, costado izquierdo aguas arriba (fuente propia) 57
Ilustración 26. Curva típica Esfuerzo vs Deformación del concreto. 67
Ilustración 27. Obtención del módulo de elasticidad dinámico del concreto (NTC 4325) 68
Ilustración 28. Cálculo módulo de elasticidad teórico del concreto, tomando densidad normal o bien densidad particular entre 1140 y 2560 kg/m3 (NSR-10, C.8.5) 69

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Valores límite para composición y propiedades del concreto (NTC 5551) 6
Tabla 2. Parámetros sísmicos para la ciudad de Bogotá (NSR-10) 6
Tabla 3. Clasificación de las lesiones (Fuente: Muñoz, 2009). 14
Tabla 4. Ficha de calificación Puente Taquegrande de acuerdo al tipo de proceso patológico y según sus componentes. 37
Tabla 5. Consolidado del estado de conservación por componente Puente Taquegrande. 43
Tabla 6. Ensayos elaborados Puente Grande para toma de datos, pruebas y análisis44
Tabla 7. Resultados ensayo de ultrasonido Puente Taquegrande. 47
Tabla 8. Clasificación calidad del concreto (fuente: Guzmán, 2002) 48
Tabla 9. Datos estadísticos para determinar la velocidad de pulso ultrasónico del concreto. 48
Tabla 10. Factor de corrección de resistencia para valores de L/D fuera del rango 1.94-2.10 (fuente: NTC 3658) 51
Tabla 11. Requisitos de recubrimiento para concreto en puentes (fuente: LFRD-CCP 14) 53
Tabla 12. Resultados ensayo de carbonatación Puente Taquegrande. 61
Tabla 13. Tabla de resultados Resistencia a la compresión Puente Taquegrande. 64
Tabla 14. Correlación entre la velocidad de pulso y resistencia a compresión 66
Tabla 15. Módulo de Elasticidad (MOE) Empírico (NTC 4325, tabla 4) 68
Tabla 16. Determinación módulo de elasticidad empírico, Puente Taquegrande. 68
Tabla 17. Determinación del módulo de elasticidad dinámico del concreto, Puente Taquegrande. 68

Tabla 18. Determinación del módulo de elasticidad teórico, Puente Taquegrande. 69
Tabla 19. Tabla de consolidado de resultados ensayos destructivos y no destructivos, Puente Taquegrande. 73

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentajes de afectación por tipo de lesión, Puente Taquegrande..... 38
Gráfico 2 Porcentaje de afectación, lesiones físicas y mecánicas, Puente Taquegrande. 38
Gráfico 3. Porcentaje de afectación, lesiones químicas, organismos vivos y antropogénicas, Puente Taquegrande. 39
Gráfico 4. Porcentaje de afectación por componente, Puente Taquegrande..... 40
Gráfico 5. Porcentajes de afectación Subestructura, lesiones físicas y mecánicas. 40
Gráfico 6. Porcentajes de afectación Subestructura, lesiones químicas, organismos vivos y antropogénicas. 41
Gráfico 7. Porcentajes de afectación Superestructura, lesiones físicas y mecánicas. . 41
Gráfico 8. Porcentajes de afectación Superestructura, lesiones químicas, organismos vivos y antropogénicas. 42
Gráfico 9. Porcentajes de afectación Equipamiento, lesiones físicas y mecánicas. 42
Gráfico 10. Porcentajes de afectación Equipamiento, lesiones químicas, antropogénicas y organismos vivos. 43

INTRODUCCIÓN

El presente informe reúne las metodologías y procedimientos empleados para la obtención de un diagnóstico preliminar a través de un estudio de patología de la construcción del Puente Taquegrande, ubicado en la localidad de Sumapaz, Bogotá D.C.

El estudio de patología de la construcción contempla un análisis de los procesos patológicos presentes en el Puente Taquegrande mediante una investigación preliminar que tiene como alcance la consolidación de la fase documental, inspecciones de campo y ensayos de materiales, finalmente la fase de investigación detallada para determinar el estado actual del puente, sus materiales y las causas que dan origen a las patologías presentadas, elementos que permitirán determinar el compromiso en su funcionalidad estructural y aspecto, para hacer las recomendaciones respectivas y las medidas de actuación frente a su intervención y rehabilitación.

El informe se desarrolla en (3) fases del proceso de investigación; una primera fase de documentación, que se realizó mediante la información suministrada por la interventoría, la firma Constructores Codidecol SAS, el Constructor Gerardo Melendez y el Ingeniero Eduardo Cruz, principalmente levantamiento topográfico y general del puente, fuentes de información que permiten contextualizar el proyecto constructivo y evaluar algunas de las causas de los procesos patológicos.

La fase de observación de campo permite el reconocimiento de la construcción del Puente Grande en cada uno de sus componentes, las condiciones del sitio y la constatación de la información recopilada en la fase de documentación. Es así, que se identifica el daño, desviaciones, deformaciones visibles, las cargas y factores medioambientales.

La fase de toma de datos deduce el estado actual de conservación y mantenimiento del Puente, con atención en daños y procesos patológicos existentes apoyados en el registro fotográfico. De esta forma, se realizó el levantamiento del daño de los elementos constructivos del Puente Taquegrande, con base en la documentación aportada, levantamiento topográfico y estructural.

Esta fase también contempla la realización de una serie de fichas de calificación del daño que determinan el porcentaje de afectación, según la tipología del proceso patológico en lesiones físicas, mecánicas, químicas, organismos vivos y antropogénicas.

En la fase de muestreo, pruebas y análisis se realizaron diferentes ensayos de materiales, destructivos y no destructivos, con el objeto de establecer las prácticas y procedimientos

para evaluar el estado y propiedades de los materiales que conforman la construcción del Puente Taquegrande, según sus componentes.

Finalmente, la fase de investigación detallada en donde se realizó una evaluación estructural para establecer un diagnóstico frente a la causa de los procesos patológicos que pueden afectar el aspecto, funcionalidad y el compromiso estructural del puente. Adicionalmente, se contempla la conformación de un estudio de vulnerabilidad sísmica de acuerdo con la normatividad aplicable, como lo es la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LFRD-CCP-14 de 2014. El diagnóstico, análisis y evaluación realizada permitirá determinar una serie de recomendaciones y medidas de actuación frente a su rehabilitación e intervención para mejorar la estabilidad, funcionalidad, durabilidad y aspecto del Puente Taquegrande.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVOS GENERALES

- Generar un diagnóstico a través del análisis de las lesiones y sus causas para establecer el grado de compromiso en su funcionalidad y aspecto del Puente Taquegrande.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Contemplar, por medio del estudio de patología de la construcción un análisis de los procesos patológicos presentes en el Puente Taquegrande a través de una investigación preliminar y detallada para determinar el estado actual de la construcción, sus materiales y las causas que dan origen a las patologías presentes, que permita identificar las medidas de actuación frente a su rehabilitación.

2. ALCANCE

El estudio de patología de la construcción del Puente Taquegrande, se desarrolla en una fase de investigación preliminar que tiene como alcance la consolidación de la fase documental, inspecciones de campo y ensayos de materiales. Finalmente, mediante la fase de evaluación e investigación detallada, determinar el estado actual de la construcción del puente, sus materiales y las causas que dan origen a las patologías presentes. Adicionalmente mediante el análisis de la capacidad estructural del puente (condiciones de resistencia y servicio) a través de un estudio de vulnerabilidad sísmica,

de acuerdo con la normatividad vigente LFRD-CCP-14. A partir de los resultados del estudio de vulnerabilidad, se determina la propuesta de rehabilitación y/o reforzamiento estructural como posibles medidas de actuación frente a su intervención.

3. INVESTIGACIÓN PRELIMINAR

El objetivo de la investigación preliminar es proporcionar información inicial con respecto a la condición actual de la estructura, el tipo y gravedad de los problemas que afectan a través de la fase de observación de campo, la toma de datos, muestreos y material de prueba. Aspectos que proporcionan información pertinente para conocer el estado de los materiales y la funcionalidad estructural del Puente Taquegrande.

3.1. REVISIÓN DE LA FASE DOCUMENTAL E INFORMACIÓN RECOPILADA

La fase de documentación comprende la investigación en fuentes de información primarias, secundarias y terciarias, en las cuales se logra obtener información de la evolución de la construcción, técnicas y materiales propios de la época y reparaciones realizadas durante la vida útil del puente. Se realizó una revisión de la información suministrada por la interventoría, la firma Constructores Codidecol SAS, el Constructor Gerardo Meléndez y el Ingeniero Eduardo Cruz, en la cual, no se lograron identificar referencias respecto al puente en lo que a su fase de diseños y proceso constructivo se refiere, considerando que ambas constituyen etapas en donde se pueden presentar causas directas e indirectas de los procesos patológicos.

3.1.1. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DEL PUENTE

El Puente Taquegrande se encuentra localizado en la localidad de Sumapaz del distrito Capital de Bogotá, en la vía San Juan, sobre el río La Pradera. En la ilustración 1 se muestra la localización general del proyecto.

Ilustración 1. Localización general, Parque Nacional de la Localidad de Sumapaz. Fuente: Google Maps.

3.1.2. ESTUDIO DE SUELOS

La información proporcionada en este numeral hace referencia a los estudios realizados por el Ingeniero Álvaro Rojas (año 2018), quien realizó 2 apiques; uno en cada margen del río con 4.00 m de profundidad en ambos casos. Esto con el objetivo de realizar la investigación estratigráfica, características del material, determinar nivel freático y estimar la capacidad portante del suelo, en donde se apoya la cimentación diseñada.

3.1.2.1. Estratificación y Propiedades índice de los materiales

De acuerdo con la investigación estratigráfica y las características físicas y mecánicas encontradas en el estudio, el perfil estratigráfico corresponde a un perfil tipo C, correspondiendo a un depósito Aluvial de arenas y rocas blandas, teniendo que al final de la exploración realizada se registra la presencia de enormes bloques de roca redondeada, producto del arrastre de la corriente del río[1] .

Respecto al nivel de cimentación encontrado, se recomendó un reforzamiento en la cimentación con muros de contención en gaviones de acuerdo con los procedimientos de la SSPC-SP3. (Ver plano de intervención), Se compone de concreto simple clase F, y

[1] Informe estudio de suelos Puente “TAQUEGRANDE”, realizado por el Ingeniero Álvaro Rojas (2018).

agregado ciclópeo en una proporción de 40%, como máximo, del volumen total). Ver Norma Invias Art 630, otra alternativa es mediante Caissons de 1.50 de diámetro que tengan profundidades entre 4.00 y 8.00 m de profundidad con capacidad portante de 80 Ton/m3 para el Caisson de 4 m y 60 Ton/m3 para el de 8 m. Esto respecto al nivel actual de desplante, apoyado también en un estudio de socavación, para ambos costados del puente, que permita garantizar la funcionalidad estructural y durabilidad de la cimentación ante efectos de arrastre del río

3.1.3. CARGAS Y MEDIO AMBIENTE

La durabilidad de las estructuras de concreto depende del grado de exposición y la agresividad del medio ambiente al que están expuestas durante su vida de servicio, así como el microclima; que considera la humedad relativa y la temperatura, que han afectado las construcciones analizadas a través del cambio en las propiedades mecánicas del material.

De acuerdo con la NTC 5551 “Durabilidad de Estructuras de Concreto”, el grado de exposición de la estructura para una precipitación media anual que está alrededor de los 1439 mm/año[2], se clasifica en grupo 2, subgrupo 1.

	2,1	Humedad alta	Interiores sometidos a humedades medias altas > 65 % o condensaciones. Exteriores en ausencia de cloruros y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media anual superior a 600 mm. Elementos enterrados o sumergidos.	Sótanos no ventilados, cimentaciones, tableros

Ilustración 2. Grado de exposición de la estructura (NTC 5551)

Los requisitos para que una estructura de concreto reforzado reúna la expectativa de durabilidad, se deben definir las acciones correspondientes para evitar el deterioro a través del aprovechamiento de las tecnologías del concreto.

[2] Fuente: es.climate-data.org

Tabla 1. Valores límite para composición y propiedades del concreto (NTC 5551)

		Clase														
		1	2			3			4			5	6			7
Parámetro	**Subclases**	**1**	**2,1**	**2,2**	**2,3**	**3,1**	**3,2**	**3,3**	**4,1**	**4,2**	**4,3**		**6,1**	**6,2**	**6,3**	
Máxima relación a/m.c.	Concreto no reforzado	0,65	---	---	---	---	---	---	---	---	---	0,45	0,5	0,5	0,45	0,5
Máxima relación a/m.c.	Concreto reforzado	0,65	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,55	0,55	0,45	0,45	0,5	0,45	0,45	0,5
Máxima relación a/m.c.	Concreto preesforzado	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,5	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,5
Resistencia especificada mínima a compresión MPa		---	24	28	28	28	35	35	28	28	35	31	31	35	35	28
Contenido mínimo de material cementante (kg/m^3)	Concreto no reforzado	200	----	----	----	----	----	----	----	----	----	275	275	300	325	275
Contenido mínimo de material cementante (kg/m^3)	Concreto reforzado	250	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido mínimo de material cementante (kg/m^3)	Concreto preesforzado	275	300	300	300	300	325	350	300	320	340	300	325	350	350	300
Contenido de aire incorporado mínimo (%)									**	**	**	**	**	**	**	
Otros requerimientos													*	*	*	

* Cemento resistente a sulfatos (Tipo II, Tipo V) o una adecuada dosis de microsílica o cemento adicionado que cumpla con las normas.

** Según Tabla 4 relación a/m.c. = relación agua / material cementante

3.1.3.1. Sismicidad

De acuerdo a las Normas Colombianas de Diseño y construcción Sismo Resistente, NSR-10, (Ley 400 de 1997, modificada Ley 1229 de 2008, y Decreto 926 del 19 marzo de 2010), la localidad de Sumapaz, ubicada en la ciudad de Bogotá D.C., está enmarcada dentro de una zona de amenaza sísmica intermedia.

Tabla 2. Parámetros sísmicos para la ciudad de Bogotá (NSR-10)

Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Bogotá D. C.	11001	0.15	0.20	Intermedia	0.13	0.06

3.1.3.2. Clima

El lugar en donde se localiza el proyecto, corresponde al denominado complejo de Cruz verde – Sumapaz, situado entre los 3250 y 4230 m de altitud y comprendido entre los páramos de Choachí, Cruz verde, las Ánimas, Monserrate, Andabobos, El Cajón, El

Cedral, Sumapaz, El Nevado, Nuevo Mundo, Usme, Chisacá y Las Mercedes, entre otros. El lugar cuenta con un clima clasificado como ET – clima de Tundra – de acuerdo con el sistema conformado por Köppen-Geiger (1936). Esto implica que aún en los meses cálidos, las temperaturas suelen ser muy bajas. La temperatura promedio de Sumapaz es de 7.6 ºC, con variaciones por altitud. Durante el día el rango se encuentra en promedio entre los 2 y 18ºC. Cuenta con nubosidad alta y vientos fuertes en las vertientes expuestas a las cuencas de los ríos.

3.1.4. DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA

El puente fue construido de acuerdo con la siguiente composición estructural conforme a la información suministrada y a la inspección de campo realizada.

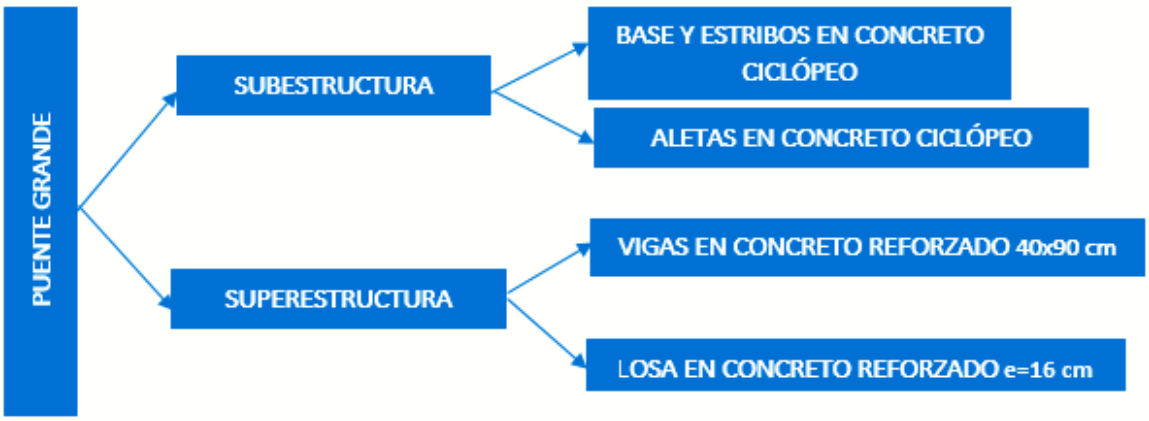


Ilustración 3. Esquema de la estructura del Puente Taquegrande, sistema losa apoyada sobre vigas en concreto reforzado.

La composición, geometría y esquema de la estructura (ilustración 4) correspondiente al Puente Taquegrande, se concibió con una subestructuración transversal correspondiente a losa sobre vigas y una subestructuración longitudinal referente a vigas simplemente apoyadas, con una luz entre ejes de 12.10 m.

Particularmente, la superestructura presenta una tipología correspondiente a un tablero en concreto reforzado con espesor de 16 cm, apoyado sobre 3 vigas de sección 40x90 cm, con una riostra en la mitad de la luz de sección 20x70 cm. El Puente, por otra parte, presenta un gálibo de 5.89 m en la parte central de la luz.

Ilustración 4. Tipología de la superestructura, Puente Taquegrande.

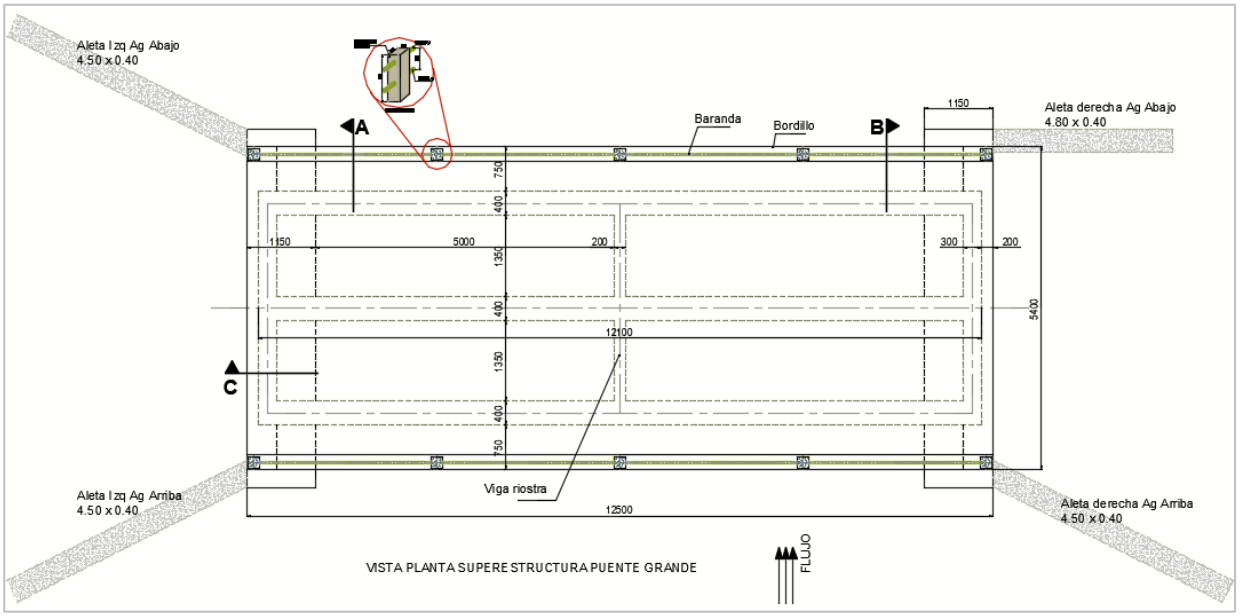


Ilustración 5. Levantamiento Puente Taquegrande, vista en planta.

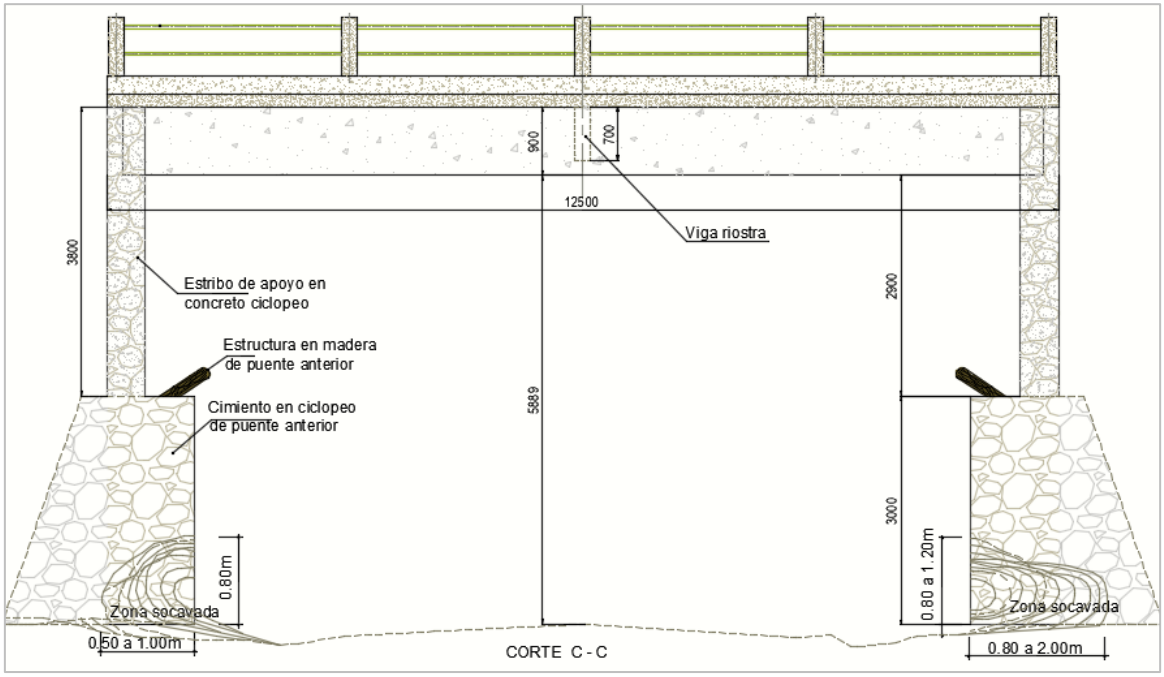


Ilustración 6. Levantamiento Puente Taquegrande, perfil longitudinal.

3.1.5. GEOMETRÍA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE

Como se mencionó anteriormente, la superestructura se compone de una tipología de losa apoyada sobre vigas. La sección que presentan las vigas es continua; con ancho de 40 cm y peralte de 90 cm.

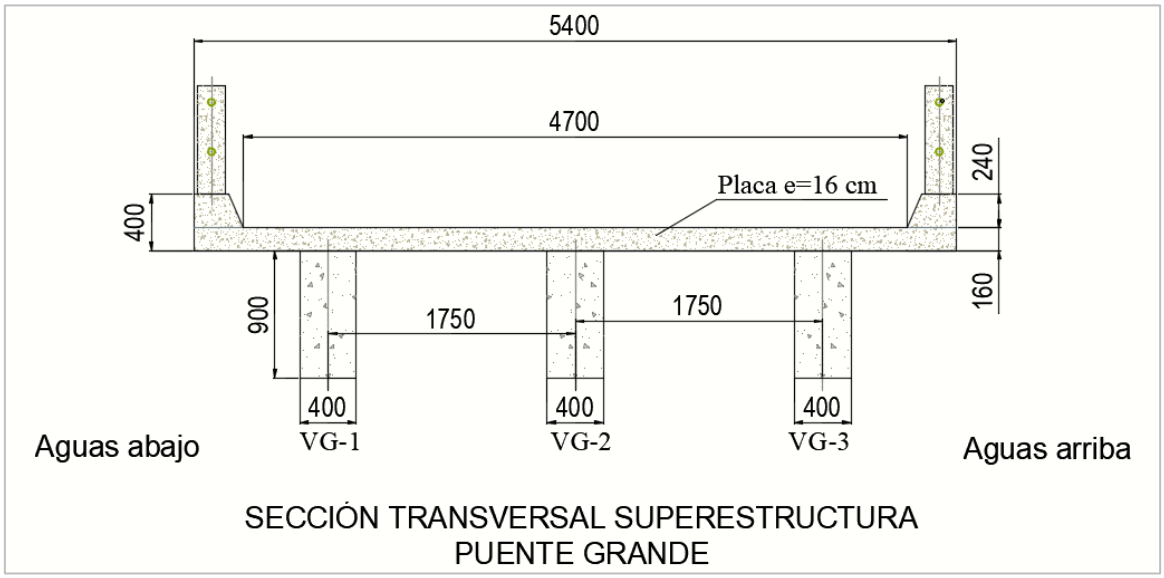


Ilustración 7. Levantamiento Puente Taquegrande, sección transversal superestructura.

3.1.6. SUBESTRUCTURA

3.1.6.1. Estribos

Los estribos del Puente Taquegrande, están conformados en concreto ciclópeo. Estos se apoyan sobre una cimentación superficial de ciclópeo perteneciente a un puente anterior. En ambos estribos se presentan niveles de socavación.

Ilustración 8. Estribos izquierdo y derecho, Puente Taquegrande.

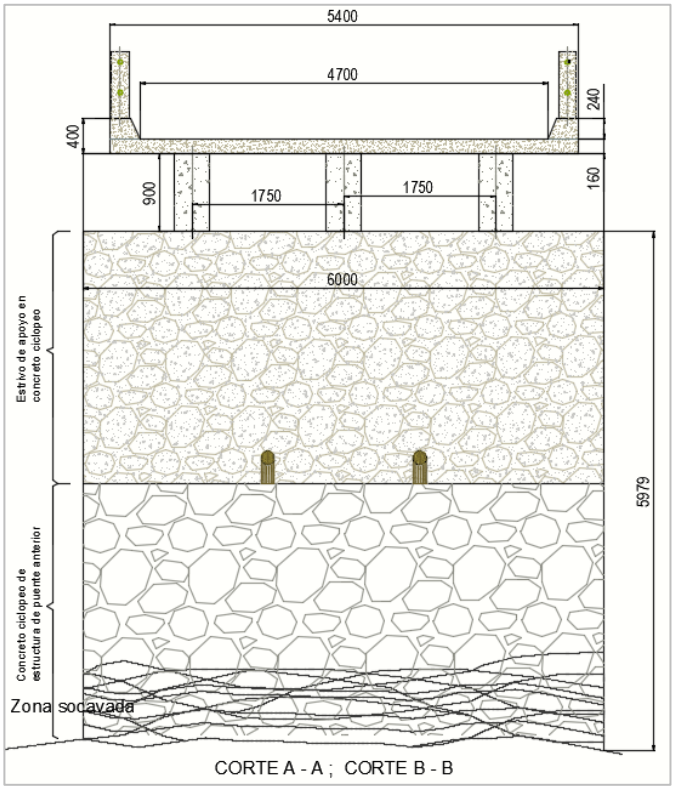


Ilustración 9. Levantamiento Puente Taquegrande, Estribos.

3.1.6.2. Aletas

Las aletas están conformadas en concreto ciclópeo, con anchos de 40 cm, y longitud de 4.50 m.

Ilustración 10. Aletas en ciclópeo, Estribo izquierdo.

3.1.7. SUPERFICIE DEL PUENTE

El puente Taquegrande, presenta una superficie en concreto sin ningún tipo de recubrimiento o lechada asfáltica. La superficie debido al tránsito vehicular y exposición a factores medioambientales presenta abrasión y desgaste. El bombeo es de 2% a ambos costados.

Ilustración 11. Superficie de rodadura en concreto.

3.1.8. JUNTAS DE EXPANSIÓN

El puente presenta juntas frías a ambos costados, sin ningún tipo de sellante o material que permita libremente las dilataciones que presentan los elementos estructurales.

Ilustración 12. Juntas de Expansión, costado izquierdo y derecho del puente.

3.1.9. BARANDAS

Las barandas del Puente Taquegrande, apoyadas sobre bordillos de concreto reforzado de sección 30x25 cm, están conformadas por pasamanos metálicos de 1½'' de diámetro unidos mediante postes de concreto de sección 20x20 cm.

Ilustración 13. Bordillos en concreto, y barandas en pasamanos metálicos con postes de concreto.

3.1.10. DRENAJES

El sistema de drenaje del puente consiste, mediante el bombeo de 2% en ambos costados, de evacuar el agua de escorrentía a través de aberturas en los bordillos de diámetro aproximado entre 8 y 9 cm.

Ilustración 14. Drenajes del Puente Taquegrande ø=8 cm

3.1.11. SEÑALIZACIÓN

La única señalización que se pudo apreciar en el puente Taquegrande, corresponde a una señal preventiva de puente angosto, en la entrada del este a su costado izquierdo aguas arriba, respecto al sentido del cauce.

Ilustración 15. Señalización preventiva, Puente Taquegrande.

4. FASE TOMA DE DATOS

La fase de toma de datos deduce el estado actual de conservación y mantenimiento del Puente Taquegrande, con atención en daños y procesos patológicos existentes apoyados en el registro topográfico. Esta fase contempla la realización de fichas de calificación del

daño que permiten determinar el porcentaje de afectación según la tipología del proceso patológico.

4.1. TIPOLOGÍA DE LAS LESIONES

Teniendo en cuenta la metodología establecida en el Manual para la Inspección de Puentes (INVÍAS, 2009) y los criterios establecidos en los tomos I y II del libro Ingeniería de Puentes (Muñoz, 2009) se clasificaron las lesiones en cuatro tipos: Físicas, mecánicas, químicas, organismos vivos y antropogénicas.

Tabla 3. Clasificación de las lesiones (Fuente: Muñoz, 2009).

TIPOS DE LESION		
A) FISICAS	**B) MECANICAS**	**C) QUIMICAS**
A,1 Humedad	B,1 Deformaciones	C,1 Eflorescencias
A,2 Filtraciones	B,2 Grietas	C,2 Corrosión, Oxidación
A,3 Suciedad	B,3 fisuras	C,3 Carbonatación - pérdida de pH
A,4 Erosión - Socavación	B,4 Roturas	**D) ORGANISMOS VIVOS**
A,5 Manchas /Rayado	B,5 Desprendimientos	D,1 Insectos Xilófagos
A,6 Descomposición	B,6 Desplomes	D,2 Mohos, líquenes y hongos
	B,7 Asentamientos	D,3 Plantas superficiales
	B,8 Alabeos	D,4 Animales - palomas
	B,9 Faltantes	**E) ANTROPOGENICOS**
	B,10 Aplastamiento	E,1 Alteración Volumétrica
	B,11 Colapsado	E,2 Diseño inadecuado
	B,12 Dilatado	E,3 Carencia de Mantenimiento
	B,13 Quemado	E,4 Deficiencia constructiva

4.1.1. CAUSAS DIRECTAS DE LOS PROCESOS PATOLÓGICOS

Lesiones Físicas: Son todas aquellas patologías causadas por fenómenos físicos. Las más comunes son la humedad, erosión y suciedad.

Lesiones Mecánicas: Son aquellas en las que predomina un factor mecánico que provoca movimientos, desgaste, abertura o separaciones de materiales o elementos constructivos. Se pueden dividir en 5 grandes apartados como lo son: deformaciones, deformaciones, fisuras, desprendimientos, roturas y erosiones mecánicas.

Lesiones Químicas: Son las que se producen a partir de un proceso patológico de carácter químico. El origen de las lesiones químicas suele ser la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan, provocando descomposiciones que afectan la integridad

del material y afectan su durabilidad. Este tipo de lesiones se dividen principalmente en: eflorescencias, oxidación, corrosión y exfoliación.

Lesiones por Organismos Vivos: Suelen ser lesiones secundarias, causadas principalmente por exposición de los materiales a factores medioambientales, como la humedad, o falta de protección. Las principales son: Insectos, mohos, hongos y plantas superficiales.

Lesiones Antropogénicas: Son todas aquellas causadas por errores o factores humanos. Principalmente esto se presenta en fallos en la fase de proyecto o de diseño, en el proceso constructivo, o errores en la fase de servicio de la construcción por mal uso, o falta de mantenimiento.

Determinación de causas y extensión del daño

Por medio de la observación de campo soportada en la sistematización del registro fotográfico, con fichas de calificación, permite identificar el tipo de lesión y la evaluación y clasificación cualitativa del daño por cada componente del puente. De esta manera, el módulo de inspección principal siempre contiene la más actualizada y completa información sobre la condición del puente.

A continuación, Se muestra el registro fotográfico con la descripción respectiva para cada lesión o componente fotográfico y posteriormente se muestra la ficha de calificación del daño, la cual comprende la descripción de cada componente del puente. El porcentaje de daño se establece a partir del análisis de frecuencia según aparición y tipo de lesión clasificándolo de acuerdo con su grado de conservación (ver tablas de Clasificación del tipo de proceso patológico).

La metodología planteada fue descriptiva – cualitativa, a través de la técnica de la observación, utilizando un instrumento, ficha de inspección para su calificación.

4.1.2. REGISTRO FOTOGRÁFICO

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 1

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	9:30 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

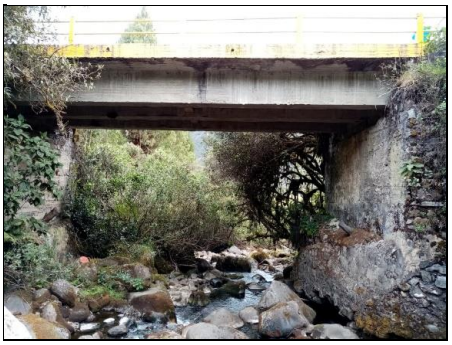


Foto N°	**1**
Ubicación	**Vista lateral, Aguas arriba**

Descripción: Vista lateral del puente Taquegrande.

Foto N°	**2**
Ubicación	**Tablero**

Descripción: Tablero en concreto del puente, presenta abrasión debido al paso vehicular y al agua de escorrentía. Suciedad, falta de limpieza y mantenimiento.

Foto N°	**3**
Ubicación	**Junta de expansión, entrada del puente**

Descripción: Junta de expansión fría, ausencia de sello, puede ocasionar esfuerzos adicionales en elementos estructurales.

Foto N°	**4**
Ubicación	**Junta de expansión, salida del puente**

Descripción: Junta de expansión fría, ausencia de sello, puede ocasionar esfuerzos adicionales en elementos estructurales.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **2**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:34 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	5
Ubicación	Bordillo - Baranda, Aguas arriba

Descripción: Erosión y suciedad en bordillo debido a escorrentía superficial y drenaje del agua, delaminación y deterioro superficial en pintura de barandas y postes.

Foto N°	6
Ubicación	Bordillo - Baranda, Aguas arriba

Descripción: Erosión y suciedad en bordillo debido a escorrentía superficial y drenaje del agua, delaminación y deterioro superficial en pintura de barandas y postes.

Foto N°	7
Ubicación	Bordillo - Baranda, Aguas arriba

Descripción: Erosión y suciedad en bordillo debido a escorrentía superficial y drenaje del agua, delaminación y deterioro superficial en pintura de barandas y postes.

Foto N°	8
Ubicación	Bordillo - Baranda, Aguas arriba

Descripción: Erosión y suciedad en bordillo debido a escorrentía superficial y drenaje del agua.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 3

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	9:35 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**9**
Ubicación	**Bordillo - Baranda, Aguas arriba**

Descripción: Erosión y suciedad en bordillo debido a escorrentía superficial y drenaje del agua, delaminación y deterioro superficial en pintura de barandas y postes.

Foto N°	**10**
Ubicación	**Bordillo - Baranda, Aguas arriba**

Descripción: Inclinación de poste, genera deformación y afectación en barandas adyacentes.

Foto N°	**11**
Ubicación	**Bordillo - Baranda, Aguas abajo**

Descripción: Pendiente insuficiente para drenaje, concentración de suciedad.

Foto N°	**12**
Ubicación	**Bordillo - Baranda, Aguas abajo**

Descripción: Pendiente insuficiente para evacuación de aguas, taponamiento de drenajes.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 4

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	9:40 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	13
Ubicación	Bordillo - Baranda, Aguas arriba

Descripción: Erosión y suciedad en bordillo debido a escorrentía superficial y drenaje del agua, delaminación y deterioro superficial en pintura de barandas y postes.

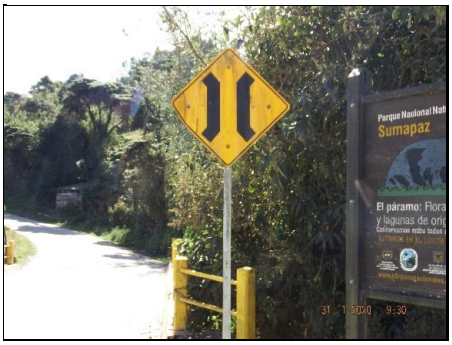


Foto N°	14
Ubicación	Señalización en entrada del puente, aguas arriba

Descripción: Suciedad, deterioro y delaminación en pintura de la señal y del perfil de esta.

Foto N°	15
Ubicación	Señalización, costado izquierdo aguas arriba

Descripción: Delaminación de la pintura del perfil debido a deterioro ambiental.

Foto N°	16
Ubicación	Aleta, Costado izquierdo aguas arriba

Descripción: Erosión, suciedad y presencia de plantas y moho supeficial debido a factores de deterioro ambiental.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **5**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:44 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**17**
Ubicación	**Aleta, Costado izquierdo aguas arriba**

Descripción: Erosión, suciedad y presencia de plantas y moho supeficial debido a factores de deterioro ambiental.

Foto N°	**18**
Ubicación	**Aleta, Costado derecho aguas arriba**

Descripción: Erosión, suciedad y presencia de plantas y moho supeficial debido a factores de deterioro ambiental.

Foto N°	**19**
Ubicación	**Aleta, Costado izquierdo aguas abajo**

Descripción: Erosión, suciedad y presencia de plantas y moho supeficial debido a factores de deterioro ambiental.

Foto N°	**20**
Ubicación	**Aleta, Costado izquierdo aguas abajo**

Descripción: Erosión, suciedad y presencia de plantas y moho supeficial debido a factores de deterioro ambiental.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 6

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:52 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	21
Ubicación	Aleta, Costado derecho aguas abajo

Descripción: Erosión y suciedad debido al drenaje de aguas lluvias y disposición de particulas.

Foto N°	22
Ubicación	Estribo izquierdo

Descripción: Erosión y perdida del material cementante y de recubrimiento, facilita desprendimiento del agregado. presencia de plantas y moho superficial.

Foto N°	23
Ubicación	Estribo izquierdo

Descripción: Erosión y perdida del material cementante y de recubrimiento, facilita desprendimiento del agregado. presencia de plantas y moho superficial.

Foto N°	24
Ubicación	Estribo izquierdo

Descripción: Erosión y perdida del material cementante y de recubrimiento, facilita desprendimiento del agregado. presencia de plantas y moho superficial.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 7

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:54 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	25
Ubicación	Estribo izquierdo, fundación

Descripción: Concentración de humedad, presencia de plantas, mohos y hongos superficiales debido al flujo y crecientes del cauce.

Foto N°	26
Ubicación	Estribo izquierdo

Descripción: Erosión y perdida del material cementante y de recubrimiento, facilita desprendimiento del agregado. presencia de plantas y moho superficial.

Foto N°	27
Ubicación	Estribo izquierdo

Descripción: Erosión y perdida del material cementante y de recubrimiento, facilita desprendimiento del agregado. presencia de plantas y moho superficial.

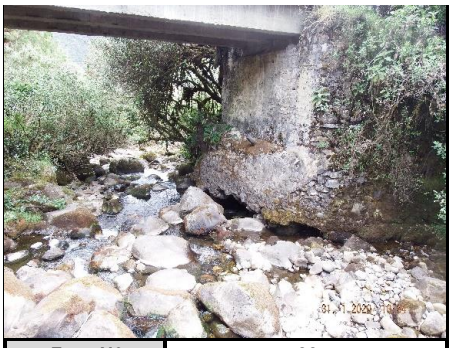


Foto N°	28
Ubicación	Estribo Derecho

Descripción: Erosión y deterioro, socavación del estribo debido al flujo del cause. Riesgo de asentamientos y afectación a la estructura del puente.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **8**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:55 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	29
Ubicación	Estribo Derecho, fundación

Descripción: Erosión y deterioro, socavación del estribo debido al flujo del cause. Riesgo de asentamientos y afectación a la estructura del puente.

Foto N°	30
Ubicación	Estribo Derecho, fundación

Descripción: Socavación, riesgo de asentamientos y afectación a la estructura. Presencia de plantas y hongos superficiales por humedad.

Foto N°	31
Ubicación	Estribo Derecho, fundación

Descripción: Erosión y deterioro, socavación del estribo debido al flujo del cause. Riesgo de asentamientos y afectación a la integridad estructural del puente.

Foto N°	32
Ubicación	Estribo Derecho

Descripción: Erosión y deterioro superficial por concentración de humedad, falta de limpieza y mantenimiento.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **9**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:55 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**33**
Ubicación	**Estribo Derecho, fundación**

Descripción: Erosión y deterioro, pérdida del material cementante y segregación del agregado. Sovacación general del estribo.

Foto N°	**34**
Ubicación	**Estribo Derecho, fundación**

Descripción: Erosión y deterioro, pérdida del material cementante y segregación del agregado. Sovacación general del estribo.

Foto N°	**35**
Ubicación	**Estribo Derecho, fundación**

Descripción: Erosión y deterioro, pérdida del material cementante y segregación del agregado. Sovacación general del estribo.

Foto N°	**36**
Ubicación	**Estribo Derecho, fundación**

Descripción: Erosión y deterioro, pérdida del material cementante y segregación del agregado. Sovacación general del estribo.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 10

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 9:56 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	37
Ubicación	Estribo derecho

Descripción: Erosión y deterioro superficial, eflorescencias debido a concentración de humedad, falta de limpieza y mantenimiento.

Foto N°	38
Ubicación	Estribo derecho

Descripción: Erosión y deterioro superficial, eflorescencias debido a concentración de humedad, falta de limpieza y mantenimiento.

Foto N°	39
Ubicación	Estribo izquierdo

Descripción: Erosión y perdida del material cementante y de recubrimiento, facilita desprendimiento del agregado. presencia de plantas y moho superficial.

Foto N°	40
Ubicación	Aleta, costado lateral izquierdo aguas abajo

Descripción: Erosión y desgaste superficial, concentración de humedad y eflorescencias debido a flujo de escorrentía del agua.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 11

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	9:58 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	41
Ubicación	Drenaje en bordillo, aguas abajo

Descripción: Concentración de suciedad y material debido a la disposición incorrecta del drenaje longitudinal del puente, posible taponamiento.

Foto N°	42
Ubicación	Drenaje en bordillo, aguas abajo

Descripción: Concentración de suciedad y material debido a la disposición incorrecta del drenaje longitudinal del puente, posible taponamiento.

Foto N°	43
Ubicación	Drenaje en bordillo, aguas arriba

Descripción: Concentración de suciedad y material debido a la disposición incorrecta del drenaje longitudinal del puente, posible taponamiento.

Foto N°	44
Ubicación	Drenaje en bordillo, aguas arriba

Descripción: Concentración de suciedad y material debido a la disposición incorrecta del drenaje longitudinal del puente, posible taponamiento.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **12**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:00 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	45
Ubicación	Viga 1, Costado derecho aguas abajo

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y goteras por mal drenaje del agua. Hormigueros, deficiencias en el vibrado y formaleta del concreto.

Foto N°	46
Ubicación	Viga 1, Costado derecho aguas abajo

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y goteras por mal drenaje del agua. Hormigueros, deficiencias en el vibrado y formaleta del concreto.

Foto N°	47
Ubicación	Apoyo en estribo izquierdo, viga 2

Descripción: Hormigueros por deficiencias en el vibrado y formaleta del concreto, manchas por lixiviación debido a contacto del hormigon con el agua.

Foto N°	48
Ubicación	Super estructura, parte central

Descripción: Hormigueros, fallas en el vibrado del concreto.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **13**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:00 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**49**
Ubicación	**Super estructura, centro de la luz**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias producidas por efectos de escorrentía y defectos en el drenaje. Mal vibrado y fallas en el retiro de la formaleta.

Foto N°	**50**
Ubicación	**Super estructura, centro de la luz**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias producidas por efectos de escorrentía y defectos en el drenaje. Mal vibrado y fallas en el retiro de la formaleta.

Foto N°	**51**
Ubicación	**Vigas 2 y 3, costado derecho**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias producidas por efectos de escorrentía y defectos en el drenaje. Mal vibrado y fallas en el retiro de la formaleta.

Foto N°	**52**
Ubicación	**Alero, costado derecho aguas abajo**

Descripción: Deterioro por humedad y exposición al medio ambiente, mal drenaje de aguas. Pérdida del recubrimiento y exposición de la armadura.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **14**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:02 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	53
Ubicación	Alero, aguas abajo

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y goteras por mal drenaje del agua. Hormigueros, deficiencias en el vibrado y formaleta del concreto.

Foto N°	54
Ubicación	Alero, aguas abajo

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y goteras por mal drenaje del agua. Hormigueros, deficiencias en el vibrado y formaleta del concreto.

Foto N°	55
Ubicación	Apoyo en estribo izquierdo, viga 3

Descripción: Descomposición y deterioro en la estructura de apoyo, por exposición al medio ambiente, falta de mantenimiento.

Foto N°	56
Ubicación	Apoyos en estribo izquierdo, viga 2

Descripción: Descomposición y deterioro en la estructura de apoyo, por exposición al medio ambiente, falta de mantenimiento.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **15**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:05 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**57**
Ubicación	**Apoyos en estribo izquierdo, viga 1**

Descripción: Descomposición y deterioro en la estructura de apoyo, por exposición al medio ambiente, falta de mantenimiento.

Foto N°	**58**
Ubicación	**Super estructura**

Descripción: Hormigueros, fallas en el vibrado del concreto.

Foto N°	**59**
Ubicación	**Super estructura**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias, exposición al medio ambiente y deficiencias en el sistema de drenaje. hormigueros y mal vibrado.

Foto N°	**60**
Ubicación	**Vigas 2 y 3, costado derecho**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias, exposición al medio ambiente y deficiencias en el sistema de drenaje. hormigueros y mal vibrado.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **16**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:05 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	61
Ubicación	Viga 2, centro de la luz

Descripción: Alambre de amarre expuesto, falencia constructiva, manchas en el concreto por lixiviación, mal vibrado y curado.

Foto N°	62
Ubicación	Alero, aguas abajo

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y goteras por mal drenaje del agua. Hormigueros, deficiencias en el vibrado y formaleta del concreto.

Foto N°	63
Ubicación	Viga 3, parte central

Descripción: Mal curado y vibrado, generando hormigueros y segregación del agregado. Eflorescencias debido a escorrentía superficial de agua. Mal drenaje

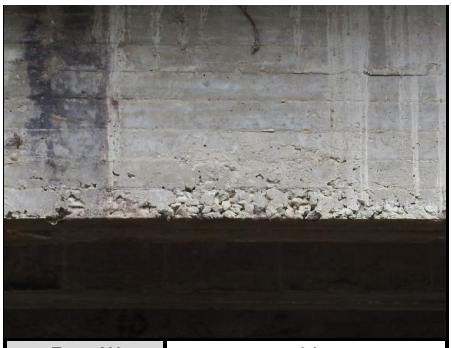


Foto N°	64
Ubicación	Viga 3, parte central

Descripción: Mal curado y vibrado, generando hormigueros y segregación del agregado. Eflorescencias debido a escorrentía superficial de agua. Mal drenaje

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° 17

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:10 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	65
Ubicación	Super estructura

Descripción: Deterioro y manchas por humedad debido a infiltración y escorrentía de agua superficial. Hormigueros, deficiencias en el vibrado del concreto.

Foto N°	66
Ubicación	Super estructura

Descripción: Deterioro y manchas por humedad debido a infiltración y escorrentía de agua superficial. Hormigueros, deficiencias en el vibrado del concreto.

Foto N°	67
Ubicación	Viga 1-3 costado izquierdo

Descripción: Mal vibrado, segregación y exposición de la armadura de refuerzo la cual presenta oxidación y posible corrosión.

Foto N°	68
Ubicación	Viga 2 - costado izquierdo

Descripción: Mal vibrado, segregación y exposición de la armadura de refuerzo la cual presenta oxidación y posible corrosión.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **18**

NOMBRE DEL PROYECTO Puente Taquegrande
DIRECCIÓN Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá
FECHA 31/01/2020 **HORA** 10:12 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	69
Ubicación	Alero, costado izquierdo aguas arriba

Descripción: Deterioro y manchas por humedad debido a infiltración y escorrentía de agua superficial. Hormigueros, deficiencias en el vibrado del concreto.

Foto N°	70
Ubicación	Alero, costado izquierdo aguas arriba

Descripción: Deterioro y manchas por humedad debido a infiltración y escorrentía de agua superficial. Hormigueros, deficiencias en el vibrado del concreto.

Foto N°	71
Ubicación	Alero, costado derecho aguas arriba

Descripción: Deterioro y manchas por humedad debido a infiltración y escorrentía de agua superficial. Hormigueros, deficiencias en el vibrado del concreto.

Foto N°	72
Ubicación	Alero, costado derecho aguas arriba

Descripción: Deterioro y manchas por humedad debido a infiltración y escorrentía de agua superficial. Hormigueros, deficiencias en el vibrado del concreto.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ **APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ**

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **19**

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	10:13 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**73**
Ubicación	**Alero, costado izquierdo aguas arriba**

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y contacto con el agua. Deficiencia en el drenaje de agua. Potencial carbonatación y corrosión de la armadura.

Foto N°	**74**
Ubicación	**Viga 2, costado derecho**

Descripción: Exposición del acero de refuerzo, por mal procedimiento constructivo. Deficiencias en el vibrado y curado del concreto.

Foto N°	**75**
Ubicación	**Viga 3, costado izquierdo**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias, exposición al medio ambiente y deficiencias en el sistema de drenaje. Segregación y vibrado insuficiente.

Foto N°	**76**
Ubicación	**Alero, costado derecho aguas arriba**

Descripción: Deterioro por humedad debido a infiltración y contacto con el agua. Deficiencia en el drenaje de agua. Potencial carbonatación y corrosión de la armadura.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **20**

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	10:20 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**77**
Ubicación	**Viga 1, costado derecho**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias, Deficiencias en el drenaje de agua. Hormigueros debido a Vibrado insuficiente.

Foto N°	**78**
Ubicación	**placa entre viga 1 y 2 costado derecho**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias, ocasionadas por efectos de escorrentía y mal drenaje. Hormigueros debido a Vibrado insuficiente.

Foto N°	**79**
Ubicación	**Alero, costado derecho aguas abajo**

Descripción: Deterioro por humedad y mal sistema de drenaje. Exposición de la armadura de refuerzo. Deficiencia en el vibrado y retiro de la formaleta.

Foto N°	**80**
Ubicación	**Alero, costado derecho aguas abajo**

Descripción: Deterioro por humedad y mal sistema de drenaje. Exposición de la armadura de refuerzo. Deficiencia en el vibrado y retiro de la formaleta.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

LONGENIERIA	**FORMATO DE REGISTRO FOTOGRÁFICO**	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFRFIP01

N° **21**

NOMBRE DEL PROYECTO	Puente Taquegrande		
DIRECCIÓN	Río Pradera, Localidad Sumapaz, Bogotá		
FECHA	31/01/2020	**HORA**	10:22 AM

REGISTRO FOTOGRÁFICO

Foto N°	**81**
Ubicación	**Alero, costado derecho aguas abajo**

Descripción: Deterioro por humedad y mal sistema de drenaje. Exposición de la armadura de refuerzo. Deficiencia en el vibrado y retiro de la formaleta.

Foto N°	**82**
Ubicación	**placa entre viga 1 y 2 costado derecho**

Descripción: Manchas en el concreto por eflorescencias, ocasionadas por efectos de escorrentía y mal drenaje. Hormigueros debido a Vibrado insuficiente.

Foto N°	**83**
Ubicación	**Viga 2, costado izquierdo**

Descripción: Mal vibrado, segregación y exposición de la armadura de refuerzo la cual presenta oxidación y posible corrosión.

Foto N°	**84**
Ubicación	**Viga 1 costado izquierdo**

Descripción: Hormigueros debido a deficiencia en el vibrado, falencias en el retiro de la formaleta, afecta a la durabilidad del concreto.

ELABORÓ: TECNÒLOGO FELIPE GÓMEZ

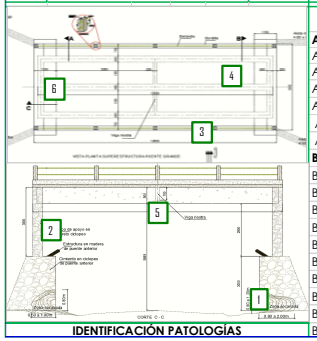
APROBÓ: ING. PATRICIA DÍAZ

Tabla 4. Ficha de calificación Puente Taquegrande de acuerdo al tipo de proceso patológico y según sus componentes.

LONGENIERIA	**ESTUDIO DE PATOLOGÍA**	ELABORÓ: ING. PATRICIA DÍAZ BARREIRO	VERSIÓN: 002
			FECHA: 10/04/2018
			CÓDIGO: LFC01
	FICHAS DE CALIFICACIÓN PUENTE TAQUEGRANDE SOBRE EL RÍO PRADERA	FECHA: feb-20 / No. FICHA: 1	**Localidad de Sumapaz, Bogotá D.C.**

ESTADO DE CONSERVACION — TIPO DE LESIÓN

	COMPONENTE	ORIGINAL	MATERIAL Y TECNICA	0	1	2	3	4	5	A)FISICAS 1	2	3	4	5	6	B) MECÁNICAS 1	2	3	4	5	6	7	8	9	#	#	#	#	C) QUIMIC 1	2	3	D) ORG. VIVOS 1	2	3	4	E) ANTROPOG 1	2	3	4	OBSERVACIONES
SUB ESTRUCTURA	CIMENTACIÓN	X	Base en Piedra conformada por grava de río, con lechada de cemento como material cementante				3																																		El Puente Taquegrande presenta lesiones mecánicas referentes a diferentes roturas, desprendimientos y faltantes en la subestructura y superestructura. En la cimentación del estribo derecho se presenta un alto grado de socavación debido al flujo del cauce y a la fricción generada por el transporte de rocas, lo que puede conllevar a asentamientos y deformaciones, y por tanto, riesgo en la estabilidad estructural. Por otra parte, se aprecian las lesiones de tipo físico y químico debido a humedades y eflorescencias en los elementos de la sub y super estructura principalmente, a causa de mal manejo de los drenajes y el contacto con el agua. Se evidencian diversas lesiones por malas prácticas constructivas en el vibrado del concreto, generando hormigueros, segregación, exposición del acero de refuerzo así como oxidación y posible corrosión de este en algunos puntos de la super estructura. Se evidencia también falta de limpieza y mantenimiento.
	TERRAPLENES	X	No aplica																																						
	ALETAS	X	Concreto cicópeo de espesor 48 cm y longitud entre 5 y 5.5 m		1																																				
	ESTRIBOS	X	Muro en concreto ciclópeo conformado por grava de río y material cementante conformado por cal y arena				3																																		
	PILAS	X	No aplica																																						
SUPER ESTRUCTURA	LOSA	X	Concreto reforzado e= 16 cm				3																																		
	VIGAS	X	Vigas rectangulares en concreto reforzado sección de 40x90 cm				3																																		
	RIOSTRAS	X	Concreto reforzado, sección de 25x60			2																																			
	SUPERFICIE DE RODADURA	X	Concreto hidráulico		1																																				
EQUIPAMIENTO	ANDENES	X	Bordillos en concreto reforzado, de sección 30x40			2																																			
	JUNTAS	X	Juntas frías, cerradas sin sello			2																																			
	BARANDAS	X	Pasamanos metálico, con postes en concreto			2																																			
	SEÑALIZACIÓN	X	Tablero y perfil metálico		1																																				
	ILUMINACIÓN	X	No aplica																																						
	DRENAJES	X	Aberturas en los bordillos del puente con diámetro aproximado entre 8 y 9 cm			2																																			
CAUCE	SOCAVACIÓN	X	No aplica					4																																	
	TIPO DE FLUJO	X	No aplica																																						

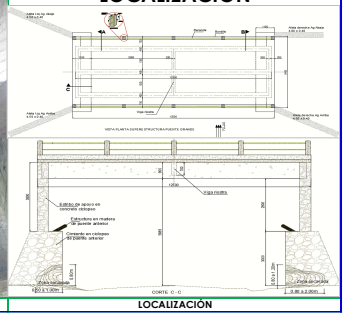


IDENTIFICACIÓN PATOLOGÍAS

TIPOS DE LESION	
A). FISICAS	
A,1, Humedad	B,11, Colapsado
A,2, Filtraciones	B, 12, Dilatado
A,3, Suciedad	B, 13, Quemado
A,4, Erosión - Socavación	**C). QUIMICAS**
A,5, Manchas /Rayado	C,1, Eflorescencias
A,6, Descomposición	C,2, Corrosión, Oxidación
B). MECANICAS	C,3, Carbonatación, pérdida de Ph
B,1, Deformaciones	**D). ORGANISMOS VIVOS**
B,2, Grietas	D,1, Insectos Xilófagos
B,3, fisuras	D,2, Mohos, líquenes y hongos
B,4, Roturas	D,3, Plantas superficiales
B,5, Desprendimientos	D,4, Animales - palomas
B,6, Desplomes	**E). ANTROPOGENICOS**
B,7, Asentamientos	E,1, Alteración Volumétrica
B,8, Alabeos	E,2, Diseño inadecuado
B,9, Faltantes	E,3, Carencia de Mantenimiento
B,10 Aplastamiento	E,4, Deficiencia constructiva

REGISTRO FOTOGRAFICO

LOCALIZACIÓN



LOCALIZACIÓN

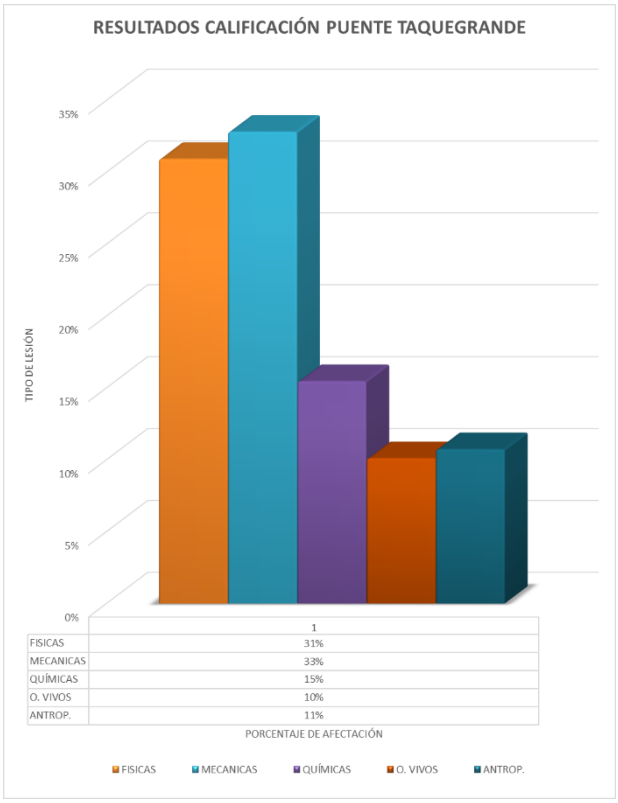


Gráfico 1. Porcentajes de afectación por tipo de lesión, Puente Taquegrande.

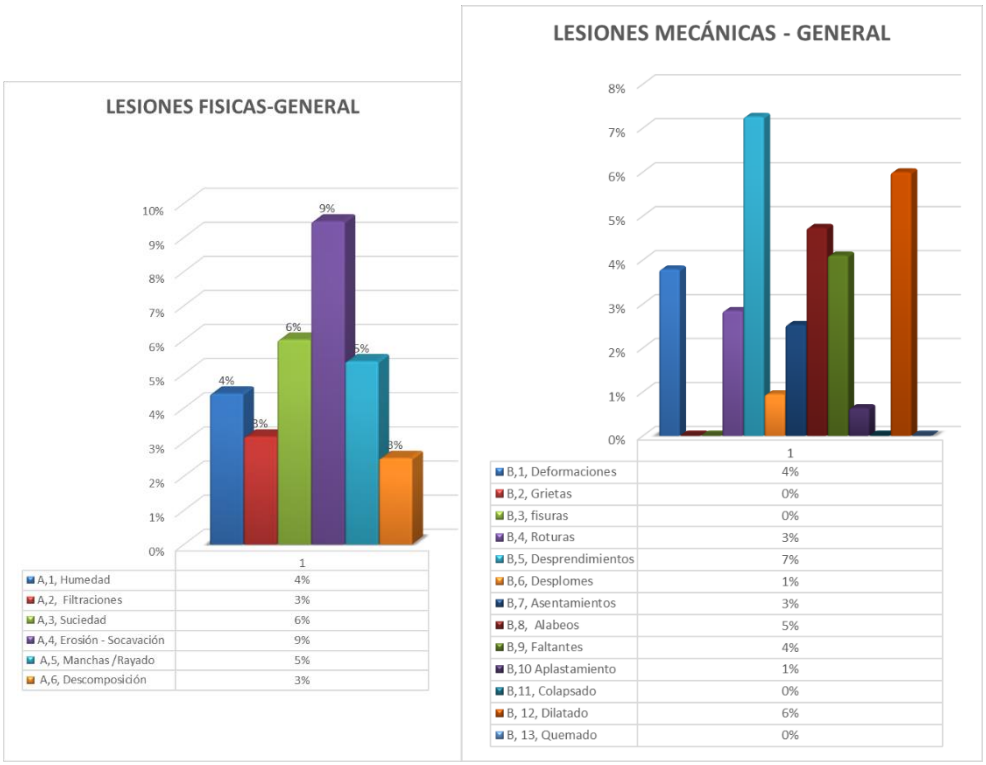


Gráfico 2 Porcentaje de afectación, lesiones físicas y mecánicas, Puente Taquegrande.

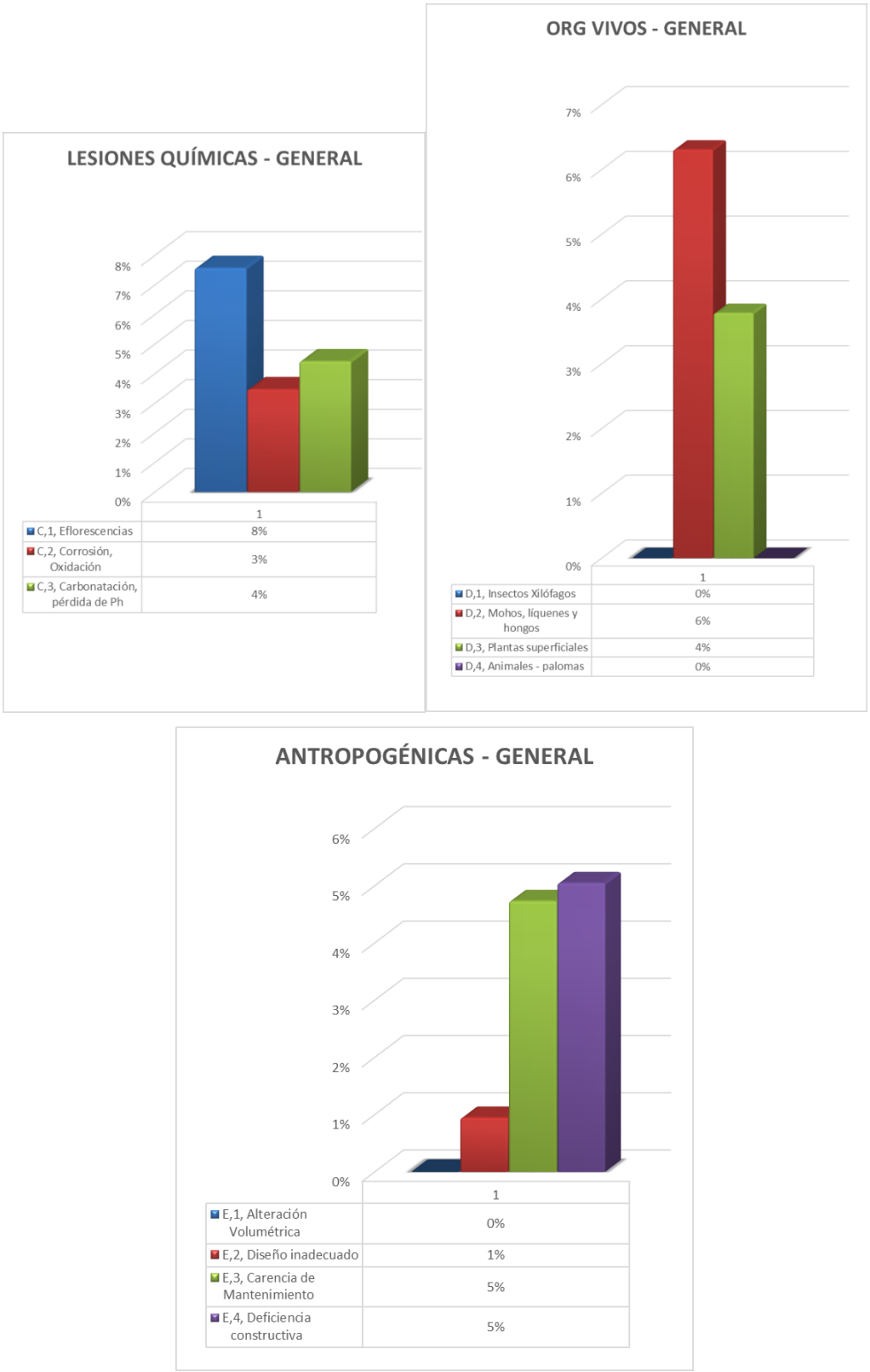


Gráfico 3. Porcentaje de afectación, lesiones químicas, organismos vivos y antropogénicas, Puente Taquegrande.

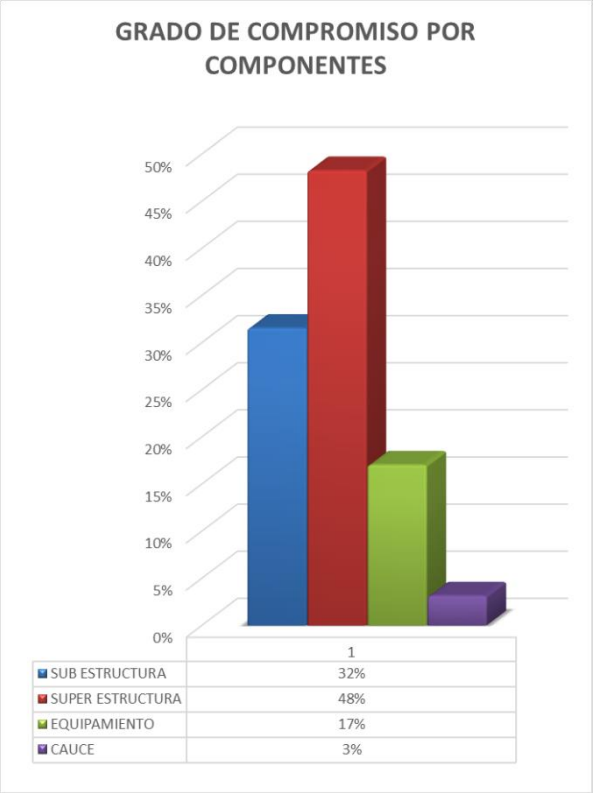


Gráfico 4. Porcentaje de afectación por componente, Puente Taquegrande.

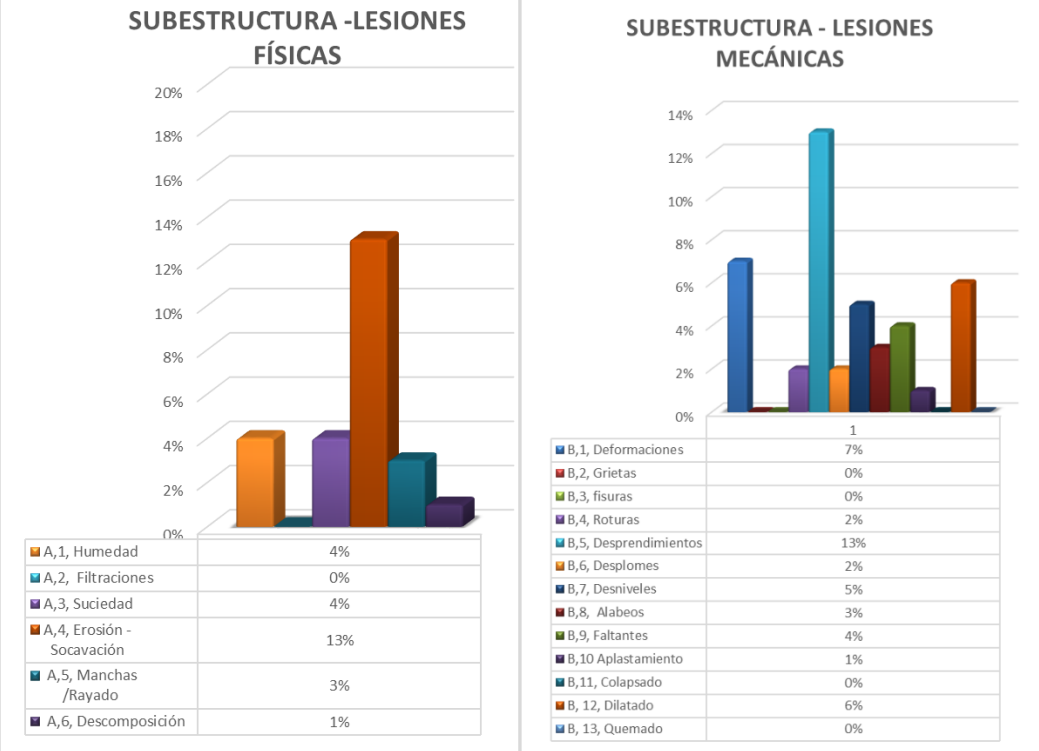


Gráfico 5. Porcentajes de afectación Subestructura, lesiones físicas y mecánicas.

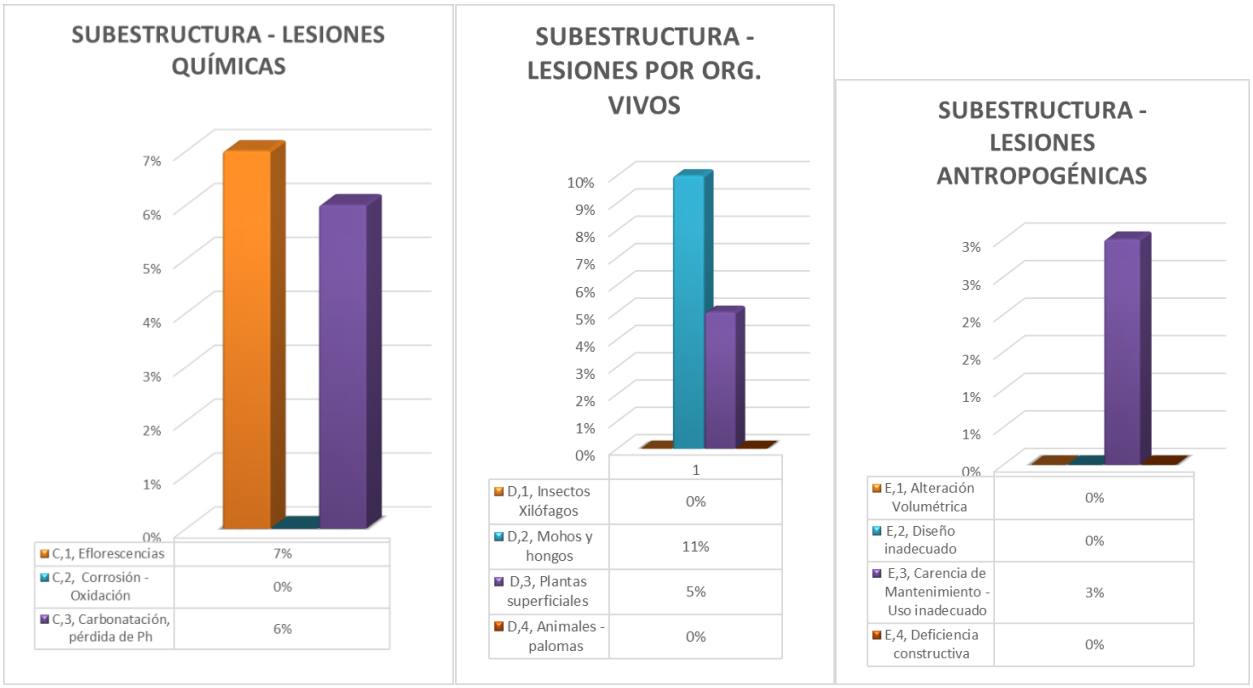


Gráfico 6. Porcentajes de afectación Subestructura, lesiones químicas, organismos vivos y antropogénicas.

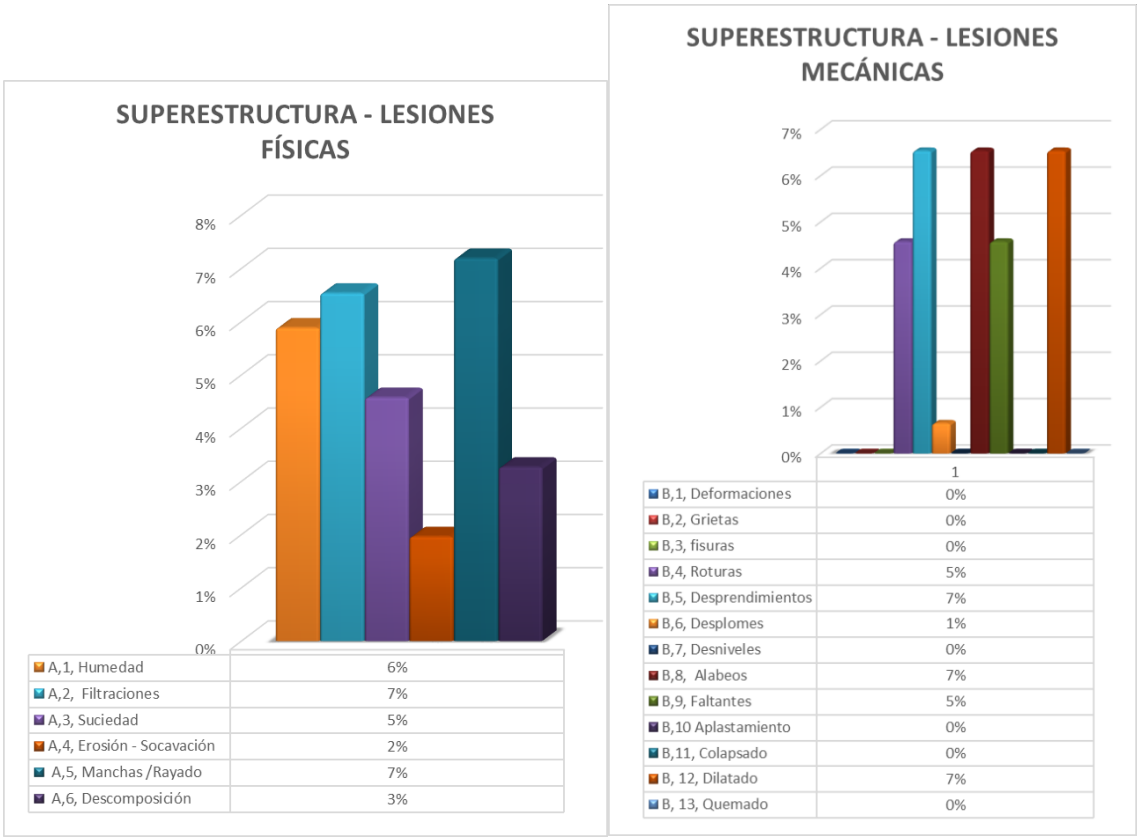


Gráfico 7. Porcentajes de afectación Superestructura, lesiones físicas y mecánicas.

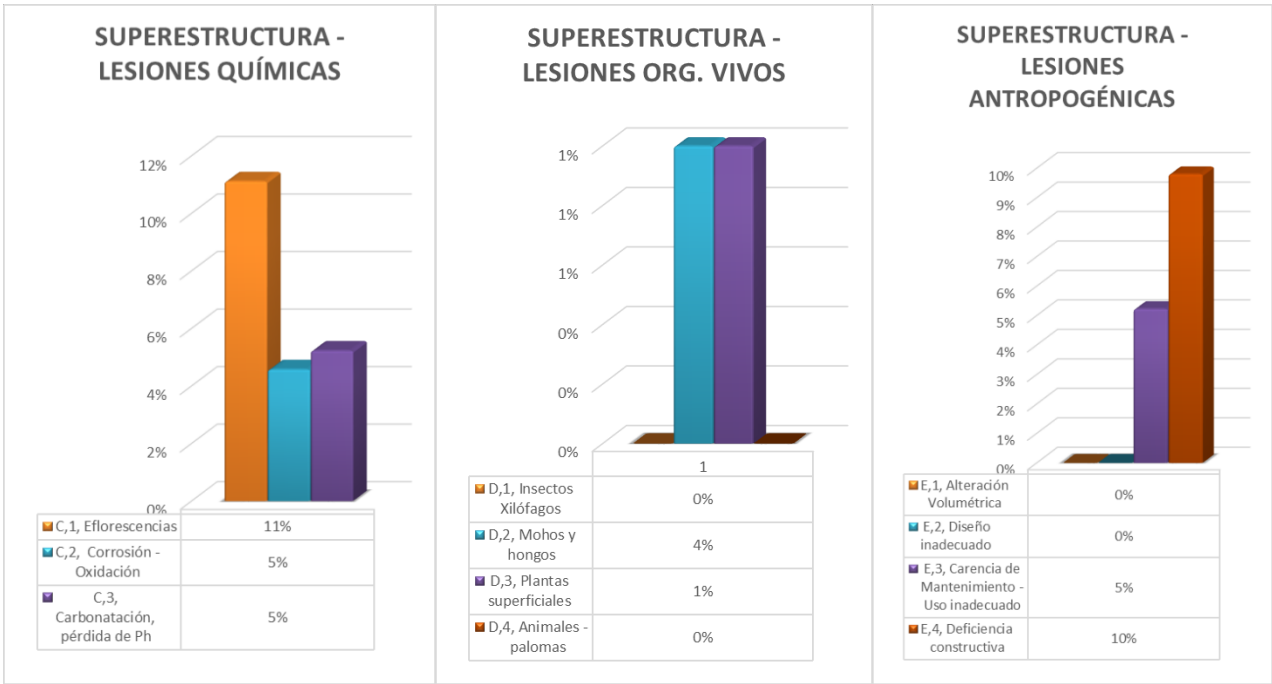


Gráfico 8. Porcentajes de afectación Superestructura, lesiones químicas, organismos vivos y antropogénicas.

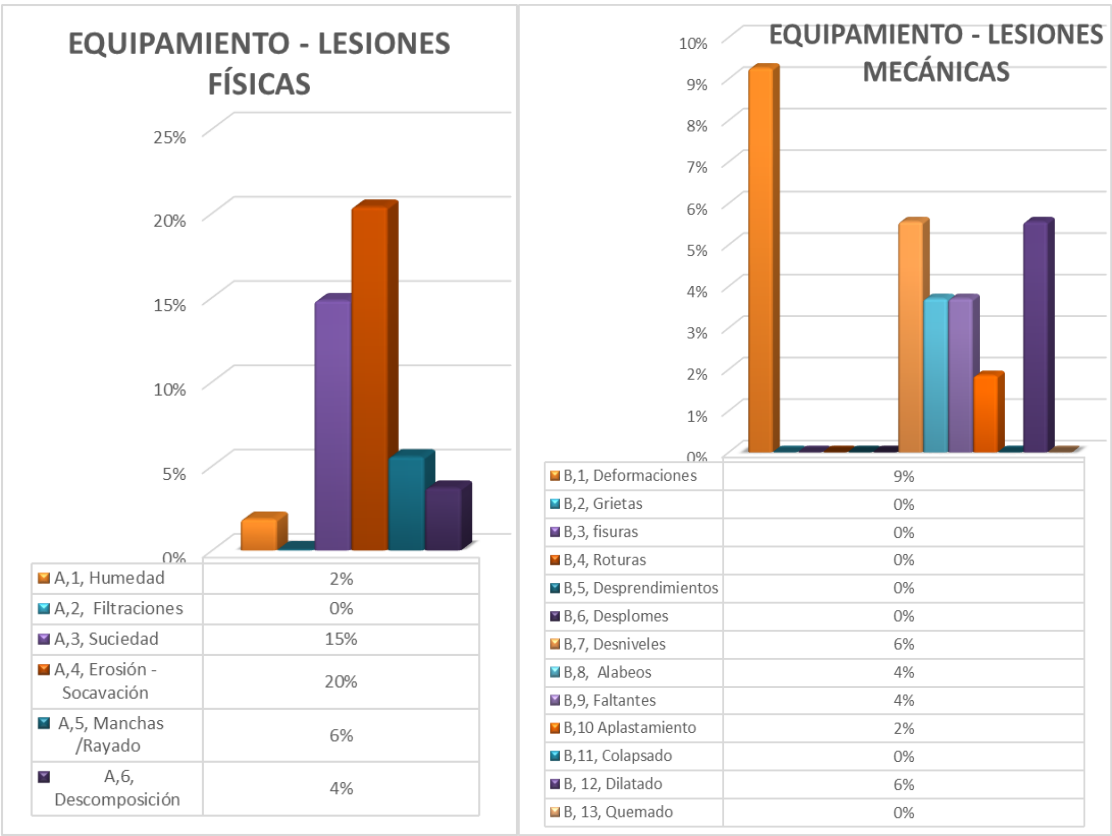


Gráfico 9. Porcentajes de afectación Equipamiento, lesiones físicas y mecánicas.

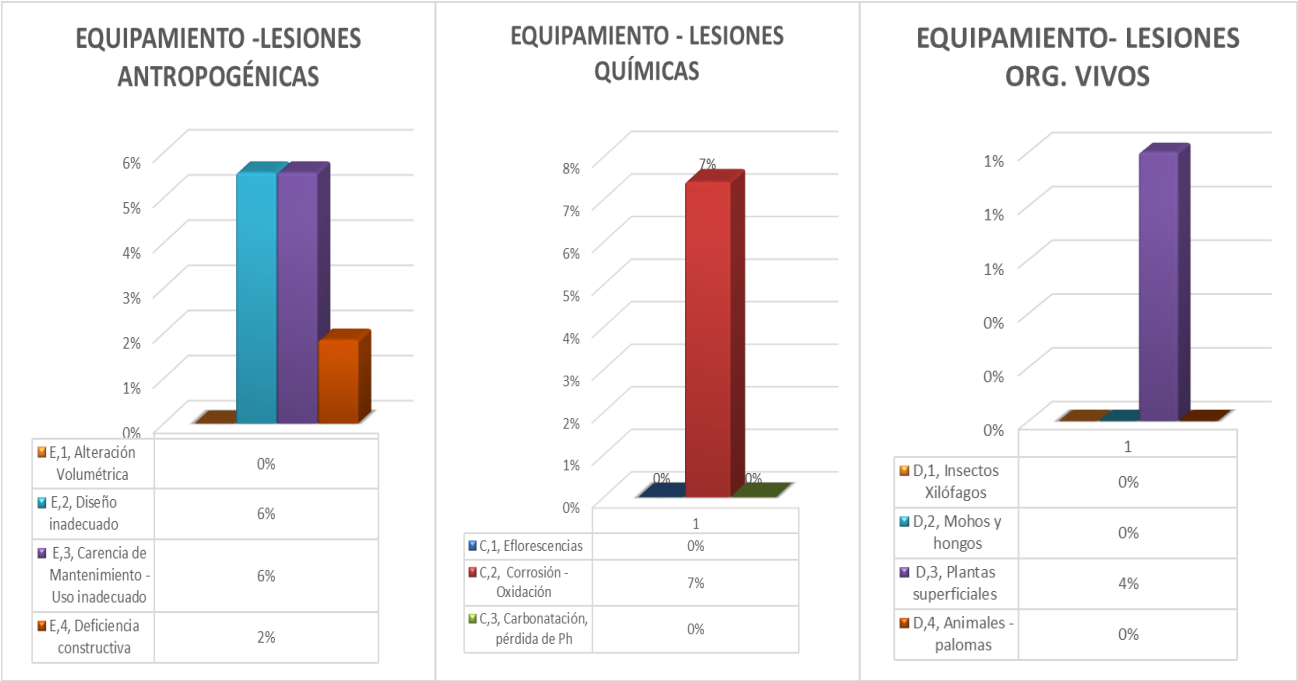


Gráfico 10. Porcentajes de afectación Equipamiento, lesiones químicas, antropogénicas y organismos vivos.

Tabla 5. Consolidado del estado de conservación por componente Puente Taquegrande.

ESTADO DE CONSERVACIÓN POR COMPONENTE - PUENTE TAQUEGRANDE, SOBRE RÍO PRADERA								
COMPONENTES		0	1	2	3	4	5	CONSERVACIÓN TOTAL POR COMPONENTE
SUB ESTRUCTURA	CIMENTACIÓN							3
	TERRAPLENES							
	ALETAS							
	ESTRIBOS							
	PILAS							
SUPER ESTRUCTURA (CONCRETO REFORZADO)	LOSA							3
	VIGAS							
	RIOSTRAS							
	SUPERFICIE DE RODADURA							
EQUIPAMIENTO	ANDENES							2
	JUNTAS							
	BARANDAS							
	SEÑALIZACIÓN							
	ILUMINACIÓN							
	DRENAJES							
CAUCE	SOCAVACIÓN							4
	TIPO DE FLUJO							

CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO	
0	Sin daño o daño insignificante
1	Daño pequeño, pero no se requiere reparación
2	Existe daño, el componente funciona como se diseña
3	Daño significativ o, requiere pronta reparación
4	Daño grav e, se necesita inmediata reparación
5	Daño extremo, falla total o riesgo de falla total

5. FASE DE MUESTREO Y MATERIAL DE PRUEBA

Como complemento a la inspección visual, se tomaron muestras para ensayos destructivos y no destructivos, con el objeto de estimar los frentes de carbonatación del concreto y la resistencia a compresión en elementos estructurales como la losa y vigas.

Se realizaron ensayos de materiales con equipos de última tecnología que dan cuenta del desarrollo de técnicas destructivas y no destructivas, procedimientos que permitieron estimar los daños y lesiones que presenta la estructura del puente y los materiales que la componen. Estos ensayos complementan la propuesta inicial y se ajustan a las condiciones de la construcción tales como se muestra a continuación:

Tabla 6. Ensayos elaborados Puente Grande para toma de datos, pruebas y análisis

TIPO DE ENSAYO PATOLOGÍA ESTRUCTURAL	NÚMERO DE ENSAYOS IN SITU-LABORATORIO
Extracción de núcleos	4
Obtención frente de carbonatación	3
Determinación pH del concreto	2
Ensayo de Ferroscan	5
Pruebas de ultrasonido	3 (laboratorio)
Resistencia a compresión de núcleos	3

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS

6.1. PRUEBA DE ULTRASONIDO

Ilustración 16. Equipo para medir la velocidad de pulso ultrasónico – Pundit Lab.

Estas pruebas se realizaron con el equipo Ultrasonic Pulse Velocity para medir velocidades del pulso ultrasónico, como herramienta de control no destructivo del concreto, acorde a la norma ASTM-C 597, el cual permite determinar:

a) La homogeneidad del concreto
b) La presencia de vacíos, fisuras o de otras imperfecciones.
c) Cambios en las propiedades del concreto que pueden ocurrir con el tiempo (deterioro natural), con la acción del fuego o ataques químicos.
d) La calidad del concreto en lo referente a los requisitos y estándares especificados, que refieren generalmente a su durabilidad y resistencia.

6.1.1. PRINCIPIOS DE LA PRUEBA

La velocidad de ultrasonido que viaja en el concreto sólido depende de la densidad y de las características elásticas del material. La calidad de este se puede relacionar con su tiesura elástica, entonces la medida de la velocidad de ultrasonido indicará su calidad, así como determinará sus características elásticas.

Para evaluar la calidad del concreto y de los materiales que lo conforman, se mide la velocidad de pulso ultrasónico, es necesario que esta medida sea con un alto orden de exactitud. El procedimiento radica en la generación de pulsos convenientes y mide la duración de la transmisión de onda sobre la distancia o longitud del camino de la onda, para determinar la velocidad de esta, siendo:

Velocidad de pulso = Longitud del camino / Tiempo de tránsito

El instrumento utilizado – Ultrasonic Pulse Velocity. Pundit Lab Proceq – indica el tiempo tomado por el pulso ultrasónico en viajar desde el transductor de salida (emisor) hasta el transductor de llegada (receptor). Se logra esto cuando los transductores son colocados de manera conveniente en la superficie de la estructura a ensayar.

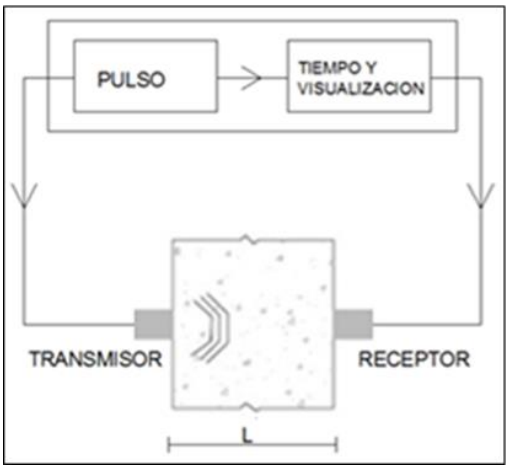


Ilustración 17. Diagrama simplificado del sistema de operación del Ultrasonic Pulse Velocity – Pundit Lab Proceq

6.1.2. ENSAYO DE ULTRASONIDO

Se realizó el ensayo de ultrasonido sobre cilindros de concreto con el propósito de determinar la calidad del concreto y calibrar su resistencia con los ensayos de resistencia a la compresión de los cilindros, para así obtener una resistencia promedio del concreto y de esta forma contrastar esta información con las especificaciones de la norma. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Ilustración 18. Varilla de calibración para toma de datos

Tabla 7. Resultados ensayo de ultrasonido Puente Taquegrande.

LONGENIERIA	FORMATO ULTRASONIDO - ENSAYO EN LABORATORIO DE ULTRASONIDO PARA NÚCLEOS DE CONCRETO	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	FNDUC01

ENSAYO DE LABORATORIO DE ULTRASONIDO PARA NÚCLEOS DE CONCRETO

NOMBRE DEL PROYECTO: Puente Taquegrande
DIRECCIÓN: Río Pradera, Localidad de Sumapaz, Bogotá D.C.
FECHA: 07/02/2020 **HORA:** 08:10 A.M.

NUCLEO Nº :	2			h (cm)= 14	d (cm)= 7.5	OBSERVACIONES
ELEMENTO :	Placa, parte superior					
LOCALIZACIÓN :	Costado derecho aguas abajo					
ID	Velocity [m/s]	Time 1 [µs]	Time 2 [µs]	Nivel de señal %	Temperature [°C]	
1395	4844			100		
1396	4046			100		
1397	4058			100		
1398	4046			100		

NUCLEO Nº :	3			h (cm)= 9	d (cm)= 7.0	OBSERVACIONES
ELEMENTO :	Viga 1, parte superior					
LOCALIZACIÓN :	Costado derecho aguas abajo					
ID	Velocity [m/s]	Time 1 [µs]	Time 2 [µs]	Nivel de señal %	Temperature [°C]	
1409	4800			100		
1410	4821			100		
1411	4800			100		

NUCLEO Nº :	4			h (cm)= 34	d (cm)= 7.0	OBSERVACIONES
ELEMENTO :	Placa, parte superior					
LOCALIZACIÓN :	Costado izquierdo aguas arriba					
ID	Velocity [m/s]	Time 1 [µs]	Time 2 [µs]	Nivel de señal %	Temperature [°C]	
1392	3944			100		
1393	3977			100		
1394	3966			100		

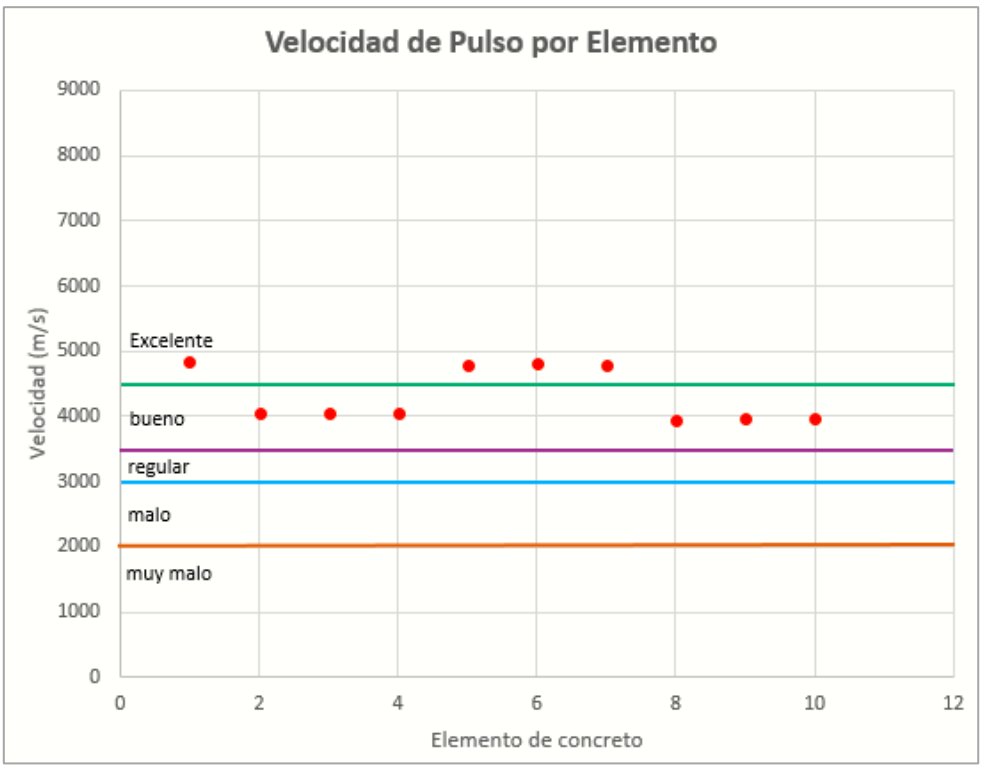


Ilustración 19. Consolidado estadístico de la calidad del concreto de acuerdo con el ensayo de ultrasonido velocidad de pulso por elemento, en losa y vigas del Puente Taquegrande.

Tabla 8. Clasificación calidad del concreto (fuente: Guzmán, 2002)

Velocidad (m/s)	Calidad del concreto.
+4500	Excelente
3500-4500	Bueno
3000-3500	Regular
2000-3000	Malo
-de 2000	Muy Malo

Tabla 9. Datos estadísticos para determinar la velocidad de pulso ultrasónico del concreto.

Datos estadísticos	Velocidad (m/s)
Media	4330.20
Mediana	4052.00
Rango	900.00
Varianza	158847.36
Desviación Estandar	398.56
Coeficiente de variación	0.09204115

De acuerdo con los resultados mostrados en la ilustración 20 y las tablas 8 y 9, se pudo determinar que para el Puente Taquegrande la calidad y homogeneidad del concreto de los elementos estructurales corresponde a un estado del concreto en grado **BUENO.**

6.2. ENSAYO DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS

Se encuadra dentro de los ensayos destructivos del concreto, con tareas a desarrollar "in situ" y en laboratorio. La norma NTC 3658 "Método de obtención y ensayo de núcleos extraídos y vigas de concreto aserradas" indica los procedimientos con los cuales se debe realizar la labor de extracción de núcleos en estructuras de concreto para su posterior ensayo a compresión y análisis de resultados.

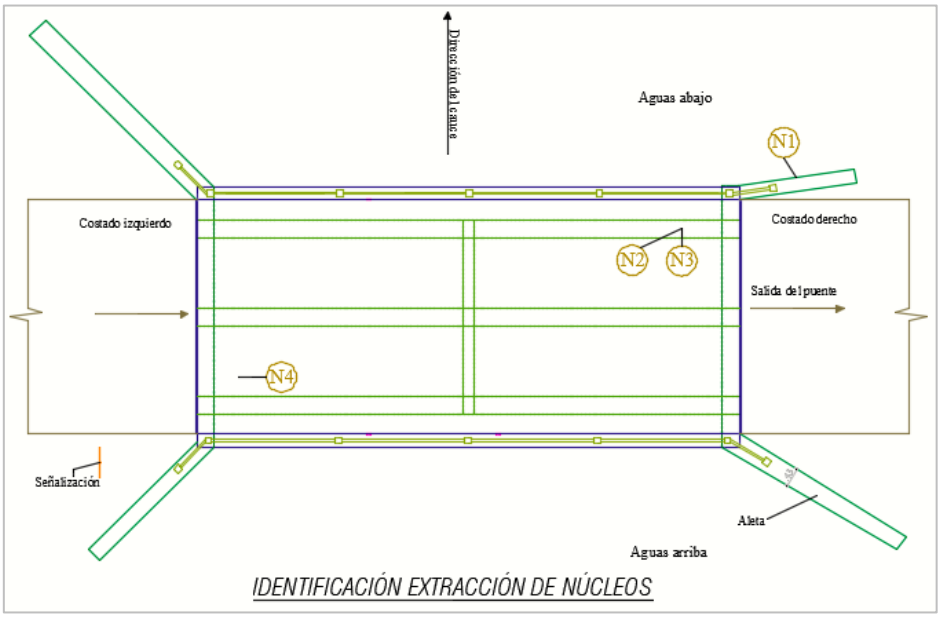


Ilustración 20. Identificación de toma de ensayos, extracción de núcleos.

6.2.1. PRINCIPIOS DE LA PRUEBA

En general, las probetas de ensayo se extraen cuando existen dudas sobre la calidad del concreto debido a indicios de deterioro en la estructura. El método permite entonces proporcionar información de resistencia tanto a compresión como a tracción de estructuras de concreto antiguas. La resistencia del concreto se ve afectada por su ubicación en el elemento estructural, tendiendo a ser más resistente el concreto en la base que el de la parte superior.

La resistencia del núcleo también se ve afectada por su orientación con el plano de colocación horizontal del concreto, tendiendo a ser inferior si el núcleo se obtiene de forma paralela al plano horizontal. Se realiza entonces la extracción de núcleos para la

medición de la resistencia del hormigón en elementos estructurales de aletas, losa y vigas, de acuerdo con el plano de localización.

Ilustración 21. Extracción de núcleo sobre parte superior de placa, paralelo al plano de colocación del concreto, Puente Taquegrande.

- **Medición:** Los elementos para determinar el espesor de muros y otros elementos estructurales deben tener diámetro de al menos 95 mm (3.75 in). Para núcleos que no se pretendan usar para la dimensión de elementos estructurales, medir la longitud mayor y menor sobre la superficie cortada a la longitud de líneas paralelas al eje del núcleo. Registrar la longitud promedio con una aproximación de 5 mm (1/4 in).
- **Ensayo:** Ensayar los especímenes de acuerdo con los requisitos del método de ensayo ASTM C 9. Estos ensayos se deben realizar dentro de los 7 días siguientes a su extracción a menos que se especifique de otro modo. De acuerdo con la ACI 318.5.6.5.3 no se deben ensayar antes de 48 horas y no después de 7 días, si se usa agua durante el aserrado o esmerilado de los extremos de los núcleos.
- **Cálculos:** Calcular la resistencia a la compresión de cada espécimen usando el área de la sección transversal calculada con base a su diámetro promedio. Si la relación longitud – diámetro (L/D) está fuera del rango entre 1.94 y 2.10, debe corregirse el resultado obtenido por el factor de corrección aplicable señalado en la siguiente tabla:

Tabla 10. Factor de corrección de resistencia para valores de L/D fuera del rango 1.94-2.10 (fuente: NTC 3658)

Relación l/d	Factor de corrección de la resistencia
2,05	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

6.2.2. NÚCLEOS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Diámetro: el diámetro de núcleos para determinar la resistencia a la compresión en elementos estructurales portantes debe ser de al menos 94 mm (3.70 in). Cuando es imposible obtener núcleos con una relación L/D mayor a 1, no están prohibidos los diámetros menores a 94 mm (3.70 in).

Longitud: preferiblemente, la longitud del espécimen perfilado debe ser de entre 1.9 y 2.1 veces el diámetro. Si la relación L/D excede 2.1, se debe reducir la longitud del núcleo de manera que la relación del espécimen se encuentre dentro del rango 1.9 y 2.1. Los núcleos con relaciones menores de 1.75 se requiere que se corrija la resistencia a la compresión obtenida.

6.3. SCANNER PRUEBA DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN LA ESTRUCTURA (NORMA ACI 228.2R MÉTODOS DE ENSAYO NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACIÓN DEL HORMIGÓN EN ESTRUCTURAS)

Estas pruebas consisten en la obtención de la localización, diámetro y recubrimiento de la armadura de refuerzo, se realizan con el objeto de identificar un patrón de distribución del refuerzo, estimar un diámetro probable del refuerzo y garantizar “si se realiza” que la extracción de los núcleos o regatas puntuales se hagan en sitios donde no se vea comprometida la estructura. Un manejo estadístico adecuado de la información obtenida puede disminuir en gran medida la cantidad de exploración destructiva en un proyecto de gran magnitud.

Para la estructura en estudio, se efectuaron tomas de escáner profesional marcas HILTI que migra los datos de lecturas al PC, esto con el fin de verificar como es la distribución del refuerzo y diámetros.

Ilustración 22. Scanner profesional Hilti.

Dentro de los parámetros importantes de durabilidad se verifica el recubrimiento mínimo que debe tener el acero en los elementos principales de la estructura y compararlos con los requerimientos de la norma, cabe destacar que es de suma importancia realizar este tipo de ensayo para evaluar las cuantías de acero en los elementos de concreto reforzado.

6.3.1. ENSAYO DE FERROSCAN

El ensayo de Ferroscan proporciona los datos sobre recubrimientos y los diámetros de las barras encontradas. Los resultados obtenidos de este ensayo se comparan con los criterios de aceptación y rechazo de los recubrimientos establecidos en la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LFRD-CCP 14.

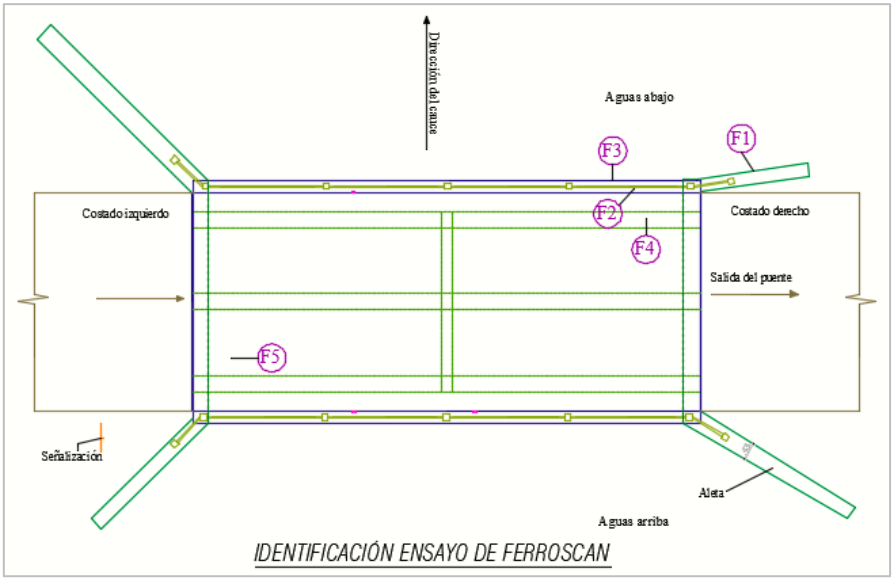


Ilustración 23. Identificación de toma de ensayos, Ferroscan.

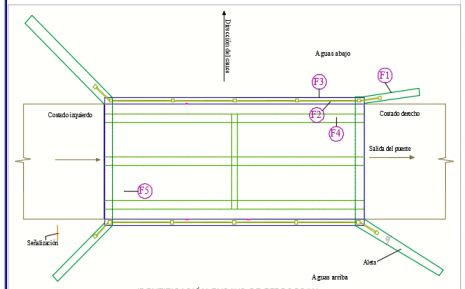
Tabla 11. Requisitos de recubrimiento para concreto en puentes (fuente: LFRD-CCP 14)

Tabla 5.12.3-1 — Recubrimiento para las armaduras principale no protegidas (mm)

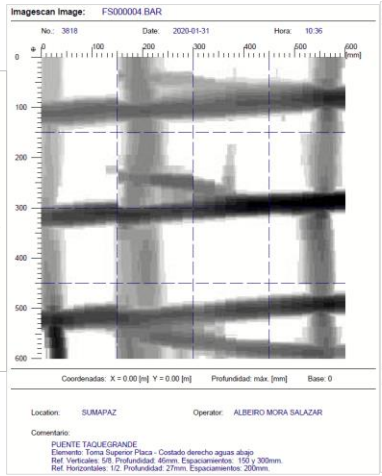
Situación	Recubrimiento (mm)
Exposición directa al agua salada	100
Hormigonado contra el suelo	75
Ubicaciones costeras	75
Exposición a sales anticongelantes	60
Superficies de losa del puentes con tránsito de neumáticos con clavos o cadenas	60
Otras situaciones exteriores	50
Otras situaciones interiores • Hasta Barras No. 11 • Barras No. 14 y No. 18	 40 50
Fondo de losas vaciadas *in situ* • Hasta Barras No. 11 • Barras No. 14 y No. 18	 25 50
Encofrados inferiores para paneles prefabricados	20
Pilotes prefabricados de concreto armado • Ambientes no corrosivos • Ambientes corrosivos	 50 75
Pilotes prefabricados de concreto presforzado	50
Pilotes vaciados *in situ* • Ambientes no corrosivos • Ambientes corrosivos – En general – Refuerzo protegido • Cáscaras • Concreto vaciado con bentonita, concreto vaciado por el sistema tremie o construcción con lechada	 50 75 75 50 75

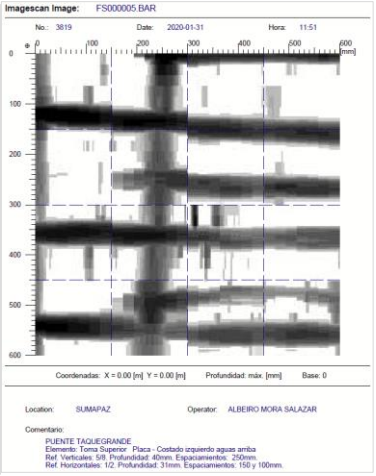
Se tomaron 5 lecturas de Ferroscan en diferentes sitios del componente estructural del puente Taquegrande con el propósito de obtener una identificación del refuerzo existente y el recubrimiento para cada uno de los elementos estructurales, para luego ser contrastados con los planos de diseño y las normas vigentes, los resultados se describen a continuación:

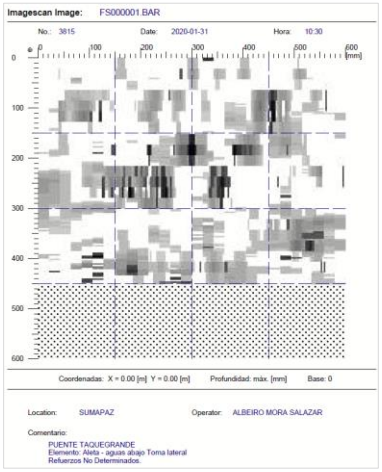
		ELABORÓ	FECHA	FICHA
LONGENIERIA	PUENTE TAQUEGRANDE, SOBRE EL RÍO PRADERA, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ, BOGOTÁ D.C.	RFGB	feb-20	001
	FICHAS DE RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE ENSAYO DE LABORATORIO FERROSCAN			

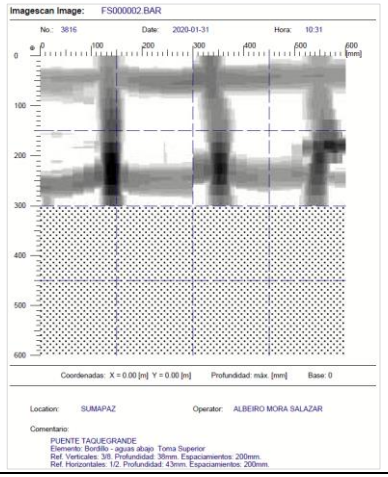


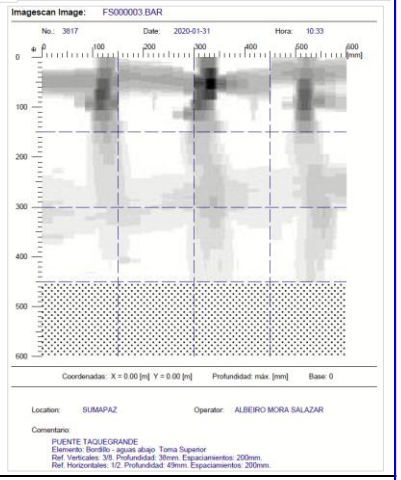
IDENTIFICACIÓN ENSAYO DE FERROSCAN











observaciones:

LONGENIERIA	FICHAS DE RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE ENSAYO DE LABORATORIO FERROSCAN	VERSIÓN	2
		FECHA	10/04/2018
		CÓDIGO	LFREELF01

NOMBRE DEL ESTUDIO	"ESTUDIO DE PATOLOGÍA PUENTE TAQUEGRANDE, SOBRE EL RÍO PRADERA, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ, BOGOTÁ D.C.	ELABORÓ	APROBÓ	FECHA	FICHA
		R.F.G.B	P.D.B	feb-20	001

LOCALIZACIÓN	UBICACIÓN	RESULTADOS FERROSCAN						ACERO DE REFUERZO, ESPACIAMIENTO MÍNIMO DE BARRAS DE ACUERDO A LFRD-CCP 14 (5.10.3.1.1)				ACERO DE REFUERZO		RECUBRIMIENTO MÍNIMO DE ACUERDO CON LA NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES LFRD-CCP 14 (5.12.3-1)		
		REF. VERTICALES			REF. HORIZONTALES			REF. VERTICALES		REF. HORIZONTALES		CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO, ESPACIAMIENTO MÍNIMO				
		Ø (pulg)	Recubr (mm)	Espac. (mm)	Ø (pulg)	Recubr (mm)	Espac (mm)	Espac. mínimo (mm)	Espac. (mm)	Espac. mínimo (mm)	Espac. (mm)	REF. VERT.	REF. HOR.	PROMEDIO FERROSCAN	RECUBRIMIENTO SEGÚN LFRD - CCP 14	CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO
Aleta, costado derecho aguas abajo (TI)	F-1	IND	IND	IND	IND	IND	IND	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Bordillo, costado derecho aguas abajo (TS)	F-2	3/8	38	200	1/2	43	200	38	200	38	200	CUMPLE	CUMPLE	40.50	50.00	NO CUMPLE
Bordillo, costado derecho aguas abajo (TL)	F-3	3/8	38	200	1/2	49	200	38	200	38	200	CUMPLE	CUMPLE	43.50	50.00	NO CUMPLE
Placa, costado derecho aguas abajo (TS)	F-4	5/8	46	150-300	1/2	27	200	38	225	38	200	CUMPLE	CUMPLE	36.50	40.00	NO CUMPLE
Placa, costado izquierdo aguas arriba (TS)	F-5	5/8	40	250	1/2	31	150-100	38	250	38	125	CUMPLE	CUMPLE	35.50	40.00	NO CUMPLE

CONVENCIONES:
Para la ubicación, Se adoptó la siguiente nomenclatura: la primera letra obedece al número del eje. La segunda y tercera de clasificaron en Toma Superior (TS), Toma Inferior (TI), Toma lateral (TL) y Toma

* IND: Acero de refuerzo Indeterminado

OBSERVACIONES: En la fase documental no se encontró ningún tipo de diseño estructural ni especificaciones para el proyecto de Puente Grande.

6.4. BAJA DE PH Y CARBONATACIÓN

Entre las agresiones ambientales al concreto, una de las más comunes, es la del dióxido de carbono, CO2, el cual, unido a la humedad ambiental, ingresan al concreto a través de sus poros, generando el ataque por carbonatación. A menudo poco atendido, la carbonatación es un proceso de avance lento pero continuo que culmina con la corrosión del acero en el concreto reforzado y llega a dañar seriamente una estructura, el avance de la frente carbonatación es de 1 mm/año.

La corrosión se produce por un descenso en la alcalinidad del concreto que puede ser debido a un “deslavado”, por circulación de aguas puras o ligeramente ácidas, o por reacción de los compuestos de carácter básico con el CO2 y el SO2 de la atmosfera. Una característica de este proceso es la existencia de un “frente” de avance del proceso que separa las dos zonas con pH muy diferente, una con pH mayor a 12.5 y la otra con pH menor a 9. Este frente se puede visualizar mediante un indicador apropiado como es la fenolftaleína, que se torna incolora en la zona carbonatada y toma un color rojo-purpura en la que permanece alcalina.

6.4.1. DETERMINACIÓN DE PRESENCIA DE CARBONATACIÓN MEDIANTE REACTIVOS

La fenolftaleína es un indicador colorimétrico de pH el cual varia, de un color fucsia a incoloro, dependiendo del pH del elemento sobre el cual se aplica. La manera más fácil de detectar la carbonatación en una estructura es romper un pedazo de concreto (preferentemente de un borde), o extraer un testigo normalizado donde se sospeche que hay carbonatación. Después de soplar todo el polvo residual del espécimen o del substrato, se pulveriza una solución de 1% de fenolftaleína en alcohol de 70° sobre el hormigón. Las áreas carbonatadas del concreto (pH menor a 9) no cambiarán de color, mientras que las áreas con un pH mayor que 9 adquirirán un color fucsia intenso. Este cambio muy apreciable de color muestra cuan profundamente ha progresado el “frente” de carbonatación dentro del concreto.

Este procedimiento también se realiza para evaluar el contenido de hidróxido de calcio que está presente en el cemento, factor determinante para estimar cualitativamente la calidad del material existente en la estructura y su interacción con el medio ambiente.

Ilustración 24. Frente de carbonatación Placa, costado izquierdo aguas arriba (fuente propia)

Mediante este tipo de ensayos se pudo determinar de manera cualitativa y cuantitativa las características y especificaciones de los materiales y establecer las posibles causas de sus procesos patológicos.

6.4.2. ENSAYO FRENTE DE CARBONATACIÓN

El fenómeno de la carbonatación se identificó mediante la aplicación de la fenolftaleína (prueba cualitativa de la fenolftaleína) sobre la superficie del núcleo de concreto, en una solución al 1%. Lo que produce una coloración rosa oscuro cuando está en presencia de un medio básico o de PH alto, valor estandarizado como límite (9.5), lo que indica la profundidad que ha alcanzado la carbonatación (profundidad del frente de carbonatación).

Para las muestras obtenidas del Puente Taquerande, se alcanzaron los siguientes frentes de carbonatación:

FORMATO ENSAYO CABONATACIÓN		
LONGENIERIA	VERSIÓN	2
	FECHA	10/04/2018
	CÓDIGO	LNDC01

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN
NORMA NTC 5551

PROYECTO : Estudio de Patologia Puente Taquegrande, Municipio de Sumapaz, Bogotá D.C.

Muestra: 1

Descripción : Núcleo 2

Localización: Placa, costado derecho aguas abajo

Fecha de ensayo: 31/01/2020

De acuerdo con la ley de Fick,el avance de carbonatacion en el concreto es proporcional a la raiz cuadrada del tiempo así:

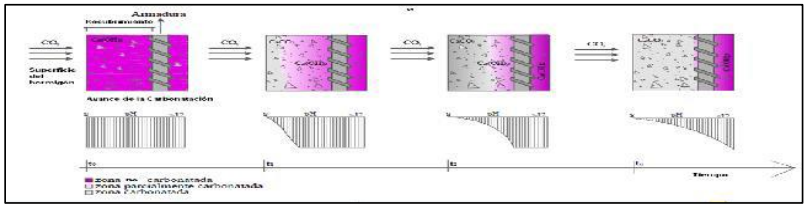
$$x = \alpha\sqrt{t}$$

x: Profundidad del frente
k: Coeficiente de carbonatación
t: Tiempo transcurrido en años

Año de la construccion

Tiempo en uso de la edificacion

Frente de carbonatacion 0.0 mm



Observaciones: Se supone un valor de k igual a 6 (que es un valor medio para concretos normales en ambientes agresivos

Ejecutó : Técnico

Revisó:Ingeniero

FORMATO ENSAYO CABONATACIÓN		
LONGENIERIA	VERSIÓN	2
	FECHA	10/04/2018
	CÓDIGO	LNDC01

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN
NORMA NTC 5551

PROYECTO : Estudio de Patologia Puente Taquegrande, Municipio de Sumapaz, Bogotá D.C.

Muestra: 2

Descripción : Núcleo 3

Localización: Viga 1, costado derecho aguas abajo

Fecha de ensayo: 31/01/2020

De acuerdo con la ley de Fick,el avance de carbonatacion en el concreto es proporcional a la raiz cuadrada del tiempo así:

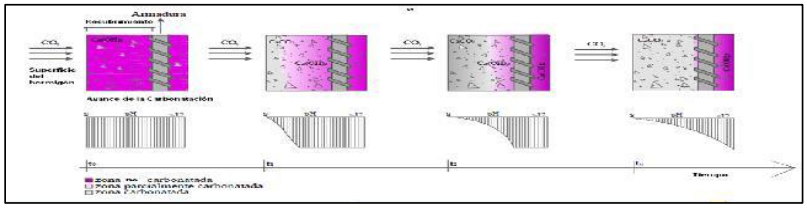
$$x = \alpha\sqrt{t}$$

x: Profundidad del frente
k: Coeficiente de carbonatación
t: Tiempo transcurrido en años

Año de la construccion

Tiempo en uso de la edificacion

Frente de carbonatacion 0.0 mm



Observaciones: Se supone un valor de k igual a 6 (que es un valor medio para concretos normales en ambientes agresivos

Ejecutó : Técnico

Revisó:Ingeniero

FORMATO CABONATACIÓN		
LONGENIERIA	VERSIÓN	2
	FECHA	10/04/2018
	CÓDIGO	LNDC01

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN
NORMA NTC 5551

PROYECTO : Estudio de Patologia Puente Taquegrande, Municipio de Sumapaz, Bogotá D.C.

Muestra: 3

Descripción : Núcleo 4

Localización: Placa, costado izquierdo aguas arriba

Fecha de ensayo: 31/01/2020

De acuerdo con la ley de Fick,el avance de carbonatacion en el concreto es proporcional a la raiz cuadrada del tiempo así:

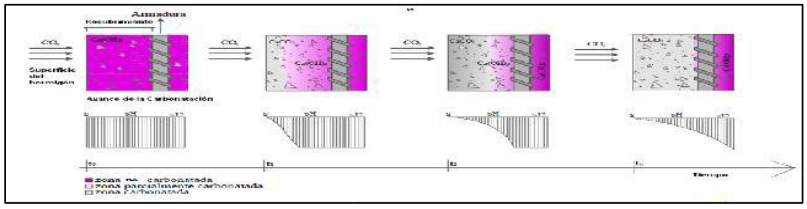
$$x = \alpha\sqrt{t}$$

x: Profundidad del frente
k: Coeficiente de carbonatación
t: Tiempo transcurrido en años

Año de la construccion

Tiempo en uso de la edificacion

Frente de carbonatacion 35.0 mm



Observaciones: Se supone un valor de k igual a 6 (que es un valor medio para concretos normales en ambientes agresivos

Ejecutó : Técnico

Revisó:Ingeniero

Tabla 12. Resultados ensayo de carbonatación Puente Taquegrande.

Núcleo	Frente de carbonatacion (mm)	Criterio de calificacion	Ubicación
2	0	NO CARBONATADO	Placa, costado derecho aguas abajo
3	0	NO CARBONATADO	Viga 1, costado derecho aguas abajo
4	35	CARBONATADO	Placa, costado izquierdo aguas arriba

De acuerdo con la literatura el frente de carbonatación se alcanza con una rata de un (1) centímetro por cada 10 años, con base en este referente se encontró que para parte de la placa se sobrepasa el estimativo y por tanto se presenta carbonatación, como lo indican la fichas.

6.4.3. DETERMINACIÓN DEL PH DEL CONCRETO

Los resultados de carbonatación se contrastan con la aplicación de la prueba de ph del concreto, la cual consiste en extraer polvo de material y aislarlo del medio ambiente. Luego se sumerge la muestra en agua oxigenada disolviéndola. Posteriormente, se toma una tira de papel de ensayo y se sumerge dentro de la solución. La tira obtendrá un color el cual se debe comparar con la carta de colores para estimar el nivel de ph del material. El ensayo permite identificar la pérdida del ph del concreto y establecer si se encuentra dentro de los parámetros permitidos en donde pueda proveer un ambiente alcalino al acero de refuerzo. La reducción del ph puede indicar bien la existencia de un frente de carbonatación, así como afectación en las propiedades mecánicas del hormigón como lo puede ser bien, la resistencia a la compresión.

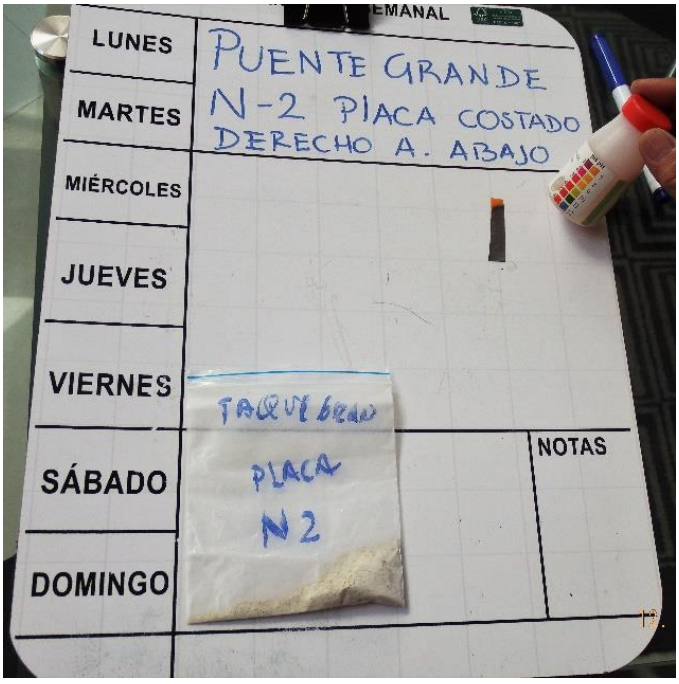
Los resultados del ensayo de determinación de ph del concreto para el Puente Taquegrande se muestran a continuación:

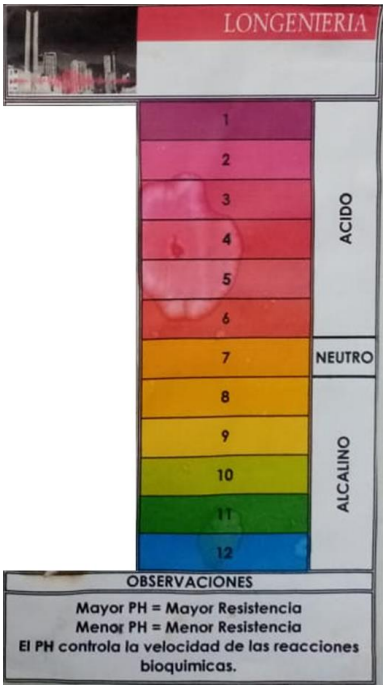
FORMATO PH		
	VERSIÓN	2
	FECHA	10/04/2018
	CÓDIGO	LFNDPHC01

DETERMINACION DEL PH DEL CONCRETO
NORMA NTC 3689

PROYECTO : Puente Taquegrande, sobre río la Pradera, ubicado en la localidad de Sumapaz, Bogotá D.C.

		Muestra:	1
Descripción :	Prueba de pH del concreto		N-2
Localización:	Placa, costado derecho aguas abajo	Fecha de ensayo:	13/02/2020





Observaciones:
La muestra indica un pH de 11. El orden de magnitud adecuado para el pH del concreto debe ser mayor a 12. Rangos menores indican pérdida de pH, es decir, pérdida de la capa pasivadora, lo que favorece el proceso de carbonatación.

Ejecutó : Técnico

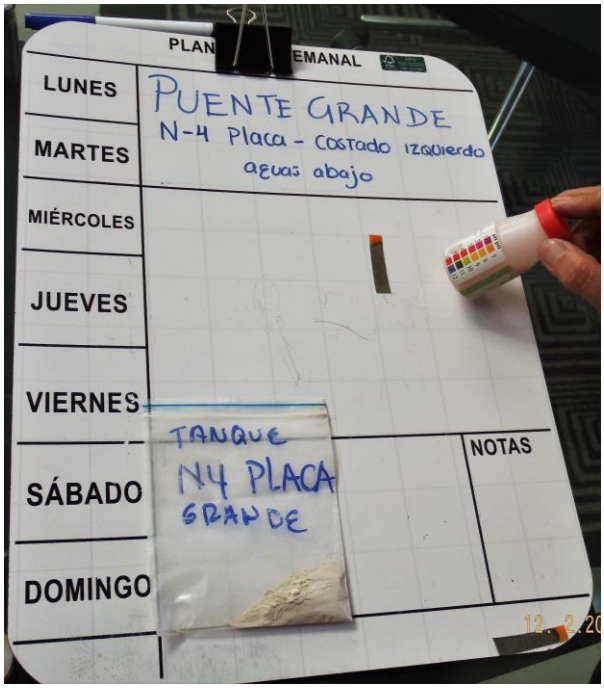
Revisó: Ingeniero

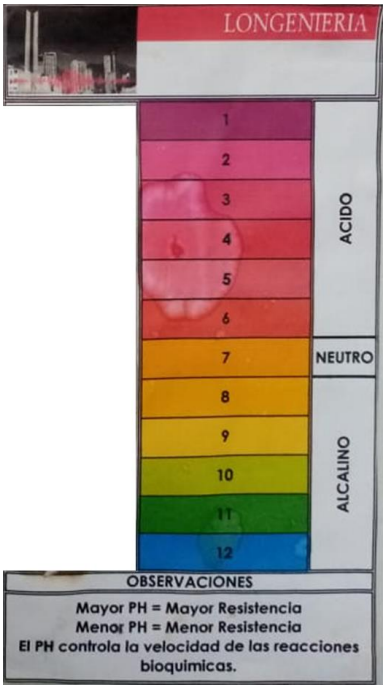
FORMATO PH		
	VERSIÓN	2
	FECHA	10/04/2018
	CÓDIGO	LFNDPHC01

DETERMINACION DEL PH DEL CONCRETO
NORMA NTC 3689

PROYECTO : Puente Taquegrande, sobre río la Pradera, ubicado en la localidad de Sumapaz, Bogotá D.C.

		Muestra:	2
Descripción :	Prueba de pH del concreto		N-4
Localización:	Placa, costado izquierdo aguas arriba	Fecha de ensayo:	13/02/2020





Observaciones:
La muestra indica un pH de 11. El orden de magnitud adecuado para el pH del concreto debe ser mayor a 12. Rangos menores indican pérdida de pH, es decir, pérdida de la capa pasivadora, lo que favorece el proceso de carbonatación.

Ejecutó : Técnico

Revisó: Ingeniero

6.5. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE NÚCLEOS DE CONCRETO

El análisis de los resultados del ensayo a compresión de núcleos fue realizado por el Laboratorio del concreto MISAEL GUERRA S.A.S. Este ensayo de carácter destructivo el cual de acuerdo a la norma NTC 673, determina la resistencia a la compresión que se da por medio de la aplicación de una carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla; en el caso particular se calculó la resistencia a la compresión de diferentes núcleos extraídos del puente Taquegrande dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal de área del núcleo.

Con respecto a lo descrito por la norma: “Se debe tener cuidado con la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este método de ensayo, dado que la resistencia no es una propiedad fundamental o intrínseca del concreto hecho de materiales dados. Los valores obtenidos dependen del tamaño y la forma del espécimen, dosificación, procedimientos de mezclado, los métodos de muestreo, moldeo, la fabricación, la edad, temperatura y las condiciones de humedad durante el curado”. (NTC 673, 2010, p. 6).

Con lo anterior se evidencia que los materiales y procesos constructivos juegan un rol imprescindible a la hora de hallar la resistencia del concreto, citando el caso particular se tiene que los materiales y procesos constructivos son desconocidos y que a juzgar por lo que se observó en la visita al campo (Puente Taquegrande) se debe tener especial cuidado con los resultados obtenidos pues la resistencia no es garantía de durabilidad.

A continuación, se relacionan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión:

Tabla 13. Tabla de resultados Resistencia a la compresión Puente Taquegrande.

INFORME DE ENSAYO RESISTENCIA A COMPRESIÓN SOBRE NÚCLEOS DE CONCRETO PUENTE TAQUEGRANDE								
No. Núcleo	Fecha ensayo	Elemento	Peso húmedo (gr)	Densidad (kg/m3)	Carga Máx. (KN)	Resistencia		
						psi	kg/cm2	MPa
N-2	07/02/2020	Placa, costado derecho aguas abajo	1454.0	2254	89.86	2950	207.4	20.36
N-3	07/02/2020	Viga 1, costado derecho aguas abajo	873.0	2196	144.10	4731	332.6	32.64
N-4	07/02/2020	Placa, costado izquierdo aguas arriba	1445.0	2225	80.30	2635	185.3	18.18

6.6. UTILIZACIÓN DE TÉCNICAS NO DESTRUCTIVAS COMO INDICADOR REFERENCIAL DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

Las dudas de resistencia se presentan cuando hay ausencia de información en los detalles y/o procesos de elaboración, manejo, protección, curado y ensayo del concreto, tal es el tema del caso en estudio. Al presentarse estas dudas en cuanto a la resistencia final del concreto, es recomendable tener en cuenta las siguientes acciones[3]:

Tomar ensayos no destructivos como el ensayo de esclerómetro aplicando la norma NTC 3692 o el ensayo de ultrasonido aplicando la norma NTC 4325. Estos ensayos permiten determinar propiedades del concreto, particularmente la resistencia aproximada que se proporciona por medio del equipo en función del número de rebote y/o velocidad de onda. Esta metodología es usada únicamente como un indicador de referencial de la resistencia en diferentes lugares de la estructura, es decir, es un método viable para estimar la resistencia siempre y cuando se establezca una correlación entre la resistencia, número de rebote y/o velocidad de onda para unos determinados resultados emitidos por un laboratorio confiable y acreditado.

Estos tipos de ensayos no destructivos permiten verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado y así complementar datos provenientes de ensayos destructivos, los cuales se realizan mediante la extracción de núcleos en las estructuras, que, en muchas ocasiones, son difíciles, costosos y sin lugar a dudas en gran cantidad debilita a la estructura generando riesgos debido al daño causado.

Para determinar las diferentes propiedades mecánicas y condiciones físicas del concreto como la resistencia a la compresión, el ACI (American Concrete Institute) y algunos autores, han recomendado la utilización de técnicas no destructivas para de esta forma, verificar el nivel de calidad del concreto basándose en correlaciones de tipo general entre los resultados de los ensayos combinados no destructivos y la resistencia del hormigón.

Sturrup, Vecchio y Caratin[4] establecieron que tanto la velocidad de pulso ultrasónico como la resistencia a la compresión están influenciadas por los mismos factores, pero estos pueden afectar a cada una de las dos variables en diferentes medidas. Los factores más importantes que estos autores encontraron fueron: *las propiedades de los*

---

[3] Biblioteca León de Greiff – La Ladera, Medellín, Colombia. Arq. Giancarlo Mazzanti.

[4] VR. Sturrup, F.J. Vecchio, and H. Caratin. Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength. Special Publication. Ontario, Canada, (1982).

componentes, las proporciones establecidas, las condiciones de curado, el contenido de humedad del concreto y la acción del deterioro ambiental.

En consecuencia, resulta cierto que, si se consigue un coeficiente de corrección apropiado, la estimación de resistencia resultará notablemente precisa, confirmando así la viabilidad de la calibración de la que se ha partido y su adecuación al concreto en estudios de patología, dicha estimación permitirá analizar la posibilidad de aplicación de un sencillo método de calibración de los ensayos no destructivos para estimar un aproximado en la resistencia del concreto en estudios de patología teniendo en cuenta la masa unitaria para un factor común del concreto.

6.6.1. RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y PARÁMETROS DE ULTRASONIDO

Una de las aplicaciones más comunes del ultrasonido ha sido la verificación del nivel de calidad del concreto basándose en la correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico con la resistencia a la compresión. De esta manera, a continuación, se procede a generar dicha correlación entre las velocidades de pulso y los datos de resistencia a la compresión entregados por el Laboratorio Misael Guerra S.A.S., allí se genera el factor ¨k¨ de correlación el cual depende del cociente entre velocidad/resistencia para luego promediar dicho ¨k¨ y así generar la resistencia corregida, tal procedimiento se estableció para generar la calibración de parámetros de ultrasonido con respecto a la resistencia obtenida en los núcleos.

En las tablas No. 11 se establece una correlación entre los datos obtenidos de lecturas de velocidad de y datos obtenidos por resistencia sobre núcleos obteniéndose una resistencia corregida para los elementos evaluados del Puente Taquegrande.

Tabla 14. Correlación entre la velocidad de pulso y resistencia a compresión

CORRELACION RESISTENCIA A LA COMPRESION/ ULTRASONIDO PUENTE TAQUEGRANDE, LOCALIDAD DE SUMAPAZ. BOGOTÁ D.C.						
ID	**Elemento**	**Resistencia a compresion (Mpa)**	**Velocidad de pulso (m/s)**	**Factor de correlacion (K)**	**K (promedio)**	**Resistencia corregida (Mpa)**
N-2	Placa costado derecho aguas abajo	20.36	4248.50	208.7	191.3	22.21
N-3	Viga 1 costado derecho aguas abajo	32.64	4807.00	147.3	191.3	25.13
N-4	Placa costado izquierdo aguas arriba	18.18	3962.33	217.9	191.3	20.71
	Promedio	**23.73**	**4339**	**191.3**		**22.68**

6.7. ENSAYO MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

"El Módulo de Elasticidad del concreto o Modulo de Young es considerado uno de los más importantes parámetros en el diseño y construcción de estructuras de concreto reforzado. El valor del Módulo de Elasticidad en el caso del concreto aumenta con el tiempo dependiendo de la resistencia. En general a mayor resistencia del concreto y mayor densidad se tiende a obtener mayores valores". (Quimbay Herrera, Rodrigo MSc, 2012, p.1).

Al evaluar el valor del módulo y como se describía en la resistencia a la compresión, se tiene que estos valores también dependen del tipo de concreto, su dosificación origen de los materiales, su comportamiento ante diferentes cargas a resistir determinada estructura, de la matriz de cemento presente en el concreto y así mismo la calidad del agregado. Cabe anotar que los valores del módulo de elasticidad son directamente proporcionales a la resistencia que se obtiene del concreto.

Ilustración 25. Curva típica Esfuerzo vs Deformación del concreto.

Para las muestras extraídas del Puente Taquegrande, y de acuerdo con las tablas 13 y 14, empleando la velocidad de pulso ultrasónico se puede determinar el módulo de elasticidad empírico y dinámico del concreto. Así mismo, la tabla 15 muestra el módulo de elasticidad para concretos de densidad normal y las densidades obtenidas de las muestras para el ensayo de resistencia a compresión. Se tienen entonces los siguientes resultados:

Tabla 15. Módulo de Elasticidad (MOE) Empírico (NTC 4325, tabla 4)

Velocidad del pulso	Módulo de elasticidad Dinámico	Módulo de elasticidad Estático
km/s	MN/m²	MN/m²
3,6	24 000	13 000
3,8	26 000	15 000
4,0	29 000	18 000
4,2	32 000	22 000
4,4	36 000	27 000
4,6	42 000	34 000
4,8	49 000	43 000
5,0	58 000	52 000

Tabla 16. Determinación módulo de elasticidad empírico, Puente Taquegrande.

Lecturas Núcleos			
Núcleo	Velocidad de pulso (km/s)	M.O.E Dinámico (MN/m2)	M.O.E Estático (MN/m2)
2	4.2	32000	22000
3	4.8	49000	43000
4	4.0	29000	18000
promedio	**4.3**	**36667**	**27667**

$$E_d = \rho v^2 \frac{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)}{(1-\upsilon)}$$

Donde:

E_d = módulo dinámico de elasticidad (MN/m²)

υ = módulo dinámico de Poisson

ρ = densidad (kg/m³)

v = velocidad del pulso (km/s)

Ilustración 26. Obtención del módulo de elasticidad dinámico del concreto (NTC 4325)

Tabla 17. Determinación del módulo de elasticidad dinámico del concreto, Puente Taquegrande.

M.O.E Dinámico (NTC 4325)				
Núcleo	Densidad (kg/m3)	módulo de Poisson	Velocidad de pulso (km/s)	Ed (MN/m2)
2	2254	0.2	4.249	36615.73
3	2196	0.2	4.807	45669.17
4	2225	0.2	3.962	31438.89
			Promedio	**37907.93**

C.8.5 — Módulo de elasticidad

C.8.5.1 — El módulo de elasticidad, E_c, para el concreto puede tomarse como $w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c}$ (en MPa), para valores de w_c comprendidos entre 1440 y 2560 kg/m^3. Para concreto de densidad normal, E_c puede tomarse como $4700 \sqrt{f'_c}$.

Ilustración 27. Cálculo módulo de elasticidad teórico del concreto, tomando densidad normal o bien densidad particular entre 1140 y 2560 kg/m3 (NSR-10, C.8.5)

Tabla 18. Determinación del módulo de elasticidad teórico, Puente Taquegrande.

M.O.E teórico (NSR-10)				
Núcleo	**Resistencia (Mpa)**	**Densidad (Kg/m3)**	**MOE (MPa) - Concreto de densidad normal**	**MOE (Mpa)**
2	20.36	2254	21207.37	20762.91
3	32.64	2196	26851.77	25280.87
4	18.18	2225	20039.87	19242.45
		Promedio	**22699.67**	**21762.08**

7. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PUENTE TAQUEGRANDE A PARTIR DE LOS MATERIALES ENCONTRADOS

A partir de los resultados de laboratorio obtenidos, se procede a realizar la verificación de capacidad estructural para los componentes del puente “TAQUEGRANDE”, la evaluación se realiza para los componentes como sigue:

Análisis Capacidad/demanda tablero viga losa.

El análisis estructural y la revisión del diseño estructural se han desarrollado bajo los lineamientos de las siguientes normas:

Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP95.

Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD-CCP14.

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition, with 2015 and 2016 Interim Revisions.

AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition, with 2012, 2014, and 2015 Interim Revision.

De acuerdo con el análisis estructural el puente Taquegrande cuenta en las condiciones actuales con suficiente capacidad frente a la demanda ante las solicitaciones ultimas

según los estados límites de resistencia de la norma actual, lo que le permite un buen desempeño en su funcionalidad estructural. Ver en anexo estudio de vulnerabilidad.

Lo que deduce únicamente una intervención para un mantenimiento correctivo y preventivo del puente Taquegrande (ver plano de propuesta de intervención).

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y EVALUACIÓN

Los procesos patológicos presentes en la estructura que conforma el Puente Taquegrande, da cuenta de diferentes tipos de lesión, principalmente de carácter mecánico con un 33%, físico 31%, químico 15%, Organismos vivos 10% y antropogénicas 11% (gráfico 1). Esto, de acuerdo con los resultados estadísticos obtenidos en las fichas de calificación. Estas manifestaciones externas con características que permiten deducir la naturaleza, el origen y los mecanismos de los fenómenos involucrados, es así que se consideran causas directas e indirectas en el origen de dichas afectaciones.

Se puede evidenciar además a través de los gráficos 2 y 3, que dentro de las lesiones físicas gobiernan principalmente afectaciones por erosión y/o socavación 9%, suciedad 6%, manchas 5% y humedad 4%. Dentro de las lesiones mecánicas se presentan principalmente desprendimientos 7%, dilataciones 6%, alabeos 5% y faltantes y deformaciones 4%. En las lesiones químicas aparecen principalmente eflorescencias 8%, carbonatación 4% y oxidación – corrosión 3%. En el tipo de lesiones por organismos vivos se evidencia que hay afectaciones principalmente debido a presencia de moho, liquen y hongos 6% y plantas superficiales 4%.

Adicionalmente, el gráfico 4 muestra que el componente del puente que presenta mayor porcentaje de afectación corresponde a la superestructura (48%), seguido de la subestructura (32%) y finalmente, el equipamiento del puente (17%) y el cauce del río (3%).

Como resultado de los ensayos no destructivos referente a los diferentes componentes estructurales del puente se obtuvo lo siguiente:

La carbonatación se origina por la reacción del dióxido de carbono (CO_2) contenido en la atmósfera y que al penetrar en el concreto poroso encuentra el hidróxido de calcio ($CA(OH)_2$) contenido en el concreto, por lo cual se disminuye el ph y la película pasiva protectora del acero de refuerzo. En relación con lo anterior, el puente presenta zonas carbonatadas en la placa, con un frente de carbonatación de 35 mm (tabla 12) y se

evidencia pérdida del pH, teniendo un nivel de 11, cuando el nivel normal del concreto debe estar por encima de 12.

De acuerdo con el ensayo de ultrasonido realizado a núcleos extraídos en zonas de la superestructura como la placa y las vigas (ilustración 20 y tablas 8 y 9), se pudo determinar que para el Puente Grande la calidad y homogeneidad del concreto de dichos elementos estructurales corresponde a un estado del concreto en grado de regular a bueno**.**

El buen o mal comportamiento de una construcción en concreto reforzado guarda relación directa con las propiedades mecánicas del material.

Por consiguiente, aunque no se determinaron planos de diseño ni especificaciones técnicas que permitieran identificar la resistencia mínima del concreto, en base a lo establecido por la NTC 5551, se determina que la resistencia del concreto debe ser de 24 MPa, en concordancia con el grado de exposición en el que se encuentra la estructura, el cual corresponde al grupo 2, subgrupo 2.2 Humedad alta (Tabla 1).

La densidad de los materiales determina las propiedades físico-mecánicas del concreto. Se comprobó la densidad para sectores de la losa y las vigas del puente en el laboratorio Misael Guerra SAS, en donde se encontraron densidades que oscilan entre 2196 y 2254 kg/m3. “Para el concreto de peso normal (normal-weight-concrete) – En general, el concreto tiene una densidad (peso unitario) entre 2155 y 2560 kg/m3, y comúnmente se toma entre 2320 y 2400 kg/m3”[5]. Los ensayos indican valores bajos lo cual hace vulnerable al concreto al ataque de sustancias perjudiciales.

Los valores de resistencia encontrados en los núcleos de concreto extraídos en el puente arrojaron resultados de laboratorio que se encuentran entre los 18.18 y los 32.64 MPa (tabla 13). Estos resultados se contrastaron mediante correlaciones con el ensayo de ultrasonido, siendo que en promedio se determinó una resistencia a la compresión de 22.68 MPa, por debajo del valor requerido por la norma.

Por otro lado, en la estimación del módulo de elasticidad del concreto (M.O.E.) de acuerdo a la NTC 4325, se determinó el del M.O.E. dinámico y empírico, en base a la velocidad de pulso promedio obtenida, la cual fue de 4.3 km/h; valores de 36 667 y 27 667 MN/m2 respectivamente (tabla 16). Adicionalmente, se determinó el M.O.E.

[5] Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-14) y Comentario (ACI 318sr-14), Pág. 37

dinámico a partir de los valores del módulo de Poisson, la densidad del concreto y la velocidad de pulso. El valor promedio obtenido fue de 37 908 MN/m2 (tabla 17).

La NSR-10 en el apartado C.8.5 muestra la estimación del M.O.E. a partir de la resistencia a compresión (f'c) y la densidad del concreto, comparándola con el valor que se obtiene tomando concreto de densidad normal. Para este último caso, el valor promedio obtenido fue de 22 670 MPa, y con valores de densidad obtenidos en laboratorio de 21 762 MPa en promedio (tabla 18).

Los ensayos de Ferroscan realizados de manera aleatoria permitieron detectar el refuerzo horizontal y vertical, así como el recubrimiento de las barras de acero existente en el puente. Se hace la concordancia con los parámetros de recubrimiento y espaciamiento establecidos por la Norma Colombiana de Diseño de Puentes LFRD-CCP 14 encontrando incumplimiento en algunos sectores de la estructura.

De acuerdo con el análisis de los resultados y especificaciones obtenido del estudio de Patología de la construcción para el Puente Taquegrande, se relaciona a continuación la consolidación de los ensayos acorde con la tabla 19:

Tabla 19. Tabla de consolidado de resultados ensayos destructivos y no destructivos, Puente Taquegrande.

		ELABORÓ	FECHA	FICHA
LONGENIERIA	ESTUDIO DE PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN PARA EL PUENTE TAQUEGRANDE, UBICADO EN LA LOCALIDAD DE SUMAPAZ, BOGOTÁ D.C.	R.F.G.B	feb-20	001
	CONSOLIDADO DE RESULTADOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS			

TABLA DE CONVENCIONES

E1 → ORDEN DE TOMA DE MUESTRA
ENSAYO ESCLEROM

F-1 → ORDEN DE TOMA DE MUESTRA
ENSAYO FERROSCAN

TI= Toma inferior
TS= Toma superior
TL= Toma lateral
TF= Toma frontal

CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO		CLASIFICACION DEL NIVEL DE DAÑO
0	sin daño o daño insignificante	3
1	daño pequeño pero no se requiere reparación	
2	existe daño, el componente funciona como se diseña	
3	daño significativo, requiere pronta reparacion	
4	daño grave se necesita inmediata reparación	
5	daño extremo, falla total o riesgo de falla total del componente	

FERROSCAN (ACERO DE REFUERZO).		LFRD-CCP 14 (5.12.3-1) RECUBRIMIENTO MÍNIMO		LFRD-CCP 14 (5.10.3.1.1) ESPACIAMIENTO MÍNIMO DE BARRAS	
UBICACIÓN DEL ENSAYO	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Recubrimiento (mm)	CRITERIO DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO	REF. VERTICALES	REF. HORIZONTALES
F-1	Aleta, costado derecho aguas abajo (TL)	*	*	*	*
F-2	Bordillo, costado derecho aguas abajo (TS)	40.50	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
F-3	Bordillo, costado derecho aguas abajo (TL)	43.50	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
F-4	Placa, costado derecho aguas abajo (TS)	36.50	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
F-5	Placa, costado izquierdo aguas arriba (TS)	35.50	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

ENSAYO DE ULTRASONIDO (NTC 4325)				
UBICACIÓN	LOCALIZACIÓN	VELOCIDAD DE ONDA (m/s)	ESTIMACIÓN CALIDAD DEL CONCRETO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN CORREGIDA CON VELOCIDAD DE PULSO (MPa)
Núcleo N°2	Placa, parte superior, costado derecho aguas abajo	4248.50	BUENO	22.21
Núcleo N°3	Viga 1, parte superior, costado derecho aguas abajo	4807.00	EXCELENTE	25.13
Núcleo N°4	Placa, parte superior, costado izquierdo aguas arriba	3962.33	BUENO	20.71

Nota: El ensayo de ultrasonido determinó en promedio, una calidad del material de BUENO, y de acuerdo a la correlación realizada con el ensayo de resistencia a compresión, la resistencia promedio obtenida fue de 22.68 MPa.

ENSAYO DE CARBONATACIÓN Y PÉRDIDA DE PH		NTC 5551, NTC 3689		
ID Núcleo	LOCALIZACIÓN	FRENTE DE CARBONATACIÓN (mm)	NIVEL DE PH	CALIFICACIÓN
Núcleo N°2	Placa, parte superior, costado derecho aguas abajo	0.0	11.0	NO CARBONATADO
Núcleo N°3	Viga 1, parte superior, costado derecho aguas abajo	0.0	*	NO CARBONATADO
Núcleo N°4	Placa, parte superior, costado izquierdo aguas arriba	35.0	11.0	CARBONATADO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE NÚCLEOS EXTRAÍDOS (NTC 673)						
ID NÚCLEO	LOCALIZACIÓN	DENSIDAD (kg/m3)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	COMPARATIVO NTC 5551	CALIFICACIÓN
Núcleo N°2	Placa, parte superior, costado derecho aguas abajo	2254	89.86	20.36	24	NO CUMPLE
Núcleo N°3	Viga 1, parte superior, costado derecho aguas abajo	2196	144.10	32.64	24	CUMPLE
Núcleo N°4	Placa, parte superior, costado izquierdo aguas arriba	2225	80.30	18.18	24	NO CUMPLE

ENSAYO DE CARBONATACIÓN Y PÉRDIDA DE PH		NTC 5551, NTC 3689		
ID Núcleo	LOCALIZACIÓN	FRENTE DE CARBONATACIÓN (mm)	NIVEL DE PH	CALIFICACIÓN
Núcleo Nº2	Placa, parte superior, costado derecho aguas abajo	0.0	11.0	NO CARBONATADO
Núcleo Nº3	Viga 1, parte superior, costado derecho aguas abajo	0.0	*	NO CARBONATADO
Núcleo Nº4	Placa, parte superior, costado izquierdo aguas arriba	35.0	11.0	CARBONATADO

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE NÚCLEOS EXTRAÍDOS (NTC 673)						
ID NÚCLEO	LOCALIZACIÓN	DENSIDAD (kg/m3)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	COMPARATIVO NTC 5551	CALIFICACIÓN
Núcleo Nº2	Placa, parte superior, costado derecho aguas abajo	2254	89.86	20.36	24	NO CUMPLE
Núcleo Nº3	Viga 1, parte superior, costado derecho aguas abajo	2196	144.10	32.64	24	CUMPLE
Núcleo Nº4	Placa, parte superior, costado izquierdo aguas arriba	2225	80.30	18.18	24	NO CUMPLE

9. CONCLUSIONES

Mediante el análisis sistemático de la información recopilada, la observación en campo, las condiciones de servicio, los resultados de los ensayos de campo y de laboratorio contrastados con las especificaciones de diseño para el puente Taquegrande, se obtuvo el diagnostico conclusivo en fase de investigación preliminar el que da cuenta de las causas que generan los procesos patológicos y establece unas propuestas de mantenimiento –preventivo y correctivo- y la justificación de la necesidad de realizar la investigación detallada bajo un análisis de vulnerabilidad que determine las medidas de rehabilitación y reforzamiento que permita garantizar la estabilidad del Puente Taquegrande durante su vida de servicio residual.

No se encontró información sobre los procesos constructivos realizados en la obra, considerando que puede llegar a ser una de las etapas del proceso constructivo donde se presentan causas indirectas.

Se realizó la verificación mediante las lecturas del Ferroscan frente a los espesores de los recubrimientos de los aceros en las estructuras del puente la Taquegrande, encontrando que no cumplen con los exigidos por la norma NTC 5155 y Nsr10, factor indispensable en la durabilidad de las estructuras de concreto, por el tipo de ambiente a que están expuestos a ciclos de Humedecimiento y secado.

Los valores de resistencia encontrados en los núcleos de concreto extraídos para los del puente arrojaron resultados en laboratorio que fueron contrastados con los ensayos de ultrasonido y esclerómetro, calibrados con las curvas de Sonreb, Es así que se encontraron valores entre 18 y 20Mpa (ver tabla 19), es importante resaltar que con el tiempo el concreto tiende a aumentar su resistencia por efectos de la carbonatación, sin embargo, esto no es un indicador de durabilidad.

La densidad de los materiales determina las propiedades físico-mecánicas del concreto, se comprobó la densidad para viga placa y estribos del puente Taquegrande en laboratorio de Misael Guerra, encontrando parámetros diferentes que oscilan en los rangos entre 2196 a 2254 Kg/cm3 (ver tabla 19). Los estándares de calidad para un concreto bien compactado de áridos normales debe oscilar entre 2300- 2500 kg/m3, variable importante en términos de durabilidad, lo que indica una baja compacidad del material analizado, lo que lo hace vulnerable al ataque de sustancias perjudiciales.

La Carbonatación que se origina por la reacción del dióxido de carbono (C02) contenido en la atmósfera y que al penetrar en el concreto poroso encuentra el hidróxido de calcio (CA (OH)2) contenido en el concreto. Esta reacción disminuye el PH el cual forma una película protectora en el acero de refuerzo. Se encontraron frentes de carbonatación hasta de 35 mm en la placa superior. Ver tabla 19.

10. RECOMENDACIONES

Una de las causas indirectas de las manifestaciones patológicas tiene origen en la etapa diseño y ejecución de la obra, es así que la norma colombiana NTC 5551 para este tipo de estructuras recomienda un concreto con una resistencia de 24Mpa, las estructuras del puente Taquegrande se diseñaron para un concreto de 20 Mpa, lo que no garantiza la durabilidad de las estructuras de concreto reforzado para este uso.

Se debe realizar la remoción del frente de carbonatación en los sectores que se encuentran referenciados en los planos del levantamiento del daño, de acuerdo con el análisis de carbonatación, esta debe ser acorde con el estudio de vulnerabilidad estructural que permite establecer su rehabilitación y reforzamiento donde el estudio lo indique.

El muestreo, prueba y análisis de los materiales, con tecnologías destructivas y no destructivas, evidencia que la calidad de los materiales es baja considerando que su densidad está por debajo del rango establecido por las especificaciones normativas para el concreto reforzado, el recubrimiento y resistencia del concreto no se encuentran acordes con las especificaciones de durabilidad según norma colombiana NTC 5551. Además, se resalta la despasivación del acero por falta de recubrimiento en algunos elementos estructurales como se indica en las fichas del recuento fotográfico. No obstante, el ensayo de carbonatación indico que se conserva el ph del concreto en algunos sectores ver fichas de ensayo de carbonatación.

Toda vez que hay falta de información sobre los diseños del puente Taquegrande y algunos sectores con frentes de carbonatación alto, presencia de despasivación del acero de refuerzo en algunos elementos estructurales que integran el puente Taquegrande como lo evidencia los estudios de Patología, levantamiento del daño y las fichas de calificación, se recomienda realizar un estudio de vulnerabilidad estructural del puente Taquegrande y proponer una medida de rehabilitación.

Se debe realizar un proceso de rehabilitación a través de una reparación de la junta que cumpla la norma de diseño de puentes LRFD-CCP-14, es necesario definir el manejo del tráfico con la entidad responsable, para poder establecer el tipo de junta.

Para los Bordillos que sirven de apoyo a las barandas se sugiere las obras de mantenimiento rutinario, se presenta deterioro por los asentamientos del terraplén de acceso.

En las barandas se debe realizar un mantenimiento preventivo y correctivo retirando el óxido presente en algunos sectores de las barandas ver fichas de calificación y sebe colocar una pintura de protección siguiendo especificaciones del CCDSP, analizando alternativas que incluyen; rehabilitación o demolición y construcción de una nueva.

Para el terraplén de acceso se sugiere un estudio geotécnico de recuperación y estabilidad de taludes.

Para la erosión y socavación presente se recomienda una submuración en gaviones acorde con las recomendaciones del Geotecnista. ver plano de rehabilitación.

11. BIBLIOGRAFÍA

Norma Colombiana de Diseño de Puentes CCP95.

Norma Colombiana de Diseño de Puentes LRFD-CCP14.

AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition, with 2015 and 2016 Interim Revisions.

AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition, with 2012, 2014, and 2015 Interim Revisions

Ingeniería de Puentes Tomo I, II. (Muñoz 2012)

12. ANEXOS

Ensayos de laboratorio

Metodologías destructivas y no destructivas.

- Resistencia sobre núcleos de concreto
- Ultrasonido
- Ferroscan
- Esclerómetro.
- Carbonatación

Registro fotográfico.

Fichas de calificación

Fichas ensayos de Ferroscan

Fichas ensayos de ultrasonido

Fichas ensayo esclerómetro.

Fichas de verificación acero de refuerzo y recubrimiento.