



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE LA SALUD ESTRUCTURAL DE LAS
PILAS DEL PUENTE PEATONAL DE NULTI”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

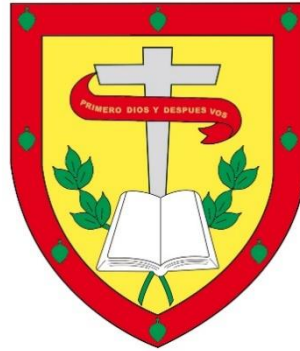
AUTOR: CARLOS ANDRES IÑAMAGUA CUENCA.

**DIRECTOR: MSC. ING. JUAN SEBASTIAN MALDONADO
NOBOA**

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,

INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

“EVALUACIÓN DE LA SALUD ESTRUCTURAL DE LAS
PILAS DEL PUENTE PEATONAL DE NULTI”

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTOR: CARLOS ANDRES IÑAMAGUA CUENCA.

DIRECTOR: MSC.ING. JUAN SEBASTIAN MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Carlos Andrés Iñamagua Cuenca portador de la cédula de ciudadanía N.º **1900753227**
Declaro ser autor de la obra: **“Evaluación de la Salud Estructural de las Pilas del Puente Peatonal de Nulti”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **29 de febrero de 2024**

F:



Carlos Andrés Iñamagua Cuenca

1900753227

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación con el tema **“EVALUACIÓN DE LA SALUD ESTRUCTURAL DE LAS PILAS DEL PUENTE PEATONAL DE NULTI”** fue desarrollado, Carlos Andrés Iñamagua Cuenca, bajo mi supervisión.

Atentamente,

DIOS, PATRIA CULTURA Y DESARROLLO

F: 

Msc. Ing. Juan Sebastián Maldonado Noboa

C.I. 0104005152

DOCENTE – TUTOR

DEDICATORIA

A mis padres, Ing. Carlos Iñamagua y Dra. Narcisa Cuenca quienes han sido fuente inagotable de amor, paciencia y apoyo incondicional a lo largo de este viaje académico. Su sacrificio y dedicación han sido la luz que ilumina mi camino.

A mis hermanos, Vanessa, Andrea y Marlon quienes han estado a mi lado en las buenas y en las malas, brindándome aliento y comprensión en cada etapa de este desafío.

A mis amigos y demás familiares, quienes han sido mi apoyo constante, por cada fuente inagotable de ánimo y risa compartida.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y aliento de todas las personas que han dejado huella en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios por regalarme sabiduría, paciencia, para terminar con esta investigación

A mi alma mater, Universidad Católica de Cuenca, gracias por haberme permitido formarme como profesional, y brindarme todos los conocimientos necesarios.

A mi director de tesis por su guía y motivación constantes que han sido fundamentales para el desarrollo del proyecto

RESUMEN

La investigación sobre la evaluación de la salud estructural de las pilas del Puente Peatonal de Nulti resalta la importancia de estos elementos para la seguridad y estabilidad de la estructura. Se realizaron diversos ensayos no destructivos, tales como Topografía, Ultrasonido, Escáner de Hierros, Vibración Ambiental y Esclerometría, con el fin de detectar posibles daños.

Los resultados obtenidos revelaron que las estructuras de concreto, específicamente las pilas, presentaban desplazamientos, pero se encontraban en estado de funcionalidad a pesar del tiempo transcurrido desde su construcción y el impacto de un vehículo de carga pesada.

Para llevar a cabo un análisis más detallado, se empleó el software SAP para modelar las pilas con sus características actuales. Se realizaron análisis como el Análisis Modal-Espectral, Tiempo-Historia y No Lineal Estático (Pushover), lo que permitió evaluar las pilas bajo máxima capacidad, identificar posibles fallos futuros y proponer soluciones para fortalecer su resistencia estructural.

Además de los ensayos y análisis mencionados, se llevaron a cabo inspecciones visuales y se elaboró un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para garantizar que las pilas sean funcionales a largo plazo.

Palabras clave: Pilas, salud estructural, Mantenimiento, ensayos no destructivos.

ABSTRACT

The research on the assessment of the structural health of the piles of the Nulti Pedestrian Bridge highlights their importance for the safety and stability of the structure. Various non-destructive tests, such as Topography, Ultrasonic Testing, Iron Scanner, Ambient Vibration, and Schmidt Hammer Testing, were conducted to detect possible damage.

The results revealed that the concrete structures, specifically the piles, exhibited displacements but were functional despite the time elapsed since their construction and the impact of a heavy-duty vehicle.

The SAP software was employed to model the piles with their current characteristics for a more detailed analysis. Analyses such as Modal-Spectral, Time-History, and Static Nonlinear Analysis (Pushover) were performed, enabling the assessment of the piles under maximum capacity, identification of possible future failures, and solutions proposal to strengthen their structural resistance.

In addition to the mentioned tests and analyses, visual inspections were conducted, and a preventive and corrective maintenance plan was developed to ensure that the piles remain functional in the long term.

Keywords: piles, structural health, maintenance, non-destructive testing.

Tabla de contenido

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	3
CERTIFICACIÓN	4
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
Capítulo I-GENERALIDADES	14
1.1 Introducción	14
1.2 Formulación Del Problema	14
1.3 Delimitación Del Problema	15
1.4. Justificación	15
1.5 Objetivos	16
1.5.1 Objetivo General	16
1.5.2 Objetivos Específicos.....	16
1.6 Estado del Arte.....	17
Capítulo II – METODOLOGIA.....	18
Capitulo III - MARCO TEÓRICO	19
3.1 Puentes	19
3.2 Tipos de puentes por su uso	19
3.2.1 Puentes vehiculares.....	19
3.2.2 Puentes peatonales	19
3.3 Tipos de puentes por su longitud	19
3.4 Tipos de puentes por material	19
3.4.1 Puentes de madera.....	19
3.4.2 Puentes de acero.....	19
3.4.3 Puentes de concreto.....	20
3.5. Tipos de puentes por estructura	20
3.5.1 Puentes viga losa.....	20
3.5.2 Puente en Arco	20
3.5.3 Puentes colgantes	20
3.6 Componentes de una estructura de un puente metálico	21
3.6.1 Superestructura	21

	10
3.6.2 Subestructura.....	21
3.6.3 Accesorios.....	22
3.7 Pilas.....	22
3.7.1 Patologías del hormigón	23
3.8 Vida útil	24
3.9. Ensayos no destructivos	24
3.9.1 Topográfico.....	24
3.9.2 Escáner de hierros	24
3.9.3 Vibración ambiental.....	24
3.9.4 Esclerómetro	25
3.9.5 Ultrasonido.....	25
3.9.6 Tipos de análisis (SAP).....	25
3.10 Causas y Razones de Sustitución de un puente	26
3.11 Tipos de mantenimiento de un puente	27
3.11.1 Mantenimiento preventivo:.....	27
3.11.2 Mantenimiento correctivo:.....	27
3.11.3 Reforzamiento:.....	27
3.12 Normativas.....	28
CAPITULO IV- CASO DE ESTUDIO	29
4.1 Evaluación de la salud estructural de las pilas del puente peatonal de Nulti.....	29
4.2 Ubicación	29
4.3 Ensayos no destructivos	30
4.4 Procedimiento del Ensayo Topográfico	30
4.5 Procedimiento del Ensayo de Escáner de hierros	32
4.6 Procedimiento del Ensayo de Vibración ambiental	35
4.7 Procedimiento del Ensayo de Esclerometría.....	39
4.8 Procedimiento del Ensayo de ultrasonido	43
4.9 Procedimiento para el espectro de diseño	47
4.10 Procedimiento para el ensayo Modal	52
4.11 Procedimiento ensayo Tiempo-Historia	54
4.12 Procedimiento para ensayo No lineal estático	55
4.13 Resultados según la normativa NEC.....	57
4.14 Curva de capacidad de las pilas	59

CAPÍTULO V --PLAN DE MANTENIMIENTO	60
5.1 Inspección visual.....	60
5.2 Mantenimiento preventivo	61
5.3 Mantenimiento correctivo	62
CAPÍTULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
6.1 Conclusiones	65
6.2 Recomendaciones	66
BIBLIOGRAFIA	67
ANEXOS	69
Anexo 1. Levantamiento topográfico	69
Anexo 1. Ensayo de esclerometría.....	70
Anexo 1. Ensayo de scanner de hierros	72
Anexo 1. Ensayo de vibración ambiental (raspberry).....	73
Anexo 2. Ensayo Ultrasonido	74
AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	75

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Puente Viga Losa	20
Ilustración 2 Puente Arco.....	20
Ilustración 3 Puente Colgante	21
Ilustración 4 Vista aérea del Puente Peatonal de Nulti	29
Ilustración 5: Fuente propia	29
Ilustración 6 Ensayo Topográfico	30
Ilustración 7 Ensayo de Scanner de hierros	32
Ilustración 8 Resultados del escáner de hierros	33
Ilustración 9 Calculo del acero de la Pila.....	34
Ilustración 10 Armado de la Pila	34
Ilustración 11 Ensayo Vibración Ambiental (Raspberry).....	35
Ilustración 12 Señal importada en Geopsy-Pila1	36
Ilustración 13 Señal importada en Geopsy Pila 2	36
Ilustración 14 Señal encerada con valores medios-Pila 1	37
Ilustración 15 Señal encerada con valores medios -Pila 2.....	37
Ilustración 16 Ventanas de análisis- Pila 1	37
Ilustración 17 ventanas de Análisis de la Pila 2.....	38
Ilustración 18 análisis de frecuencia -Pila 1	38
Ilustración 19 análisis de Frecuencia -Pila 2.....	39
Ilustración 20 Esclerómetro	39
Ilustración 21 Ensayo con Esclerómetro.....	40
Ilustración 22 Ultrasonido.....	44
Ilustración 23 Maquina de sondas.....	44
Ilustración 24 Definición de parámetros sismo raro	49
Ilustración 25 Definición de parámetros sismo muy raro	49
Ilustración 26 Resultados de momentos de un sismo raro de la pila 1	50
Ilustración 27 Resultados de momentos de un sismo raro de la pila 2	51
Ilustración 28 Resultados de momentos de un sismo muy raro de la pila 1	51
Ilustración 29 Resultados de momentos de un sismo muy raro de la pila 2	52
Ilustración 30 Ensayo Modal periodo 1	52
Ilustración 31 Ensayo Modal periodo 2	53
Ilustración 32 Ensayo Modal periodo 3	53
Ilustración 33 Ingreso del sismo	54
Ilustración 34 Resultado del tiempo -historia	54
Ilustración 35 Ingreso de datos para análisis	55
Ilustración 36 Ingreso de datos de carga viva y muerta.....	56
Ilustración 37 Resultado del análisis no lineal.....	56
Ilustración 38 SAP-Comparación	57
Ilustración 39 Curva Pushover -FEMA 356	58
Ilustración 40 Curva de capacidad de las pilas	59
Ilustración 41 Pila 1 -Geometría.....	60
Ilustración 42 Pila 2-Geometria	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultados desplome pila 1.....	31
Tabla 2 Resultados de desplome pila 2.....	31
Tabla 3 Factor R.....	41
Tabla 4 Datos del esclerómetro Pila 1	42
Tabla 5 Resultados de la resistencia a la compresión pila 1	42
Tabla 6 Datos del esclerómetro Pila 2	43
Tabla 7 Resistencia al hormigón de la Pila 2	43
Tabla 8 Resultados de ensayo ultrasonido	46
Tabla 9 Mantenimiento preventivo	61
Tabla 10 Mantenimiento correctivo	62
Tabla 11 Mantenimiento Correctivo	63
Tabla 12 Mantenimiento correctivo.....	64

CAPÍTULO I-GENERALIDADES

1.1 Introducción

La tecnología siempre ha avanzado constantemente, y las normas establecidas para la construcción de puentes han contribuido a mejorar la calidad de estas estructuras con el tiempo. No podemos ignorar la importancia de la investigación y desarrollo de técnicas que ayuden a mejorar la calidad de las infraestructuras. (Cuesta N & Maldonado N, 2022)

La integridad y estabilidad de las pilas son cruciales para garantizar la seguridad de los peatones y usuarios que cruzan estas infraestructuras vitales. A medida que los puentes peatonales envejecen y enfrentan diversas condiciones ambientales y cargas, pueden surgir asentamientos diferenciales en las pilas. Estos desplazamientos diferenciales pueden comprometer la tenacidad y la capacidad de carga de las pilas, poniendo en riesgo la seguridad de quienes utilizan el puente. Esto representa un desafío significativo para la ingeniería civil.(Campoverde, 2017)

Identificar los indicadores tempranos de asentamientos diferenciales en las pilas y proponer estrategias para mitigar su impacto es fundamental. A través de técnicas de inspección y monitoreo avanzadas, buscamos detectar posibles daños y evaluar el estado de las pilas. Esto nos permite tomar decisiones informadas sobre el mantenimiento y la rehabilitación. En última instancia, esta evaluación tiene como propósito garantizar que las pilas del puente peatonal mantengan su integridad estructural, asegurando un paso seguro y confiable para la comunidad. (Cuesta N & Maldonado N, 2022).

1.2 Formulación Del Problema

Los puentes peatonales son cruciales para garantizar la movilidad y seguridad de los peatones, al proporcionar conexiones vitales entre áreas urbanas. Sin embargo, con el paso del tiempo y debido a factores ambientales y de carga, estas estructuras están sujetas a desgaste y deterioro, lo que puede afectar su integridad y estabilidad.

En particular, esta evaluación se centrará en el análisis de las pilas del puente, que son elementos fundamentales para soportar las cargas y transferirlas hacia los cimientos. El problema específico que abordaremos es la evaluación estructural de las pilas del puente peatonal debido a asentamientos diferenciales. Estos asentamientos se ocasionan por varios

factores, como la heterogeneidad del suelo, la distribución desigual de las cargas o problemas en el diseño y construcción. Dichos asentamientos pueden provocar deformaciones y desplazamientos en las pilas, afectando negativamente su estabilidad y capacidad de carga.

Los aspectos principales que se deberán tomar en cuenta son reconocer los factores que producen estos asentamientos, analizar los métodos y técnicas de inspección, así como el monitoreo para identificar posibles daños.

Al abordar este problema, nuestro objetivo es proporcionar recomendaciones sólidas y soluciones efectivas para garantizar la integridad y seguridad a largo plazo de las pilas del puente peatonal. De esta manera, aseguramos que esta infraestructura vital continúe brindando una vía segura y confiable para la comunidad

1.3 Delimitación Del Problema

Entendido, según el problema planteado, la evaluación se centra específicamente en la salud estructural de las pilas del puente peatonal de Nulti. Esto se debe a que el puente peatonal fue restaurado recientemente después de sufrir un impacto por un vehículo de carga pesada, lo que podría haber causado una rotación o desplazamiento que no sería adecuado para una nueva estructura.

Durante la restauración, se reemplazaron la mayoría de las piezas, como las vigas, ya que actualmente están en buen estado. Dado que los asentamientos diferenciales pueden afectar la estabilidad del puente, se evaluará la viabilidad económica y temporal de las soluciones propuestas.

Es fundamental encontrar un equilibrio entre la resolución de problemas estructurales y los recursos disponibles. Se investigará la importancia del mantenimiento periódico y el monitoreo continuo de la salud estructural del puente para prevenir futuros problemas

1.4. Justificación

La seguridad de los usuarios de los puentes peatonales es primordial, dado que estos pasos son utilizados por una amplia gama de personas, incluyendo niños, adultos y personas con

movilidad reducida. Cualquier deterioro o daño en la estructura de estos puentes podría poner en riesgo la vida y la integridad física de quienes los atraviesan.

Las pilas son elementos cruciales que sostienen la estructura del puente y transmiten las cargas hacia los cimientos. Por lo tanto, cualquier deterioro o daño en estas pilas podría comprometer la estabilidad y resistencia del puente, lo que a su vez pondría en riesgo la seguridad de los peatones.

La evaluación de la salud estructural de las pilas, con un enfoque en los asentamientos diferenciales, es esencial para garantizar la seguridad de los peatones, prevenir problemas ocultos y asegurar la integridad a largo plazo de la infraestructura. La detección temprana y la atención adecuada a estos problemas son fundamentales para proteger a la comunidad y preservar la funcionalidad del puente en beneficio de todos los usuarios.

Es necesario comprender e implementar evaluaciones de seguridad estructural que consideren los factores externos, especialmente las cargas. Durante el proceso de construcción, es crucial supervisar y asesorar la ejecución de la obra para evitar consecuencias que puedan llevar al colapso, especialmente cuando la estructura no está diseñada para las cargas que normalmente debería soportar.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Evaluar la salud estructural de las pilas del puente peatonal de Nulti para generar un plan de mantenimiento.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento detallado de información sobre las pilas del Puente Peatonal de Nulti, materiales, antigüedad y cualquier registro de mantenimiento realizado anteriormente.
- Utilizar técnicas de ensayo no destructivas, como Esclerometría, Escáner de hierros, vibración ambiental, ensayo de ultrasonido para evaluar la salud estructural de las pilas y detectar posibles defectos.
- Plantear recomendaciones a los responsables del mantenimiento del Puente Peatonal de Nulti, de acuerdo con el análisis de los resultados de las inspecciones y ensayos realizados, para así puedan tomar las medidas necesarias.

1.6 Estado del Arte.

A continuación, se presentan trabajos relacionadas sobre la Evaluación de la Salud Estructural en Puentes:

Entre estos tenemos la Evaluación del Estado Tenso-Deformacional del Puente Nulti Sur, el cual se centra en analizar el estado actual del puente Nulti Sur, ubicado en la autopista Cuenca-Azogues, para lo cual se emplearon diversas metodologías, incluyendo pruebas no destructivas y la creación de un modelo matemático tridimensional utilizando elementos finitos. Los resultados permitieron evaluar el estado tenso-deformacional de la superestructura, identificar posibles causas de deflexiones y confirmar la seguridad estructural del puente. Además, se plantean conclusiones, recomendaciones y acciones correctivas. (Campoverde, 2017).

Otro estudio es la Propuesta para Mantenimiento Estructural del Paso Elevado sobre la Avenida 24 de Mayo en Prolongación con la Calle Bartolomé Serrano del Cantón Azogues, el cual se enfoca en proponer un plan de mantenimiento estructural para un paso elevado específico. Se realizó una revisión exhaustiva de literatura y documentación, analizando la evolución y elementos de estas estructuras. La investigación integra análisis estructural detallado con inspecciones visuales sistemáticas, contribuyendo al desarrollo de prácticas de mantenimiento preventivo y correctivo. (Cantos R. Esteban R., 2021).

Finalmente podemos citar la Evaluación Estructural del Puente Los Baños del Distrito Las Yaras, Tacna 2021, para lo cual se utilizó el método LRFD. Una de las actividades desarrolladas en este estudio fue una evaluación visual y estructural detallada de los elementos del puente, incluyendo vigas, losas, estribos y apoyos. Se emplearon ensayos de esclerómetro y software de análisis estructural para comprender su comportamiento y estado actual. (Maquera H, 2021).

CAPÍTULO II – METODOLOGIA

Sobre la base de las investigaciones presentadas en el estado del arte, se propone la siguiente metodología para realizar la Evaluación de la Salud Estructural de las pilas de un puente:

- **Inspección visual:** Realizar una inspección visual exhaustiva del puente para identificar cualquier signo evidente de daño, como grietas, corrosión, deformaciones, desplazamientos o cualquier otro deterioro visible.
- **Pruebas no destructivas (PND):** Emplear técnicas de pruebas no destructivas, como ultrasonido, Esclerometría, Topografía, vibración ambiental, Escáner de Hierros, entre otras, para evaluar la integridad estructural de los materiales y detectar posibles defectos internos sin afectar la estructura del puente. . (Campoverde, 2017)
- **Análisis estructural:** Utilizar software de análisis estructural para modelar el comportamiento del puente bajo diferentes cargas y condiciones. Esto puede incluir análisis estáticos y dinámicos para evaluar la resistencia, rigidez y estabilidad del puente frente a cargas gravitacionales, sísmicas y de viento. Realizar pruebas de carga para evaluar la respuesta del puente bajo condiciones de carga real. Estas pruebas pueden incluir la aplicación controlada de cargas estáticas o dinámica para medir deflexiones, deformaciones y comportamiento estructural. (Maquera H, 2021).
- **Análisis de resultados:** Analizar todos los datos recopilados durante las inspecciones, pruebas y monitoreo para evaluar la salud estructural del puente. Compara los resultados con criterios de diseño, códigos de construcción y estándares de seguridad para identificar cualquier anomalía o área de preocupación. Una vez obtenidos los resultados se puede llegar a crear un plan de mantenimiento para su reparación o reforzamiento del puente, así como sugerencias para mejorar su vida útil y seguridad estructural. (Cantos R. Esteban R., 2021)

Con el propósito de integrar y tener una evaluación completa para tener resultados óptimos se seguirá la metodología antes mencionada.

CAPITULO III - MARCO TEÓRICO

3.1 Puentes

Los puentes son una estructura en la cual se permite a las personas el cruce de obstáculo construido sobre una carretera, río, son consideradas la infraestructura moderna, está conformado por dos partes la superestructura (los vanos) y la infraestructura que son las pilas, que soportan las cargas de los tramos. (PERALTA P. FRANKLIN, 2018)

3.2 Tipos de puentes por su uso

3.2.1 Puentes vehiculares

Son las cuales están diseñados para el paso de vehículos para el cruce de obstáculos geográficos como ríos, carreteras u otras vías de alto tráfico, los cuales pueden variar su luz y sus cargas respectivamente los cuales deben garantizar la seguridad y la durabilidad.

3.2.2 Puentes peatonales

Es una estructura que permite el paso de transeúntes, sobre corrientes de agua, o cruce a desnivel, garantiza una circulación continua en áreas urbanas y suburbanas para evitar accidentes, pueden ser de diferentes materiales como de madera, ladrillo, acero, aluminio están diseñados para poca carga, así como su luz también es menor.(Juárez F. Luis, 2023)

3.3 Tipos de puentes por su longitud

- Puentes con luces de vano >50m
- Puentes con luces de vano >10

3.4 Tipos de puentes por material

Pueden ser de diferentes tipos de materiales los principales puede ser:

3.4.1 Puentes de madera

Actualmente no son muy comunes estos están compuestos por vigas y tablones de maderas como madera de material principales, se los encuentra en áreas más rurales, o solamente peatonales.

3.4.2 Puentes de acero

Se construyen con estructuras de acero o vigas de acero, son conocidos por su resistencia y versatilidad en la construcción.

3.4.3 Puentes de concreto

La mayor parte de la estructura está hecha de hormigón o concreto reforzado, son los más duraderos y se utiliza en la mayoría de los puentes. (Campoverde, 2017).

3.5. Tipos de puentes por estructura

3.5.1 Puentes viga losa

Estos tipos de puente son unos de los más económicos ya que consiste en vigas largas que soportan una losa de concreto o asfalto, se los utiliza cuando su luz es corta o mediana, estas se sostienen por pilares que son capaces de dividir la carga en áreas muy amplias, se recomienda si se necesita reforzar puede utilizar las cerchas o pilotes lo que sea conveniente (Borbor B. María A. & Ponce P. Henry P., 2022).



Ilustración 1 Puente Viga Losa

Fuente: (Borbor B. María A. & Ponce P. Henry P., 2022).

3.5.2 Puente en Arco

Son estructuras que se tienen una forma curva, el cual la carga del puente se distribuye en el mismo arco permitiendo que sean unas estructuras bien sólidas, pueden ser de material como de acero o concreto etc., Puentes ende ser peatonales o vehiculares.



Ilustración 2 Puente Arco

Fuente: (Borbor B. María A. & Ponce P. Henry P., 2022).

3.5.3 Puentes colgantes

Los puentes colgantes en la actualidad su material es de alambre de aceros unidos entre sí, tiene una pasarela suspendida con dos torres altas, los cables se transfieren el peso de la calzada a

compresión a las torres y estos los disipan a los bloques de anclajes que son como soporte. (Juárez F. Luis, 2023)

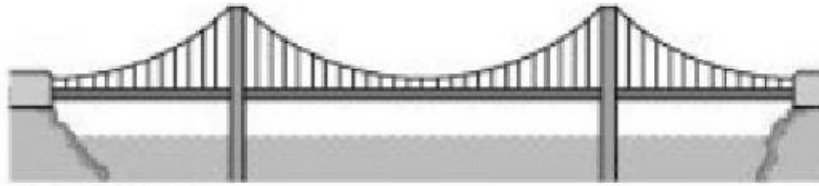


Ilustración 3 Puente Colgante

Fuente: (Borbor B. María A. & Ponce P. Henry P., 2022).

3.6 Componentes de una estructura de un puente metálico

Los componentes principales de puentes son los siguientes:

- Superestructura
- Subestructura
- Accesorios (opcional)

3.6.1 Superestructura

Es la parte del puente que se encuentra por encima del nivel del suelo, constituye la parte horizontal que une la distancia entre ambos claros, consiste en el tablero y las armaduras. Unos de los componentes son los siguientes (Aronés V. Álvaro P. & Cortés A, 2018):

- Vigas y Losa de Cubierta
- Barandas y Pasamanos
- Juntas de expansión

3.6.2 Subestructura

Estas partes de la estructura son las que se encuentran en la parte baja del nivel del suelo, sirven de soporte y estabilidad al mismo, ayudan a distribuir las cargas del puente de manera segura. Algunos de los componentes (Juárez F. Luis, 2023)

- Pilares o Columnas
- Zapatas
- Pilotes

- Muros de Contención
- Estribos
- Cimentaciones Profundas.

3.6.3 Accesorios

Estos accesorios no tienen una función estructural, pero son necesarios para completar con un funcionamiento adecuado como lo son la rodadura, barandas o juntas de expansión, acera, drenaje, señalización. (RIÑO A. HOWART, 2019)

3.7 Pilas

Son las que soportan la superestructura en su inicio y final del puente, los cuales soportan fuerzas longitudinales de tierra por debajo del puente. (Aronés V. Álvaro P. & Cortés A, 2018)

- **Pilas de puentes en voladizo:** Se construyen desde la base del río hacia arriba y son comunes en puentes largos. Se hacen mediante la construcción sucesiva de segmentos de pila en voladizo desde una base temporal.
- **Pilas de puentes en arco:** Tienen una forma de arco y son comunes en puentes de arco. Proporcionan soporte lateral y resistencia a la compresión a lo largo de los arcos del puente.
- **Pilas de puente viga:** Son típicas en puentes de viga. Pueden tener una variedad de formas, como pilas rectangulares o en forma de T, y proporcionan soporte para las vigas del puente.
- **Pilas de puentes colgantes:** En los puentes colgantes, las pilas están ubicadas en las torres de soporte desde las cuales se suspenden los cables principales. Estas pilas proporcionan el soporte vertical necesario para el puente. (SEGUEL A. JOSÉ, 2019)
- **Pilas de puentes de celosía:** Las pilas tienen una estructura de celosía, lo que significa que están formadas por una red de barras y tirantes conectados entre sí. Este diseño proporciona resistencia estructural y es común en puentes ferroviarios.
- **Pilotes:** En lugar de pilas tradicionales, algunos puentes utilizan pilotes, que son elementos estructurales alargados que se introducen en el suelo para proporcionar soporte. Estos se utilizan comúnmente en puentes sobre terrenos inestables o con condiciones de suelo específicas.

La elección del tipo de pila depende de varios factores, como la ubicación del puente, las condiciones del suelo, el diseño estructural y la longitud del puente. Cada ejemplo de pila tiene sus propias ventajas y desventajas en términos de costos, resistencia y estética.(BARBA M. MARIA & MOLINA Z. MARIO, 2012)

3.7.1 Patologías del hormigón

Es uno de los elementos estructurales que pueden experimentar diferentes patologías y estos aparecen a lo largo del tiempo son los siguientes:

- **Corrosión:** Dentro de los pilares de concreto existe a la corrosión en la armadura de acero esta patología puede ocasionar que se debilite la estructura. (Mac & Fontao, 1996)
- **Figuración:** Las fisuras suelen aparecen debido a que existen una carga mayor a la que está permitida o movimientos del suelo, o ya el diseño de estas no son las óptimas.(M.D. GÓMEZ PULIDO, 2007)
- **Carbonataciones:** trata cuando el dióxido de carbono se inserta en el concreto, reduciendo considerablemente su alcalinidad, ya que si existen grietas o pequeños agujeros pueden llegar con más facilidad hacia el acero.(Mac & Fontao, 1996)
- **Deformaciones:** Se ocasiona deformaciones cuando existen asentamientos diferenciales, o inclinaciones.
- **Daños estructurales:** En casos de fuerza mayor como eventos sísmicos o impactos que exista un cambio bien significativo que dañe la estructura de los pilares como consecuencia su capacidad de soporte es mucho menor.(Traversa, 2004)
- **Desgaste mecánico:** Se recomienda que los pilares deben tener un mantenimiento de forma periódica ya que puede existir un desgaste debido al tráfico constante que puede existir en la zona.
- **Deficiencia de diseño:** Cuando el diseño es ineficiente ya que sus secciones o su refuerzo no es suficiente para que existan patologías muy graves en los pilares.

Debe existir una constante inspección, mantenimiento para poder garantizar la estabilidad y seguridad a las pilas que es parte importante del puente. (Cantos R. Esteban R., 2021).

3.8 Vida útil

La vida útil para un puente es el periodo de tiempo en el cual la estructura cumple con su función, pero dependerá de muchos factores como son los materiales, calidad de la construcción, el entorno, así como el diseño y su mantenimiento regular por lo general los puentes que cumplen con todo esto puede tener una vida útil de 50 a 100 años contando siempre con un mantenimiento regular y con las reparaciones oportunas.

Las inspecciones de seguridad y las evaluaciones del rendimiento estructural son primordiales para garantizar que los puentes sigan funcionales a lo largo de su vida útil prevista, a pesar de que puede haber factores externos que afectarían su durabilidad.(LOPEZ R. HERNAN & SALAS G. DAVID, 2017)

3.9. Ensayos no destructivos

3.9.1 Topográfico

Con la ayuda de la estación total se realiza el ensayo topográfico en las pilas lo cual se puede obtener la medición, el mapeo preciso de su ubicación, alturas y la elevación y otros aspectos topográficos relevantes de las pilas para evaluar la estabilidad y la integridad estructural a lo largo de los años.(MEJIA CH. ANGEL & SALAZAR V. JORGE, 2019)

3.9.2 Escáner de hierros

El escáner de hierros en los puentes es un ensayo no destructivo, el cual sirve para detectar y valorar la presencia la ubicación y estado de las barras de refuerzo de acero. Esta herramienta utiliza una tecnología electromagnética el cual penetran en el concreto de las pilas para poder mapear la distribución de estos. Con esto se puede identificar el deterioro, corrosión o daños en las barras. Con ayuda de la información obtenida por esta herramienta se puede evaluar la necesidad de algún mantenimiento o reforzamiento para garantizar la integridad del puente.(Saracho José Anibal, 2012)

3.9.3 Vibración ambiental

Para realizar el ensayo de vibración ambiental se necesita un Raspberry, para poder evaluar las respuestas a las cargas generadas por los transeúntes u otros factores ambientales.(MONTES DE OCA CARO HAROLD, 2017)

3.9.4 Esclerómetro

El esclerómetro sirve para poder saber la resistencia a la compresión de algunos elementos de hormigón armado, ya que esto se lo realiza de forma inmediata, y fácil ya que no es necesario estar con un profesional para poder manipular esta herramienta, este cuenta con la norma ASTM C-805.(FARFAN D. EDUARDO, 2020)

Es una herramienta que contiene un martillo especial en el cual por el rebote permite determinar la resistencia del concreto, el valor obtenido proporciona una indicación de la calidad del concreto para saber la capacidad de carga y desgaste.

3.9.5 Ultrasonido

El ensayo de ultrasonido es una técnica no destructiva que utiliza ondas sonoras de alta frecuencia, se utiliza para inspección de soldaduras, detectar grietas, la calidad estructural, lo bueno que como tiene alto nivel de sensibilidad se detectan imperfecciones mínimas.(ARRIAGA F. FERNANDO, 2015)

3.9.6 Tipos de análisis (SAP)

- **Espectro de diseño y análisis modal-espectral**

Este análisis se emplea para entender cómo se transfiere la energía sísmica del suelo a las diferentes estructuras, con la ayuda del espectro de diseño evaluamos el comportamiento del suelo cuando éste es sometido a vibración de algún registro sísmico de forma virtual. El suelo provoca cargas laterales que hacen que las estructuras presenten movimientos en todas sus direcciones. Por lo que este provoca que existan varios modos de vibración según el material el cual este constituido el puente entonces tenemos la respuesta del edificio cuando está en diferentes circunstancias sísmicas, para conocer si todas cumplen con el requerimiento de algunas normas.(CARDOZA Q. MARVIN & VILLALOBOS Z. JOSE, 2005)

- **Tiempo -Historia**

En el análisis temporal de SAP, se evalúan las cargas dinámicas que varían continuamente, usualmente desencadenadas por sismos, proporcionando datos de aceleración, velocidad y desplazamiento en función del tiempo. Este proceso es vital para evaluar la seguridad de las estructuras y determinar los puntos críticos de falla. En SAP, se utilizan herramientas especializadas para simular y analizar el comportamiento

de las estructuras bajo cargas temporales, como eventos sísmicos, viento o vibraciones, garantizando su resistencia y durabilidad.(LOPEZ N. SAUL, 2021)

- **No lineal**

Análisis Pushover: Es un método de análisis sísmico que simula la respuesta de una estructura a cargas laterales incrementalmente crecientes.

Aplicación de Cargas: En SAP2000, las cargas se aplican de forma gradual y monótona, normalmente distribuidas a lo largo de la altura de la estructura de acuerdo con alguna forma de distribución de carga predefinida.

Monitoreo de No Linealidades: Durante la aplicación de la carga, se monitorea la respuesta de la estructura para capturar las no linealidades tanto geométricas como de material que se manifiestan a través de la formación de bisagras plásticas.

Rotulas Plásticas: Son puntos definidos dentro de elementos estructurales donde se espera que ocurra el rendimiento inelástico. En SAP2000, estas rotulas plásticas se modelan usando propiedades que definen la capacidad de rotación antes de la falla.

Evaluación de la Capacidad Sísmica: El resultado del análisis pushover es una curva de capacidad que muestra la relación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento lateral. Esta curva es fundamental para evaluar la capacidad sísmica de la estructura.

Determinación del Punto de Desempeño: El análisis permite identificar el punto de desempeño de la estructura, que es la capacidad máxima de deformación y carga antes de que se produzcan daños significativos.(LOPEZ N. SAUL, 2021)

3.10 Causas y Razones de Sustitución de un puente

Se pueden clasificar en diferentes categorías ya que puede ser:

- Colapso de una estructura debido a errores en el diseño
- Colapso por trafico
- Colapso por accidentes naturales.
- Colapso por accidentes accidentales, terremotos
- Demolición intencional por motivos estructurales y funcionales.(ALTAMIRANO N. MARCO, 2013)

3.11 Tipos de mantenimiento de un puente

Para garantizar la integridad de la estructura como lo es del puente se debe realizar diferentes tipos de mantenimiento los cuales deben ser los siguientes (Cantos R. Esteban R., 2021):

3.11.1 Mantenimiento preventivo:

Este mantenimiento se debe realizar anualmente, se recomienda para que se tenga una conservación en el cual incluye:

- Inspecciones regulares: Con la ayuda de inspecciones visuales ya que se detectan y con el tiempo se puede convertir en un daño significativo
- Limpieza y despeje: Se elimina toda la vegetación, sedimentos, escombros, o algo que puede bloquear el sistema de drenajes
- Pintura y revestimiento: Se aplican capas de pintura o algún tipo de recubrimiento para evitar la corrosión en el caso que sea puentes de acero (Unidad de Puentes Programa de Ingeniería Estructural, 2022)

Todo esto se lo realiza en la rodadura, juntas de dilatación, drenes, coronas, estribos, pilas, columnas aleros, y reparaciones menores.

3.11.2 Mantenimiento correctivo:

Son las correcciones que se deben hacer de manera eventual para garantizar la durabilidad del puente para dar un servicio. No tiene un tiempo definido, las acciones principales son la reparación (López R. Hernán & Salas G. David, 2016)

- Reparación menor: son las cuales se identifican como fisuras, corrosión localizada
- Reemplazo de componentes: Sustituir partes que se encuentren desgastada, o ya dañadas como lo son las barras de contención, o juntas de expansión.
- Restauración estructural: Se va a restaurar la integridad de la estructura ósea reforzar los pilares o las vigas.

3.11.3 Reforzamiento:

Este tipo de mantenimiento se da después de realizar las inspecciones detalladas, cuando se da a conocer que existen daños ya más relevantes como lo son reforzar la estructura (Cantos R. Esteban R., 2021).

- **Proyectos de reconstrucción:** Dependiendo de los daños si es grave se realiza los proyectos para restaurarlo.
- **Mejoras de diseño:** Si se desea aumentar la capacidad de la carga d para mejorar la eficiencia del puente, así como garantizar un buen servicio.
- **Modernización:** Se puede realizar mejoras eléctricas, o sistemas de iluminación o algo que controlo mejor el tráfico

Como por ejemplo se puede realizar en una cimentación o reposición de las juntas de dilatación, o sustituciones de la superestructura, esto ya incluye un gasto económico mayor porque son materiales dependiendo de las estructuras.

3.12 Normativas

Las diferentes normas son códigos de construcción, que su función principal es proteger a la sociedad, contra el mal funcionamiento de las diferentes estructuras, los cuales son criterios técnicos que se deberán cumplirse en el diseño o la evaluación.

Para realizar esta evaluación del estado se basará en algunas normas las cuales son:

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-HM): Detalla todos los requerimientos mínimos de seguridad y calidad que se deben cumplir en las construcciones del país para tener un mantenimiento.
- Especificación AISC 360-10 para Construcciones de Acero

CAPITULO IV- CASO DE ESTUDIO

4.1 Evaluación de la salud estructural de las pilas del puente peatonal de Nulti

4.2 Ubicación

El puente se encuentra ubicada en el km 15 de la vía Cuenca-Azogues, en la parroquia Nulti, cerca del cuartel General Dávalos, cuenta con 36 metros de longitud que permite el paso diario de habitantes de Nulti, ya que colapso debido a un impacto de un camión el 22 de enero del 2020. Cuenta con dos vigas metálicas, pasamanos y sus otros elementos para formar una superestructura de 36 m, con dos pilas de hormigón armado.



Ilustración 4 Vista aérea del Puente Peatonal de Nulti



Ilustración 5: Fuente propia

4.3 Ensayos no destructivos

4.4 Procedimiento del Ensayo Topográfico

- El equipo topográfico debe estar calibrado y listo para realizar el levantamiento, se colocaron algunos puntos de control alrededor de las pilas del puente para tener información más precisa durante el proceso. Con la estación total se registra la ubicación precisa de las pilas, así como saber la elevación o su inclinación, después se procesan los datos recopilados para sacar los detalles que muestran su ubicación y características topográficas de las pilas, así como su geometría actual para evaluar la posición o estado desde la construcción.
- Con esto permite realizar una evaluación estructural de las pilas para saber si se requieren diferentes reparación o mantenimiento.
- Se realizó una plomada para verificar de forma vertical y alineada de una manera precisa, esto se realizó comprobando primeramente que la pila este limpia ya que se va medir verticalidad esto implica suspender un objeto ponderado en la parte superior de la pila y observar si se encuentra directamente sobre un punto fijo en la base de la pila. Se registra la medición para poder comparar entre las dos pilas.



Ilustración 6 Ensayo Topográfico

Se obtuvieron datos en la parte superior e inferior de la pila obteniendo un desplome de 17.24 cm, se debe tener en cuenta que pudo ser a causa del accidente por el cual paso este puente.


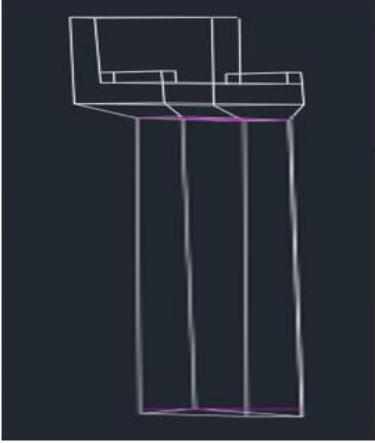
PILA 1						
					<p>Geometría</p> <p>Centro X 730184.434</p> <p>Centro Y 9683362.460</p>	
					<p>Geometría</p> <p>Centro X 730184.375</p> <p>Centro Y 9683362.298</p>	
#PUNTOS	COORDENADAS		DESPLOME		LONGITUD TOTAL	
	X	Y	x	y	m	cm
1 Punto Superior Pila	730.184,434	9.683.362,460	0,059	0,162	0,1724094	17,24
2 Punto Inferior Pila	730.184,375	9.683.362,298				

Tabla 1 Resultados desplome pila 1

Se realizó lo mismo de la pila 1 en el cual se obtuvo un desplome de 5.36 cm esto en la pila 2.


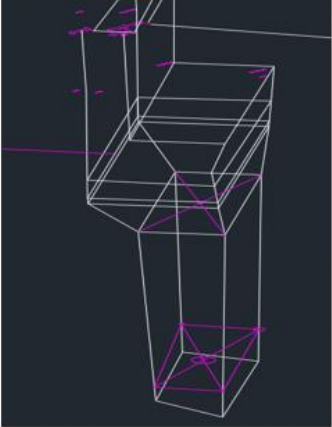
PILA 2						
					<p>Geometría</p> <p>Centro X 730206.697</p> <p>Centro Y 9683334.486</p>	
					<p>Geometría</p> <p>Centro X 730206.710</p> <p>Centro Y 9683334.538</p>	
#PUNTOS	COORDENADAS		DESPLOME		LONGITUD TOTAL	
	X	Y	x	y	m	cm
1 Punto Superior Pila	730.206,697	9.683.334,486	-0,013	-0,052	0,05360037	5,36
2 Punto Inferior Pila	730.206,710	9.683.334,538				

Tabla 2 Resultados de desplome pila 2

Según el criterio de visión 2000, los desplazamientos deben variar entre 0.5-1% de su altura, con lo cual la pila 1 no se encuentra dentro del rango ya que el desplazamiento debe estar entre 4.2-8.5 cm.

4.5 Procedimiento del Ensayo de Escáner de hierros

- Con la ayuda del escáner de hierros, se colocó en cada una de las pilas de forma vertical y horizontal, para poder realizar se colocó en una superficie limpia sin obstrucciones para que no existan alteraciones durante el escaneo. La configuración del escáner se debe ajustar de acuerdo con las características del entorno y se debe conocer la profundidad para la penetración requerida. Se mueve el escáner sobre la superficie permitiendo que se identifique sus barras de refuerzos u otro cualquier elemento metálico, ya una vez obtenidos estos datos se puede determinar la distribución, así como también la orientación del concreto, al saber que con la ayuda del escáner se conoce todo lo interno que no se ve a simple vista, es un ensayo importante.



Ilustración 7 Ensayo de Scanner de hierros

- Una vez que se terminó el ensayo se obtuvo estos resultados los cuales nos indican la separación de hierro que existe entre ellos, así como saber la profundidad a los que están colocados

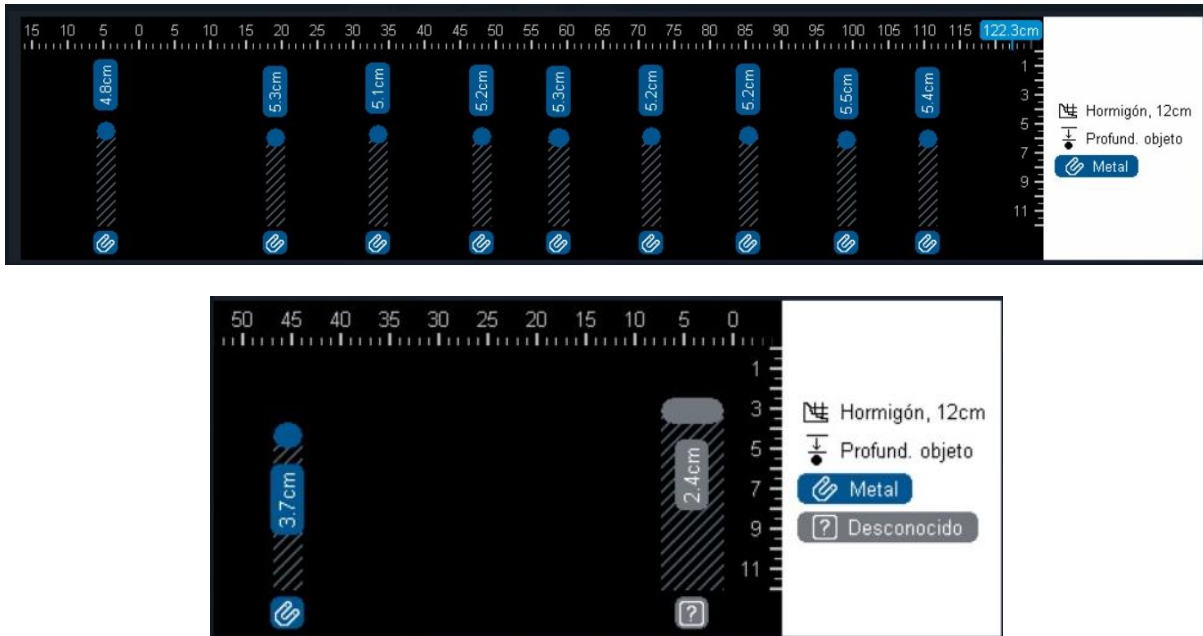


Ilustración 8 Resultados del escáner de hierros

La sección 4.3.4 de la Norma para la Ejecución de Concreto Estructural de la NEC-SE-HM establece que si la separación entre los estribos es mayor a 500 mm, se requiere colocar barras longitudinales adicionales con ataduras espaciadas a no más de 350 mm en dirección perpendicular al eje del elemento.

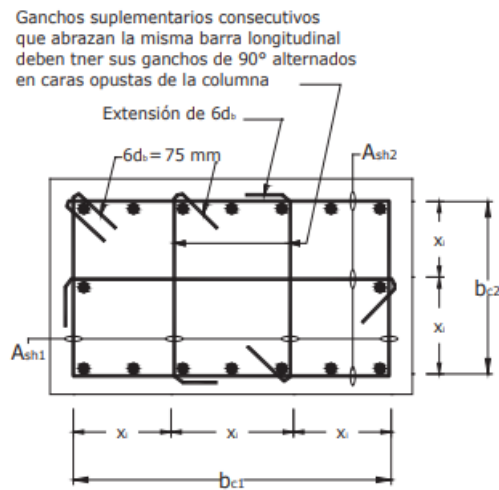


Figura 10: Ejemplo de refuerzo transversal en columnas

En diferentes estructuras que no se cumplan con el requisito de regularidad en la altura, se debe tomar en cuenta un confinamiento especial, que abarque toda la sección.

Conociendo esos resultados obtenidos, se ha decidido comprobar matemáticamente, si el hierro que se colocó es el correcto para eso, utilizando las fórmulas ya conocidas nos daría el siguiente resultado:

DATOS DE LA PILA

$b := 60 \text{ cm}$ $h := 150 \text{ cm}$

$\#Varillas := 48$ $\phi_{varilla} := 2.54 \cdot \text{cm}$

ÁREA DE HORMIGÓN

$A_g := b \cdot h = (9 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$

ÁREA DE ACERO MÍNIMO

$A_{smin} := 1\% A_g = 90 \text{ cm}^2$

ÁREA DE ACERO MÁXIMO

$A_{smax} := 3\% A_g = 270 \text{ cm}^2$

ÁREA DE ACERO EXISTENTE

$A_{existente} := \#Varillas \cdot \pi \cdot \frac{(\phi_{varilla})^2}{4} = 243.22 \text{ cm}^2$

Estribo de 10 mm para varillas de $\phi < 32 \text{ mm}$

Ilustración 9 Cálculo del acero de la Pila

Como se observa en la Ilustración 8 se puede ver que el acero que existe en la pila no sobrepasa al acero máximo, ya que el valor del acero existente es de 243.22 cm² lo cual está dentro del rango del máximo y mínimo lo que nos daría que está bien diseñada no tendríamos ningún problema a nivel estructural debido a las dimensiones que tiene la pila. En la siguiente ilustración está el armado completo de cómo debería ser lo óptimo en cuanto al diseño.

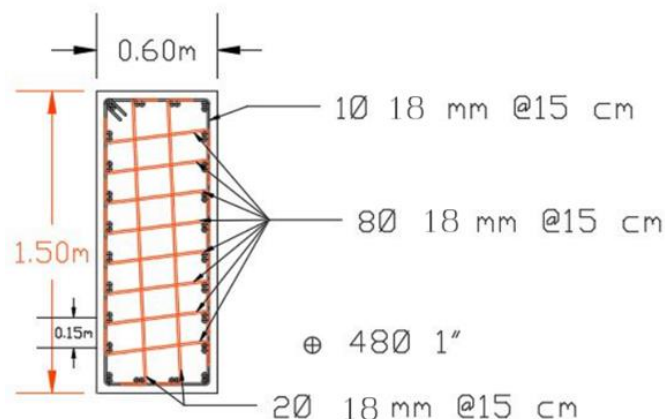


Ilustración 10 Armado de la Pila

4.6 Procedimiento del Ensayo de Vibración ambiental

- Con el monitoreo de la vibración este se coloca, en una parte específica del puente para poder medir las diferentes cargas dinámicas, este proceso dura alrededor de unos 30 minutos cada pila, con la ayuda de un software específico se analizan los datos obtenidos se determinan si existen algún nivel de vibración o algún efecto perjudicial que pueda afectar al puente en cuanto a su integridad estructural.
- Ya una vez procesados estos datos son comparados con algunos estándares de seguridad para comprobar que se esté cumpliendo con las normativas de diseño preestablecidas.



Ilustración 11 Ensayo Vibración Ambiental (Raspberry).

Resultados de la Vibración Ambiental

Con ayuda del programa Geopsy, se va a ingresar la señal y lo primero que se debe saber es que el Raspberry la señal que emite es en tiempo y counts es una medida de energía, y se debe encerrar el tiempo el cual está en UTC el cual se pone en 0 a 0.01s.

- Para pasar de counts a aceleración (m/s^2) para esto se ha utilizado un factor de conversión el cual es de 386825 $m/s^2/counts$ para así ya obtener en tiempo y aceleración.

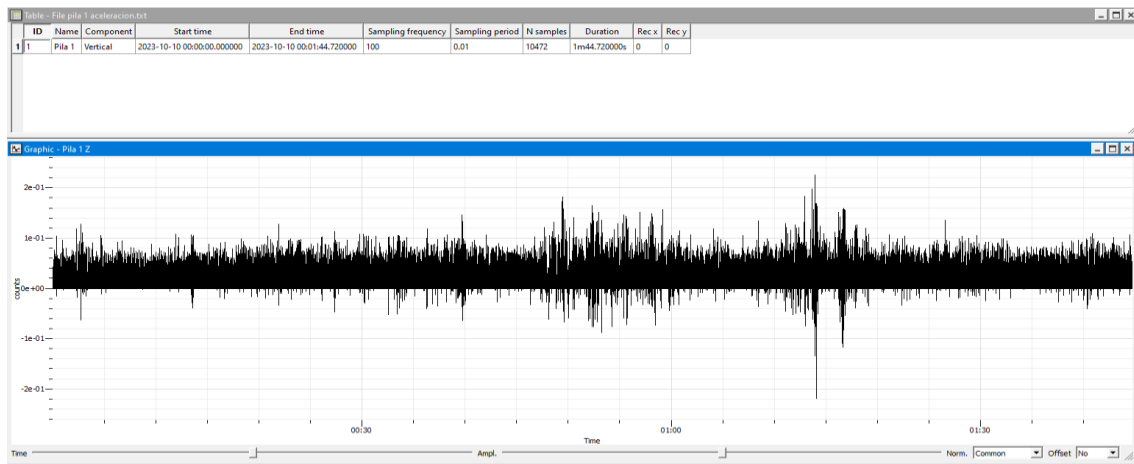


Ilustración 12 Señal importada en Geopsy-Pila1

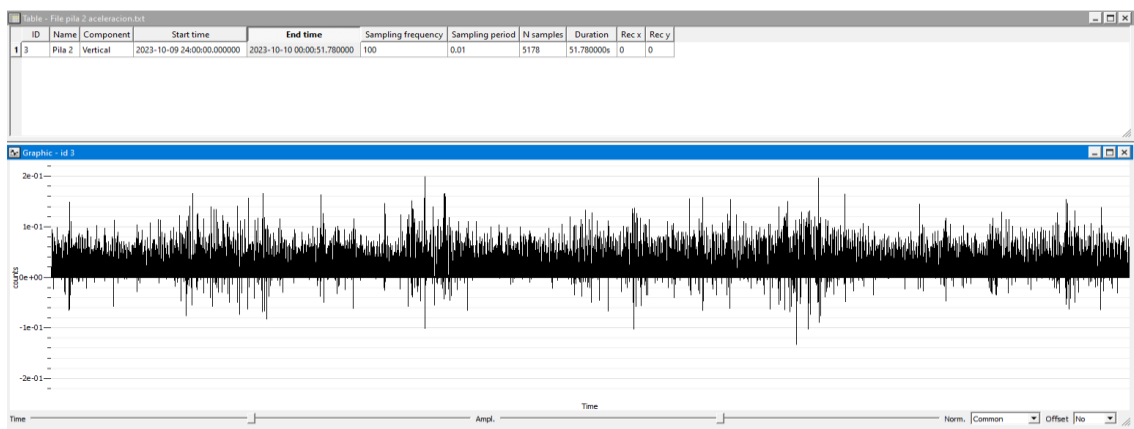


Ilustración 13 Señal importada en Geopsy Pila 2

Con la opción Mein valor, encerramos la señal en sus puntos medios ya que cuando se trabaja con señales sísmicas o cualquier otro tipo de señal en geofísica, es común encontrar movimientos que oscilan alrededor de un punto medio. Sin embargo, este desplazamiento no afecta el análisis en sí, ya que lo que realmente importa es la información contenida en la señal en relación con el tiempo y la amplitud. Por lo tanto, al establecer un punto de referencia estático en el plano cartesiano, podemos concentrarnos en identificar y comprender los patrones y características de la señal sin verse afectados por desplazamientos transitorios.

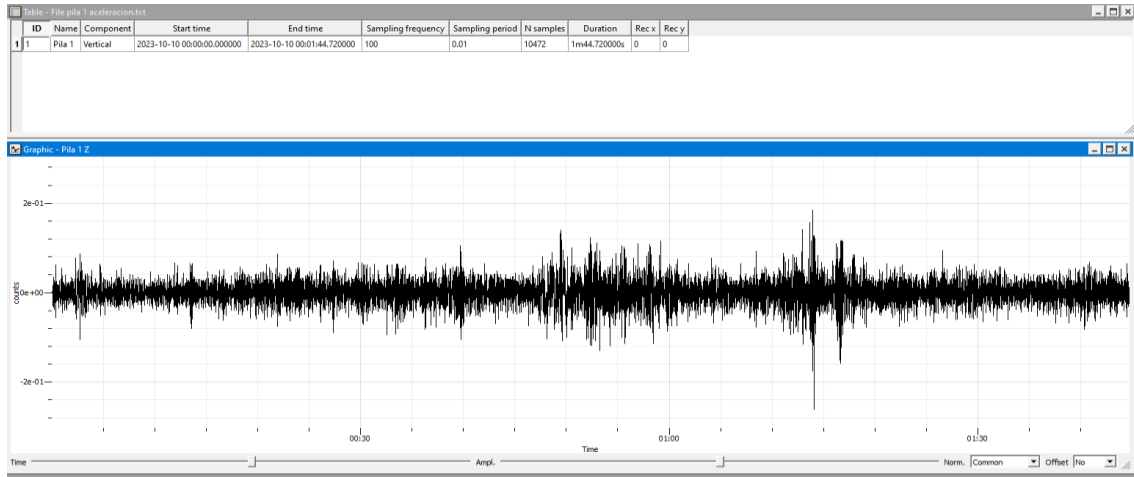


Ilustración 14 Señal encerada con valores medios-Pila 1

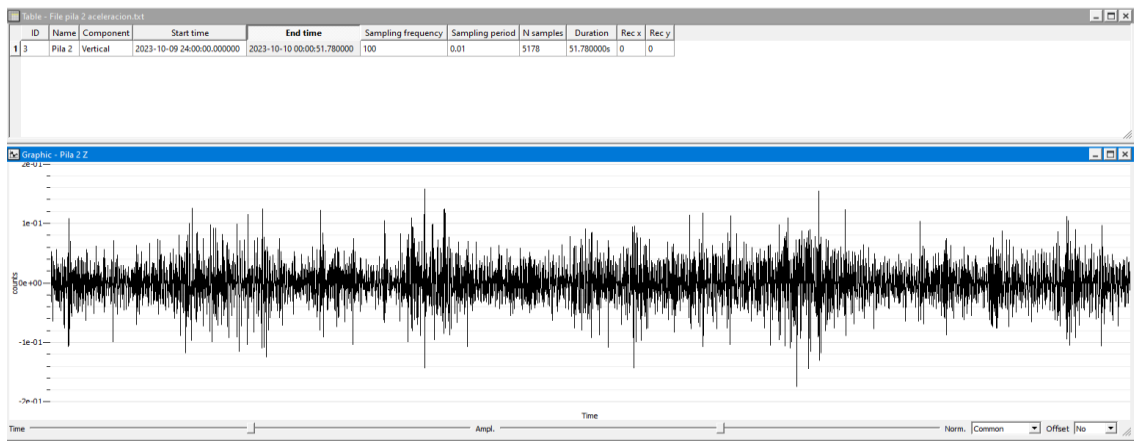


Ilustración 15 Señal encerada con valores medios -Pila 2

- Se configura para poder extraer por ventanas y tener señales más precisas y claras esto se lo hace mediante un proceso que se llama Hamming se debe tener más de 20 ventanas.

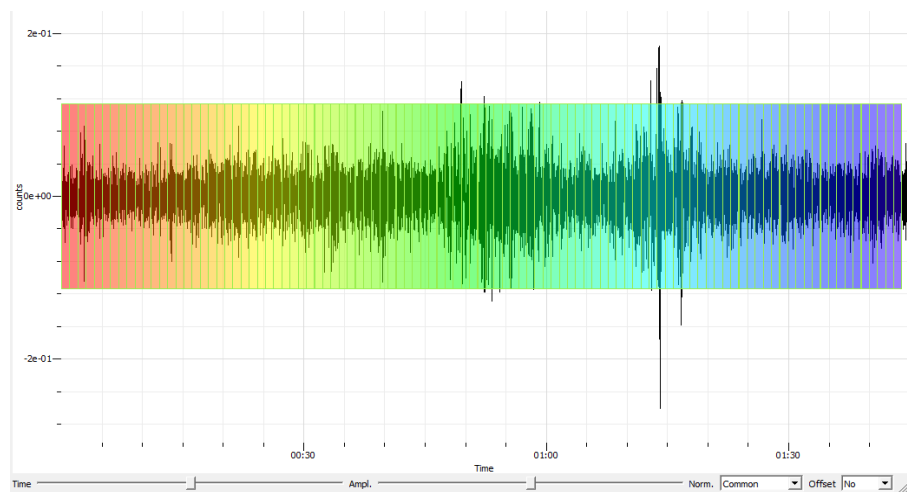


Ilustración 16 Ventanas de análisis-Pila 1

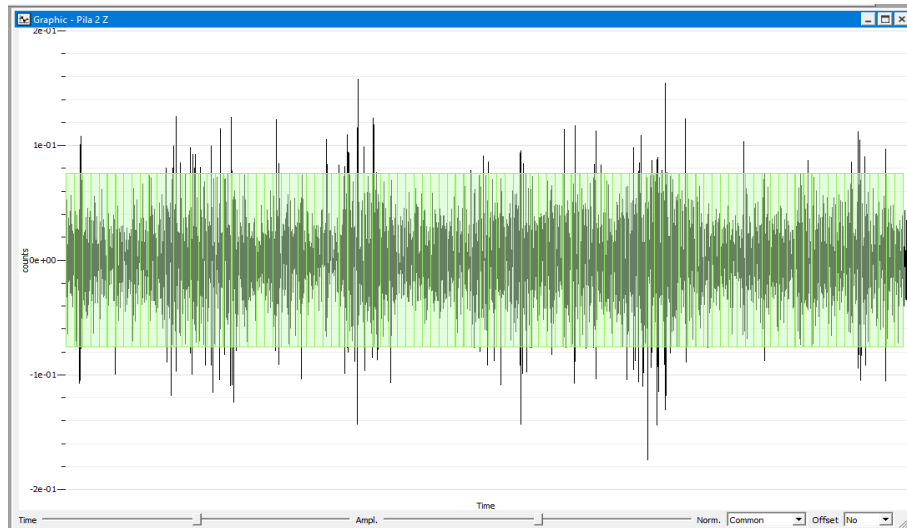


Ilustración 17 ventanas de Análisis de la Pila 2

- Esta señal se queda lo más limpia posible en el cual se ha escogido el caso más crítico en el que la primera pila se obtuvo los siguientes resultados.

$$F = 4.76 \text{ Hz}$$

Dando un periodo de

$$T = 0.21 \text{ s}$$

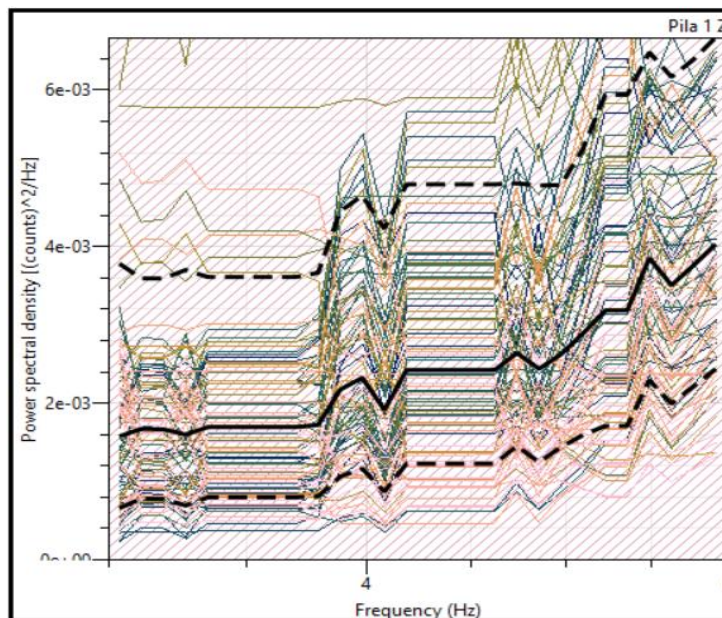


Ilustración 18 análisis de frecuencia -Pila 1

- Esta señal se queda lo más limpia posible en el cual se ha escogido el caso más crítico en el que la primera pila se obtuvo los siguientes resultados.

$$F = 4.85 \text{ Hz}$$

Dando un periodo de

$$T = 0.206 \text{ s}$$

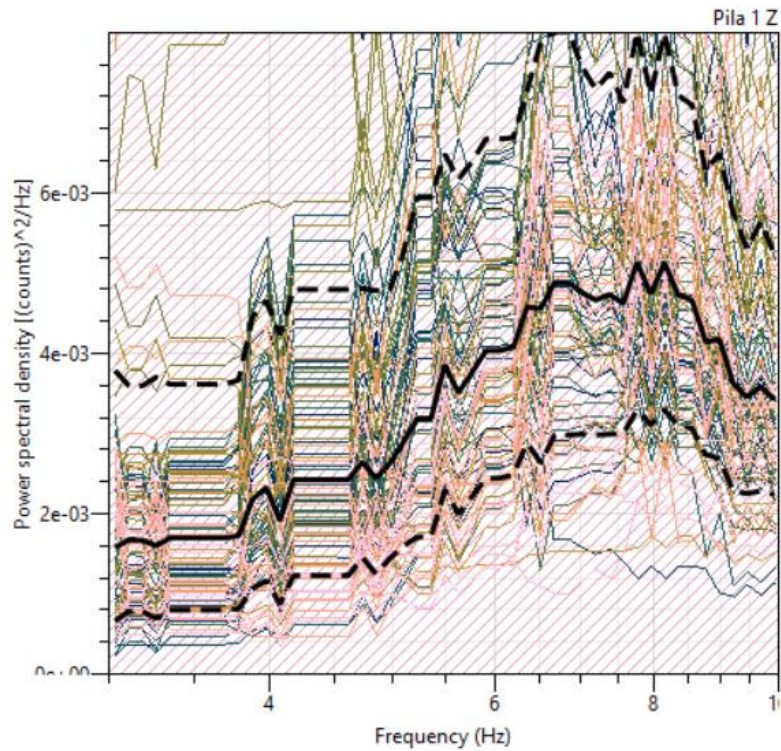


Ilustración 19 análisis de Frecuencia -Pila 2

4.7 Procedimiento del Ensayo de Esclerometría

Para realizar este ensayo como nos estamos basando específicamente en las pilas, se tomaron muestras en algunas partes de la pila:



Ilustración 20 Esclerómetro

- Se debe asegurar que la zona en la cual se va a colocar el esclerómetro debe estar limpia y sin obstrucciones para esto nos ayudamos de una piedra abrasiva que pule la superficie, para quitar tener un espacio lo más limpia posible para evitar, datos erróneos,

se recomienda hacer un cuadrado de aproximadamente 30cm a lo largo de toda la pila. Como el esclerómetro viene calibrado y configurado anteriormente se debe colocar de acuerdo con el ángulo requerido para que con el martillo del esclerómetro golpee y obtener diferentes mediciones.

- Una vez que se realizan los ensayos los resultados se deben analizar para saber cuál es el índice de Esclerómetro y ya conocer la resistencia del concreto



Ilustración 21 Ensayo con Esclerómetro

Determinación de la resistencia

- Se tomó alrededor de 10 muestras, las cuales se muestran a continuación, pero para poder realizar el cálculo y sacar la resistencia de estas se utilizarán solamente 8 datos, ya que se eliminarán los datos que están inferiores o máximos.
- Esta fórmula se utiliza para estimar la resistencia a la compresión del hormigón que está elaborado con Cemento Portland

$$F(N/mm^2) = 0,098x(-184 + 13R) \quad (1)$$

Ecuación 1 Fórmula Cemento Portland

La tabla de resistencia a la compresión del cilindro los cuales se muestra a continuación:

Cylinder compressive strength table (N/mm²)

R	N/mm ²				
	-90°	-45°	0°	+45°	+90°
20	12.3	11.3	—	—	—
21	13.2	12.3	—	—	—
22	14.2	13.2	10.8	—	—
23	15.7	14.2	11.8	—	—
24	16.7	15.7	12.7	—	—
25	17.7	16.7	13.7	9.8	—
26	19.4	18.1	15.5	11.3	—
27	20.6	19.6	16.2	12.7	10.3
28	21.6	20.6	17.7	13.7	11.8
29	23.3	21.6	18.6	14.7	13.5
30	24.5	23.3	20.6	16.7	14.2
31	25.5	24.5	21.6	17.7	15.7
32	27.5	26.0	23.3	18.6	16.7
33	28.4	27.5	24.5	20.6	18.6
34	30.4	28.4	25.5	21.6	19.6
35	31.4	30.4	27.5	23.3	21.4
36	33.3	31.4	28.4	24.5	22.6
37	34.3	33.3	30.4	26.0	24.0
38	36.3	34.3	31.4	27.5	25.5
39	37.3	36.3	33.3	29.4	27.5
40	39.2	37.3	34.3	30.4	28.9
41	40.2	39.2	36.3	32.4	30.4
42	41.7	40.7	37.3	33.8	31.9
43	43.1	42.2	39.2	35.3	33.3
44	45.1	44.1	41.2	37.3	35.3
45	46.1	45.1	42.2	38.7	36.8
46	48.1	47.1	44.1	40.2	38.2
47	49.0	48.5	45.6	42.2	40.2
48	51.0	50.0	47.1	43.6	42.2
49	53.0	51.5	49.0	45.1	43.6
50	53.9	53.0	50.5	47.1	45.1
51	55.9	54.9	52.0	49.0	47.1
52	56.9	55.9	53.9	50.5	49.0
53	58.8	57.9	55.4	52.0	51.0
54	↑ 58.8	↑ 58.8	56.9	53.9	52.0
55	↑ 58.8	↑ 58.8	58.8	55.9	53.9

Tabla 3 Factor R

PILA 1 SENTIDO AZOGUES -CUENCA

	0°		
PARTE BAJA	# GOLPES	N/mm ²	F. PORTLAND
1	25	13,7	
2	28	17,7	17,64
3	43	39,2	36,75
4	34	25,5	25,284
5	43	39,2	
6	41	36,3	34,202
7	42	37,3	35,476
8	41	36,3	34,202
9	38	31,4	30,38
10	30	20,6	20,188
PROMEDIO	36,5	29,72	29,26525

	0°		
PARTE MEDIA	# GOLPES	N/mm ²	F. PORTLAND
1	38	31,4	30,38
2	46	44,1	
3	37	30,4	29,106
4	39	33,3	31,654
5	43	39,2	36,75
6	30	20,6	
7	35	27,5	26,558
8	34	25,5	25,284
9	31	21,6	21,462
10	44	41,2	38,024
PROMEDIO	37,7	31,48	29,90225

	-90°		
PARTE ALTA	# GOLPES	N/mm2	F. PORTLAND
1	30	24,5	20,188
2	26	19,4	
3	27	20,6	16,366
4	38	36,3	30,38
5	34	30,4	25,284
6	31	25,5	21,462
7	26	19,4	15,092
8	40	39,2	
9	36	33,3	27,832
10	30	24,5	20,188
PROMEDIO	31,8	27,31	22,099

Tabla 4 Datos del esclerómetro Pila 1

Con los resultados de la tabla y la formula portland, se va a sacar un promedio para obtener la resistencia en la que se encuentra la pila las cuales salió de resultado con un 288.53 kg/cm².

RESULTADO 1		
PROMEDIO		UNIDADES
TABLA	F PORTLAND	
29,503333	27,088833	N/mm2
28,29608333		N/mm2
288,5351618		kg/cm2

Tabla 5 Resultados de la resistencia a la compresión pila 1

PILA 2 SENTIDO CUENCA-AZOGUES

	0°		
PARTE BAJA	# GOLPES	N/mm2	F. PORTLAND
1	33	24,5	24,01
2	35	27,5	26,558
3	31	21,6	
4	35	27,5	26,558
5	36	28,4	27,832
6	34	25,5	25,284
7	34	25,5	25,284
8	33	24,5	24,01
9	38	31,4	
10	32	23,3	22,736
PROMEDIO	34,1	25,97	25,284

	0°		
PARTE MEDIA	# GOLPES	N/mm2	F. PORTLAND
1	40	34,3	32,928
2	38	31,4	30,38
3	39	33,3	31,654
4	36	28,4	
5	40	34,3	
6	37	30,4	29,106
7	39	33,3	31,654
8	38	31,4	30,38
9	42	37,3	35,476
10	37	30,4	29,106
PROMEDIO	38,6	32,45	31,3355

	-90°		
PARTE ALTA	# GOLPES	N/mm2	F. PORTLAND
1	39	37,3	31,654
2	39	37,3	31,654
3	40	39,2	32,928
4	37	34,3	29,106
5	35	31,4	26,558
6	38	36,3	30,38
7	35	31,4	
8	41	40,2	
9	34	30,4	25,284
10	39	37,3	31,654
PROMEDIO	37,7	35,51	29,90225

Tabla 6 Datos del esclerómetro Pila 2

Con los resultados de la tabla y la formula portland, se va a sacar un promedio para obtener la resistencia en la que se encuentra la pila las cuales salió de resultado con un 306.67 kg/cm2.

RESULTADO 2		
PROMEDIO		UNIDADES
TABLA	F PORTLAND	
31,31	28,840583	N/mm2
30,07529167		N/mm2
306,678		kg/cm2

Tabla 7 Resistencia al hormigón de la Pila 2

4.8 Procedimiento del Ensayo de ultrasonido

El ensayo de ultrasonido se la utiliza para que mediante ondas ultrasónicas se evaluó la calidad del hormigón y así poder estimar la resistencia del material, teniendo como parámetro importante la velocidad de la propagación de las ondas ultrasónicas que se correlacionan con la resistencia. El procedimiento que se debe seguir es:



Ilustración 22 Ultrasonido

En la ilustración anterior, el equipo consta de un:

- Generador de Pulsos
- Sonda
- Acoplante
- Receptor
- Amplificador
- Unidad de visualización
- Registrador de almacenamiento



Ilustración 23 Maquina de sondas

Determinación de la resistencia mediante sondas

Primero se debe preparar el equipo comprobando que las sondas estén calibradas, se comenzó a limpiar la superficie de la pila para que no exista interferencias entre las sondas, para eso con ayuda de un acoplante que en este caso es el gel, las mediciones fueron tomadas en diferentes puntos de la pila teniendo como resultados 10 puntos para así registrar las mediciones de tiempo de tránsito de las ondas.



- Análisis de resultados
Se van a analizar 10 puntos, debemos tener en cuenta los datos previos necesarios para poder calcular lo que se necesita para este caso son los siguientes:

ENSAYO DE ULTRASONIDO			
Datos			
Longitud (m)	0,1	C de Poisson	0,2
densidad (kg/cm ³)	2400		

- Para obtener la velocidad se ocupa la formula

$$V = L/t$$

Donde:

V= Es la velocidad

L = La longitud entre las dos sondas es de 10cm

T= el tiempo obtenido del equipo

# Puntos	T (μs)	V (m/s)
1	30	3333
2	29,4	3401
3	30,2	3311
4	29,6	3378
5	29,8	3356
6	30,8	3247
7	29,5	3390
8	30,1	3322
9	29,7	3367
10	30,4	3289

- Para poder obtener los demás parámetros necesarios para saber la resistencia se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$E = \rho * V^2 \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (2)$$

Donde:

E= Modulo de elasticidad

ρ = Densidad del hormigón

V=Velocidad

ν = Coeficiente de poisson

$$E = 4700 * \sqrt{F'c} \quad (3)$$

$$F'c = \left(\frac{E}{4700} \right)^2$$

Donde:

F'c= Resistencia del hormigón

E= Modulo de elasticidad

- Teniendo como resultados los siguientes valores se sacó un promedio de todos obteniendo 268.18 kg/cm² de resistencia en cuanto a este ensayo.

# Puntos	T (μs)	V (m/s)	E (Mpa)	F'c Mpa	F'c (kg/cm ²)
1	30	3333	24000,0000	26,0751	265,8883
2	29,4	3401	24989,5877	28,2698	288,2670
3	30,2	3311	23683,1718	25,3912	258,9145
4	29,6	3378	24653,0314	27,5134	280,5546
5	29,8	3356	24323,2287	26,7822	273,0984
6	30,8	3247	22769,4384	23,4698	239,3213
7	29,5	3390	24820,4539	27,8884	284,3781
8	30,1	3322	23840,7965	25,7304	262,3724
9	29,7	3367	24487,2972	27,1448	276,7951
10	30,4	3289	23372,5762	24,7296	252,1679
				26,30	268,18

Tabla 8 Resultados de ensayo ultrasonido

4.9 Procedimiento para el espectro de diseño

Para determinar el sismo raro, se ocupó la Ilustración 24 en la cual se obtiene que la zona sísmica de Cuenca se encuentra en la ZONA II, teniendo un valor de 0.25 este mapa de zonificación sísmica viene del resultado de peligro de estudio sísmico, para un 10 % de excedencia en 50 años.

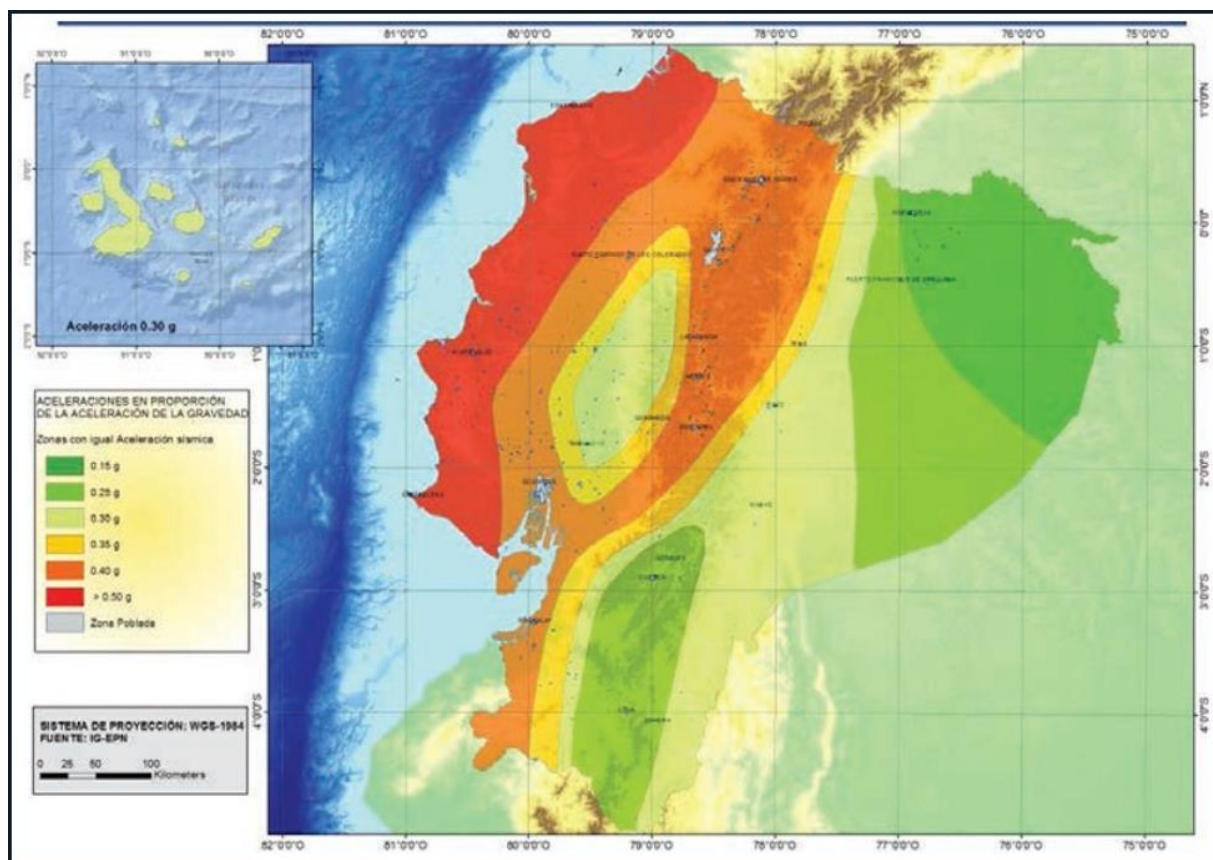


Ilustración 24 Zonas Sísmica para propósito de diseño

Para determinar de manera concreta la aceleración sísmica de diseño g (factor Z) en función de la tasa de excedencia para un sismo clasificado como "muy raro" según la NEC-SE-DS 2015, se sigue un proceso específico que implica interpretar las curvas de peligro sísmico y realizar cálculos basados en estas. Aquí está el proceso simplificado:

1. Identificar la tasa de excedencia anual correspondiente a un sismo "muy raro" de las tablas de la NEC-SE-DS 2015. Un sismo "muy raro" podría estar asociado con un largo periodo de retorno, lo que implicaría una baja tasa de excedencia anual.

Nivel de sismo	Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno T_r (años)	Tasa anual de excedencia ($1/T_r$)
1	Frecuente (menor)	50%	72	0.01389
2	Ocasional (moderado)	20%	225	0.00444
3	Raro (severo)	10%	475	0.00211
4	Muy raro* (extremo)	2%	2 500	0.00040

Ilustración 25 Niveles de amenaza sísmica

- Ubicar en la gráfica de curvas de peligro sísmico de Cuenca la curva que corresponda al periodo estructural de diseño (por ejemplo, PGA, 0.2 s, etc.).
- Con la tasa de excedencia anual identificada, trazar una línea horizontal en la gráfica de peligro sísmico hasta que cruce la curva del periodo estructural seleccionado.
- Desde el punto de intersección, trazar una línea vertical hacia abajo hasta el eje de aceleraciones para leer la aceleración sísmica de diseño g.

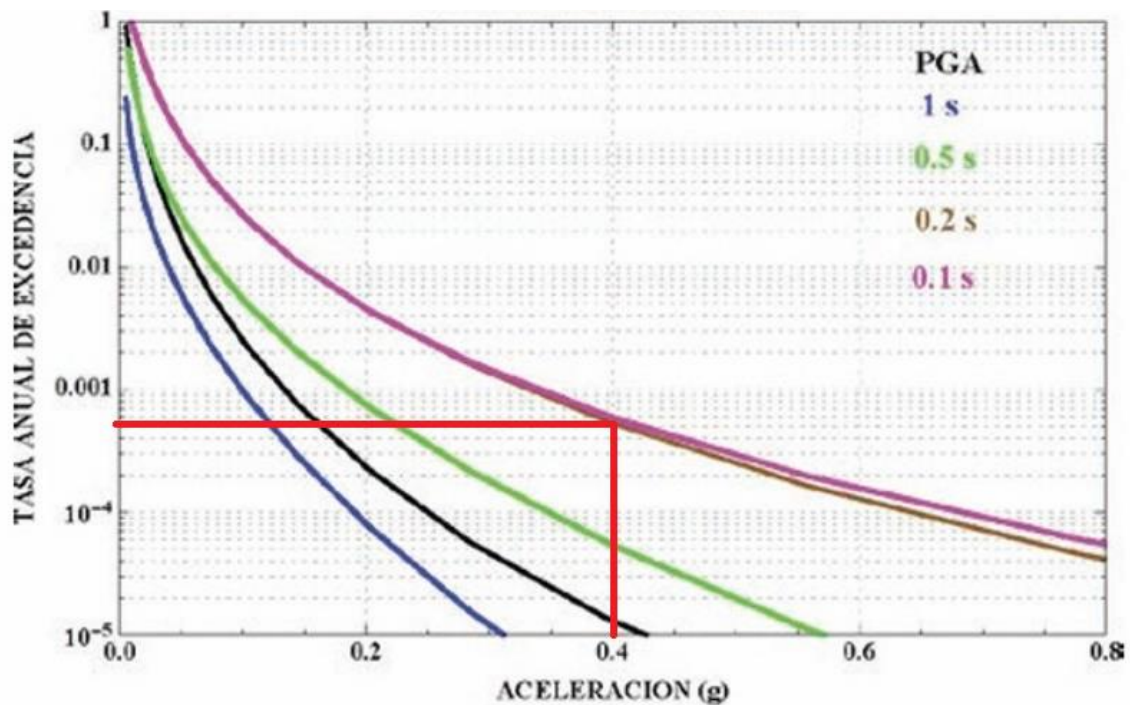


Ilustración 26 Línea Sísmica

Este valor de aceleración g se considerará el factor Z para el diseño sismorresistente de la estructura en la localidad específica, y se usará para calcular las fuerzas sísmicas que la estructura debe resistir durante un sismo "muy raro". Es crítico que este proceso se lleve a cabo

con precisión para asegurar la seguridad estructural y el cumplimiento con la normativa vigente.

- Sismo raro: 0,25

Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015 Function Definition

Function Name: Sismo Raro

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters

Zone Coefficient, Z	0.25
η Coefficient	2.48
Site Factor, Fa	1.3
Site Factor, Fd	1.28
Soil Type	C
Inelastic Behavior Fctor of Subsurface, Fs	0.94
Importance Factor, I	1.3
Response Modification Factor, R	2.

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.5239
0.1	0.5239
0.2	0.5239
0.3	0.5239
0.4	0.5239
0.5	0.5239
0.6	0.4445
0.7	0.381
0.8	0.3334
0.9	0.2963
1.	0.2667
1.2	0.2222
1.5	0.1778
1.7	0.1569

Function Graph

Display Graph

OK Cancel

Ilustración 27 Definición de parámetros sismo raro

- Sismo muy raro: 0,4

Ecuador Norma NEC-SE-DS 2015 Function Definition

Function Name: sismo muy raro

Function Damping Ratio: 0.05

Parameters

Zone Coefficient, Z	0.4
η Coefficient	2.48
Site Factor, Fa	1.2
Site Factor, Fd	1.11
Soil Type	C
Inelastic Behavior Fctor of Subsurface, Fs	0.94
Importance Factor, I	1.3
Response Modification Factor, R	2.

Define Function

Period	Acceleration
0.	0.7738
0.1	0.7738
0.2	0.7738
0.3	0.7738
0.4	0.7738
0.5	0.7401
0.6	0.6167
0.7	0.5286
0.8	0.4625
0.9	0.4111
1.	0.37
1.2	0.3084
1.5	0.2467
1.7	0.2177

Function Graph

Display Graph

0.0,0.0

OK Cancel

Ilustración 28 Definición de parámetros sismo muy raro

El "sismo raro" se asocia generalmente con un evento que tiene una baja probabilidad de ocurrencia dentro de la vida útil de una estructura, pero que es posible que ocurra. Un "sismo muy raro", por otro lado, implica una probabilidad aún más baja de ocurrencia, y los valores más altos en los coeficientes de zona reflejan una aceleración de diseño base mayor para tener en cuenta la mayor intensidad esperada de tales eventos. En la práctica, esto significa que para un "sismo muy raro", la estructura debe ser diseñada para soportar fuerzas sísmicas más significativas, lo que a su vez puede influir en las decisiones de diseño y en la selección de medidas de mitigación y reforzamiento sísmico.

- **Resultados**

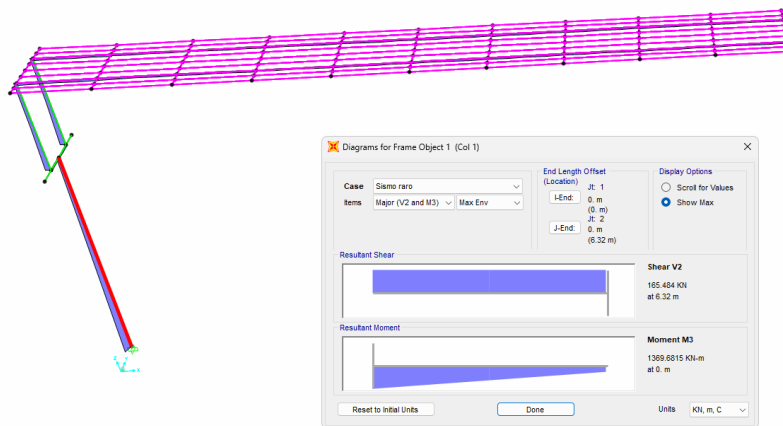


Ilustración 29 Resultados de momentos de un sismo raro de la pila 1

Los resultados de 165 kN de cortante y 1369.68 k*Nm de momento en la pila izquierda para un sismo raro indican las fuerzas internas que deben ser resistidas por estos elementos del puente peatonal. Estos valores son críticos para verificar si las pilas tienen la capacidad necesaria para soportar las demandas sísmicas según las especificaciones de la NEC para un evento de baja probabilidad y alta importancia.

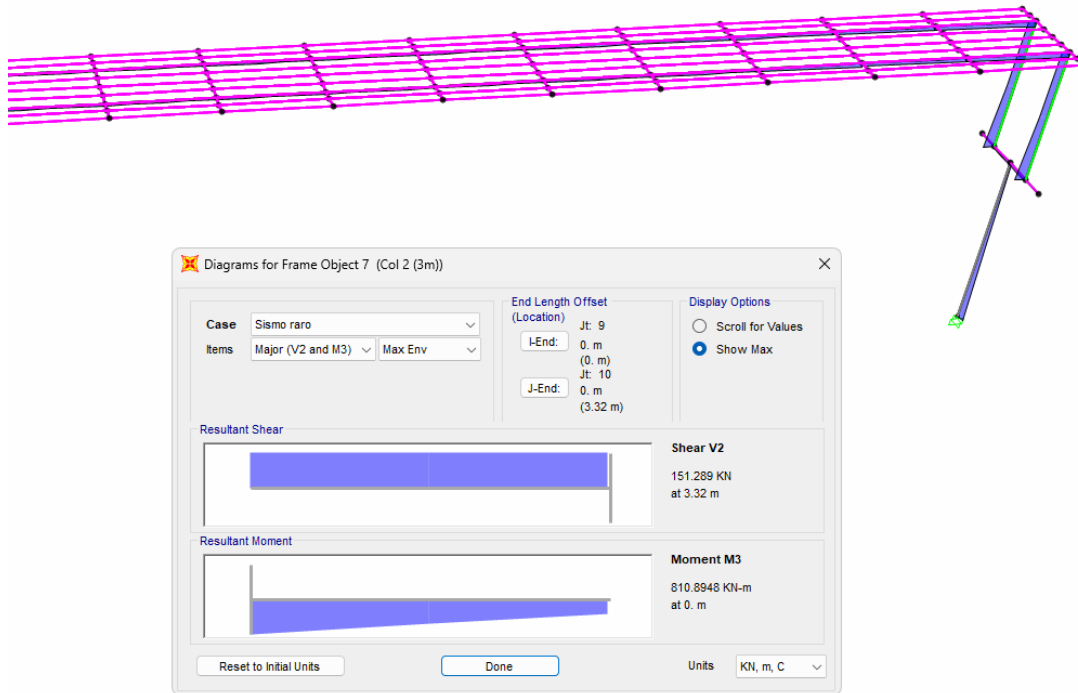


Ilustración 30 Resultados de momentos de un sismo raro de la pila 2

Para un sismo raro, la pila derecha del puente peatonal experimenta un cortante de 151 kN y un momento de 810 kNm. Estos valores son indicativos de las cargas que la estructura debe soportar y son esenciales para la validación del diseño sísmico de la pila según las normativas aplicables.

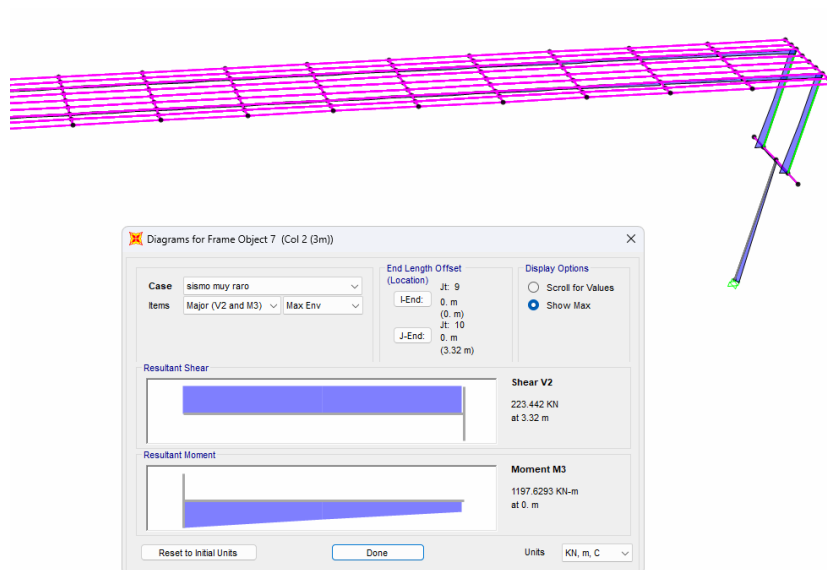


Ilustración 31 Resultados de momentos de un sismo muy raro de la pila 1

En el caso de un sismo muy raro, la pila izquierda del puente peatonal presenta un cortante de 223 kN y un momento de 1197 kNm. Estos valores representan las fuerzas internas máximas que deben ser diseñadas para resistir, de acuerdo con las exigencias sísmicas especificadas por la normativa vigente para eventos sísmicos de muy baja frecuencia y alta intensidad.

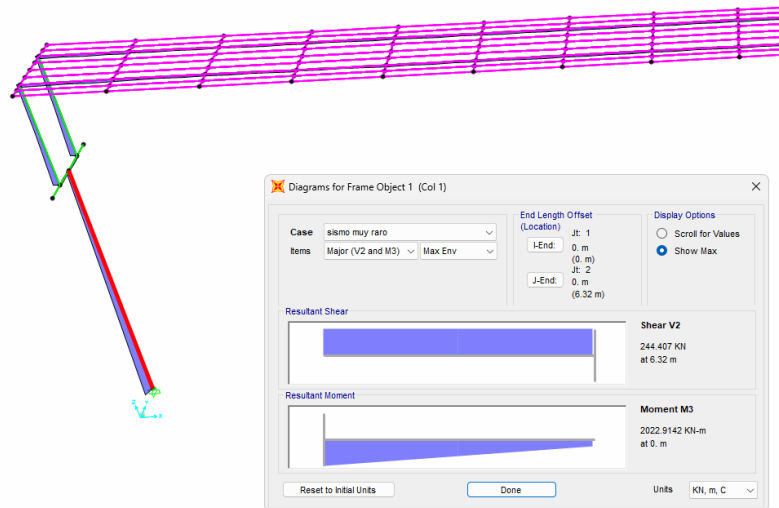


Ilustración 32 Resultados de momentos de un sismo muy raro de la pila 2

Durante un sismo muy raro, la pila derecha del puente peatonal enfrenta un cortante de 244 kN y un momento de 2022.91 kNm. Estos son los valores de las fuerzas internas a considerar en el diseño estructural y asegurar que la pila cumple con los requerimientos para resistir sismos de baja probabilidad y alta magnitud.

4.10 Procedimiento para el ensayo Modal



Ilustración 33 Ensayo Modal periodo 1

Un periodo de 0.39 segundos en el primer modo de vibración en la dirección X este eje es en dirección del puente sugiere que el puente peatonal tiene una respuesta dinámica moderadamente rápida a las cargas sísmicas en esta dirección. Este valor es indicativo de la rigidez estructural en la dirección longitudinal y es crucial para el análisis sísmico y el diseño adecuado de la estructura, considerando las normativas relevantes.

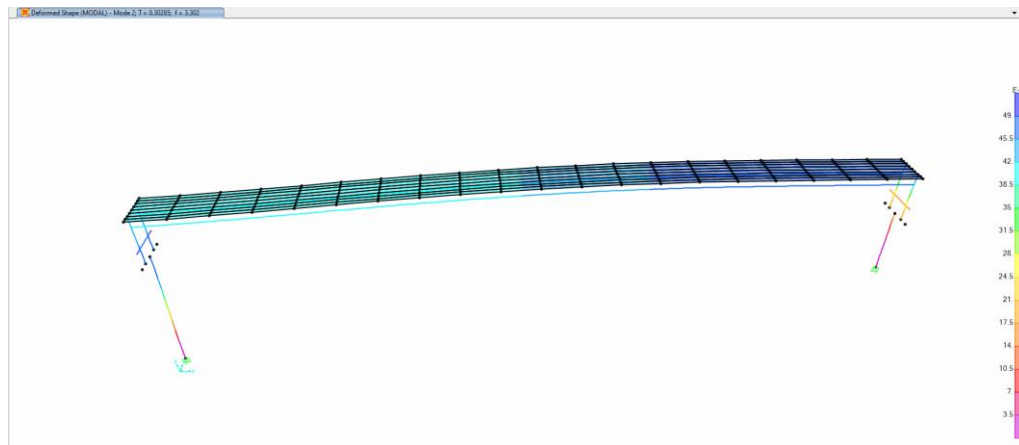


Ilustración 34 Ensayo Modal periodo 2

Un periodo de 0.30 segundos en el primer modo de vibración en la dirección Y indica una respuesta dinámica moderada a las cargas sísmicas en esta dirección. Este valor refleja la rigidez de la estructura en su dirección transversal y es un factor importante para el análisis y diseño sísmico del puente peatonal, especialmente en la consideración de las cargas laterales y los efectos de torsión que pueden ser inducidos por sismos.

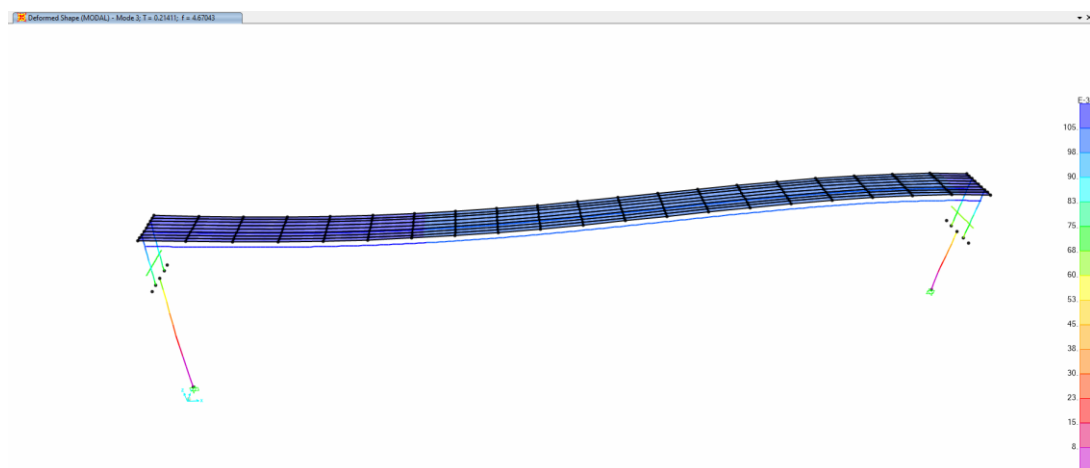


Ilustración 35 Ensayo Modal periodo 3

Un periodo de 0.21 segundos en el primer modo de vibración en la dirección Z (vertical) indica que la estructura tiene una respuesta muy rápida a las cargas sísmicas, lo que es característico de estructuras rígidas y compactas. Este valor fue verificado con el ensayo de vibración ambiental y debe ser un parámetro fundamental para futuros monitoreos.

4.11 Procedimiento ensayo Tiempo-Historia

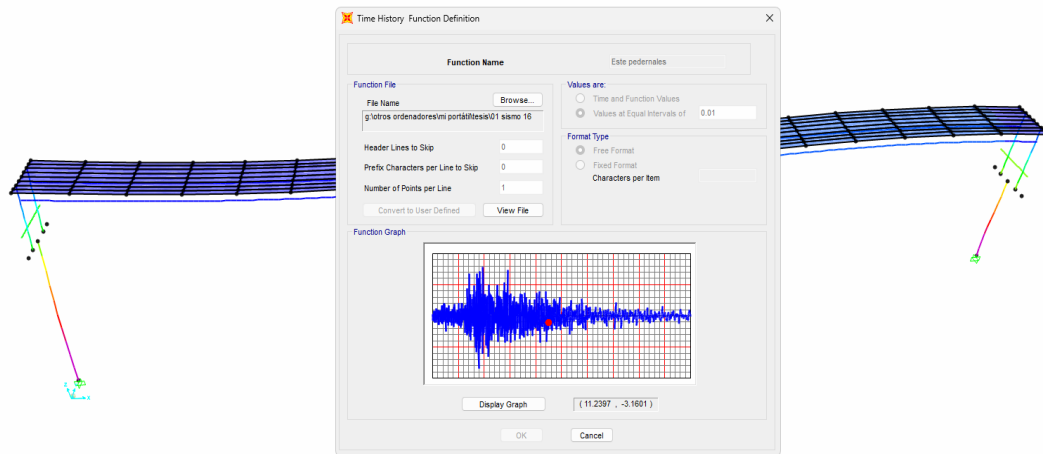


Ilustración 36 Ingreso del sismo



Ilustración 37 Resultado del tiempo -historia

El modelo del puente peatonal se analizó utilizando la señal del terremoto de Pedernales de 2016 en Ecuador, un evento de magnitud 7.8. Se estimó un desplazamiento máximo de 2.5 metros en la ruptura de la placa tectónica, lo que proporciona una representación realista de las fuerzas sísmicas para evaluar la respuesta estructural del puente bajo condiciones extremas

La observación de un desplazamiento de 6 cm en el puente peatonal durante la simulación del sismo de Pedernales de 2016 en un modelo computacional es significativa. Este resultado indica cómo la estructura podría comportarse bajo las fuerzas generadas por un terremoto de esa magnitud. El desplazamiento medido es una métrica clave para evaluar la flexibilidad y la resistencia de la estructura a movimientos sísmicos. Si el desplazamiento se encuentra dentro de los límites definidos por las normativas de diseño sísmico, como las de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, esto sugiere que el puente tiene un diseño adecuado para soportar sismos de gran magnitud, manteniendo la seguridad estructural y protegiendo la vida humana.

4.12 Procedimiento para ensayo No lineal estático

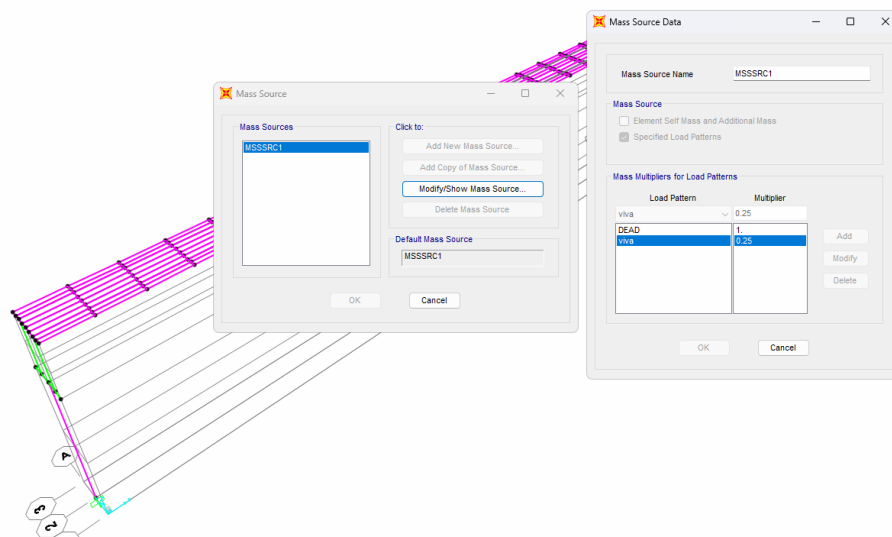
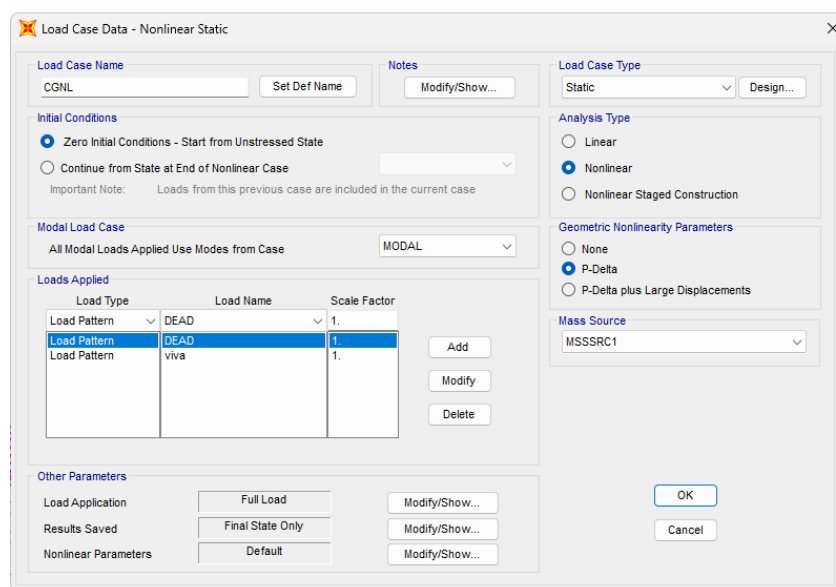


Ilustración 38 Ingreso de datos para análisis



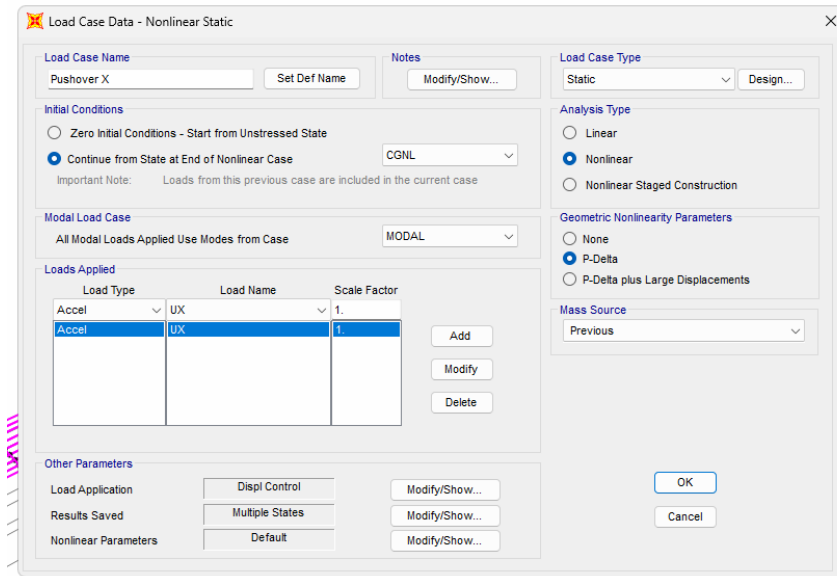


Ilustración 39 Ingreso de datos de carga viva y muerta.

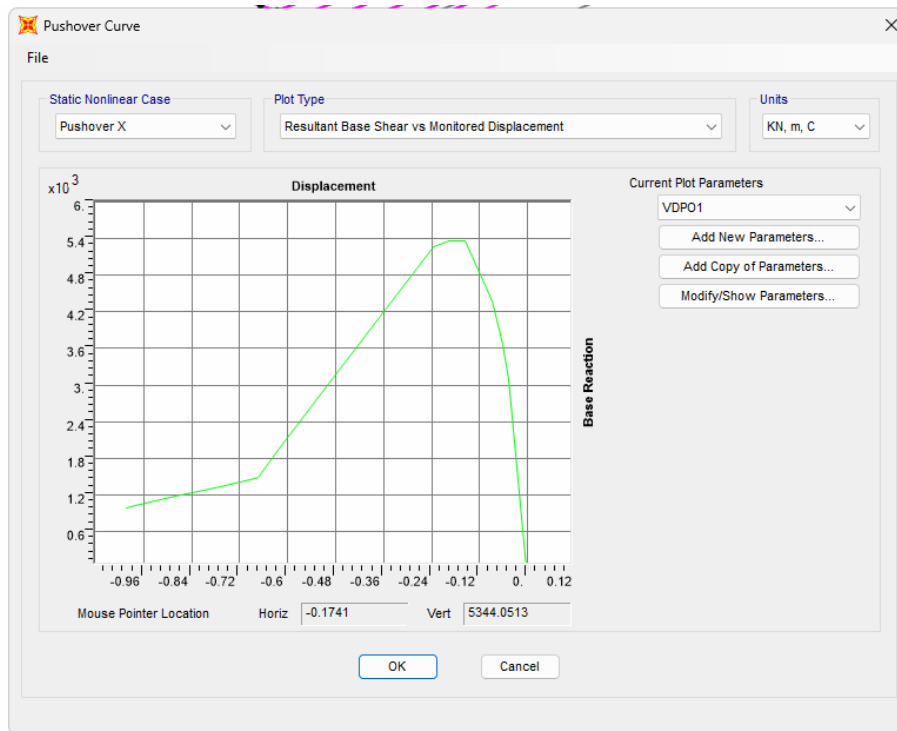


Ilustración 40 Resultado del análisis no lineal

La gráfica Pushover muestra que la cortante basal máxima que la estructura puede resistir es aproximadamente 5400 kN (5.4×10^3 kN), y este valor de fuerza se alcanza cuando la estructura se ha desplazado lateralmente unos 17.41 cm. Este punto en la curva representa la máxima capacidad de la estructura antes de que el comportamiento se vuelva significativamente no lineal, lo que indica el inicio de daños potenciales en la estructura. Teniendo en cuenta que la estructura ya ha experimentado un desplazamiento como se

menciona en capítulos anteriores, este desplazamiento adicional de 17.41 cm es crítico para entender la acumulación total del daño. Es importante que este comportamiento esté dentro de los límites permitidos por las normativas de diseño estructural aplicables para garantizar la seguridad durante eventos sísmicos.

4.13 Resultados según la normativa NEC

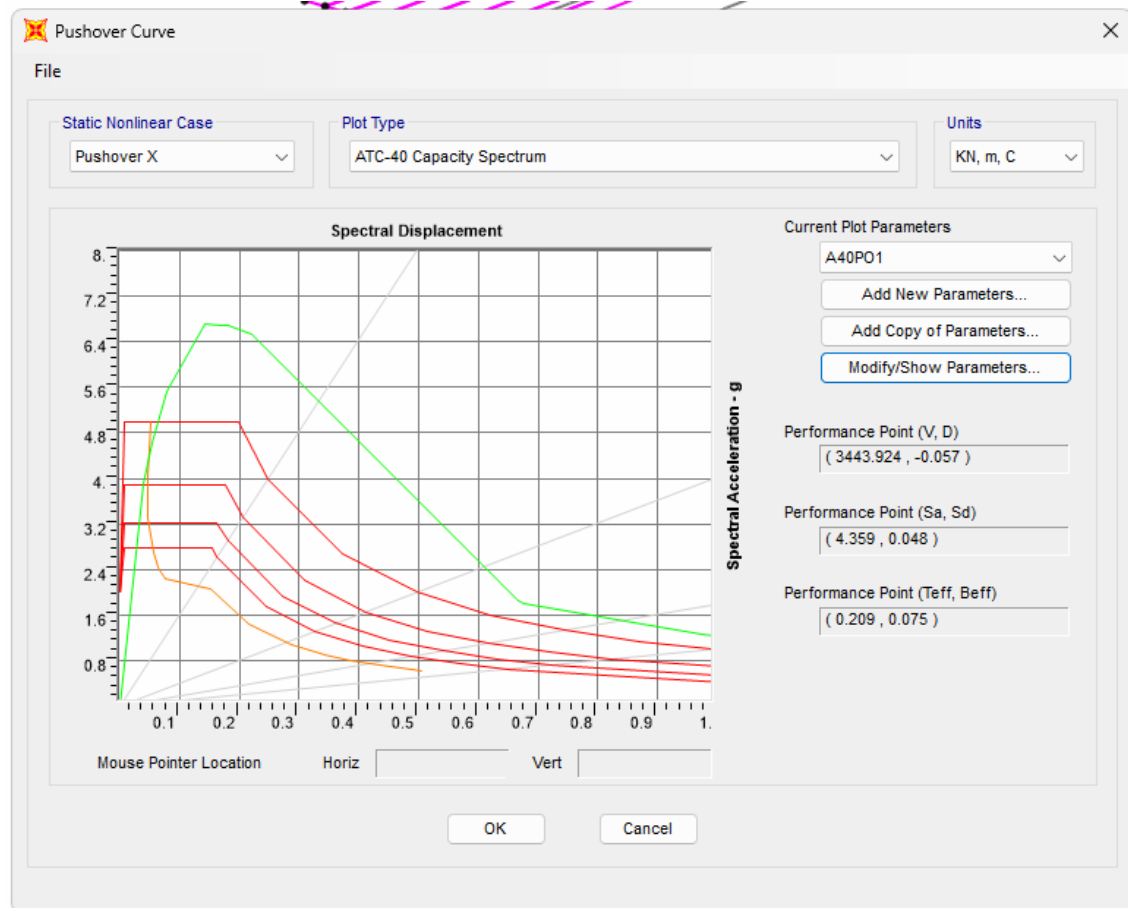


Ilustración 41 SAP-Comparación

La gráfica pushover indica cómo la estructura responde a las cargas sísmicas incrementales. Las líneas rojas representan diferentes niveles de aceleración del suelo expresados en gravedades (g). Observando la escala a la izquierda, se puede ver que la curva verde de la estructura, que representa la capacidad de la misma, se extiende hasta niveles de aceleración de aproximadamente 4g a 5g, lo que es extremadamente alto y probablemente no representativo de condiciones sísmicas comunes.

El punto máximo de la curva verde, donde se alcanza la mayor fuerza cortante antes de que la capacidad de la estructura comience a degradarse, ocurre en un nivel de aceleración significativamente alto. Sin valores numéricos exactos en el eje de las aceleraciones, no se

puede dar un número preciso, pero visualmente, está claro que la estructura puede soportar aceleraciones de suelo superiores a 2g, lo que generalmente indicaría un diseño muy robusto frente a sismos.

La altura de las líneas rojas indica que los sismos modelados varían en intensidad, pero todos presentan demandas de aceleración que son menores que la capacidad máxima mostrada por la curva verde. Esto sugiere que la estructura puede soportar estos sismos sin alcanzar su punto máximo de capacidad, lo que es un indicativo de buen desempeño sísmico.

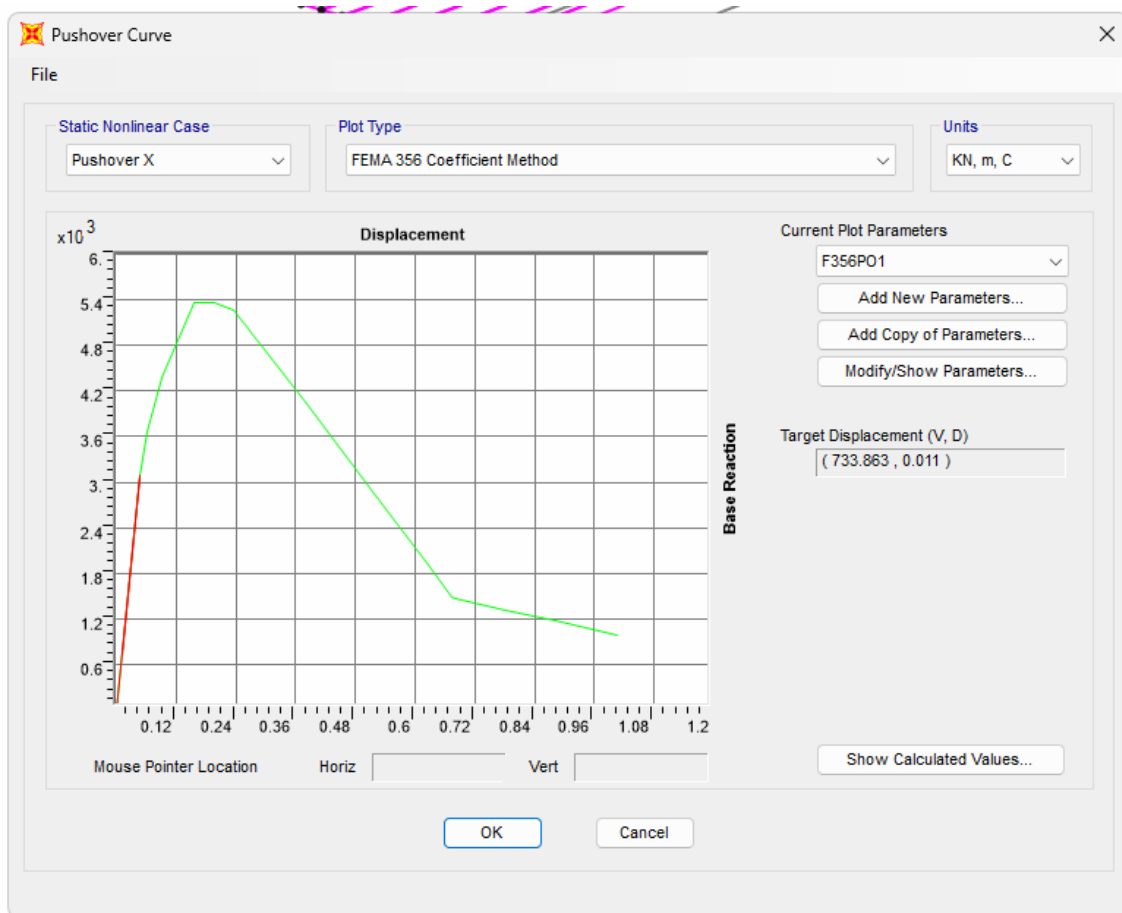


Ilustración 42 Curva Pushover -FEMA 356

La gráfica proporcionada muestra una curva Pushover generada mediante el método de coeficientes FEMA 356, una técnica estándar en el análisis de desempeño sísmico. Esta curva representa la relación entre la fuerza cortante en la base (eje vertical) y el desplazamiento lateral (eje horizontal) de una estructura.

La curva alcanza un pico de cortante basal que se puede estimar visualmente en más de 5000 kN, tras lo cual comienza a descender, lo que indica que la estructura ha superado su capacidad

máxima de resistencia y ha entrado en una fase de ablandamiento. Esto significa que los elementos estructurales han alcanzado o están cerca de sus límites de deformación inelástica.

El desplazamiento lateral máximo correspondiente a este pico de cortante es de aproximadamente 0.1 m, como se puede inferir visualmente del gráfico. Después de este punto, a pesar de que la fuerza cortante disminuye, la estructura continúa desplazándose lateralmente, lo que indica que la estructura está experimentando daños y que su rigidez se ha reducido.

El punto de desempeño objetivo, marcado en la gráfica con la coordenada (733.863, 0.011), sugiere que el objetivo de diseño según FEMA 356 para el desplazamiento es de 0.011 m, y la fuerza cortante asociada es de aproximadamente 733.863 kN. Este punto de desempeño es significativamente inferior al pico de la curva Pushover, lo que sugiere que la estructura tiene capacidad para soportar un evento sísmico que genere demandas hasta ese punto de desplazamiento y fuerza cortante.

4.14 Curva de capacidad de las pilas



Desplazamiento pila 1	17.24cm	0,1724	Carga maxima	5382,63
Desplazamiento pila 2	5.36cm	0,0536	Desplazamiento	0,1741

Ilustración 43 Curva de capacidad de las pilas

En la ilustración 40 una vez obtenido los desplazamientos de cada pila se puede visualizar que la pila 1 y 2 se encuentran dentro de su capacidad máxima con respecto al desplazamiento con la carga máxima lateral.

CAPÍTULO V --PLAN DE MANTENIMIENTO

5.1 Inspección visual

Es un conjunto de diferentes actuaciones técnicas, que se presentan previo a un plan, lo cual nos da a conocer de forma inmediata el estado en el que se encuentra la pila, se trata de la inspección de forma meticulosa del estado del elemento que conforma el puente ya que no será necesario de elementos muy avanzados, para obtener un resultado final en un tipo reporte. (Cañarte V. Brandon, 2022) . Se va a evaluar visualmente las pilas de puente las cuales geoméricamente está configurado de la siguiente forma:

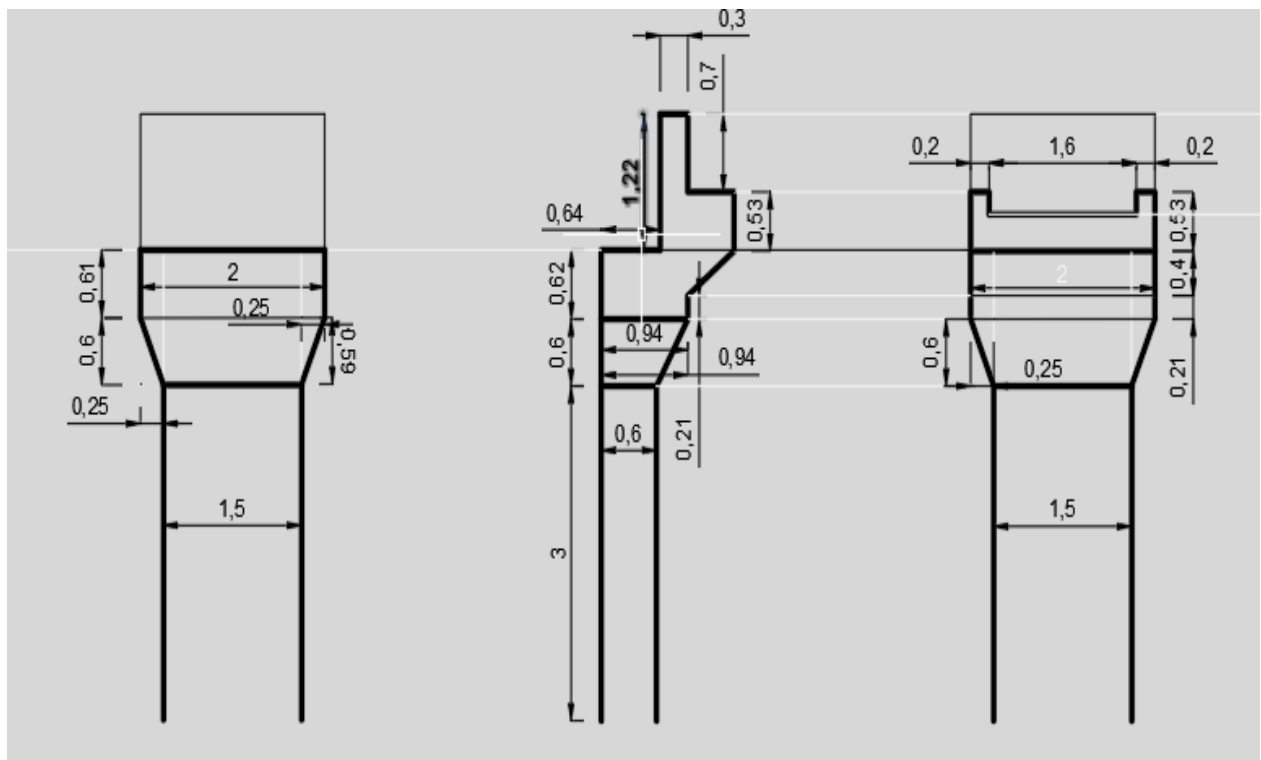


Ilustración 44 Pila 1 -Geometría

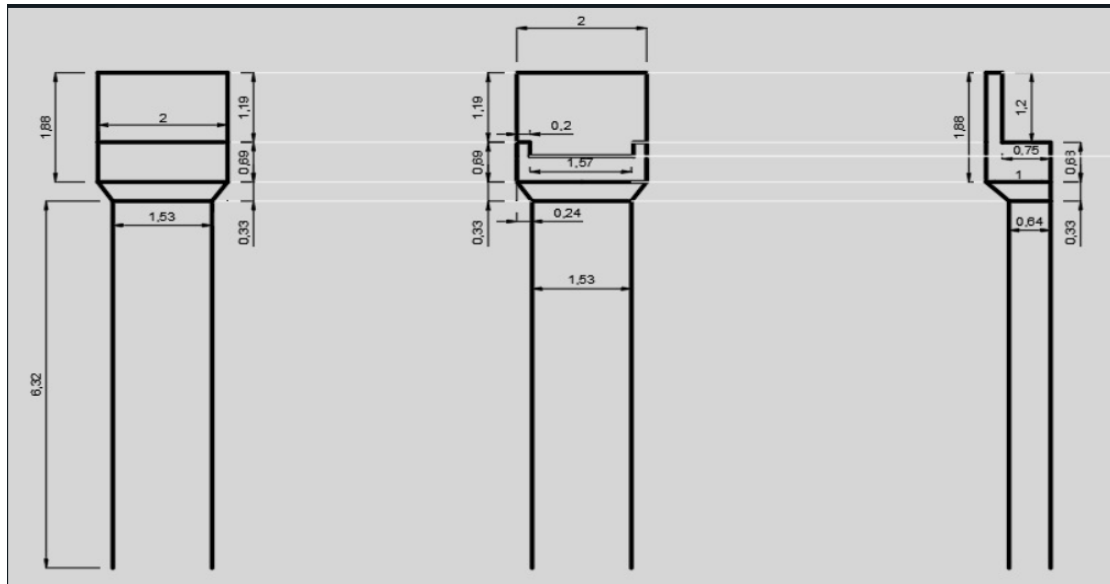


Ilustración 45 Pila 2-Geometria

5.2 Mantenimiento preventivo

Los trabajos se deberán realizar en un determinado tiempo como se muestra en la siguiente tabla:

MANTENIMIENTO PREVENTIVO					
ACCION	ELEMENTO	FRECUENCIA	DETALLE	MATERIALES NECESARIOS	ENCARGADO
LIMPIEZA Y DESPEJE	PILAS	1 AÑO	Se elimina toda la vegetacion que se encuentra a su alrededor, para evitar que existan bloqueos en los drenajes	HERRAMIENTA DE LIMPIEZA EN GENERAL	MTOP
LIMPIEZA Y PINTURA	PILAS	6 MESES	Existen graffitis, lo cual le da muy mal aspecto	HERRAMIENTA PARA PINTURA	MTOP

Tabla 9 Mantenimiento preventivo

5.3 Mantenimiento correctivo

Se recomienda seguir con todas las recomendaciones que se presentan a continuación:


MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
				
ACCION	ELEMENTO	DETALLE	MATERIALES NECESARIOS	ENCARGADO
R E E M P L A Z O C O M P O N E N T E S	PILAS	DESGASTE EN LA PILA 2 TIENE LOS HIERRO EXPUESTOS	Se tiene que volver a fundir y realizar nuevamente un armado con ayuda de un empalme	MTOPO

Tabla 10 Mantenimiento correctivo

MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
				
ACCION	ELEMENTO	DETALLE	MATERIALES NECESARIOS	ENCARGADO
COLOCACION	PILAS	El neopreno tam se utiliza en juntas de expansión para permitir la expansión y contracción térmica de los componentes del puente. Esto es importante para evitar el agrietamiento de la estructura debido a cambios en la temperatura ambiente.	Neopreno	MTOP

Tabla 11 Mantenimiento Correctivo


MANTENIMIENTO CORRECTIVO				
				
ACCION	ELEMENTO	DETALLE	MATERIALES NECESARIOS	ENCARGADO
R E V E S T I M I E	PILAS	AMBAS PILAS-ALAMBRES REVESTIMIENTO	REVESTIR LAS DOS VIGAS POR EL MAL ESTADO	MTOP

Tabla 12 Mantenimiento correctivo

Fuente propia

CAPÍTULO VI – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Después de haber realizado las inspecciones y los ensayos no destructivos a las pilas del puente peatonal de Nulti, con la finalidad que se pueda evaluar su salud estructural se obtuvieron los siguientes resultados:

- Después de llevar a cabo el ensayo de Esclerometría, se determinó una resistencia de 297.6 kg/cm², siendo este valor el promedio de los resultados obtenidos. En contraste, mediante el ensayo de Ultrasonido se registró una resistencia de 268.18 kg/cm². A pesar del tiempo transcurrido desde su construcción, las resistencias cumplen con la normativa de diseño vigente
- Se identificó mediante el levantamiento topográfico, un desplome en las pilas. En la pila 1, se observó un desplazamiento de 1.3 cm en el eje X y de 5.2 cm en el eje Y. Por otro lado, en la pila 2, se detectó un desplazamiento de 5.9 cm en el eje X y de 16.2 cm en el eje Y. Se concluye que una posible causa de este desplome podría ser el impacto de un camión sobre las vigas principales. Es fundamental distinguir entre el desplome estructural y una inclinación inherente a la construcción, así como considerar asentamientos críticos debido a las características del suelo.
- El modelo examinado en el software SAP se creó utilizando las características actuales de la pila, las cuales fueron determinadas mediante ensayos previos. Al analizarlo con gráficas de Pushover, se determinó que la pila puede resistir hasta 5400 kN, con un desplazamiento de aproximadamente 17.41 cm. Los desplazamientos actuales de las pilas se encuentran próximos al límite máximo de desplazamiento, lo que podría comprometer la integridad del puente y representar un riesgo para la seguridad de los usuarios.
- La frecuencia natural de vibración de la pila coincide con el período de vibración generado por cargas dinámicas, lo que indica la presencia de resonancia. Esto conlleva a la amplificación de las amplitudes de vibración y al incremento de las tensiones en los elementos estructurales, lo cual puede resultar en daños estructurales o incluso en el colapso de la estructura si no se trata adecuadamente.

- Una vez concluida esta investigación se propone un plan para mantenimiento preventivo. Este plan incluye inspecciones periódicas, así como labores de limpieza general y mejoras físicas. Este enfoque es esencial para garantizar un funcionamiento eficiente y mejorar la confiabilidad de las pilas.
- Se presenta un plan de mantenimiento correctivo que incluye propuestas específicas para abordar los daños en las pilas. Entre las medidas propuestas se encuentra la instalación de neopreno y revestimientos en sectores particulares de las pilas, que pueden resultar más costosos. Sin embargo, estas acciones están dirigidas a restaurar rápidamente su funcionamiento y prevenir posibles fallas futuras.

6.2 Recomendaciones

- Se sugiere informar a las autoridades correspondientes sobre los resultados y las soluciones identificadas en esta investigación, con el fin de que tomen medidas preventivas para asegurar la integridad del Puente Peatonal de Nulti.
- Las personas encargadas de realizar el mantenimiento deben tomar todas las precauciones, medidas de seguridad, y herramientas adecuadas para evitar accidentes.
- Es aconsejable que las entidades responsables del Puente Peatonal de Nulti lleven a cabo investigaciones del suelo y otros ensayos integrales en la estructura del puente. Se espera que este estudio sirva como base para establecer un control periódico con el objetivo de extender su vida útil.

BIBLIOGRAFIA

- ALTAMIRANO N. MARCO. (2013). *EVALUACIÓN DEL PUENTE “EL QUILO” UBICADO EN EL KM 17+200 DE LA VÍA PUYO – BAÑOS POR EL MÉTODO AASHTO – LRFD Y SU INCIDENCIA EN LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL Y VIAL.*
- Aronés V. Álvaro P., & Cortés A, C. V. (2018). *Evaluación estructural del puente Huaracane con las Especificaciones de Diseño de Puentes AASHTO LRFD 2012 y Norma Técnica Peruana Sismorresistente E.030 2016* [Universidad Peruana de ciencias aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/623526>
- ARRIAGA F. FERNANDO. (2015). *EVALUACIÓN DE LA DUCTILIDAD EN LAS PILAS Y TORRE DEL PUENTE “EL CARRIZO.*
- BARBA M. MARIA, & MOLINA Z. MARIO. (2012). *PROPUESTA DE GUÍA DE INSPECCIÓN CUALITATIVA PARA PUENTES EN NICARAGUA.* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA.
- Borbor B. María A., & Ponce P. Henry P. (2022). *ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES MATERIALES USADOS EN LA CONSTRUCCION DE PUENTES PEATONALES EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL, PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR.* Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Campoverde, F. (2017). “*EVALUACIÓN DEL ESTADO TENSO-DEFORMACIONAL DEL PUENTE NULTI SUR.*”
- Cañarte V. Brandon. (2022). *Técnicas de evaluación general para puentes de estructura metálica utilizando la inspección visual.*
- Cantos R. Esteban R. (2021). *PROPUESTA PARA MANTENIMIENTO ESTRUCTURAL DEL PASO ELEVADO UBICADO SOBRE LA AVENIDA 24 DE MAYO EN PROLONGACION CON LA CALLE BARTOLOME SERRANO DEL CANTON AZOGUES.*
- CARDOZA Q. MARVIN, & VILLALOBOS Z. JOSE. (2005). *EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE UN PUENTE MEDIANTE LA REALIZACIÓN DE UNA PRUEBA DE CARGA ESTÁTICA.*
- Cuesta N, W. F., & Maldonado N, J. S. (2022). Monitoreo de la salud estructural del Puente San José. *Ciencia Digital*, 6(3), 6–22. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v6i3.2157>
- FARFAN D. EDUARDO. (2020). *EVALUACIÓN NUMÉRICA DE LA REPARACIÓN DE PILAS DE PUENTES CON HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS.*
- Juárez F. Luis. (2023). *EVALUACION DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE PEATONAL DE EJE CURVO.* UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

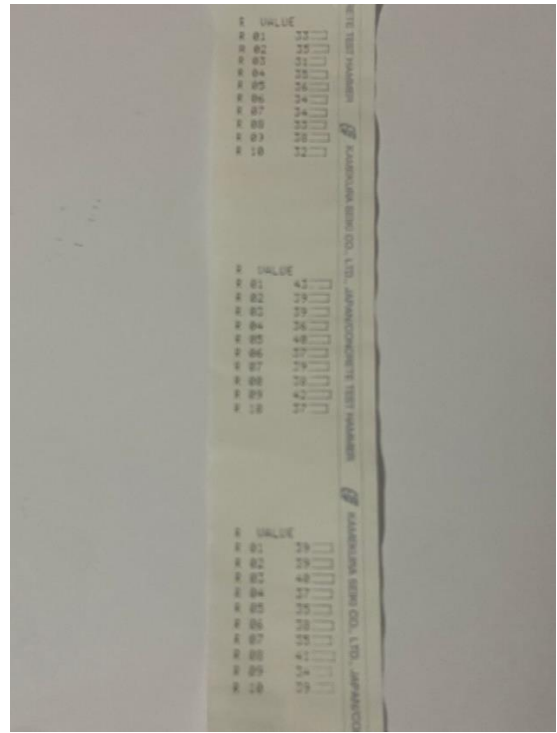
- LOPEZ N. SAUL. (2021). *SISTEMA DE MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL (SHM) DE PUENTES DE HORMIGON MEDIANTE REDES WSN.*
- López R. Hernán, & Salas G. David. (2016). *EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES EN PUENTES PEATONALES EN CONCRETO ARMADO, DETECTANDO LAS POSIBLES CAUSAS Y PROPONIENDO ACCIONES CORRECTIVAS, EN LA LOCALIDAD DE FONTIBÓN.* 1–10.
- LOPEZ R. HERNAN, & SALAS G. DAVID. (2017). *EVALUACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE FALLAS ESTRUCTURALES EN PUENTES PEATONALES EN CONCRETO ARMADO, DETECTANDO LAS POSIBLES CAUSAS Y PROPONIENDO ACCIONES CORRECTIVAS, EN LA LOCALIDAD DE FONTIBÓN.* 1–182.
- Mac, A. M., & Fontao, O. (1996). Patologías del hormigón. Interacción entre el ataque por Sulfatos y la reacción Alkali-arido. *GEOGACETA.*
- M.D. GÓMEZ PULIDO, A. A. I. A. D. D. V. (2007). Refuerzo de estructuras de hormigón con materiales compuestos. *Asociación de Amigos Del Instituto Eduardo Torroja.*
- MEJIA CH. ANGEL, & SALAZAR V. JORGE. (2019). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO PARA EL ANALISIS DE SALUD ESTRUCTURAL DE UN PUENTE A TRAVÉS DE UNA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS UTILIZANDO EL SOFTWARE MATLAB.*
- MONTES DE OCA CARO HAROLD. (2017). *EVALUACIÓN DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LAS PILAS DE PUENTES VEHICULARES DE CONCRETO REFORZADO SUJETO A SISMO Y CARGA VIVA.*
- PERALTA P. FRANKLIN. (2018). *DISEÑO ESTRUCTURAL DE PUENTES PEATONALES SOBRE LA AUTOPISTA PIMENTEL- CHICLAYO.*
- RIAÑO A. HOWART. (2019). *DISEÑO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DEL COMPORTAMIENTO DE UN PUENTE PEATONAL EN PLACA Y VIGA.* UNIVERSIDAD DE LOS ANDES.
- Saracho José Anibal. (2012). *EVALUACION DE PUENTES.* Universidad Nacional de Tucuman.
- SEGUEL A. JOSÉ. (2019). *BASES METODOLÓGICAS PARA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE INSTRUMENTACIÓN Y MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL EN TIEMPO REAL DE PUENTES EN CHILE.*
- Traversa, L. P. (2004). *PATOLOGIA DE LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARM ADO.*
- Unidad de Puentes Programa de Ingenieria Estructural. (2022). *INFORME DE INSPECCIÓN ESPECIAL PUENTE PEATONAL SOBRE RUTA NACIONAL N.º 39 (PARQUE DE LA PAZ).* www.eca.or.cr.

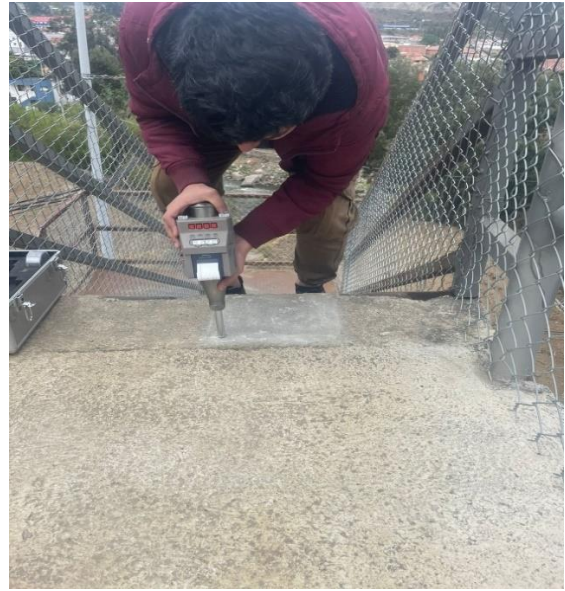
ANEXOS

Anexo 1. Levantamiento topográfico



Anexo 1. Ensayo de esclerometría

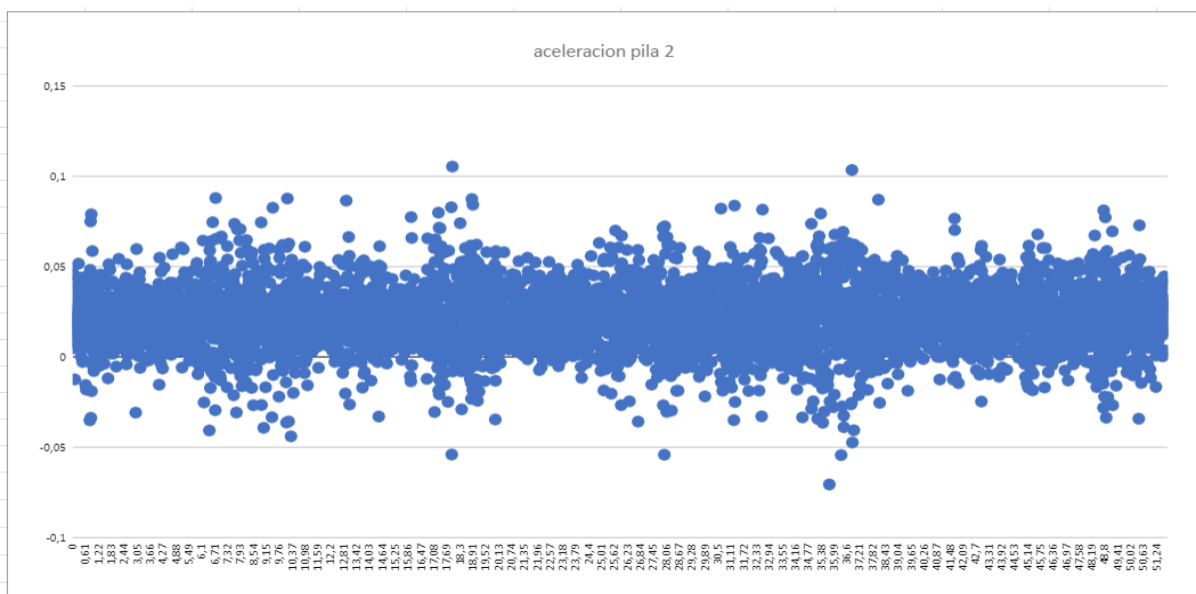
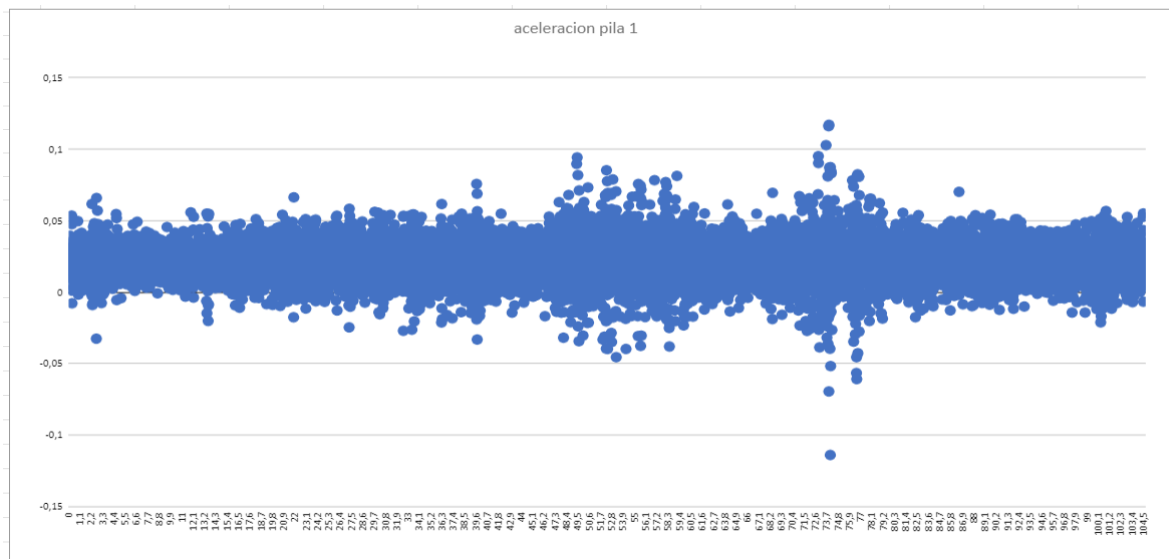




Anexo 1. Ensayo de scanner de hierros



Anexo 1. Ensayo de vibración ambiental (raspberry)



Anexo 2. Ensayo Ultrasonido



AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Carlos Andrés Iñamagua Cuenca portador de la cédula de ciudadanía N.º 1900753227. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del proyecto de titulación **“Evaluación de la Salud Estructural de las Pilas del Puente Peatonal de Nulti”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **29 de febrero de 2024**

F:
Carlos Andrés Iñamagua Cuenca
C.I. 1900753227