

DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2447>

## Aplicación del método de rigidez sistematizado en una estructura con sólido rígido

Application of the systematized rigidity method on a rigid solid structure

**Marcos Josue Rupay Vargas**

[mrupay@uniscjsa.edu.pe](mailto:mrupay@uniscjsa.edu.pe)

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

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa  
Junín – Perú

**Zarai Nazaria Aquino Tenorio**

[76000707@uniscjsa.edu.pe](mailto:76000707@uniscjsa.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0003-6891-866X>

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa  
Junín – Perú

**Ruben Alessandro Rivera Gomez**

[72154887@uniscjsa.edu.pe](mailto:72154887@uniscjsa.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0003-5052-3862>

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa  
Junín – Perú

**Freth Samuel López Valenzuela**

[72291204@uniscjsa.edu.pe](mailto:72291204@uniscjsa.edu.pe)

<https://orcid.org/0009-0002-3988-8089>

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa  
Junín – Perú

**Luis Victor Meza Refulio**

[43043268@uniscjsa.edu.pe](mailto:43043268@uniscjsa.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-9638-6475>

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa  
Junín – Perú

**Merklins Steven Alcala Timoteo**

[75528974@uniscjsa.edu.pe](mailto:75528974@uniscjsa.edu.pe)

<https://orcid.org/0000-0002-8889-9203>

Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa  
Junín – Perú

Artículo recibido: 11 de julio de 2024. Aceptado para publicación: 31 de julio de 2024.  
Conflictos de Interés: Ninguno que declarar.

### Resumen

El presente artículo realiza una descripción y cálculo manual de una estructura formada por elementos como: barras biarticuladas, un sólido rígido y vigas, cada uno tiene distintas propiedades y comportamientos. El objetivo principal fue aplicar el método de rigidez sistematizado, utilizando un brazo rígido. Durante el desarrollo, se determinaron el sistema Q-D global y el sistema q-d local mediante los grados de libertad, obteniendo la matriz de transformación [A] y las matrices de rigidez de cada barra [K<sub>i</sub>]. Posteriormente, se definió la matriz de rigidez de la estructura en general [K] y el vector de cargas reales [R], verificando la existencia de cargas que actúan en los elementos. En el

sistema local (q-d), se analizó el vector de cargas [r] y se halló el vector de deformación [D] tanto en el sistema Q-D como en el sistema q-d. Además, se analizó las fuerzas internas de cada elemento que forma en la estructura, lo que permitió elaborar los diagramas de fuerza cortante (DFC), diagrama de fuerza normal (DFN) y el diagrama momento flector (DMF). Para comprobar y verificar estos diagramas, se utilizó el software Ftools, lo que contribuyó a las conclusiones finales.

*Palabras clave:* brazo rígido, método de rigidez sistematizado, software Ftools, matriz de transformación

## Abstract

This article describes and calculates manually a structure formed by elements such as: bi-articulated bars, a rigid solid and beams, each one having different properties and behaviors. The main objective was to apply the systematized stiffness method, using a rigid arm. During the development, the global Q-D system and the local q-d system were determined by means of the degrees of freedom, obtaining the transformation matrix [A] and the rigidity matrices of each member [K<sub>i</sub>]. Subsequently, the rigidity matrix of the structure in general [K] and the vector of real loads [R] were defined, verifying the existence of loads acting on the elements. In the local system (q-d), the vector of loads [r] was analyzed and the deformation vector [D] was found in both the Q-D and q-d systems. In addition, the internal forces of each element forming in the structure were analyzed, which allowed the elaboration of the shear force diagrams (CFD), normal force diagram (NFD) and bending moment diagram (FMD). Ftools software was used to check and verify these diagrams, which contributed to the final conclusions.

*Keywords:* stiff arm, systematized rigidity method, Ftools software, transformation matrix

Todo el contenido de LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades, publicados en este sitio está disponibles bajo Licencia Creative Commons . 

Cómo citar: Rupay Vargas, M. J., Aquino Tenorio, Z. N., Rivera Gomez, R. A., López Valenzuela, F. S., Meza Refulio, L. V., & Alcalá Timoteo, M. S. (2024). Aplicación del método de rigidez sistematizado en una estructura con sólido rígido

*LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades* 5 (4), 2680 – 2697.  
<https://doi.org/10.56712/latam.v5i4.2447>

## INTRODUCCIÓN

El análisis estructural es el medio que se debe continuar para la construcción obras civiles, que tiene como objetivo predecir el comportamiento de la estructura que resistirá dicha construcción por lo diversas acciones o fuerzas que se aplican en la construcción. Esta se puede expresar mediante fuerzas, reacciones y desplazamiento que define la resistencia que debe tener la estructura para soportar las cargas más con los desplazamientos que se revisarán las condiciones de servicio. Dado que, si esta condición no cumple, deberán cambiarse las dimensiones de la estructura y analizarla nuevamente.

Dicho esto, existen diversos métodos para la determinación de análisis de estructuras como el método rigidez, en el cual se asigna desplazamientos unitarios a los grados de libertad denominado sistema [Q-D] global, en este caso aplicaremos de forma sistematizada, una derivada del método de rigidez directo donde consiste una secuencia de operaciones matriciales que permite conocer la matriz de la estructura [K] a partir de matriz de sus componentes o barras que lo conforman denominado [k] que tiene el objetivo de ensamblar la matriz.

Dicho anteriormente, el presente artículo tiene el objetivo de demostrar el ensamblaje de la matriz de rigidez a través de los GDL globales y locales, de manera que disminuya el tiempo de la resolución de una estructura compleja llegando a resultados confiables, más con la comprobación de respuesta con el software Ftools, que no permite determinar las fuerzas internas que tendrá la estructura.

## METODOLOGÍA

### Planteamiento

Resolver con el método de rigidez sistematizado resulta beneficioso, debido que nos facilita en los cálculos en el campo de las matrices, mencionando que cuando el número de grados de libertad aumentan resulta factible, ya que con este método nos permite relacionar los GDL del sistema global (Q-D) con los GDL de la componen o barra que son los sistemas locales (q-d). (Ottazzi Pasino, 2014)

Llegando así que exista una correlación correcta en entre los grados de libertad globales y locales tomando en cuenta que:

No es necesario emplear Q-D y/o q-d mínimo, el sistema completo permite sistematizar y determinar los cálculos de manera correcta y precisa.

Los GDL globales deben estar presentes en los GDL locales.

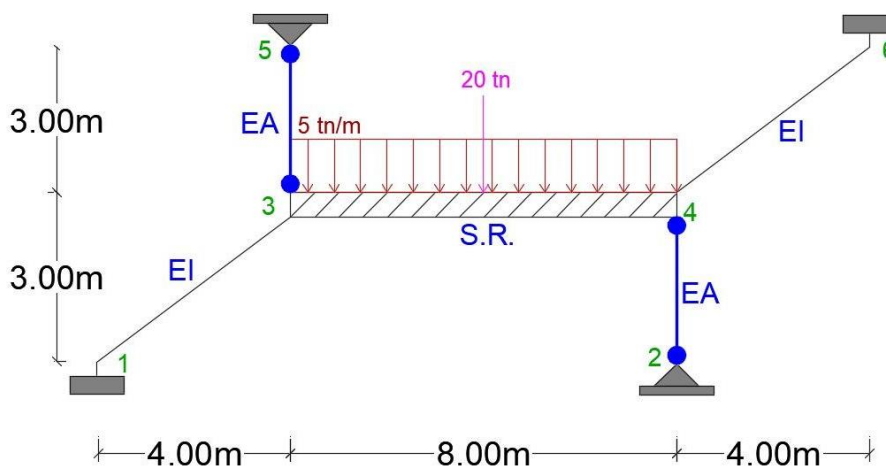
Las reducciones por discontinuidad deben cumplir tanto en Q-D con en el q-d.

Dicho esto, se presenta la siguiente estructura compuesto por barras indeformables axialmente (barra 1-3 y 4-6), bielas que son deformables axialmente (2-4 y 3-5) y un sólido rígido (S.R.) en el tramo 3-4 con  $EA = \infty$ , finalmente debemos tener en consideración los siguientes pasos:

- Determinar los sistemas (globales) Q-D y (locales) q-d.
- Hallar la matriz de rigidez y la matriz de transformación de cada barra.
- Determinar el vector de cargas de la estructura.
- Calcular las fuerzas en internas en el q-d.
- Hallar los DFN, DFC y DMF

Figura 1

Sistema real



Fuente: elaboración propia.

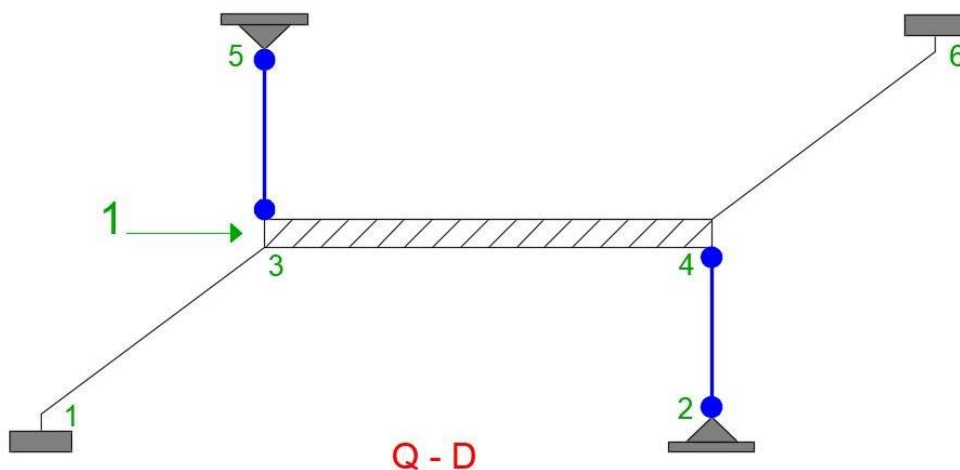
### Método de rigidez sistematizado

1° Paso: Determinar los sistemas Q-D Y q-d

Para el sistema global Q-D se plantea en base a los grados de libertad de rigidez, estos grados de libertad nos indica los desplazamientos o rotaciones que se pueden aplicar en la estructura. Asimismo, se logró identificar de manera conveniente los grados de libertad de rigidez, lo cual debe estar etiquetado con números o letras, ya que esto nos ayudará a identificar ordenadamente los procedimientos de nuestra estructura. "Los grados de libertad de una estructura es el número mínimo que se pueda encontrar tanto como los desplazamientos y los giros (traslaciones y rotaciones), de modo que podamos hacer de manera única la deformada de la estructura planteada" (Godiño Poma, Lopez Yarango, & Rupay Vargas, Estructuración y diseño sísmico de edificaciones, 2018)

Figura 2

GDL en el sistema global Q-D

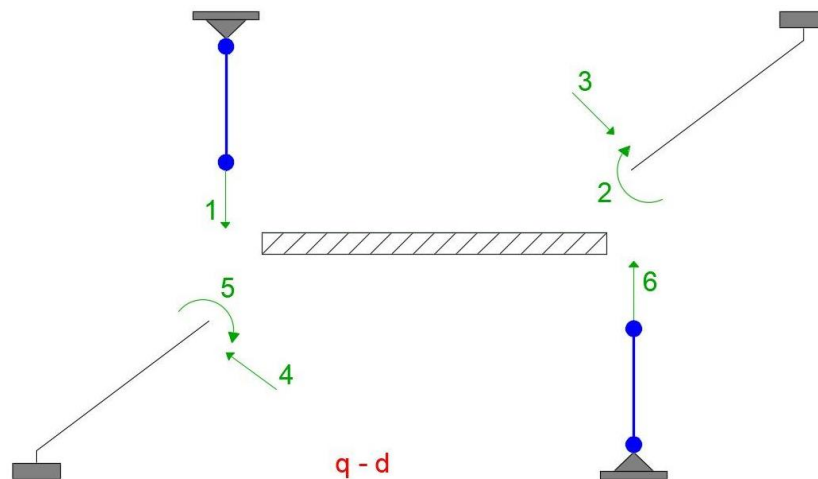


**Fuente:** elaboración propia.

Para el sistema local de referencia q-d para cada elemento, se realiza para poder representar las fuerzas y desplazamientos de cada elemento que conforma la estructura, asimismo nuestra estructura presenta barras indeformables axialmente como también presenta dos bielas en los apoyos móviles y una sólido rígido en la barra horizontal. (Blanco Díaz, Cervera Ruiz, & Suárez Arroyo, 2015)

### Figura 3

GDL en el sistema global q-d



**Fuente:** elaboración propia.

Tener en cuenta que:

Un S.R. no se deforma axial ni por flexión, pero sí transmite fuerzas internas

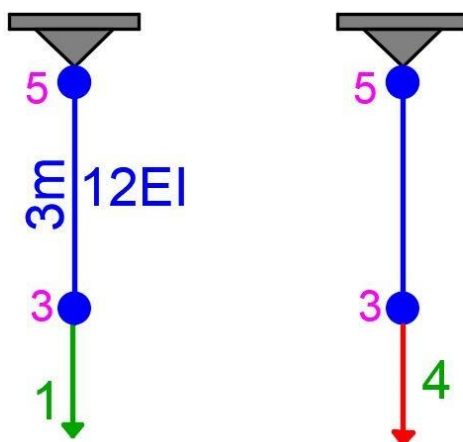
Un elemento inclinado que no se deforma axialmente necesita 2 desplazamientos ortogonales. (Rupay Vargas M., 2020)

**2° Paso:** Hallar la matriz  $[k_i]$  y transformación de cada barra  $[A_i]$ .



Figura 5

Matriz de rigidez de la barra 3-5



Fuente: elaboración propia.

$$L = 3 \text{ m}$$

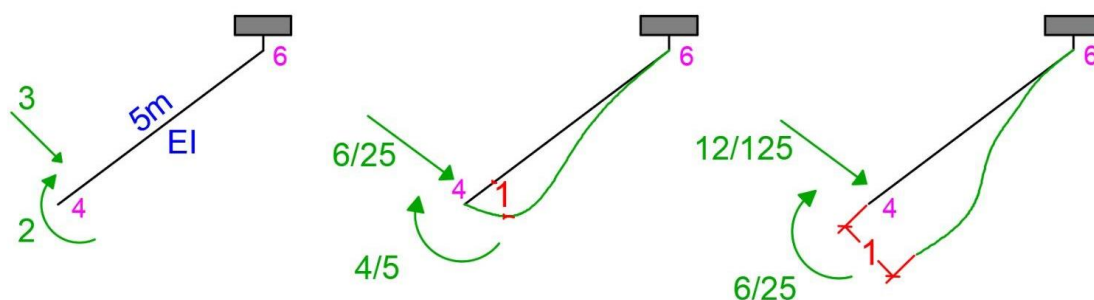
$$EA = 12EI$$

$$k_{35} = \left[ \frac{EA}{L} \right]$$

$$k_{35} = [4]$$

Figura 6

Matriz de rigidez de la barra 4-6



Fuente: elaboración propia.

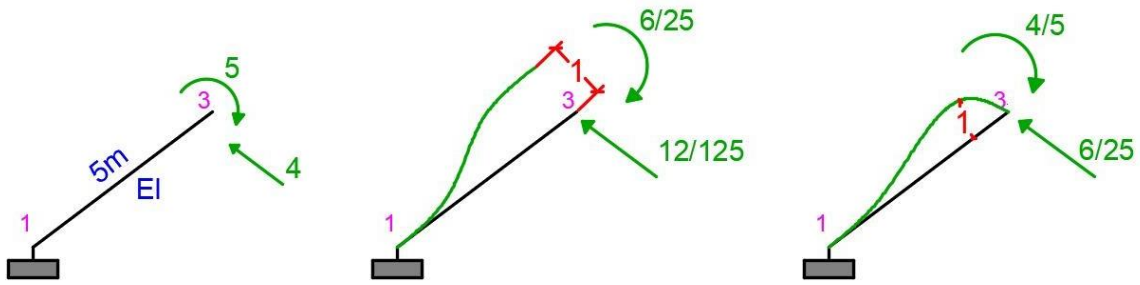
$$L = 5 \text{ m}$$

$$k_{46} = \left[ \frac{4EI}{L} \quad -\frac{6EI}{L^2} \quad -\frac{6EI}{L^2} \quad \frac{12EI}{L^3} \right]$$

$$k_{46} = \left[ \frac{4}{5} \quad -\frac{6}{25} \quad -\frac{6}{25} \quad \frac{12}{125} \right] EI$$

Figura 7

Matriz de rigidez de la barra 1-3



Fuente: elaboración propia.

$$L = 5 \text{ m}$$

$$k_{13} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

$$k_{13} = \begin{bmatrix} \frac{12}{125} & \frac{6}{25} & \frac{6}{25} & \frac{4}{5} \end{bmatrix} EI$$

Figura 8

Matriz de rigidez de la barra 2-4



Fuente: elaboración propia.



$$L = 3 m$$

$$EA = 12EI$$

$$k_{24} = \left[ \frac{EA}{L} \right]$$

$$k_{24} = [4]$$

**3° Paso:** Matriz de la estructura por barra [K]

$$[K] = \sum ([A]^T_i \cdot [k]_i \cdot [A]_i)$$

Barra 3-5

$$[K_{35}] = \sum \left( \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \end{bmatrix} \cdot [4] \cdot \begin{bmatrix} 4 \\ 3 \end{bmatrix} \right)$$

$$[K_{35}] = [7.1111]EI$$

Barra 4-6

$$[K_{46}] = \sum \left( \begin{bmatrix} 0 & 5 \\ 3 & 3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4 & 6 & 6 & 12 \\ 5 & 25 & 25 & 125 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 5 \\ 3 & 3 \end{bmatrix} \right)$$

$$[K_{46}] = [0.2667]EI$$

Barra 1-3

$$[K_{13}] = \sum \left( \begin{bmatrix} -5 & 0 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 12 & 6 & 6 & 4 \\ 125 & 25 & 25 & 5 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -5 & 0 \\ 3 & 0 \end{bmatrix} \right)$$

$$[K_{13}] = [0.2667]EI$$

Barra 2-4

$$[K_{24}] = \sum \left( \begin{bmatrix} -4 \\ 3 \end{bmatrix} \cdot [4] \cdot \begin{bmatrix} -4 \\ 3 \end{bmatrix} \right)$$

$$[K_{24}] = [7.1111]EI$$

**4° Paso:** Matriz general de la estructura.

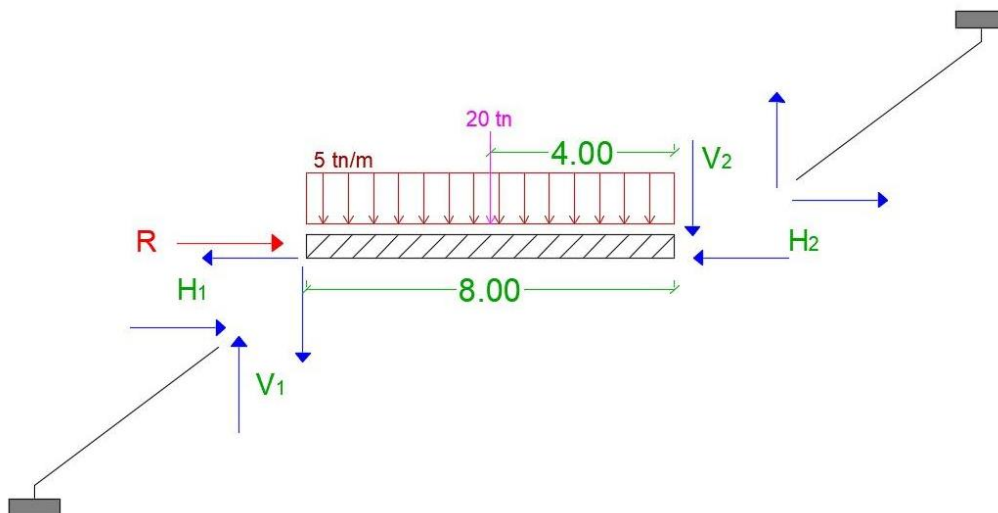
$$[K] = [0.095]EI + [0.268]EI + [7.108]EI + [7.108]EI$$

$$[K] = [14.7556]EI$$

**5° Paso:** Cálculo de vector de cargas de la estructura {Q-R}.

Figura 9

Cálculo del vector  $[R]$



Fuente: elaboración propia.

$$\begin{aligned} \sum M_{13} &= 0 & \sum M_{46} &= 0 & \sum M_{34} &= 0 \\ H_1(3) - V_1(4) &= 0 & H_2(3) - V_2(4) &= 0 & V_1(8) + 20(4) + 40(4) &= 0 \\ H_1 &= \frac{4}{3}V_1 & H_2 &= \frac{4}{3}V_2 & V_1 &= -30 \\ | & & & & H_1 &= -40 \\ \sum F_{Y_{34}} &= 0 & \sum F_{X_{34}} &= 0 & [Q] &= [0] \\ -V_1 - 20 - 40 - V_2 &= 0 & R_1 - H_1 - H_2 &= 0 & [R] &= [-80] \\ V_2 &= -30 & R_1 &= -80 & [Q - R] &= [80] \\ H_2 &= -40 & & & & \end{aligned}$$

6° Paso: Hallar el vector deformación en los GDL del sistema Q-D (global) y el sistema q-d (local)

El vector de deformación para los GDL en los sistemas Q-D se define como una representación matemática donde podemos observar las deformaciones que llega a experimentar cuando sometemos fuerzas o cargas a la estructura estudiada.

También se le conoce como una medida de deformaciones individuales de una estructura donde podemos observar el desplazamiento y deformación con relación a su estado inicial de esta misma. (Rupay Vargas, Baltazar Ariza, & Malpartida Quispe, 2023)

$$\begin{aligned} [D] &= [K]^{-1} \cdot [Q - R] \\ [D] &= [14.7556]^{-1} \cdot [80] \\ [D] &= [5.4217] \end{aligned}$$

### Vector de deformaciones por barra

$$[d]_i = [a]_i \cdot [D]_i$$

Barra 3-5

$$[d]_{35} = \left[ \frac{4}{3} \right] \cdot [5.4217]$$

$$[d]_{35} = [7.2289]$$

Barra 4-6

$$[d]_{46} = \left[ 0 \quad \frac{5}{3} \right] \cdot [5.4217]$$

$$[d]_{46} = [0 \quad 9.0362]$$

Barra 1-3

$$[d]_{13} = \left[ -\frac{5}{3} \quad 0 \right] \cdot [5.4217]$$

$$[d]_{13} = [-9.0362 \quad 0]$$

Barra 2-4

$$[d]_{24} = \left[ -\frac{4}{3} \right] \cdot [5.4217]$$

$$[d]_{24} = [-7.2289]$$

**7° Paso:** Encontrar las fuerzas internas en los GDL (q-d)

Para poder hallar las fuerzas internas, debemos tener en cuenta si las cargas aplicadas a nuestras barras están en compresión o tracción respectivamente, entonces emplearemos la siguiente fórmula. (Godiño Poma, Lopéz Yarango, & Rupay Vargas, 2017)

$$[q]_i = [k]_i \cdot [d]_i$$

Barra 3-5

$$[q]_{35} = [4] \cdot [7.2289]$$

$$[q]_{35} = [28.916]$$

Barra 4-6

$$[q]_{46} = \left[ \frac{4}{5} - \frac{6}{25} - \frac{6}{25} \quad \frac{12}{125} \right] \cdot [0 \quad 9.0362]$$

$$[q]_{46} = [-2.169 \quad 0.867]$$

Barra 1-3

$$[q]_{13} = \left[ \frac{12}{125} \quad \frac{6}{25} \quad \frac{6}{25} \quad \frac{4}{5} \right] \cdot [-9.0362 \quad 0]$$

$$[q]_{13} = [-0.867 \quad -2.169]$$

Barra 2-4

$$[q]_{24} = [4] \cdot [-7.2289]$$

$$[q]_{24} = [-28.916]$$

8° Paso: Esquema de diagramas de forma manual.

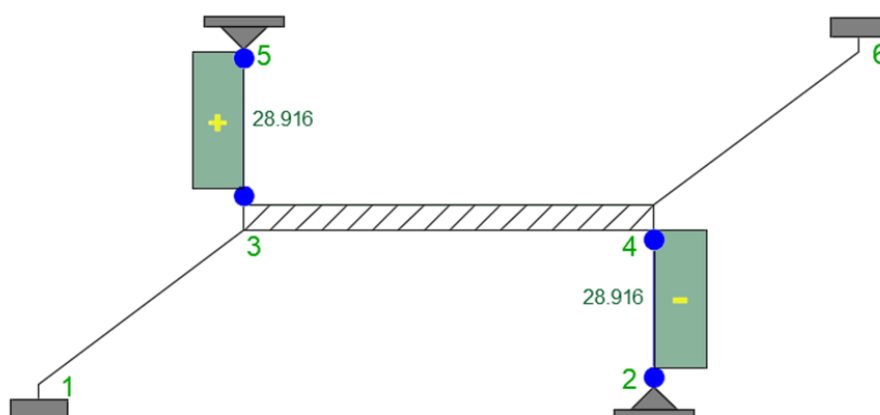
Figura 10

Diagrama de Fuerza Normal - Manual

Fuente: elaboración propia.

Figura 11

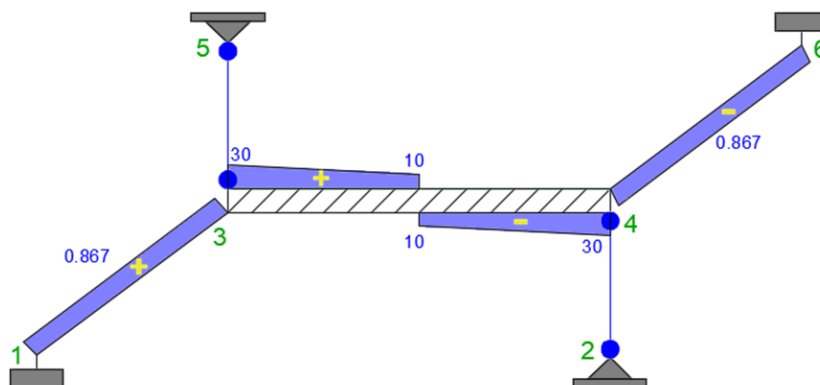
Diagrama de Fuerza Cortante - Manual



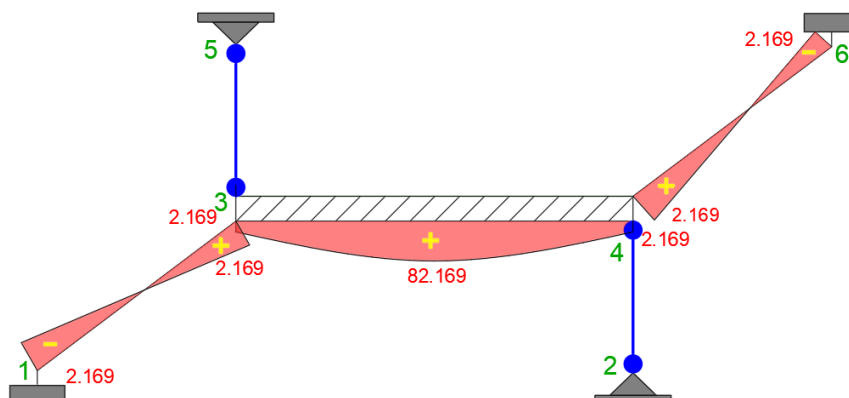
Fuente: elaboración propia.

Figura 12

Diagrama de Momento Flector - Manual



**Fuente:** elaboración propia.



### Comprobación con el software ftools

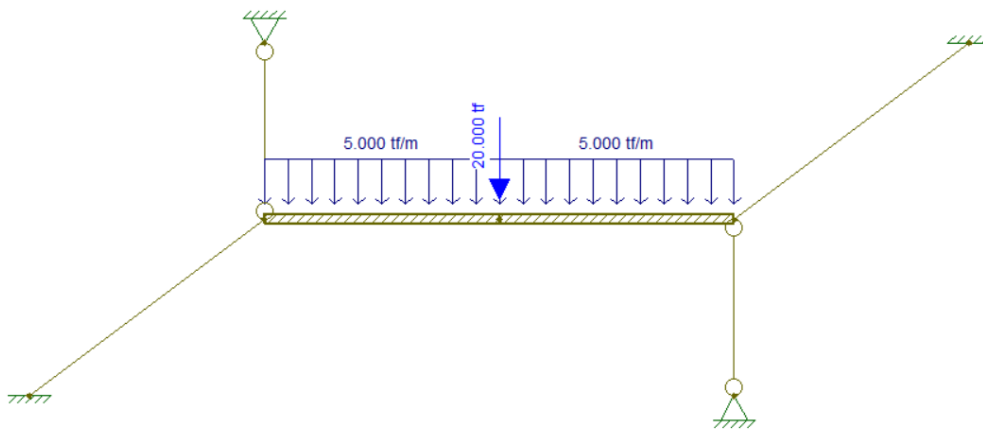
El Ftools para el análisis estructural, es empleado para poder procesar los datos obtenidos de experimentos y simulaciones de una estructura real, los resultados nos permiten analizar sus comportamientos, permitiendo evaluar los materiales bajo diversas condiciones y detectar cualquier tipo de fallas que llega a presentar.

La capacidad de este software es particularmente valiosa, de uso fácil y gratuito, lo cual conlleva a utilizar las múltiples herramientas que contiene para el desarrollo de análisis complejas de manera eficiente. Por último, la gran ventaja es ahorrar el tiempo en análisis complejos como también reducir la posibilidad de errores y garantizar resultados más precisos y confiables.

Para la comprobación de nuestros diagramas (DFN, DFC Y DMF), tuvimos que apoyarnos con el programa del FTOOLS, esto considerando que nuestra estructura de estudio, presentó 2 bielas en los apoyos y un sólido rígido apoyado horizontalmente. (Garcés, Genatios, Lafuente, & Mebarki, 2002). Se graficó de manera adecuada el ejercicio de aplicación, esto debido que, nos ayudará a verificar los resultados manuales que hemos calculado inicialmente. A continuación.

Figura 13

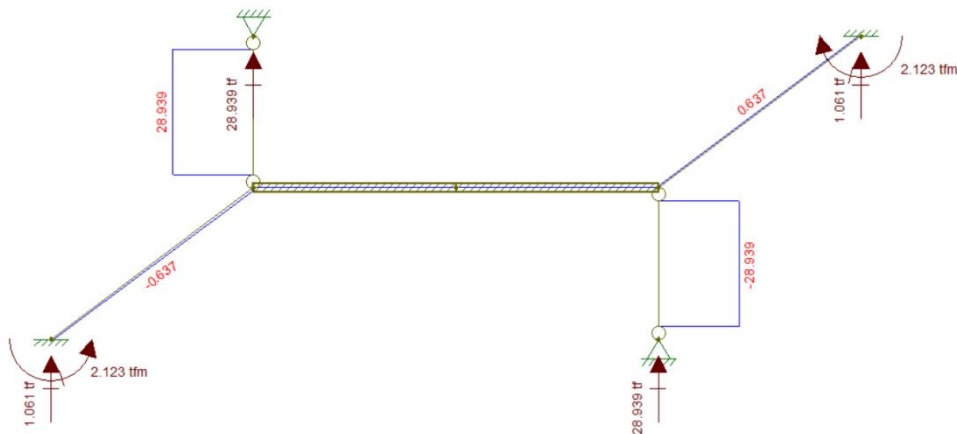
Modelo en el Ftools



Fuente: Programación.

Figura 14

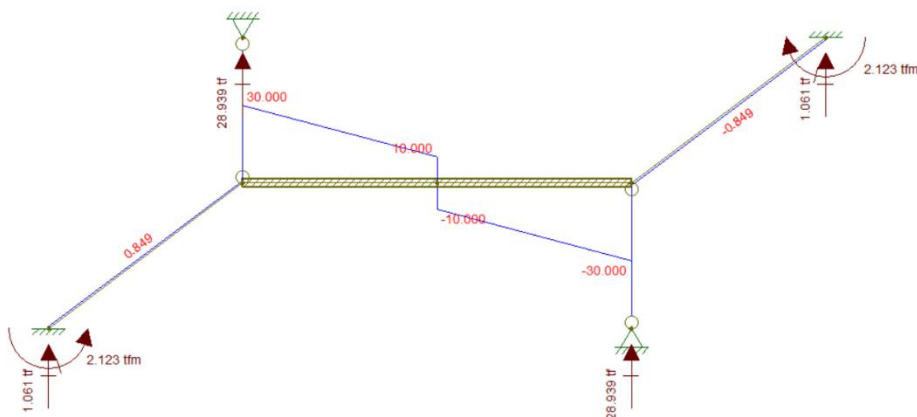
Diagrama de Fuerza Normal (DFN)



Fuente: Programación.

Figura 15

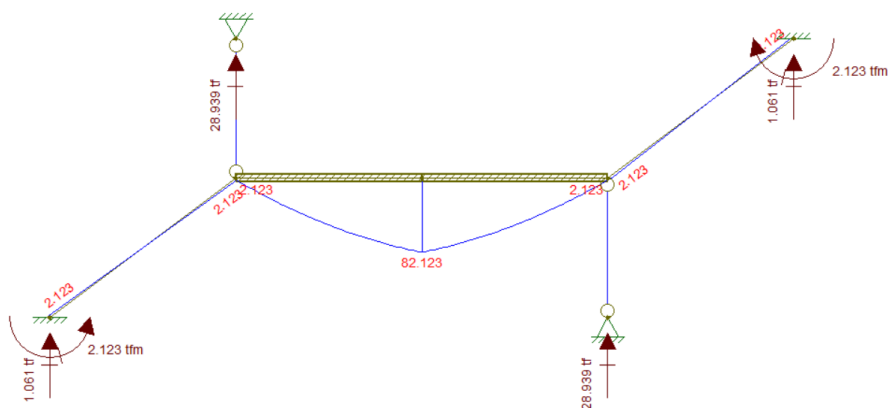
Diagrama de Fuerza Cortante (DFC)



Fuente: Programación.

Figura 16

Diagrama de Momento Flector (DMF)



Fuente: Programación.

## RESULTADOS

Para ello, se mostrará el resumen de los resultados de las fuerzas internas con los diagramas de los GDL, se halló manualmente y comparó el resultado con el uso del programa del Ftools, lo cual deben coincidir con un margen de error mínimo.

**Tabla 2**

*Fuerzas internas en los elementos de la Estructura. Diagrama de Momento Flector*

GDL (local)	Cálculo manual		Programa Ftools	
	Punto Inicial (tn.m)	Punto Final (tn.m)	Punto Inicial (tn.m)	Punto Final (tn.m)
1-3	2.169	2.169	2.123	2.123
4-6	2.169	2.169	2.123	2.123
5-3	0	0	0	0
2-4	0	0	0	0

**Nota:** La tabla 2 representa los momentos en sus límites de cada barra de la estructura calculadas de forma manual y con el programa Ftools.

**Tabla 3**

*Fuerzas internas en los elementos de la Estructura. Diagrama de Fuerza Cortante*

GDL (local)	Cálculo manual		Programa Ftools	
	Punto Inicial (tn.m)	Punto Final (tn.m)	Punto Inicial (tn.m)	Punto Final (tn.m)
1-3	0.867	0.867	0.849	0.849
4-6	-0.867	-0.867	-0.849	-0.849
5-3	0	0	0	0
2-4	0	0	0	0

**Nota:** La tabla 3 representa las fuerzas cortantes de sus límites de cada barra de la estructura calculadas de forma manual y con el programa Ftools.

**Tabla 4**

*Fuerzas internas en los elementos de la Estructura. Diagrama de Fuerza Normal*

GDL (local)	Cálculo manual		Programa Ftools	
	Punto Inicial (tn.m)	Punto Final (tn.m)	Punto Inicial (tn.m)	Punto Final (tn.m)
1-3	0	0	0	0
4-6	0	0	0	0
5-3	28.916	28.916	28.939	28.939
2-4	-28.916	-28.916	-28.939	-28.939

**Nota:** La tabla 4 representa los momentos en sus límites de cada de la estructura calculadas de forma manual y con el programa Ftools.

## DISCUSIÓN

Según (Blanco Claraco, González Herrera, & García - Manrique Ocaña, 2012), el método de rigidez sistematizado, es una técnica utilizada en la ingeniería estructural para analizar estructuras. Podemos determinar los nudos y fuerzas de cada barra, estos alineándose a las coordenadas globales y locales, tomando en cuenta los desplazamientos que ejercen en ella. Asimismo, la cantidad de número de grados de libertad representa directamente al número de nudos.



Este método fue fundamental para el análisis estructural de nuestro elemento, la complejidad para la aplicación de este método llegó a ser muy ventajosa, permitiendo obtener los resultados detallados sobre desplazamientos, fuerzas internas y reacciones en los apoyos.

La aplicación de este método de rigidez sistematizado es muy eficaz para elementos estructurales estáticamente determinados o indeterminados. (Ávila, Puertas, Martínez Castro, & Gallego, 2021)

Para el presente caso de aplicación, utilizamos 2 bielas, 2 pórticos inclinados y 1 sólido rígido. Por último, el uso del software del Ftools nos ayudó significativamente en este aprendizaje, dándonos las reacciones, desplazamientos y los diagramas (DFN, DFC y DMF).

### **CONCLUSIÓN**

Una vez concluido con nuestro análisis estructural del ejercicio de aplicación utilizando bielas, pórticos inclinados y sólido rígido, se concluyó en lo siguiente:

Cuando consideramos en la estructura sólidos rígidos, ayuda a simplificar el análisis estructural, debido a que, se eliminan las consideraciones de deformaciones de estos elementos. Lo cual ayuda a modelar y resolver rápidamente cualquier estructura que se presente.

Que el método de rigidez sistematizado verificando con los resultados obtenidos del software del Ftools son idénticamente iguales o similares, esto implica que, el análisis por este sistema es significativamente confiable. Dándonos resultados con buena aproximación de las fuerzas internas y deformaciones.

Por lo tanto, se puede decir que el método de rigidez sistematizado es eficaz para la resolución del ejercicio planteado por la similitud de resultados en el software Ftools.

## REFERENCIAS

Ávila, F., Puertas, E., Martínez Castro, A., & Gallego, R. (2021). Cálculo Matricial de Estructuras. Universidad de Granada: E.T.S. Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Obtenido de <https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/67070/CalculoMatricialdeEstructuras2021?sequence=5>

Blanco Claraco, J. L., González Herrera, A., & García - Manrique Ocaña, J. M. (2012). Análisis estático de estructuras por el método matricial. Servicio de Publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga. Obtenido de [https://ingmec.ual.es/~jlblanco/papers/blanco2012calculo\\_matricial\\_estructuras.pdf](https://ingmec.ual.es/~jlblanco/papers/blanco2012calculo_matricial_estructuras.pdf)

Blanco Díaz, E., Cervera Ruiz, M., & Suárez Arroyo, B. (2015). Análisis matricial de estructuras. Gran Capitán s/n, Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. Obtenido de [https://www.academia.edu/26550415/Analisis\\_Matricial\\_Estructuras\\_E\\_Blanco\\_M\\_Cervera\\_y\\_B\\_Suar ez](https://www.academia.edu/26550415/Analisis_Matricial_Estructuras_E_Blanco_M_Cervera_y_B_Suar ez)

Garcés, F., Genatios, C., Lafuente, M., & Mebarki, A. (2002). Reajuste de matrices de rigidez y flexibilidad para sistemas aporticados. Obtenido de [https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0376-723X2002000300002&script=sci\\_abstract](https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0376-723X2002000300002&script=sci_abstract)

Godiño Poma, F., López Yarango, J. S., & Rupay Vargas, M. J. (2017). Análisis Estructural I. Métodos Energético y Matricial con Aplicaciones Mathcad. Huancayo: Impresos S.R.L.

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

Ottazzi Pasino, G. (2014). Apuntes del curso Análisis Estructural I. Lima. Obtenido de <https://n9.cl/s2e4r>

Rupay Vargas, M. (2020). Apuntes Análisis Estructural II: Método directo de la Rigidez en Armaduras. Chanchamayo: Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa: M. J. Rupay Vargas. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/6362>

Rupay Vargas, M. J., Baltazar Ariza, Y. A., & Malpartida Quispe, A. L. (2023). Análisis estructural de un pórtico aplicando el método de rigidez. Ciencia Técnica y Aplicadas. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/376945970\\_Analisis\\_estructural\\_de\\_un\\_portico\\_aplicando\\_el\\_metodo\\_de\\_rigidez](https://www.researchgate.net/publication/376945970_Analisis_estructural_de_un_portico_aplicando_el_metodo_de_rigidez)