



Estudio patológico del puente peatonal San Francisco en el Municipio de Cértegui

Everson Mauricio Chala Fernández

Javier Mosquera Mosquera

Soljimená Monsalve Caballero

Universidad Santo Tomás

Decanatura de División Abierta y a Distancia

Faculta de Ciencias e Innovación

Especialización en Patología de la Construcción

Ing. Olga Lucia Vanegas Alfonso

Diciembre de 2023

Estudio patológico del puente peatonal San Francisco en el Municipio de Cértégui

AUTORES

Everson Mauricio Chala Fernández

Javier Mosquera Mosquera

Soljimena Monsalve Caballero

Presentado para optar el título de: Especialista en Patología de la Construcción

Director

Ing. Olga Lucia Vanegas Alfonso

Universidad Santo Tomás

Decanatura De División Abierta Y A Distancia

Faculta De Ciencias E Innovación

Bogotá D.C.

Diciembre de 2023



TABLA DE CONTENIDO

Lista de ilustraciones	8
Lista de tablas	10
Resumen	11
Introducción.....	12
Justificación.....	13
Objetivos.....	14
General.....	14
Específicos.....	14
Marco Referencial	15
Conceptual.....	15
Acera o Andén	15
Apoyos del Puente:.....	15
Baranda.....	15
Bordillo o sardinel:	15
Calzada:	15
Cruce peatonal a nivel:	15
Cruce peatonal elevado o puente peatonal	15
Desnivel:.....	15
Espacio circundante:.....	15



Gálibo:	15
Galibo horizontal	16
Peatón:	16
Puente mismo	16
Sumideros o recolectores de agua:	16
Superestructura:	16
Teórico	16
Puentes.....	16
Elementos de un puente.....	16
Cimentación:.....	17
Pilares:	17
Tablero o piso	17
Estribos	17
Apoysos:.....	18
Tipos de puentes:	18
Por el material de construcción:	18
Por el servicio que presta:.....	18
Por su longitud.....	18
Legal	19
Histórico.	19



Alcances y limitaciones	21
Metodología.....	22
Preparación y planteamiento del estudio	22
Inspección preliminar del paciente	22
Identificación de elementos afectados:.....	23
Ubicación de lesiones en plano de corte.....	25
Recopilación de información necesaria para el estudio.....	26
Permisos y autorizaciones para abordar estudio al paciente.....	28
Datos generales del paciente:	29
Datos generales del entorno:	29
Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración.	30
Definición de los medios para realizar la exploración.	31
Historia Clínica.....	31
Responsables del estudio.....	31
Fecha de realización del estudio.....	32
Datos generales del paciente.....	32
En la edificación y/o construcción civil	35
Descripción de las afectaciones presentes en el puente.....	36
Tipología de las lesiones	37
Causas directas de los procesos patológicos	38

Datos generales del entorno:	40
Resultados.....	43
Clasificación de la estructura.....	43
Clasificación y origen de las patologías	44
Suelos y cimentaciones.....	47
Tipo de cimentación	47
Ensayos destructivos y no destructivos.	50
Ensayo de Detección de Aceros	50
Ensayo de resistencia del concreto por medio de esclerometría.....	52
Ensayo de extracción y ensayo de núcleos.....	57
Ensayo de carbonatación del concreto con fenolftaleína.....	59
Regatas	61
Estudio de vulnerabilidad sísmica	62
Fallas geológicas	62
Sismicidad.	68
Fallas geológicas.	72
Estudio de vulnerabilidad sísmica.....	73
Historia de sismos en la zona de estudio.....	74
Diagnóstico.....	82
Alternativa y pronóstico	83



Identificación de elementos afectados	83
Plan de Intervencion	85
Alternativa 1.	86
Alternativa 2.	86
Alternativa 3.	87
Análisis y propuesta de intervención seleccionada	88
Programación.....	89
Presupuesto.....	90
Plan de Mantenimiento.....	90
Conclusiones.....	93
Recomendaciones	95
Referencias bibliográficas	96
Anexos.....	98
Anexo 1. Fichas de historia clínica del paciente.	98
Anexo 2. Ficha de mantenimiento de estructuras de concreto.	98
Anexo 3. Ficha de mantenimiento de estructura metálica.....	98
Anexo 4. Resultados ensayos de laboratorio.....	98

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 Elementos de un puente.....	17
Ilustración 2 Ubicación de elementos metálicos	25
Ilustración 3 Ubicación de lesiones en plano de corte.....	26
Ilustración 4 Aceptación para estudio patológico del puente peatonal en Certegui - Choco	28
Ilustración 5 Localización Municipio de Cértegui	32
Ilustración 6 Vista en corte puente	34
Ilustración 7 Vista en Corte Puente Certegui	34
Ilustración 8 Deterioro en pasarela.....	40
Ilustración 9 Temperatura Media Anual (°C) Departamento de Choco.....	42
Ilustración 10 Precipitación total Anual (mm) Departamento de Choco.	43
Ilustración 11 Resultados calificación estructura metálica puente san francisco Certeguí	45
Ilustración 12 Resultados de calificación estructura en concreto puente	46
Ilustración 13 Localización del Apique y los Sondeos para determinar el tipo y dimensiones de la cimentación del puente.....	48
Ilustración 14 Excavación para identificar cimentación.....	48
Ilustración 15 Verificación de las dimensiones de la cimentación.....	49
Ilustración 16 Sondeo con equipo SPT	49
Ilustración 17 Muestra recuperada por medio de cuchara partida en SPT	49
Ilustración 18 Detector de barras de acero	50
Ilustración 19 Determinación longitudinal.....	51
Ilustración 20 Identificación y marcación de Acero.....	51
Ilustración 21 Determinación Transversal.....	51
Ilustración 22 Acero Longitudinal y Transversal.....	52



Ilustración 23 Martillo mecánico marca CONTROLS modelo 58- C0181/C	53
Ilustración 24 Curvas de conversión, martillo de prueba de hormigón Modelo N	53
Ilustración 25 Elaboración de cuadrícula de 4 x 5.....	53
Ilustración 26 Cuadrícula para realizar ensayo.....	54
Ilustración 27 Toma de lectura del número de rebotes.....	54
Ilustración 28 Ensayo de Esclerometría columna pórtico principal	54
Ilustración 29 Resultados resistencia superficial del concreto con martillo de rebote.	56
Ilustración 30 Extracción de Núcleo – Muestra recuperada.....	58
Ilustración 31 Preparación de muestras en laboratorio.....	58
Ilustración 32 Verificación de la geometría de la muestra	58
Ilustración 33 Rotura de muestras – ensayo a compresión.....	59
Ilustración 34 Columna con 4 Cm de frente de Carbonatación.....	60
Ilustración 35 Losa con 6 Cm de frente de Carbonatación.....	60
Ilustración 36 Cimentación con 9 Cm de frente de Carbonatación	60
Ilustración 37 Aplicación de Fenolftaleína.....	61
Ilustración 38 Identificación de acero 5/8” Long. Y 3/8” Trans.	61
Ilustración 39 Identificación de acero 5/8” Long. Y 3/8” Trans.	62
Ilustración 40 Mapa Geológico de la Zona	66
Ilustración 41 Zonas de amenaza sísmica.....	70
Ilustración 42 Detalles de la Zonificación Sísmica para el Departamento del Chocó.	71
Ilustración 43 Mapa geológico de la cuenca Choco	72
Ilustración 44 Localización Municipio de Certegui	74
Ilustración 45 Cinturón de fuego del Pacífico	75
Ilustración 46 Sismos durante los últimos 5 días en Choco.	76



Ilustración 47 Sismos relevantes durante el último mes en Choco	76
Ilustración 48 Sismo cercano a Certegui - Choco	77
Ilustración 49 Localización Sismo Bahía Solano - Choco.	78
Ilustración 50 Localización Sismo Bajo Baudó - Choco.....	80
Ilustración 51 Localización de las cuencas de Choco y Urabá.....	81
Ilustración 52 Descripción de elementos afectados.....	84
Ilustración 53 Ubicación de elementos de concreto del plan de mantenimiento	91
Ilustración 54 Ubicación de elementos metálicos del plan de mantenimiento.....	92

Lista de tablas.

Tabla 1 Inspección de elementos afectados.....	23
Tabla 2 Clasificación de lesiones	37
Tabla 3 Patología en tablero pasarela puente.	38
Tabla 4 Patología directa cables	38
Tabla 5 Patología directa pasamanos.....	39
Tabla 6 Lesiones en estructuras metálicas.....	45
Tabla 7 Lesiones en estructuras en concreto	47
Tabla 8 Resultados de ensayos de campo de esclerometría con martillo de rebote.	55
Tabla 9 Resistencia a la Compresión - Núcleos	57
Tabla 10 Registros Sismo Bahía Solano - Choco.....	79
Tabla 11 Registros Sismo Bajo Baudó - Choco	80
Tabla 12 Programación de intervención.....	89
Tabla 13 Presupuesto de intervención de obra	90

Resumen

Se realiza el estudio patológico de un puente en estructura metálica apoyado sobre pilares en concreto reforzado en el Municipio de Certegui en el Departamento de Choco, con una longitud de 20m, el cual presenta gran deterioro.

El puente fue construido en el año 1992 por parte del municipio, se evidencia que desde su construcción la administración municipal solo ha hecho retoques de pintura, mas no un mantenimiento preventivo o correctivo de los elementos metálicos, de acuerdo a los conocimientos técnicos tomados en la especialización ofertada por la Universidad Santo Tomás enfocada en Patología de la Construcción, incluyendo la documentación técnica del Instituto Nacional de Vías – INVIAS en su manual de inspección de puentes. Una vez realizadas las visitas de campo en la zona de intervención se pudo determinar las lesiones que presenta el puente, así mismo en la ejecución de ensayos de laboratorio y de campo para comprobar el estado de la estructura.

Introducción

El presente informe contiene las metodologías y procedimientos empleados, para obtener un diagnóstico a través de una propuesta, sustentada y titulada: Estudio Patológico del puente peatonal San Francisco, el cual atraviesa el río Cértegui, uniendo al barrio San Francisco (la punta) y el Camposanto (Cementerio), del municipio de Cértegui, en el departamento del Chocó.

La propuesta para realizar el estudio patológico del Puente San Francisco contempla un análisis de los procesos patológicos y una investigación preliminar que tiene como alcance la consolidación de la fase documental, inspecciones, ensayos de campo y/o laboratorio sobre los materiales en función de las patologías encontradas. Lo anterior conlleva a la fase final de la investigación, en la cual se detalla minuciosamente el comportamiento de materiales, causas y/o origen de las patologías presentadas en elementos comprometidos estructuralmente, entre otros aspectos, para diagnosticar lo más preciso posible y dar las recomendaciones preventivas, intervención y/o rehabilitación de la estructura.

Justificación

Los habitantes de Certegui solo tienen un campo santo y el cementerio tiene un único acceso vial ya que el puente peatonal es la única forma en la que las procesiones de personas acompañan el funeral. El campo santo se encuentra ubicado a una margen del río Certegui y este puente es el único acceso para transportar los féretros al campo santo pues en algunas ocasiones por el mal estado del puente algunos familiares decidieron transportar los féretros en lancha para atravesar el río y llegar al campo santo con desafortunados accidentes en donde se hundieron las lanchas con familiares y féretros. Actualmente el puente sigue siendo utilizado ya que es la única ruta para llegar al campo santo, lo cual enmarca o llama la atención sobre el riesgo que presenta la estructura cada vez que fallece una persona y se debe celebrar un sepelio pues se realiza un uso discriminado o desproporcionado del puente por el exceso de carga viva (Personas en tránsito) con respecto a las condiciones actuales del puente.

La Pérdida de sección tanto en los elementos metálicos como de concreto, fenómeno de oxidación y corrosión en los elementos metálicos, posible carbonatación del concreto pérdida de la sección y socavación de la cimentación, desprendimientos de los elementos metálicos, pérdida de la estabilidad horizontal y vertical de la estructura al momento de transitar, entre otras; son algunas de las patologías que presenta la estructura. Por tal razón surge la necesidad de estudiar, analizar y diagnosticar la estructura del puente con el fin de evitar una tragedia de pérdidas humanas.

Objetivos

General

- ❖ Determinar las patologías y lesiones que presenta el puente peatonal San Francisco ubicado en el municipio de Certegui departamento del Choco.

Específicos

- ❖ Realizar levantamiento de lesiones presentes del puente San Francisco.
- ❖ Determinar mediante ensayos de laboratorio las condiciones en las que se encuentra el paciente.
- ❖ Realizar levantamiento topográfico, arquitectónico y estructural del puente San Francisco.
- ❖ Diagnosticar las patologías que presenta el paciente.
- ❖ Presentar una propuesta de intervención según los resultados y análisis de laboratorio que establezcan soluciones preventivas.
- ❖ Elaborar propuesta económica, flujo de caja y programación.

Marco Referencial

Conceptual.

Acera o Andén: Parte de la vía destinada al tránsito de peatones.

Apoyos del Puente: Elementos que llevan la carga del puente mismo al terreno.

Baranda: Antepecho o elemento de protección, elaborado generalmente de material liviano (metal o madera) o de concreto y mampostería (siempre y cuando estén combinados con un material liviano), que se coloca en los bordes laterales de las rampas, de las escaleras y en la placa de caminado del puente mismo y del paso subterráneo.

Bordillo o sardinel: Elemento a nivel superior de la calzada, que sirve para delimitarla.

Calzada: Espacio de la vía para el tránsito vehicular.

Cruce peatonal a nivel: Zona establecida para permitir, dirigir y organizar la continuidad del flujo peatonal sobre la calzada.

Cruce peatonal elevado o puente peatonal: Elemento que separa el cruce peatonal sobre vías, sin riesgos para la integridad física de los peatones, separándolos en el espacio estableciendo dos niveles.

Desnivel: Cualquier cambio de altura entre dos planos horizontales adyacentes.

Espacio circundante: Área peatonal que rodea los accesos del puente peatonal

Gálibo: Altura entre la superficie de rodadura de la calzada y el borde inferior de la superestructura del puente.

Galibo horizontal: Distancia del borde del sardinel de la calzada al primer elemento de apoyo al puente

Peatón: Individuo que se desplaza a pie coches para niños, sillas de ruedas o similar.

Puente mismo: Elemento principal de un puente que salva un obstáculo

Sumideros o recolectores de agua: Dispositivos de drenaje superficial para evacuación de las aguas de escorrentía

Superestructura: Todo lo que incluye a un puente como es la rampa y escaleras que reciben la carga directamente de los peatones.

Teórico

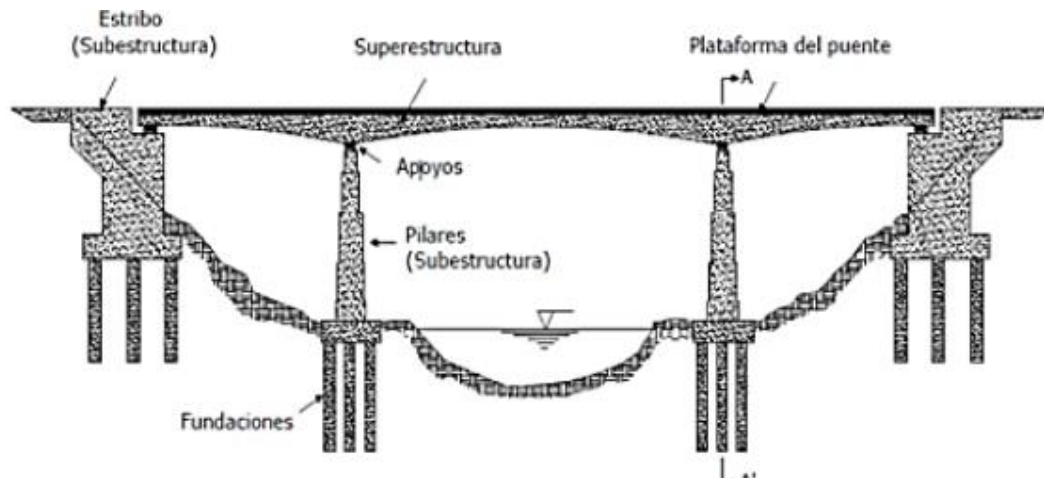
Puentes.

Un puente es un elemento de la ingeniería estructural destinada a salvar obstáculos naturales y artificiales, diseñado para soportar y transferir las cargas a sus estribos y pilas; parte de la vida útil de un puente también se debe a un buen diseño y estudio de este.

Elementos de un puente.

Los componentes principales de una estructura de un puente se comprenden en superestructura y subestructura, como se evidencia en la siguiente imagen, conceptualizados posteriormente. (Ramirez Gonzalez & TATSUMI, 2007) (Cardenas, 2016)

Ilustración 1 Elementos de un puente.



(Ramirez Gonzalez & TATSUMI, 2007)

Cimentación: Este elemento hace parte de la subestructura del puente, debido a que se encuentra ubicado bajo el nivel del terreno y transmite todas las cargas recibidas al suelo.

(Cardenas, 2016) (Hernandez Fajardo, 2022)

Pilares: Su función principal es transferir las cargas ejercidas desde la parte superior hacia los cimientos, estos elementos resisten presiones hidráulicas, cargas de viento e impactos etc.

(Minaya, 2010) (Hernandez Fajardo, 2022)

Tablero o piso: Es la plataforma sobre la cual circula la carga vehicular, tiene como principal función la transferencia de la carga viva a los elementos principales de la superestructura que pueden ser arcos, cerchas y vigas, entre otros. (Ramirez Gonzalez & TATSUMI, 2007)

Estribos: Estos elementos establecen la conexión entre la superestructura y el terraplén, son diseñados para soportar la carga del tablero la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo, el peso de la losa de transición y las presiones del suelo. (Cardenas, 2016) (Hernandez Fajardo, 2022)

Apoyos: Los apoyos son sistemas mecánicos que transmiten las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Las funciones principales de los apoyos aparte de transmitir todas las cargas de la superestructura a la subestructura son garantizar la traslación por expansión o contracción térmica o sismo y la rotación causada por la deflexión de la carga muerta y la carga viva. (Ramirez Gonzalez & TATSUMI, 2007)

Tipos de puentes: La clasificación de puentes es muy amplia ya que se encuentran puentes para peatones, vehículos de transporte por carreteras y vías férreas; de varios diseños como puentes en arco, de viga y colgantes, de diversos tamaños y tipos; y demás aspectos que permiten clasificarlos de la siguiente manera (INVIAS, s.f.):

Por el material de construcción:

- ❖ Puentes de hormigón simple
- ❖ Puentes de hormigón armado
- ❖ Puentes de hormigón pre y postensado
- ❖ Puentes de sección mixta
- ❖ Puentes metálicos

Por el servicio que presta:

- ❖ Puentes peatonales
- ❖ Puentes ferroviarios
- ❖ Puentes de carreteras o viaductos
- ❖ Puentes para canales o acueductos

Por su longitud:

- ❖ Alcantarillas (Luces menores a 10 m)
- ❖ Puentes menores (Luces entre 10 y 50 m)
- ❖ Puentes mayores (Luces de vano mayores a los 50 m)

Legal

Los artículos 7 de la ley 15 de 2001, art. 17 de la ley 105 de 1993 y ley 336 de 1996, establecen que la responsabilidad de la infraestructura del transporte dentro de las zonas urbanas del municipio les corresponde a las administraciones municipales.

La norma Colombiana de Diseño de puentes CCP 14 está basada en la especificación AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 6th Ed. 2012 y 7th Ed 2014 la cual consta de quince secciones. Esta norma es el código colombiano de diseño sísmico de puentes. Filosofía de diseño LRFD (Load Resistant Factor Design).

Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-Resistente (NSR 10)

Histórico.

Cértegui, como casi todos los pueblos del Chocó, surge inicialmente con la construcción de unas pocas casas de pajas, alrededor de un campamento minero, bajo la dirección de Matías Tres Palacios en el año 1775, quien por esas circunstancias aparece como fundador de lo que hoy es el Municipio de Cértegui. La historia de Cértegui en parte está ligada a dicho nombre y los apellidos Palacios, cuyo tronco principal comprende las familias de Andrés, Lucas, Juan de la Cruz, Juan Pablo, María Encarnación, Salvador, Francisco, Carlos, Miguel de los Santos, Jeremías, Juan José y Nepomuceno Palacios, de las cuales se han desprendido varias generaciones.

Después de 225 años de fundación, actualmente la población del municipio está constituida principalmente por afrocolombianos en diferentes grados de mestizaje, y enseguida están las comunidades indígenas. La población indígena se localiza al lado de los ríos y la población negra, sobre los ejes viales y los lados de los ríos, los cuales les sirven para establecer asentamientos e intercambiar mercancías.

Las infraestructuras del sector transporte en el municipio de Cértégui, es relativamente joven. El casco urbano cuenta con una red vial que suma aproximadamente 22 km de vías. Las conexiones en accidentes geográficos se hacen por medio de puentes en concreto y metal como lo es el caso en estudio.

La ubicación del municipio de Cértégui, tiene fácil acceso a cualquier tipo de material utilizado en la construcción debido a que este tiene conexión por vía terrestre y aérea con el interior del país, este aspecto mantiene medianamente los precios de los materias e insumos como el cemento y combustibles fósiles para el desarrollo de obras de infraestructura. con respecto a otras zonas del departamento del chocó y Colombia.

El puente San Francisco se empezó a construir aproximadamente en 1990 según cuentan los pobladores, el cual se puso a disposición de la comunidad Cértégueña en 1992, este fue construido con pilares en concreto, puente en elementos metálicos y tableros en tablonces de madera, en el 2002 se realiza una modificación de los tableros en maderas por laminas metálicas sin ningún tipo de estudio que avalara o sustentara dichas modificaciones desde ese entonces han pasado 8 mandatarios municipales (Alcaldes) y solo se le ha hecho mantenimiento en pintura.

Alcances y limitaciones

El alcance del presente estudio corresponde al desarrollo de las etapas de historia clínica, diagnóstico y propuestas de intervención en un ámbito académico, a cada uno de los elementos que conforman la estructura del puente sobre el Río Cértegui para comunicación del barrio Sanfrancisco (La punta) con el Camposanto (Cementerio).

Es importante identificar que el paciente en estudio tiene una longitud de 80m desde cada extremo y un galibo promedio de 20m, según las condiciones climáticas que se tengan.

La ausencia de información técnica es una de las más grandes limitaciones, dado que el municipio en la actualidad no cuenta con planos arquitectónico, estudios de suelos, diseño estructural, datos del proceso constructivo, condiciones de materiales o mantenimientos preventivos o correctivos.

Metodología.

El estudio patológico del Puente San Francisco contempla una revisión bibliográfica, visitas y/o inspecciones visuales, un levantamiento de lesiones en cada uno de los elementos que conforman la estructura, un análisis de los procesos patológicos y una investigación preliminar que tiene como alcance la consolidación de la fase documental, inspecciones de campo, ensayos de campo y/o laboratorio sobre los materiales en función de las patologías encontradas. Lo anterior conllevará a la fase final de la investigación, en la cual se detallará minuciosamente el comportamiento de materiales, causas y/o origen de las patologías presentadas en elementos comprometidos estructuralmente, entre otros aspectos, para diagnosticar lo más preciso posible y dar las recomendaciones preventivas, intervención y/o rehabilitación del paciente en estudio.

Preparación y planteamiento del estudio:

Inspección preliminar del paciente





Se realizaron visitas e inspecciones visuales a cada elemento desde la cimentación hasta el elemento más alto del puente San Francisco.

En dichas visitas se evidenciaron lesiones primarias y secundarias las cuales han causado afectaciones leves, moderadas, severas y graves, de igual manera las mismas se presentan por causas mecánicas, físicas y químicas.

Identificación de elementos afectados:

Tabla 1 Inspección de elementos afectados

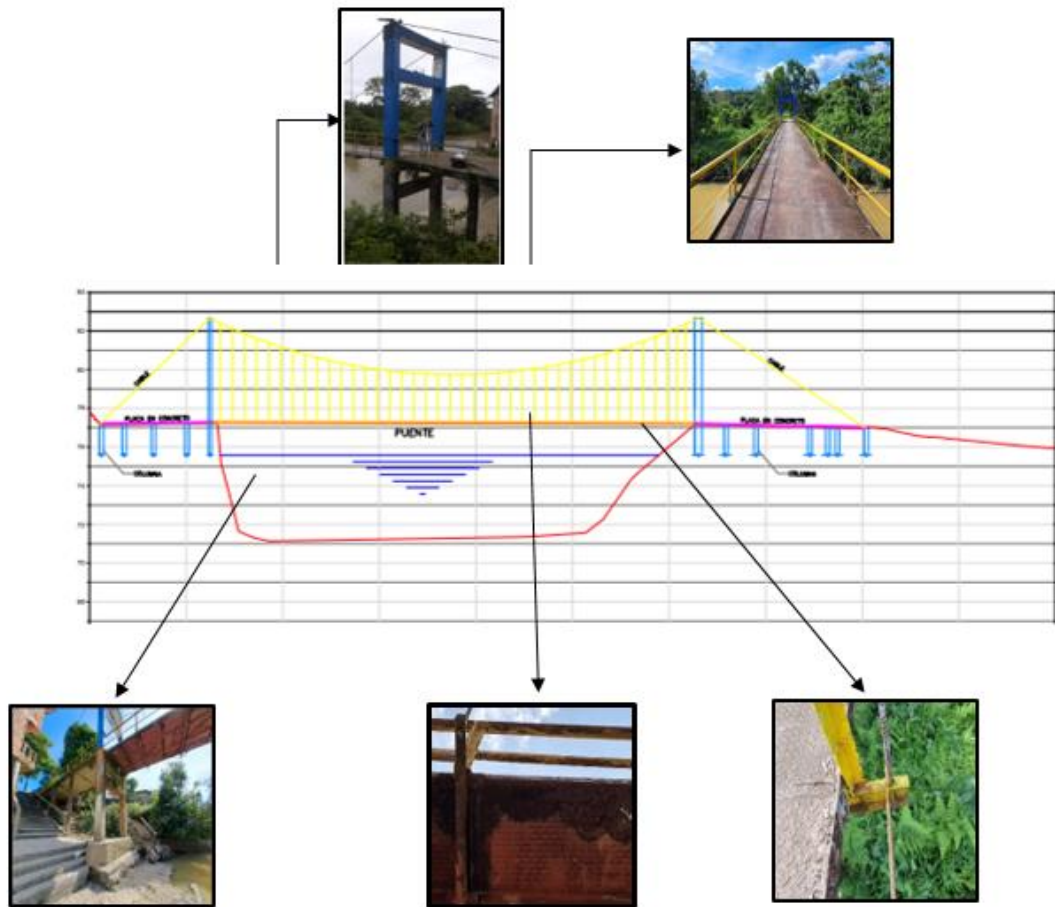
		ESTRUCTURAS METALICAS PUENTE SAN FRANCISCO			
		TABLERO	CABLES	BARANDAS	TENSORES
Fotografía					
Descripción	<p>Plataforma sobre la cual circula la carga peatonal, tiene como principal función la transferencia de la carga viva a los elementos principales de la superestructura como vigas y pilares, entre otros.</p>	<p>Los cables están anclados en cada extremo del puente a un elemento de soporte y son los encargados de transmitir una parte importante de la carga que tiene que soportar la estructura</p>	<p>Antepecho o elemento de protección, elaborado en estructura metálica instalada en los bordes laterales de las rampas y del tablero del puente</p>	<p>Los cables tensores distribuyen las cargas de una mayor área hacia los pilares.</p>	

	CIMENTACIONES	PILARES	PORTICO	VIGAS
Fotografía				
Descripción	Este elemento hace parte de la subestructura del puente, ubicado bajo el nivel del terreno, transmite todas las cargas recibidas al suelo sometido a un proceso importante de inundación.	Elementos verticales que llevan la carga del puente mismo al terreno, transmitiendo las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Las funciones principales de los apoyos aparte de transmitir todas las cargas de la superestructura a la subestructura son garantizar la traslación por expansión o contracción térmica o sismo y la rotación causada por la deflexión de la carga muerta y la carga viva.	Estos elementos establecen la conexión entre la superestructura y el terraplén, diseñado para soportar la carga del tablero la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo como vigas y columnas, el peso del tablero de transición y las presiones del suelo.	vigas de concreto reforzado que trabajan a tensión con una gran capacidad para resistir flexiones, aunque son solicitados para longitudes no tan extensas

(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

A continuación se relaciona en el plan arquitectónico realizado por los autores la ubicación de los elementos metálicos del puente San Franciaco y de sus principales lesiones.

Ilustración 2 Ubicación de elementos metálicos

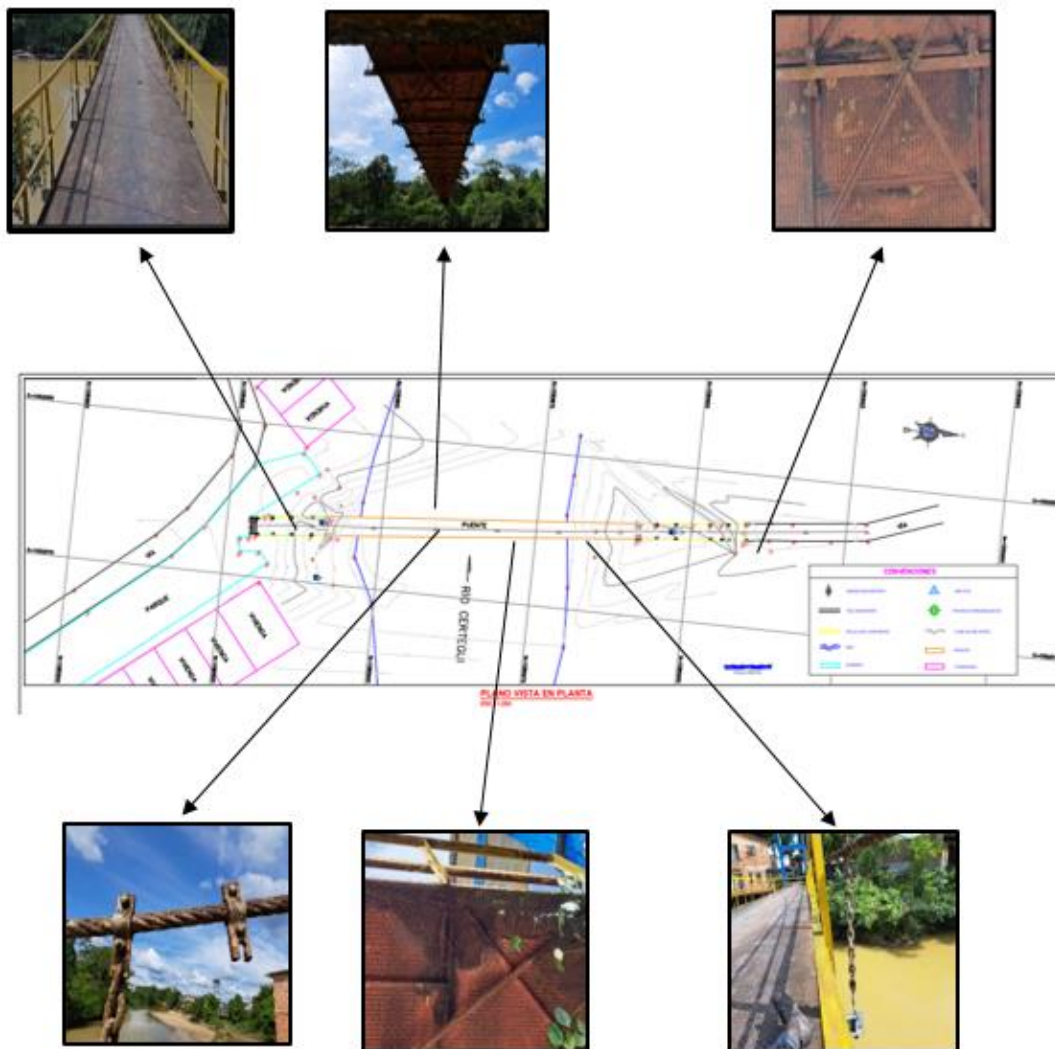


(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

Ubicación de lesiones en plano de corte

Para la elaboración del presente informe se realizó un levantamiento de topografía y un plano arquitectónico para poder realizar los planos del puente y localizar los elementos y lesiones en un plano del puente.

Ilustración 3 Ubicación de lesiones en plano de corte



(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

Recopilación de información necesaria para el estudio.

Se realizó una visita al Palacio Municipal Jesús Aníbal y una entrevista al Secretario de Planeación y Obras Públicas con el fin de recopilar información y archivos de primera mano del puente San Francisco.



En dicha secretaria no reposa información de ningún tipo, según los antecedentes del municipio en el año 1990 fecha en la que se empezó a construir el paciente en estudio, Cértegui era solo un corregimiento adscrito al municipio de Tadó. Se hizo consulta en la alcaldía de Tadó y allí tampoco reposa información del puente San Francisco.

Ante la ausencia de información se decide entonces, realizar un recorrido por el municipio en busca de testimonios sobre la construcción del puente, consulta que no fue exitosa, debido a que se encontraron testimonios muy dudosos, pues las personas del municipio que trabajaron en la construcción de dicho puente ya están fallecidas.

Permisos y autorizaciones para abordar estudio al paciente

Ilustración 4 Aceptación para estudio patológico del puente peatonal en Certegui - Choco



Municipio de Certegui
NIT: 819.001.202-2

DESPACHO ALCALDÍA



Certegui, 30 de mayo de 2023.

Señor
OSCAR JULIAN CARDOZO SARMIENTO
 Coordinador
 Especialización en Patología de la Construcción
 Universidad Santo Tomás Sede Principal
 Despacho.

ASUNTO: Respuesta Presentación Estudiantes Programa de Especialización en Patología de la Construcción.

Cordial saludo:

Desde el Gobierno Municipal "Certegui en las Mejores Manos", recibimos con beneplácito que nuestro Municipio, sea escogido para esta importante visita para que estudiantes de esta prestigiosa Universidad, puedan desarrollar su trabajo de grado para que puedan optar el título profesional, realizando estudios patológicos al Puente Colgante de estructura en concreto y metálica, el cual se encuentra ubicado en la cabecera municipal de Certegui – Chocó.

Teniendo en cuenta lo anterior, autorizamos para que, los estudiantes: Everson Mauricio Chala Fernández, Soljimena Monsalve Caballero y Javier Mosquera Mosquera, realicen este importante estudio patológico, de igual manera contarán con acompañamiento de la Administración Municipal.

Esperando haber cumplido con su solicitud, me despido de usted.

Cordialmente,



YOLCETH PALACIOS MENA
Alcalde Municipal.

Elaboró	Revisó	Aprobó	Fecha	Folios	Años
Freider Urrutia	Yolceth Palacios Mena	Yolceth Palacios Mena	30/05/2023	01	

www.certegui-choco.gov.co

Barrío la Candelaria
 Palacio Municipal - "Jesus Anibal Palacios Mosquera" - Teléfono: 317 213 23 07
 Email: contactenos@certegui-choco.gov.co

Datos generales del paciente:

El puente San Francisco ubicado en la cabecera municipal de Cértegui, es un paciente de aproximadamente 31 años de construcción, el cual comunica al barrio San Francisco (La Punta) con el Camposanto (Cementerio), en la actualidad está a servicio de la comunidad y consta de una estructura de cimientos y pórticos en concreto, armaduras metálicas para formar la estructura y tableros del piso en laminas metálicas.

De igual manera el paciente presenta patologías que ponen en riesgo la integridad de los habitantes y visitantes al municipio de Cértegui, por esta razón la elección de esta estructura para realizar el estudio patológico con fines académicos.

Datos generales del entorno:

El municipio de Cértegui se encuentra localizado en la región Pacífica Colombiana, en el departamento del Chocó, en la Subregión del San Juan. Tiene una extensión de 342 km². La cabecera municipal fue fundada en 1775. Se encuentra a los 5°41'41'' de latitud norte y los 76°39'40'' de longitud oeste, con una altitud de 43 m s. n. m., localizado en la confluencia de los ríos Quito y Cértegui, al final de un desvío en el corregimiento de la variante en la vía Quibdó – Ánimas. La división política del municipio fue establecida por medio de la ordenanza de creación 012 de 2000 en corregimientos (5) y veredas (11), pero en la actualidad el número de veredas se ha incrementado en 13 para un total de 24. El área urbana se encuentra formada por 1.379 predios, 47 manzanas y con un área de 7 km². Se encuentra estructurada en Cinco (5) barrios como son: Candelaria, San Francisco, Centro, Santander y El Oasis.

El municipio de Cértegui en la actualidad, según el DANE - 2018 tiene una población aproximada de 5635 habitantes. La vida social y cultural de los habitantes de Cértegui se

desarrolla en torno a los ríos y los ejes viales. En la cabecera municipal de Cértegui – Chocó, en el Barrio San Francisco se encuentra el cementerio municipal, camposanto que este comunicado con el barrio por medio del puente San Francisco el cual es una estructura de aproximadamente 31 años.

Definición del equipo de trabajo que realizará la exploración.

A continuación se presenta una descripción general de la experticia de los profesionales que participaran en el estudio. Se adjunta hoja de vida en Anexo 1.

Especialista en patología de la construcción, Ingeniera Civil de la Universidad Industrial de Santander UIS, con 23 años de experiencia en consultoría, construcción y asistencias técnicas de obra, perito de la Sociedad Santandereana de Ingenieros con experiencia en estudios técnicos a copropiedades, diagnósticos de problemas técnicos en estructuras, redes y acabados en edificaciones. Máster en Gerencia de Proyectos de Ingeniería, 2 años de experiencia como docente de la Universidad Industrial de Santander y docente de la Universidad Politécnica de Valencia –SENA en España. Encargada de la recopilación de información del paciente, inspección, medición, diagnóstico y propuesta de intervención.

Especialista en patología de la construcción. Ingeniero civil de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG), con 5 años de experiencia en el sector de la construcción enfocado a la coordinación de proyectos, reforzamiento estructural, construcción de obras nuevas, estabilización de taludes y mitigación del riesgo. Encargado de la propuesta de intervención programación de obra y presupuestos.

Especialista en patología de la construcción. Ingeniero civil de la Universidad Tecnológica del Choco - Diego Luis Córdoba, con 5 años de experiencia en el sector de la construcción

enfocado a la coordinación de proyectos, reforzamiento estructural, construcción de obras nuevas, estabilización de taludes y mitigación del riesgo. Encargado de la recopilación de información del paciente, inspección, medición, diagnóstico y propuesta de intervención.

Definición de los medios para realizar la exploración.

Se realizaron diferentes visitas de campo al paciente, con el fin de dar inspección visual teniendo en cuenta reconocimiento, identificación, toma de datos y obtención de un registro fotográfico detallado, se realizan las fichas de clasificación del paciente, se realizan ensayos destructivos y no destructivos. Búsqueda de información documental técnica para verificar la fidelidad de la información que se tiene en campo.

Historia Clínica.

Responsables del estudio.

Soljimena Monsalve Caballero, Ingeniera Civil de la Universidad Industrial de Santander UIS Estudiante de especialización en patología de la construcción – Encargada de la recopilación de información del paciente, inspección, medición, diagnóstico y propuesta de intervención.

Javier Mosquera, Ingeniero civil de la Universidad Tecnológica del Choco - Diego Luis Córdoba Estudiante de especialización en patología de la construcción – Encargado de la recopilación de información del paciente, inspección, medición, diagnóstico y propuesta de intervención.

Mauricio Chala Fernández Ingeniero civil de la Universidad Militar Nueva Granada (UMNG) Estudiante de especialización en patología de la construcción – Encargado de la propuesta de intervención programación de obra y presupuestos.

Fecha de realización del estudio.

El presente estudio se realizó iniciando con una visita de campo el día 4 de mayo de 2023 finalizando el 10 de diciembre de 2023

Datos generales del paciente

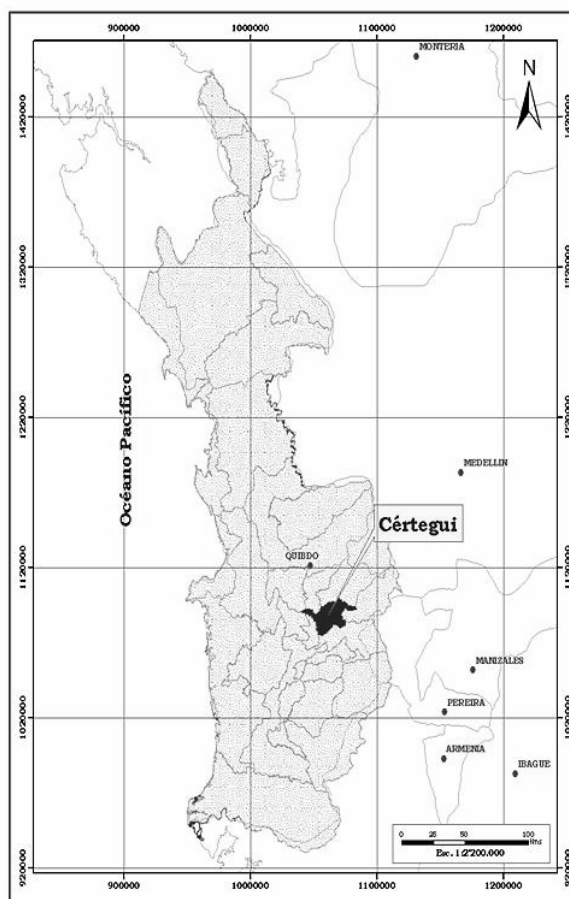
Nombre

Puente peatonal San francisco

Localización

Departamento de Chocó en el municipio de Cértegui, Barrio San Francisco.

Ilustración 5 Localización Municipio de Cértegui



(FamilySearch, 2023)

Uso

Es de tránsito peatonal.

Fecha de construcción

Fue construido en el año de 1992

Sistema constructivo

De acuerdo a las inspecciones visuales al paciente, se puede evidenciar que el sistema constructivo del puente es atirantado, lo que indica que es un puente atirantado es un tipo específico de puente en el que los cables o tirantes se utilizan para soportar el tablero del puente. Estos cables están anclados en torres altas situadas en los extremos del puente y se extienden diagonalmente hacia abajo y hacia afuera, conectándose al tablero del puente. (Hernandez Fajardo, 2022)

Técnica constructiva

No se cuenta con la información de cual fue la técnica constructiva, dado que no se llevó ningún tipo de registro de bitácora, memorias de cálculo, planos récord entre otros.

Uso actual y previsto del sector

De acuerdo con lo evidenciado el uso es peatonal.

Importancia del paciente

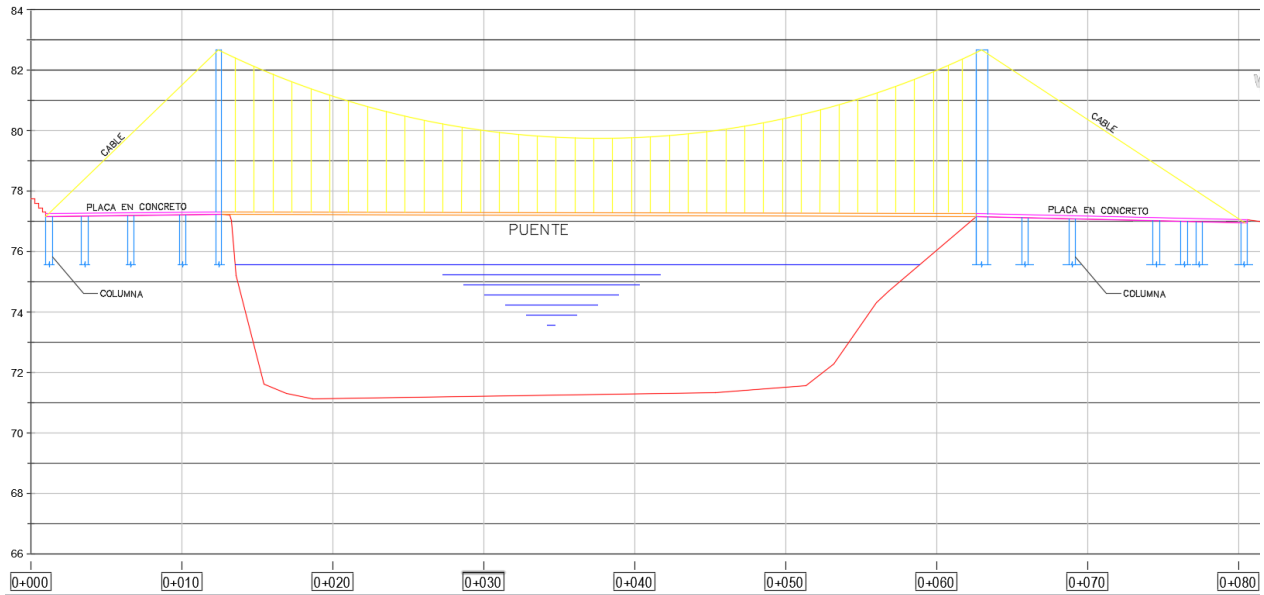
El paciente es el principal acceso que tiene el municipio al cementerio municipal.

Sistema estructural y constructivo

Puente atirantado metálico en su pasarela, pasamanos y tirantes, apoyado sobre pilates rectangulares en concreto reforzado y zapatas rectangulares en concreto reforzado.

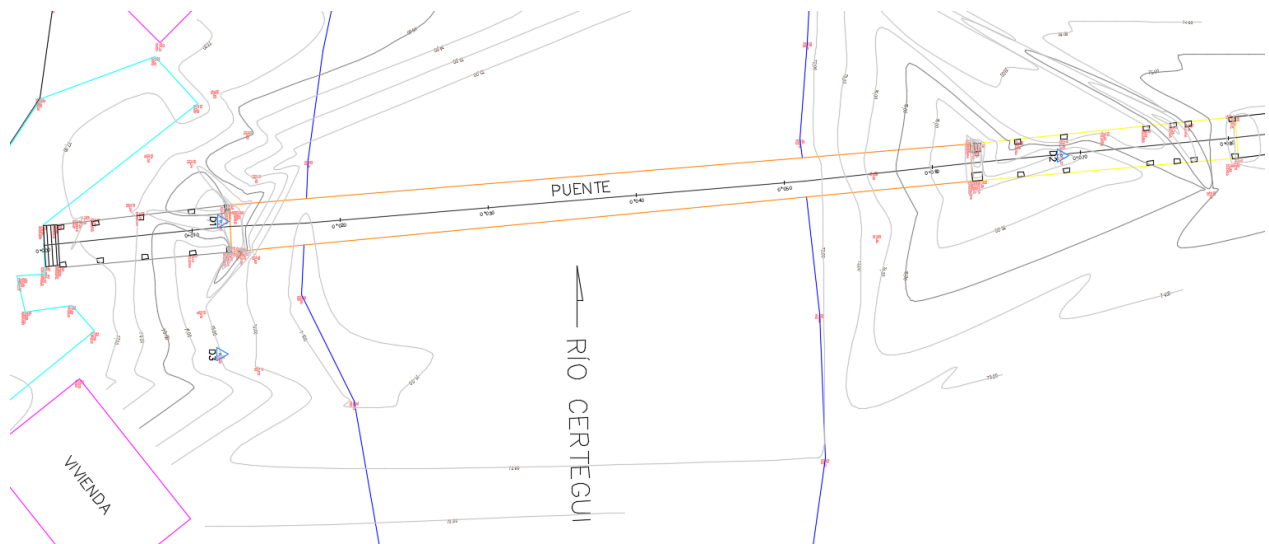
Los accesos del puente son en loza de concreto.

Ilustración 6 Vista en corte puente



(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

Ilustración 7 Vista en Corte Puente Certegui



(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

Normativa actual que lo rige

- ❖ Ley 400 de agosto 19 de 1997, por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes.
- ❖ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente – NSR- 10, Decreto 926 de 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.
- ❖ Norma Colombiana de Diseño Sísmico de Puentes – CCP-14.
- ❖ Manual de diseño geométrico de vías – INVIAS – 2008

En la edificación y/o construcción civil

Tipo de cimentación

Para este paciente la cimentación está conformada por concreto reforzado en una zapata rectangular y pilares más esbeltos.

Altura

El puente tiene una altura efectiva de 16m

Área (número de pisos):

Por ser una obra lineal no tiene número de pisos, solo cuenta con un nivel que es la pasarela peatonal, pero su área de tablero es de $= 68m * 3.20 = 217.60 m^2$

Estado general de construcción

El paciente es una obra lineal que tiene aproximadamente 32 años de construcción, según las investigaciones de campo y entrevista realizadas a los pobladores y entidades gubernamentales, se logra evidenciar un gran deterioro en la estructura metálica y en los pilares y teniendo en cuenta que no se le han realizado ningún tipo de intervención más allá del cambio de pintura.

Fidelidad de los planos

Como se mencionó anteriormente, no se pudo tener registro de planos arquitectónicos, estructurales o quizás un tipo de levantamiento topográfico, por tal razón la información de planimetría ha sido levantada por cada uno de los autores presentes en este estudio patológico.

Constatación del estado del paciente

Para evidenciar cual es el estado actual del paciente, se hicieron visitas de campo con el fin de identificar visualmente su condición, identificando componentes de su estructura, toma de datos geométricos y fotográficos.

En dicha inspección se logró evidenciar la oxidación y corrosión presente en la estructura metálica, así mismo la pérdida de material en la pasarela, pasamanos y tirantes, en su cimentación se logró evidenciar que se tienen hierros expuestos, pérdida de recubrimiento del concreto y socavaciones en la cimentación. Como se podrán evidenciar en las fichas diagnóstico.

Aplicación patológica

De acuerdo al tiempo de construcción de paciente la aplicación patológica se considera de tipo geriátrica.

Descripción de las afectaciones presentes en el puente

El puente del municipio de Certegui presente varias lesiones primarias identificadas especialmente en los siguientes componentes principales: el tablero, los cables o tirantes, y las pilas. En las barandas de pasamanos se evidencia una lesión química que ha generado la rotura de barandas. En el tablero del puente se evidencia un grado de corrosión avanzado generado por una lesión química. En los cables del puente se evidencia una lesión química que ha generado

corrosión bajo tensión y en los pilares del puente se evidencia un proceso de degradación y socavación del concreto.

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 2 Clasificación de lesiones

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

(Muñoz & Valbuena, 2004)

Ver anexo de fichas de historia clínica del paciente en elementos en concreto y estructura metálica.

Causas directas de los procesos patológicos

Tabla 3 Patología en tablero pasarela puente.

DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN	POSIBLES CAUSAS
<p>ELEMENTO: TABLERO DEL PUENTE Lesión Química: CORROSIÓN Lesiones Secundarias. Rotura del tablero del puente Coloración descamación delaminación Exfoliaciones que han generado disminución de la sección transversal Disminución de resistencia Rotura de revestimientos Rotura de material Mecanismo de protección; ninguno, el estado de daño es tan avanzado que se requiere el reemplazo del tablero</p> <p>Lesión Química: CORROSIÓN UNIFORME Lesión Secundaria: Se evidencia una corrosión uniforme en la parte inferior del tablero del puente. Lesión uniforme en toda la estructura inferior del tablero que ha llevado a una pérdida del espesor del tablero. Causas Directa: Generada por la acción del medio ambiente y exposición atmosférica</p>	<p>ELEMENTO: TABLERO DEL PUENTE Lesión Química: CORROSIÓN Causa directa: corrosión del tablero Causa indirecta: Falta de mantenimiento Lesión Química: CORROSIÓN ATMOSFÉRICA Causas Directa: Generada por la acción del medio ambiente humedad y temperatura debido a que Certegui es un Municipio del Choco con una temperatura promedio de 28° y una precipitación anual de 7000mm Causa indirecta: Falta de mantenimiento Clasificación de la Lesión: Severa</p> <p>Lesión Química: CORROSIÓN UNIFORME Causas Directa: Generada por la acción del medio ambiente y exposición atmosférica Causa indirecta: Falta de mantenimiento ausencia de revestimientos. Clasificación de la Lesión: Severa</p>
PREVENCIÓN Y RECOMENDACIONES	
<p>ELEMENTO: TABLERO DEL PUENTE: Mecanismo de protección: ninguno, el estado de daño es tan avanzado que se requiere el reemplazo del tablero</p>	

Tabla 4 Patología directa cables

DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN	POSIBLES CAUSAS
<p>ELEMENTO: CABLES DEL PUENTE Lesión Química: Corrosión bajo tensión Lesión Secundaria: La corrosión del cable ha generado la rotura de hilos Causas Directa: Generada por la acción del medio</p>	<p>ELEMENTO: CABLES DEL PUENTE Causas Directa: Generada por la acción del medio ambiente Causa indirecta: Falta de mantenimiento Clasificación de la Lesión: Severa</p>

ambiente Causa indirecta: Falta de mantenimiento Clasificación de la Lesión: Severa Mecanismo de protección; ninguno, el estado de daño es tan avanzado que se requiere el reemplazo de todos los cables	
PREVENCIÓN Y RECOMENDACIONES	
ELEMENTO: TABLERO DEL PUENTE: Mecanismo de protección: ninguno, el estado de daño es tan avanzado que se requiere el reemplazo del tablero	

Tabla 5 Patología directa pasamanos

DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN	POSIBLES CAUSAS
<p>ELEMENTO: BARANDAS DE PASAMANOS</p> <p>1. Lesión Química: Rotura de barandas</p> <p>Lesión Secundaria: La corrosión del hierro de la baranda ha generado la rotura del elemento con desprendimiento de piezas enteras y pérdida de adherencia.</p> <p>Lesiones Secundarias en Soldadura: se evidencia cráteres, desprendimiento del cordón de soldadura, pérdida de adherencia</p> <p>Mecanismo de protección; ninguno, el estado de daño es tan avanzado que se requiere el reemplazo de la pieza</p>	<p>ELEMENTO: BARANDAS DE PASAMANOS Causa directa: corrosión Causa indirecta: Falta de mantenimiento</p> <p>Clasificación de la Lesión: Severa</p>
PREVENCIÓN Y RECOMENDACIONES	
ELEMENTO: BARANDAS DE PASAMANOS Mecanismo de protección: ninguno, el estado de daño es tan avanzado que se requiere el reemplazo de las barandas	

Clasificación del fallo:

El fallo del tablero y del perfil se puede definir como un fallo estructural, pues se evidencian fallos en la estructura, grietas, deformaciones, y corrosión sin embargo se deben realizar los ensayos de laboratorio planteados anteriormente para poder determinar el tipo de acero y las cantidades de

También se evidencia un fallo por falta de mantenimiento pues es puente está a cargo del municipio de Certegui y el mantenimiento desde su construcción hace 31 años es prácticamente nulo.

Ilustración 8 Deterioro en pasarela.



(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

Datos generales del entorno:

Edificaciones u obras vecinas

El paciente está ubicado sobre el río Certeguí, lo cual hace ver que no tiene obras vecinas o colindantes y así mismo no tiene presencia de edificaciones cercanas a la zona de intervención.

Medio ambiente

Como es de conocimiento la región del pacífico y en especial el departamento de Chocó es donde se presentan las mayores precipitaciones en Colombia, teniendo lluvias superiores a los 7.000 mm, la presentación de las precipitaciones se hace de forma monomodal lo cual da a

entender que las lluvias se presentan a lo largo del año casi de una manera constante, combinado con la temperatura presentada en dicha zona del departamento que alcanza los 28°C hace que las condiciones meteorológicas y climáticas sea de un ambiente tropical húmedo.

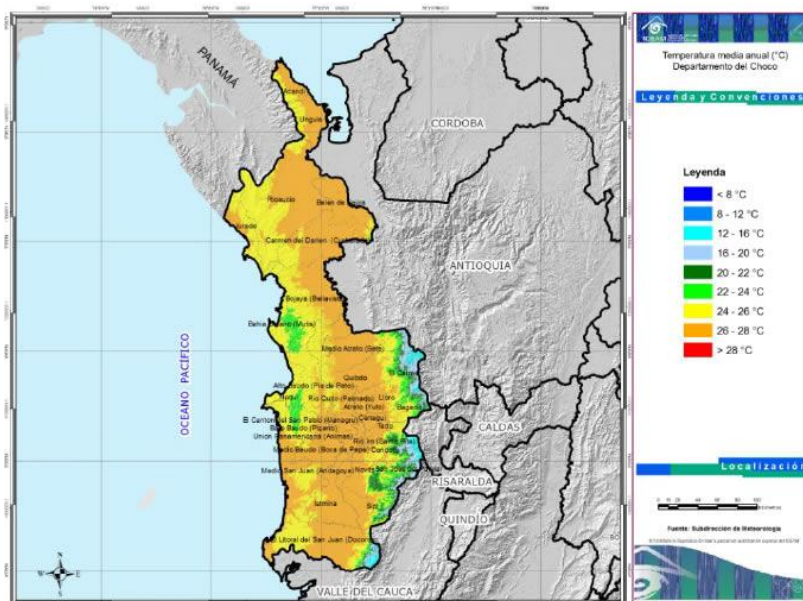
Temperatura

El Departamento de Chocó, en Colombia, generalmente tiene temperaturas cálidas y consistentes a lo largo del año debido a su ubicación cerca del ecuador y su clima tropical húmedo. Las temperaturas tienden a mantenerse bastante estables, con promedios que varían entre los 24°C y 27°C a lo largo del año.

A pesar de esta relativa estabilidad, las temperaturas pueden variar ligeramente dependiendo de la altitud y la ubicación específica dentro del departamento. Las áreas más cercanas a la costa pueden experimentar temperaturas un poco más altas debido a la influencia de la cercanía al mar, mientras que las regiones montañosas pueden ser un poco más frescas.

En general, el Chocó se caracteriza por su clima cálido y húmedo durante todo el año, con temperaturas que varían poco entre las estaciones. La temperatura está más influenciada por la precipitación y la humedad que por cambios estacionales significativos. (IDEAM, 2023)

Ilustración 9 Temperatura Media Anual (°C) Departamento de Chocó



(IDEAM, 2023)

Precipitaciones

El Departamento de Chocó, en Colombia, es conocido por tener una de las mayores precipitaciones del mundo. La región experimenta un clima tropical húmedo con altos niveles de precipitación durante gran parte del año. Las lluvias son constantes y abundantes, lo que contribuye a la exuberante vegetación y biodiversidad de la zona, pero también puede generar desafíos relacionados con inundaciones, deslizamientos de tierra y dificultades de acceso.

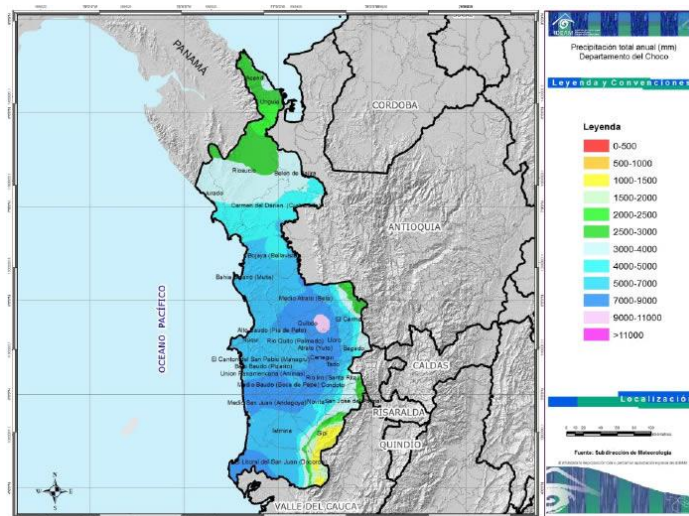
En promedio, las precipitaciones en el Chocó superan los 10,000 mm al año en algunas áreas, lo que lo convierte en uno de los lugares más lluviosos del planeta. Estas lluvias generalmente se distribuyen a lo largo de todo el año, aunque los meses entre abril y noviembre suelen ser los más húmedos.

La alta precipitación ha moldeado el paisaje y la vida de las comunidades en esta región, afectando actividades como la agricultura, la pesca y el transporte. Además, la topografía

montañosa del Chocó, junto con las lluvias intensas, puede aumentar el riesgo de deslizamientos de tierra y problemas de infraestructura.

El clima húmedo y las elevadas precipitaciones hacen del Chocó una región única en términos de su biodiversidad y ecosistemas, pero también presenta desafíos significativos para sus habitantes en términos de desarrollo y gestión de riesgos asociados con el clima. (IDEAM, 2023)

Ilustración 10 Precipitación total Anual (mm) Departamento de Chocó.



(IDEAM, 2023)

Resultados

Clasificación de la estructura.

Para el análisis y evaluación de la estructura del puente fue necesario la implementación de formatos en el cual se consignaban lo observado en la inspección visual, así mismo las recomendaciones que da el manual de inspección de puentes de INVIAS, con esto se pudo identificar y determinar cual es el tipo de lesión encontrada en cada uno de los elementos que componen el puente, definir su tipo de causa y la severidad o relevancia de la lesión.

En las fichas anexas (anexo 1) se puede evidenciar con claridad la clasificación de las lesiones del puente en cada una de sus estructuras.

Clasificación y origen de las patologías

En los elementos de estructura metálica que puede evidenciar que: Las principales lesiones corresponden a lesiones en el tablero, los cables o tirantes, y las pilas. En las barandas de pasamanos se evidencia una lesión química que ha generado la rotura de barandas cuya causa directa es la corrosión y la causa indirecta es la Falta de mantenimiento. Se evidencia rotura del tablero del puente cuya causa directa es la corrosión y la causa indirecta es la Falta de mantenimiento.

Ilustración 11 Resultados calificación estructura metálica puente san francisco Certeguí

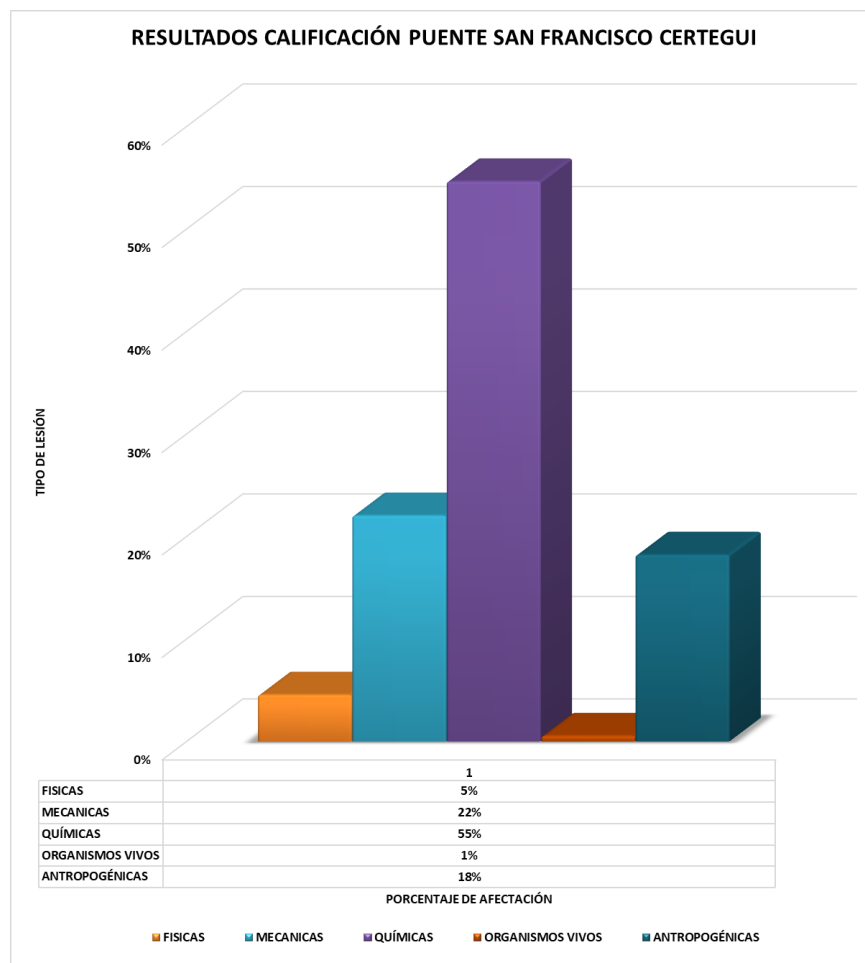


Tabla 6 Lesiones en estructuras metálicas

ELEMENTO / LESIÓN	a) FÍSICAS	B) MECÁNICAS	C) QUÍMICAS	D) ORG. VIVOS	E) ANTROPOGÉNICAS	TOTAL / ELEMENTOS	% COMPROMISO
TABLERO	25	111	300	4	100	540	33%
SOLDADURAS	25	130	300	0	100	555	34%
BARANDAS	25	122	300	5	100	552	34%
Ø	0	0	0	0	0	0	0%
Ø	0	0	0	0	0	0	0%
TOTAL / LESIONES	75	363	900	9	300	1647	100%
% LESION	5%	22%	55%	1%	18%	100%	

En lo referente a las estructuras en concreto podemos inferir lo siguiente: Las principales lesiones corresponden a lesiones antropogénicas como diseño inadecuado, malos procesos

constructivos, intervenciones inadecuadas y falta de mantenimiento que han generado lesiones físicas secundarias como erosiones en las cimentaciones, también se evidencian lesiones mecánicas como grietas y desprendimientos, respecto a lesiones físicas están asociadas a los diferentes procesos de humedad por filtración que han ocasionado otro tipo de lesiones como químicas (eflorescencias). La presencia de humedad, junto con problemas constructivos sobre todo en las vigas, han generado que en dichas zonas el acero de refuerzo presente problemas de oxidación y posible corrosión. La carencia de mantenimiento en toda la estructura es evidente.

Ilustración 12 Resultados de calificación estructura en concreto puente

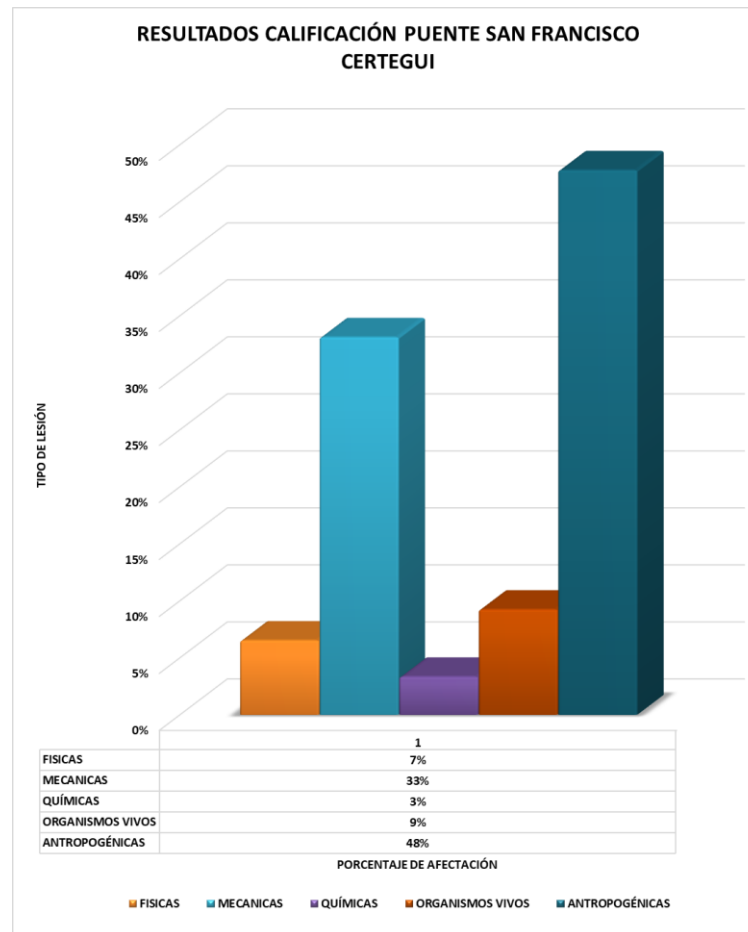


Tabla 7 Lesiones en estructuras en concreto

ELEMENTO / LESIÓN	a) FÍSICAS	B) MECÁNICAS	C) QUÍMICAS	D) ORG. VIVOS	E) ANTOPOGÉNICAS	TOTAL/ELEMENTOS	% COMPROMISO
MURDS	10	66	7	38	100	221	35%
PLACAS	10	81	6	18	100	215	34%
ESTRUCTURA	21	61	8	2	100	192	31%
0	0	0	0	0	0	0	0%
0	0	0	0	0	0	0	0%
TOTAL / LESIONES	41	208	21	58	300	628	100%
% LESION	7%	33%	3%	9%	48%	100%	

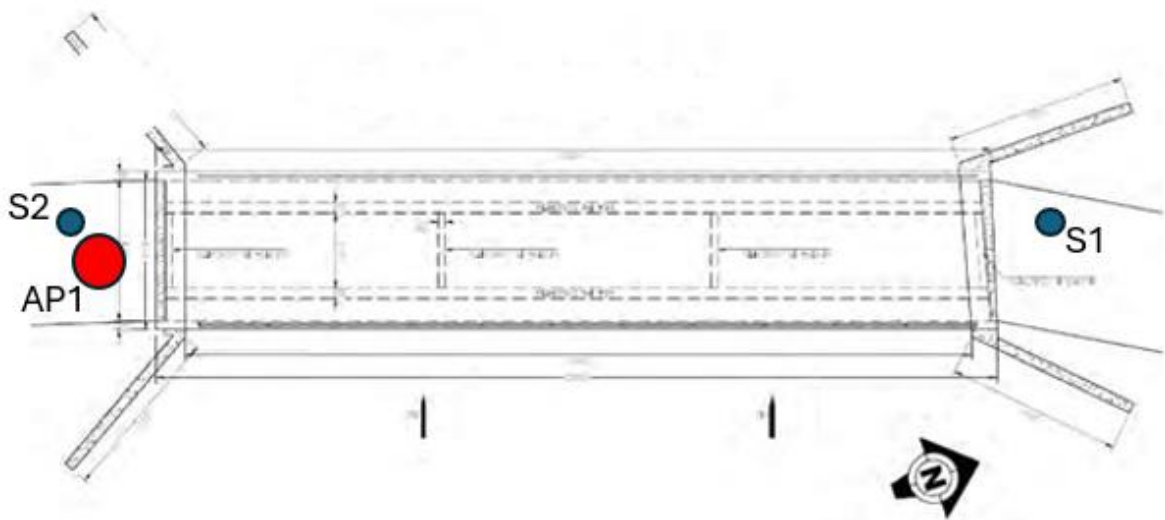
Suelos y cimentaciones

Tipo de cimentación

Se realizó un apique para localizar la cimentación de la estructura sobre el margen central del estribo sur del puente, encontrándose la cimentación del estribo a 2,40 m del con respecto a la rasante del suelo existente. Cabe resaltar que este se realizó en el punto más bajo del suelo circundante con la zona de cimentación.

Además se realizaron 2 sondeos por medio de penetración con el equipo SPT para verificar la capacidad portante de los extractos por encima y por debajo de la profundidad de desplante de la cimentación actual estos extractos se clasificaron como arenas y gravas limosas.

Ilustración 13 Localización del Apique y los Sondeos para determinar el tipo y dimensiones de la cimentación del puente.



(Monsalve Caballero, Mosquera Mosquera, & Chala Fernández)

Ilustración 14 Excavación para identificar cimentación



Ilustración 15 Verificación de las dimensiones de la cimentación.



Ilustración 16 Sondeo con equipo SPT



Ilustración 17 Muestra recuperada por medio de cuchara partida en SPT



Ensayos destructivos y no destructivos.

Ensayo de Detección de Aceros

El ensayo de detección de aceros es un tipo de ensayo no destructivo que permite conocer la ubicación y verificación de la existencia de acero; logrando detectar diámetro y la profundidad en la que se encuentra. Sus resultados aportan información sobre los materiales y estructuras existentes.

Ilustración 18 Detector de barras de acero



Ilustración 19 Determinación longitudinal



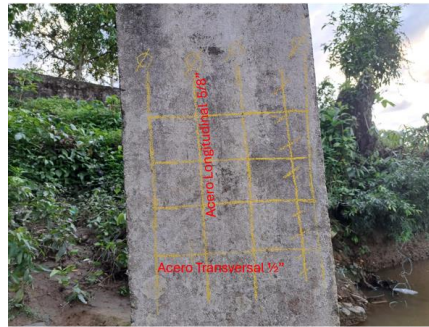
Ilustración 20 Identificación y marcación de Acero



Ilustración 21 Determinación Transversal



Ilustración 22 Acero Longitudinal y Transversal



Ensayo de resistencia del concreto por medio de esclerometría.

El concreto juega un rol super importante en esta estructura, ya que este conforma la cimentación, estribo, losa y pórticos (Vigas y Columnas). Además, se considera como el principal material constitutivo de la estructura del puente y debido a su antigüedad y proceso constructivo del paciente, se hizo necesario revisar la resistencia del concreto en cada uno de los elementos por medio de ensayo de esclerometría

La esclerometría es un ensayo no destructivo el cual se rige por las normas ASTM C805 y la NTC 3692. De acuerdo con el procedimiento establecido en dicha normatividad se realizó este ensayo a cada uno de los elementos que conforman la estructura (Vigas, Columnas, placa y Estribo

Para las pruebas, se utilizó el Martillo mecánico marca CONTROLS modelo 58-C0181/C, cuyo serial es 20000934. con calibración vigente para el mes de octubre del 2023 fecha en la que se realizaron los ensayos.

Ilustración 23 Martillo mecánico marca CONTROLS modelo 58- C0181/C



Ilustración 24 Curvas de conversión, martillo de prueba de hormigón Modelo N

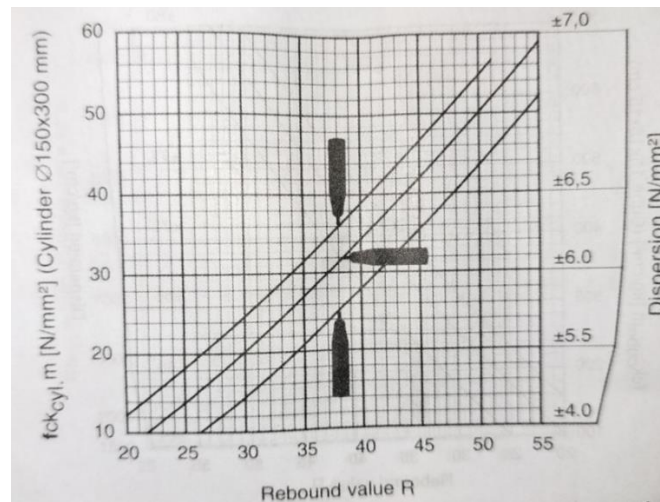


Ilustración 25 Elaboración de cuadrícula de 4 x 5



Ilustración 26 Cuadrícula para realizar ensayo



Ilustración 27 Toma de lectura del número de rebotes



Ilustración 28 Ensayo de Esclerometría columna pórtico principal



Tabla 8 Resultados de ensayos de campo de esclerometría con martillo de rebote.

Resultados Esclerometría						
Cantidad de Muestra	Viga Principal 1P	Columna Principal 2P	Viga Principal 1C	Columna Principal 1C	Losa 1P	Losa 1C
1	36	36	39	38	32	28
2	37	35	40	38	34	28
3	34	38	39	38	32	29
4	35	37	40	34	32	31
5	39	35	39	34	35	32
6	37	36	38	36	32	32
7	36	38	34	37	32	29
8	38	38	38	35	35	29
9	34	34	38	35	33	28
10	34	38	39	39	34	28
11	35	38	39	40	32	31
12	36	39	38	37	31	28
13	37	38	36	36	29	28
14	35	40	37	37	32	28
15	36	38	35	38	33	32
16	35	39	34	36	34	32
17	35	35	36	36	33	32
18	38	35	34	38	30	31
19	37	36	36	37	30	28
20	35	38	38	35	33	27
Desv. Estandar	1,4	1,6	1,9	1,6	1,6	1,8
V. Medio	36	37	37	37	32	30
Coef. Variación (%)	3,9	4,4	5,2	4,3	4,8	6,0
Resistencia (Mpa)	28,5	30,0	30,0	30,0	23,0	20,0
Resistencia (PSI)	4071,4	4285,7	4285,7	4285,7	3285,7	2857,1

Ilustración 29 Resultados resistencia superficial del concreto con martillo de rebote.



Los resultados del ensayo permiten evidenciar que los estribos- vigas y columnas tienen una resistencia por encima de los 28 Mpa - 280 kg/cm² - 4000 psi; mientras las losas tienen una resistencia promedio de 21 Mpa – 210 kg/cm² – 3000 psi, Siendo el resultado característico para la resistencia de diseño de concreto que se especifica en las cartillas técnicas para puentes disponibles para el año de construcción del puente (año 1992) en donde establecían resistencias de 14 Mpa - 140 kg/cm² - 2000 psi, para concreto simple y 21 Mpa - 210 kg/cm² - 3000 psi. para concreto reforzado.

Actualmente estos valores de resistencia se encuentran bajo las consideraciones que establece la norma sismo resistentes para puentes CCP-14 en la tabla C.5.4.2.1-1, la cual enuncia que se deben utilizar concretos clase A, cuya resistencia nominal a los 28 días, corresponder a: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (4000 psi). Cabe resaltar que estos resultados deberán ser verificados debido a que los elementos evaluados presentaban frente de carbonatación y esto podría aumentar la resistencia superficial del concreto.

Ensayo de extracción y ensayo de núcleos.

Es de gran importancia determinar las propiedades mecánicas del concreto, ya que no se encontró información alguna de planos estructurales, donde se especifiquen las características de los materiales empleados, es necesario la comprobación de la resistencia, para de esta forma tener certeza de las propiedades que serán empleadas en la modelación estructural y poder establecer la calidad de los materiales que se usaron durante la construcción.

Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales que componen la estructura, se realizó la extracción y ensayo a compresión de tres (9) núcleos, cumpliendo con la norma NTC 3658-673.

Tabla 9 Resistencia a la Compresión - Núcleos

Resistencia a la Compresión - Núcleos						
Elemento	Resistencia (PSI)	Resistencia (Kg/Cm2)	Resistencia (Mpa)	Resistencia Promedio (PSI)	Resistencia Promedio (Kg/Cm2)	Resistencia Promedio (Mpa)
Columna	3144,7	220,1	22,0	3861,3	270,3	27,0
	4074,0	285,2	28,5			
	4365,2	305,6	30,6			
Viga	4369,3	305,9	30,6	4159,5	291,2	29,1
	4618,8	323,3	32,3			
	3490,6	244,3	24,4			
Cimentación	4042,8	283,0	28,3	3706,3	259,4	25,9
	3459,3	242,2	24,2			
	3616,9	253,2	25,3			

Ilustración 30 Extracción de Núcleo – Muestra recuperada

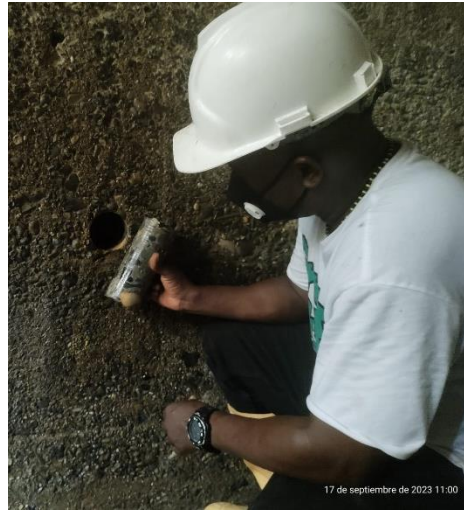


Ilustración 31 Preparación de muestras en laboratorio



Ilustración 32 Verificación de la geometría de la muestra



Ilustración 33 Rotura de muestras – ensayo a compresión



Las resistencias obtenidas por medio del ensayo de rotura de muestras de concretos (Núcleos) Oscilan entre 25.9 y 27 Mpa lo cual genera una estabilidad aun en la estructura de concreto. Sin embargo se recomienda realizar otros ensayos como ultrasonido con el fin de verificar los datos obtenidos.

Ensayo de carbonatación del concreto con fenolftaleína.

Este ensayo se efectuó mediante la prueba de aspersion (o rociado) con fenolftaleína, que es extremadamente simple para hallar la posición del frente de carbonatación sobre una superficie de concreto.

Para el desarrollo del ensayo de carbonatación se adquirió el insumo Fenolftaleína al 1% en el comercio de la ciudad de Medellín,

Este ensayo se realizó in situ, por lo cual fue necesario realizar unas regatas, las cuales facilitaron determinar con mucha más exactitud el frente de carbonatación

Ilustración 34 Columna con 4 Cm de frente de Carbonatación



Ilustración 35 Losa con 6 Cm de frente de Carbonatación



Ilustración 36 Cimentación con 9 Cm de frente de Carbonatación



Ilustración 37 Aplicación de Fenolftaleína



El mayor frente de carbonatación se presentó en la cimentación arrojando un resultado de 9 Cm, cabe resaltar que ha esta profundidad no se pudo detectar acero de refuerzo, de igual manera en esta zona se encontró nivel freático a 1.95 m de profundidad el cual es fluctuable con las crecientes del río Cértégui ya que este baña esta zona.

Regatas

Se realizaron pequeñas regatas con el fin de identificar tipo y diámetro de las barras de acero

Ilustración 38 Identificación de acero 5/8" Long. Y 3/8" Trans.



Ilustración 39 Identificación de acero 5/8" Long. Y 3/8" Trans.



En estas regatas se identificaron Aceros de 5/8", 1/2" y 3/8" los cuales no presentan signos de corrosión u otras patologías

Topografía.

Como se mencionó anteriormente no se encontraba la información planimétrica del paciente, por tal razón fue necesario realizar un levantamiento topográfico del puente con el fin de conocer las dimensiones del puente.

Estudio de vulnerabilidad sísmica

Fallas geológicas

Aspectos geológicos.

La ubicación geográfica de la Cuenca Chocó se define al occidente por la línea divisoria de aguas de la Serranía de Baudó, por el oriente por el flanco occidental de la Cordillera Occidental, al norte por el límite político con la República de Panamá y al sur por la línea de costa con el Océano Pacífico. Geográficamente, la Cuenca del Chocó se divide en la Sub- Cuenca del Río Atrato al norte y la Sub-Cuenca del Río San Juan al sur, separadas por el Alto Ístmina – Condotó.

La extensión superficial aproximada de cada una de ellas es de 25.000 km² para la primera y 10.500 km² para la segunda.

Estratigrafía

La llamada Cuenca Chocó (ANH, 2009), o Cuenca San Juan-Atrato se caracteriza por ser un depósito Cenozoico asociado con ambientes que varían desde marinos a continentales sobre un basamento ígneo-sedimentario de edad Cretácica. Los rasgos estratigráficos reconocidas en el estudio de Bedoya et.al (2009), sugieren que se trata de dos cuencas sedimentarias distintas (1) Cuenca Atrato y (2) Cuenca San Juan.

Cuenca Atrato. La secuencia sedimentaria está compuesta por seis unidades litoestratigráficas Clavo, Salaquí, Uva, Napipí, Sierra y Quibdó. Con base en su contenido faunístico, éstas se extienden desde al menos el Eoceno Inferior hasta el Plioceno. Los ambientes de sedimentación son predominantemente marinos. Durante su desarrollo geológico más reciente se registra una marcada influencia de ambientes transicionales o continentales.

En superficie, las formaciones Uva, Napipí, Sierra y Quibdó se encuentran ampliamente distribuidas sobre gran parte de la margen izquierda de la cuenca, y en menor proporción sobre su margen derecha, a la altura del valle superior del Río Atrato. Por el contrario, la Formación Clavo aflora sólo en un sector de la margen izquierda de la Cuenca; la formación Salaquí aflora en áreas relativamente pequeñas.

En general, la correlación estratigráfica de estas unidades muestra un buen grado de continuidad. Igualmente, son evidentes las variaciones en los espesores de cada una de ellas indicando así, procesos sedimentarios controlados por actividad tectónica diferencial. En términos generales, las unidades tienden a hacerse más espesas hacia el sur. Este hecho se hace

notorio particularmente para la Formación Uva, cuyo espesor se incrementa fuertemente (~1200 m hasta ~2300 m) en dicha dirección.

Geofísica.

Cuenca Atrato. Cuenca alargada con una tendencia N10W y asimétrica con profundidades máximas de 10 km. El flanco Occidental (W) posee pendientes menores que las existentes en su flanco Oriental (E). Esta Cuenca, se profundiza y se hace más amplia hacia el Sureste.

La señal magnética muestra un patrón homogéneo hacia el centro y con gradientes hacia los bordes, debido a la existencia de fallas y por el contacto con cuerpos de susceptibilidad magnética mayor.

En el mapa de anomalías de Bouguer la cobertura sedimentaria está representada por un solo depocetro, sin embargo, el mapa de basamento gravimétrico pone en evidencia la separación de la cuenca del Atrato con la cuenca del San Juan por un alto de basamento y cada una con sus depocentros respectivos.

Arco de Baudó. El Arco de Baudó está muy bien delimitado... Tiene una geometría alargada, de tendencia norte-sur, cierra al occidente la Cuenca del Atrato. En el mapa de AGBT este cuerpo reporta los valores más altos de toda la zona, incluso más altos que los encontrados en la margen occidental de la Cordillera Occidental, la cual tiene un relieve mucho mayor. En el mapa de IMT muestra un Arco de Baudó fracturado en diferentes direcciones.

Flanco Occidental de la Cordillera Occidental. Constituye el límite estructural, oriental, de la Cuenca San Juan y de la Cuenca Atrato; las señales gravimétricas y magnetométricas son muy claras y se diferencian bien en los tres mapas generados. En este flanco, se destacan algunos cuerpos tales como el batolito de Mandé (Álvarez, 1983) en el norte de la zona...”.

Geología local.

Se realizará aquí una breve descripción del escenario geológico en el que se construirá el proyecto.

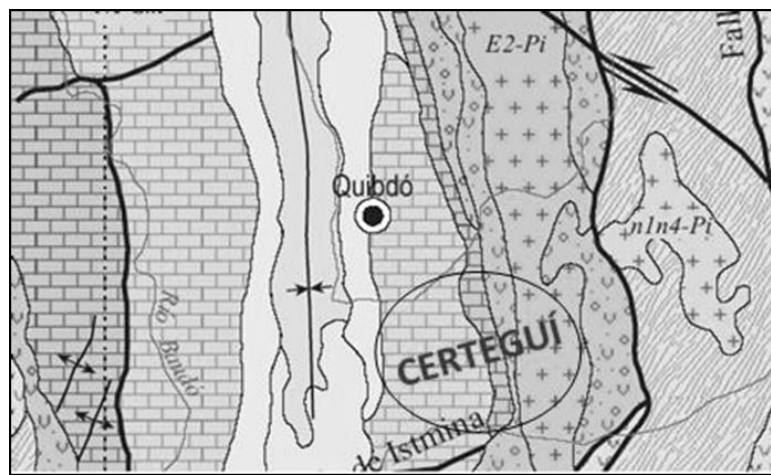
De acuerdo con los estudios geológicos realizados por el Instituto de Investigaciones Geológico Mineras, INGEOMINAS, los cuales están plasmados en el Mapa Geológico Generalizado del Departamento del Chocó (SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, 2023) En la zona en que se encuentra localizado el municipio de Certeguí afloran las siguientes formaciones geológicas.

- ❖ Formación Quibdó (N2qb): Parte del área del municipio de Certeguí se encuentra sobre la formación Quibdó de la época Plioceno, la cual está conformada por conglomerados poco consolidados de guijos y guijarros, los cuales presentan hacia la parte superior intercalaciones de arenisca de grano medio y lodolitas con niveles de turba. depósitos de terraza.
- ❖ Formación Munguidó (Tpm): Consiste principalmente de lodolitas calcáreas de color gris oliva, con algunos niveles piroclásticos de tobas e intercalaciones de niveles delgados de areniscas con glaucomita. Esta formación es de edad terciario superior (Plioceno) y tiene un espesor de 1420.7 m (Duque Caro, 1990). Sobre esta secuencia sedimentaria se depositaron sedimentos provenientes de los procesos de sedimentación generados por la dinámica del río Quito principalmente, sobre estos sedimentos está asentada gran parte del municipio de Certeguí.
- ❖ Formación Sierra (N1sr): La formación Quibdó (N2qb), descansa sobre la Formación Sierra del Periodo Neógeno – Época Mioceno, la cual está conformada en la parte superior por areniscas de grano fino con concreciones calcáreas, lodolitas y areniscas grises, localmente niveles de conglomerados y restos de moluscos. Esta formación está delimitada por la falla de Santabárbara y aflora desde la parte sur de la Río Bebaramá hasta la parte superior de la vía Ánimas – Tadó – Santa Cecilia.
- ❖ Cuaternario (Qal): El Cuaternario en el área del municipio de Certeguí está representado por los depósitos de origen aluvial que se encuentran en el valle del río Quito, el cual nace en la vertiente occidental de la Cordillera Occidental. Corresponden a terrazas aluviales compactadas y/o llanuras de inundación. Su composición es variable y depende de la litología que lava este río. En general son gravas, limo – arenosas, con cantos de rocas ígneas intrusivas y volcánicas, capas de arenas y sedimentos finos en general con presencia de materia orgánica.

La zona en que está ubicado el lote donde se desarrollara el proyecto está formada por sedimentos aluviales depositados por el río Quito, el río Certeguí con aportes menores y más superficiales de las quebradas que constituían la red de drenaje antigua del área en que se encuentra el tramo de vía. Estos sedimentos se depositaron sobre la formación Munguidó.

Localmente se observan en la zona de trabajo rocas de origen sedimentario constituidas por suelos altamente orgánicos, arcillas de color amarillo oscuro, blancas, café, rojas, grises, arena y gravas que descansan sobre una grava arcillosa compacta, aunque sin llegar a tener las características de un conglomerado, estos materiales conforman un sistema de colinas con alturas menores de 60 msnm, disectadas por corrientes de aguas que drenan hacia el río Quito formando depresiones de dimensiones métricas (menores de 50 m de ancho) y profundidad variable. En las zonas adyacentes al río Quito y el río Certeguí se encuentran sedimentos no compactados depositados por este, estos sedimentos están constituidos por gravas y arenas sueltas. Todo este conjunto descansa sobre la formación Munguidó (Tpm) descrita anteriormente. (SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, 2023)

Ilustración 40 Mapa Geológico de la Zona



(SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, 2023)

Geomorfología.

Geomorfológicamente la zona está constituida por dos zonas de características diferentes, una zona de colinas que dan al relieve un aspecto ondulado a fuertemente ondulado y otra que corresponden a las zonas de inundación del río Quito y demás corrientes de la zona.

El área donde se desarrollará el proyecto corresponde a una zona de colinas y colinas bajas, donde las precipitaciones han generado una intensa erosión fluvial, proceso que ha enmascarado gran parte de los rasgos estructurales originales, principalmente aquellos debido al plegamiento. Estas colinas son de pendientes moderadas y laderas rectas, con sima redondeada. La red de drenaje es moderadamente profunda y de segmentos cortos, con secciones transversales de valles en v. Los mantos de meteorización son espesos, con una fuerte evolución pedogenética, ocasionado por las fuertes y constantes lluvias que caracterizan la región.

Rodeando estas colinas se encuentra la planicie que conforma la parte más baja de la cuenca del río Quito afluente del río Atrato, por ser una región de alta pluviosidad, está conformada por ríos caudalosos con gran capacidad de acarreo de sedimentos y que en conjunto conforman una compleja llanura aluvial.

En cuanto a la topografía el área presenta dos sectores de pendientes: El primero comprende los bajos inundables con pendientes del 0% – 10%. Equivalente a un relieve plano o moderadamente inclinado y el segundo es un sector de lomas y colinas que presentan pendientes entre 10%, 20%, 30% y 40% y pequeñas áreas con pendientes mayores del 40% correspondiente a un relieve fuertemente inclinado. (SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO, 2023)

Sismicidad.

Colombia, y en particular el departamento del Chocó se encuentra ubicada en un ambiente tectónico complejo por la confluencia de las placas de Nazca, Suramérica y Caribe, y la llamada microplaca de Panamá. En el límite de las dos primeras se presenta subducción de la placa de Nazca bajo Suramérica a una velocidad aproximada de 60 mm/año, en una línea aproximadamente paralela a la costa pacífica.

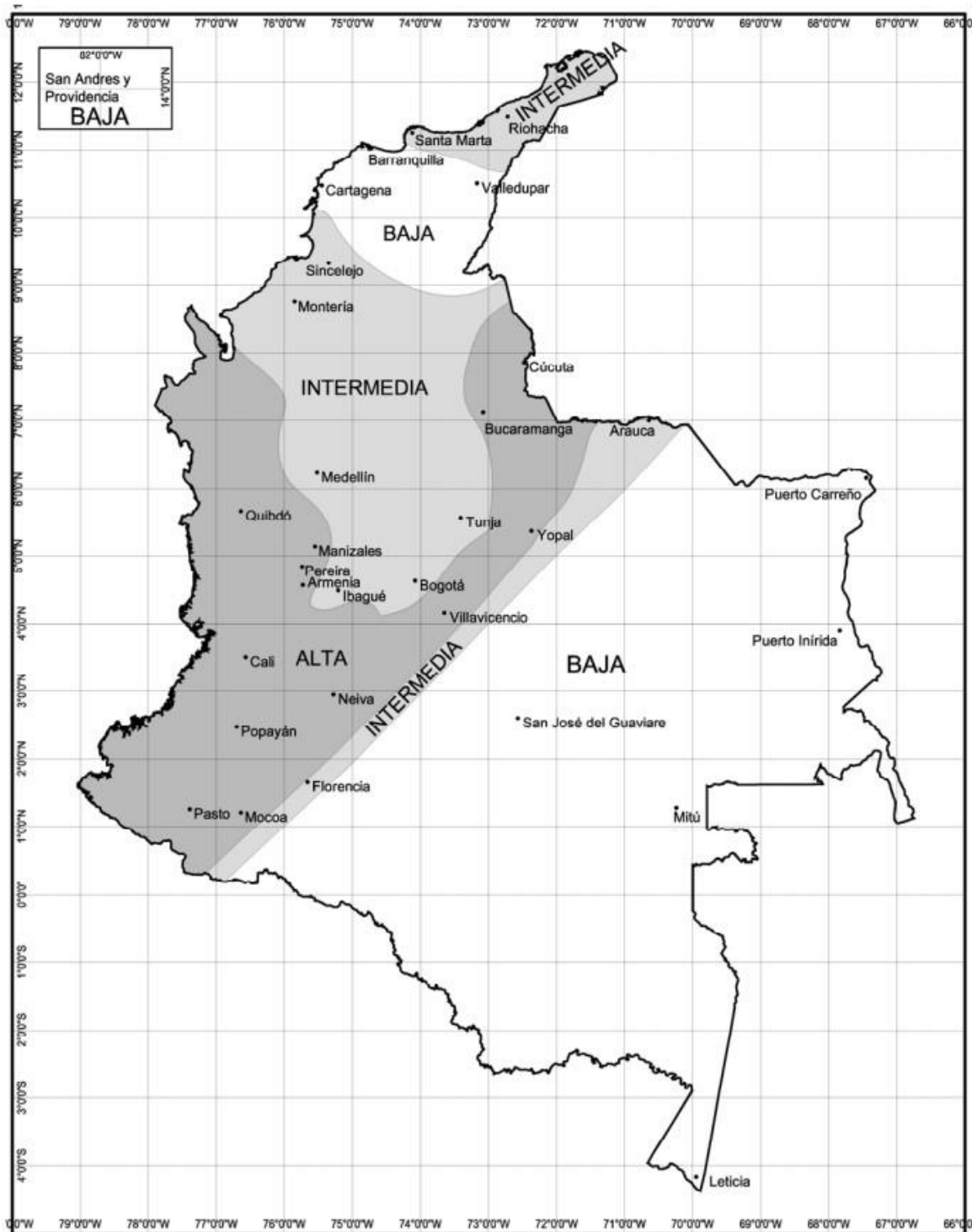
Los eventos sísmicos a los cuales está expuesto el municipio de Certeguí teniendo en cuenta que el municipio se encuentra a unos 70 Km., aproximadamente del borde del Océano Pacífico, provienen en parte del fenómeno mismo de subducción, especialmente de una concentración de focos conocida como el plano de Benioff del Viejo Caldas. Las otras fuentes sismogénicas importantes para el municipio son superficiales, correspondientes a fallas intraplaca, entre las que se destaca el sistema Murrí – Mutatá – Murindó. Por su cercanía, es importante mencionar el sistema Utría – Bahía Solano, además de las fallas Cauca – Romeral, Falla de Toro, Falla Argelia, Falla Garrapatas, y la Falla oculta del Atrato.

La localización del municipio de Certeguí con respecto a las diferentes fuentes sismogénicas hacen que en este municipio los eventos sísmicos representen una amenaza natural importante, aunque ellos no necesariamente provengan de estructuras tectónicas cercanas o incluidas dentro de su perímetro, sino de sismo fuentes a distancias moderadas, pero de reconocida actividad reciente (USGS & Paris 2000) y con recurrencia de magnitudes suficientemente altas para producir efectos importantes en el municipio.

De acuerdo con la NSR-10, el Departamento del Chocó se encuentra en la zona de amenaza sísmica alta (ver figuras 3 y 4), es decir se pueden alcanzar aceleraciones laterales \square 0.20 g., en

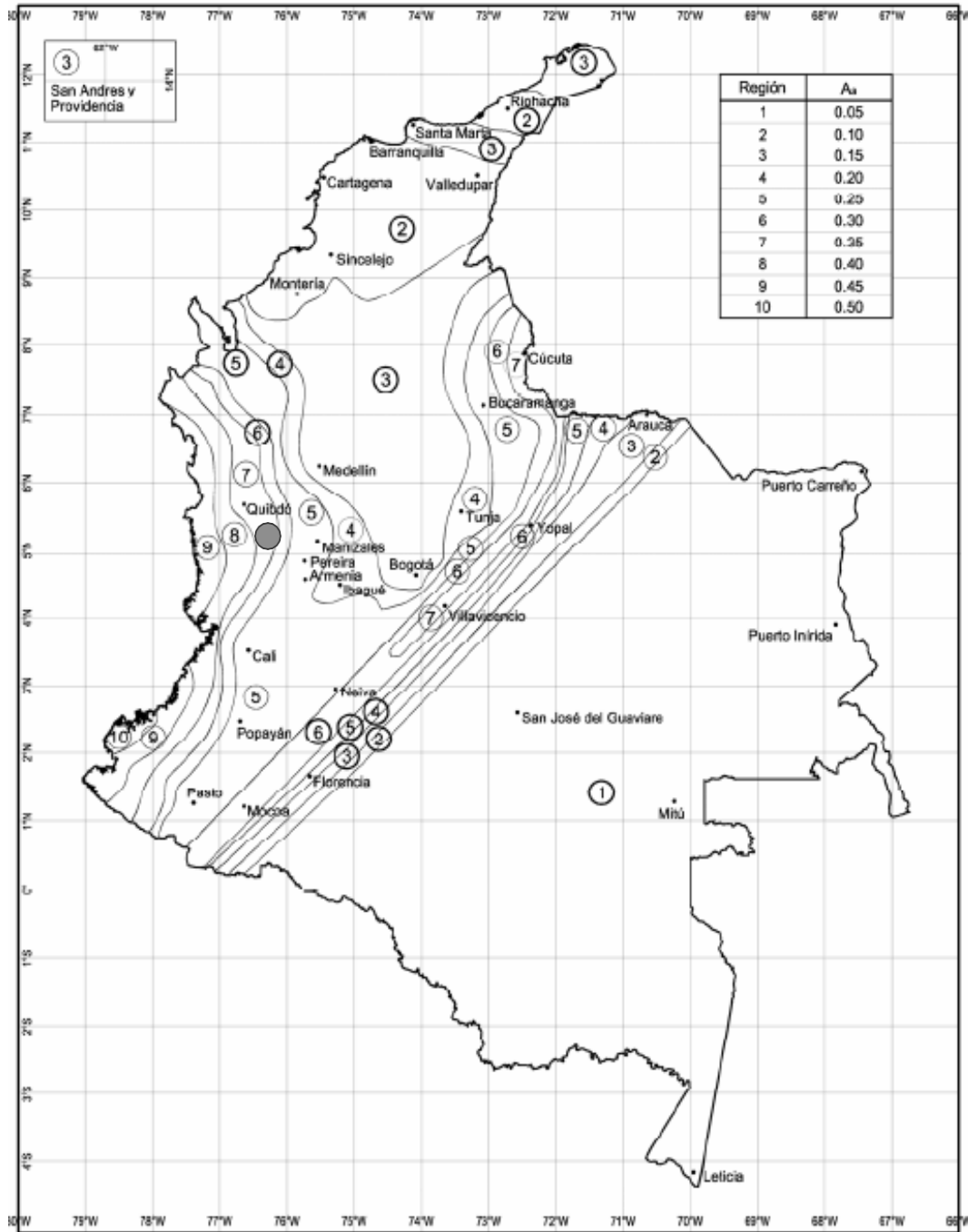
particular el coeficiente Aa para el municipio de Certeguí es de 0.35g (ver figura 4), por esto el diseño de cualquier estructura debe concebirse considerando amenaza sísmica alta, de tal manera que se tengan construcciones seguras para la vida humana ante la alta probabilidad de ocurrencia de sismos de alta magnitud e intensidad.

Ilustración 41 Zonas de amenaza sísmica



(COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIÓN
 SISMO RESISTENTES, 2010)

Ilustración 42 Detalles de la Zonificación Sísmica para el Departamento del Chocó.



(COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIÓN
 SISMO RESISTENTES, 2010)

Fallas geológicas.

El sistema de fallas de San Juan divide las subcuencas San Juan y Atrato, este sistema se caracteriza por un fallamiento inverso que afecta el basamento y la secuencia sedimentaria completa. El impacto del fallamiento en las dos subcuencas es diferente, en San Juan no hay evidencia de plegamiento de las unidades estratigráficas, mientras que en Atrato se observan pequeños plegamientos en las proximidades al sistema de fallas (ANH, 2023)

Ilustración 43 Mapa geológico de la cuenca Choco

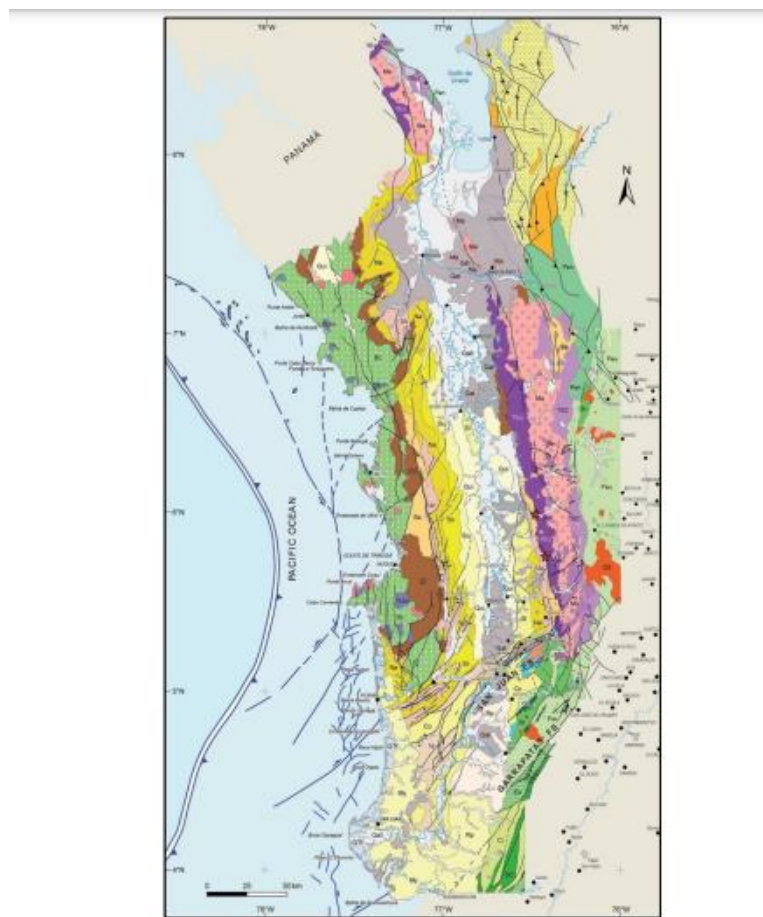


Figura 2-1 Mapa Geológico de la cuenca Choco.
Se resaltan las diferencias de ambientes depositacionales entre las subcuencas San Juan, Atrato y Urabá.
 Modificado de IGAC- Ingeominas, 2006, Schmidt-Thome et al, 1992 y Utah Minerals, 1980 (Citado Fabio Cediel & Restrepo, 2011).

Marco Tectónico Regional de las subcuencas Atrato y San Juan

Las fallas y plegamientos que forman parte de la estructura tectónica de la cuenca Chocó han aportado a la actual configuración de ésta, caracterizada por: - La Sutura Garrapatas-Dabeiba de edad Paleoceno, registra la adición del terreno Cañasgordas al continente. - La Sutura San Juan-Sebastián de edad Eoceno, evidencia el choque del terreno El Paso con el continente, este choque da origen al arco magmático de Mandé. - Evento Baudó, con edad de 8 a 4 millones de años, evidencia los eventos que dieron origen a la Serranía de Baudó, la cual fue desplazada y añadida al continente por la continua subducción del terreno El Paso; subducción que se detiene por la rápida depositación de las formaciones y la presión que éstas ejercen sobre la corteza oceánica. Para describir el evento Baudó se tuvo en cuenta que el terreno Cañasgordas caracteriza la corteza sobre la cual se constituyó la cuenca San Juan y el terreno El Paso que caracteriza la corteza sobre la cual se constituyó la cuenca Atrato

Estudio de vulnerabilidad sísmica.

Se realizó una visita al Palacio Municipal Jesús Aníbal y se realizó una entrevista al secretario de Planeación y obras Publicas con el fin de recopilar información y archivos de primera mano del puente San Francisco así como realizar consulta respecto a si existía un estudio previo de vulnerabilidad sísmica.

En dicha secretaria nos informan que no reposa información de ningún tipo del puente San Francisco.

Historia de sismos en la zona de estudio.

En el aspecto de la historia de los sismos presentes en la zona de estudio de nuestro paciente, es importante precisar la localización del Municipio de Certegui en el departamento del Chocó, como se puede mostrar en la siguiente imagen, delimitado por el recuadro rojo.

Ilustración 44 Localización Municipio de Certegui

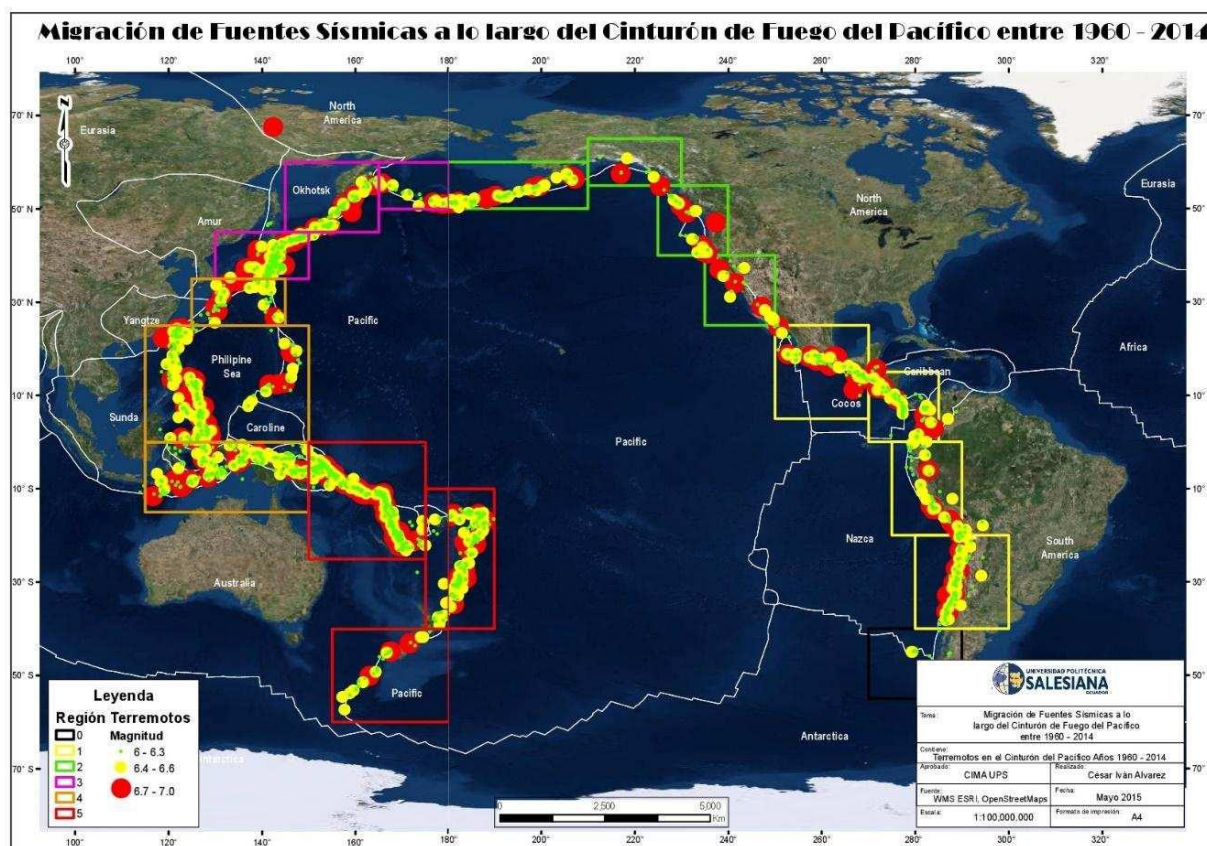


(FamilySearch, 2023)

Es de saber que la costa pacífica de Colombia se encuentra ubicada en el Cinturón del fuego del pacífico, como se puede evidenciar en la siguiente figura, la cual hace que la costa pacífica

sea más propensa a verse afectada por presencia continua de sismos, dicha actividad sísmica puede afectar la estructura presente en el paciente de estudio.

Ilustración 45 Cinturón de fuego del Pacífico

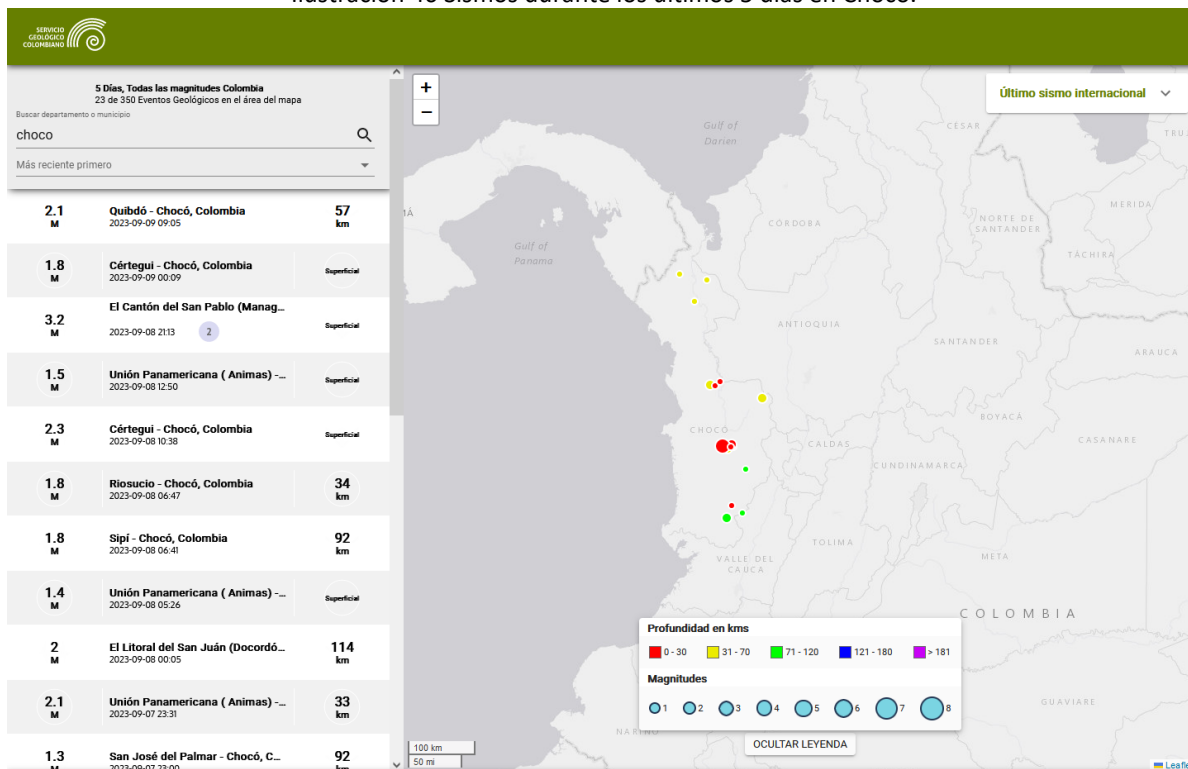


(López, Álvarez, & Villareal, 2017)

Historia sísmica de los últimos 30 días

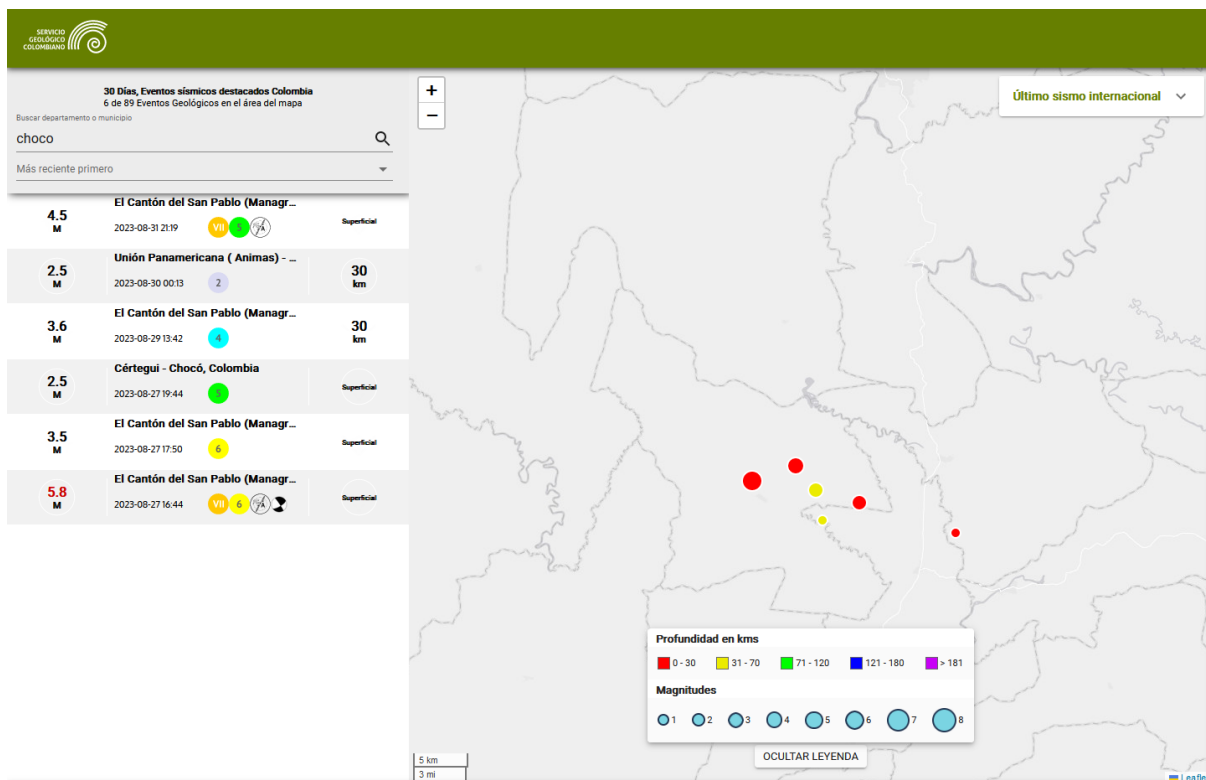
De acuerdo con la información anterior y a la información presentada por parte del Servicio Geológico Colombiano (SGC), según su plataforma de visor de sismos, según dicha información durante los últimos 5 días se han presentado 23 sismos con magnitudes entre 1.3 y 3.5 en escala de Richter, los sismos más representativos durante el mes de agosto y los 10 días de septiembre de 2023 se han presentado 8 sismos con magnitudes superiores a 3.5.

Ilustración 46 Sismos durante los últimos 5 días en Chocó.



(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

Ilustración 47 Sismos relevantes durante el último mes en Chocó

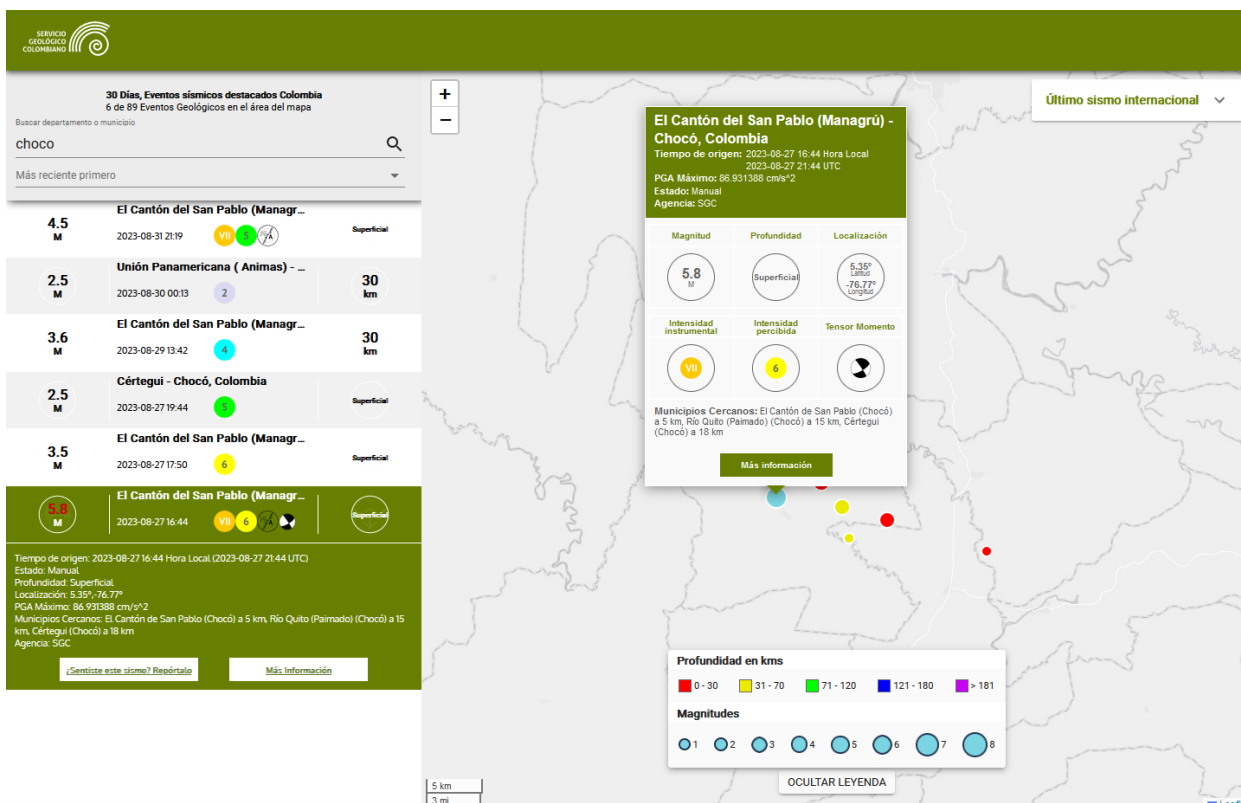


(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

Teniendo atención especial al sismo presentado el día 27 de agosto de 2023 a las 4:44 pm, con una magnitud de 5.8 en escala de Richter el que ocurrió a 18 km del municipio de Certegui con una profundidad superficial, como se puede evidenciar en la siguiente imagen y enlace:

<https://www.sgc.gov.co/detalleevento/SGC2023qwobpw/resumen>.

Ilustración 48 Sismo cercano a Certegui - Choco



(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

De igual forma el portal que tiene a su servicio SGC, se presenta a continuación los dos sismos históricos de hace más de 15 años que generaron los cuales grandes afectaciones en la región.

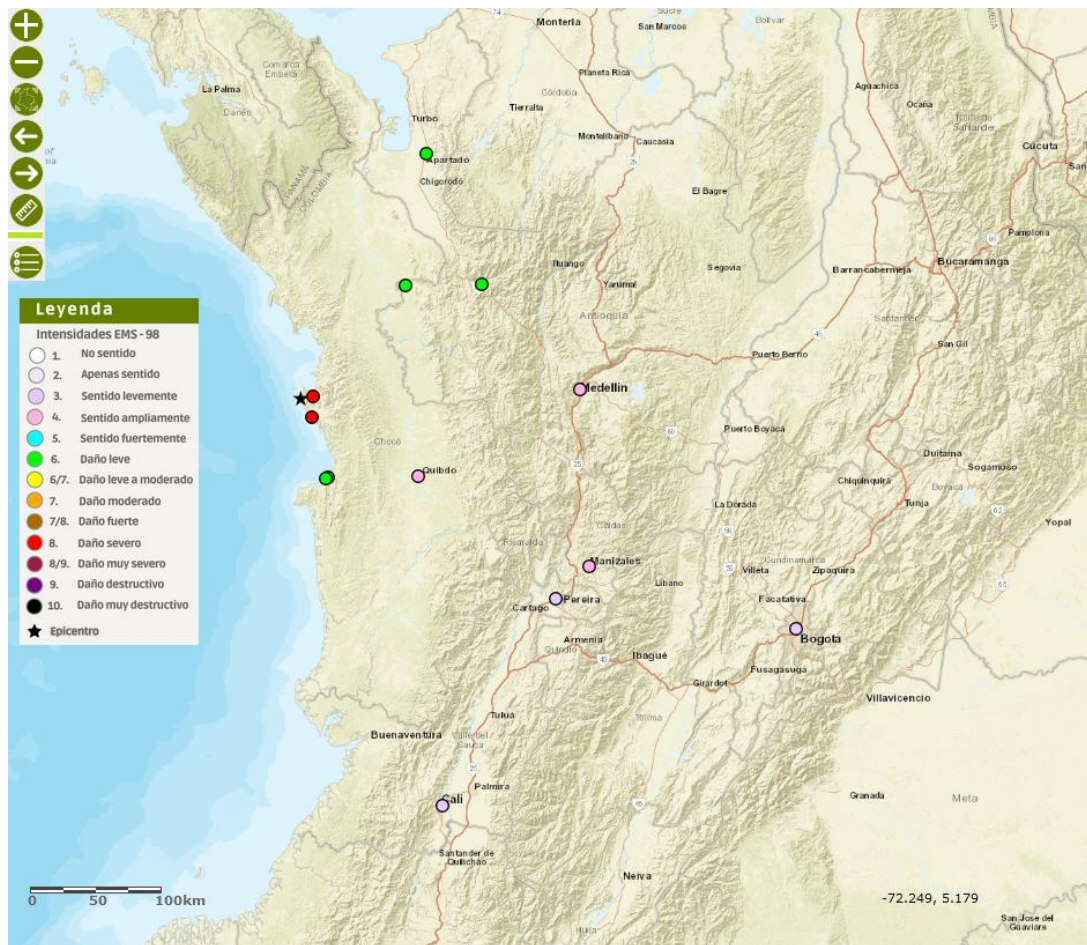
Sismo bahía solano – choco.

El primer evento ocurrió el día 26 de septiembre de 1970, cuyo epicentro fue en Bahía Solano, en el cual se presentaron 3 fuertes sismos, generado pánico a los habitantes del municipio, además de afectaciones a la infraestructura, propiciando inundaciones en algunos barrios por la ruptura de la tubería que conducía el agua potable del municipio, dicho evento se pudo percibir

en la zona noroeste y centro del país, durante el 26 y 27 de septiembre se tiene registro de más de 15 réplicas de dicho suceso teniendo magnitudes superiores a 4 en la escala de Richter. (Servicio Geológico Colombiano, 2023). Para mayor ilustración revisar en enlace:

<http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAIntensidadesSismo&idSismo=3>

Ilustración 49 Localización Sismo Bahía Solano - Choco.



(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

Tabla 10 Registros Sismo Bahía Solano - Choco

No	Sitio	Región	Lat.	Long.	Intensidad	Escala	Autor
1	Apartadó	Antioquia	7.89	-76.63	6	EMS-98	SGC-UN
2	Bahía Solano (Ciudad Mutis)	Chocó	6.22	-77.40	8	EMS-98	Servicio Geológico Colombiano
3	Bogotá	Bogotá D.C.	4.63	-74.10	3	EMS-98	SGC-UN
4	Cali	Valle del Cauca	3.42	-76.52	3	EMS-98	SGC-UN
5	Coquí	Nuquí-Chocó	5.66	-77.32	6	EMS-98	SGC-UN
6	Dabeiba	Antioquia	6.99	-76.25	6	EMS-98	SGC-UN
7	El Valle	Bahía Solano-Chocó	6.08	-77.41	8	EMS-98	Servicio Geológico Colombiano
8	Manizales	Caldas	5.06	-75.51	4	EMS-98	SGC-UN
9	Medellín	Antioquia	6.27	-75.58	4	EMS-98	SGC-UN
10	Murindó	Antioquia	6.98	-76.77	6	EMS-98	SGC-UN
11	Nuquí	Chocó	5.67	-77.30	6	EMS-98	SGC-UN
12	Pereira	Risaralda	4.84	-75.74	3	EMS-98	SGC-UN
13	San Francisco de Quibdó	Chocó	5.68	-76.68	4	EMS-98	SGC-UN

(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

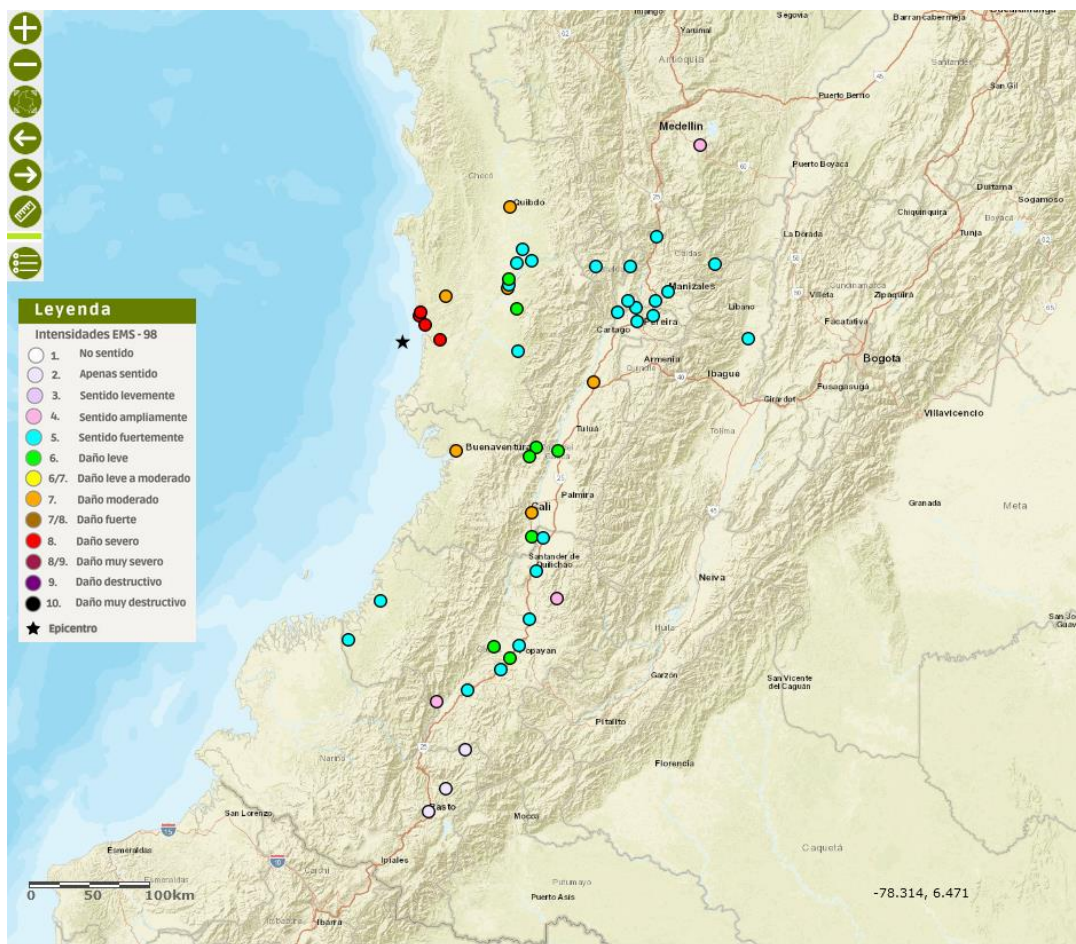
Sismo bajo Baudó – choco.

El día 15 de noviembre de 2004 a la 4:06 de la mañana, sobre la costa pacífica se logró percibir un fuerte sismo el cual generó afectación en algunas viviendas ubicadas en el municipio de Bajo Baudó y Pizarro en el departamento de Chocó, se tiene registro que más de 200 casas fueron destruidas y al menos unas 250 casas tuvieron afectaciones en su estructura además de escuelas, capillas y puestos de salud, aunque el epicentro en el Municipio de Bajo Baudó, una de las ciudades que más presentó afectaciones fue la ciudad de Cali, los 14 días posteriores al sismo se logró el registro de al menos 1000 réplicas con magnitudes entre el 3.5 y 4.0 en la escala de Richter. (Servicio Geológico Colombiano, 2023)

El suelo presentó licuación, agrietamiento e inundaciones temporales debido a las condiciones climáticas. Para mayor ilustración revisar el siguiente enlace:

<http://sish.sgc.gov.co/visor/sesionServlet?metodo=irAlIntensidadesSismo&idSismo=68>

Ilustración 50 Localización Sismo Bajo Baudó - Choco.



(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

Tabla 11 Registros Sismo Bajo Baudó - Choco

No.	Sitio	Región	Latitud	Longitud	Distancia hipocentral (km)	Intensidad	Escala	Autor	Calidad
1	Anserma	Caldas	5.24	-75.79	196.71	5	EMS-98	SGC-UN	Aceptable
2	Anserma	Caldas	5.24	-75.79	196.71	5	MM	SGC-UN	Aceptable
3	Bajo Baudó (Pizarro)	Chocó	4.95	-77.37	34.97	8	EMS-98	Servicio Geológico Colombiano	Buena
4	Bajo Baudó (Pizarro)	Chocó	4.95	-77.37	34.97	8/9	EMS-98	Salcedo, E., Alvarado, C	Sin dato
5	Bajo Baudó (Pizarro)	Chocó	4.95	-77.37	34.97	8	MM	SGC-UN	Buena
6	Balboa	Cauca	2.03	-77.23	297.07	4	EMS-98	SGC-UN	Aceptable
7	Balboa	Cauca	2.03	-77.23	297.07	4	MM	SGC-UN	Aceptable
8	Belalcázar	Caldas	4.99	-75.81	187.74	5	EMS-98	SGC-UN	Aceptable
9	Belalcázar	Caldas	4.99	-75.81	187.74	5	MM	SGC-UN	Aceptable
10	Belén de Docampado	Bajo Baudó-Chocó	4.70	-77.20	33.53	8	EMS-98	Servicio Geológico Colombiano	Aceptable
11	Belén de Docampado	Bajo Baudó-Chocó	4.70	-77.20	33.53	8	MM	SGC-UN	Aceptable
12	Buenaventura	Valle del Cauca	3.88	-77.01	104.79	7	EMS-98	SGC-UN	Buena
13	Buenaventura	Valle del Cauca	3.88	-77.01	104.79	8	MM	SGC-UN	Buena
14	Buesaco	Nariño	1.38	-77.16	368.94	2	EMS-98	SGC-UN	Aceptable
15	Buesaco	Nariño	1.38	-77.16	368.94	2	MM	SGC-UN	Aceptable
16	Buga	Valle del Cauca	3.90	-76.30	157.46	6	EMS-98	SGC-UN	Aceptable
17	Buga	Valle del Cauca	3.90	-76.30	157.46	6	MM	SGC-UN	Aceptable
18	Cali	Valle del Cauca	3.42	-76.52	176.68	7	EMS-98	SGC-UN	Buena
19	Cali	Valle del Cauca	3.42	-76.52	176.68	7	EMS-98	Salcedo, E., Alvarado, C	Sin dato
20	Cali	Valle del Cauca	3.42	-76.52	176.68	7	EMS-98	INGEOMINAS - Universidad del Valle	Sin dato
21	Cali	Valle del Cauca	3.42	-76.52	176.68	7	MM	Ramos, A., Prieto, J	Sin dato

(Servicio Geológico Colombiano, 2023)

Geografía de la zona

La ubicación geográfica de la Cuenca Chocó se define al occidente por la línea divisoria de aguas de la Serranía de Baudó, por el oriente por el flanco occidental de la Cordillera Occidental, al norte por el límite político con la República de Panamá y al sur por la línea de costa con el Océano Pacífico. Geográficamente, la Cuenca del Chocó se divide en la Sub-Cuenca del Río Atrato al norte y la Sub-Cuenca del Río San Juan al sur, separadas por el Alto Istmina-Condoto. La extensión superficial aproximada de cada una de ellas es de 25.000 km² para la primera y 10.500 km² para la segunda. Desde el punto de vista geológico y como resultado del presente estudio, se redefinen como cuencas exploratorias distintas, la Cuenca Atrato y la Cuenca San Juan. La FIGURA 1 muestra la localización de estas cuencas y algunos rasgos tectono-estructurales.

Ilustración 51 Localización de las cuencas de Choco y Urabá

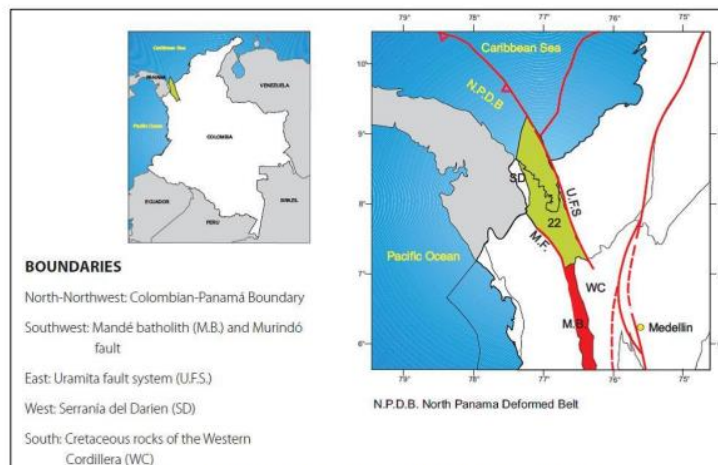


Figura 1-1 Localización de las Cuenca Choco y Uraba.
 Tomada de (ANH-University EAFIT. Department of Geology, 2007).

Diagnóstico

De acuerdo a lo encontrado en las visitas de campo, registros fotográficos, levantamiento de fichas de historia clínica, levantamiento de estructura y arquitectura del puente; a las condiciones físicas, atmosféricas y posibles fallas de diseño y construcción; se pudo evidenciar el gran deterioro que ha presentado el puente lo cual nos permite definir lo siguiente:

- ❖ Por ser un paciente ubicado en la zona del pacífico, por lo cual se tienen altas precipitaciones, al estar localizado sobre el río Certegui se ve afectado por la creciente del caudal en sus pilares que tienen forma rectangular lo cual hace que el choque hidráulico sobre la estructura en concreto sea debilitada, por otro lado la pasarela, pasamanos y tablero de puente son en estructura metálica y se ve expuesto a oxidación de esta por la influencia del agua.
- ❖ Basándonos en la historia que narran los pobladores de la región y por la ausencia de información de trabajos de mantenimiento preventivos sobre el puente se aumentan los daños presentados por un diseño inadecuado de la estructura y la ausencia del estado en su cuidado.

Para determinar el tipo de afectaciones que presenta el paciente se tomó como base el procedimiento establecido en los manuales de inspección de puentes y vías del Instituto Nacional de Vías – INVIAS. Estos manuales cuentan con un listado del tipo de lesiones que se presentan en estructuras de puentes y vías, que tiene correspondencia con lesiones encontradas en el paciente y con la cual, se basó el equipo de profesionales para determinar las afectaciones al paciente en campo.

Del análisis realizado se concluye que las lesiones más frecuentes en los componentes estructurales del paciente son de tipo mecánico, de severidad alta.

La lesión más común en el puente San Francisco es la corrosión en el tablero y en los estribos longitudinales; lesión que ha generado rotura del tablero del puente, decoloración, descamación, delaminación, exfoliaciones que han generado disminución de la sección transversal, disminución

de resistencia, rotura de revestimientos, y rotura de material generado por la falta de mantenimiento.

Teniendo en cuenta estas evidencias y el análisis e interpretación de las causas de las diferentes lesiones que afectan el puente San Francisco se puede determinar el diagnóstico de la estructura bajo estudio cuyo origen se basa en los siguientes dos (02) condicionamientos:

- ❖ Mala elaboración de diseños de la estructura de concreto pues su cimentación en términos de geometría es rectangular y presenta mayor impacto a la fuerza ejercida por el río Certeguí, ocasionando que la estructura sea debilitada, por la fuerza hidrostática y dinámica de la misma. Si el diseñador hubiese planteado una estructura de forma circular o similar se disminuiría la fuerza que ejerce el agua sobre la cimentación y el recorrido del agua podría ser menos impactante al fluir sobre una superficie aerodinámica.
- ❖ La falta o ausencia de mantenimiento preventivo y correctivo en la estructura metálica ocasiona que el deterioro sea mayor, debido a que la humedad del sector ocasiona daños de oxidación al no tener unas medidas de prevención, como lijado, pintura y reposición de material perdido por corrosión. Esto ha generado que tanto en su estructura como en sus acabados el puente presente lesiones severas.

Alternativa y pronóstico





Identificación de elementos afectados

A continuación se relacionan los principales elementos metálicos y de concreto que son incluidos dentro del plan de intervención y de mantenimiento del puente.



Ilustración 52 Descripción de elementos afectados.

	ESTRUCTURAS METALICAS PUENTE SAN FRANCISCO					TENSORES
	PLANTA GENERAL	TABLERO		CABLES	BARANDAS	
Fotografía						
Descripción	<p>Puente colgante con una estructura principal constituida por los cables curvos que soportan las cargas que transmiten las fuerzas a las torres y a los macizos de anclaje. El puente colgante se puede determinar como un arco invertido en el que la estructura principal (el cable) está sometida principalmente a tracción.</p>	<p>Plataforma sobre la cual circula la carga peatonal, tiene como principal función la transferencia de la carga viva a los elementos principales de la superestructura como vigas y pilares, entre otros.</p>		<p>Los cables están anclados en cada extremo del puente a un elemento de soporte y son los encargados de transmitir una parte importante de la carga que tiene que soportar la estructura</p>	<p>Antepecho o elemento de protección, elaborado en estructura metálica instalada en los bordes laterales de las rampas y del tablero del puente</p>	<p>Los cables tensores distribuyen las cargas de una mayor área hacia los pilares.</p>

	CIMENTACIONES	PILARES	PORTICO	VIGAS
Fotografía				
Descripción	Este elemento hace parte de la subestructura del puente, ubicado bajo el nivel del terreno, transmite todas las cargas recibidas al suelo sometido a un proceso importante de inundación.	Elementos verticales que llevan la carga del puente mismo al terreno, transmitiendo las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Las funciones principales de los apoyos aparte de transmitir todas las cargas de la superestructura a la subestructura son garantizar la traslación por expansión o contracción térmica o sismo y la rotación causada por la deflexión de la carga muerta y la carga viva.	Estos elementos establecen la conexión entre la superestructura y el terraplén, diseñado para soportar la carga del tablero la cual es transmitida por medio de los elementos de apoyo como vigas y columnas, el peso del tablero de transición y las presiones del suelo.	vigas de concreto reforzado que trabajan a tensión con una gran capacidad para resistir flexiones, aunque son solicitados para longitudes no tan extensas

Plan de Intervencion

Respecto a la falla de diseño que tienen la estructura de concreto pues su cimentación en términos de geometría es rectangular y presenta mayor impacto a la fuerza ejercida por el río Certegui, ocasionando que la estructura sea debilitada, por la fuerza hidrostática y dinámica de la misma. Se plantea hacer un recalce para cambiar la geometría de las cimentaciones que aunque están sobre la playa sufren el deterioro por la fuerza del agua cuando se presentan las crecientes

del río. Se realizan tres alternativas para cambiar de una forma rectangular a circular o similar para disminuir la fuerza que ejerce el agua sobre la cimentación.

Alternativa 1.

Realizar el aumento de sección con SikaTop®-121. Limpiar las dos cimentaciones con hidrolavadora y realizar los anclajes con varillas de 5/8 con SIKA ANCHORFIX®- que es un adhesivo de alto desempeño, de curado rápido para anclajes de pernos y barras corrugadas. Posterior a realizar los anclajes se debe aplicar un adhesivo epóxico de concreto fresco ha endurecido como el Sikadur 32 primer o similar que sea insensible a la humedad y que forme barrera de vapor y posea altas resistencias mecánicas. Se procederá a preparar la formaleta para aislar el agua y luego se fundirá el recalce de la cimentación con SikaTop®-121 Monocomponente que es un mortero cementoso modificado con resina acrílica, de un componente, listo para usar utilizado como revestimiento impermeable de bajo espesor sobre concreto o mortero en piscinas, estanques, canales etc.

Alternativa 2.

Realizar el aumento de sección con SikaGrout®-295 AD. Limpiar las dos cimentaciones con hidrolavadora y realizar los anclajes con varillas de 5/8 con SIKA ANCHORFIX®- que es un adhesivo de alto desempeño, de curado rápido para anclajes de pernos y barras corrugadas. Posterior a realizar los anclajes se debe aplicar un adhesivo epóxico de concreto fresco ha endurecido como el Sikadur 32 primer o similar que sea insensible a la humedad y que forme barrera de vapor y posea altas resistencias mecánicas. Se procederá a preparar la formaleta para aislar el agua y luego se fundirá el recalce de la cimentación con SikaGrout®-295 AD que es un mortero de consistencia fluida, de expansión controlada, base de cemento, con resistencias mecánicas muy altas, que está listo para usar con la simple adición de agua. Este producto está

libre de cloruros y partículas metálicas. Por lo tanto, no se oxida en contacto con la humedad, sino que protege las partes metálicas contra la corrosión gracias a su pH alcalino.

Alternativa 3.

Realizar el aumento de sección. Limpiar las dos cimentaciones con hidrolavadora y realizar los anclajes con varillas de 5/8 con SIKA ANCHORFIX®- que es un adhesivo de alto desempeño, de curado rápido para anclajes de pernos y barras corrugadas. A continuación se relaciona el rendimiento del producto con base en la información del fabricante.

Presentación - Cartucho de 300 y 550 ml			
Anclajes por 1 unidad de producto / Perforación de 10 cm			
Diámetro Barra (Pulg)	Diámetro Perforación (Pulg)	Longitud Perforación (cm)	Sika AnchorFix-2 (300 ml)
3/8	1/2	10	35
1/2	5/8	10	23
5/8	3/4	10	16
3/4	7/8	10	12
7/8	1	10	9
1	1 1/8	10	7
1 1/8	1 1/4	10	6
1 1/4	1 3/8	10	5

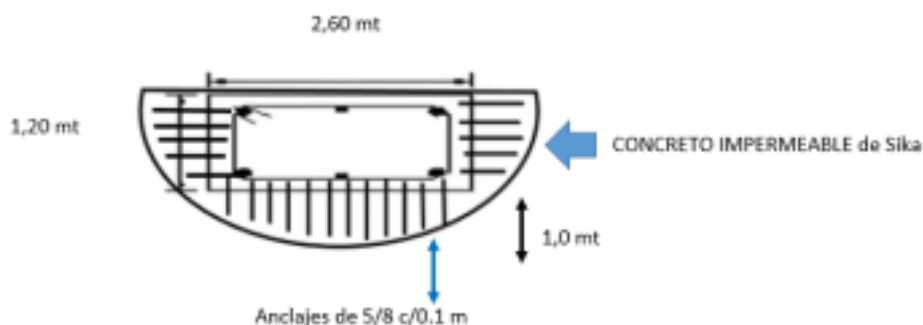
Posterior a realizar los anclajes se debe aplicar un adhesivo epóxico de concreto fresco ha endurecido como el Sikadur 32 primer o similar que sea insensible a la humedad y que forme barrera de vapor y posea altas resistencias mecánicas. Se procederá a preparar la formaleta para aislar el agua y luego se fundirá el recalce de la cimentación con el CONCRETO IMPERMEABLE de Sika de baja permeabilidad que debe cumplir las características que aparecen en la Tabla 1. Es un concreto que debe:

- ❖ Tener una relación A/C inferior a 0.45´
- ❖ Incluir un 2% del peso del cementante en Sika®WT-100.´
- ❖ Contar con una manejabilidad inicial de mínimo 15 cm (para evitar problemas de consolidación en campo).´
- ❖ Inclusión o no de un reductor de retracción (Tipo Sika®Control 40) dependiendo el valor de la retracción obtenido.

Un ejemplo de dicho diseño aparece en la siguiente tabla:

DISEÑO DE MEZCLA		
Criterio	Valor	Comentario
Agregados	Diseño de mezcla	Bien gradados Limpios
Mínimo contenido de cementante	350 kg/m ³	Cementante que cumpla los requisitos de las normas
Máxima A/C - Relación	0.45	Max. agua 160 l/m ³
Manejabilidad mínima	15	Consistencia fluida
Superplastificante (HRWR / MRWR)	Sikament Watertight Visocrete Watertight	
Aditivo impermeabilizante	Sika®WT-100	Sika bloqueador de poros

Plano de detalle de la intervención con concreto impermeable de Sika



Adicional a la recuperación de los elementos en concreto es preciso indicar que se debe realizar retiro y cambio de la estructura metálica, tanto en la pasarela, pasamanos y sistema atirantado de la estructura.

Análisis y propuesta de intervención seleccionada

Respecto a las tres alternativas planteadas se decide trabajar la intervención con la alternativa 3 debido a que los concretos “impermeables” o de baja permeabilidad puede serlo en su matriz pero si existe una fisura en el elemento constituido por este concreto, habrá paso de agua y si se

trabaja con morteros cementosos modificados se corre ese riesgo, adicional el cambio de la estructura metálica del puente atirantado.

Programación

Tabla 12 Programación de intervención

PROGRAMACIÓN DE INTERVENCIÓN DE PUENTE PEATONAL SAN FRANCISCO MUNICIPIO DE CERTEGUI										
ITEM	ACTIVIDAD	DURACIÓN (DIAS)	MES 1				MES 2			
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	LIMPIEZA DE SUPERFICIES	6								
1.1	Limpieza con hidrolavadora	3								
1.2	Suministro y aplicación de detergente	3								
2	FISURAS	10								
2.1	Suministro y aplicación de sika primer 215 sobre superficies de concreto	5								
2.2	Suministro y aplicación de sika flex sobre elementos de concreto	5								
3	CONCRETO IMPERMEABLE	5								
3.1	Suministro y colocación de concreto	5								
4	ACEROS	55								
4.1	Retiro y demolición de elementos metálicos afectados	14								
4.2	Suministro e instalación de lámina metálica para pasarela de puente	20								
4.3	Suministro e instalación de pasamanos	20								
4.4	Suministro e instalación de guaya alma de acero 5/8" para tirantes de puente	20								
4.5	Suministro e instalación de acero de refuerzo para elementos de concreto	5								

Presupuesto

Tabla 13 Presupuesto de intervención de obra

PRESUPUESTO DE INTERVENCIÓN DE PUENTE PEATONAL SAN FRANCISCO MUNICIPIO DE CERTEGUI						
ITEM	ACTIVIDAD	CANT.	UND	VR. UNITARIO	VALOR PARCIAL	
1	LIMPIEZA DE SUPERFICIES					
1.1	Limpieza con hidrolavadora	1.00	Gl	\$ 350,000.00	\$ 350,000.00	
1.2	Suministro y aplicación de detergente	1.00	Gl	\$ 350,000.00	\$ 350,000.00	
2	FISURAS					
2.1	Suministro y aplicación de sika primer 215 sobre superficies de concreto	8.00	Und	\$ 450,000.00	\$ 3,600,000.00	
2.2	Suministro y aplicación de sika flex sobre elementos de concreto	25.00	ml	\$ 45,000.00	\$ 1,125,000.00	
3	CONCRETO IMPERMEABLE					
3.1	Suministro y colocación de concreto de 5000	15.00	m3	\$ 980,000.00	\$ 14,700,000.00	
4	ACEROS					
4.1	Retiro y demolición de elementos metálicos afectados	1.00	Gl	\$ 2,500,000.00	\$ 2,500,000.00	
4.2	Suministro e instalación de lámina metálica	275.00	m2	\$ 250,000.00	\$ 68,750,000.00	
4.3	Suministro e instalación de pasamanos	250.00	ml	\$ 70,000.00	\$ 17,500,000.00	
4.4	Suministro e instalación de guaya alma de acero 5/8" para tirantes de puente	150.00	ml	\$ 38,000.00	\$ 5,700,000.00	
4.5	Suministro e instalación de acero de refuerzo	1550.00	KG	\$ 9,500.00	\$ 14,725,000.00	
				Valor costo directo	\$ 129,300,000.00	
				Administración	12%	\$ 15,516,000.00
				Imprevistos	5%	\$ 6,465,000.00
				Utilidad	5%	\$ 6,465,000.00
				IVA sobre utilidad	19%	\$ 1,228,350.00
				Valor costos indirectos	\$ 29,674,350.00	
				VALOR TOTAL DE LA PROPUESTA	\$ 158,974,350.00	

Plan de Mantenimiento

A continuación se relaciona en el plan arquitectónico realizado por los autores la ubicación de los elementos metálicos del puente San Francisco y de sus principales lesiones

Ilustración 53 Ubicación de elementos de concreto del plan de mantenimiento

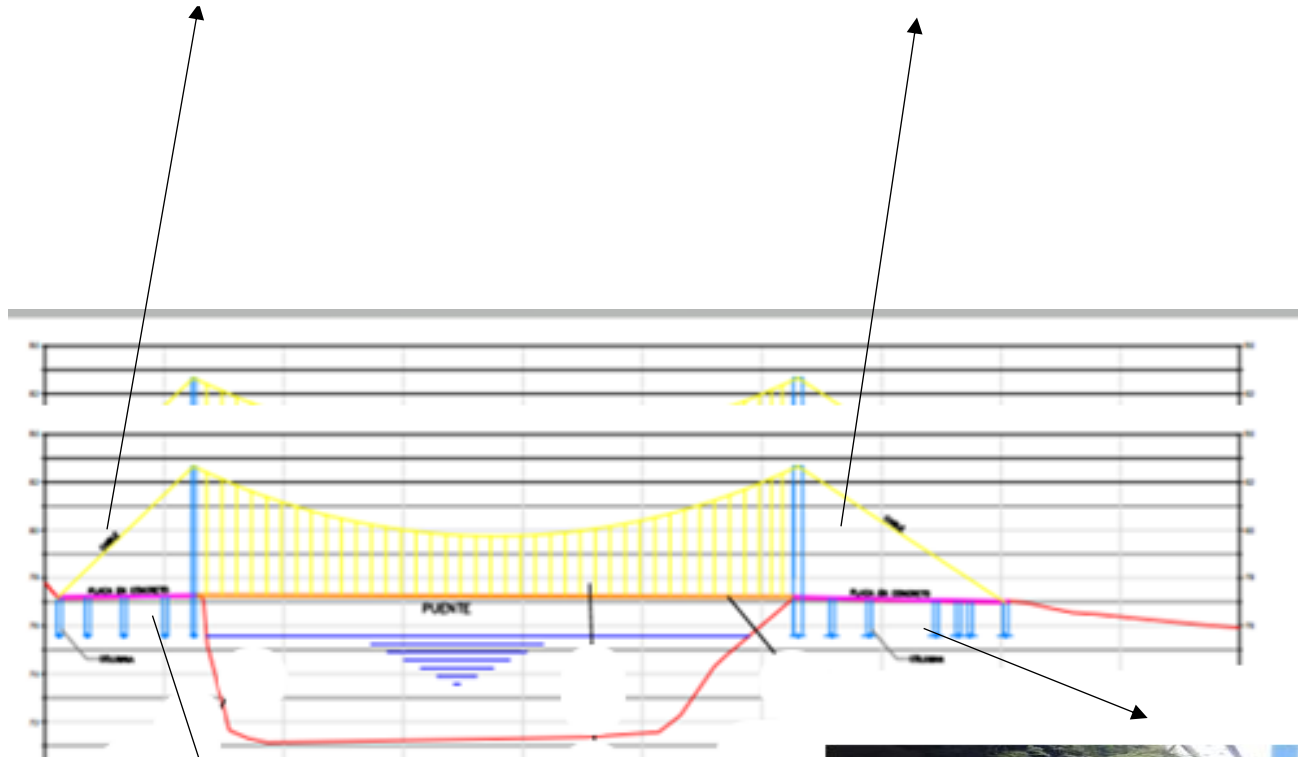
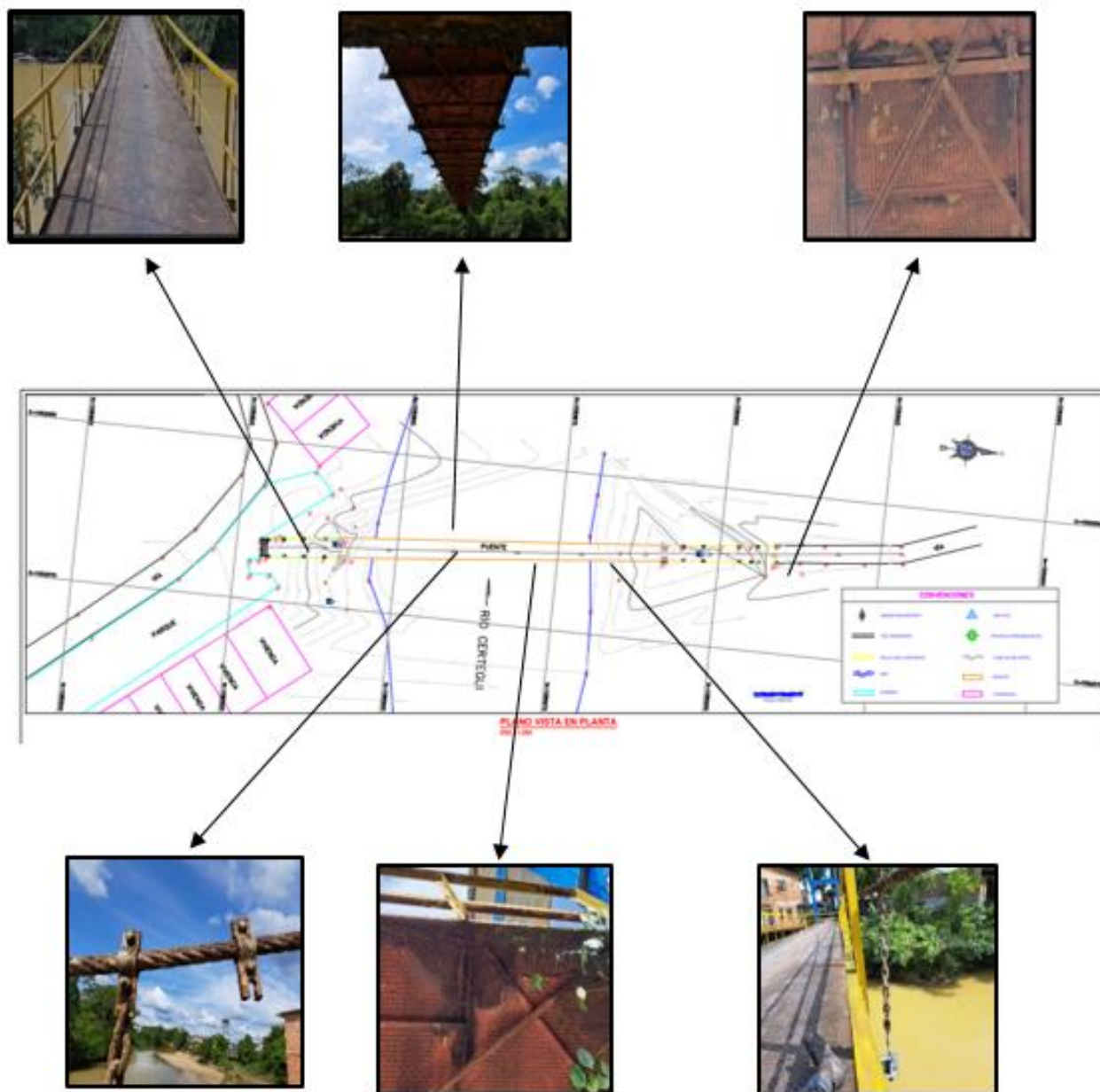


Ilustración 54 Ubicación de elementos metálicos del plan de mantenimiento



Fichas del plan de mantenimiento

Teniendo en cuenta los daños o patologías encontradas en el puente y el diagnóstico técnico presentado se elabora el plan de mantenimiento que se anexan.

Conclusiones

Con base en las patologías estudiadas se puede determinar que el puente presenta fallos estructurales que ponen en riesgo su estabilidad y resistencia desde los elementos de concreto reforzado así como parte del tablero del puente, se debe tener en cuenta que el puente, junto a los fallos de diseño y construcción presenta fallos de mantenimiento que han generado un abandono en la estructura y un daño de categoría severa.

Con base en las patologías estudiadas se puede determinar que el puente presenta fallos estructurales que ponen en riesgo su estabilidad y resistencia, se debe tener en cuenta que el puente, junto a los fallos de diseño y construcción presenta fallos de mantenimiento que han generado un abandono en la estructura y un daño de categoría severa.

Respecto a la falla de diseño que tienen la estructura de concreto pues su cimentación en términos de geometría es rectangular y está expuesta a la fuerza hidrostática y dinámica del agua se plantea realizar un recalce de la cimentación para cambiar su geometría. Se debe tener en cuenta que el concreto para realizar el recalce debe ser un concreto de baja permeabilidad,

Respecto a la clasificación de lesiones realizada en el presente estudio se puede evidenciar que tanto en la estructura de concreto como en los componentes metálicos las lesiones más importantes corresponden a las antropogénicas como diseño inadecuado, malos procesos constructivos, intervenciones inadecuadas y falta de mantenimiento que han generado lesiones físicas secundarias como erosiones en las cimentaciones y lesiones mecánicas como grietas, desprendimientos y lesiones químicas severas en los componentes metálicos que es la corrosión.

En la inspección visual respecto a las soldaduras se pudo determinar diseños deficientes de la pieza o de la soldadura y procedimientos de soldadura inadecuados. Es muy probable que durante su ejecución no hayan tenido un proceso de inspección o prueba incorrecta.

Con base a la exploración geotécnica realizada se encontró una cimentación superficial, con una profundidad de desplante de 2,40m en la cual se encontró una grava limosa con grandes procesos de consolidación

Los resultados de los núcleos extraídos arrojaron resistencias de 4000 psi en vigas y columnas del pórtico principal y 3500 psi para la cimentación, lo que indica que el concreto aún conserva una buena resistencia a pesar de su larga edad. Cabe resaltar que no se tienen datos de la resistencia de diseño ni de la que se construyó.

El acero del pórtico principal se encuentra en buen estado ya que este no presenta signos de corrosión ni oxidación.

Las profundidades de carbonatación son menores a las del recubrimiento, en algunos puntos esta se muestra venciendo el recubrimiento faltándole 3cm para alcanzar el acero de refuerzo.

Recomendaciones

Debido a que el Puente San Francisco es una estructura geriátrica de la cual no se tiene información de sus memorias de cálculo de diseño para realizar la reposición de las piezas de los tableros se recomienda determinar la composición de los aceros y de los perfiles por medio de una metalografía para determinar el tipo de acero de cada uno de los componentes y realizar un ensayo con microscopio metalográfico y un ensayo con microscopio electrónico de barrido esto para poder determinar el tipo de acero de los elementos que hay que reponer.

Se evidencia una cadena de lesiones por falta de mantenimiento pues es puente está a cargo del municipio de Certegui y el mantenimiento desde su construcción hace 31 años es prácticamente nulo, se recomienda realizar el plan de mantenimiento propuesto en el presente estudio para identificar el tipo, materiales, frecuencia y responsable del mantenimiento en donde se incluya tanto la estructura en concreto como la estructura metálica.

Se recomienda realizar un estudio específico de la corrosión para definir la velocidad de la corrosión y el daño realizado en la estructura.

Para el mantenimiento de la estructura metálica recomiendan tener presente alternativas como:
Evaluar la posibilidad de usar acero inoxidable, el uso de pinturas especiales para tus estructuras metálicas, el uso lubricante protectores, Limpiar siempre la estructura metálica, Evitar exponer las estructuras a la humedad o la intemperie, entre otras

Referencias bibliográficas

ANH. (2023). *Agencia Nacional de Hidrocarburos*. Obtenido de

<https://www.anh.gov.co/es/hidrocarburos/informacion-geologica-y-geofisica/estudios-integrados-y-modelamientos/estudios-geologicos-y-geofisicos/>

Cardenas, O. (2016). Partes de un puente.

COMISION ASESORA PERMANENTE PARA EL REGIMEN DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTES. (2010). *REGLAMENTO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE NSR - 10*. BOGOTÁ D.C.: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.

FamilySearch. (08 de Septiembre de 2023). *family search*. Obtenido de

https://www.familysearch.org/es/wiki/Chocoma_Colombia_-_Genealogia

Hernandez Fajardo, C. A. (2022). EVALUACIÓN PATOLÓGICA DEL PUENTE UBICADO EN LA AVENIDA FERROCARRIL CON LA CARRERA 5A EN LA CIUDAD DE IBAGUE - TOLIMA.

IDEAM. (04 de junio de 2023). *IDEAM*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>

INVIAS. (s.f.). *Instituto Nacional de Vias*. (Invias, Editor, I. N. Vias, Productor, & Instituto

Nacional de Vias) Obtenido de [https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14)

[documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14](https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/3709-norma-colombiana-de-diseno-de-puentes-ccp14)

López, A., Álvarez, C. I., & Villareal, E. (2017). MIGRACIÓN DE FUENTES SÍSMICAS A LO LARGO DEL CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 5 - 15.

Minaya, J. (2010). Diseño de puentes. Cuenca: Maccafi.

Monsalve Caballero, S., Mosquera Mosquera, J., & Chala Fernández, E. M. (s.f.).

Muñoz, E., & Valbuena, E. (2004). Evaluación del estado de los puentes de acero de la red vial de Colombia. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 4(2), 16. Recuperado el 10 de 06 de 2023, de [oai:scipedia.com:Muñoz_Valbuena_2004a](https://oai.scipedia.com:Muñoz_Valbuena_2004a)

Ramirez Gonzalez, M., & TATSUMI, M. (2007). Manual de Inspección de Puentes.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. (2023). *INGEOMINAS*. Obtenido de https://catalogo.sgc.gov.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=78461&shelfbrowse_itemnumber=79275

Servicio Geológico Colombiano. (09 de Septiembre de 2023). *Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de <https://www.sgc.gov.co>

MÉTODO REHABIMED para la rehabilitación de la arquitectura tradicional mediterránea

Documento trabajo agosto 2005. Desarrollo y redacción del método Oriol CUSIDÓ Ramón

GRAUS

BROTO i Comerma, Carlos. Enciclopedia Broto de Las Patologías

Estructurales Vol. 1. España. 2006.

Guía para la inspección visual de INVIAS.

MIRANDA, Colque Álvaro Miranda. Patología de las estructuras (online).

España. Abril 12 de 2017. Disponible en la página:

<https://es.slideshare.net/angelcaido666x/patologia-de-las-estructuras>.

Patología Estructural. Diego Sánchez de Guzmán. México. 2011.

Análisis ultrasónico y microestructural del acero ASTM A36, tratado térmicamente por medio de temple a temperaturas de 900°C, 950°C y 1000°C. Daniel Mauricio Bermúdez Rincón

Universidad Libre facultad de ingeniería departamento de ingeniería mecánica Bogotá 2015

Propiedades mecánicas de los materiales (online). Estudiantes metalografía. Pereira Risaralda Colombia. Diciembre 13 de 2015. Disponible en la página:

<http://blog.utp.edu.co/metalografia/author/estudiantesmetalografia/>. de impedancia. Valencia, España. Septiembre 24 de 2012.

<https://www.laboratuvar.com/es/testler/metal-test-laboratuvari/astm-a36-karbon-yapisal-celik-testleri/>

Anexos.

Anexo 1. Fichas de historia clínica del paciente.

Anexo 2. Ficha de mantenimiento de estructuras de concreto.

Anexo 3. Ficha de mantenimiento de estructura metálica.

Anexo 4. Resultados ensayos de laboratorio.