



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Control de deformaciones en el Puente 8 de la Avenida General Rumiñahui mediante observaciones topográficas convencionales y GNSS, para controlar y monitorear el estado de la estructura.

Haro Ruiz, Sharon Nicole

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Civil

M.Sc. Leiva González, César Alberto

M. Sc. Sinda González, Izar

10 de septiembre del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS - Haro Nicole.docx (D112251617)
Submitted: 9/8/2021 8:10:00 PM
Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec
Significance: 3 %

Sources included in the report:

Carrera Alejandra Tesis .pdf (D100624942)
PROYECTO_TITULACION_ELIZALDE_ITAS.docx (D91392957)

Instances where selected sources appear:

2

Firma:



Escaneado digitalmente por:
**CESAR ALBERTO
LEIVA GONZALEZ**

Ing. Leiva González, César Leiva M.Sc.

C. C. 1715416689

Firma:



Escaneado digitalmente por:
**IZAR SINDE
GONZALEZ**

Ing. Sinde González, Izar M.Sc.

C. C. 1756491278



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el trabajo de integración curricular, “**Control de deformaciones en el Puente 8 de la Avenida General Rumiñahui mediante observaciones topográficas convencionales y GNSS, para controlar y monitorear el estado de la estructura**” fue realizado por la señorita **Haro Ruiz, Sharon Nicole** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Firma:



Firmado digitalmente por:
**CESAR ALBERTO
 LEIVA GONZALEZ**

Ing. Leiva González, César Leiva M.Sc.

C. C.1715416689

Firma:



Firmado digitalmente por:
**IZAR SINDE
 GONZALEZ**

Ing. Sinde González, Izar M.Sc.

C. C. 1756491278



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Haro Ruiz, Sharon Nicole**, con cédula de ciudadanía n°1004402382, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **“Control de deformaciones en el Puente 8 de la Avenida General Rumiñahui mediante observaciones topográficas convencionales y GNSS, para controlar y monitorear el estado de la estructura”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Firma

.....
Haro Ruiz, Sharon Nicole

C.C.: 1004402382



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Haro Ruiz, Sharon Nicole**, con cédula de ciudadanía n°1004402382, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **“Control de deformaciones en el Puente 8 de la Avenida General Rumiñahui mediante observaciones topográficas convencionales y GNSS, para controlar y monitorear el estado de la estructura”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de septiembre de 2021

Firma

.....
Haro Ruiz, Sharon Nicole

C.C.: 1004402382

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mi madre, Sonia, quien es mi mayor motivación para seguir adelante, quien con su amor, esfuerzo y dedicación me ha permitido cumplir con esta meta.

Sharon Nicole Haro Ruiz

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios por la sabiduría e inteligencia para poder afrontar momentos duros en esta etapa.

A mi madre, por su apoyo incondicional, esfuerzo y valentía que me ha servido como ejemplo para encontrarme en este punto. A mis hermanas porque siempre recibí su apoyo.

A mis tutores, M.Sc Leiva César y M.Sc Sinde Izar por su tiempo y apoyo en el presente proyecto de investigación.

Y por último a mis amigos, porque sin ellos esta etapa de mi vida no hubiese sido la misma.

Sharon Nicole Haro Ruiz

Índice

Resumen.....	11
Abstract.....	13
Planteamiento del problema.....	14
Antecedentes	15
Justificación e importancia.....	17
Objetivos	18
Objetivo General	18
Objetivos Específicos.....	18
Marco teórico	19
Generalidades de los puentes	19
Tipos de puentes.....	19
Elementos principales de los puentes	23
<i>La superestructura</i>	23
<i>La subestructura</i>	24
Monitoreo y mantenimiento de puentes	25
<input type="checkbox"/> <i>Monitoreo de los puentes durante el proceso constructivo</i>	26
<input type="checkbox"/> <i>La prueba de carga</i>	26
<input type="checkbox"/> <i>Monitoreo y mantenimiento básico durante la etapa de servicio</i>	26
<input type="checkbox"/> <i>Monitoreo y mantenimiento especial durante la etapa de servicio</i>	27
<input type="checkbox"/> <i>Monitoreo y mantenimiento después de eventos catastróficos</i>	27
Deflexiones.....	27
Topografía.....	28
Levantamiento topográfico convencional	29
Nivelación Geométrica	30
Microgeodesia.....	32
Método de posicionamiento con GPS diferencial.....	33
<i>Método estático de levantamiento</i>	33
<i>Fuentes de error en trabajos con GPS</i>	34
GNSS Sistemas Globales de Posicionamiento por Satélite	36
Método de mínimos cuadrados.....	36
Metodología	39
Descripción del Área del Proyecto.....	39

Caracterización del puente	40
Materialización de puntos en el puente de estudio	42
Posicionamiento GNSS.....	45
Determinación del valor “C”	46
Nivelación geométrica sin carga.....	47
Nivelación geométrica con carga.....	49
Medición de puntos de monitoreo con estación total	51
Resultados	53
Posicionamiento GNSS.....	53
Determinación del valor “C”	56
Nivelación geométrica sin carga.....	56
Nivelación geométrica con carga.....	58
Medición de puntos de monitoreo con estación total	60
Ajuste de la nivelación por mínimos cuadrados	62
Cálculo de Deflexiones	68
Discusión de resultados:.....	71
Conclusiones y Recomendaciones	73
Conclusiones.....	73
Recomendaciones	75
Bibliografía	77
Anexos	80

Índice de tablas

Tabla 1. Posición Antena PC-1. _____	54
Tabla 2. Posición Antena PC-2 _____	55
Tabla 3. Listado de puntos tomados con GPS. _____	55
Tabla 4. Nivelación geométrica sin carga _____	57
Tabla 5. Nivelación geométrica con carga _____	60
Tabla 6. Coordenadas UTM 17 Sur – WGS84 y elevaciones sin carga de puntos de monitoreo sobre el puente _____	61
Tabla 7. Valores de desniveles calculados de la nivelación geométrica sin carga _____	62
Tabla 8. Elevaciones finales en los puntos de monitoreo sin aplicar carga vehicular y elevaciones finales ajustadas mediante el método de mínimos cuadrados. _____	68
Tabla 9. Elevaciones con carga y sin carga _____	69
Tabla 10. Deflexiones resultantes _____	69

Índice de figuras

Figura 1. Puente de mampostería de piedra en arco _____	20
Figura 2. Puente de madera Kinpei 2000 en Japón _____	21
Figura 3. Puente de hormigón armado _____	22
Figura 4. Puente George Washington Estados Unidos _____	23
Figura 5. Superestructura de un puente _____	24
Figura 6. Subestructura de un puente _____	25
Figura 7. Levantamiento topográfico convencional _____	30
Figura 8. Nivelación geométrica _____	31
Figura 9. Vista aérea “Puente 8” _____	39
Figura 10. Vista lateral del “Puente 8” _____	40
Figura 11. Puntales diagonales del “Puente 8” _____	41
Figura 12. Parte inferior del “Puente 8” _____	42
Figura 13. Materialización de puntos _____	44
Figura 14. Materialización de puntos sobre el “Puente 8” _____	44
Figura 15. Procedimiento para determinar el valor de colimación _____	47
Figura 16. Procedimiento para nivelación sin carga _____	49
Figura 17. Procedimiento para nivelación con carga _____	51
Figura 18. Procedimiento para radiación con estación total _____	52
Figura 19. Posicionamiento con GPS PC-1 _____	53
Figura 20. Posicionamiento con GPS PC-2 _____	54
Figura 21. Coordenadas de puntos de control tomados con GPS diferencial _____	55
Figura 22. Determinación del valor de colimación _____	56
Figura 23. Nivelación geométrica sin carga _____	57
Figura 24. Ubicación de volquetas cargadas _____	58
Figura 25. Nivelación geométrica con carga _____	59
Figura 26. Topografía convencional - radiación _____	61
Figura 27. Ubicación de puntos y distancia entre ellos _____	63
Figura 28. Deflexiones _____	70

Resumen

El presente proyecto de investigación propone el uso de nivelación geométrica para determinar deformaciones en el puente 8 de la Avenida General Rumiñahui y mantener un control, brindándole un mantenimiento preventivo en el caso de existir alguna falla y así evitar colapsos, demostrando los beneficios tecnológicos del área geoespacial en la Ingeniería Civil.

Se realizó una investigación bibliográfica, que permite adentrarnos en la topografía, ingeniería vial e ingeniería estructural, para poder establecer parámetros de deformación admisibles para un puente. Se estableció una red de control geodésica ubicada en el puente 8 de la Avenida General Rumiñahui y a partir de esta se tomó mediciones. Se monitoreó la estructura mediante observaciones topográficas convencionales y GNSS que fue ajustada por el método de mínimos cuadrados, mismo que permite tener errores mínimos y así generar un reporte técnico con los resultados obtenidos de las mediciones en el puente con carga y sin carga vehicular, así como poder detectar errores en la estructura y recomendar en el caso de ser necesaria una inspección más detallada.

Palabras claves:

- **DEFORMACIÓN**
- **PUENTE**
- **MANTENIMIENTO**
- **NIVELACIÓN**
- **GNSS**

Abstract

This project demonstrates the Geospatial technological benefits in Civil Engineering by using geometric leveling to keep track of deformations in bridge 8 of Avenida General Rumiñahui to provide preventive maintenance and avoid any failure that could lead to a collapse.

A topography, road engineering and civil engineering research was conducted in order to establish admissible deformation parameters for a bridge. A geodetic control network was located on bridge 8 of Avenida General Rumiñahui to measure the required parameters. The structure was monitored through conventional topographic observations and a GNSS adjusted by minimum squares method which allows to have a report with minimal errors. Results were reported from the bridge with and without traffic loads, to detect errors in the structure and recommend a thorough inspection if necessary.

Key words:

- **DEFORMATION**
- **BRIDGE**
- **MAINTENANCE**
- **LEVELLING**
- **GNSS**

Planteamiento del problema

En Ecuador se encuentran un sin número de puentes que no han llegado a culminar el tiempo de su vida útil por el simple hecho de no haber realizado el monitoreo y mantenimiento correcto a la estructura. Muchas ciudades permanecen incomunicadas durante días por colapsos o por el peligro inminente que provoca las fallas en la estructura.

Dichos puentes son muchas veces el único punto de conexión para que niños puedan llegar a sus lugares de estudio, ciudadanos puedan llegar a su lugar de trabajo, o simplemente son obligados a recorrer largas distancias para poder llegar al destino deseado.

Tanto el diseño y construcción, como el monitoreo posterior de la estructura son tan importantes para el mantenimiento de un puente. Mientras más compleja es la estructura mucho más importante se vuelve su control posterior a la entrega del puente a la sociedad.

Pero bajo ningún motivo un puente puede ser descuidado a tal punto que se vuelva un peligro para quienes lo usan.

En este proyecto se plantea el control de deformaciones de un puente para monitoreo mediante métodos topográficos, para evaluar el estado de la estructura.

Antecedentes

La astronomía estudia a la Tierra como un cuerpo en el espacio, la Geodesia estudia su configuración y medida mientras que la topografía estudia lo que se refiere a posiciones relativas de puntos en la superficie terrestre.

La topografía es una herramienta de gran trascendencia en la ingeniería civil, se usa para medir, procesar y difundir información importante para estudiar un proyecto. Un error en la topografía podría llevar a consecuencias graves en una obra civil ya que supone una incorrecta representación de la realidad.

En los últimos años ha surgido un nuevo enfoque de la topografía, el sistema de posicionamiento global (GPS). Se basa en señales transmitidas por satélites. Gracias al GPS es fácil obtener información sobre el posicionamiento preciso en cualquier punto de la tierra a bajos costos y alta confiabilidad. Esto representa una ventaja sobre los métodos topográficos convencionales.

Cuando un trabajo requiere de mayor precisión, pero los métodos convencionales de topografía no abastecen, se hace uso de la rama de la geodesia que se denomina Micrométrica o Microgeodesia. Estos métodos son usados para observar desplazamientos milimétricos.

La topografía toma en sus levantamientos al plano horizontal, mientras que la geodesia lo hace al elipsoide, es decir tomando en cuenta la curvatura de la tierra. Esta es la clara diferencia entre topografía y geodesia.

Para el estudio de deflexiones en los puentes que son una estructura que permite superar un accidente geográfico, como un río, cuerpo de agua, un valle o cualquier otro obstáculo con un diseño y función diferente, se hace uso de la

microgeodesia, ya que los desplazamientos pueden resultar ser de centímetros o hasta del orden de la décima de milímetro.

Justificación e importancia

La construcción de los puentes es mucho más antigua de lo que parece, se podría decir que empezó cuando al hombre se le ocurrió derribar un árbol de tal forma que conecte dos puntos que previamente hayan tenido obstáculos topográficos.

Aunque los avances en materia de puentes han evolucionado con el pasar de los años, en nuestro país como en muchos en Latinoamérica no se tiene como obligación el monitoreo y control de las estructuras posterior a la recepción y uso de la obra para así prevenir pérdidas significativas.

Es recomendable implementar un sistema de monitoreo que permita la detección de daños y proponer medidas de mitigación tempranas para así intervenir y reparar la estructura evitando el avance de los daños.

Los puentes son elementos importantes en la infraestructura vial, de esto depende muchas veces la conectividad entre ciudades. Debido a esto, es la necesidad de evaluar el estado de estructura para verificar el tiempo de vida útil, haciendo un seguimiento de la condición estructural.

La importancia del control de deformaciones es que si son excesivas podría producir daños en otros miembros de la estructura hasta llegar al colapso. Provocando a los usuarios una sensación de inseguridad.

Mediante observaciones topográficas, que serán ajustadas a través de mínimos cuadrados, se logrará determinar parámetros de deformación admisible para el puente en estudio.

Objetivos

Objetivo General

Realizar el control de deformaciones en el Puente 8 de la Avenida General Rumiñahui mediante nivelación geométrica, para controlar y monitorear el estado de la estructura.

Objetivos Específicos

- Revisar bibliografía sobre el control de deformaciones y estudio de los parámetros de deflexión admisibles para un puente.
- Materializar y establecer puntos de control horizontal y control vertical a través de GNSS, modelos geopotenciales y nivelación geométrica.
- Materializar, medir y ajustar la red de control horizontal y vertical a través de métodos topográficos convencionales.
- Materializar, medir y calcular los puntos de chequeo sobre el puente desde la red control con carga y sin carga.
- Establecer una línea base y reporte de deformaciones en deflexión generadas por una carga.

Marco teórico

Generalidades de los puentes

Probablemente fue la naturaleza mismo la que le enseñó al ser humano como vencer obstáculos geográficos, un tronco caído sobre un arroyo o un par de lianas pudieron haber sido el primer diseño natural de un puente. Los arcos naturales de piedra con una alta durabilidad y resistencia también pudieron haber sido otro ejemplo en el que la naturaleza misma enseñó al hombre a abrir caminos. (Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

Tipos de puentes

- Puentes de mampostería de piedra en arco

Existen vestigios del arco en piedra desde hace más de tres mil años, son elementos que resisten por su propia forma, la clave está en que sus esfuerzos son transmitidos a sus cimientos a través de sus dovelas y así cubrir grandes luces.

La historia marca al antiguo Egipto como los primeros en construir puentes con el uso del arco perfeccionando su técnica, fueron hechos con una resistencia tan alta, que hasta ahora después de miles de años aún siguen en pie.

(Guardiola, 2011)

Figura 1

Puente de mampostería de piedra en arco



Nota: El grafico muestra un ejemplo de puente de mampostería en arco ubicado en Nueva York. Tomado de: (Fernández, 2019)

- **Puentes de madera**

Desde que el hombre cruzó sobre un árbol caído por primera vez, significó gran avance, ya que le permitió recorrer nuevos territorios, nuevas experiencias, transportarse y comunicarse entre sociedades.

Los puentes de madera pueden ser usados para el paso de personas como para el paso de vehículos livianos en caminos de poca circulación. Siempre y cuando se dé el mantenimiento adecuado para tener un tiempo de vida aceptable. Una de las ventajas de estos puentes es la reducción de costos, así como la disponibilidad del material en zonas poco accesibles.

La estructura más simple de un puente de madera consiste en una viga simple recta que puede ser de vigas sólidas o de madera compuesta, clavada o emperrada.

Las luces dependen de las cargas escogidas, se podría tener puentes de hasta 20m que funcionan eficientemente.

(Cano, 2010)

Figura 2

Puente de madera Kinpei 2000 en Japón



Nota: El gráfico muestra el puente Kinpei ubicado en Japón. Tomado de: (Maderero, 2019)

- Puentes de hormigón armado

En el Ecuador para carreteras de primer y segundo orden los puentes de hormigón armado han sido un éxito con luces de hasta veinticinco metros. Si las luces superan esta longitud podrían ser considerados muy costosos e ineficientes por su peso propio.

En ríos muy profundos y muy caudalosos se convierte en un problema el encofrado, para dichos casos se suele usar como encofrado un puente provisional tipo arco de madera. (Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

Los puentes de hormigón armado permiten elementos prefabricados que son de montaje rápido, permite superar luces mayores a los puentes de piedra, pero no supera a los puentes metálicos. El mantenimiento en estos puentes no es tan costoso y resisten los cambios en el ambiente. (Thales, 2018)

Figura 3

Puente de hormigón armado



Nota: El Gráfico muestra el gran puente de concreto ubicado en los Países Bajos.

Tomado de: (123RF, 2019)

- **Puentes de acero**

Los puentes sobre vigas metálicas han permitido alcanzar luces de hasta setenta metros, los puentes metálicos en celosías en cambio permiten alcanzar luces de hasta cien metros y cuando son puentes metálicos en arco de celosía se ha alcanzado luces de hasta ciento cincuenta metros. Tamaños importantes comparados con los antes mencionados.

El costo por el uso de materiales importados y el costo por mantenimiento son dos de los limitantes en puentes metálicos.

(Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

Figura 4

Puente George Washington Estados Unidos



Nota: El gráfico muestra el puente George Washington sobre el río Hudson que conecta ciudad de Nueva York con el estado de New Jersey. Tomado de: (Yepes, 2014)

Elementos principales de los puentes

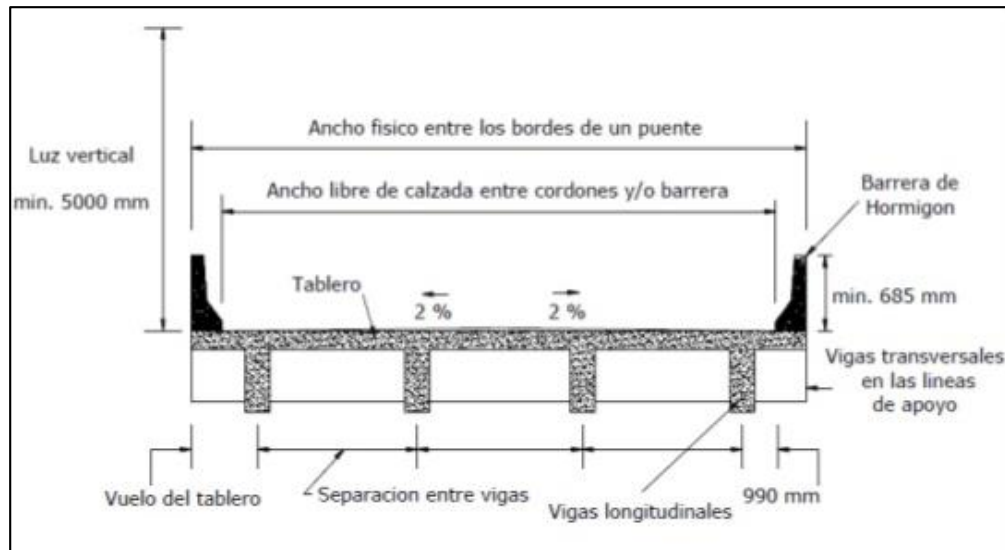
La superestructura

- Tablero: elemento que soporta las cargas directamente provenientes de los autos con o sin capa de rodadura.
- Estructura portante: componente que soporta al tablero que transmite las cargas a la subestructura, es decir a estribos o pilares.

- Accesorios del tablero: cordón barrera, barandas, barrederas son elementos que dan funcionalidad al puente y seguridad a los que lo usan.

Figura 5

Superestructura de un puente

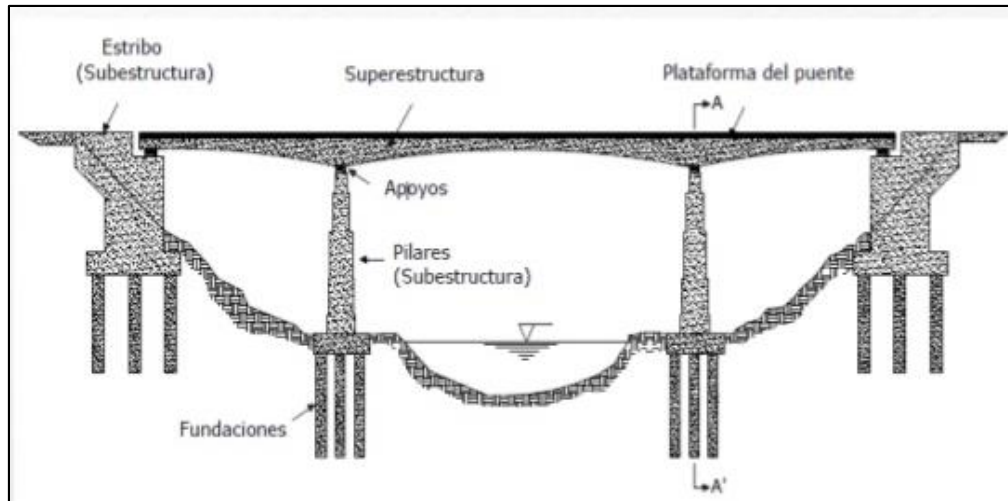


Nota: El gráfico contiene las partes de la superestructura de un puente. Tomado de: (Cárdenas, Slideshare, 2016)

La subestructura

- Pilares: Soportan cargas de viento, cargas de impacto o presiones hidráulicas. Transmiten los esfuerzos de la superestructura hacia los cimientos.
- Estribos: es la conexión entre la superestructura y el terraplén. Conformados por una junta de dilatación para controlar los desplazamientos.
- Cimentaciones: encargados de transmitir todas las cargas al suelo.

(Cárdenas, SlideShare, 2016)

Figura 6*Subestructura de un puente*

Nota: El gráfico contiene una representación de las partes de la subestructura de un puente. Tomado de: (Cárdenas, SlideShare, 2016)

Monitoreo y mantenimiento de puentes

La importancia del mantenimiento y control en la etapa de servicio de un puente va de la mano con la complejidad de la estructura y la geotecnia. En ningún momento una estructura debe ser abandonada sin ningún monitoreo.

Un puente generalmente es diseñado para un tiempo de vida útil de cincuenta años, la responsabilidad técnica del constructor es de diez años posterior a la entrega, pero la responsabilidad ética y penal es durante todo el tiempo de vida útil del puente.

Cuando se da mantenimiento a la estructura va más a aspectos cosméticos de la estructura mas no al aseguramiento de un tiempo de vida útil adecuado, en condiciones apropiadas.

- **Monitoreo de los puentes durante el proceso constructivo**

El constructor y fiscalización son los encargados de monitorear cada elemento del puente durante el proceso de construcción.

Estos deben monitorear la calidad del suelo, la solución óptima para cimentaciones y elementos de sostenimiento. Se recomienda al menos una evaluación in situ en cada elemento de apoyo. En estructuras complejas se hace pruebas de calidad y carga en pilotes.

Se verifica dimensiones, material, calidad, soldadura, ortogonalidad, calidad de los elementos de hormigón armado y geometría de ductos, monitoreo de tensado de cables y elementos complementarios.

(Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

- **La prueba de carga**

Este es el primer monitoreo global de un puente, estudia el comportamiento del puente ante las cargas vivas de diseño que son las que se esperan a lo largo de la vida útil del puente (Romo, Puentes y Viaductos, 2018).

- **Monitoreo y mantenimiento básico durante la etapa de servicio**

Con inspecciones quinquenales que abarquen la revisión de los componentes más relevantes de la estructura y geotécnicos:

El deterioro de la carpeta asfáltica, reasfaltados sin retirar la capa anterior generan sobrecargas extras en el tablero.

El estado de las juntas de dilatación, de los sistemas de apoyo, monitoreo de deslizamientos y movimientos de suelos, oxidación en los elementos metálicos, estado

de los elementos de hormigón y la funcionalidad de los elementos complementarios.
(Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

- ***Monitoreo y mantenimiento especial durante la etapa de servicio***

El control de deformaciones excesivas, medición de tensiones en cables y pretensados, detección de deformaciones descontroladas de componentes precomprimidos, asentamiento de pilas y estribos, control y mantenimiento de fisuras en elementos de hormigón, pandeo en elementos esbeltos.

Para la restitución de la funcionalidad se puede cambiar los apoyos, reforzamiento de cimentación mediante pilotaje, inclusión de fibra de carbono, tensado de cables adicionales, reponer elementos afectados.

(Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

- ***Monitoreo y mantenimiento después de eventos catastróficos***

Después de sismos fuertes, tsunamis, incendios, choches, etc. es necesario realizar un control detallado de todos los componentes principales del puente, para poder darle un mantenimiento adecuado y que pueda seguir funcionando. (Romo, Puentes y Viaductos, 2018)

Deflexiones

La deflexión es el desplazamiento de un elemento estructural bajo la aplicación de cargas. Se puede determinar estas deflexiones mediante métodos de cálculo geométricos o de energía.

Cuando se somete a diferentes cargas a los elementos estructurales estos tienden a deformarse, se establece límites para el control de dichas deformaciones según el elemento estructural.

Causas:

- Edad de los elementos estructurales
- Deformación plástica del concreto
- Criterios antiguos que no contemplaron distintas situaciones actuales
- La saturación vehicular
- La rigidez del tablero

(Christofer, 2015)

Topografía

La topografía es la ciencia, arte y tecnología para posicionar puntos situados encima de la superficie terrestre. Son todos los métodos para medir, recopilar y procesar información física de la Tierra.

La importancia de la topografía desde el inicio de la población empieza hace mucho tiempo, con la necesidad de medir y marcar las divisiones de los terrenos, en la actualidad con el avance de la tecnología la metodología se ha vuelto más precisa. Se puede medir y ver la tierra desde un punto global, usando tecnología moderna como satélites. (Wolf, 2008)

Todo proyecto de ingeniería necesita una representación real del terreno en que se va a realizar para poder determinar los cálculos y cortes que se podrían realizar. Se podría tener dos fases en el que para cada proyecto de ingeniería se basa:

- Levantamiento topográfico, es todo el trabajo en campo que se realiza para tener todas las mediciones necesarias del terreno, para poder hacer el plano topográfico.
- El replanteo, es ubicar puntos para materializar elementos, con métodos topográficos que permitan hacerlo con exactitud. Es un paso previo de toda obra.

(Gacía, 1994)

La topografía se divide en dos ramas, que son la planimetría y la altimetría.

- **Planimetría** es la que se encarga de la proyección del terreno sobre un plano imaginario horizontal.
- **Altimetría** toma en cuenta un plano vertical para realizar sus proyecciones tomando en cuenta las diferencias de nivel.

Levantamiento topográfico convencional

El levantamiento topográfico convencional se hace mediante mediciones de ángulos y distancias, se hace uso de la poligonal cerrada y radiación para alcanzar una zona más grande de trabajo y poder realizar el ajuste de los puntos registrados.

Se hace uso de una estación total que es un elemento electro-óptico, que cuenta con un microprocesador y colector electrónica de datos con el que podemos hacer mediciones de ángulos, distancias y pendientes.

La precisión de este método depende de los apuntes tomados en campo y de la exactitud de las coordenadas conocidas.

(Pedraza Santos, 2019)

Figura 7

Levantamiento topográfico convencional



Nota: El gráfico muestra un levantamiento topográfico convencional con estación total.

Tomado de: (Global Mediterranea Geomática, 2017)

Nivelación Geométrica

La nivelación geométrica o nivelación diferencial es un término que se aplica a procedimientos en los cuales se va a determinar elevaciones o diferencias. Es un método de obtención de desniveles entre dos puntos mediante el uso del nivel y la mira vertical. Se mide diferencias entre dos puntos a partir de una visual horizontal desde el nivel hacia las miras colocadas en los puntos.

Una nivelación simple es aquella que solo se necesita una observación para obtener la medida, una nivelación compuesta en cambio requiere de una cadena de observaciones.

La elevación es la distancia vertical desde una superficie de referencia a un punto, el punto puede ser un elipsoide, un geoide o sobre una superficie de referencia

definida localmente. Esta será medida a través de una línea que sigue la dirección de la gravedad. (Farjas, 2017)

Figura 8

Nivelación geométrica



Nota: El gráfico muestra una nivelación geométrica en campo. Tomado de: (Civil Excel, 2021)

Métodos de nivelación geométrica:

- Método del punto medio
- Método del punto externo
- Método de estaciones recíprocas
- Método de estaciones equidistantes
- Método de estaciones exteriores

Comprobación del equipo

Esta comprobación se hace previo a empezar el trabajo, se lo hace aplicando el método del punto medio y el método de estaciones exteriores con un solo estacionamiento.

Se escogen dos puntos y se determina el desnivel. Con el método del punto medio primero se obtiene el desnivel correcto, a pesar de que el nivel esté corregido se tiene errores sistemáticos del nivel y debido a la esfericidad terrestre y refracción atmosférica.

Segundo con el método de estaciones exteriores se calcula el desnivel. Si en ambos procesos se obtiene los mismos desniveles significa que el equipo está corregido.

(Farjas, 2017)

Incertidumbre

Parámetro que mide la precisión de la nivelación. El error kilométrico (e_k) es el error que se produce de la nivelación geométrica. Da la incertidumbre que se produce en un kilómetro que se nivela con este método.

Microgeodesia

La microgeodesia se basa en observaciones y cálculos para solucionar problemas geodésicos que necesitan alta precisión en extensiones reducidas.

Debido a la alta precisión que se llega a alcanzar y en lugares reducidos, es aplicable en los ámbitos de la industria y construcción.

El objetivo de la microgeodesia es dar coordenadas a puntos fijos para determinar formas y dimensiones y objetos que tienen distancias cortas. La industria y la construcción son los ámbitos en los que se puede aplicar la microgeodesia debido a la precisión y el alcance.

La precisión que se alcanza muchas veces es la décima de milímetro, se aplica en el replanteo de obras civiles, en redes de apoyo, en el montaje, mantenimiento preventivo y reparaciones.

(Trento, 2015)

Método de posicionamiento con GPS diferencial

El GPS diferencial es uno de los métodos más exactos, el receptor recibe y procesa simultáneamente la información de los satélites y de una estación terrestre situada en un punto cercano.

Con toda esta información se puede corregir los errores que se pueden generar en los datos recibidos de los satélites. La estación terrestre transmite al GPS todas las correcciones que son necesarias hacerlas en su momento.

El margen de error de un GPS normal es de cinco metros aproximadamente de diferencia. Para situaciones normales, esto no ocasionaría problemas, pero para diferentes estudios es necesario mucha más exactitud, el GPS diferencial reduce estos errores, se puede tener errores de unos cuantos milímetros. El problema con este método sería el radio de alcance que tiene la estación terrestre.

Método estático de levantamiento.

Para este método se realiza mediciones de dos o más receptores que simultáneamente buscan varios satélites comunes, uno de esto recibe datos desde una posición conocida y los otros se sitúan en los puntos que se necesita conocer su posición.

La diferencia de mediciones minimiza errores y así se obtiene altas precisiones. Este es uno de los métodos más confiables, se puede llegar a obtener una precisión milimétrica. Por esta razón son empleados en levantamientos geodésicos.

(González, 2017)

Fuentes de error en trabajos con GPS

Errores instrumentales.

- Errores de Instalación

El cuidado con los trípodes es parte importante, deben estar correctamente ajustados, para tener una instalación sólida. Debido a múltiples errores que estos aparatos provocan, se puede usar pértigas especiales de altura fija.

- Sesgo del reloj

Los relojes tanto del receptor como del satélite están sujetos a errores. Para todas las formas de posicionamiento relativo con técnicas matemáticas diferenciales se pueden eliminar dichos errores.

- No paralelismo en antenas

Las pseudodistancias desde el centro de la antena del satélite al centro de fase de la antena del receptor. El centro de la fase de la antena no es el centro geométrico de la antena, para cada antena se calibra para determinar los desfases en el centro.

- Ruido del receptor

Dentro de la tolerancia que viene dada por cada equipo, ocurren variaciones pequeñas en la generación y en el procesamiento de las señales y esto puede concurrir finalmente a errores en las mediciones. Estos son considerados como parte de los

errores aleatorios del sistema. Con calibraciones periódicas se puede reducir los errores y estar dentro de la tolerancia aceptable.

Errores naturales

- Refracción

Este error puede variar de cero a diez metros y ocurre debido al tránsito de la señal a través de la atmósfera. Los receptores de frecuencia dual pueden eliminar matemáticamente este error. Con los receptores de una sola frecuencia se modela este error. En los levantamientos en zonas pequeñas con el método de posicionamiento relativo, este error se elimina por diferenciación.

- Relatividad

De acuerdo a la teoría de relatividad, la velocidad provoca que los relojes de los satélites GPS se retrasen ya que orbitan la tierra aproximadamente doce horas. La estación maestra de control calcula correcciones y modifica los relojes de los satélites.

- Trayectorias múltiples

Las trayectorias múltiples son causadas por las superficies reflejantes cerca del receptor, cuando una señal por satélite llega después de seguir más de una trayectoria. Estas pueden producir que el receptor pierda la señal. Los filtros que son usados para reducir los problemas de trayectorias no siempre eliminan todas.

Errores personales

- Centrado en erróneo del tripié

Este error afecta directamente a la precisión de las coordenadas al final. Esto se reduce con las precauciones tomadas al durante la ejecución del proyecto.

(Wolf, 2008)

GNSS Sistemas Globales de Posicionamiento por Satélite

El sistema Navstar, Glonass y Galileo de origen americano, ruso y europeo respectivamente son el conjunto de satélites que nos ayuda a dar posicionamiento a puntos o lugares de trabajo.

El GNSS se aplica en toda obra civil ya sea una carreta, represa, puerto, aeropuerto, todo proyecto de construcción, ya que se necesita tener ubicación, tiempo y espacio.

Todo levantamiento topográfico y geodésico realiza mediciones GNSS, mínimo dos, una estación de control y receptor para así garantizar una mayor precisión en el trabajo que se esté realizando. Esto permite procesar y corregir errores que se generan en la toma de datos.

(Pedraza Santos, 2019)

Método de mínimos cuadrados

En topografía una vez eliminadas equivocaciones y hacer las correcciones correspondientes en los errores sistemáticos. Se toman en cuenta errores aleatorios remanentes, que serán evidentes en los errores de cierre.

Para los errores de cierre, se hacen ajustes para producir matemáticamente condiciones geométricas, el ajuste por mínimos cuadrados es el método más riguroso para corregir estos errores, que se basa en las leyes de probabilidad.

El método de mínimos cuadrados es usado en el ajuste de todo tipo de mediciones topográficas, como en diferencias de elevación, distancias horizontales, ángulos verticales y horizontales. También se usa en observaciones con GPS y en fotogrametría. Para evaluar si un levantamiento cumple con los estándares se hace un ajuste con mínimos cuadrados.

La ventaja de este método es que se basa en la teoría matemática de la probabilidad, este permite que en el ajuste todas las observaciones sean tomadas simultáneamente. Pueden ser aplicadas en cualquier procedimiento de medición.

(Wolf, 2008)

- **Condición fundamental de los mínimos cuadrados**

Existe una relación entre probabilidades y tamaños residuales en un grupo de observaciones. Este método se deriva de la ecuación para la curva de distribución normal. Genera el conjunto único de residuos en un grupo de mediciones que tiene la probabilidad más alta de pasar.

La suma de los cuadrados de los residuos será un mínimo, esta es la condición fundamental para el método de mínimos cuadrados. Dicha condición está expresada en la siguiente ecuación:

(Wolf, 2008)

$$\sum_{i=1}^m v_i^2 = v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_m^2 \rightarrow \text{Mínimo} \quad (1)$$

La mínima suma de los cuadrados de los residuos hará una mejor estimación de X , por lo que, se debe añadir los pesos P para generar un mismo nivel de confianza.

$$\sum_{i=1}^n P v_i^2 = \text{mínimo} \quad (2)$$

Expresado de forma matricial:

$$V^T P V = \text{mínimo} \quad (3)$$

Ahora, la fórmula de mínimos cuadrados para un sistema de ecuaciones lineales sería.

$$L_a = L_b + V \quad (4)$$

Donde:

$L_a = \text{Matriz de observaciones corregidas}$

$L_b = \text{Matriz de onservaciones}$

$V = \text{Matriz de residuos}$

Reemplazando la ecuación (4) se obtiene la ecuación que representa al conjunto de ecuaciones e incógnitas.

$$x = (A^T A)^{-1} A^T L_b \quad (5)$$

Para finalizar se incluye la matriz de pesos:

$$x = (A^T P A)^{-1} A^T P L_b \quad (6)$$

Metodología

Descripción del Área del Proyecto

La zona de estudio se encuentra en la Av. General Rumiñahui, parroquia de Conocoto, se lo conoce como Intercambiador del Puente 8, es la conexión entre Conocoto, La Armenia y la Av. General Rumiñahui. Con una longitud de 33 metros, este cuenta con un carril en cada sentido con un ancho de 3,50 metros y una acera peatonal a cada extremo de 0,70 metros de ancho.

Figura 9

Vista aérea "Puente 8"



Nota: El gráfico muestra una vista aérea del puente 8.

Figura 10

Vista lateral del “Puente 8”



Nota: El gráfico muestra una vista lateral del puente en estudio tomada desde la Avenida General Rumiñahui.

Caracterización del puente

El puente en estudio es una conexión entre La Armenia – Conocoto, cuenta con una losa maciza de sección variable apoyada en los estribos y con seis puntales diagonales a cada lado en donde se apoya la losa, que funcionan estructuralmente como uno solo, tal y como se muestra en la Figura 10.

Este puente funciona como una estructura aporticada y su diseño provoca menores deflexiones y momentos flectores, la luz mayor se encuentra en el centro, entre los puntales, y precisamente es el lugar en donde se van a dar las mayores deflexiones.

(Romo, Características Puente 8, 2021)

Figura 11*Puntales diagonales del "Puente 8"*

Nota: El gráfico muestra una vista lateral de los 6 puntales diagonales, un estribo y parte de la losa, partes que conforman el puente en estudio.

Figura 12*Parte inferior del “Puente 8”*

Nota: El gráfico muestra una vista de la parte inferior del puente en estudio en donde se puede ver la losa maciza y los 6 puntales diagonales.

Materialización de puntos en el puente de estudio

Para el posicionamiento de puntos con GPS y la nivelación geométrica se colocaron puntos fijos sobre el puente.

Se colocaron dos puntos de control fuera del área de estudio teniendo visión hacia los demás puntos, que estén en un área estable y que no se vean afectados por las vibraciones del puente, también se colocó ocho puntos de monitoreo sobre el puente de estudio que nos van a permitir realizar la nivelación geométrica.

Materiales:

- 10 clavos de acero
- 1 maso
- Pintura en aerosol (roja)

Procedimiento

1. Se selecciona dos puntos fijos de control fuera del área de estudio uno a cada extremo del puente, estos tendrán visión a los otros puntos y que no se vean afectados por las vibraciones y no se encontrarán tan lejos de la zona de estudio.
2. Marcar con un clavo en el lugar que se haya seleccionado, como se indica en la Figura 13.
3. Identificar el lugar con pintura de aerosol colocando un nombre para cada uno de los puntos. Los puntos principales se denomina PC-#.
4. Los puntos de monitoreo sobre la estructura empiezan con el punto número uno en la abscisa 0+000, en este caso se colocó sobre la acera para que al momento de realizar la nivelación no se tenga que interrumpir el tráfico.
5. Se coloca los puntos cada cinco metros aproximadamente.
6. Se repite el paso número dos y número tres para marcar y señalar los puntos. Para los puntos de monitoreo sobre el puente se toma la denominación de PM#

Figura 13

Materialización de puntos



Nota: El gráfico muestra el procedimiento de la materialización del punto PC-1 con un clavo y una cruz en blanco.

Figura 14

Materialización de puntos sobre el “Puente 8”



Nota: El gráfico muestra la materialización de los puntos sobre el puente, marcados con aerosol rojo sobre la acera.

Posicionamiento GNSS

Para determinar las coordenadas en los puntos de control que están ubicados fuera del área de estudio (zonas estables), se utilizó el GPS a cada lado del puente mediante el método estático.

Equipo de topografía

GPS doble frecuencia Trimble R8s

Accesorios

- 1 trípode
- 1 base nivelante
- 1 antena GPS D.F
- 1 colectora GPS
- 1 cable de comunicación
- 1 cable baja datos
- 1 adaptador receptor
- 1 cargador de batería
- 1 cargador de colectora
- 1 Ext. Ant. GPS (0.25m)
- 1 estuche colectora
- 1 maleta de transporte
- 2 baterías internas

Procedimiento

1. Emplazamiento del equipo GNSS sobre los puntos de control.
2. Se establece el tiempo de una hora para la toma de datos satelitales en el modo estático.

3. Se anota la altura del GPS (desde el punto fijo de la base hasta la muesca señalada) y la hora de inicio de la medición.
4. Finalizada la medición del primer punto se repite el procedimiento en el punto previamente señalado como PC-2.
5. Tras las mediciones los datos obtenidos en campo se realiza el procesamiento en un software específico (Timble Business Center), a partir de la estación EPEC de la red Geodésica Nacional del IGM (REGME).

Determinación del valor “C”

Antes de empezar el proyecto en el Nivel se lleva a cabo el proceso de verificación de horizontalidad u obtención de valor de colimación, valor “C”, este proceso se lleva a cabo al inicio de la jornada de mediciones, usando el procedimiento de Nabauer, siguiendo los siguientes pasos:

Equipo topográfico

- Nivel digital Leica DNA03

Accesorios

- Baterías
- Estuche con memoria Tipo PCMCIA
- Adaptador y cargador de batería 110v
- Sombrilla
- Miras

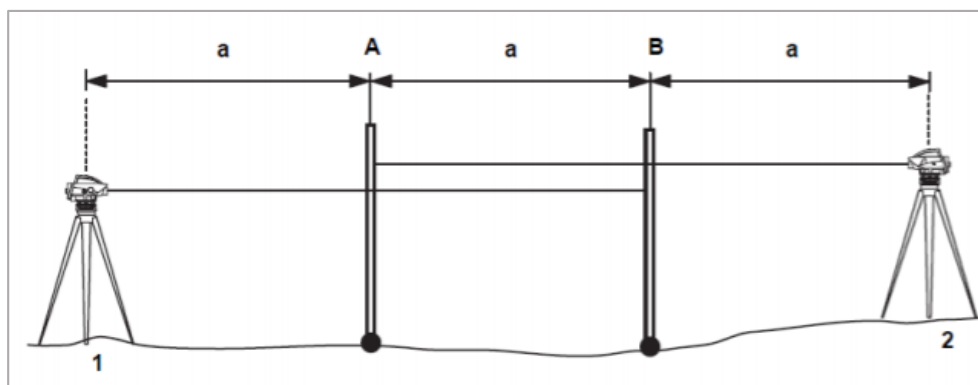
Procedimiento

1. Parar el equipo fuera de las miras a aproximadamente 15 m o 20m como se muestra en la figura # 15

2. Siguiendo las indicaciones dadas por el instructivo para el uso y configuración del nivel digital DNA03 Leica.
3. Se realiza la primera medición desde la estación A, mira 1.
4. Se realiza la segunda medición desde la estación A, mira 2.
5. Trasladar el equipo a la estación N°2.
6. Realizar la primera medición desde la estación 2, mira 2.
7. Realizar la segunda medición desde la estación 2, mira 1.
8. Si el valor del nuevo error obtenido en la pantalla del equipo es mayor que 10.0 se repetirá el proceso hasta obtener un valor inferior.
9. Una vez obtenido el valor de colimación se puede seguir con las mediciones.

Figura 15

Procedimiento para determinar el valor de colimación



Nota: El gráfico muestra el procedimiento para determinar el valor de colimación, valor "C", la ubicación en la que deben estar las miras y el equipo de nivelación. Tomado de: (Grupo Interno Geodesia, 2017)

Nivelación geométrica sin carga

Mediante el uso del Nivel digital Leica DNA03 se determinó los desniveles en el puente de estudio, sin aplicar ninguna carga significativa que afecte la estructura.

Equipo topográfico

- Nivel digital Leica DNA03

Accesorios

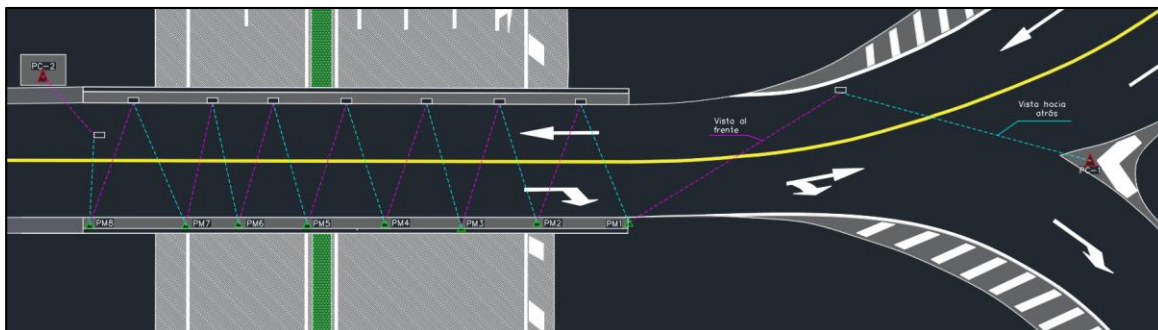
- 1 batería
- 1 estuche con memoria Tipo PCMCIA
- 1 adaptador y 1 cargador de batería 110v
- 1 sombrilla
- 2 miras

Procedimiento

1. Para empezar con el procedimiento de nivelación se emplaza el equipo en el medio de los dos puntos que se va a tomar las mediciones, para iniciar va en el punto medio entre PC-1 y PM1, se toma la medida tomando como vista hacia atrás PC-1 y vista hacia el frente PM1, el procedimiento se encuentra detallado en la Figura 16.
2. Es importante que la mira colocada en la vista hacia al frente no se mueva del punto en el que está ubicada, solo girará para ahora convertirse en la vista hacia atrás de la siguiente medición.
3. Se mueve y se emplaza el equipo en el punto medio entre PM1 y PM2. Tomando como vista hacia atrás PM1 y vista hacia el frente PM2,
4. Este proceso se repite hasta llegar al PC-2 en donde finalizaría las mediciones.
5. Por último, para cerrar el tramo se realiza el regreso, pero esta vez solo se coloca el equipo en medio del punto PC-1 y PC2. Se toma la vista hacia atrás, vista al frente y el procedimiento finalizaría, verificando el cierre dentro de tolerancia.

Figura 16

Procedimiento para nivelación sin carga



Nota: El gráfico contiene el procedimiento de la nivelación geométrica sin carga, la ubicación del equipo de nivelación y como fue la vista hacia atrás y hacia al frente.

Nivelación geométrica con carga

Para determinar desniveles en el puente de estudio, se aplica una carga moderada mediante el uso del Nivel digital Leica DNA03.

Equipo topográfico

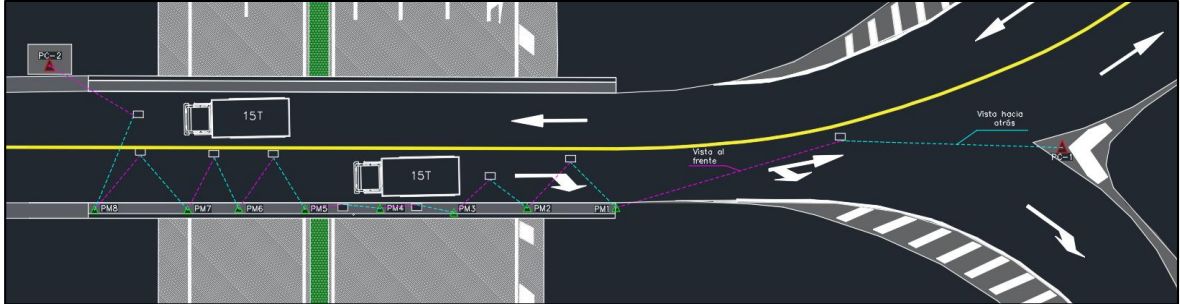
- Nivel digital Leica DNA03

Accesorios

- 1 batería
- 1 estuche con memoria Tipo PCMCIA
- 1 adaptador y 1 cargador de batería 110v
- 2 sombrilla
- 2 miras
- 2 volquetas de 15 toneladas c/u aproximadamente

Procedimiento

1. Para empezar la nivelación geométrica con carga, se posiciona correctamente las volquetas cargadas, cada una con un peso aproximado de 15 toneladas, para este procedimiento se colocaron de tal forma que no afecten el paso del tránsito como se muestran en la figura #17.
2. Una vez colocadas las volquetas, se inicia con la nivelación, emplaza el equipo en el medio entre los dos puntos que se va a tomar las mediciones, para iniciar va en el punto medio entre PC-1 y PM1, se toma la medida tomando como vista hacia atrás PC-1 y vista hacia el frente PM1.
3. Es importante que la mira colocada en la vista hacia al frente no se mueva del punto en el que está ubicada, solo girará para ahora convertirse en la vista hacia atrás de la siguiente medición.
4. Se mueve y se emplaza el equipo en el punto medio entre PM1 y PM2. Tomando como vista hacia atrás PM1 y vista hacia el frente PM2.
5. Este proceso se repite hasta llegar al PC-2 en donde finalizaría las mediciones.
6. Por último, para cerrar el tramo se realiza el regreso, pero esta vez solo se coloca el equipo en medio del punto PC-1 y PC2. Se toma la vista hacia atrás, vista al frente y el procedimiento finalizaría, verificando el cierre dentro de tolerancia.
7. Esto se realiza ubicando el equipo en lugares en donde no se obstaculice la visión hacia las miras ni tampoco sea un riesgo tomando en cuenta que el flujo vehicular es constante. Tomando en consideración que siempre este ubicado en medio de los dos puntos que se toma la medición.

Figura 17*Procedimiento para nivelación con carga*

Nota: El gráfico contiene el procedimiento de la nivelación geométrica con carga, la ubicación del equipo de nivelación, como fue la vista hacia atrás y hacia al frente y la posición de las volquetas para que no se vea afectado el flujo vehicular.

Medición de puntos de monitoreo con estación total

Posicionamiento de puntos sobre el puente tomando como base los puntos de control con coordenadas conocidas PC-1 y PC-2 obtenidos con GPS diferencial.

Equipo topográfico

Estación total Sokkia SET550RX

Accesorios

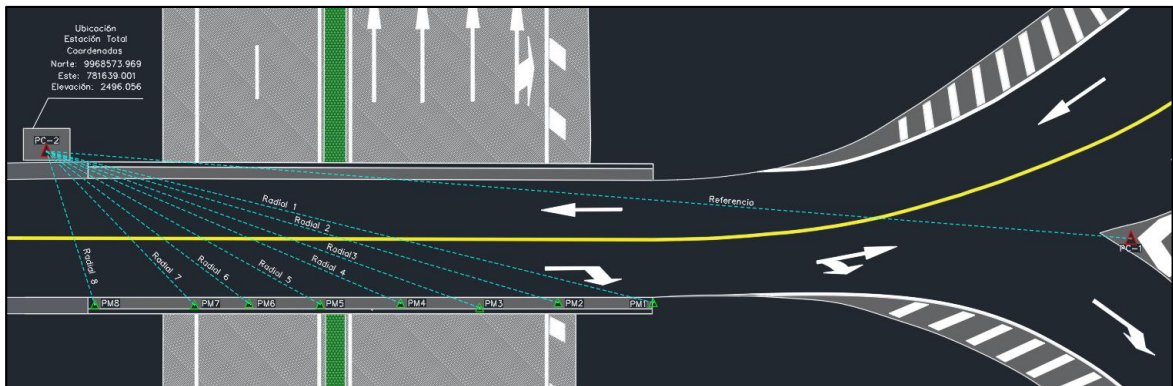
- 1 trípode
- 2 bastones
- 2 prismas
- 1 batería
- 1 maleta de transporte

Procedimiento

1. Se emplaza el equipo en un punto con coordenadas conocidas y se orienta con el otro punto de referencia (puntos de control: PC-1 y PC-2).
2. Tomar la altura a la que se encuentra el equipo, desde el punto fijo de la base hasta la muesca señalada.
3. Colocar y nivelar los prismas en cada punto en el que se va a tomar las coordenadas.
4. A partir de la posición inicial observar y calcular las coordenadas de los 9 puntos restantes ubicados en el puente, como se indica en la Figura 18.
5. Una vez terminado el procedimiento se procede a bajar los datos de la estación total.

Figura 18

Procedimiento para radiación con estación total



Nota: El gráfico contiene el procedimiento para posicionar los puntos de control y monitoreo parando la estación en el punto conocido PC-2 y como fueron los radiales.

Resultados

Posicionamiento GNSS

Luego del procedimiento descrito en el capítulo anterior, se pudo obtener los siguientes resultados para las coordenadas de los puntos de control que son detallados a continuación. El Anexo 1 muestra el informe obtenido después del procesamiento en el software Trimble Business Center.

Figura 19

Posicionamiento con GPS PC-1



Nota: El gráfico muestra la ubicación del GPS para obtener coordenadas del punto PC-

1.

Tabla 1

Posición Antena PC-1.

Altura	1,78m
Hoda de inicio	12h50
Hora de finalización	13h50

Nota: La tabla muestra la altura a la que fue colocada la antena y la hora de inicio y fin en que se tomaron las mediciones.

Figura 20

Posicionamiento con GPS PC-2



Nota: El gráfico muestra la ubicación del GPS para obtener coordenadas del punto PC-2.

Tabla 2*Posición Antena PC-2*

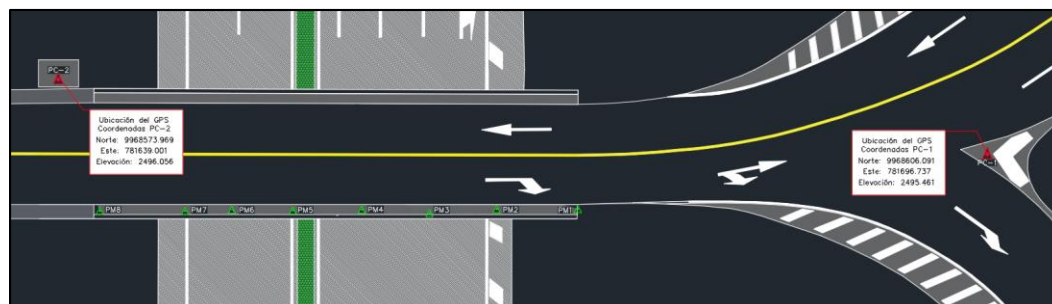
Altura	1,49m
Hoda de inicio	14h05
Hora de finalización	15h05

Nota: La tabla muestra la altura a la que fue colocada la antena y la hora de inicio y fin en que se tomaron las mediciones.

Tabla 3*Listado de puntos tomados con GPS.*

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Código de característica
EPEC	784250,813	9965160,359	2496,463	EPEC
PC-1	781696,737	9968606,091	2495,461	
PC-2	781639,001	9968573,969	2496,056	

Nota: La tabla muestra las coordenadas de los puntos que se tomaron con GPS.

Figura 21*Coordenadas de puntos de control tomados con GPS diferencial*

Nota: El gráfico muestra la posición del GPS y las coordenadas de los puntos PC-1 y PC-2.

Determinación del valor “C”

Una vez realizado el proceso detallado anteriormente se obtuvo un valor de colimación de 9. Este se encuentra dentro del rango, ya que se admite valores menores a 10.

Figura 22

Determinación del valor de colimación



Nota: En el gráfico se muestra la determinación del valor de colimación, valor “C”.

Nivelación geométrica sin carga

Una vez terminada la nivelación geométrica sin aplicar carga, se obtuvo un error de cierre de 0.0004 metros. Se muestra a continuación los resultados obtenidos.

Figura 23*Nivelación geométrica sin carga*

Nota: El gráfico muestra el equipo usado para la nivelación geométrica sin carga.

Tabla 4*Nivelación geométrica sin carga*

Estación	Vista hacia atrás	Vista al frente	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)
PC-1				0
PC-1	1,6654		16,30	
1		1,1673	17,00	0,4981
1	1,2798		8,14	
2		1,3060	8,22	0,4719
2	1,3207		7,94	
3		1,3310	8,26	0,4616
3	1,3201		8,24	
4		1,2962	7,91	0,4855
4	1,3052		8,06	
5		1,2929	7,92	0,4978
5	1,2916		7,98	
6		1,3051	7,85	0,4843
6	1,3238		7,87	
7		1,3213	8,05	0,4867
7	1,2977		8,36	
8		1,2578	8,30	0,5266
8	1,2757		8,27	
PC-2		1,1942	5,95	0,6081
PC-2	1,1835		31,43	
PC-1		1,7913	34,57	0,0004

Nota: La tabla muestra la vista hacia atrás, vista al frente, distancia horizontal y el desnivel obtenidos como resultado de la nivelación geométrica sin aplicar carga.

Nivelación geométrica con carga

Para este proceso de mediciones que se llevó a cabo estacionando dos volquetas de 8m² cada una, cargadas con subbase clase 2, con una carga total de aproximadamente 30 toneladas, obteniendo un cierre de 0.0003 y los siguientes resultados.

Figura 24

Ubicación de volquetas cargadas



Nota: El gráfico muestra la ubicación de las volquetas cargadas sobre el puente de estudio el día de la nivelación geométrica con carga.

Figura 25

Nivelación geométrica con carga



Nota: El gráfico muestra el equipo usado para la nivelación geométrica con carga.

Tabla 5*Nivelación geométrica con carga*

Estación	Vista hacia atrás	Vista al frente	Distancia horizontal (m)	Desnivel (m)
PC-1				0
PC-1	1,5978		14,35	
1		1,0998	14,97	0,498
1	1,289		3,97	
2		1,3151	2,73	0,4719
2	1,3484		3,2	
3		1,3611	3,08	0,4592
3	1,4564		2,25	
4		1,4324	2,45	0,4831
4	1,4498		2,34	
5		1,4392	2,41	0,4938
5	1,4252		2,1	
6		1,4354	2,12	0,4837
6	1,2172		4,75	
7		1,2141	4,74	0,4868
7	1,2373		5,81	
8		1,1973	5,83	0,5267
8	1,2008		5,62	
PC-2		1,1197	6,15	0,6078
PC-2	1,1216		31,8	
PC-1		1,7291	34,25	0,0003

Nota: La tabla muestra la vista hacia atrás, vista al frente, distancia horizontal y el desnivel obtenidos como resultado de la nivelación geométrica aplicando carga.

Medición de puntos de monitoreo con estación total

Las coordenadas presentadas a continuación se obtuvieron del proceso realizado con una estación total Sokkia por el método de radiación. El Anexo 2 muestra los resultados obtenidos en blog de notas luego del procesamiento.

Figura 26

Topografía convencional - radiación



Nota: El gráfico muestra el equipo usado para el posicionamiento de puntos de monitoreo con estación total – topografía convencional (radiación)

Tabla 6

Coordenadas UTM 17 Sur – WGS84 y elevaciones sin carga de puntos de monitoreo sobre el puente

Nombre	Norte (m)	Este (m)	Elevación(m)
PC-1	9968606,091	781696,737	2495,461
PC-2	9968573,969	781639,001	2496,056
PM1	9968586,766	781674,747	2495,959
PM2	9968583,559	781669,944	2495,933
PM3	9968580,666	781666,151	2495,923
PM4	9968578,222	781662,011	2495,947
PM5	9968575,464	781657,984	2495,959
PM6	9968573,119	781654,351	2495,945
PM7	99685711,195	781651,648	2495,948
PM8	9968567,851	781646,608	2495,988

Nota: La tabla muestra las coordenadas de los puntos de monitoreo y control del puente de estudio.

Ajuste de la nivelación por mínimos cuadrados

Para este ajuste se toma los desniveles obtenidos como resultado de la nivelación geométrica sin carga.

Datos iniciales:

$$ZPC1 = 2495.461m$$

Tabla 7

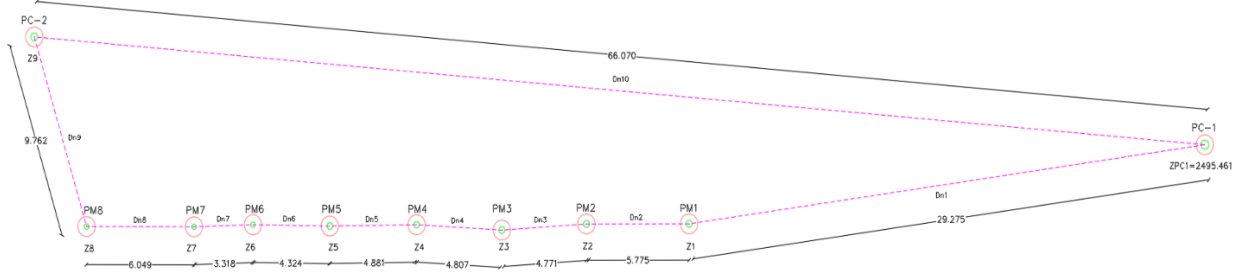
Valores de desniveles calculados de la nivelación geométrica sin carga

Nombre	Desnivel (m)
Dn1	0,4981
Dn2	-0,0262
Dn3	-0,0103
Dn4	0,0239
Dn5	0,0123
Dn6	-0,0135
Dn7	0,0025
Dn8	0,0399
Dn9	0,0815
Dn10	-0,6078

Nota: La tabla contiene los valores de desniveles obtenidos de la nivelación geométrica sin carga que servirá como base para armar la matriz de incógnitas (L).

Figura 27

Ubicación de puntos y distancia entre ellos



Nota: El gráfico muestra la ubicación de los puntos y las distancias existentes entre ellos como referencia para el ajuste por mínimos cuadrados.

Grados de libertad

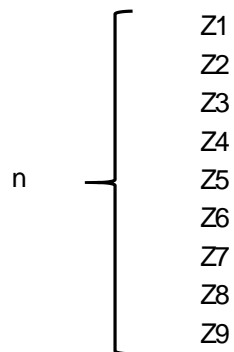
$$G. L. = m - n$$

Donde:

m: número de observaciones

n: número de incógnitas

G.L: grados de libertad

Número de observaciones**Número de incógnitas**

$$G.L = 10 - 9 = 1$$

Ecuaciones a resolver en el sistema

$$DN1 + ZPC1 = Z1$$

$$DN2 = Z2 - Z1$$

$$DN3 = Z3 - Z2$$

$$DN4 = Z4 - Z3$$

$$DN5 = Z5 - Z4$$

$$DN6 = Z6 - Z5$$

$$DN7 = Z7 - Z5$$

$$DN8 = Z8 - Z7$$

$$DN9 = Z9 - Z8$$

$$DN10 - ZPC1 = -Z9$$

Matriz de Modelo Funcional (A)

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Matriz de Pesos

Para obtener la matriz de pesos se toma las distancias entre cada punto, como se puede ver en la figura #27 y los transformamos en kilómetros.

Para la distancia uno entre el punto PC-1 y PM1 tenemos:

$$\text{Distancia entre PC1 a PM1} = 29.275m = 0.029275km$$

Para el valor en la matriz se realiza la siguiente operación:

$$\frac{1}{0.029275^2} = 1166.826 \rightarrow \text{este es el valor que se coloca en la matriz de pesos (P)}.$$

$$P = \begin{pmatrix} 1166,826 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 29984,446 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 44098,236 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 43402,778 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 41974,196 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 53509,332 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 90943,352 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 27329,572 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 10493,549 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 229,082 \end{pmatrix}$$

Matriz de Incógnitas (L)

$$L = \begin{pmatrix} 2495,9591 \\ -0,0262 \\ -0,0103 \\ 0,0239 \\ 0,0123 \\ -0,0135 \\ 0,0025 \\ 0,0399 \\ 0,0815 \\ -2496,0688 \end{pmatrix}$$

Matriz Normal (X)

$$X = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$X = \begin{pmatrix} 2495,9590 \\ 2495,9328 \\ 2495,9225 \\ 2495,9464 \\ 2495,9587 \\ 2495,9452 \\ 2495,9477 \\ 2495,9876 \\ 2496,0691 \end{pmatrix}$$

Matriz residual (V)

$$V = AX - L$$

$$V = \begin{pmatrix} -0,0000625 \\ -0,0000024 \\ -0,0000017 \\ -0,0000017 \\ -0,0000017 \\ -0,0000014 \\ -0,0000008 \\ -0,0000027 \\ -0,0000069 \\ -0,0003182 \end{pmatrix}$$

Matriz Varianza Posteriori (Va)

$$Va = (0.00003)$$

Elevaciones finales sin carga vehicular

Tabla 8

Elevaciones finales en los puntos de monitoreo sin aplicar carga vehicular y elevaciones finales ajustadas mediante el método de mínimos cuadrados.

Nombre	Elevación sin carga (m)	Elevación sin carga (con ajuste) (m)
PC-1	2495,4610	2495,4610
PM1	2495,9591	2495,9590
PM2	2495,9329	2495,9328
PM3	2495,9226	2495,9225
PM4	2495,9465	2495,9464
PM5	2495,9588	2495,9587
PM6	2495,9453	2495,9452
PM7	2495,9477	2495,9477
PM8	2495,9876	2495,9876
PC-2	2496,0691	2496,0691

Nota: La tabla muestra las elevaciones finales en los puntos de monitoreo sin aplicar carga vehicular y las mismas elevaciones finales pero ajustadas mediante el método de mínimos cuadrados.

Como se puede evidenciar en la Tabla 8 la variación entre las elevaciones sin carga vehicular realizando un ajuste por mínimos cuadrados y sin realizar el ajuste no tienen cambios significativos en los resultados. Es así que queda demostrado que el ajuste resulta ser innecesario.

Cálculo de Deflexiones

Para el cálculo de deflexiones se realiza la resta entre los desniveles de la nivelación con carga menos la nivelación sin carga, como se muestra a continuación. El Anexo 3 y Anexo 4 muestran la vista en planta del puente y una vista transversal especificando las deflexiones resultantes.

Tabla 9*Elevaciones con carga y sin carga*

Nombre	Elevación con carga (m)	Elevación sin carga (m)
PM1	2495,959	2495,9591
PM2	2495,933	2495,9329
PM3	2495,920	2495,9226
PM4	2495,944	2495,9465
PM5	2495,955	2495,9588
PM6	2495,945	2495,9453
PM7	2495,948	2495,9477
PM8	2495,988	2495,9876

Nota: La tabla contiene las coordenadas finales de las elevaciones con carga y sin carga vehicular.

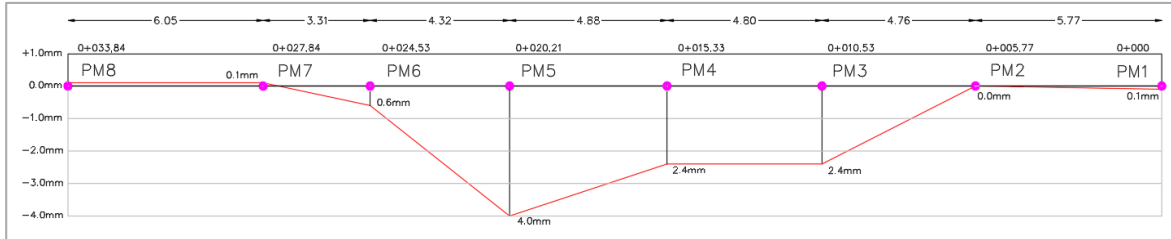
Tabla 10*Deflexiones resultantes*

Nombre	Cota con carga (m)	Cota sin carga (m)	Deflexiones (mm)
PM1	0,498	0,4981	-0,1
PM2	0,4719	0,4719	0
PM3	0,4592	0,4616	-2,4
PM4	0,4831	0,4855	-2,4
PM5	0,4938	0,4978	-4
PM6	0,4837	0,4843	-0,6
PM7	0,4868	0,4867	0,1
PM8	0,5267	0,5266	0,1

Nota: La tabla muestra los desniveles con carga, sin carga y las deflexiones resultantes.

Figura 28

Deflexiones



Nota: El gráfico muestra el resultado de las deflexiones encontradas una vez procesados los resultados de la nivelación geométrica.

Discusión de resultados:

Cada puente construido, tiene una función y diseño completamente distinta, el puente en estudio es exclusivamente para transporte liviano y vehículos destinados al transporte de pasajeros, aproximadamente, se estima que circulan entre 4000 a 5000 vehículos por día ya que es una vía secundaria que conecta con una vía principal como es la Avenida General Rumiñahui. Con la presente investigación se busca medir las deformaciones producidas en el puente cuando se aplica una carga representativa de treinta toneladas, similar a las condiciones de carga reales altas más frecuentes. A pesar de que con certeza el puente fue diseñado para cargas más altas, como lo establecen las normas, la carga de treinta toneladas, por el uso del puente, es la carga frecuente más alta que normalmente circula por éste.

La presente investigación no generaliza un procedimiento para determinar las deflexiones, pero es un aporte a grandes cambios para desarrollar metodologías sencillas en el monitoreo de todo tipo de puentes, mientras están en funcionamiento, prácticamente sin interrupción de la circulación vehicular.

Se demostró la precisión del equipo usado y que la metodología es válida para futuros proyectos relacionados, obteniendo cierres en la nivelación geométrica sin carga y con carga de 0.0004 metros y 0.0003 metros, respectivamente.

Es así que el ajuste por mínimos cuadrados resulta ser innecesario, ya que, si se tiene errores en el orden de la décima de milímetro, los ajustes resultarían ser del orden de la centésima del milímetro, y no provocaría cambios significativos en los resultados tal y como se demostró realizando el ajuste por mínimos cuadrados de la nivelación geométrica sin carga indicando la comparación en la Tabla 8.

Con los resultados obtenidos en la nivelación geométrica con y sin carga se determinaron deflexiones en cada punto de monitoreo colocado sobre el puente, siendo la máxima de 4 mm, es así que el "Puente 8" se encuentra dentro de los parámetros admisibles para su funcionalidad, concluyendo que no es necesario un control detallado a la estructura.

Es importante que el estudio estructural sobre deformaciones se lo realice cada 5 años a partir de que el puente es funcional, llevando a cabo controles de deformaciones, permitiendo un seguimiento a la estructura y dando mantenimiento preventivo y no el típico mantenimiento estético que se acostumbre en el país. A la par, sería recomendable llevar un Libro de Vida Funcional del puente monitoreado, en el que se deberían registrar las deflexiones medidas cada cinco años, lo que, en caso de mediciones anormales, permitiría realizar estudios complementarios oportunos, para reforzar adecuadamente el puente. Además de las mediciones periódicas, cada cinco años, deberán realizarse monitoreos complementarios, luego de eventos catastróficos como sismos, tsunamis, explosiones o similares.

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- La información sobre el control y metodologías para determinar deflexiones sirvió como punto de partida, pero aun así resulta ser escasa sobre estudios relacionados con la presente investigación.
- Se concluye que debido al diseño aporticado del puente las deflexiones esperadas no van a ser grandes, es así que la deflexión máxima determinada en el presente proyecto de investigación es de 4 milímetros aplicando una carga aproximadamente de 15 Toneladas por cada eje, esta se encuentra dentro del rango normal y la estructura cumple correctamente con su funcionalidad.
- La carga de diseño es completamente diferente a la carga usada en este tipo de monitoreo, lo que se busca es simular las condiciones de carga reales altas más frecuentes y no forzar partes del puente que podrían tener una vida útil mucho más larga.
- Si las deflexiones esperadas después de 5 años superan en un 40%, 50% o más a las anteriores medidas, se debe tomar esto como alerta e intervenir el puente ya que hay un deterioro de la estructura.
- Se demostró que el control de deformaciones mediante observaciones topográficas es un procedimiento relativamente sencillo, que podría evitar costos mucho más altos a futuro o tener pérdidas irremediables.
- El Nivel Digital Leica DNA03 es actualmente el instrumento topográfico más preciso para este tipo de mediciones tal y como se ha demostrado, con errores inferiores a 0.001 metros como resultado de la nivelación geométrica. Debido a la exactitud de las mediciones y con errores de 0.0004 metros y 0.0003 metros al momento del cierre en la nivelación geométrica sin carga y con carga respectivamente, el ajuste

por mínimos cuadrados resulta ser innecesario ya que no provoca cambios significativos en los resultados.

Recomendaciones

- Este proyecto fue únicamente académico, si se deseara implementar como proyecto público en municipios o consejos provinciales se debe pulir la metodología y desarrollar planes pilotos en varios puentes para poder generalizar aún más el proceso, ya que llevar un seguimiento a los puentes de la ciudad son de vital importancia para la estructura vial de la urbe.
- Se recomienda promocionar el desarrollo de nuevas investigaciones sobre el control y monitoreo de puentes, y así generar una red vial estable dentro de la urbe.
- Es importante que el equipo que se utilice en la investigación esté debidamente calibrado con las especificaciones técnicas establecidas del fabricante y así minimizar errores futuros en los procedimientos ya que de esto va a depender los resultados del proyecto.
- Cada puente tiene un diferente diseño por lo que se recomienda tomar como punto de partida la memoria técnica para poder determinar la carga que se podría aplicar y las deflexiones esperadas; asimismo, cada puente que es entregado a la sociedad debería tener un Libro de Vida Funcional en donde refleje el constante mantenimiento y control que se realiza.
- Para las mediciones de desniveles con carga es recomendable hacerlo en días no laborables y en horas del día en donde el flujo vehicular sea el menor posible y así no afectar a los usuarios del puente. Lo óptimo es cortar completamente el flujo vehicular el tiempo que dure el proceso de mediciones y hacerlo lo más rápido posible.
- El no hacer el ajuste para la nivelación geométrica no se aplica para todo proyecto, esto depende de la precisión del equipo y los resultados obtenidos; el ajuste es una

parte importante en todo procedimiento topográfico debido a que las mediciones que se realizan en campo no son perfectas y los errores deben ser compensados.

Bibliografía

- 123RF. (2019). Obtenido de 123RF: https://es.123rf.com/photo_40547555_gran-puente-de-hormig%C3%B3n-sobre-el-lago-holand%C3%A9s-cerca-lelystad.html
- Cano, J. (2010). Puentes de Madera. *Xilema*, 70-71.
- Cárdenas, O. (Marzo de 2016). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare:
<https://www.slideshare.net/EMANECERS/partes-de-un-puente-59442007>
- Cárdenas, O. (Marzo de 2016). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare:
<https://es.slideshare.net/EMANECERS/partes-de-un-puente-59442007>
- Christofer, C. (Noviembre de 2015). *SlideShare*. Obtenido de SlideShare:
<https://es.slideshare.net/pabl robertlopeznicolaz/deflexiones-55349380>
- Civil Excel*. (2021). Obtenido de Civil Excel:
<https://www.civilexcel.com/2014/05/nivelacion-topografica.html>
- Farjas. (2017). Topografía. En Farjas, *Topografía* (págs. 3-20).
- Fernández, J. (26 de Mayo de 2019). El fantasma del Puente de Arco de Piedra. *El editor*, pág. 2.
- Gacía, A. (1994). Topografía Básica para ingenieros. En A. Gacía, *Topografía Básica para ingenieros* (págs. 1-4). Murcia.
- Global Mediterranea Geomática*. (Agosto de 2017). Obtenido de Global Mediterranea Geomática: <https://www.globalmediterranea.es/equipo-topografico-medir-para-angulos/>

González, P. (2017). *Repositorio upct*. Obtenido de Repositorio upct:

<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/4651/pfc5890.pdf;sequence=1>

Grupo Interno Geodesia. (2017). *Instructivo uso y configuración nivel digital DNA03*

Leica.

Guardiola, A. (2011). *ruinet.upv*. Obtenido de ruinet.upv:

[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12871/los%20arcos.pdf?sequence=](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12871/los%20arcos.pdf?sequence=7)

[7](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12871/los%20arcos.pdf?sequence=7)

Maderero, D. F. (2019). Puentes en vigas de madera laminada encolada en Japón.

Forestal Mderero, 2.

Pedraza Santos, A. (2019). *Alicia*. Obtenido de Alicia:

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_00c05181151424f22602e245](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_00c05181151424f22602e245db42bf37)

[db42bf37](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCVV_00c05181151424f22602e245db42bf37)

Romo, M. (2018). Puentes y Viaductos. En M. R. Proaño, *Puentes y Viaductos* (págs. 1-

12, 154-166).

Romo, M. (06 de Agosto de 2021). Características Puente 8. (N. Haro, Entrevistador)

Thales. (Octubre de 2018). Obtenido de Thales:

[https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-](https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm)

[02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm](https://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0053-02/contenido/9_clasificacion_puentes.htm)

Trento, L. (2015). Intersección espacial en microgeodesia. *Revista Argentina de*

Ingeniería, 1-9.

Walpole, M. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. Pearson

Education. Obtenido de Wordpress.

Wolf, P. (2008). Topografía. En P. Wolf, *Topografía* (págs. 1-20). Alfaomega.

Yepes, V. (2014). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de Universidad

Politécnica de Valencia:

<https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/12/10/construccion-del-puente-george-washington/>

Anexos