

Aplicación del método de rigidez para la solución de estructuras mixtas considerando variación de temperatura y asentamiento

Application of the Rigidity Method for the Solution of Mixed Structures Considering Variation in Temperature and Settlement

Marcos Rupay¹, Gianmarcos Fuentes² y Abel Muñoz³.

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue calcular las fuerzas internas de una estructura con un sólido rígido en sus barras, generando restricciones en la estructura que afecta a cada uno de los nodos. Para la resolución del ejercicio planteado se consideraron los temarios realizados en el curso de Análisis Estructural II correspondiente a la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa. En el planteamiento se abordaron temas originales como el Sistema Q-D (Grados de libertad), Sistema Primario, Sistema Complementario, Vector de Deformaciones y finalmente las Fuerzas Internas. Se empleó el método directo de rigidez para calcular las fuerzas internas de la estructura y se agregaron dos variaciones asignando un incremento de temperatura en las barras y un asentamiento vertical en uno de los nodos para ver el comportamiento de la estructura. Toda la estructura está compuesta por dos barras simples y un sólido rígido, además de ello presenta una deformación de flexión (EI) de 6000 Ton – m², una deformación axial (EA) igual a infinito y una variación de temperatura (α) de $1,20 \times 10^{-5}$. Finalmente, se contrastó que calculando las fuerzas internas de manera manual se obtuvo los mismos resultados con el software Ftool.

Palabras clave: Fuerzas internas, sólido rígido, asentamientos, método directo de rigidez, Ftool.

ABSTRACT

The objective of the research was to calculate the internal forces of a structure with a rigid solid in its members, generating restrictions in the structure that affect each of the nodes. For the resolution of the proposed exercise, the syllabus of the Structural Analysis II course of the Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa was considered. The approach addressed original topics such as the Q-D System (Degrees of Freedom), Primary System, Complementary System, Deformation Vector, and finally the Internal Forces. The direct stiffness method was used to calculate the internal forces of the structure and two variations were added by assigning a temperature increase in the bars and a vertical settlement in one of the nodes to see the behavior of the structure. The whole structure is composed of two simple bars and a rigid solid, it presents a bending deformation (EI) of 6000 ton – m², an axial deformation (EA) equal to infinity, and a temperature variation (α) of 1.20×10^{-5} . Finally, it was contrasted that calculating the internal forces manually, the same results were obtained with the Ftool software.

Keywords: Internal forces, rigid solid, settlements, direct stiffness method, Ftool.

Recibido: 13/10/2023. Aceptado: 03/11/2023

* Autor para correspondencia

-
1. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú. Email: mrupay@uniscjsa.edu.pe
 2. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú. Email: 72104981@uniscjsa.edu.pe
 3. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Perú. Email: 71209965@uniscjsa.edu.pe

INTRODUCCIÓN

El método directo de rigidez es un enfoque fundamental en la determinación de estructuras hiperestáticas. Este método se caracteriza por su comportamiento lineal y elástico, lo que lo convierte en una herramienta esencial en la ingeniería estructural. Es preciso señalar que su aplicación se ha destacado a lo largo del tiempo debido a su simplicidad y versatilidad en diversos proyectos de programación estructural.

El método de rigidez es particularmente adecuado para aplicarse en una variedad de estructuras, incluyendo vigas, armaduras, pórticos y secciones variables, entre otros, asimismo, su eficacia y aplicabilidad lo convierte en una valiosa herramienta para los ingenieros y diseñadores de estructuras, permitiendo un análisis preciso y una solución eficiente en el diseño de sistemas hiperestáticos. Esta versión mejorada presenta una redacción más fluida y precisa, haciendo hincapié en la importancia y versatilidad del método directo de rigidez en la ingeniería estructural.

Según Ruiz & Díaz (2004), en su quinta edición del libro "Mecánica de Estructuras", señala que para aplicar el método directo de rigidez es fundamental llevar a cabo una asignación precisa de los grados de libertad. Sin embargo, se advierte la necesidad de ejercer una especial precaución, ya que la presencia de una barra con alta rigidez en la estructura impondrá restricciones significativas a las deformaciones. Es importante destacar que el libro también aborda dos casos especiales, aunque se menciona que estos afectarán la variación del sistema Q-D sin influir directamente en el sistema primario ni en el complementario. En consecuencia, se concluye que las deformaciones en la estructura tendrán un impacto sustancial en el cálculo de las fuerzas internas.

Una metodología similar a lo mencionado se visualiza en la investigación "Método de rigidez" que fue elaborado por la Corporación Universitaria de la Costa (2019-2020), la cual tuvo como objetivo emplear el método de rigidez haciendo uso de las ecuaciones de equilibrio, cinemática y acción-deformación. El procedimiento que se empleó fue comenzando por definir los grados de libertad y las deformaciones básicas de los elementos, luego de ello se determinó la matriz de cinemática para formar la matriz de rigidez de la estructura, después se determinó las deformaciones básicas de los elementos y también las fuerzas de estos, y por último se halló las reacciones y se verificó el equilibrio global de la estructura.

Caso similar lo encontramos en la investigación titulado como "Fundamentos del análisis matricial de estructuras, aplicando el método de elementos finitos" que fue desarrollado por Olivares (2018-2019) en donde su procedimiento empezó calculando los grados de libertad que pertenecerían al sistema Q-D, luego enumero los elementos para determinar el recorrido y su vector espacial, obteniendo esto se calculó

la matriz de rigidez de cada elemento para generar la matriz de rigidez global de la estructura, después se halló la matriz de desplazamiento, la cual nos ayudaría a calcular los desplazamientos y reacciones, por último, se calculó las fuerzas internas de la estructura.

Es fundamental definir de manera manual las fuerzas internas y proceder a la elaboración de los diagramas de momentos como paso central en el proceso. De esta forma, podemos afirmar que hemos alcanzado la etapa intermedia del trabajo, restando únicamente la validación de los resultados mediante la herramienta Ftool.

Siempre surgirán numerosas interrogantes, pero es imperativo considerar que un artículo científico nos brinda la capacidad de contrastar nuestras hipótesis al emplear diversas condiciones y casos. Asimismo, nos permite evaluar si los resultados obtenidos son congruentes con los obtenidos a través del empleo de software especializado en ingeniería estructural. Es fundamental destacar que el progreso tecnológico a lo largo de los años y su alcance a nivel global ha habilitado la realización de trabajos con mayor precisión y un enfoque más creativo. Este desarrollo abre un sinfín de oportunidades para la expansión del conocimiento en esta área.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método Directo de la Rigidez

De acuerdo con el autor Ottazzi Pasino (2014), en el capítulo 6 – Método de Rigidez, nos manifiesta las etapas o procedimientos que se deben realizar para poder realizar las operaciones de cálculo, nos indica en función al siguiente orden:

- a) Seleccionar el Sistema Q-D, emplear la simetría en la estructura.
- b) Calcular el vector $\{Q\}$ en función al sentido de los grados de libertad.
- c) Calcular el sistema primario $\{R\}$ en función a las cargas sobre la barra.
- d) Determinar el sistema complementario $[k]$
- e) Ensamblar la matriz de rigidez $[k]$.
- f) Calcular el vector de deformación $[D]$.
- g) Calcular las fuerzas internas $[Q]$.

Reglamento Nacional de Edificaciones

La Norma de Estructuras E. 020 del Ministerio de Vivienda (2006), en su capítulo 7 – Rigidez, indica que para los desplazamientos laterales en las edificaciones será 1 % de la altura del piso, causada por las fuerzas de viento.

Software FTOOL

De acuerdo con Civil Arq. (2021), el FTOOL versión 4.0.0. es un programa que permite modelar estructuras, aplicar cargas y realizar análisis estáticos lineales para obtener reacciones, desplazamientos y fuerzas internas de la estructura, se destaca en la ingeniería civil por su facilidad de uso y su capacidad para realizar análisis de estructuras de manera rápida.

Casos de estudio

Para la investigación se planteó el siguiente ejercicio:

La estructura desarrollada es una armadura con un sólido rígido en la barra 1-2 con cargas distribuidas, la cual presenta estas propiedades, una deformación de flexión (EI) de $6000 \text{ Ton} - \text{m}^2$, una deformación axial (EA) igual a infinito y una variación de temperatura (α) de $1,20 \times 10^{-5}$.

En la cual se aplica las siguientes condiciones:

- Cargas mostradas en la estructura.
- Incremento uniforme de temperatura en la barra rígida 1 – 2: $+30 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Asentamiento vertical en el apoyo 4 de $0,05 \text{ m}$.

Caso 1. Cargas mostradas en la estructura.

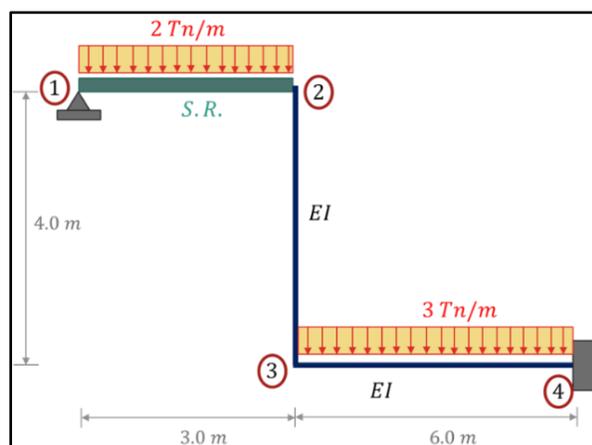


Figura 1. Problema propuesto

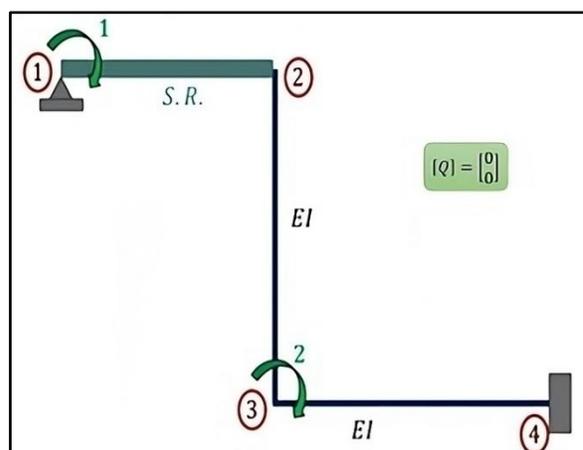


Figura 2. Sistema Q-D

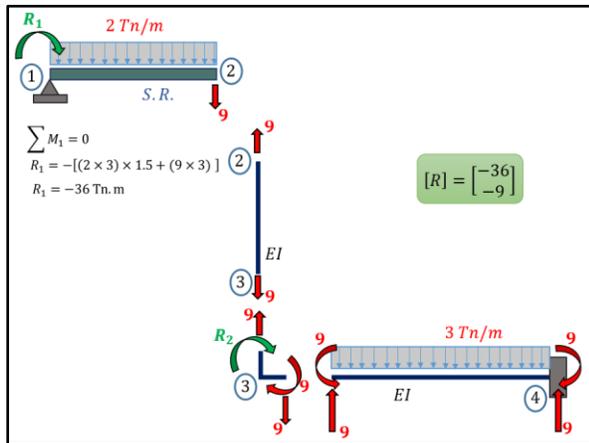


Figura 3. Sistema primario

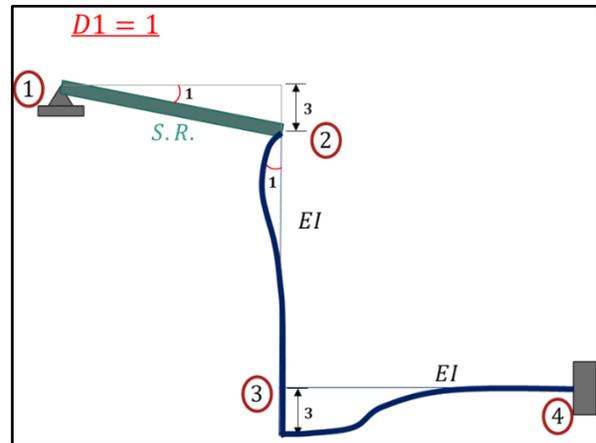


Figura 4. Sistema complementario D1

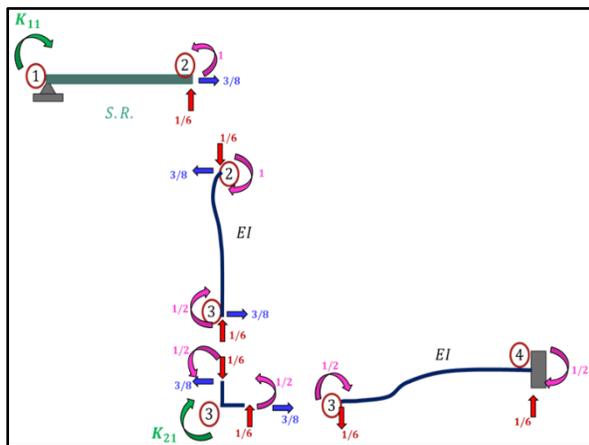


Figura 5. Descomposición de las barras de la estructura D1

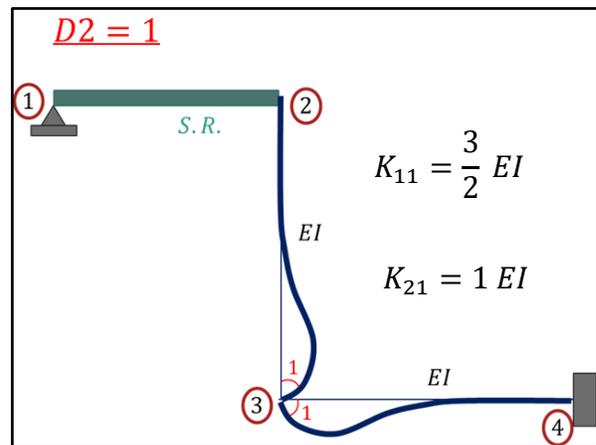


Figura 6. Sistema complementario D2

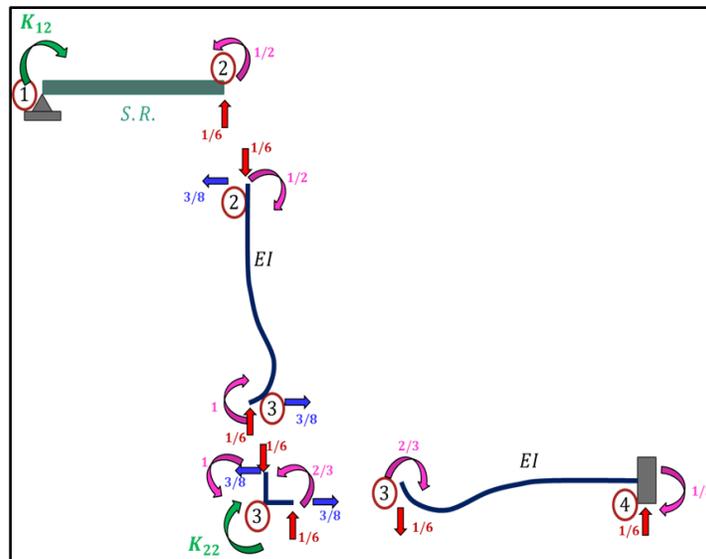


Figura 7. Descomposición de las barras de la estructura D2

a) Matriz de rigidez

$$[k] = \begin{pmatrix} 3/2 & 1 \\ 1 & 5/3 \end{pmatrix} * EI$$

b) Vector de deformaciones

$$[D] = [k]^{-1} x [\{Q\} - \{R\}]$$

$$[D] = \begin{pmatrix} 3/2 & 1 \\ 1 & 5/3 \end{pmatrix}^{-1} X \left[\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -36 \\ -9 \end{bmatrix} \right]$$

$$[D] = \begin{bmatrix} -34 \\ -15 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

c) Fuerzas internas

$$[Q] = \{R\} + [K] x \{D\}$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -9 \\ 9 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 1/2 \\ 1/2 & 1 \\ 1/2 & 2/3 \\ 1/2 & 1/3 \end{pmatrix} EI x \begin{bmatrix} 34 \\ -15 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} 26.5 \\ 2 \\ -2 \\ 21 \end{bmatrix} Tn.m$$

$$[Q_{DFC}] = \{R\} + [K] x \{D\}$$

$$[Q_{DFC}] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -9 \\ -9 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} -3/8 & -3/8 \\ 3/8 & 3/8 \\ 1/6 & 1/6 \\ -1/6 & -1/6 \end{pmatrix} * EI x \begin{bmatrix} 34 \\ -15 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

$$[Q_{DFC}] = \begin{bmatrix} 7.125 \\ -7.125 \\ 5.8333 \\ 12.1667 \end{bmatrix}$$

d) DMF Y DFC

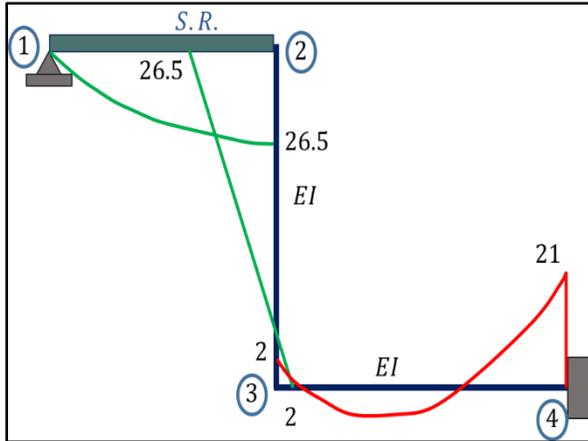


Figura 8. Diagrama de momento flector

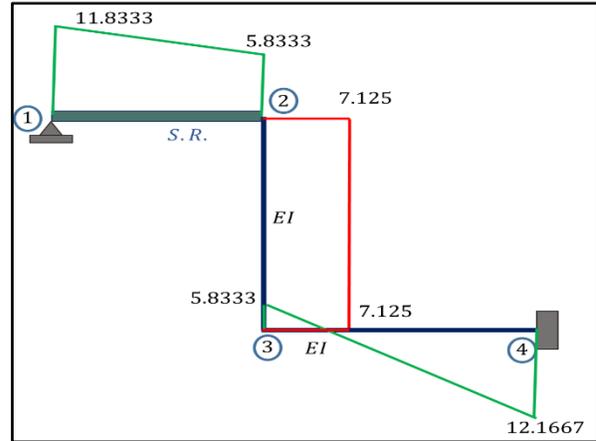


Figura 9. Diagrama de fuerza cortante

Caso 2: Incremento uniforme de temperatura en la barra rígida 1 – 2: + 30 °C.

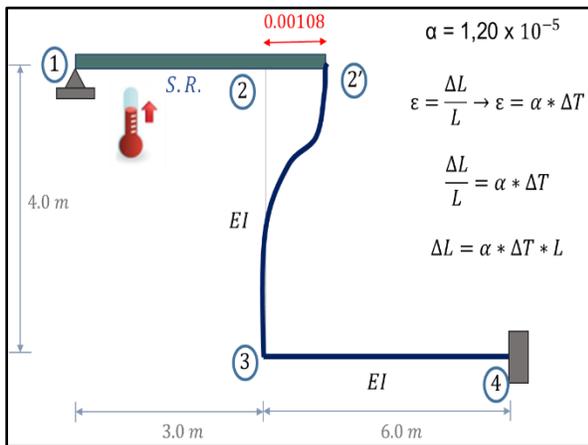


Figura 10. Incremento uniforme de temperatura

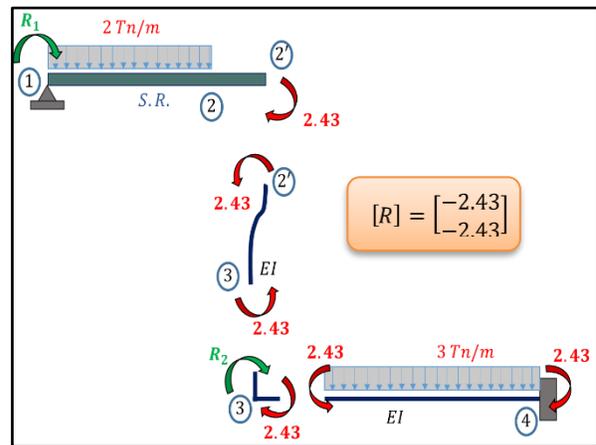


Figura 11. Sistema Primario

a) Matriz de rigidez

$$[k] = \begin{pmatrix} 3/2 & 1 \\ 1 & 5/3 \end{pmatrix} * EI$$

b) Vector de deformaciones

$$[D] = [k]^{-1} * [\{Q\} - \{R\}]$$

$$[D] = \begin{pmatrix} 3/2 & 1 \\ 1 & 5/3 \end{pmatrix}^{-1} X \left[\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -2.43 \\ -2.43 \end{bmatrix} \right]$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 1.08 \\ 0.81 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

c) Fuerzas internas

$$[Q] = \{R\} + [K]x\{D\}$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -50/3 \\ 50/3 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} -3/8 & -3/8 \\ 3/8 & 3/8 \\ 1/6 & 1/6 \\ -1/6 & -1/6 \end{pmatrix} EI x \begin{bmatrix} 1.08 \\ 0.81 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} -0.945 \\ -1.08 \\ 1.08 \\ 0.81 \end{bmatrix} Tn.m$$

d) DMF Y DFC

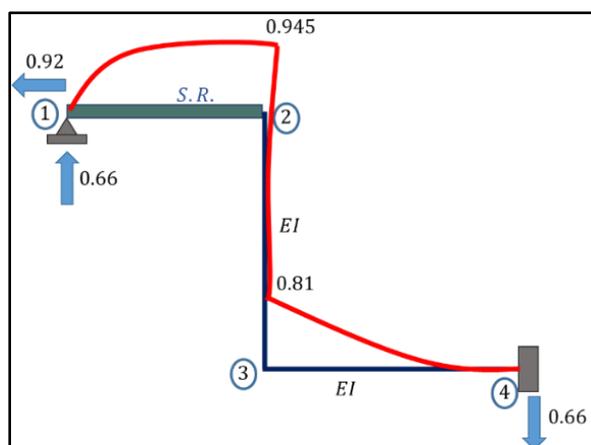


Figura 12. Diagrama de momento flector

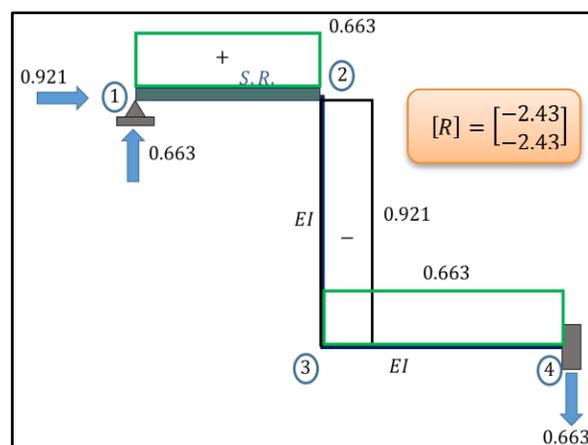


Figura 13. Diagrama de fuerza cortante

Caso 3: Asentamiento vertical en el apoyo 4

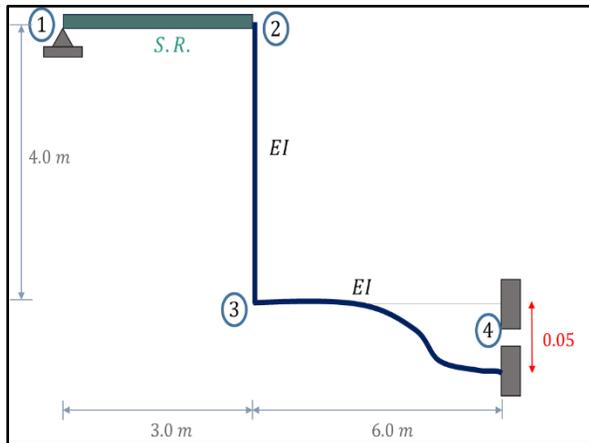


Figura 14. Asentamiento vertical en el apoyo 4

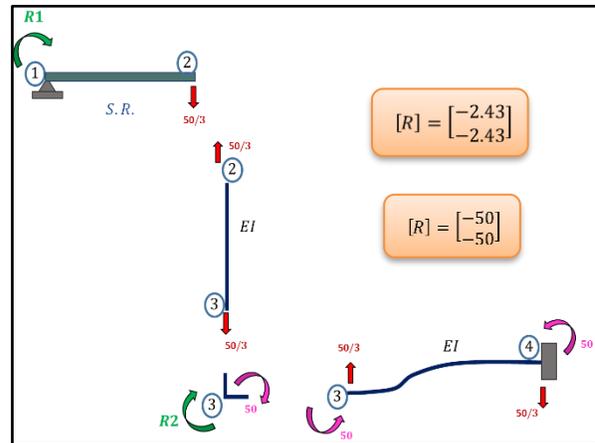


Figura 15. Sistema primario

a) Matriz de rigidez

$$[k] = \begin{pmatrix} 3/2 & 1 \\ 1 & 5/3 \end{pmatrix} * EI$$

b) Vector de deformaciones

$$[D] = [k]^{-1} x [\{Q\} - \{R\}]$$

$$[D] = \begin{pmatrix} 3/2 & 1 \\ 1 & 5/3 \end{pmatrix}^{-1} X \left[\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -50 \\ -50 \end{bmatrix} \right]$$

$$[D] = \begin{bmatrix} 22.2222 \\ 16.6667 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

c) Fuerzas internas

$$[Q] = \{R\} + [K] x \{D\}$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} 1.215 \\ -1.215 \\ 9 \\ 9 \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} -3/8 & -3/8 \\ 3/8 & 3/8 \\ 1/6 & 1/6 \\ -1/6 & -1/6 \end{pmatrix} EI x \begin{bmatrix} 22.2222 \\ 16.6667 \end{bmatrix} * \frac{1}{EI}$$

$$[Q] = \begin{bmatrix} 8.298 \\ 16.596 \\ -16.596 \\ 0 \end{bmatrix} Tn.m$$

d) DMF Y DFC

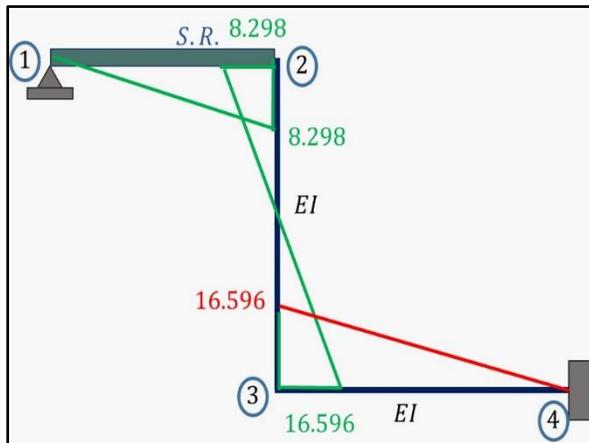


Figura 15. Diagrama de momento flector

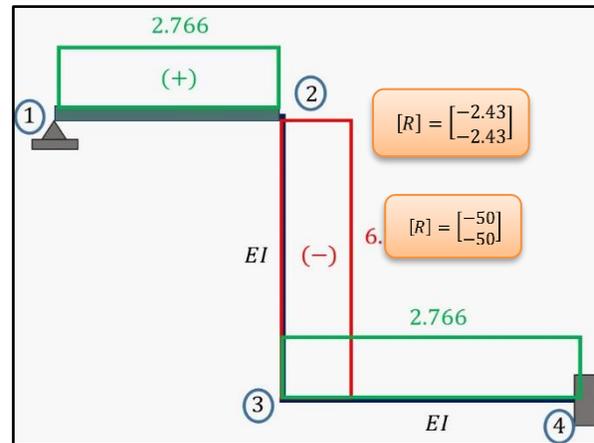


Figura 16. Diagrama de fuerza cortante

RESULTADOS

Fuerzas internas

Cargas mostradas en la estructura

Los resultados derivados de la aplicación del método de rigidez directa, bajo las cargas inherentes a la estructura, han proporcionado las fuerzas internas, cuyos diagramas han sido generados. Con el propósito de validar la exactitud de estos resultados, se han realizado comparaciones utilizando el software Ftool. Este análisis ha sido llevado a cabo con el objetivo de garantizar la fiabilidad y la precisión del programa empleado en la modelización de estructuras en dos y tres dimensiones, especialmente en el ámbito de la ingeniería estructural.

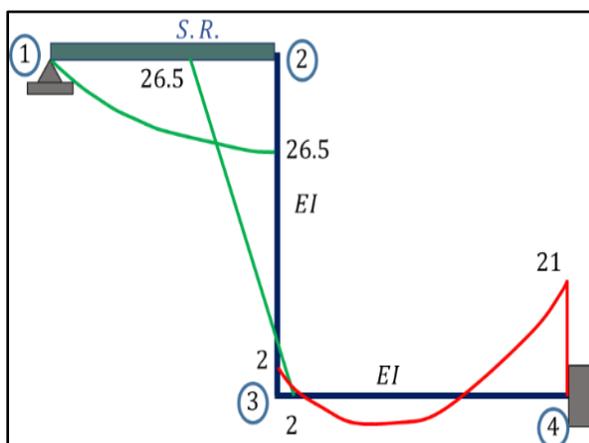


Figura 17. Diagrama Momento Flector de la estructura mixta aplicando el método directo de rigidez.

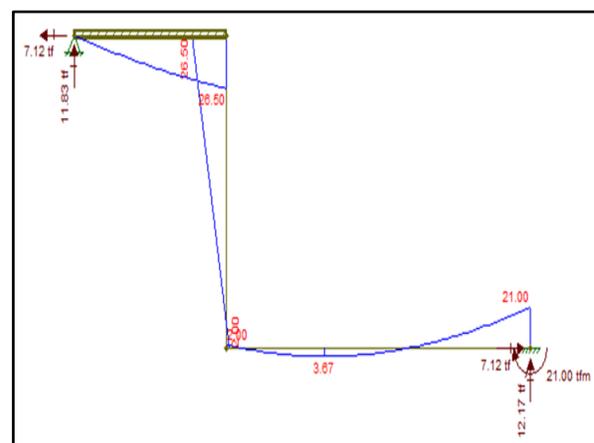


Figura 18. Diagrama Momento Flector de la estructura mixta aplicando el uso del Ftool

La Figura 17, muestra las fuerzas internas derivadas de la aplicación del método directo de rigidez, destacando el equilibrio presente en las fuerzas y los momentos. Cada barra en el gráfico representa el valor máximo como el mínimo obtenido. Por otro lado, en la Figura 18 se presenta el análisis estructural realizado a través del software Ftool, enfocado en la obtención de los momentos flectores.

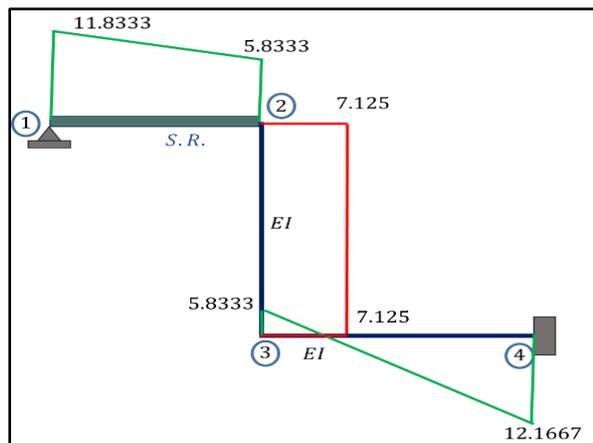


Figura 19. Diagrama Fuerza Cortante de la estructura mixta aplicando el método directo de rigidez.

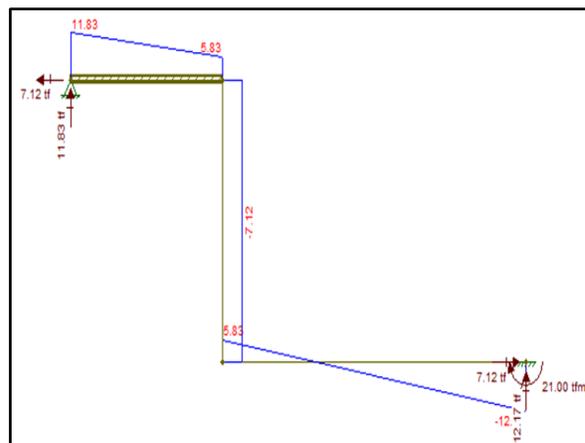


Figura 20. Diagrama Fuerza Cortante de la estructura mixta aplicando el uso del Ftool

La Figura 19 presenta los valores cortantes de la estructura, trazados con precisión de hasta 4 decimales significativos, correspondiente al Diagrama de Fuerza Cortante de la estructura. En la Figura 20, se visualizan las fuerzas cortantes obtenidas mediante el software Ftool, el cual considera únicamente 2 decimales significativos.

Incremento uniforme de temperatura

El aumento uniforme de la temperatura en el sólido rígido, localizado en la barra 1-2 de sección uniforme, se caracteriza por un incremento térmico homogéneo. Aunque inicialmente la estructura soportaba una carga distribuida, su consideración carece de relevancia debido a la incapacidad del sólido rígido para deformarse axial. Sin embargo, es crucial señalar que el aumento de la temperatura puede inducir una expansión en la sección de la barra, dado que el calor tiende a provocar la dilatación de materiales.

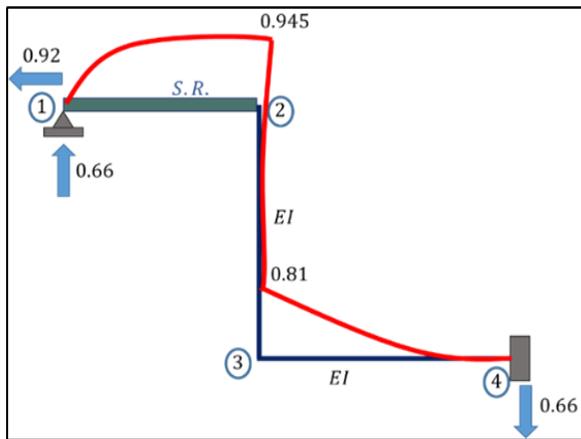


Figura 21. Diagrama Momento Flector de la estructura mixta aplicando el método directo de rigidez.

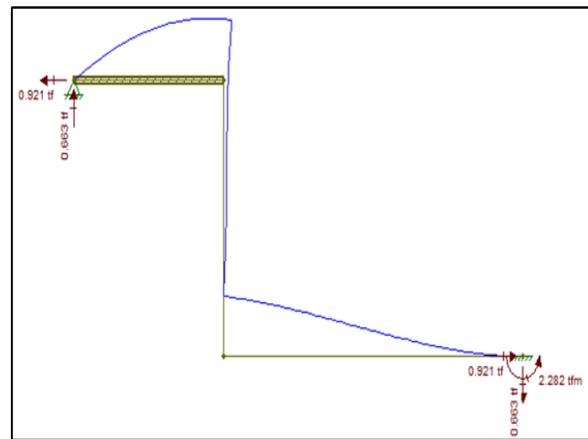


Figura 22. Diagrama Momento Flector de la estructura mixta aplicando el uso del Ftool.

La Figura 21 exhibe el cálculo de las fuerzas internas junto con la variación de temperatura, que incide directamente en el sólido rígido. La implementación de la estructura en el programa Ftool ha corroborado la existencia de reacciones en equilibrio. Este fenómeno se atribuye principalmente a la influencia de la temperatura, generando tensiones y deformaciones en el elemento 1-2, tal como se mencionó previamente. La Figura 22 presenta el momento flector obtenido a través del software Ftool.

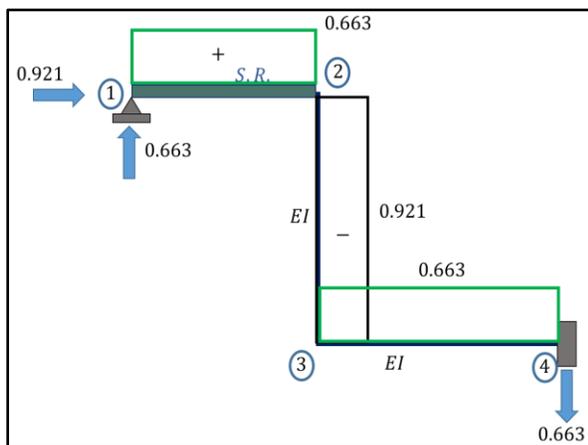


Figura 23. Diagrama Fuerza Cortante de la estructura mixta aplicando el método directo de rigidez.

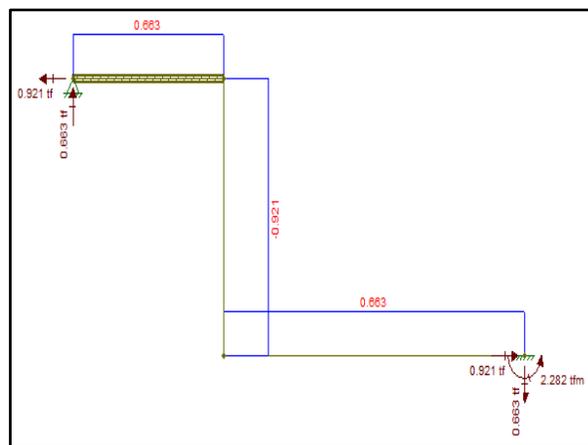


Figura 24. Diagrama Fuerza Cortante de la estructura mixta aplicando el uso del Ftool.

En ambas modalidades de soporte, tanto fijo como empotrado, se evidencian fuerzas en equilibrio que se relacionan directamente con el diagrama, lo cual conduce a un estado de inercia en los elementos de cada una de las estructuras. El método de rigidez se utilizó para obtener el diagrama de fuerza cortante, como se muestra en la Figura 23. Por su parte, la Figura 24 ilustra la estructura completa junto con las fuerzas cortantes que mantienen el equilibrio en el sistema en su totalidad.

Asentamiento vertical en el nudo 4

El desplazamiento vertical en un punto específico de la estructura da origen a una reacción directa de compresión, ya que no existe una fuerza contraria que neutralice este efecto. Es crucial tener en cuenta que, en el caso de que dicho asentamiento ocurra en un cuerpo sólido e inflexible, este fenómeno también se manifiesta, generando una fuerza de tracción que actúa sobre el elemento afectado. Sin embargo, es fundamental destacar que esta fuerza de tracción está intrínsecamente vinculada a las propiedades inherentes de cada componente, debiendo cumplir de manera obligatoria las condiciones específicas que se le impongan.

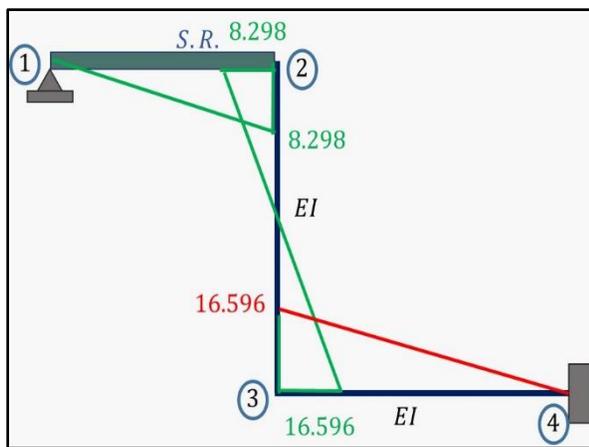


Figura 25. Diagrama Momento Flector de la estructura mixta aplicando el método directo de rigidez

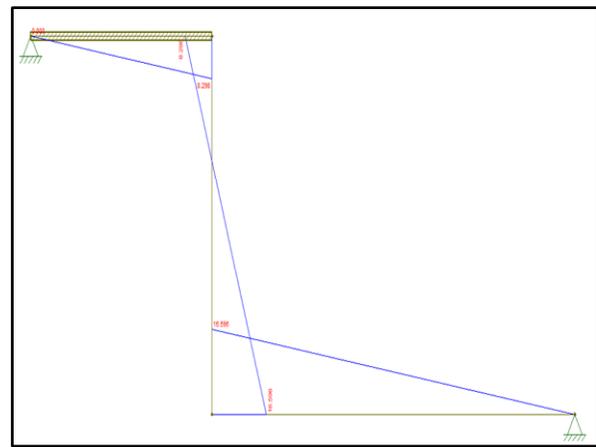


Figura 26. Diagrama Momento Flector de la estructura mixta aplicando el uso del Ftool

En la Figura 25 se presenta el trazado del Diagrama de Momento Flector, reflejando los resultados obtenidos mediante la metodología considerada como la base para el análisis. Por otro lado, en la Figura 26, se llevó a cabo un trazado en el software Ftool, teniendo en cuenta un asentamiento vertical de 0.05 m en el nudo 4 de la estructura. Este procedimiento nos permitió corroborar la consistencia de los resultados.

En la Figura 27 muestra los valores cortantes de la estructura, representados con una precisión de hasta 4 decimales significativos en el Diagrama de Fuerza Cortante. Mientras tanto, en la Figura 28, se presentan las fuerzas cortantes obtenidas mediante el software Ftool, el cual, en su interfaz, considera únicamente 2 decimales significativos. Este contraste de precisiones permite evaluar y comparar las magnitudes de manera más detallada y específica.

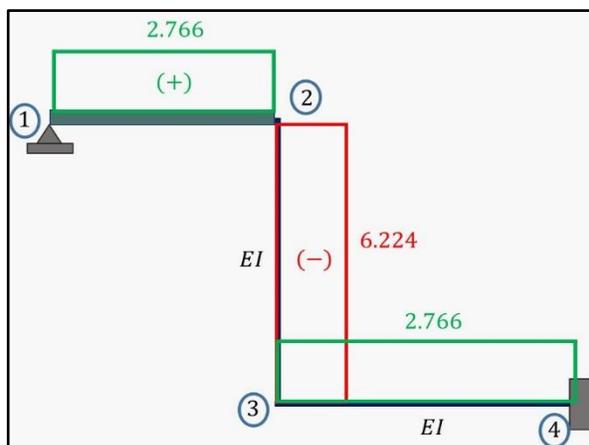


Figura 27. Diagrama Fuerza Cortante de la estructura mixta aplicando el método directo de rigidez

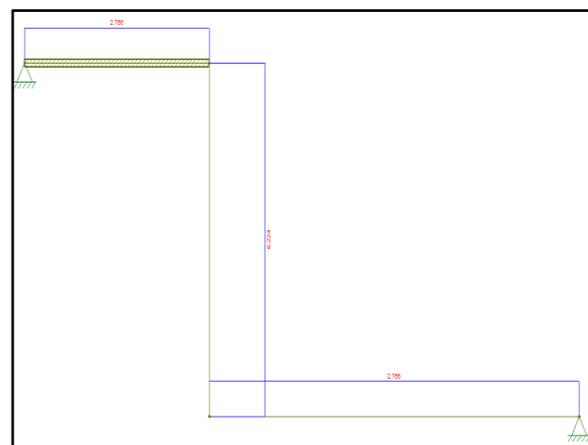


Figura 28. Diagrama Fuerza Cortante de la estructura mixta aplicando el uso del Ftool

DISCUSIÓN

Según Falconi (2014), la utilización del método directo de rigidez resulta altamente factible en este tipo de ejercicios, ya que opera de manera continua y sistemática, aprovechando las condiciones altamente propicias que se presentan en el ejercicio. Asimismo, la comparación de los resultados obtenidos con los generados por el software utilizado para la evaluación se convierte en una medida de seguridad adicional en el proceso de análisis.

Según Roberto (2002), cuando se imponen condiciones o restricciones específicas en un elemento que posee una sección de sólido rígido, en la mayoría de los casos, si la naturaleza del elemento lo permite, debemos evaluar si estas condiciones están relacionadas principalmente con las variaciones de temperatura. Además, un elemento con una sección considerable y una alta continuidad no es susceptible a deformarse por flexión o tracción. Sin embargo, existen circunstancias en las que observamos que un aumento gradual y constante de la temperatura genera tracción, pero esto ocurre con valores mínimos. Estos valores mínimos están directamente relacionados con el sistema Q-D y el sistema primario de la estructura en su totalidad.

Según Corporación Universitaria de la Costa (2019-2020), menciona que el método de rigidez nos permite determinar los desplazamientos y fuerzas de una estructura, y que para llevarlo a cabo es necesario utilizar las ecuaciones de equilibrio, cinemática y acción – deformación y para su comprobación usaron el software de Matlab, por tal motivo esta investigación se realizó con dicha metodología mencionada llegando a la conclusión que los desplazamientos y fuerzas de la estructura lograron ser determinados de una manera rápida y eficiente

Según Olivares (2018-2019), sustenta que el cálculo de estructuras que presentan tiene la finalidad de calcular los desplazamientos y reacciones en estructuras que presentan varios grados de libertad y que para su comprobación se sugiere usar software o herramientas computacionales. Para la elaboración de este artículo se tuvo en cuenta algunas metodologías similares las cuales nos ayudaron tener más conocimiento sobre el tema estudiado. El tipo de software utilizado en este caso fue el FTOOL, la cual nos ayudó a hacer una comprobación de los resultados que se obtuvieron al resolverlos manualmente. Es importante destacar que, en este escenario, se emplea una matriz de rigidez para determinar los coeficientes correspondientes a cada grado de libertad asignado. No se realiza un cálculo de matriz por cada elemento, ya que no se aplica en estas condiciones. La estructuración del ejercicio tenía dos opciones como patrón para poder resolver el ejercicio, la primera es someter a la estructura a grados de libertad de ejes locales y la otra fue la de ejes globales que es con la que nosotros hemos trabajado debido a la simplicidad de su resolución. Cabe resaltar también que el software con el que se efectúa las verificaciones también considera los grados de libertad como nosotros hemos determinado y que son los globales para poder calcular las reacciones, trazar los diagramas y determinar distancias críticas en la estructura.

Podemos definir que en una estructura con 02 grados de libertad son aquellos con movimientos posibles que pueden ocurrir en un elemento los cuales no afectaran su estructuración ni las condiciones que propiamente presentan los elementos que fueron definidos y que cada uno de estos permitirá un desplazamiento o movimiento sin afectar al elemento completamente hasta que sufra una falla nodal ya que no será permitido. También es válido mencionar que estos grados de libertad siempre van en condiciones de acuerdo con los tipos de apoyos que se presenten esto dependerá del número de grados de libertad y de la estructura isostática o hiperestática.

CONCLUSIONES

En el desarrollo del este estudio, se identificaron dos grados de libertad en la estructura analizada. El primer grado de libertad, está relacionado con al giro, la cual se planteó debido a las restricciones impuestas por la naturaleza de un sólido rígido, que no permite desplazamientos laterales ni verticales. El segundo grado de libertad, es limitado por las restricciones impuestas del nodo libre, la cual se ve afecta por la propiedad del sólido rígido. Estas dos consideraciones son fundamentales para comprender y modelar el comportamiento de la estructura planteada.

También se planteó dos condiciones específicas en este estudio: el aumento de la temperatura y el asentamiento en uno de los nodos. Esta elección se basó en la necesidad de evaluar situaciones comunes en el diseño de estructuras, ya que, es importante reconocer que está sometida a factores climatológicos que van deteriorando los elementos. Además, la presencia de suelos cohesivos, que son aquellos capaces de provocar asentamientos diferenciales en las estructuras.

Finalmente, con respecto a los diagramas generados a través del software Ftool, se pudo verificar de manera concluyente que la aplicación del método directo de rigidez produjo una eficiencia total, con variaciones mínimas en los resultados de las fuerzas internas, en su mayoría dentro del rango de decimales. Este método constituye una contribución significativa, ya que, respalda la alta confiabilidad de nuestros resultados al ser corroborados con herramientas de ingeniería que permiten una resolución y análisis estructural más ágil, tanto en situaciones estáticas como dinámicas.

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, nuestra casa superior de estudios por formar profesionales interculturales con ganas de buscar en desarrollo de los pueblos originarios y sobre todo una mención especial para el Mg. Ing. Marcos Josue Rupay Vargas quien con todos sus conocimientos y enseñanzas nos sigue formando e incentivando a la investigación y la verificación de las tecnologías aplicados en el campo de la Ingeniería Estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alberto, Ramon Zamora Jose. (2020). *"Análisis Estático de un Portico Plano de siete Pisos mediante el método de Rigidez y comprobación en el Software Calsap"*. Máchala: Universidad Técnica de Machala.
- Bartolomé, á. S. (1998). *Análisis de Edificios*. Lima: PUCP.
- Blasco, A. B. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima: s.n.
- Civil Arq. (2021). *CivilArq.com*. Obtenido de <https://civilarq.com/ftool-software-analisis-estructuras-2d/>
- Corporación Universitaria de la Costa. (2019-2020). *studocu*. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de <https://www.studocu.com/es/document/corporacion-universitaria-de-la-costa/disenio-de-edificios/clase-9-metodo-rigidez/11032090>
- Falconi, R. A. (2014). *Análisis Matricial de Estructuras*. Ecuador: Frontier publicidad.
- Harmsem, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: PUCP.

Hibbeler, R. (2012). *Análisis estructural*. México: Pearson.

Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). *Norma Técnica E.020 Cargas*. Lima: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Olivares, R. (2018-2019). *Studocu*. Recuperado el 28 de 10 de 2023, de studocu: <https://www.studocu.com/es/document/universidad-diego-portales/analisis-estructural/resumen-rigidez-fundamentos-del-analisis-matricial-de-estructuras-aplicando-el-metodo-de/4128692>

Ottazzi Pasino, G. (2014). *Apuntes del curso Análisis Estructural I*. Lima, Perú: Ediciones UPC.

Ramirez, W. P. (2020). *Análisis Sísmico de Edificación: Aplicación de la Norma E.030 y E.031 Aslamiento Sísmico*. Tacna: UPT Perú. Fondo Editorial.

Roberto, E. B. (2002). *Diseño sísmico de edificios*. México: Limusa.

Ruiz, M. C., & Díaz, E. B. (2004). *Mecánica de estructuras*. Barcelona: Ediciones UPC.

Rupay Vargas, M. J. (2022). *Apuntes Análisis Estructural II: Análisis Sísmico Estático*. Chanchamayo.

Rupay Vargas, M., Godiño Poma, F., & Lopez Yarango, J. (2018). *Estructuración y diseño sísmico de edificaciones*. Huancayo: Rupay Vargas, Marcos Josué.