



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v10i4.4116>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

Structural Analysis of a Frame with Spring and Settlement Supports

Análise Estrutural de um Pórtico com Molas e Apoios de Assentamento

Marcos Josué Rupay-Vargas ^I

mrupay@uniscjsa.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-7891-1838>

Kevin Raúl Teraccaya-Samaniego ^{II}

75217905k@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5634-7252>

David Joel Principe-Acevedo ^{III}

prindj18@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-2558-796X>

Jherson Henry Castañeda-Ravichagua ^{IV}

jhersoncastaneda30@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-0234-9131>

Jhordy Franklin Rondinel-Sulca ^V

jrondinelsulca@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-5030-7504>

Rony Robel Rudas-Yupanqui ^{VI}

ronyrudasrony@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-8751-0208>

Correspondencia: mrupay@uniscjsa.edu.pe

***Recibido:** 22 de septiembre de 2024 ***Aceptado:** 08 de octubre de 2024 * **Publicado:** 24 de noviembre de 2024

- I. Maestrante candidato a doctor Marcos Josué Rupay Vargas, Perú.
- II. Estudiante de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Junín, Perú.
- III. Estudiante de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Junín, Perú.
- IV. Estudiante de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Junín, Perú.
- V. Estudiante de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Junín, Perú.
- VI. Estudiante de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Junín, Perú.

Resumen

Este artículo presenta un análisis estructural de una armadura diseñada con apoyos de resorte y sometida a asentamientos diferenciales, bajo la aplicación de cargas puntuales verticales. La armadura en estudio tiene una altura de 3 metros y una longitud total de 16 metros, dividida en cuatro tramos de 4 metros, con cargas puntuales aplicadas en nodos específicos.

Uno de los aspectos críticos en el análisis es la incorporación de apoyos de resorte, que proporcionan un comportamiento elástico en los extremos de la estructura. Estos apoyos permiten cierto grado de movimiento vertical, simulando las condiciones de asentamiento no uniforme que pueden presentarse en estructuras reales, especialmente en terrenos de baja capacidad portante o en zonas con heterogeneidad del suelo. El estudio analiza la respuesta de la armadura ante la combinación de cargas puntuales y el efecto de los asentamientos en los apoyos.

Se emplean métodos de análisis matricial para determinar los desplazamientos y reacciones en los nodos, así como las fuerzas internas en cada elemento de la armadura. Los resultados de este análisis se comparan con modelos simplificados, evaluando el impacto de los apoyos elásticos en la estabilidad y la distribución de esfuerzos en la estructura. Los hallazgos subrayan la importancia de considerar el efecto de los apoyos de resorte y los asentamientos en el diseño de armaduras para asegurar un desempeño óptimo y evitar fallos por deformaciones excesivas o esfuerzos adicionales que podrían pasar inadvertidos en diseños sin apoyo flexible.

Este estudio es relevante tanto para ingenieros estructurales como para investigadores en mecánica de estructuras, ya que ofrece un enfoque integral para el análisis de armaduras bajo condiciones de carga y soporte complejas. Los resultados obtenidos son aplicables al diseño de estructuras que requieren soportes elásticos y resistencia a cargas puntuales, como puentes y otras aplicaciones en ingeniería civil que demandan alta resistencia estructural y adaptabilidad a condiciones de terreno variable.

Palabras Clave: armadura; apoyos de resorte; asentamientos diferenciales; cargas puntuales; comportamiento elástico; terreno de baja capacidad portante; análisis matricial; soportes elásticos; resistencia estructural; condiciones de terreno variable, método de la rigidez.

Abstract

This article presents a structural analysis of a truss designed with spring supports and subjected to differential settlements, under the application of vertical point loads. The truss under study has a height of 3 meters and a total length of 16 meters, divided into four sections of 4 meters, with point loads applied at specific nodes.

One of the critical aspects in the analysis is the incorporation of spring supports, which provide elastic behavior at the ends of the structure. These supports allow a certain degree of vertical movement, simulating the non-uniform settlement conditions that can occur in real structures, especially in terrain with low bearing capacity or in areas with soil heterogeneity. The study analyzes the response of the reinforcement to the combination of point loads and the effect of settlements on the supports.

Matrix analysis methods are used to determine the displacements and reactions at the nodes, as well as the internal forces in each element of the reinforcement. The results of this analysis are compared with simplified models, evaluating the impact of elastic supports on the stability and stress distribution in the structure. The findings highlight the importance of considering the effect of spring supports and settlements in truss design to ensure optimal performance and avoid failures due to excessive deformations or additional stresses that could go unnoticed in designs without flexible support.

This study is relevant to both structural engineers and structural mechanics researchers as it offers a comprehensive approach to the analysis of trusses under complex loading and support conditions. The results obtained are applicable to the design of structures that require elastic supports and resistance to point loads, such as bridges and other applications in civil engineering that demand high structural resistance and adaptability to variable terrain conditions.

Keywords: armor; spring supports; differential settlements; point loads; elastic behavior; land with low bearing capacity; matrix analysis; elastic supports; structural resistance; variable terrain conditions, stiffness method.

Resumo

Este artigo apresenta a análise estrutural de uma treliça projetada com apoios de molas e submetida a recalques diferenciais, sob aplicação de cargas pontuais verticais. A treliça em estudo tem altura de 3

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

metros e comprimento total de 16 metros, dividida em quatro seções de 4 metros, com cargas pontuais aplicadas em nós específicos.

Um dos aspectos críticos na análise é a incorporação de apoios de molas, que proporcionam comportamento elástico nas extremidades da estrutura. Estes apoios permitem um certo grau de movimento vertical, simulando as condições de recalque não uniformes que podem ocorrer em estruturas reais, especialmente em terrenos com baixa capacidade de suporte ou em áreas com heterogeneidade de solos. O estudo analisa a resposta da armadura à combinação de cargas pontuais e o efeito dos recalques nos apoios.

Métodos de análise matricial são utilizados para determinar os deslocamentos e reações nos nós, bem como as forças internas em cada elemento da armadura. Os resultados desta análise são comparados com modelos simplificados, avaliando o impacto dos apoios elásticos na estabilidade e distribuição de tensões na estrutura. Os resultados destacam a importância de considerar o efeito dos apoios e recalques das molas no projeto da treliça para garantir um desempenho ideal e evitar falhas devido a deformações excessivas ou tensões adicionais que poderiam passar despercebidas em projetos sem apoio flexível.

Este estudo é relevante tanto para engenheiros estruturais quanto para pesquisadores de mecânica estrutural, pois oferece uma abordagem abrangente para a análise de treliças sob condições complexas de carregamento e apoio. Os resultados obtidos são aplicáveis ao projeto de estruturas que necessitam de apoios elásticos e resistência a cargas pontuais, como pontes e outras aplicações na engenharia civil que exigem alta resistência estrutural e adaptabilidade às condições variáveis do terreno.

Palavras-chave: armadura; suportes de mola; assentamentos diferenciais; cargas pontuais; comportamento elástico; terrenos com baixa capacidade de carga; análise matricial; suportes elásticos; resistência estrutural; condições de terreno variáveis, método de rigidez.

Introducción

En el análisis estructural, el método de rigidez directa es una técnica fundamental para estudiar el comportamiento de estructuras reticuladas, como armaduras, bajo diversas condiciones de carga y soporte. Este método se basa en la formulación matricial, la cual permite modelar con precisión los desplazamientos y esfuerzos internos en estructuras con configuraciones geométricas y condiciones de soporte complejas (McGuire et al., 2015). La armadura analizada en este estudio consta de una

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

serie de elementos conectados en nodos y está sujeta a cargas puntuales aplicadas en puntos específicos. La estructura presenta una altura de 3 metros y una longitud total de 16 metros, dividida en cuatro tramos de 4 metros. Los apoyos de resorte en los extremos de la armadura ofrecen una respuesta elástica, permitiendo desplazamientos verticales controlados que simulan asentamientos diferenciales, una característica común en terrenos heterogéneos o de baja capacidad portante (Hibbeler, 2020).

El método de rigidez directa formula las ecuaciones de equilibrio de la estructura en términos de desplazamientos nodales. Cada elemento de la armadura se modela mediante una matriz de rigidez que relaciona las fuerzas y desplazamientos en los nodos de sus extremos. Esta matriz depende de las propiedades mecánicas del material y las características geométricas del elemento, como su longitud y área de sección transversal (Cook et al., 2013). En el contexto de una armadura, los elementos están diseñados para soportar esfuerzos axiales, por lo que las matrices de rigidez se simplifican considerando únicamente los grados de libertad de desplazamiento en la dirección de los ejes de cada elemento.

Para ensamblar el sistema global, se utiliza el principio de superposición. Las matrices de rigidez de todos los elementos individuales se combinan en una matriz de rigidez global, representando el comportamiento estructural de toda la armadura en términos de desplazamientos en cada nodo (McGuire et al., 2015). Este ensamblaje tiene en cuenta las condiciones de apoyo, incluyendo los efectos de los resortes en los extremos, lo cual añade complejidad al sistema global. La inclusión de apoyos de resorte implica la modificación de las entradas correspondientes en la matriz de rigidez global, introduciendo términos adicionales que reflejan la respuesta elástica de los apoyos. Esta modificación permite modelar con precisión los asentamientos diferenciales y los efectos que estos tienen en la distribución de fuerzas y desplazamientos (Chopra, 2017).

Una vez ensamblada la matriz de rigidez global, se resuelve el sistema de ecuaciones aplicando las condiciones de frontera correspondientes. Estas condiciones incluyen los desplazamientos restringidos en los nodos donde la estructura está anclada y la rigidez adicional aportada por los apoyos de resorte. Al resolver este sistema, se obtienen los desplazamientos nodales de la estructura, que son fundamentales para calcular las fuerzas internas en cada elemento. A partir de estos desplazamientos nodales, se determinan las tensiones y deformaciones en cada barra de la armadura,

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

evaluando la respuesta estructural bajo las cargas aplicadas y los asentamientos presentes en los apoyos (Zienkiewicz et al., 2005).

Este análisis es esencial para entender cómo los asentamientos y la elasticidad de los apoyos afectan el desempeño de la armadura. La rigidez adicional introducida por los apoyos de resorte modifica la distribución de esfuerzos internos y los desplazamientos, afectando la estabilidad y seguridad de la estructura. Por ello, el método de rigidez directa proporciona una herramienta eficaz para analizar y optimizar el diseño de armaduras en condiciones complejas, contribuyendo a garantizar su resistencia y adaptabilidad en escenarios donde los asentamientos y las cargas puntuales son factores críticos (Hibbeler, 2020).

Método de la Rigidez

El Método de la Rigidez es un enfoque matricial que permite analizar el comportamiento estructural relacionando los desplazamientos nodales con las fuerzas aplicadas. Utilizado en estructuras isostáticas e hiperestáticas, es especialmente útil en estudios de respuesta estructural bajo cargas como las sísmicas (Haukaas, 2023).

1. **Compatibilidad:** La deformación en los elementos estructurales es continua, asegurando que los desplazamientos sean consistentes en los nodos compartidos entre los elementos estructurales (Zhou et al., 2024).
2. **Equilibrio Estático:** La estructura y cada uno de sus elementos deben encontrarse en equilibrio, cumpliendo que la suma de fuerzas y momentos sea cero en cualquier nodo o componente (Augusto et al., 2023).
3. **Ecuaciones Constitutivas (Linealidad):** Las relaciones entre tensiones y deformaciones se mantienen lineales, típicamente regidas por la Ley de Hooke, permitiendo el uso del principio de superposición en la evaluación estructural (Haukaas, 2023).
4. **Matriz de Rigidez:** Este método implica construir una matriz que relaciona los desplazamientos nodales con las fuerzas, facilitando el cálculo de esfuerzos y desplazamientos en la estructura (Zhang et al., 2023).
5. **Desplazamientos y Fuerzas en Nodos:** La matriz de rigidez permite determinar los desplazamientos y fuerzas en cada nodo en función de las fuerzas aplicadas, proporcionando una visión detallada del comportamiento de la estructura (Zhou et al., 2024).

6. **Aplicación en Modelos Simétricos y Antisimétricos:** El método de la rigidez puede simplificar cálculos en modelos con cargas simétricas o antisimétricas, facilitando el análisis de estructuras como las de tu ejercicio (Augusto et al., 2023).

Sistema Q-D

El **Sistema Q-D** es una formulación que relaciona las fuerzas aplicadas y los desplazamientos nodales en una estructura a través de la matriz de rigidez K . En este sistema:

- Q representa el **vector de fuerzas aplicadas** en los nodos, que puede incluir cargas horizontales, verticales o momentos aplicados en puntos específicos de la estructura.
- D es el **vector de desplazamientos nodales**, que representa los desplazamientos y rotaciones generados en respuesta a las cargas.

La relación fundamental en el sistema Q-D es:

$$Q = K \cdot D$$

donde:

- K es la **matriz de rigidez** de la estructura, que se construye a partir de las propiedades geométricas y de material de los elementos (por ejemplo, rigidez a flexión e inercia).

Para un análisis más detallado, como en el ejercicio presentado en el PDF, la matriz de rigidez K puede descomponerse en submatrices que representan las contribuciones individuales de los elementos (vigas, columnas, etc.). Por ejemplo, en un sistema con varios grados de libertad (DOFs), la matriz de rigidez podría tener la forma:

$$K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

Cada K_{ij} representa la rigidez entre los grados de libertad i y j , que pueden incluir tanto traslaciones como rotaciones.

Sistema Complementario

El Sistema Complementario se utiliza en el análisis estructural para tener en cuenta aquellas fuerzas y desplazamientos adicionales que no se consideran en el sistema primario. Este sistema facilita el análisis en estructuras hiperestáticas, donde se puede usar el principio de superposición. Los desplazamientos y fuerzas calculados en el sistema complementario se suman a los resultados del sistema primario para obtener el comportamiento completo de la estructura bajo cargas específicas. En el PDF, el sistema complementario es empleado para obtener el equilibrio adicional, al aplicar el vector de desplazamientos obtenidos en el sistema primario, y resolver:

$$Q_c = K \cdot D_c$$

donde:

- Q_c es el vector de fuerzas en el sistema complementario.
- D_c es el vector de desplazamientos en el sistema complementario.

Este sistema complementario es útil para ajustar los resultados iniciales al integrar reacciones adicionales en los apoyos o condiciones de frontera que no se consideran en el modelo simplificado

Sistema Primario

El Sistema Primario es el modelo inicial simplificado de la estructura, en el que se aplican las cargas y condiciones de apoyo básicas para establecer una base de análisis. En estructuras hiperestáticas, el sistema primario se utiliza para calcular un primer conjunto de desplazamientos y fuerzas en los nodos.

El análisis en el sistema primario se basa en resolver:

$$Q_p = K \cdot D_p$$

Donde:

- Q_p es el vector de fuerzas en el sistema primario.
- D_p es el vector de desplazamientos en el sistema primario.

El sistema primario, en el ejercicio del PDF, es la configuración inicial con ciertas simplificaciones en los apoyos y cargas. Este sistema es clave para el cálculo inicial y permite utilizar el sistema complementario para ajustar los resultados y obtener una solución completa.

Vector de Deformación

El Vector de Deformación D representa los desplazamientos y rotaciones que ocurren en los nodos de la estructura bajo la acción de las cargas externas. Para calcularlo, se utiliza la relación inversa de la matriz de rigidez y el vector de fuerzas:

$$D = K^{-1} \cdot (Q - R)$$

donde:

- Q es el vector de fuerzas aplicadas en los nodos.
- R es el vector de reacciones en los apoyos, que incluye las restricciones de desplazamiento impuestas.
- K^{-1} es la matriz inversa de rigidez, utilizada para resolver los desplazamientos en cada nodo.

El cálculo del vector de deformación es esencial en el análisis estructural, ya que permite evaluar cómo se desplaza y deforma cada nodo bajo una carga aplicada. Para el ejercicio específico, se calcula el vector D resolviendo las ecuaciones de equilibrio considerando las condiciones de carga antisimétrica y las propiedades de rigidez de los elementos de la estructura.

Materiales y métodos

Determinar el análisis estructural del pórtico mostrado en la figura N° 1 aplicando el método directo de la rigidez en una armadura diseñada con apoyos de resorte y sometida a asentamientos diferenciales, bajo la aplicación de cargas puntuales verticales. La armadura en estudio tiene una altura de 3 metros y una longitud total de 16 metros, dividida en cuatro tramos de 4 metros, con cargas puntuales de 15 KN aplicadas en nodos específicos, Se sabe que las barras tienen una sección transversal de $A = 2000mm^2$, se tiene un $kr=4KN/mm$ y Módulo de Young $E = 200GPa$. Asimismo, se observa dos desplazamientos, uno en el nodo 5 de $75mm$ (\downarrow) y otro en el nodo 6 de $75mm$ (\uparrow).

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

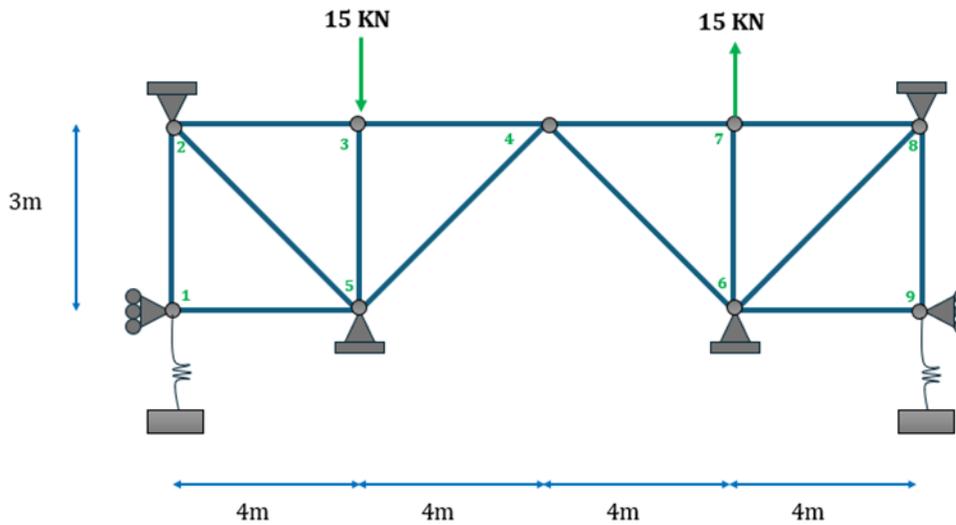


Figura 1

Ejercicio de aplicación

Nota: Armadura con asentamiento y apoyo de resorte. Elaboración propia

Desarrollo del ejercicio de aplicación

a) Paso 1: modelo de la estructura por carga antisimétrica.

Se plasma la armadura a trabajar, empleando simetría y antisimetría por la carga aplicada.

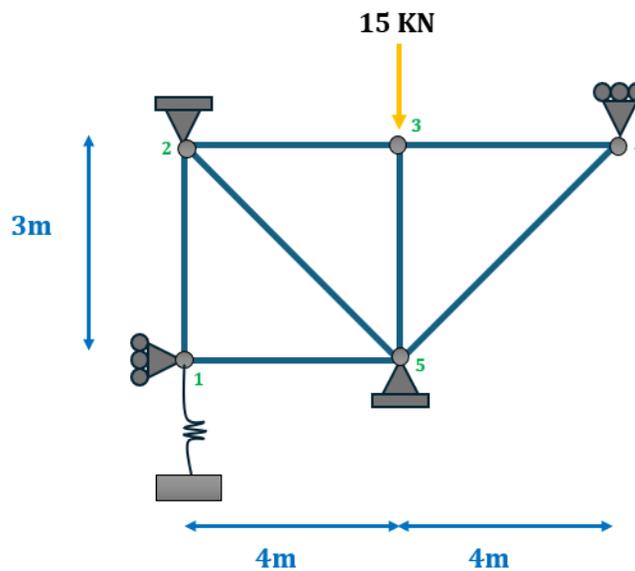


Figura 2

Nota. Armadura Simétrica con carga antisimétrica Elaboración propia

b) Paso 2: Sistema q-d

Se Define los grados de libertad que se plasma en la estructura, teniendo en cuenta que si hay deformación axial Y de ello se genera el vector de cargas "Q"

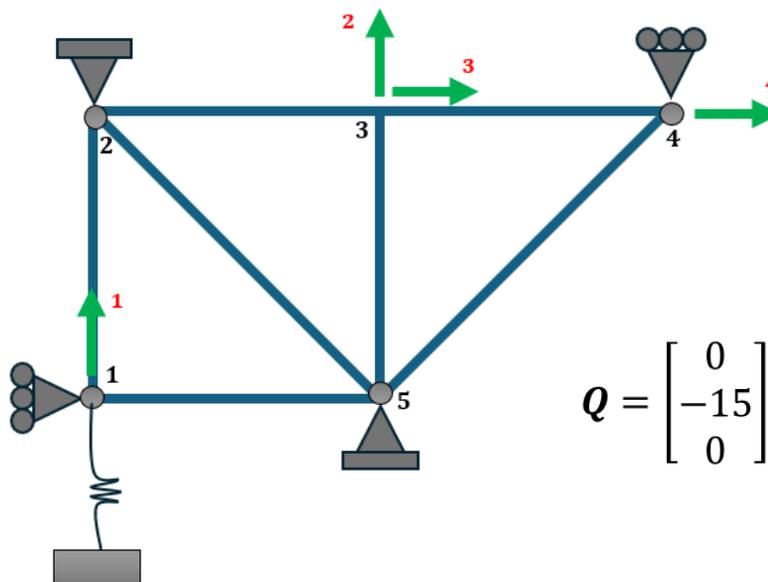


Figura 3

Sistema Q-D

Nota. Sistema Q-d planteado para la armadura. Elaboración propia

c) Paso 3: Sistema complementario

Para ello se libera el 1 GDL, la cual presenta un desplazamiento en el eje vertical dándonos así la posibilidad de hallar las fuerzas que estarán asociadas a la deformadas 1-2 con el objeto de determinar los coeficientes de rigidez. Dicho ello se tiene en cuenta las siguiente formula:

F: Fuerza en la barra

E: Modulo de elasticidad de la barra.

A: Area de la barra.

L: Longitud de la barra

Δ: Deformacion de la barra.

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

$$F = \frac{EA}{L} \times \Delta$$

D1=1

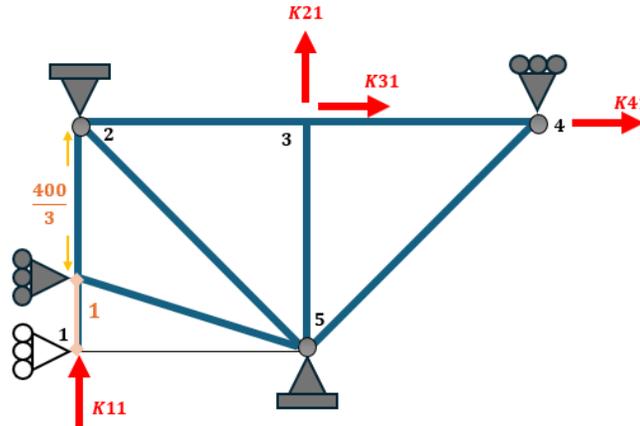


Figura 4

Desplazamiento unitario

Nota. Desplazamiento en la barra de 1-2. Elaboración propia

En la cual se determinó lo siguiente....

$$F_{12} = \frac{200 \cdot 2000}{3000} * 1 = \frac{400}{3} \quad K_{11} = \frac{400}{3} \quad K_{21} = 0 \quad K_{31} = 0 \quad K_{41} = 0$$

D2=1

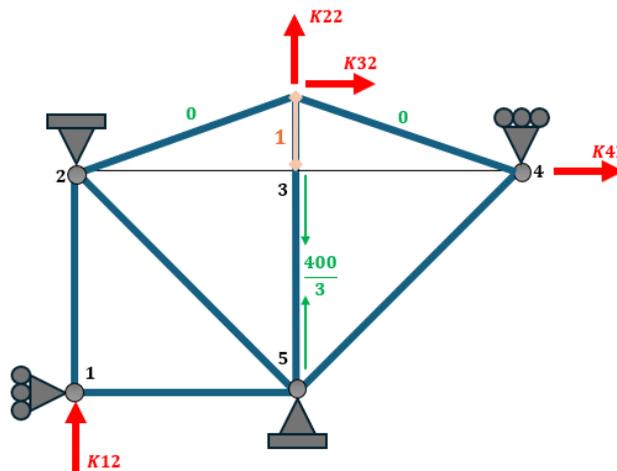


Figura 5

Desplazamiento unitario

Nota. Desplazamiento en la barra de 2-3.3-4. Elaboración propia

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

En la cual se determinó lo siguiente....

$$F_{35} = \frac{200 \cdot 2000}{3000} * 1 = \frac{400}{3} \quad K_{12} = 0 \quad K_{22} = \frac{400}{3} \quad K_{32} = 0 \quad K_{42} = 0$$

D3=1

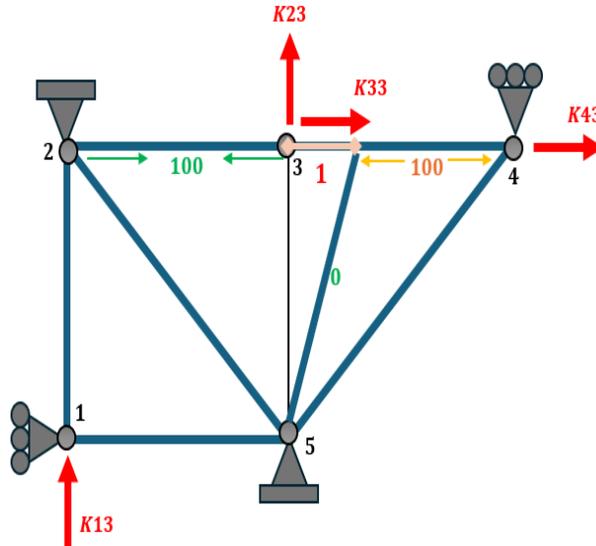


Figura 6

Desplazamiento unitario

Nota. Desplazamiento en la barra de 3-4. Elaboración propia

En la cual se determinó lo siguiente....

$$F_{45} = \frac{200 \cdot 2000}{3000} * \frac{4}{5} = 64 \quad K_{13} = 0 \quad K_{23} = 0 \quad K_{33} = 200 \quad K_{43} = -100$$

D4=1

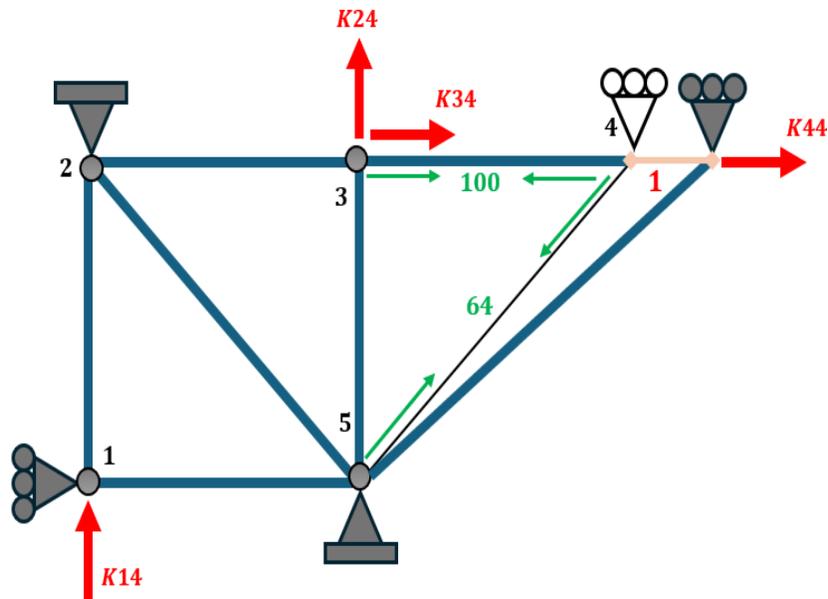


Figura 7

Desplazamiento unitario

Nota. Desplazamiento en la barra de 3-4. Elaboración propia

En la cual se determinó lo siguiente....

$$F_{45} = \frac{200 \cdot 2000}{3000} \cdot \frac{4}{5} = 64 \quad K_{14} = 0 \quad K_{24} = 0 \quad K_{33} = -100 \quad K_{43} = 151.2$$

d) Paso 4: Sistema primario

Evaluamos cargas nodales, asentamientos en los apoyos siempre en cuando se realice sus respectivas restricciones.

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

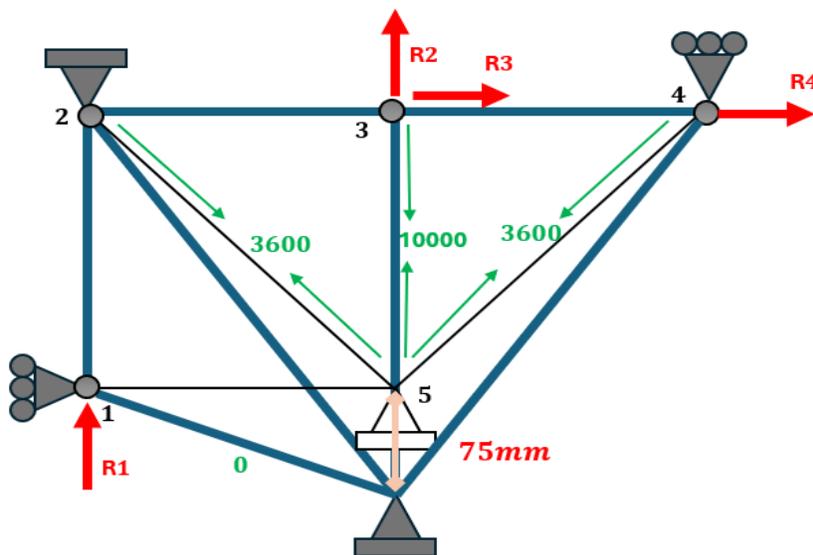


Figura 8

Asentamientos propuestos

Nota. Desplazamiento en el apoyo 5. Elaboración propia

$$F_{25} = \frac{200 * 2000}{5000} * \frac{3}{5} * 75 = 3600$$

$$F_{45} = \frac{200 * 2000}{5000} * \frac{4}{5} * 75 = 3600$$

$$F_{35} = \frac{200 * 2000}{3000} * 75 = 1000$$

$$R = \begin{bmatrix} 0 \\ 1000 \\ 2880 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = 10000$$

$$R_3 = 3600 * \frac{4}{5} = 2880$$

e) Paso 5:

Matriz de rigidez

$$K = \begin{bmatrix} \frac{400}{3} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{400}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{256}{5} \end{bmatrix}$$

f) Paso 6:

Vector de deformaciones

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

$$\{D\} = [K]^{-1} * (\{Q\} - \{R\})$$

$$D = \begin{bmatrix} \frac{400}{3} + 4 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{400}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{256}{5} \end{bmatrix} * \left(\begin{bmatrix} 0 \\ -45 \\ 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 1000 \\ 2880 \end{bmatrix} \right)$$

$$D = \begin{bmatrix} 0 \\ -75.1125 \\ -56.25 \end{bmatrix}$$

g) Paso 7:

Vector de deformaciones

$$K = \begin{bmatrix} \frac{400}{3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 64 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 400 & 0 \\ 0 & \frac{400}{3} & 0 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} 0 \\ -75.1125 \\ -56.25 \end{bmatrix} \quad K = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}$$

$$\{Q\} = [K] * \{D\}$$

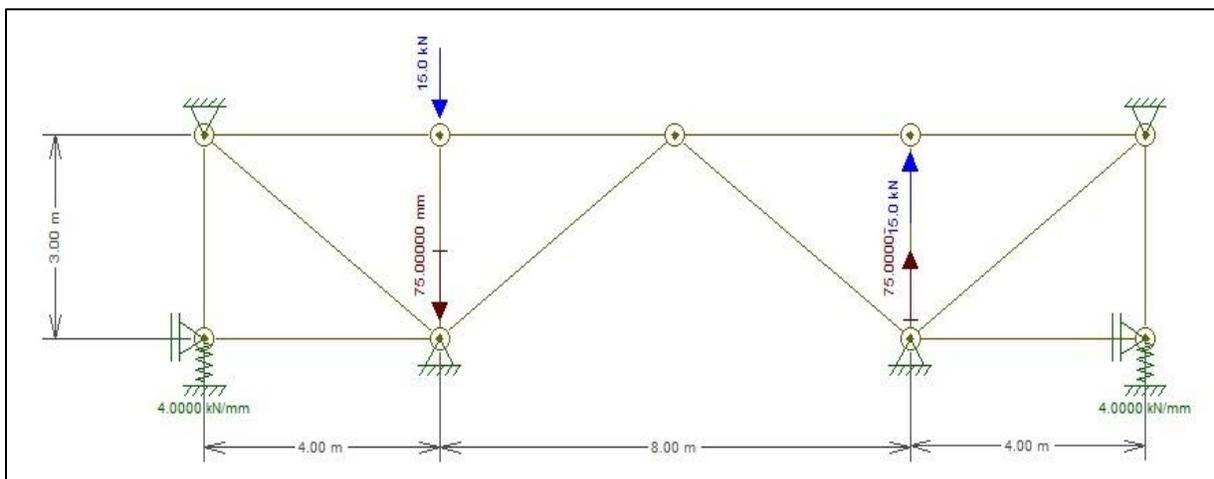
Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento

$$Q_{FN} = \begin{bmatrix} \frac{400}{3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 64 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{400}{3} & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ -75.1125 \\ -56.25 \end{bmatrix} \quad Q_{FN} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -3600 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -10015 \end{bmatrix}$$

$$\{Q_{FN}\} = \begin{bmatrix} 0 \\ -1422.9249011858 \\ -1422.9249011858 \\ -15 \\ 1778.6561264822 \\ 0 \\ 3600 \end{bmatrix}$$

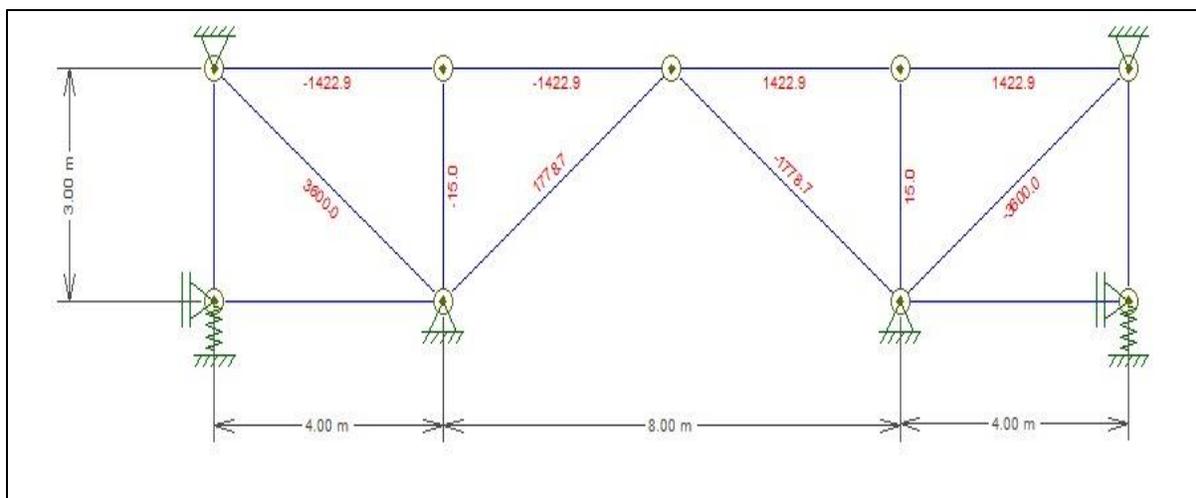
h) Paso 8

Comprobación con el ftool



Nota: Ejercicio propuesto. Elaboración Propia

Análisis Estructural de una Armadura con Apoyos de Resorte y Asentamiento



Nota: fuerzas internas, aplicación de simetría, elaboración propia

Conclusiones

- Los asentamientos diferenciales introducen esfuerzos adicionales en la armadura, afectando su estabilidad y aumentando el riesgo de deformaciones si no se considera adecuadamente en el diseño estructural.
- Los apoyos elásticos, o de resorte, permiten que la estructura se adapte mejor a variaciones del terreno, distribuyendo esfuerzos y disminuyendo la probabilidad de fallas en suelos menos estables.
- El método de rigidez directa y el sistema Q-D son efectivos para calcular desplazamientos y esfuerzos internos en condiciones complejas de carga y asentamiento, garantizando un análisis preciso.
- En terrenos con baja capacidad portante, el uso de apoyos de resorte mejora la estabilidad estructural y reduce los efectos adversos de los asentamientos.
- Los métodos matriciales son recomendables en el análisis de estructuras sometidas a asentamientos diferenciales, permitiendo obtener resultados detallados y confiables para un diseño más seguro.

Recomendaciones

- Incorpora los asentamientos diferenciales en el diseño inicial para minimizar deformaciones y esfuerzos adicionales en la estructura.
- Emplea apoyos de resorte en áreas con baja capacidad portante para mejorar la adaptabilidad y distribuir los esfuerzos de manera uniforme.
- Usa el método de rigidez directa y el sistema Q-D para el análisis preciso de desplazamientos y esfuerzos en condiciones de asentamiento diferencial.
- Antes de la construcción, analiza detalladamente las propiedades del suelo para identificar riesgos de asentamientos y determinar la necesidad de apoyos especiales.
- Realiza evaluaciones periódicas de la estructura durante su vida útil para adaptar el diseño a posibles cambios en el terreno y mantener la estabilidad estructural.

Referencias

1. Augusto, L., Kourehli, S. S., & Fan, W. (2023). Parameter identification of multispan rigid frames using stiffness methods. MDPI.
2. Haukaas, T. (2023). Stiffness method: Structural analysis course notes. University of British Columbia.
3. Zhang, Y., Liu, X., & Chen, Z. (2023). Finite element model updating and stiffness parameter identification in bridge structures. Springer.
4. Zhou, B., Yang, Z., Amini-Afshar, M., Shao, Y., & Bingham, H. B. (2024). Structural stiffness estimation in floating structures. *Marine Structures*, 103527.