



Análisis estructural de armaduras planas aplicando
el método matricial de rigidez en suelos de selva,
Chanchamayo (Perú)



ARTICULO ORIGINAL

Análisis estructural de armaduras planas aplicando el método matricial de rigidez en suelos de selva, Chanchamayo (Perú)

Structural analysis of flat reinforcement using the stiffness matrix method in jungle soils,
Chanchamayo (Peru)

Marcos Josué Rupay Vargas^{1*} , Isaías Luciano Monago Tarazona¹ , Luis Enrique Napoleón Rodríguez¹ , Candida Sonia Rojas Bermudo¹ , Kevin Raúl Teraccaya Samaniego¹ 

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo realizar el análisis de armaduras planas mediante la aplicación del método matricial de rigidez en un suelo blando de baja capacidad portante con los softwares SAP 2000 y Ftool. Se argumenta en la obtención de desplazamientos en los grados de libertad (GDL) establecidos en el sistema Q-D y las fuerzas internas para cada barra que compone la armadura. La armadura en estudio estuvo compuesta por 4 barras de sección transversal de 500 mm², módulo de elasticidad de 350 GPa y un asentamiento de 15 mm en el apoyo fijo 1. La armadura plana presentó como respuesta estructural desplazamientos en los GDL 3, 4, 6, 7, se produjeron fuerzas internas en todas las barras y desplazamientos por efecto del asentamiento en toda la estructura. Se resalta que el asentamiento en el apoyo fijo 1 por suelo blando, generó mayor deformación en la armadura que las cargas aplicadas. Por otro lado, las respuestas estructurales calculadas manualmente resultaron iguales a las obtenidas con los softwares SAP2000 y Ftool, lo que pone en manifiesto que el método matricial es preciso en sus resultados.

Palabras clave: Asentamientos; deformación; fuerzas internas; método directo de rigidez.

ABSTRACT

The objective of the research was to perform the analysis of flat reinforcement by applying the stiffness matrix method in a soft soil of low bearing capacity with SAP 2000 and Ftool software. It is argued by obtaining the displacements in the degrees of freedom (GDL) established in the Q-D system and the internal forces for each member composing the reinforcement. The reinforcement under study was composed of 4 bars with a cross section of 500 mm², modulus of elasticity of 350 GPa and a settlement of 15 mm in the fixed support 1. The flat reinforcement presented as structural response displacements in GDL 3, 4, 6, 7, internal forces were produced in all the bars and displacements due to the effect of the settlement in the whole structure. It should be noted that the settlement in fixed support 1 due to soft soil generated greater deformation in the reinforcement than the applied loads. On the other hand, the structural responses calculated manually were equal to those obtained with SAP2000 and Ftool software, which shows that the matrix method is accurate in its results.

Keywords: Settlements; deformation; internal forces; direct rigidity method.

¹ Universidad Nacional
Intercultural de la Selva
Central Juan Santos
Atahualpa,
Chanchamayo, Perú.

*Autor de correspondencia.
E-mail:
mrupay@uniscisa.edu.pe

Recibido: 14 de abr de 2023
Aprobado: 07 de Jul de 2023
Publicado: 26 de Jul de 2023

Para citar este artículo:

Rupay Vargas M., Monago Tarazona I., Napoleón Rodríguez L., Rojas Bermudo C., Teraccaya Samaniego K. (2023) Análisis estructural de armaduras planas aplicando el método matricial de rigidez en suelos de selva, Chanchamayo (Perú). *Yotantsipanko*, 3(1), 73 - 82. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i1.31>



Introducción

Rupay et al. (2023) en su plan de estudio titulada *“Análisis estructural de una armadura aplicando el método de la rigidez considerando asentamiento y apoyo rotado”* mencionan que los grados de libertad (GDL), describen el comportamiento de una estructura en función de los desplazamientos y fuerzas que están relacionados con un número de grados de libertad. Por ende, se consideran restricciones y por lo tanto, surge un vector de reacciones que se sitúan en las coordenadas del sistema Q-D. Esto quiere decir que en estructuras de armadura planas en 2D por cada nodo libre se tiene 2 grados de libertad de desplazamiento en la dirección del eje “X” y en el eje “Y”. Cuando se posee apoyo simple se va tener un grado de libertad paralela a la dirección del apoyo y cuando se posee apoyo fijo no se tendrá ningún grado de libertad.

Según Martínez (2019) en su cuarta edición del libro, sobre el *“Análisis de Estructuras Métodos Clásico y Matricial”* menciona que para calcular la matriz de rigidez del elemento se considera respecto al sistema de coordenadas locales de cada uno de ellos, donde sólo se van a poder desplazar sobre su eje de referencia, esto debido a que las acciones en el elemento tienden a ser exclusivamente fuerzas axiales.

Según Soto y Merma (2020) en su revista *“Análisis estructural de armaduras bidimensionales con el Método Matricial de*

Rigidez empleando softwares” mencionan que los softwares, se obtuvieron valores muy similares para los desplazamientos, las reacciones y las fuerzas axiales, por lo que se concluye que las herramientas que se presentan en este trabajo son confiables, por consiguiente, pueden ser empleadas con fines académicos por docentes y estudiantes de Ingeniería Civil o de una carrera afín con la finalidad de minimizar el tiempo invertido en el análisis y de obtener resultados más precisos con respecto a la resolución manual, sin embargo, se recomienda al lector tener un adecuado dominio de los conceptos, las teorías, las ecuaciones y el procedimiento de análisis para el método, ya que los programas de computadora sólo deben ser herramientas auxiliares.

Un método para analizar, evaluar y comprobar los comportamientos dinámicos que presenta una estructura, sería, con el uso de softwares como el SAP2000. Justifican el empleo de dicho software, con respuestas reales al modelar y determinar un análisis en la estructura. (Novely, 2015; Torres & Acosa, 2016; Silva, 2017; David et al 2019; Perez, 2019; Rupay, 2022)

Este artículo será de mucha utilidad a todos los que desean conocer un poco más del área estructural. Se justifica en sumar conocimiento en este rubro y despejar incertidumbre referente a la precisión de los resultados, ya que, en el presente, se muestra el desarrollo matemático usando el método directo de la

rigidez para determinar los desplazamientos, fuerzas internas y asentamientos que se producen en terrenos blandos característicos de la selva central, posterior a ello se corrobora los resultados empleando los softwares SAP2000 y Ftool.

Por ello la investigación tuvo como objetivo realizar el análisis de armaduras planas mediante la aplicación del método matricial de rigidez en un suelo blando de baja capacidad portante, donde se va comparar los resultados obtenidos manualmente con los softwares SAP2000 y Ftool.

Materiales y métodos

Para el presente artículo, se consideró un caso de armadura plana donde se realizó el análisis estructural por el método matricial de rigidez, donde las barras tienen una sección transversal de $A = 500 \text{ mm}^2$ y un módulo de elasticidad $E = 350 \text{ GPa}$, con asentamiento de 15 mm en el apoyo fijo 1, de la (figura 1).

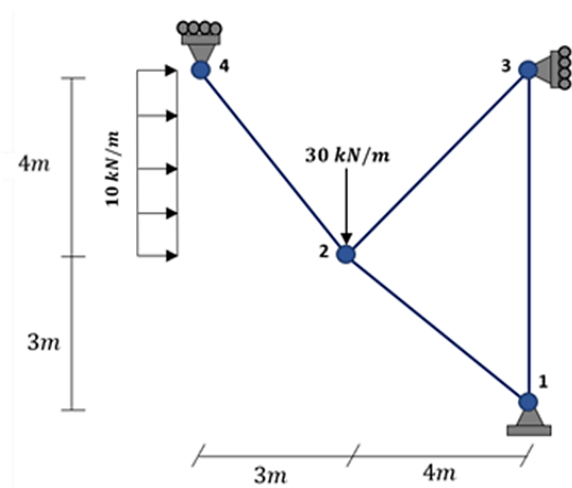


Figura 1. Caso de armadura plana, sistema real

Estructura con grados de libertad

En primer lugar se estableció el sistema Q-D de la armadura como se muestra en la Figura 2.

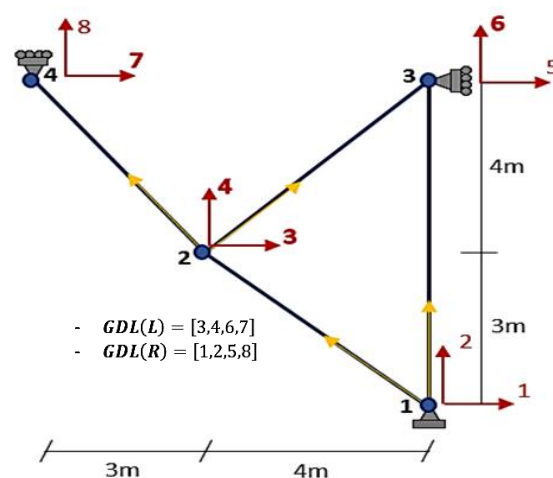


Figura 2. Estructura con grados de libertad.

* GDL (L): Grados de libertad libre, GDL (R): Grados de libertad restringido

Seguidamente se estableció el sistema primario (Figura 3) y complementario de la armadura plana.

Sistema primario 1

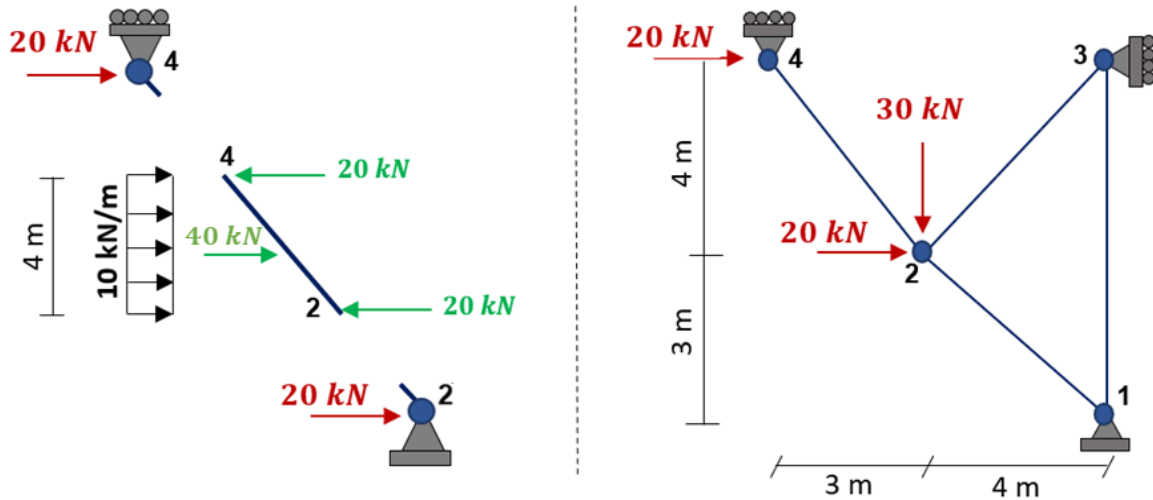


Figura 3. Estructura con cargas aplicadas en los nodos

Sistema complementario 1

Se realiza el ensamblaje para la matriz de rigidez.

Se obtiene la inversa de la matriz y se procede a hallar el desplazamiento.

Fórmula del vector desplazamiento:

$$D = K^{-1} * \{Q\}$$

$$Q = \begin{bmatrix} 20 \\ -30 \\ 0 \\ 20 \end{bmatrix} \quad D = \begin{bmatrix} -2.9005 \\ -2.9005 \\ -0.7619 \\ 6.75855 \end{bmatrix}$$

Fuerzas internas

Una vez conocidos los desplazamientos y giros de los nudos se calculó las fuerzas internas.

BARRA 1 – 2

→ $F_{12} = -69.048$ Nos representa las fuerzas internas que pertenecen al elemento de la barra 1-2.

BARRA 2 - 3

→ $F_{23} = 21.550$ Nos representa las fuerzas internas que pertenecen al elemento de la barra 2-3.

BARRA 1 – 3

→ $F_{13} = -69.04$ Nos representa las fuerzas internas que pertenecen al elemento de la barra 1-3.

BARRA 2 – 4

→ $F_{12} = -33.333$ Nos representa las fuerzas internas que pertenecen al elemento de la barra 2-4.

Sistema Q - D

El sistema QD llega a ser los grados de libertad que presenta la estructura, en el siguiente

diagrama se esquematiza los GDL (L) grados de libertad libre, son aquellos en los que el apoyo va presentar desplazamiento, y los GDR (L), grados de libertad restringido, son aquellos en los que los apoyos no van a presentar desplazamiento.

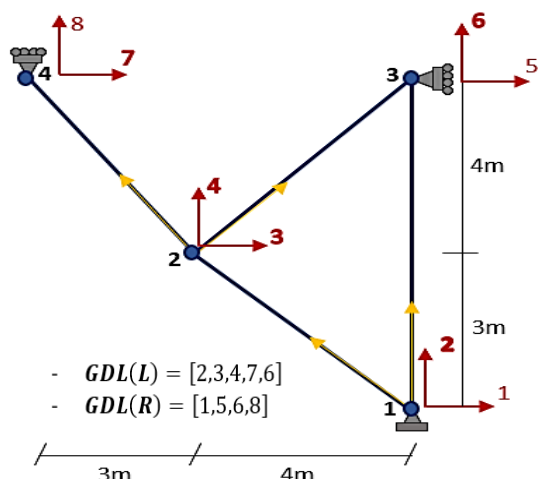


Figura 4. Asentamiento en el apoyo fijo N° 1

- Se realizó el ensamblaje para la matriz de rigidez K de la estructura a partir de los datos geométricos y elásticos de las barras y la forma como están conectadas entre ellas; D el vector de desplazamiento generalizado, que agrupa giros y desplazamiento de los

nudos y Q es el vector de fuerzas generalizadas que actúan sobre la estructura.

- Se obtuvo la inversa de la matriz y se procede a hallar el desplazamiento.
- Fórmula del vector desplazamiento:

$$D = K^{-1} * \{Q\}$$

Vector deformaciones

Aplicamos la siguiente fórmula:

$$D = K^{-1} * (Q - Q_s);$$

D3	0
D4	-15
D6	-15
D7	20

Resultados

En las siguientes tablas se muestran el resumen de los resultados para desplazamientos, fuerzas internas y asentamiento, hallados manualmente y con el uso de softwares.

Tabla 1

Desplazamientos de los GDL (Grados de libertad) de la Armadura

Grados de libertad	Cálculo manual D(mm)	Software Ftool D(mm)	Software SAP2000 D(mm)
3	-2.9005	-2.9000	-2.9006
4	0.9071	0.9070	0.9073
6	-0.7619	-0.7620	-0.7618
7	6.7585	6.7586	6.7584

*D(mm) Desplazamiento en milímetros

Se observa en la tabla 1 que los desplazamientos obtenidos manualmente y con los softwares

Ftool y SAP2000 para los grados de libertad 3, 4, 6 y 7 presentan resultados parecidos y similares.

Tabla 2

Fuerzas internas en las barras de la armadura

Barras	Cálculo manual F(kN)	Software Ftool F(kN)	Software SAP2000 F(kN)
1-2	-69.048	-69.040	-69.050
2-3	21.550	21.500	21.560
1-3	-15.238	-15.240	-15.230
2-4	-33.333	-33.330	-33.334

**F(kN) Fuerzas en kilo Newton*

Se observa en la tabla 2 que las fuerzas internas de la armadura obtenidas manualmente y con los softwares Ftool y SAP2000 para las barras 1-2,2-

3,1-3, y 2-4 presentan resultados parecidos y similares.

Tabla 3

Desplazamientos producidos por el asentamiento de 15 mm en el apoyo Fijo

Grados de libertad	Cálculo manual D(mm)	Software Ftool D(mm)	Software SAP2000 D(mm)
3	-15	-15.001	-15.0001
4	-15	-15.01	-15.0001
6	-15	-15.01	-15.00001
7	20	20.01	20.001

**D(mm) Desplazamiento en milímetros*

Se observa en la tabla 3 que los desplazamientos producidos por el asentamiento de 15 mm en los apoyos fijos, obtenidos manualmente y con los softwares Ftool y SAP2000 para los grados de

libertad 3, 4, 6 y 7 presentan resultados parecidos y similares

Discusión

Ramón (2020) menciona que el método de rigidez está dentro del análisis matricial de estructuras, el cual nos permite hallar desplazamientos de la estructura analizada, así también se corroboran los resultados haciendo uso de los softwares Ftool y SAP2000.

Atalaya (2019) sustenta que el cálculo de estructuras planas usando el método rigidez mediante la aplicación de softwares como MAT y SAP2000, arroja resultados similares y fiables.

Guardiola (2020) menciona que el programa Ftool permite comprobar los resultados obtenidos en el análisis de estructuras planas de manera manual, concluyendo que coinciden significativamente.

Conclusión

Se concluye que la armadura plana que se estudió bajo condiciones de la selva (Chanchamayo), presentó como respuesta estructural desplazamientos en los GDL 3,4,6,7, de la armadura, también se produjeron fuerzas internas en todas las barras y desplazamientos por efecto del asentamiento en toda la estructura.

Empleando los softwares SAP2000 y Ftool, se registraron valores similares con la técnica manual lo que pone en manifiesto que con la ayuda de los softwares obtienes resultados similares en poco tiempo.

Recomendaciones

Considerando la importancia que tiene esta investigación y en función a los resultados obtenidos por el método matricial de la rigidez y corroborando dicho cálculo con los softwares Ftool y SAP2000 se formulan algunas sugerencias tanto como para universitarios, profesionales o algún interesado en el campo de la ingeniería:

- Emplear los softwares SAP2000, Etabs, Ftool u otros de últimas versiones, para así corroborar los cálculos de los respectivos análisis estructurales, tales como los de pórticos planos, con más precisión, rapidez y eficacia.
- Para el empleo de armaduras planas en casos reales como en los puentes, requiere de cálculos precisos y muy bien elaborados, por ello es de gran importancia la aplicación de métodos efectivos de cálculos fiables a la hora de analizar dichas armaduras, métodos como el análisis matricial de la rigidez y entre otros

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa.

Contribución de los autores

MJRV, contribución, Revisión Final del artículo (asesor).

CASRB, contribución, Análisis de Resultados y redacción del artículo.

LENR, contribución, recolección de datos procesamiento de datos.

KRTS, contribución, modelamiento en Ftool, SAP2000.

ILMT, contribución, discusión y conclusiones

Conflictos de interés

No presenta conflicto de intereses.

Referencias

- Rupay, M. (2022). Apuntes Análisis Estructural II: Metodo directo de la Rigidez en Armaduras. Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Junín, Chanchamayo.
- Pérez, L. (2019). Análisis Comparativo del Diseño Estructural de un Edificio de Concreto Armado de 4 Niveles, por Método Clásico y los Programas Etabs y Pcad, Carapongo Chosica, Lima 2019.
- David et. al (2021). Análisis estructural de armaduras en dos dimensiones con el Método Matricial de Rigidez utilizando programación en Excel y MATLAB. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/357339516>
- Ramon,J.(2020). Análisis Estático de un pórtico plano de siete pisos mediante el método de Rigidez y comprobación con el software Calsap. Universidad Tecnica de Machala, Machala,Ecuador.
- Torres & Acosta (2016). Análisis y diseño de estructuras con SAP2000 v. 15. Marcombo.
- Atalaya, M. (2019). Comparación del comportamiento estructural de vigas, pórticos y armaduras usando un programa elaborado en Lua respecto a SAP 2000."Universidad Nacional de Cajamarca", Perú.
- Guardiola, A. (2020). Cálculo de solicitaciones de un pórtico plano con ayuda del programa de análisis Ftool.
- Novely, B. (2015). Análisis Matricial de estructuras por el método de la rigidez. Pamploa, Colombia.
- Rupay et. al (2023). Análisis estructural de una armadura aplicando el método de la rigidez considerando asentamiento y apoyo rotado. *Polo del Conocimiento*, 8(6), 571-596.
- Silva, G. (2017). Método Matricial para el Análisis de Armaduras Planas y Espaciales. *L'esprit Ingeniéis*, 7(1).