



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL
DE UN PASO PEATONAL**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniera e Ingeniero Civil

AUTORES: Jennifer Estefania Galarza Ulloa
Bryan Bayardo Núñez Apunte

TUTOR: David Patricio Guerrero Cuasapaz

Quito – Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jennifer Estefanía Galarza Ulloa con documento de identificación N° 1724605124 y Bryan Bayardo Núñez Apunte con documento de identificación N° 1724365513; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de noviembre del 2024

Atentamente,



Jennifer Estefanía Galarza Ulloa
1724605124



Bryan Bayardo Núñez Apunte
1724365513

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Jennifer Estefanía Galarza Ulloa con documento de identificación N° 1724605124 y Bryan Bayardo Núñez Apunte con documento de identificación N° 1724365513; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto de Investigación: “Integración de la metodología BIM en la evaluación estructural de un paso peatonal”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

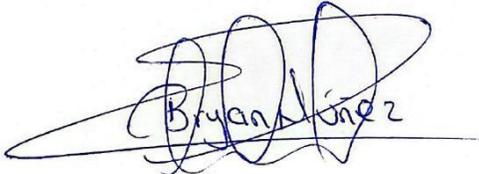
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de noviembre del 2024

Atentamente,



Jennifer Estefanía Galarza Ulloa
1724605124



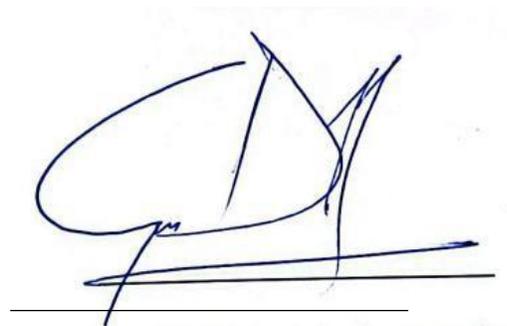
Bryan Bayardo Núñez Apunte
1724365513

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, David Patricio Guerrero Cuasapaz con documento de identificación N° 1715215974, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE UN PASO PEATONAL, realizado por Jennifer Estefanía Galarza Ulloa con documento de identificación N° 1724605124 y Bryan Bayardo Núñez Apunte con documento de identificación N° 1724365513, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto de Investigación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de noviembre del 2024

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'D' followed by 'G' and 'C', with a horizontal line underneath.

Ing. David Patricio Guerrero Cuasapaz, MSc.

1715215974

INTEGRACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE UN PASO PEATONAL

INTEGRATION OF BIM METHODOLOGY IN THE STRUCTURAL ASSESSMENT OF A PEDESTRIAN CROSSING

Jennifer Galarza-Ulloa ¹, Bryan Núñez-Apunte ², David Guerrero-Cuasapaz ³

Resumen

Los pasos peatonales son estructuras diseñadas teniendo en cuenta las necesidades de transporte y comunicación terrestre segura y accesible de los usuarios. La evaluación de los mismos es multidisciplinaria y en ella convergen el uso adecuado de los materiales, el tipo de apoyo estructural, la topografía, la consistencia del terreno y el presupuesto entre otros factores complementados con las normativas correspondientes. Aunque en la actualidad existen diversas herramientas para la modelación tridimensional de las estructuras, la metodología BIM, se destaca por la efectividad y confiabilidad de los análisis a diferencia de los métodos tradicionales empleados. Facilita la detección temprana de conflictos y errores, permitiendo una planificación y gestión más precisa, disminuyendo costos y tiempo de ejecución. El objetivo de la investigación fue abordar la implementación de BIM en la evaluación estructural de pasos peatonales tomando como caso de estudio el paso peatonal ubicado en la ciudad de Quito – Ecuador, sector norte Av. Mariscal Sucre y Legarda. El estudio consistió en el empleo de la herramienta BIM en la generación del modelo digital tanto arquitectónico como estructural, para luego realizar la evaluación de la estructura de acuerdo a los parámetros establecidos en la normativa NEC, el AISC y el ACI. Con respecto a los resultados obtenidos para el periodo de vibración conforme a las normativas previamente citadas, el análisis reveló un incremento casi del 30 % al comparar la modelación del estado actual con la verificación realizada.

Abstract

Pedestrian crossings are structures designed taking into account the safe and accessible transportation and land communication needs of users. Their evaluation is multidisciplinary and includes the appropriate use of materials, the type of structural support, the topography, the consistency of the terrain and the budget, among other factors, complemented by the corresponding regulations. Although there are currently various tools for three-dimensional modeling of structures, the BIM methodology stands out for the effectiveness and reliability of the analyzes unlike the traditional methods used. It facilitates early detection of conflicts and errors, allowing more precise planning and management, reducing costs and execution time. The objective of the research was to address the implementation of BIM in the structural evaluation of pedestrian crossings based on the flow diagram methodology, taking as a case study the pedestrian crossing located in the city of Quito - Ecuador, northern sector of the city. The study consisted of using the BIM tool in the generation of both the architectural and structural digital model, and then carrying out the evaluation of the structure according to the parameters established in the NEC-15, the AISC and ACI. With respect to the results obtained for the vibration period in accordance with the aforementioned regulations, the analysis revealed an increase of almost 30% when comparing the modeling of the current state with the verification carried out.

¹ Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

² Estudiante de la carrera de Ingeniería Civil- Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

³ Docente de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador.

Autor para correspondencia: jgalarzau@est.ups.edu.ec ¹, bnuneza@est.ups.edu.ec ², dguerrero@ups.edu.ec ³

Palabras Clave: BIM, diseño sismorresistente, evaluación estructural, paso peatonal, periodo de vibración.

Keywords: BIM, seismic resistant design, structural evaluation, pedestrian crossing, vibration period.

1 Introducción

Los puentes peatonales son estructuras diseñadas específicamente para permitir el paso seguro de peatones sobre obstáculos como carreteras, vías férreas, ríos u otras barreras. Su principal función es mejorar la seguridad de los peatones al separarlos del tráfico vehicular y otros peligros [1-2].

Están diseñados para ser accesibles a todas las personas, incluyendo aquellas con discapacidades físicas, por lo que son diseñados con la iluminación, la anchura y los elementos de protección necesarios. Esto incluye rampas, ascensores y escalones con medidas adecuadas. Son proyectados no solo para ser funcionales, sino también para integrarse estéticamente en el entorno urbano o natural. La durabilidad de las estructuras se basa en el empleo de materiales resistentes a la intemperie y al desgaste, como acero, concreto y a veces madera tratada [3].

Los métodos de evaluación de las estructuras son variados y dependen de los datos que se necesiten obtener. El método más común es la inspección visual y consiste en una revisión detallada de la estructura para identificar daños visibles, corrosión, grietas y otros signos de deterioro [4].

De igual forma, existen las pruebas no destructivas como los ultrasonidos, la radiografía y la termografía infrarroja. Otros estudios como los análisis de vibraciones y las pruebas de cargas que permiten asegurarse de que los componentes estructurales puedan soportar el peso y las fuerzas previstas [5-6].

Los ensayos de materiales, por otra parte, verifican la resistencia, elasticidad y otros factores críticos a partir de la toma de muestra de los materiales del puente para ser analizados en el laboratorio [7].

Sin embargo, son las simulaciones computacionales, modelos digitales de las estructuras los métodos de evaluación capaces de captar fallas estructurales graves de manera preventiva desde la fase del diseño. Las simulaciones utilizan diferentes condiciones

de carga y evalúan el comportamiento de las estructuras en diversas circunstancias [8-9].

Tradicionalmente, en la etapa inicial de los proyectos de construcción, se evaluaban las estructuras mediante el flujo de trabajo (arquitectura–ingeniería), con lo cual no se llegaba a un consenso integral por la poca e inadecuada relación entre los profesionales, los cuales trabajaban de forma independiente. Esto provocaba incongruencias en las especificaciones técnicas de los proyectos y problemas en el momento de la ejecución [10].

Según Gaitán y Gómez [10] “ausencia de programación detallada de actividades y la existencia de planos obsoletos, entre otros factores, se manifestaban en pérdidas de tiempo y sobrecostos. La ausencia de un diseño integrado no permitía identificar errores o incompatibilidades en las etapas iniciales del proyecto”.

La tecnología de Building Information Modeling (BIM), que se traduce adecuadamente como "Modelado de Información para la Construcción", ha venido a revolucionar los modelos de evaluación brindando “un proceso de gestión de datos para las edificaciones a lo largo de su ciclo de vida mediante el uso de un software dinámico de modelado tridimensional en tiempo real. Este modelo incluye la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica y también las cantidades y propiedades de sus componentes” [11].

La normativa del Ecuador no respalda el uso de la Metodología BIM, esta se utiliza solamente en las empresas privadas, y a nivel nacional no existen políticas de estado para gestionar e implementar soluciones BIM [12].

Esta investigación arroja como resultado una metodología enfocada en la integración del BIM a la actualización y digitalización de la información generada décadas atrás, permitiendo un mejor proceso en la gestión de datos del puente analizado, dando como resultado una representación inteligente de los componentes de la estructura que acogen

información detallada y necesaria de todas las etapas del ciclo de vida de la estructura.

Según el manual de la metodología BIM tiene como objetivo:

Reducir la pérdida de tiempo y recursos durante el proceso de diseño y construcción. El BIM permite una mayor coordinación y colaboración entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, lo que mejora la eficiencia, calidad y comunicación en todas las etapas del proceso constructivo. Al contar con un modelo digital detallado y actualizado, los profesionales pueden tomar decisiones informadas y prevenir problemas potenciales antes de que ocurran, lo que resulta en una mejora general en la entrega de proyectos de construcción [13].

2 Materiales y Métodos

2.1 Modelo paramétrico

Teniendo en cuenta el objetivo de la investigación se asumió como caso de estudio el paso peatonal sobre la Av. Mariscal Sucre, ubicado en la ciudad de Quito–Ecuador, sector norte de la ciudad tal y como se indica en la figura 1. La avenida cuenta con un importante flujo vehicular, cuyos pasos peatonales tienen en funcionamiento más de 20 años [14].



Figura 1. Ubicación del proyecto

Para la evaluación estructural se hizo imprescindible el diseño de un modelo paramétrico, se hizo un modelo paramétrico, que consiste en “una representación digital de un objeto que incluye reglas, características y definiciones que fundamentan la forma en la que se interrelacionan los elementos

componentes del modelo en el espacio virtual” [15].

Para generar el modelo digital de la estructura del puente peatonal se siguió la siguiente metodología BIM a través de un diagrama de flujo, tal y como se detalla en la figura 2 [16].

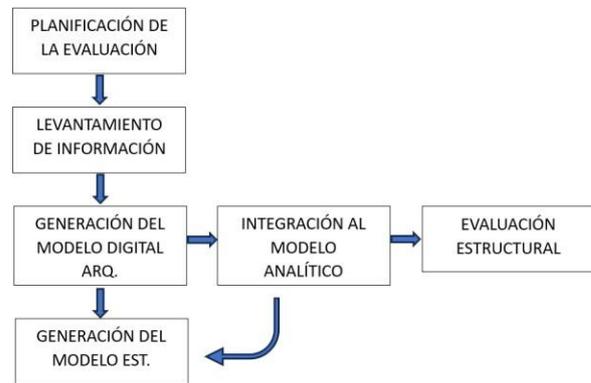


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología BIM utilizada.

A continuación, se detallan cada una de las fases del flujo de la metodología BIM utilizada en esta investigación.

2.2 Levantamiento de información

La información preliminar se obtuvo a partir de los planos arquitectónicos y estructurales con los que se construyó el puente en la década de los 2000’s [17]. Esta información se corroboró a través del levantamiento in situ de las medidas del puente y la generación de un registro fotográfico tal y como se detalla en la figura 3.



Figura 3. Levantamiento de información

2.3 Modelo paramétrico arquitectónico

Siguiendo el flujo de la metodología BIM utilizada en este estudio, se elaboró el modelo paramétrico arquitectónico. Como base, se asumieron los planos del proyecto mismos que demuestran que han sido realizados con las herramientas de la época (reglas, rapidógrafos, normógrafos, etc.), lo cual hace que la información pueda extraviarse o deteriorarse en el tiempo con facilidad. Por tal motivo, fue conveniente el uso de la tecnología BIM, con el fin de digitalizar y centralizar todos los datos del proyecto. Esta metodología mejora la precisión de los planos y reduce el riesgo de pérdida de información, asegurando una gestión más eficiente de los recursos [18].

Debido a las ventajas de la tecnología BIM, en el modelo paramétrico arquitectónico se detallan informaciones relacionadas con los niveles, los anchos del pasillo del puente, tipo de barandal, huella y contra huella de escalera, acabados y otros datos que permiten obtener el acabado final de la estructura. A continuación, se detallan los aspectos relacionados con las vigas, columnas, niveles de proyecto y gradas para la conformación del modelo paramétrico arquitectónico.

En el caso de las columnas fueron creadas primero las familias a partir de la definición de los parámetros, el dibujo de la geometría, la configuración de las propiedades, agregando conectores y anotaciones necesarios para la documentación. De esta forma quedaron definidas dos familias básicas:

- Familia 1. Conformada por columnas tipo acartelada con secciones de 400x200x6 mm y 600x200x6 mm.
- Familia 2. Integrada por la columna de grada de tipo tubular, con una sección de 350x350x6 mm.

Por otra parte, crear las familias de vigas en un entorno BIM implica un proceso similar al de crear columnas, pero con algunas diferencias específicas debido a la naturaleza

de las vigas. Con respecto a estas, la estructura se compone de vigas tipo I principales, de dimensiones similares a las de las columnas de 600x200x6 mm y vigas tipo ángulos de arriostramiento utilizadas para dar mayor rigidez entre las vigas y los pilares.

Por otro lado, los niveles del proyecto se han diseñado en conformidad con las condiciones topográficas del terreno y la Avenida Mariscal Sucre, área de estudio. En consecuencia, el nivel más alto se situó a una elevación de N + 6.14 m en la sección central del puente, mientras que el nivel más bajo se encuentra en el margen izquierdo, con una cota de N - 1.39 m. El nivel de referencia N ± 0.00 para el proyecto está ubicado en el margen derecho de la estructura.

Con los niveles parametrizados fueron creadas las gradas. Las herramientas de modelación que ofrece el software permitieron crear una dualidad entre la parte arquitectónica y estructural de la grada a partir de definir el tipo de viga de apoyo, la altura de la huella y contra huella y los materiales empleados etc.

Aplicando las modificaciones necesarias se obtuvieron los niveles de arranque y descansos de grada para cada lado de la estructura tal y como se visualiza en la figura 4.

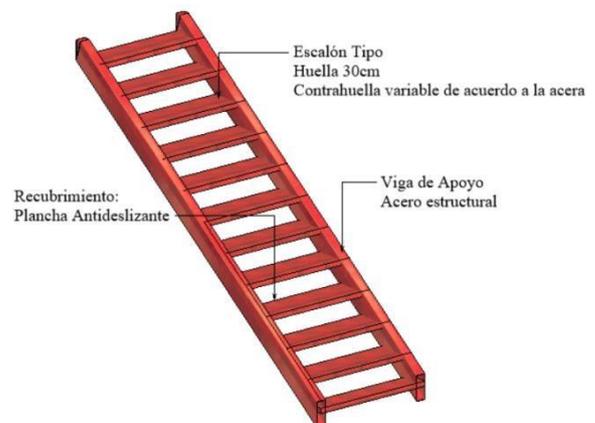


Figura 4. Gradas peatonales del proyecto

De manera general las desventajas asociadas al proceso de modelación arquitectónica estuvieron asociadas a:

- 1) La complejidad del software cuya curva de aprendizaje es significativa.

2) Al nivel de conocimiento técnico del usuario entorno a los principios de diseño para crear familias efectivas y precisas.

3) Los problemas de compatibilidad, pues las familias creadas en un software BIM no son fácilmente transferibles o utilizables en otros programas, lo que limita la interoperabilidad entre diferentes plataformas de software [19].

2.3.1 Modelo final

Con base al software utilizado y las secciones parametrizadas y familias nuevas, se obtuvo la geometría completa del proyecto teniendo en cuenta los planos cuya extensión fue .rvt, tal y

como se aprecia en la figura 5. En ella se observa tridimensionalmente la geometría y los componentes del paso peatonal a detalle tales como las bases, las gradas y los barandales, así como detalles menores como texturas, y placas de acero. Ello corroboró la importancia de la tecnología BIM para lograr una representación detallada y precisa de los proyectos tanto arquitectónicos como estructurales facilitando la planificación, visualización y ejecución de cada componente constructivo y asegurando que todos los elementos, sean considerados y coordinados adecuadamente.

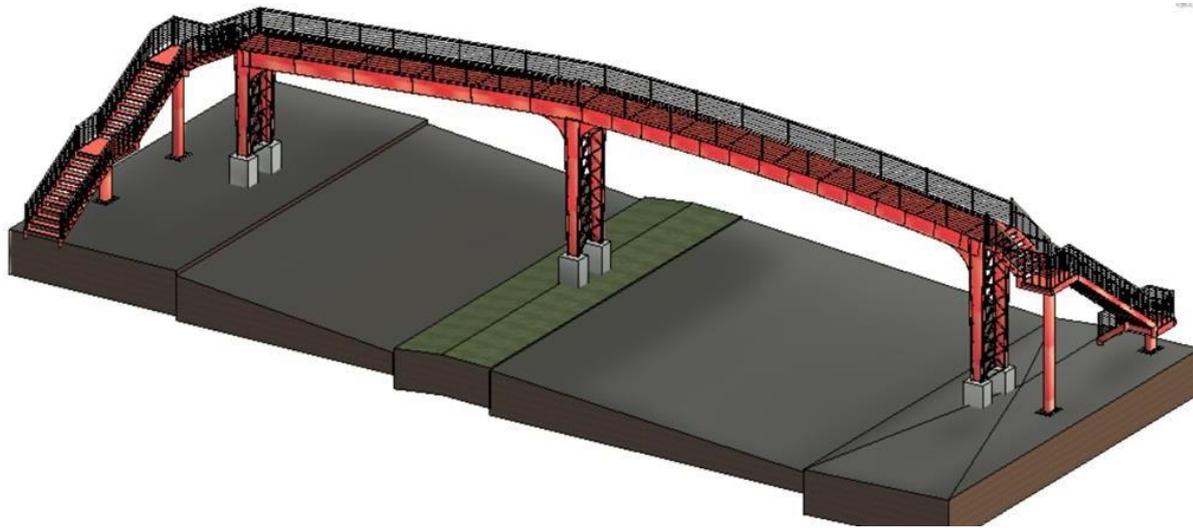


Figura 5. Isometría arquitectónica

2.3.2 Detalles arquitectónicos

Los detalles arquitectónicos corresponden a la colocación de niveles, dimensiones y materiales con los que se pretende implantar un proyecto. En el modelo fueron colocadas texturas a través de imágenes de alta calidad, con lo cual se consiguieron representaciones realistas de la misma. Tal es el caso de la textura tipo placa antideslizante utilizada como tablero principal del puente.

La colocación de texturas en el modelo permite filtrar según el material dado parámetros técnicos, mecánicos, de elasticidad, de resistencia entre otros lo cual contribuye a la toma de decisiones informadas entre todas las partes involucradas en el diseño. En la figura 6 se ejemplifican los parámetros

de información de acuerdo al tipo de material estructural, en este caso del concreto cuya resistencia es de 210 kg/cm².

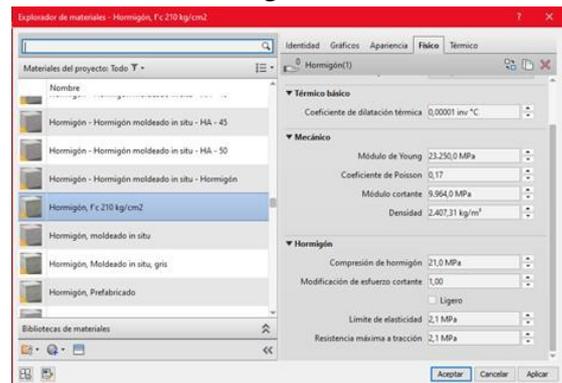


Figura 6. Información paramétrica

En otros casos la colocación de materiales con parámetros específicos como el espesor del replantillo, permitió obtener la resistencia

en un valor de 180 kg/cm². Lo cual es importante para calcular su comportamiento bajo diversas condiciones de carga y uso. Esta información resulta relevante en la detección de la estabilidad y seguridad del edificio.

De igual forma mediante el modelado arquitectónico se obtuvieron detalles de la cimentación en cuanto al funcionamiento y la transmisión de cargas. La figura 7 muestra el modelo de la cimentación para la transmisión de cargas desde las columnas acarteladas al suelo. El modelo corresponde a una zapata combinada con un recubrimiento especial para la zona donde se coloca la placa base.

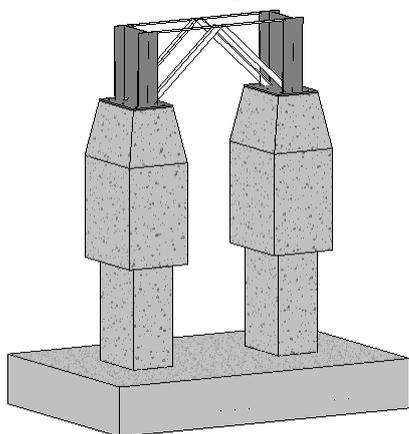


Figura 7. Modelo de cimentación

Con respecto a la cimentación fueron identificadas tres tipos, las cuales varían en cantidad y dimensiones tal y como se identifica en la tabla 1.

Tabla 1. Dimensiones de las zapatas.

Tipo	L1	L2	L3	Cantidad
	M	M	M	
1	3.00	2.00	0.35	2
2	3.00	1.50	0.35	1
3	2.00	2.00	0.35	4

Al integrar todos los parámetros en el modelo BIM, se realizaron simulaciones y ajustes en tiempo real para posibles modificaciones a la estructura.

2.3.3 Normas y parámetros de diseño

Para el diseño y análisis de estructuras como un paso peatonal, es esencial cumplir con las normativas establecidas que aborden adecuadamente las cargas verticales y horizontales, así como la integración de estructuras metálicas y de concreto. En el

contexto ecuatoriano, la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) proporciona las directrices vigentes. Específicamente, se utiliza la NEC-SE-CG para las cargas no sísmicas y la NEC-SE-DS para evaluar el peligro sísmico. La evaluación de las cimentaciones se rige por la NEC-SE-CM, mientras que la evaluación estructural y las combinaciones de cargas se abordan mediante la NEC-SE-AC para estructuras de acero y la NEC-SE-HM para estructuras de hormigón armado.

Además de las normativas nacionales, es fundamental referirse a estándares internacionales para tener una referencia del cumplimiento de las mismas. En el caso de las estructuras metálicas, se sigue el ANSI/AISC, que es el acrónimo del Instituto Americano de Normas e Instituto Americano de Construcción de Acero. Para las estructuras de concreto, se aplican los requisitos de ACI 318. La normativa ASCE/SEI 7-16 establece las mínimas cargas de diseño para edificios y otras estructuras, asegurando que se consideren adecuadamente todas las fuerzas actuantes. Asimismo, el AWS D1.1 2015 se utiliza como referencia para las normativas de soldadura estructural en acero, garantizando la integridad de las conexiones soldadas.

Este enfoque normativo integral permite abordar de manera eficaz tanto los aspectos técnicos como los de seguridad en la ingeniería y construcción de infraestructuras críticas.

2.5 Análisis de cargas

Para el análisis de las cargas aplicadas se tuvo en cuenta el peso propio de los elementos estructurales el cual fue calculado directamente por el software, a partir de los pesos específicos de los materiales:

- Concreto armado: 2.400 kg/m³
- Acero: 7.850 kg/m³

Se consideró una carga adicional de 120 kg/m² correspondiente al peso de los elementos no estructurales.

La carga vertical uniforme para el paso peatonal tomando en consideración la

normativa AASHTO establece un determinado valor y la normativa NEC-15 establece otro valor como se detalla en la tabla 2. Para esta investigación se asumió el valor más crítico de 500 kg/m².

Tabla 2. Sobrecarga permanente y carga viva

Sobre carga permanente (scp)	
Carga	Valor (kg/m ²)
Cubierta	70
Pasamanos	50
Sobrecarga permanente (scp)	120
Carga viva (CV)	
Carga Viva	Valor (kg/m ²)
AASHTO	418
NEC	500

De igual forma, se incluyó el efecto del sismo en el análisis de la estructura, considerando la participación de la carga horizontal equivalente a la aceleración sísmica por la carga muerta de la estructura [20].

Para esta investigación se consideró como carga sísmica reactiva el valor de 100 % de carga muerta más el 25 % de carga viva como se especifica en la NEC-SE-DS [21-22].

2.5.1 Combinaciones de carga

Se definieron las combinaciones de carga según lo dispuesto en la NEC-SE-CG [22]. Las mismas se expresan en las siguientes ecuaciones:

$$1.4 D \tag{1}$$

$$1.2D + 1.6L + 0.5 (máx. Lr, S, R) \tag{2}$$

$$1.2D + 1.6 (máx. Lr, S, R) + (máx. L, 0.5W) \tag{3}$$

$$1.2D + 1W + 0.5 (máx. Lr, S, R) \tag{4}$$

$$1.2D + 1E + L + 0.2 S \tag{5}$$

$$0.9D + 1W \tag{6}$$

$$0.9D + 1E \tag{7}$$

Para definir las combinaciones de carga se consideraron los tipos de cargas que pudieran actuar sobre la estructura, así como la dirección en la que estas se aplicarán. En particular, se tuvo en cuenta que las cargas sísmicas pueden actuar tanto en la dirección positiva como negativa, afectando el diseño y análisis estructural de acuerdo con las normativas sísmicas aplicables.

2.6 Cortante basal de diseño

El corte basal total de diseño V según lo dispuesto en la NEC-SE-DS [23] en el capítulo 6.3.2 parte 2 se determinó mediante la siguiente expresión:

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\Phi_P\Phi_E} W \tag{8}$$

Donde:

V: Cortante basal total de diseño.

I: Coeficiente de importancia.

Sa (Ta): Espectro de diseño en aceleración.

R: Factor de reducción de resistencia sísmica.
 Φ_P , Φ_E : Coeficientes de configuración en planta y elevación.

W: Carga sísmica reactiva.

Ta: Periodo de vibración.

Mediante la ecuación 8 se utilizó un coeficiente de corte basal V de 0,184 para el análisis sismo estático equivalente en dirección X-X y Y-Y.

Para definir el espectro se tomó en consideración la sección 3.3.1. NEC- SE-DS [23] se utilizó los parámetros sismorresistentes indicados en la tabla 3.

Tabla 3. Espectro elástico de diseño en aceleraciones

Parámetro	Valor	Unidad
R=	2.00	U
Z=	0.40	U
I=	1.14	U
g=	9.81	m/s
Φ_{Ex} =	0.90	U
Φ_{Ey} =	0.90	U
Φ_P =	0.90	U
n=	2.48	U
r=	1	U
Fa=	1.20	U
Fd=	1.19	U
Fs=	1.28	U
To=	0.127	S
Tc=	0.698	S

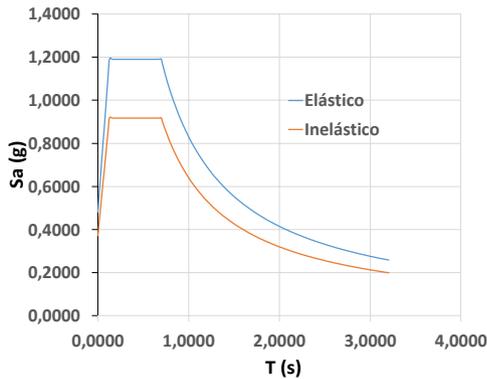


Figura 8. Espectro de diseño basado en aceleraciones
El coeficiente de reducción de respuesta estructural R escogido para esta estructura es 2, dado que, de acuerdo con los valores de R especificados en la NEC-SE-DS, se seleccionó otras armaduras no descritas en el documento. [23,24].

2.7 Implementación metodología BIM al proyecto

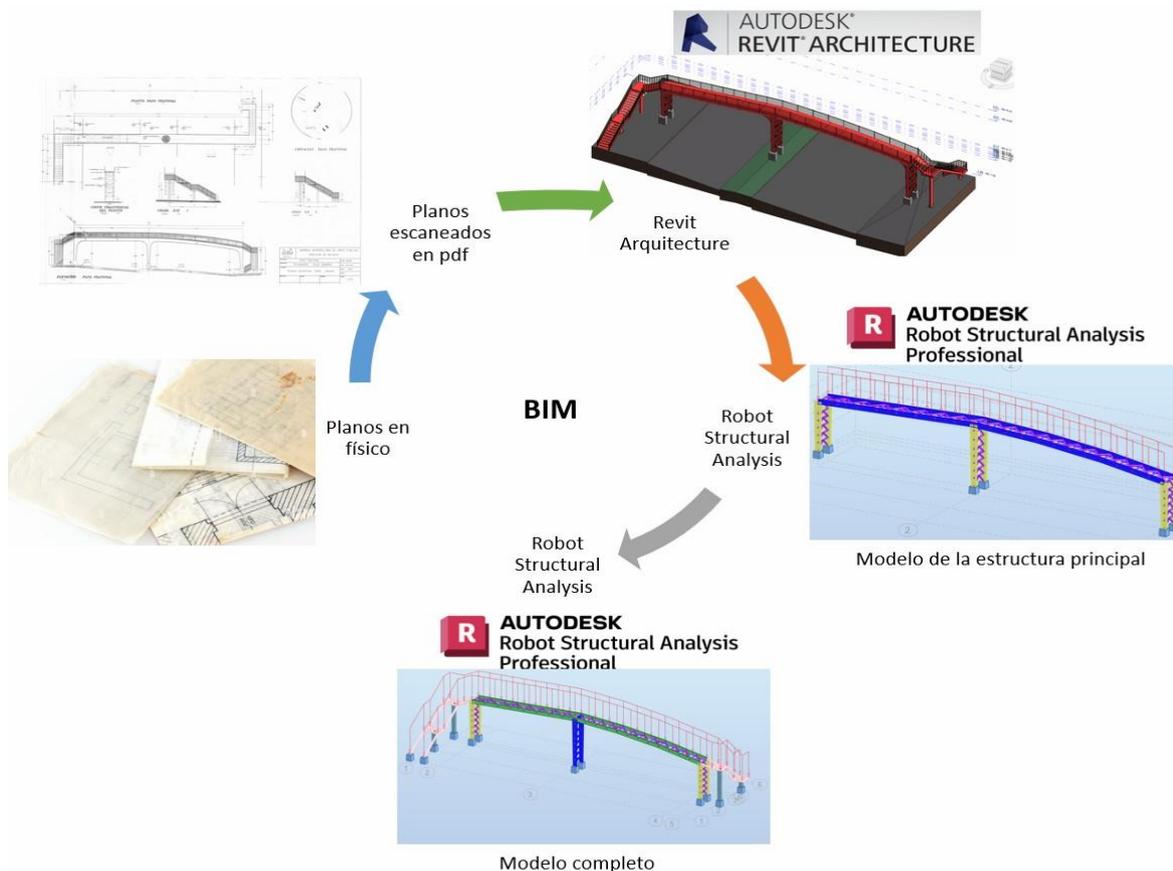


Figura 9. Implementación Metodología BIM

2.8 Modelado en software estructural

Para el modelado estructural del proyecto se definieron tres casos de estudio: el primero donde únicamente se muestra la estructura principal, el segundo con la inclusión de la estructura de las gradas a ambos márgenes de la vía y el tercero un modelo corregido similar al segundo modelo, pero con los cambios necesarios para actualizar el modelo a la normativa vigente.

2.8.1 Preparación del modelo

Con el modelo arquitectónico, se procedió a utilizar el software Autodesk Robot Structural Analysis Professional (Robot) el cual se integró con el modelo arquitectónico desarrollado en Autodesk Revit. Esta integración permitió una interoperabilidad eficiente entre ambas plataformas, facilitando la transferencia de datos y garantizando que los

análisis estructurales realizados en Robot se alinearán con los diseños arquitectónicos creados en Revit.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional, comúnmente conocido como Robot, es un software avanzado de análisis y diseño estructural. El cual permite realizar simulaciones complejas de estructuras bajo diversas condiciones de carga y soportes, incluyendo cargas estáticas y dinámicas, como las cargas sísmicas y de viento. Robot ofrece herramientas para modelar y analizar estructuras de diversos materiales y tipos, facilitando la integración con otros programas de Autodesk y optimizando el flujo de trabajo desde el diseño conceptual hasta el análisis detallado y el diseño final [24].

Teniendo en consideración estas ventajas y basados en el modelo arquitectónico, se estableció el sistema de coordenadas, el cual fue importado junto con el modelo o generado a través del propio software.

2.8.2 Modelación de elementos estructurales

Como resultado de la modelación estructural utilizando el software Robot se obtuvo el esquema que se indica en la figura 10.

El momento de realizar la transferencia del modelo arquitectónico hacia la parte estructural y a su vez al software Robot se genera una inconsistencia en la transferencia de los datos que tienen gran complejidad.

Finalmente se realizó el modelado de la estructura de acuerdo a la necesidad estructural requerida, en este caso la colocación de ángulos corta pandeos, tanto en vigas como columnas. Posteriormente con el modelo ya finalizado con relación a las dimensiones y colocación de secciones, se aplicó la carga vertical y la carga horizontal para proceder a la evaluación de la misma.

2.9 Evaluación Estructural

2.9.1 Tipo de suelo

Los factores sísmicos fueron los establecidos en la tabla 2 de la NEC-SE-DS para la ciudad en la que se construyó el proyecto:

- Ciudad: Quito
- Provincia: Pichincha
- Región: Sierra
- $Z = 0.40$
- $n=2.48$

El perfil de suelo actual es tipo D. Según los cálculos dispuestos en la NEC-SE-DS se obtiene la aceleración espectral:

$$S_a = 1.19$$

Los coeficientes del suelo modificado tomaron los siguientes valores:

$$F_a = 1.20$$

$$F_d = 1.19$$

$$F_s = 1.28$$

El tipo de ocupación no es de edificaciones esenciales ni estructuras de ocupación especial, por lo tanto, se tomó un valor promedio entre los mismos, el valor de la importancia promedio de la estructura se obtuvo de la tabla 6 del NEC-SE-DS [23]

$$I = 1.4$$

2.9.2 Periodo fundamental de vibración

Para la determinación del periodo fundamental de estructuras de acero con arrostros se tomó en cuenta la NEC-SE-DS [23] así como se detalla en la tabla 4 y la CEC-2001 [25] tal como se especifica en la tabla 5:



Figura 10. Modelación de los elementos estructurales

Tabla 4. Tipo de estructura

Tipo de estructura NEC-SE-DS		
Estructuras de acero	Ct	α
Sin arriostramiento	0.072	0.8
Con arriostramiento	0.073	0.075

Tabla 5. Tipo de estructura

Tipo de estructura CEC-2001	
Descripción	Ct
Pórticos de acero	0.09
Pórticos espaciales de hormigón armado	0.08
Pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales y para otras estructuras	0.06

En el caso de la estructura se debe analizar el periodo fundamental de vibración que tiene la estructura, en este caso la norma NEC-SE-DS [23] establece la siguiente ecuación 9 para determinar el periodo teórico

$$T = Ct * h^\alpha \quad (9)$$

Esta ecuación difiere de la establecida por la CEC-2001 [25] la cual utiliza una ecuación similar indicada a continuación.

$$T = Ct * h^{3/4} \quad (10)$$

En este caso el valor de Ct se mantiene en 0.09; con ello los valores del periodo fundamental de la estructura son los indicados en la tabla 6 [25]:

Tabla 6. Valores del periodo fundamental de la estructura

Parámetro	Periodo	Unidad
NEC-15	0.29	S
CEC-2001	0.36	S

La variación existente entre ambos periodos es de 7 segundos.

2.9.3 Derivas Máximas

Según la normativa capítulo 4.2.2 NEC-SE-DS [23], se estipula que las derivas inelásticas de piso no pueden exceder del 2 % lo cual se verificó con las ecuaciones 11 y 12.

$$\Delta_M = 0.75 * R * \Delta_E \quad (11)$$

$$\Delta_M < \Delta_M \text{ máxima} \quad (12)$$

Donde:

Δ_M : deriva de piso máxima horizontal inelástico.

Δ_E : deriva elástica de piso.

R: factor de reducción de respuesta.

El valor máximo permitido de las derivas de piso para el diseño de estructuras metálicas es el indicado en la figura 11:

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Figura 11. Límites permisibles de las derivas de los pisos

En el caso del diseño de un puente se tiene una altura libre de entre piso de 6 metros con

un desplazamiento máximo según el software de 0.004.

Como dato particular se tomó como referencia la placa base actual que indicó una dimensión de 410x610 mm y un espesor de 15 mm. El anclaje en la modelación propuesta es perno de uso estructural o varilla corrugada como se indica en la figura 12.

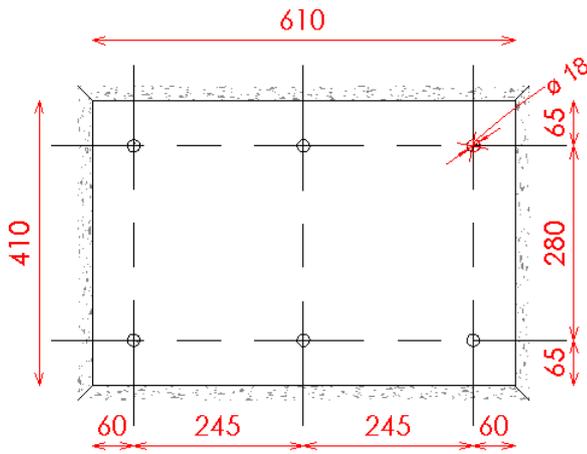


Figura 12. Placa base en la estructura principal del puente.

Realizando una comparación de la estructura existente con la estructura diseñada y según lo establecido en la norma ANSI/AISC [29], se obtuvo que la dimensión actual de 610x410 mm debe tener un espesor superior al existente, requiriendo un espesor mínimo de 19 mm.

Por otro lado, en la placa base actual no se especifica el tipo de anclaje a realizar. Según el modelo diseñado y las normativas analizadas se requiere la colocación de anclajes tipo perno roscado en acero ASTM F1554 negro, cuya resistencia es de 2530 kg/cm².

2.9.4 Cimentaciones

Para la evaluación de la cimentación no se contó con un estudio de suelo previo del sector, a fin de comprobar el tipo de suelo real del sitio, sin embargo, se pueden analizar ciertos parámetros, como el recubrimiento, los aceros de refuerzo y la separación entre estos.

En cuanto al acero de refuerzo el primer punto a analizar corresponde a la norma CEC-2001 la cual plantea el uso de estribos de diámetro menor a los 10 mm como refuerzo

transversal o estribos en columnas como se muestra en la figura 13. De igual forma fue analizada la norma NEC-15.

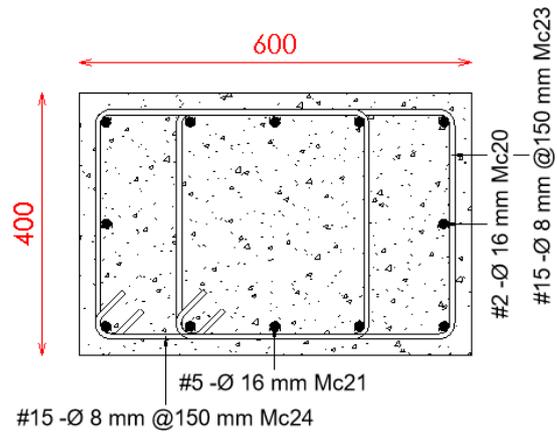


Figura 13. Armado de pedestal para estructura del puente.

En el caso de los elementos estructurales de concreto existentes esta normativa no fue cumplida. Por lo cual debe ser reforzada la estructura del pedestal de manera que se cumplan con los estándares actuales.

En otro análisis se observó como el acero longitudinal ubica un armado de 12 varillas con diámetro de 16 mm en un área de 70x80 cm.

Los datos mencionados anteriormente fueron contrastados con la con la actualización de la normativa NEC-SE-HM [30], y la ACI-318 con respecto a la distribución del acero en las patas de anclaje de los pedestales de los elementos que se aprecian en la figura 14.

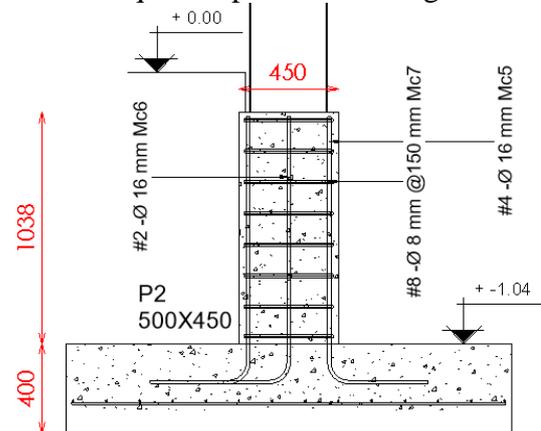


Figura 14. Esquema del corte y figurado del acero

En cuanto a los recubrimientos, los estándares mínimos actuales para estructuras

en contacto con el suelo según la normativa NEC-15 son de 7.5cm, valores que cumple la estructura actual según se indica en la documentación técnica revisada en los planos.

3 Resultados y Discusión

Con el propósito de valorar, corroborar y establecer el óptimo desempeño estructural desde una perspectiva técnica para la evaluación estructural de un paso peatonal mediante la tecnología BIM, se llevó a cabo un análisis de los modelamientos. A partir de los datos obtenidos, se verificó el diseño más idóneo que aseguró la seguridad estructural y la integridad de los ocupantes del paso peatonal, cumpliendo con las normas de diseño sismorresistente estipuladas en la NEC-15.

3.1 Periodo de Vibración

En cuanto al análisis de la variación del período de la estructura con la normativa CEC-2001 y la normativa NEC-15, se observó que en las modelaciones existe un periodo menor de 9 segundos, tal como indica la tabla 7.

Tabla 7. Periodo de la estructura

CEC-2001			
MODO	Periodo (s)	U _x	U _y
1	0.22	0.18	0.00
NEC-15			
MODO	Periodo (s)	U _x	U _y
1	0.31	0.50	0.00

Se realizó la verificación del periodo fundamental con la CEC-2001, en donde la misma se ubica bajo el límite permisible con un valor de 0.22 segundos, por lo tanto, tiene un comportamiento rígido.

El modo de vibración en la NEC-15 llegó a 0.31 segundos, el cual no supera el límite permitido, dando un comportamiento flexible, garantizando una mejor capacidad de disipación de energía dentro del rango elástico, evitando así la resonancia.

La variación del periodo fundamental de la estructura se ilustra de mejor forma en la figura 15, se realizó un cambio de secciones, espesores en vigas y columnas para cumplir

con el periodo de vibración de la normativa NEC-15.

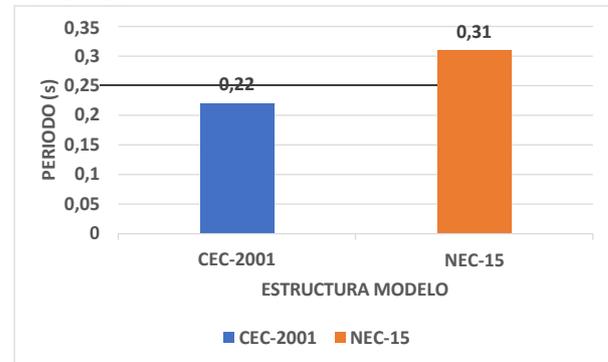


Figura 15. Variación del periodo de la estructura

3.2 Participación de masa

De acuerdo con los datos presentados en la tabla 9, cumplió el porcentaje de participación de masa requerido por la NEC-15 según el capítulo 6.6.2 en el cual se establece que en el análisis dinámico estructural todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada sea al menos de 90 % de la masa total de la estructura.

3.3 Verificación corte basal

Dependiendo de la regularidad de la estructura, el cortante basal (VD) establece que el cortante dinámico no debe superar el 80 %, así como el cortante estático (VE) no debe superar el 85 %, conforme a la sección 6.2.2 de la normativa de diseño sismorresistente.

Con los valores de la tabla 8 se verificó el cumplimiento de las 2 estructuras mediante la ecuación 13 que se establece en la norma [23].

$$Dinámico \geq 85 \% * Estático \quad (13)$$

Tabla 8: Fuerza lateral de la estructura

Nivel (m)	VE (t)	VD (t)	VE (t)	VD (t)
CEC-2001		NEC-15		
Sentido X-X				
5.50	3.99	8.96	3.50	3.78
Sentido Y-Y				
5.50	3.99	9.57	3.50	4.61

El porcentaje que difiere entre las dos normativas es mínimo llegando hasta un 85 %,

debido a esto el modelo con la norma NEC-15 garantiza un mejor comportamiento estructural ante eventos de fuerzas laterales originado por los sismos vs la normativa CEC-2001.

Tabla 9: Porcentaje de participación de masas

Modo	Frecuencia (Hz)	Periodo (s)	U _x	U _y	U _z	Masas U _x (%)	Masas U _y (%)	Masas U _z (%)
CEC-2001								
1	4.50	0.22	83.26	0.00	0.00	83.26	0.00	0.00
2	6.46	0.15	83.26	40.61	0.00	0.00	40.60	0.00
3	8.91	0.11	83.27	55.39	0.00	0.00	14.78	0.00
4	14.48	0.07	86.94	55.54	0.00	3.67	0.15	0.00
5	15.21	0.07	87.09	75.36	0.00	0.15	19.82	0.00
6	15.36	0.07	87.09	82.57	0.00	0.00	7.21	0.00
7	16.75	0.06	87.14	82.83	0.00	0.05	0.26	0.00
8	18.71	0.05	90.27	82.85	0.00	3.12	0.02	0.00
9	20.44	0.05	90.45	83.14	0.00	0.19	0.29	0.00
10	20.86	0.05	91.84	83.14	0.00	1.39	0.01	0.00
11	23.06	0.04	91.84	83.19	0.00	0.00	0.05	0.00
12	24.15	0.04	91.86	83.26	0.00	0.01	0.07	0.00
13	26.78	0.04	91.86	85.83	0.00	0.00	2.57	0.00
14	28.24	0.04	91.86	85.87	0.00	0.00	0.04	0.00
15	29.67	0.03	91.86	89.92	0.00	0.00	4.05	0.00
NEC-15								
1	3.27	0.31	82.44	0.20	0.00	82.44	0.20	0.00
2	4.34	0.23	82.90	32.75	0.00	0.46	32.55	0.00
3	6.70	0.15	82.91	54.32	0.00	0.01	21.57	0.00
4	11.61	0.09	83.20	56.40	0.00	0.29	2.08	0.00
5	12.28	0.08	88.89	56.48	0.00	5.70	0.07	0.00
6	13.49	0.07	88.91	73.68	0.00	0.01	17.20	0.00
7	14.18	0.07	88.92	84.75	0.00	0.01	11.07	0.00
8	14.79	0.07	89.15	86.14	0.00	0.23	1.39	0.00
9	16.31	0.06	89.15	86.43	0.00	0.00	0.29	0.00
10	17.22	0.06	91,17	86.44	0.00	2.02	0.00	0.00
11	17.56	0.06	91.65	86.44	0.00	0.48	0.00	0.00
12	18.68	0.05	93.22	86.45	0.00	1.56	0.01	0.00
13	19.67	0.05	93.22	86.68	0.00	0.00	0.23	0.00
14	22.29	0.04	93.22	87.47	0.00	0.00	0.79	0.00
15	23.15	0.04	93.24	88.09	0.00	0.02	0.62	0.00

3.4 Deriva Máxima

La deriva máxima encontrada en los 3 modelos de análisis no supera el 2 % límite para estructuras arriostradas de acero lo cual se observa en la tabla 10.

Tabla 10. Variación del periodo de la estructura

Parámetro	Valor (%)
Modelo 1	0,70
Modelo 2	0,50
Modelo 3	0,75

Sin embargo, entre los tres modelos de análisis, existe una variación de la deriva encontrada, tal y como se observa en la figura 16, con esa premisa los modelos analizados cumplieron con las disposiciones, y se evidencia que las deformaciones ante fuerzas horizontales sean mínimas.

Las derivas de piso en la estructura metálica se ajustan de manera más óptima a no despuntar el 2 %, que son los valores deseados, sobre todo se verificó que no existirá

deformaciones excesivas evitando daños catastróficos durante un evento sísmico.

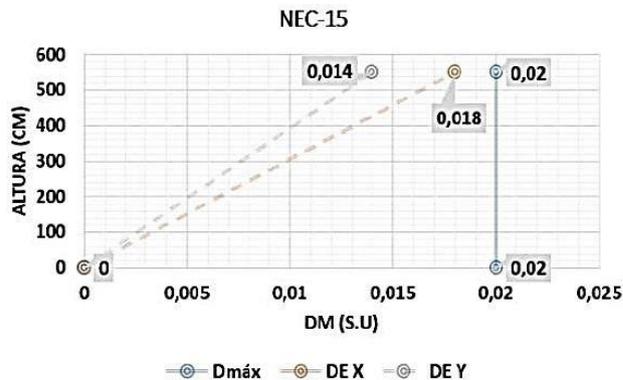
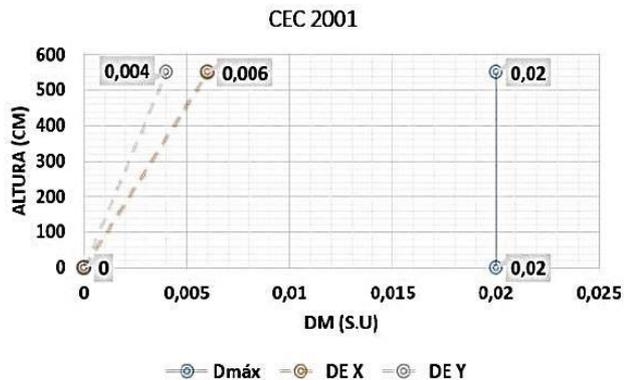


Figura 16. Variación de la deriva máxima de piso

3.5 Diseño sismorresistente de la estructura

El diseño del puente peatonal se desarrolló conforme a los principios de diseño sísmico para asegurar su integridad estructural y seguridad durante eventos sísmicos. Ubicado en una zona de alta actividad sísmica, el puente fue diseñado empleando un sistema de contrafuertes de acero, optimizando la relación entre rigidez y ductilidad [31].

El análisis estructural, llevado a cabo mediante la metodología BIM, incluyó simulaciones dinámicas y un exhaustivo análisis modal. Los resultados mostraron que el puente mantiene una derivación del piso dentro de los límites establecidos por la normativa NEC-15. El diseño detallado de conexiones dúctiles y el refuerzo de pilares garantizaron que la estructura pudiera disipar eficazmente la energía sísmica, reduciendo al mínimo el riesgo de daños estructurales.

La implementación del BIM facilitó la iteración y optimización del diseño, permitiendo una respuesta adaptable a las cargas sísmicas previstas y asegurando la seguridad y rendimiento del puente en condiciones extremas.

3.6 Secciones de los Elementos

De igual forma fue revisado si los elementos cumplen con secciones compactas o sísmicamente compactas de acuerdo a la NEC-SE-AC misma que hace referencia a la AISC 360 y AISC 341 [29].

En la tabla 11 se muestra el análisis hecho en base a las ecuaciones de la tabla indicada en la norma NEC-SE-AC para el diseño de estructura en acero [32]

Tabla 11. Evaluación geométrica

Viga principal		
Parámetro	Valor(cm)	Criterio
Ala (bf)	20.00	No compacta
Ala (tf)	0.60	
Alma (h)	60.00	Compacta
Alma (tw)	0.60	
Columna de grada		
Parámetro	Valor(cm)	Criterio
Ala (bf)	35.00	No compacta
Ala (tf)	0.60	
Alma (h)	35.00	No compacta
Alma (tw)	0.60	
Columna principal		
Parámetro	Valor(cm)	Criterio
Ala (bf)	20.00	No compacta
Ala (tf)	0.60	
Alma (h)	60.00	Sísmicamente Compacta
Alma (tw)	0.60	
Parámetro	Valor(cm)	Criterio
Ala (bf)	20.00	No compacta
Ala (tf)	0.60	
Alma (h)	60.00	Compacta
Alma (tw)	0.60	

Tanto las vigas como las columnas se muestran como no compactos, lo cual indica que al producirse un esfuerzo por flexión estos elementos pueden sufrir una falla en su eje débil y generar lo que comúnmente se conoce como falla por pandeo local.

Para cumplir con la compacidad en el caso de las vigas se propone el cambio de la sección de 600x20x6 mm, a una viga de 450x8 en alma -200x1.8 mm en patín, colocando además la estructura de gradas en ambos extremos. Con lo cual se asegura que la estructura sea sísmicamente compacta cumpliendo así con la normativa actual.

4 Conclusiones

Los resultados presentados muestran que el uso de BIM en el diseño de puentes peatonales ofrece una reducción significativa en el tiempo de diseño, así como una disminución en los costos asociados al proyecto, lo que demuestra la eficiencia y rentabilidad de BIM en comparación con los métodos tradicionales. Además, la reducción en el número de errores detectados sugiere una mejora en la precisión del diseño, lo que puede contribuir a una ejecución de proyecto más fluida y menos propensa a retrasos.

Con referencia a la evaluación estructural utilizando la normativa CEC-2001 vs la normativa NEC-15 se puede establecer que el paso peatonal actualmente tiene ciertas deficiencias con respecto al comportamiento diseño sismorresistente, por lo tanto, se observó que la capacidad sísmica de los elementos estructurales no es adecuada, siendo uno de los parámetros a mejorar; la ductilidad de las secciones de vigas y columnas, es decir mejorar la relación ancho espesor de los mismos.

Referencias

- [1] H. Hernández Barrios, I. Huergo Ríos y C. Arce León, «Propiedades dinámicas y condiciones de servicio

- de puentes peatonales en México,» *Ing. sísm*, n° 106, pp. 112-135, 2021.
- [2] S. Andrade Ochoa y V. I. Chaparro Gómez, «Relación cuantitativa entre atropellamientos y puentes peatonales en Chihuahua, México,» *Revista INVI*, vol. 37, n° 106, pp. 121-148, noviembre 2022.
- [3] S. Andrade Ochoa, V. I. Chaparro Gómez, E. E. Martínez García y F. R. Pérez Fuentes, «EVALUACIÓN DE PUENTES PEATONALES: Un estudio descriptivo sobre caminabilidad y accesibilidad universal,» *Economía urbana, Desarrollo Urbano y Movilidad*, n° 90, pp. 1-13, 2020.
- [4] L. M. Ríos Cortes y P. Quintero Palacio, «Inspección visual de la Avenida Sur, desde Batallón San Mateo hasta Variante La Romelia El Pollo tramo Mercasa en Pereira, Risaralda,» 2022.
- [5] P. P. Quintana Romero y L. A. Sánchez Vera, «Implementación de un banco de pruebas de ensayos no destructivos para la carrera de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi extensión La Maná,» Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC), Ecuador, 2023.
- [6] E. P. Melgarejo Alvarez y J. J. Condori Flores, «Control de calidad mediante termografía infrarroja activa, como ensayo no destructivo, para detectar y evaluar fallas en juntas soldadas,» Universidad Católica de Santa María, Arequipa - Perú, 2023.
- [7] K. R. Oré Urbay, «Guadua angustifolia como material estructural en puentes peatonales de la zona rural del Distrito de Pichanaqui,» Universidad Peruana de los Andes, Huancayo – Perú, 2024.

- [8] L. A. Juárez Fabián, «Evaluación del comportamiento estructural de un puente peatonal de eje curvo,» Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad México, México, 2023.
- [9] F. N. Gonzales Ayala y W. E. Reynoso Fernández, «Rediseño y evaluación intermodal de la intersección de las avenidas Sucre y Bolívar utilizando,» Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima, 2023.
- [10] J. Gaitán y A. Gómez, «Using the methodology BRIM (BRIDGE INFORMATION MODELING) as a tool for planning the construction of a concrete bridge in Colombia,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 24, n° 2, pp. 145-156, 2014.
- [11] EDITECA, «El BIM en Latinoamérica [Actualizado],» 6 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>.
- [12] L. López y A. Tapia, «Implementación de la metodología BIM al desarrollo del proyecto "Edificio Pan Real" de la ciudad de Cuenca,» 2023. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/25765>.
- [13] AUTODESK, «Manual de Introducción a BIM para Ingeniería civil,» 2018. [En línea]. Available: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/products/bim-360/autodesk-ebook-bim-getting-started-guide-infra-es.pdf>.
- [14] Ayuntamiento de Legarda, «Archivo digital de Legarda,» 1576-1626. [En línea]. Available: <https://www.archivodigital-legarda.com/es/apuntes-historicos>. [Último acceso: 2024].
- [15] W. Florio y A. Tagliari, «Modelado paramétrico en el proceso de diseño: estrategias para crear flexibilidad y adecuación espacial para la vivienda social,» *Revista Dearq.*, vol. 1, n° 31, pp. 46-59, 2021.
- [16] E. Coloma Picó, «Introducción a la Tecnología BIM,» Departamento de Expresión Gráfica Arquitectura, 2008.
- [17] *Plano Arquitectónico*, Quito, 2000.
- [18] O. Regalado Huanambal y G. Burga Muñoz, «Análisis de la gestión de la construcción de una obra de pavimentación, donde se aplica la metodología building information modeling (BIM) Chota-Carajamarca,» Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota-Perú, 2023.
- [19] S. Contreras Varas y J. P. Morales, «Un breve ensayo a partir de la recolección de experiencias entorno a la valoración de la implementación BIM en oficinas de arquitectura a nivel local,» Universidad de Chile, 2021.
- [20] AASHTO, Guía de Especificaciones para el Diseño de Puentes Peatonales (Traducción al Español), D. Marcano, Ed., American Association of State Highway and Transportation, 2011.
- [21] Mena Ramírez, A. S. (2019). *Diseño estructural de un edificio de cinco plantas con estructura metálica, utilizando disipadores sísmicos SLB*. (Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniera Civil, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito). Tutor: Guerrero Cuasapaz, D. P.
- [22] Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG, "Cargas No Sísmicas", Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015.

- [23] NEC-SE-DS, Norma Ecuatoriana de la Construcción - Peligro Sísmico Diseño Sismoresistente, CAMICOM, 2015.
- [24] Smith, J., & Johnson, L. (2020). Aplicación del programa Robot Structural Analysis en el diseño de estructuras. *Journal of Structural Engineering*, 45(3), 234-245. <https://doi.org/10.1234/jse.2020.234>
- [25] Código de práctica Ecuatoriana CEC-2001, "Requisitos generales de Diseño" Peligro sísmico, espectros de diseño y requisitos mínimos de cálculo para diseño sismo - resistente - Ecuador.
- [26] E. Melo Pineda, «Análisis de datos bajo el modelo de automatización robótica de procesos a través del,» EAN Universidad, Bogotá, 2024.
- [27] Elizalde Pito, S. D., & Zaruma Amangandi, C. A. (2023). *Análisis comparativo de las normativas históricas ecuatorianas para las tipologías estructurales de hormigón armado de 2 a 4 pisos en la ciudad de Quito* (Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Carrera de Ingeniería Civil). Tutor: C. A. Ayala Moya
- [28] Borbor Bajaña, M. A., & Ponce Pineda, H. P. (2022). *Estudio comparativo de diferentes materiales usados en la construcción de puentes peatonales en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas, Ecuador*. Proyecto de Graduación, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra.
- [29] ANSI/AISC, «Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,» American Institute of Steel Construction, Chicago, 2016.
- [30] Norma Ecuatoriana de la Construcción- Estructuras de Hormigón Armado, CAMICON, 2015.
- [31] ANSI/AISC, «Specification for Structural Steel Buildings,» Asociación Latinoamericana del Acero, Santiago de Chile, 2016.
- [32] Norma Ecuatoriana de la Construcción - Estructuras de Acero, Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015.