



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Desarrollo del simulador web Beli para el análisis matricial de
estructuras planas y espaciales**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Bach. Lupaca Quispe Denis Rudy (ORCID: 0000-0002-0449-9940)

ASESOR:

M. Sc. Clemente Condori Luis Jimmy (ORCID: 0000-0002-0250-4363)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño sísmico y estructural

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres Belisario y Gloria a mi hermano Jhosep, por ser el motivo que me impulsa a seguir mis sueños y aspiraciones y por estar siempre a mi lado en cada paso.

Rudy Lupaca

Agradecimiento

Agradecer a Dios por brindarme la salud y las fuerzas que hoy me permite alcanzar una meta más, a mi familia por su apoyo incondicional en todo momento en cada etapa de mi vida.

Rudy Lupaca

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras.....	viii
Abreviaturas	x
Resumen	xi
Abstract.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases Teóricas	9
III. METODOLOGÍA	22
3.1. Tipo y diseño de investigación	22
3.2. Variables y Operacionalización.....	23
3.3. Población, muestra y muestreo.....	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez	26
3.5. Procedimientos	28
IV. RESULTADOS	48
V. DISCUSIÓN.....	97
VI. CONCLUSIONES	99
VII. RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	101
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables.....	36
Tabla 2. Distribución de ventanas en html	40
Tabla 3. Distribución de ventanas en css.....	40
Tabla 4. Distribución de ventanas en js	41
Tabla 5. Distribución del área de trabajo.....	42
Tabla 6. Funciones para el cálculo estructural	46
Tabla 7. Desplazamientos simulador web beli vs sap2000 (ampliación 1).....	58
Tabla 8. Reacciones simulador web beli vs sap2000 (aplicación 1).....	60
Tabla 9. Fuerza axial simulador web beli vs sap2000 (aplicación 1).....	60
Tabla 10. Desplazamientos simulador beli vs sap2000 (aplicación 2)	67
Tabla 11. Reacciones simulador web beli vs sap2000 (aplicación 2).....	68
Tabla 12. Fuerza axial simulador web beli vs sap2000 (aplicación 2).....	69
Tabla 13. Desplazamientos simulador web beli vs sap2000 (ampliación 3).....	74
Tabla 14. Giro simulador web beli vs sap2000 (ampliación 3)	74
Tabla 15. Reacciones simulador web beli vs sap2000 (aplicación 3).....	75
Tabla 16. Fuerzas cortante simulador web beli vs sap2000 (aplicación 3).....	75
Tabla 17. Momento flector simulador web beli vs sap2000 (aplicación 3).....	76
Tabla 18. desplazamientos simulador web beli vs sap2000 (ampliación 4)	82
Tabla 19. Giro simulador web beli vs sap2000 (ampliación 4)	82
Tabla 20. Reacciones simulador web beli vs sap2000 (aplicación 4).....	83
Tabla 21. Fuerzas cortante simulador web beli vs sap2000 (aplicación 4).....	83
Tabla 22. Fuerzas cortante simulador web beli vs sap2000 (aplicación 4).....	84
Tabla 23. Momento flector simulador web beli vs sap2000 (aplicación 4).....	85
Tabla 24. Desplazamientos simulador web beli vs sap2000 (ampliación 5).....	91
Tabla 25. Giro simulador web beli vs sap2000 (ampliación 5)	91
Tabla 26. Reacciones simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).....	92
Tabla 27. Fuerzas axiales simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).	93
Tabla 28. Cortante en y simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).....	93
Tabla 29. Cortante en z simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).....	94
Tabla 30. Torsión simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).	94

Tabla 31. Momento en y simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).....	95
Tabla 32. Momento en z simulador web beli vs sap2000 (aplicación 5).....	95

Índice de figuras

Figura 1. Tipos de apoyos	22
Figura 2. Grados de libertad de una armadura.....	23
Figura 3. Grados de libertad de un elemento tipo viga	23
Figura 4. Grados de libertad de un elemento tipo pórtico.....	24
Figura 5. Grados de libertad de un elemento tridimensional	24
Figura 6: armadura estáticamente indeterminada	25
Figura 7. Ejemplo de armadura espacial.....	26
Figura 8. Viga en voladizo	27
Figura 9. Pórtico en 2d	28
Figura 10. Pórtico 3d.....	29
Figura 11. Interfaz de inicio	41
Figura 12. Selección del tipo simulación, en la ventana principal.....	42
Figura 13. Estructura trabajo interna	43
Figura 14. Diagrama de flujo de secuencia de ingreso de datos en el simulador.....	44
Figura 15. Diagrama de flujo de proceso de cálculo de cada elemento	45
Figura 16. Primer aplicación armadura plana.....	53
Figura 17. Interfaz de ingreso de materiales (aplicación 1).....	54
Figura 18. Interfaz de ingreso de secciones (aplicación 1).....	54
Figura 19. Interfaz de ingreso de nodos (aplicación 1).....	55
Figura 20. Interfaz de ingreso de barras (aplicación 1).....	55
Figura 21. Interfaz de ingreso de restricciones (aplicación 1).....	56
Figura 22. Interfaz de ingreso de fuerzas (aplicación 1).....	56
Figura 23. Interfaz de salida de resultados (aplicación 1).....	57
Figura 24: simulación de la armadura mediante (aplicación 1).....	57
Figura 25. Simulador beli vs SAP2000, desplazamientos en x (aplicación 1).....	59
Figura 26. Simulador beli vs SAP2000, desplazamientos en y (aplicación 1).....	59
Figura 27. Segunda aplicación armadura espacial.....	62
Figura 28. Interfaz de ingreso de materiales (aplicación 2).....	63
Figura 29. Interfaz de ingreso de secciones (aplicación 2).....	63
Figura 30. Interfaz de ingreso de nodos (aplicación 2).....	64
Figura 31. Interfaz de ingreso de barras (aplicación 2).....	64
Figura 32. Interfaz de ingreso de restricciones (aplicación 2).....	65

Figura 33. Interfaz de ingreso de fuerzas (aplicación 2).....	65
Figura 34. Interfaz de salida de resultados (aplicación 2).	66
Figura 35. Simulación de la armadura mediante SAP2000 (aplicación 2).....	66
Figura 36. Simulador beli vs SAP2000, desplazamientos en x (aplicación 2).	67
Figura 37. Simulador beli vs SAP2000, desplazamientos en z (aplicación 2).	68
Figura 38. Tercera aplicación armadura plana.....	70
Figura 39. Interfaz de ingreso de materiales (aplicación 3).....	70
Figura 40. Interfaz de ingreso de secciones (aplicación 3).....	71
Figura 41. Interfaz de ingreso de barras (aplicación 3).	71
Figura 42. Interfaz de ingreso de restricciones (aplicación 3).	72
Figura 43. Interfaz de ingreso de fuerzas (aplicación 3).....	72
Figura 44. Interfaz de salida de resultados (aplicación 3).	73
Figura 45. Simulación de la armadura mediante (aplicación 3).....	73
Figura 46. Cuarta aplicación pórtico plano	77
Figura 47. Interfaz de ingreso de materiales (aplicación 4).....	78
Figura 48. Interfaz de ingreso de secciones (aplicación 4).....	78
Figura 49. Interfaz de ingreso de nodos (aplicación 4).....	79
Figura 50. Interfaz de ingreso de barras (aplicación 4).	79
Figura 51. Interfaz de ingreso de restricciones (aplicación 4).	80
Figura 52. Interfaz de ingreso de fuerzas (aplicación 4).....	80
Figura 53. Interfaz de salida de resultados (aplicación 4).	81
Figura 54. Simulación de pórtico plano mediante SAP2000 (aplicación 4).	81
Figura 55. Quinta aplicación pórtico espacial	86
Figura 56. Interfaz de ingreso de materiales (aplicación 5).....	87
Figura 57. Interfaz de ingreso de secciones (aplicación 5).....	87
Figura 58. Interfaz de ingreso de nodos (aplicación 5).....	88
Figura 59. Interfaz de ingreso de barras (aplicación 5).	88
Figura 60. Interfaz de ingreso de restricciones (aplicación 5).	89
Figura 61. Interfaz de ingreso de fuerzas (aplicación 5).....	89
Figura 62. Simulación de pórtico espacial mediante SAP2000 (aplicación 5).	90

Abreviaturas

MEF	: Método de los Elementos Finitos
NTP	: Norma Técnica Peruana
UML	: Lenguaje unificado de modelado
HTML	: Lenguaje de Marcas de Hipertexto
JS	: JavaScript
CSS	: Hojas de Estilo en Cascada
SAP2000	: Software especializado para diseño, implementando el método de los elementos finitos dentro de una interfaz gráfica 3D orientada a objetos

Resumen

El presente trabajo de investigación “Desarrollo del simulador web Beli para el análisis matricial de estructuras planas y espaciales” tuvo como objetivo optimizar el análisis matricial de estructuras planas y espaciales por medio del desarrollo del simulador web Beli, el cual se integra de tres lenguajes HTML, CSS y JavaScript. Siendo el simulador Beli una herramienta de interés para la comunidad académica y profesional relacionados a la Ingeniería Civil, ya que este presenta una interfaz amigable al usuario, permitido acceder desde cualquier equipo de cómputo y/o dispositivo móvil con conexión a internet. El método de investigación que se presenta en este trabajo es el método analítico, siendo una investigación de tipo aplicada, teniendo como población de estudio todos los elementos tipo armaduras, vigas continuas y pórticos planos. Para la validación de la herramienta desarrollada se realizó un experimento de comparación entre el simulador Beli y el software SAP2000. Como resultado se mostró que en armaduras existe una variación máxima en el desplazamiento de $1E-06m$, en vigas continuas se obtuvo un desplazamiento máximo de $0.000159m$ y un giro máximo de $0.00335rad$, en el caso de pórticos se presentó una variación máxima en el desplazamiento en X de $0.001189m$ y $0.005475rad$ de variación de giro máximo. Finalmente concluyendo que el simulador web Beli brinda el mismo resultado que el software SAP2000, en las estructuras tipo armaduras, vigas continuas y pórticos. Concluyendo que el simulador Beli aplicado en estructuras tipo armadura, vigas continuas y pórticos genera resultados aceptables, y optimizado el análisis estructural por el método matricial.

Palabras clave: Desplazamientos, reacciones, fuerzas internas, matriz de rigidez, vector de fuerzas.

Abstract

The objective of this research work "Development of the Beli web simulator for the matrix analysis of flat and spatial structures" was to optimize the matrix analysis of flat and spatial structures through the development of the Beli web simulator, which integrates three HTML languages. , CSS, and JavaScript. The Beli simulator is a tool of interest to the academic and professional community related to Civil Engineering, since it presents a user-friendly interface, allowing access from any computer and/or mobile device with an Internet connection. The research method presented in this work is the analytical method, being an applied type research, having as study population all the elements such as reinforcement, continuous beams and flat frames. For the validation of the developed tool, a comparison experiment was carried out between the Beli simulator and the SAP2000 software. As a result, it was shown that in reinforcements there is a maximum variation in displacement of $1E-06m$, in continuous beams a maximum displacement of $0.000159m$ and a maximum twist of $0.00335rad$ was obtained, in the case of frames a maximum variation in displacement was presented. in X of $0.001189m$ and $0.005475rad$ maximum twist variation. Finally, it was concluded that the Beli web simulator provides the same result as the SAP2000 software, in frame-type structures, continuous beams and frames. Concluding that the Beli simulator applied to truss-type structures, continuous beams and frames generates acceptable results, and optimized the structural analysis by the matrix method.

Keywords: Displacements, reactions, internal forces, stiffness matrix, force vector.

I. INTRODUCCIÓN

Existe gran cantidad de métodos para el análisis estructural, entre los métodos más conocido está el método matricial o rigidez, este es el que se usa para la programación de distintos programas de análisis estructural ya que es preciso y eficiente. El método matricial proviene de la formulación débil del MEF, a la vez este último proviene de la formulación fuerte del MEF. Por lo que presenta una aproximación al comportamiento más realista de la estructura analizada. Este método permite resolver estructuras complejas mediante subdominio de elementos conocido como barras las cuales se identifican mediante nodos en sus extremos (Stratta Lucas p. 1). Por lo que el método análisis matricial es muy usado en la ciencias e ingeniería.

En la actualidad se busca optimizar procesos lo que genera un ahorro de tiempo, por lo que muchos profesionales han visto en la programación una forma de optimizar el tiempo, así que los profesionales y estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil no son la excepción. Esto se debe a las interacciones entre distintos lenguajes de programación las cuales facilitan el trabajo de nuevas herramientas informáticas.

Actualmente existe una infinidad de lenguajes de programación como Matlab, Python, VB.net, C++, C# y Java, son ideales para la creación de programas para las computadoras. Ya que las computadoras actuales pueden realizar cálculos, tratamiento de datos a una gran velocidad. En los últimos años se ha visto que gran parte de proyectos han usado estos lenguajes de programación antes mencionados, pero estos programas tienen limitaciones al ser compartido con profesional y estudiantes por no contar con una certificación. Por lo que pueda generar vulnerabilidad en los equipos de cómputo.

Los sitios Web en la actualidad juegan un papel importante ya sea como un medio informativo y/o como un medio de comunicación, lo que ha llevado a depender del internet. Es por esto que cada día más personas usan internet en su vida diaria ya sea para buscar información, servicios o productos. Por lo que la

internet se ha convertido en una herramienta informática necesaria para los profesionales y estudiantes para realizar sus trabajos, es por eso que es fundamental tener un sitio Web accesible para la realización de simulaciones en el área de la Ingeniería Civil.

Actualmente los ordenadores y sistemas Web han avanzado a grandes pasos en la tecnología de la información, lo que ha generado nuevas formas de implementar procesos de optimización del tiempo y mejora en la calidad de los resultados al resolver problemas relacionados a la ingeniería. Y la carrera profesional de Ingeniería Civil no es la excepción existen sitios Web dedicados a compartir información de la ingeniería, pero aún no existe una plataforma Web en donde se pueda simular estructuras tipo armaduras, vigas, pórticos mediante el método matricial de rigidez, por lo que se crea la necesidad de la población de profesionales y estudiantes de un simulador moderado, sencillo, eficaz para realizar simulaciones.

Para las simulaciones de estructuras tipo armaduras, vigas y pórticos, muchos profesionales y estudiantes realizan los cálculos de forma manual o con el uso de programas comerciales de cálculos entre los programas más conocidos tenemos SAP2000, ETABS y Robot Structural Analysis, estos programas comerciales no permiten ver el procedimiento de cálculo realizado, solo generar un reporte de resultados sin información de cómo se haya obtenido lo cual deja un sesgo a los profesionales y estudiantes, además estos programas por lo general son de un costo elevado. Lo que dificulta a los profesionales y estudiantes profundizar sus conocimientos de estructuras tipo armadura, viga y pórtico. También es evidente que se busca activar estos programas de forma ilegal. A la vez los programas comerciales son de difícil manejo, esto se debe que estos programas son diseñados para cálculos avanzados. Por lo que realizar cálculos precisos y rápidos de armaduras, vigas y pórticos se hacen dificultosos.

Por lo anterior mencionado se ve la necesidad del desarrollo de un simulador Web que permita el cálculo de estructuras tipo armadura, viga y pórticos mediante el método matricial de rigidez con la ayuda de los lenguajes HTML, CSS y JS, el cual se desarrolla un interfaz de usuario y se aplicara el algoritmo de cálculo de análisis

matricial, siendo una herramienta informática de consulta para los profesionales y estudiantes de Ingeniería Civil, obtenido resultados rápidos y precisos.

1.1. Formulación del problema

Problema general:

¿Cómo el desarrollo del simulador web Beli optimizaría el análisis matricial de estructuras planas y espaciales?

Problemas específicos:

- a. ¿Con el desarrollo del simulador web Beli se mejoraría el análisis matricial de armaduras planas y espaciales?
- b. ¿Con el desarrollo del simulador web Beli se perfeccionaría el análisis matricial de vigas continuas?
- c. ¿Con el desarrollo del simulador web Beli se resolvería el análisis matricial de pórticos planos y espaciales?

1.2. Justificación

Justificación Teórica

Con el paso de los años la tecnología ha avanzado de tal manera que cada vez las simulaciones se aproximen al valor real, lo que implica que los errores disminuyan. Esta investigación mediante el desarrollo del simulador Beli permite aproximar al comportamiento de la estructura ya que se usará la teoría débil del método de elementos finitos planteado mediante el algebra lineal, para lo cual se escribió el algoritmo del análisis matricial para estructural tipo armadura, vigas y pórticos en el JavaScript.

Justificación Metodológica

En la investigación se desarrolló el simulador Beli, para lograr el cumplimiento de los objetivos del estudio, este simulador que se usó como instrumento que permite obtener desplazamientos, reacciones y fuerzas internas de la estructura la cual fue validado al comparar contra un software comercial como es SAP2000. Cabe indicar que es la primera vez que se plantea un simulador de este tipo alojado en la Web.

Justificación Práctica

Esta investigación se efectuó debido a que existe la necesidad de ver los procesos del análisis estructural realizadas desde la Web, por lo que es necesario el desarrollo de un simulador Web que ayude a los profesionales y estudiante a entender los procesos de cálculo de las estructuras tipo armaduras, vigas y pórticos.

Justificación Social

La investigación tuvo como beneficiarios a estudiantes, docentes y profesionales relacionados a la Ingeniería Civil. Por lo que mediante el uso del simulador Beli se obtuvo un comportamiento más aproximado de las estructuras analizadas. La cuales permitieron mostrar de manera detallada el proceso de cálculo para su mayor comprensión.

1.3. Objetivos

Objetivo General

Optimizar el análisis matricial de estructuras planas y espaciales por medio del desarrollo del simulador web Beli.

Objetivos específicos

- a. Mejorar el análisis matricial de armaduras planas y espaciales por medio del desarrollo del simulador web Beli
- b. Perfeccionar el análisis matricial de vigas continuas mediante el desarrollo del simulador web Beli
- c. Resolver el análisis matricial de pórticos planos y espaciales a través del desarrollo del simulador web Beli

1.4. Hipótesis

Hipótesis General

Los estudios descriptivos no necesariamente deben tener hipótesis explícita (Lucero, 2017, p2). Por otro lado, SAMPERI afirma que en los estudios descriptivos intenta predecir dato o valor en una o más variables que se van a medir o observar, pero no en todas las investigaciones descriptivas se formulan hipótesis de esta clase o que sean afirmaciones más generales (Samperi, 2006, p127). Es por esto

que en esta tesis no se formula las hipótesis, tampoco se realiza la contratación debido al nivel de investigación descriptivo – explicativo.

Delimitaciones

Delimitación temporal

La presente investigación se ejecutó por un periodo de 4 meses desde febrero del 2022 hasta mayo del 2022, durante este tiempo se construyó el simulador Web Beli, con la finalidad de realizar el análisis estructural de estructuras tipo armaduras, vigas continuas y pórticos.

Delimitación espacial

La investigación se realizó analizando casos prácticos de estructuras tipo armaduras, vigas continuas y pórticos de diferentes libros. Por lo que no es necesario un lugar fijo, lo que llevo que la investigación se lleve en la ciudad de Puno, Provincia de Puno, Región Puno.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Internacionales

Cunalata Fabiana (2016). La autora para optar el título profesional de Ingeniero Civil, realizó el desarrollo de un programa de aplicación al cálculo de vigas continuas simplemente apoyadas, empotradas y en volado mediante el software Matlab. Tuvo un enfoque cuantitativo, un diseño experimental buscando relacionar causa efecto producto de la acción de cargas. Concluyendo con el desarrollo del software elaborado muestran una diferencia no mayor al 5% en esfuerzos cortantes y momentos y difieren por milésimas de milímetro en deflexiones y diez milésimas de radianes en giros cuando se compara con los resultados obtenidos mediante un software especializado en cálculo estructural, razón por la cual se determinó que éstos son válidos.

Bassantes Ebenezer (2018). La autora para optar el título profesional de Ingeniero Civil, realizando el desarrollo de una herramienta informática para el diseño de columnas de hormigón armado aplicando el Software Matlab. Tenido como enfoque de investigación cuantitativa, tipo de investigación aplicada de un nivel descriptivo. Encontrando una diferencia significativa en el tiempo de cálculo necesario entre el método manual y la herramienta informática, y para el diseño de columnas, se obtuvo resultados más precisos que el método manual debido a que no usaron ábacos para cálculo; haciendo que la herramienta informática obtenga resultados precisos y disminución significativa del tiempo de cálculo que el método manual.

Camacho Juan (2012). El autor para optar el título profesional de Ingeniero Civil, realizó la creación de una aplicación informática para la realización del cálculo estructural, mediante la implementación del método de elementos finitos de sección constantes, dando la solución del sistema mediante la representación matricial usando el lenguaje de programación Visual Basic. El método empleado fue la metodología de investigación con un enfoque cuantitativo está diseñado bajo un modelo pre experimental al desarrollar el programa. Se concluyó que con uso de la aplicación BABEL 2.0 donde se analizó problemas del libro de Jairo Escamilla se

obtuvo los mismos resultados en cuanto datos y gráficas, por lo que la aplicación procesa, y arroja la información verdadera.

Guevara y Salgar (2019). Los autores en su investigación con el fin de optar el título profesional de Ingeniero Civil, realizaron la creación de una herramienta computacional el software Matlab que permita agilizar el análisis dinámico de sistemas estructurales con múltiples grados de libertad. Tenido un enfoque cualitativo ya que no se realiza ningún experimento. Se concluyó con el desarrollo satisfactorio de la herramienta en Matlab dado como resultado las respuestas dinámicas de estructuras tipo a porticadas de varios grados de libertad en el plano. Teniendo una modelación satisfactorio y favorable a las idealizaciones estructurales, demorando 35s en la ejecución del programa esto debido a las funciones propias de Matlab que permite el trabajo con matrices.

González y Manrique (2017). Los autores para optar el título profesional ingeniero civil, realizaron el desarrollo de una herramienta complementaria de apoyo al curso de análisis estructural mediante el método matricial de rigidez aplicado a las estructuras tipo viga, cerchas y pórticos en dos dimensiones, para esto los autores usaron el lenguaje de programación de Visual Basic aplicado a Excel. Tenido un enfoque cualitativo por medir el los desplazamientos de las estructuras analizadas. Concluyendo que la contrición de la herramienta DEMAT complementa al curso de análisis estructural obtenido como resultados matrices de consolidación, deformaciones y reacciones de cada estructura, dando que el modelo planteado en VBA cumple con el objetivo de apoyar al usuario en cálculos básicos del análisis matricial, teniendo como limitaciones el ingreso de la cantidad de elementos.

Nacionales

Coyla Leonel (2017). El autor para optar el grado de Doctor en Ciencias de la Computación, realizó el desarrollar una aplicación web que brinde una prueba en el análisis sísmico de una edificación, en base a la Norma Técnica E.030, en la Región Puno. La metodología empleada fue bajo el enfoque cuantitativo de tipo aplicada con un diseño un modelo cuasi experimental, utilizando el método de desarrollo de sistemas dinámicos. Se concluye con la aplicación Web para la

realización del análisis sísmico de una edificación tomando en cuenta la norma técnica E.030 del RNE, llegando a que la aplicación web ayuda en realizar los cálculos respectivos en tiempo real.

Días y Guillén (2020). los autores para optar el título profesional Ingeniero Civil, realizaron la creación un modelo computacional mediante el software Matlab efectuando el análisis estructural empleando el método matricial en armaduras y pórtico planos. Tomando la metodología desde un enfoque cualitativo no experimental. Llegando a concluir que se obtiene como resultado desplazamientos en los nodos, reacciones y fuerzas internas de cada barra en estructuras tipo armadura y pórticos 2D, logrando una interfaz gráfica que brinda al usuario analizar la salida de resultado y asignar escala de dibujo según sea la necesidad.

Hinostroza Saúl (2021). El autor para optar el título profesional de Ingeniería Civil, realizó un sistema computacional que influye en el cálculo y evaluación de diagramas momento curvatura de secciones de concreto armado en la ciudad de Huancayo, 2021. En la metodología empleada tuvo un enfoque cualitativo, de tipo aplicada, con un diseño de la investigación pre experimental de pre-prueba y pos-prueba. Se concluye que al aplicar del sistema de computación para el cálculo y la evaluación de diagramas momento curvatura de secciones de concreto armado, contenido una curva completa, también se observó que al peraltar la sección de viga la ductilidad por curvatura aumenta de 12.24 a 20.63 en un 68%, de la misma manera incrementa la cuantía del acero de refuerzo en las columnas.

Poma José (2018). El autor para optar el grado de magister en Ingeniería Civil, realizó la automatización con el desarrollo de un programa el análisis no lineal estático Pushover en estructuras de concreto armado mediante el análisis matricial usando como lenguaje de programación Visual Basic Aplicado a Excel. El método empleado fue analítico, mediante la recopilación de información. Concluyendo con la automatización del análisis estático no lineal Pushover mediante el uso del programa desarrollado de nombre AMAP2D, el cual permite la determinación de curvas de capacidad de pórticos 2D de concreto armado, dentro de las limitaciones del desarrollo de la tesis.

Salcedo Chistian (2014). El autor para optar el título profesional de Ingeniero Civil, realizo la aplicar el método de elementos finitos (MEF) para el estudio del análisis estructural de vigas, pórticos, placas, solidos de revolución mediante el desarrollo de un programa FEMAX en cual fue programado en Python. Empleado la metodología de investigación desde un enfoque cualitativo, tomado como diseñado un modelo experimental. Concluyendo con los resultados obtenidos por el programa FEMAX, se consiguió en la comparación 99.80% con respecto al programa comercial SAP2000 en su versión 14 con lo que se comprobó los resultados.

2.2. Bases Teóricas

Método matricial de la rigidez

Método de análisis matricial de rigidez consta en remplazar la estructura real por una idealización de un modelo matemático con varios elementos finitos, cuyas propiedades se expresan de forma de matrices (Uribe, 2000, p. 414). Este método permite dar solución a todo tipo de estructura, basándose en la contricción y manipulación de matrices mediante el algebra lineal (Quispe, 2015, p. 23). Este método subdivide en elemento tipo barras y con relación sus extremos llamados nodos (Stratta, p. 1). Por lo que se puede modelar estructuras tipo armaduras planas y/o espaciales, vigas continuas, pórticos planos y/o espaciales. Cabe recordar que el método matricial es el más adecuado para la programación de algoritmos por ser expresadas en matrices y vectores. También puede usar paquetes o extensiones para mejor formales para el análisis estructural en computadora. En general el método matricial de rigidez consiste en establecer a través del equilibrio y condiciones de frontera, la relación que hay entre las cargas y los desplazamientos que estas generan en la estructura. Mediante la idealización de la estructura se transforma de reales tridimensiones a estructuras planas (Gonzáles, 2009, p. 15).

Sistemas de coordenadas globales y locales

En el sistema de coordenadas globales se describe el comportamiento estructural de la geometría general, y para sistema local hace referencia al elemento o barra (Kassimali, 2009, pp. 703-704).

Grados de libertad

En una estructura los desplazamientos independientes, son necesarios para darle forma a la configuración deformada estructura, cuando sobre esta actúan distintas cargas arbitrarias (Kassimali, 2009, p. 704).

Apoyos

Es un dispositivo de sustentación de la estructura, tiene la función de impedir el desplazamiento y transmitir las cargas a las cuales está sometida la estructura, las reacciones son iguales y de signo opuesto a la carga transmitida por medio de la sustentación (Blanco, et al, 2015, p. 14). En la figura 1 se puede apreciar los tipos de apoyos en el plano, a) apoyo móvil, b) apoyo fijo y c) empotramiento.

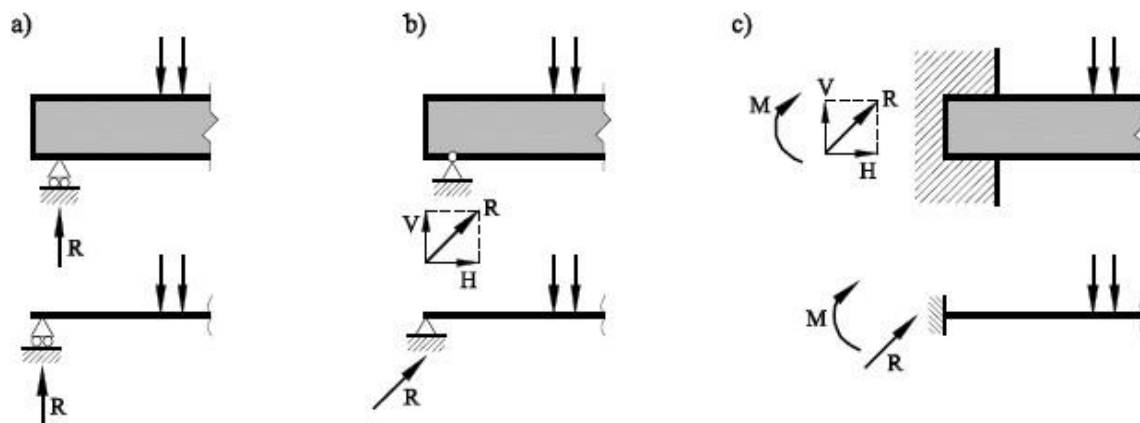


Figura 1. Tipos de apoyos
Fuente: Blanco (2015).

Grados de libertad de un elemento tipo armadura

Una armadura es una estructura en la cual todos los elementos de la estructura trabajan a la acción de carga axial. Las fuerzas necesarias para lograr el equilibrio serán normales a la sección transversal de las barras, a estas fuerzas también se las conoce como fuerzas axiales (Ninaraqui, 2019, p. 7). como se muestra en la figura 2.

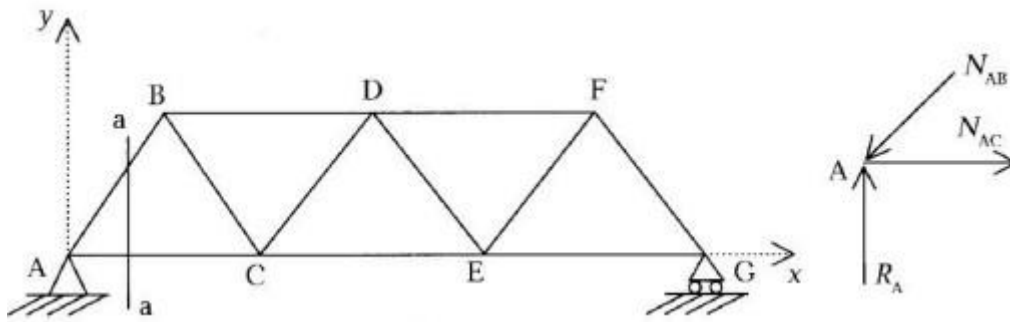


Figura 2. Grados de libertad de una armadura.

Fuente: Ninaraqui (2019).

Grados de libertad de un elemento tipo viga

Una viga es una estructura formada usualmente por elementos rectos capaces de transmitir cargas verticales. Por lo general las vigas se diseñan para resistir fuerzas de corte y momento flectores (Ninaraqui, 2019, p. 7). Entonces al suponer que la viga es indeformable longitudinalmente presentara solamente cuatro grados de libertad, dos desplazamientos verticales y dos giros (Vázquez y López, 2001, p.129). como se muestra en la figura 3.

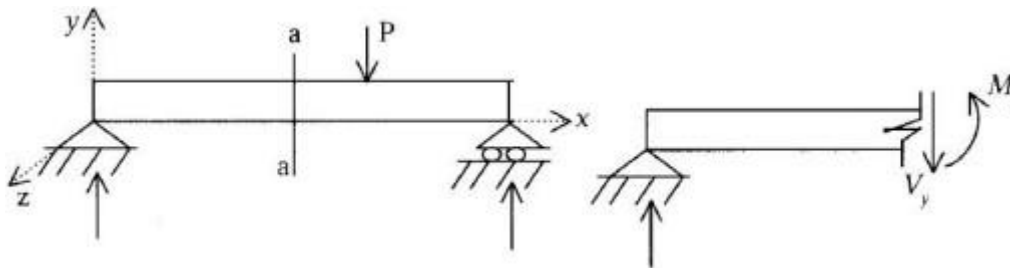


Figura 3. Grados de libertad de un elemento tipo viga

Fuente: Ninaraqui (2019).

Grados de libertad de un elemento tipo pórtico

Los pórticos son estructuras formadas por vigas y columnas, los pórticos generalmente ocasionan carga axial, fuerza cortante y momento flexionante en los elementos que la conforman (Ninaraqui, 2019, p. 7). Como ejemplo se presenta la figura 4.

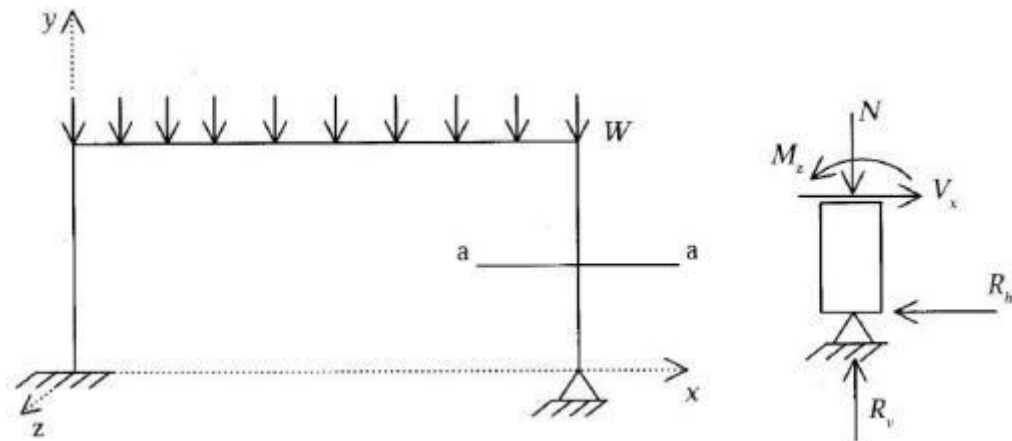


Figura 4. Grados de libertad de un elemento tipo pórtico
Fuente: Ninaraqui (2019).

Grados de libertad de un elemento tridimensional

Para el caso de pórticos espaciales presenta seis grados de libertad en cada nudo, tres traslaciones y tres de rotación como se muestra en la figura 5. Para realizar es necesario referenciar con respecto a un punto, de tal manera que se presenta de forma local y global cada elemento de la estructura. Para las cargas o apoyos se debe generar un nodo de aplicación (Ninaraqui, 2019, p. 9).

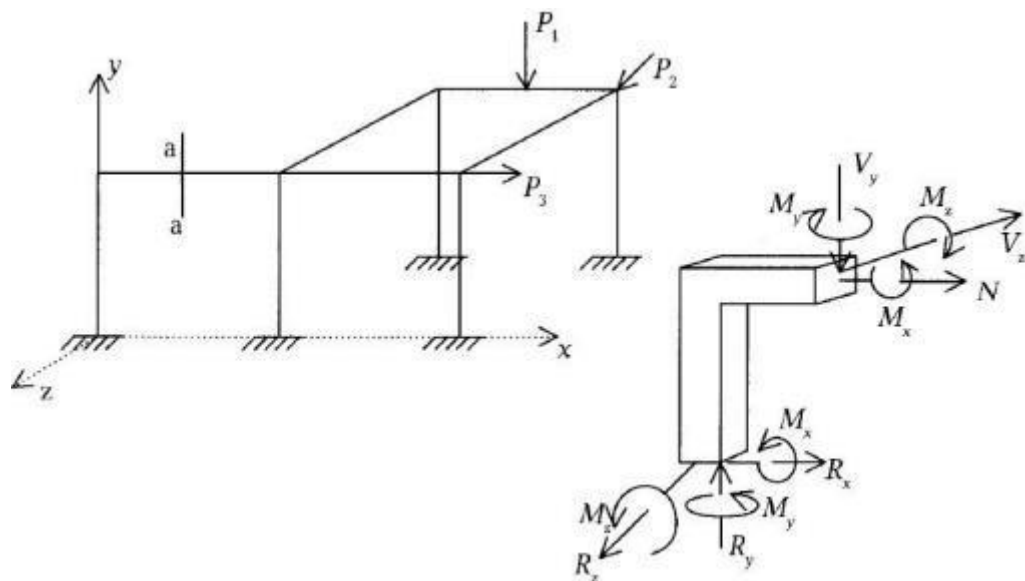


Figura 5. Grados de libertad de un elemento tridimensional.
Fuente: Ninaraqui (2019).

Discretización de la estructura

Se enumeran los elementos de la estructura y se les asigna un sentido, se codifica los grados de libertad de la estructura, dependiendo si es: armadura, viga, pórtico,

parrilla, armadura 3D, pórtico 3D, empezando a codificar por los grados de libertad libres y dejando los grados de libertad restringidos (apoyos) al final (Ninaraqui, 2019, p. 9).

Armadura plana

Una armadura es una construcción articulada conformada por elementos que generalmente son triángulos. Formados por elementos rectos y que se utiliza para soportar cargas axiales. El análisis de armaduras dio pie al desarrollo de la teoría de elementos finitos y su aplicación es amplia: torres, puentes, cubiertas se fabrican a través de esta conjunción de barras que solo se pueden cargar axialmente (Hurtado, p. 20). Como ejemplo se muestra en la figura 6.

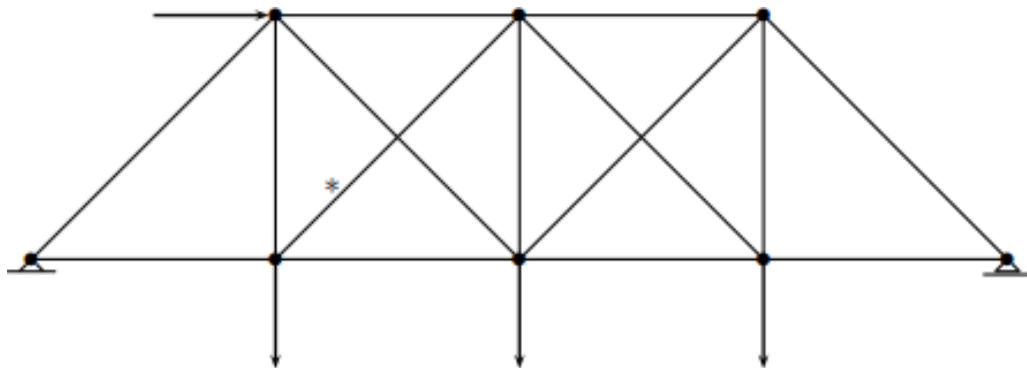


Figura 6: Armadura estáticamente indeterminada.
Fuente: Hurtado (2013).

Matriz de rigidez de cada elemento de la armadura plana

La matriz de rigidez de cada barra viene dada por la siguiente ecuación:

$$[K] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} c^2 & cs & -c^2 & -cs \\ cs & s^2 & -cs & -s^2 \\ -c^2 & -cs & c^2 & cs \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix}$$

Donde:

$$c^2 = \cos^2(\phi)$$

$$s^2 = \sin^2(\phi)$$

$$cs = \cos(\phi)\sin(\phi)$$

Armadura espacial

El análisis de las armaduras espaciales se puede partir de las mismas ecuaciones del caso armaduras planas, extendiendo el método matricial en dirección a la profundidad (Hibbeler, 2012, p. 570). Como la mostrada en la Figura 7.

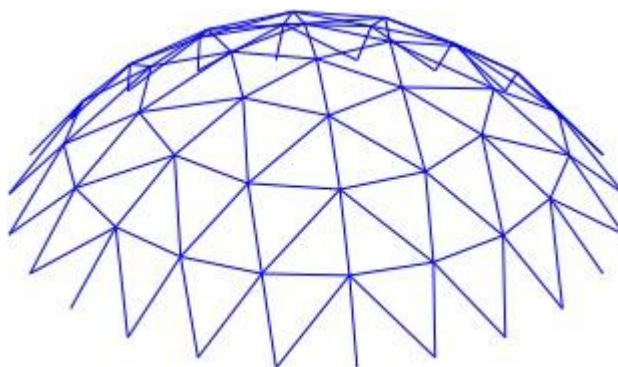


Figura 7. Ejemplo de armadura espacial.

Fuente: Hurtado (2013).

Matriz de rigidez de cada elemento de la armadura espacial

La matriz de rigidez de cada barra viene dada por la siguiente ecuación:

$$[K] = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \lambda\mu\nu & & & & & & & & & \\ \lambda\mu & \mu^2 & & & & & & & & \\ \lambda\nu & \mu\nu & \nu^2 & & & & & & & \\ -\lambda^2 & -\lambda\mu & -\lambda\nu & \lambda^2 & & & & & & \\ -\lambda\mu & -\mu^2 & -\mu\nu & \lambda\mu & \mu^2 & & & & & \\ -\lambda\nu & -\mu\nu & -\nu^2 & \lambda\nu & \mu\nu & \nu^2 & & & & \end{bmatrix}$$

Donde:

λ, μ, ν : solo los cosenos directores

Vigas continuas

Son vigas continuas a las vigas estáticamente indeterminadas que presenta varios tramos, no presentan articulas o rotulas en cada tramo, en el cálculo de vigas se busca determinar los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas (Villarreal, 2009, p. 82). En la figura 8 se muestra un ejemplo de viga continua.

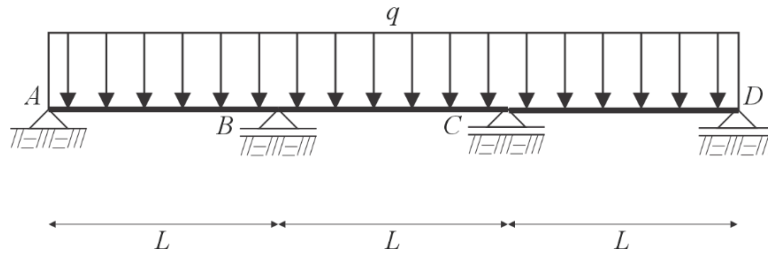


Figura 8. Viga en voladizo
Fuente: Gere (2009).

Matriz de rigidez de cada elemento de la viga

La matriz de rigidez de cada elemento de la viga viene dada por la siguiente ecuación:

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Donde:

E : Modulo de elasticidad

I : Momento de inercia de la viga

L : Longitud del tramo

Pórtico 2D

“Se muestra un pórtico típico compuesto por vigas y columnas sometido a la acción de cargas de gravedad (normalmente distribuidas de manera uniforme) y sísmicas (normalmente crecientes hacia arriba). Las uniones entre elementos permiten la transmisión de fuerzas horizontales, verticales y momentos” (Hurtado p. 75), como se muestra en la figura 9.

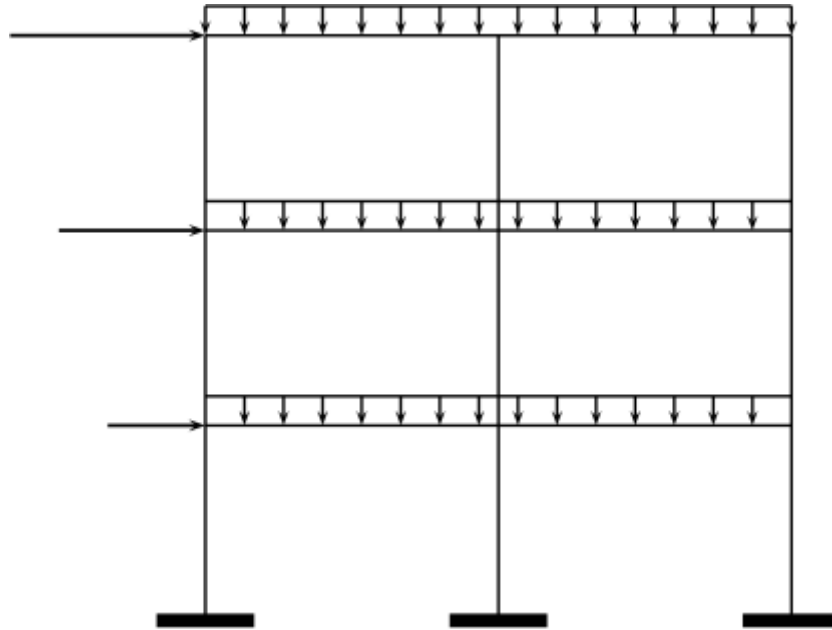


Figura 9. Pórtico en 2D
Fuente: Hurtado (2013).

Matriz de rigidez de cada elemento del pórtico plano

La matriz de rigidez de cada elemento de la viga es misma solo que con la introducción de los parámetros de corte, para el caso de la matriz de rigidez de columnas viene dada por la siguiente ecuación:

$$[K]_{col} = \begin{bmatrix} \frac{12EI}{L^3} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & AE & 0 & -AE & 0 & 0 \\ 0 & \frac{AE}{L} & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ 6EI & L & 4EI & L & 6EI & 2EI \\ -\frac{6EI}{L} & 0 & L & 0 & \frac{6EI}{L} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{12EI}{L^3} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & -AE & 0 & AE & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 \\ \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix}$$

Donde:

E : Modulo de elasticidad

I : Momento de inercia de la viga

L : Longitud del tramo

Pórtico espacial

Los pórticos planos pueden tomar cualquier forma y para sus análisis es necesario referenciarlas a un sistema coordenado tridimensional. Las cargas aplicadas provocan generalmente en los miembros que la conforman seis elementos mecánicos (Rojas y Padilla, pp. 21-22). En la figura se 10 se muestra un pórtico espacial de 5 niveles.

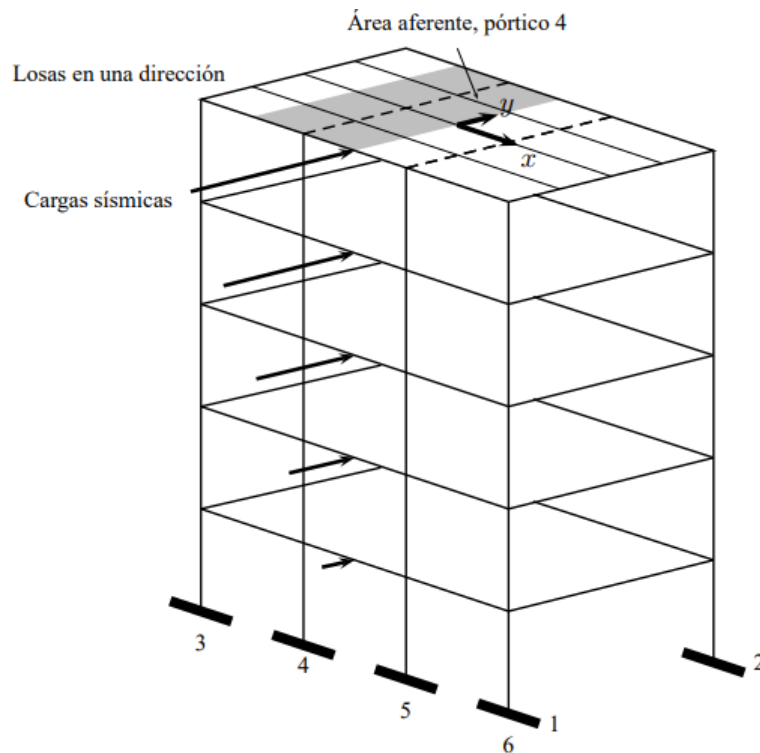


Figura 10. Pórtico 3D

Fuente: Hurtado (2013).

Donde se tendrá que cuenta que:

E : Modulo de elasticidad

I_z : Momento de inercia en z

I_y : Momento de inercia en y

L : Longitud del tramo

G : Modulo de corte

Matriz de rigidez de cada elemento en dirección X

$$[K_x] = \begin{bmatrix} \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & 0 & \frac{12EI}{L^3} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \\ \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & \frac{12EI_z}{L^3} & 0 & 0 & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} \\ 0 & 0 & -\frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{12EI_y}{L^3} & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{GJ}{L} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{GJ}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{2EI_y}{L} & 0 & 0 & 0 & \frac{6EI_y}{L^2} & 0 & \frac{4EI_y}{L} & 0 \\ 0 & \frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_z}{L} & 0 & -\frac{6EI_z}{L^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{4EI_z}{L} \end{bmatrix}$$

Resolución de las estructuras

La forma fundamental para resolver la estructura es la siguiente:

$$\{F\} = [K] \cdot \{\delta\}$$

El vector de desplazamientos es la solución del sistema de ecuaciones líneas por el método de guaus. Las cuales podemos expresar de la siguiente manera:

$$\begin{Bmatrix} F_a \\ F_b \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \delta_a \\ \delta_b \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} F_c \\ F_d \end{Bmatrix}$$

De donde se puede descomponer en un sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \{F_a\} &= [K_{aa}] \cdot \{\delta_a\} + [K_{ab}] \cdot \{\delta_b\} + \{F_c\} \\ \{F_b\} &= [K_{ba}] \cdot \{\delta_a\} + [K_{bb}] \cdot \{\delta_b\} + \{F_d\} \end{aligned}$$

Se donde se conoce que δ_b los desplazamientos conocidos. Por lo que se puede conocer los desplazamientos y las reacciones:

$$\{\delta_a\} = [K_{aa}]^{-1} \{F_{a,c}\}$$

Y la reacción en los apoyos:

$$\{F_a\} = [K_{aa}] \cdot \{\delta_a\} + \{F_d\}$$

$$\{\delta\} = [K]^{-1} \{F\}$$

Donde:

$\{\delta\}$: Vector de desplazamiento

$[K]$: Matriz de rigidez reducida

$\{F\}$: Vector de fuerzas reducidas

Fuerzas internas

Fuerza Axial, encargada de medir la acción de tirar sobre la sección, la cual se representa en forma de tracción o compresión, fuerza cortante es la componente de resistencia al deslizamiento, momento torsor encargada de medir la resistencia a la torsión, momento flector es componente que mide la resistencia a flexar (Delgado, 2012, p.21).

Fuerzas internas de un elemento armadura plana

Las fuerzas internas para armaduras planas, ya sea a compresión o tracción esta dado por la siguiente ecuación:

$$S_{ij} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} -c & -s & c & s \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{bmatrix}$$

Fuerzas internas de un elemento armadura espacial

Las fuerzas internas para armaduras espaciales, ya sea a compresión o tracción esta dado por la siguiente ecuación:

$$S_{ij} = \frac{AE}{L} \begin{bmatrix} \lambda & \mu & \nu \end{bmatrix}_{ij} \begin{bmatrix} u_j - u_i \\ v_j - v_i \\ w_j - w_i \end{bmatrix}$$

Fuerza interna en viga y pórtico

Las fuerzas internas en para los elementos viga, pórtico plano y espacial se define reemplazando los valores de desplazamiento en cada elemento.

Lenguaje de programación

Es un lenguaje de programación formal que se compone de símbolos, que sigue una cantidad de reglas para unir los símbolos. Para ejecutar código o algún algoritmo es necesario utilizar programa para ejecutar el lenguaje máquina. Los lenguajes se caracterizan de bajo nivel, medio nivel y alto nivel.

HTML

Hypertext Markup Language, traducido diríamos que es un lenguaje de marcas hipertexto o formato de documento para hipertexto. Cabe aclarar que HTML no es un lenguaje de programación. HTML usa etiquetas de marcado para la elaboración de páginas Web, con un nivel de aprendizaje bajo (Gauchat, 2012, p. 1).

CSS

Cascading stylesheets, traducido diríamos que es una hoja de estilo en cascada. Es un lenguaje de diseño gráfico que se usa para dar estilo a una página Web gracias a que con lo que se puede dar una Interfaz gráfica amigable al usuario. CSS3 trae mejoras en degradados, bordes redondeados, transformaciones, animaciones y degradados. Se tiene tres formas de incorporar estilo en un sitio Web (Gauchat, 2012, p. 31).

JavaScript

Es un lenguaje de programación de interpretado, está diseñado para correr en los navegadores Web. Este lenguaje está orientado a objetos lo que permite ejecutar código mediante llamadas de funciones. Se puede crear pequeño y grandes scripts (Gauchat, 2012, p. 87).

La forma de programar es similar a Java, cabe aclarar que a diferencia de Matlab u Octave lenguajes muy usados en el ámbito científico el índice inicia en 0 y no en 1, lo que dificulta su uso en el ámbito científico e ingeniería.

Algoritmo

Trata de una instrucción que se realiza con el fin de resolver un problema en un tiempo finito, para su creación es necesario de forma detallada el problema de estudio, para lo cual se necesita las variables, procesos involucrados, restricciones y resultados esperados o tener el criterio para considerar verdadero los resultados obtenidos (Rodríguez, 2017, p. 12).

Comparador y bucle en JavaScript

- **If - Else**

Cuando se necesite que el script elija algún camino en la función se usa el comparador If-Else actuaría según la premisa si es verdadera o falsa, por eso JavaScript nos permite utilizar else, solo nos permite tomar dos opciones por lo que si se quiera tomar mas camino se debe apoyarse en Else-if (Gascón, 2017, p. 44). La Estructura del comparador If-Else es la siguiente:

```
if (true) {  
    --Instrucción--  
} else {  
    --Instrucción--  
}
```

- **For**

El bucle For presenta una estructura optimizada para recorrer los elementos de un objeto como vectores o matrices, mediante la iteración de manera numérica (Gascón, 2017, p. 48). La Estructura del bucle For es la siguiente:

```
for (--Expresión_inicial--; --Condición-; --Expresión_Actualización--){  
    --Instrucciones--  
};
```


III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Método de investigación

El método de investigación presentado en este trabajo de investigación es el método analítico, porque según COLÖMĚ y FEMENIA (2018), este “Consiste en descomponer el objeto de estudio en sus partes integrantes estudiando cada una de ellas, asumiendo que el conocimiento de dichas partes traerá el conocimiento del objeto como un todo” (p. 9).

Tipo de investigación

El tipo de investigación es Aplicada debido a que se emplean los conocimientos de teóricos del análisis matricial de estructuras para el desarrollo del simulador web Beli, porque según CARRASCO (2005), la “investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad” (p. 43).

Nivel de investigación

El nivel de investigación es Descriptivo – Explicativo. El nivel descriptivo busca medir la respuesta producida por las cargas aplicada a las estructuras tipo armaduras, vigas continuas y pórticos, por medio del simulador web Beli (Hernández, 2014, p. 92). Por otro lado, es explicativo porque establece la relación causa y efecto, mediante la validación de simulador desarrollado al ser comparado con el software comercial SAP2000 (Supo, 2015, 9. P. 11).

Diseño de investigación

La investigación es Pre-Experimental, con un diseño de Pre-prueba y Pos-prueba que tiene como grupo de control uno solo, porque según HERNANDEZ et al (2006), “Diseño de un solo grupo cuyo control es mínimo. Generalmente es útil como un primer acercamiento al problema de investigación en la realidad” (p. 187).

Por lo que en el presente proyecto se ha planteado un diseño de investigación es experimental del tipo Pre-Experimental ya que se manipulo la variable

independiente (Simulador Web Beli) con la implementación de la aplicación del método matricial para estructuras tipo armaduras, vigas y pórticos.

Diagrama del diseño:

$$G \rightarrow O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$$

Donde tendremos que:

G : Grupo de control

O₁: Preprueba (actuales métodos de cálculo)

X : Estimulo (el simulador Web Beli)

O₂: Posprueba (con el uso de simulador Web Beli)

3.2. Variables y Operacionalización

Variables

“Constituyen las características, aspectos o propiedades de la unidad de análisis que van a ser descritos, explicados, relacionados o modificados en la investigación” (Sullcaray, 2013, p. 48).

Variable Independiente: Análisis matricial de estructuras planas y espaciales

Variable dependiente: Desarrollo del simulador Web Beli

Operacionalización

“Es el procedimiento por el cual se pasa de variables generales a indicadores, el proceso de medición” (Rivera et al, 2005, p. 122).

Tabla 1. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
X (Variable-Independiente) DESARROLLO DEL SIMULADOR WEB BELI	Las simulaciones realizadas con la Web son más aprovechables gracias a su disponibilidad inmediata gracias al servicio de internet a través de un navegador basado en crome. (Laboratorio de simulación y modelado, 2015).	El simulador Web es estará diseñado con los lenguajes de programación HTML, CSS y JS. Lo que estará compuesto por una interfaz gráfica amigable con el usuario, entrada de datos y salida de resultados y procedimientos.	Programación del código	<ul style="list-style-type: none"> • Código • Método de calculo 	Razón
			Rapidez en el proceso de cálculo	<ul style="list-style-type: none"> • Resultados rápidos • Resultados precisos 	
Y (Variable-Dependiente) ANÁLISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS PLANAS Y ESPACIALES	El Autor Jairo Uribe Escamilla (2002), define el análisis matricial como un conjunto de modelos matemáticos aplicado a distintos elementos estructurales finitos, con propiedades que se pueden expresarse en forma de un sistema de ecuaciones lineales.	Las deformaciones y esfuerzos representan el comportamiento de las estructuras tipo Armaduras, Vigas y pórticos. El comportamiento será distinto según tipo de elemento.	Armaduras planas y espaciales	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas • Desplazamientos • Apoyos • Fuerzas internas 	Razón
			Vigas continuas	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas • Desplazamientos • Apoyos • Fuerza cortante y momento flector 	
			Pórtico planos y espaciales	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas • Desplazamientos • Apoyos • Fuerza axial, cortante, momento flector, torsión. 	

Fuente: Elaboración propia, 2022

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Se planteo como población según el tipo de investigación aplicada y al ver que el presente trabajo es el desarrollo de un simulador Web, como todos los elementos estructuras tipo armaduras, vigas y pórticos, para el realizar el análisis estructural de los mismos.

Muestra

La muestra fue no probabilística tipo intencionada, porque según CARRASCO (2005), “en este tipo de muestra la probabilidad de ser elegido para formar parte de la muestra, por ello no son tan representativos” (p. 243).

Lo que la muestra representa un fragmento, una parte o un sub conjunto de la población, para esto se tomó tipos de estructuras para ser analizadas mediante el simulador Web Beli.

Muestreo

El tipo de muestreo utilizado es el no probabilístico o intencionada, por lo que se ignoró la probabilidad de que se seleccione cada unidad de análisis, y se propuso 2 caso de armaduras, 1 de viga continua y 2 de pórticos.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas

Esta investigación se planteó la técnica de observación directa e indirecta de recolección de información extraída de artículos, tesis, libros, manuales y videos relacionados al análisis matricial de estructuras y desarrollo Web.

Instrumentos

Los instrumentos son los mecanismos usados por el investigador para la recolección de la información (Hernández, 2018, p. 94). Por lo que se tuvo como instrumentos utilizados:

- Software Visual Code

- Software comercial SAP2000
- Manuales y Libros
- Diagramas de flujo
- Codificación de funciones en JavaScript
- Hojas de calculo
- Ejemplos de Armaduras 2D y 3D
- Ejemplos de Vigas continuas
- Ejemplos de Pórticos 2D y 3D

Validez y confiabilidad del instrumento

Validez

La validez refleja la característica medidas y compatibles con otras evidencias significativas, es decir medir lo que se pretende medir (Rojas, 2002, p. 26). Por otro lado, es “Una técnica de recolección nos da la opción de visualizar y entender por medio del criterio las situaciones, hechos, fenómenos de la naturaleza o comunidad para de tal forma conseguir evidencia” (Hernández et al, 2014, p. 217). Por lo que la validez de los instrumentos fue por la recolección de datos de caso de estructuras tipo armaduras, vigas continuas y pórticos de reconocidos libros del análisis estructural.

Confiabilidad del instrumento

“Asegurar la confiabilidad y validez de los resultados. A diferencia del análisis cuantitativo, en el cual se aplican métodos estadísticos, el cualitativo requiere de una evaluación minuciosa sobre si se ha recogido suficiente información a través de los distintos métodos y procedimientos investigativos utilizados” (Hernández et al, 2014, p. 135).

Por lo que el simulador Web Beli se apoya en hojas de cálculo programas en casos específicos, así como la comparación de resultados con el software SAP2000.

3.5. Procedimientos

Esta investigación es aplicada y no requiere de técnicas estadísticas para su procesamiento de datos informativos ya que se tuvo que la validación del instrumento simulador web Beli proporciona la comparación con resultados (desplazamientos, reacciones y fuerzas internas) de Pre prueba con los antecedentes constituido por cada investigador. El propósito es optimizar el proceso de cálculo desde la Web, mejorando el instrumento de medición desarrollando medite la creación de un simulador de fácil manejo y no conocer la variable de estudio; además que las muestras son no tipo no probabilística.

El procedimiento para la obtención de resultados esta divididos en dos etapas. En La primera etapa se presenta la codificación en JavaScript esencial para el análisis de las estructuras por el método matricial, mediante la llamada de funciones. En una segunda etapa se presenta la ejecución del simulador y la comparación de resultados con el software SAP2000, para esto se subdividamos en tres partes, en la primera parte se realiza el análisis estructural de cada estructura mediante el simulador Beli, en una segunda parte Con el fin de validad lo resultados obtenidos del simulador se realiza el análisis de las mismas estructuras mediante el software comercial SAP2000, y en la tercera parte se realiza la comparación de resultados obtenidos (desplazamientos, reacciones y fuerzas internas) entre el simulador Web Beli y el software comercial SAP2000 en los cinco casos de estructuras analizados.

PRIMERA ETAPA: Codificación del simulador

En la codificación del simulador Beli consta de tres lenguajes HTML, CSS y JS, las cuales tiene la siguiente distribución:

HTML

HTML es un lenguaje de marcado de hipertexto que permito dar la estructura de la página principal y el simulador, las cuales fueron identificado como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. *Distribución de ventanas en HTML*

Nombre	Distribución
Index.html	Página principal
Armadura2D.html	Simulador Beli para armaduras planas
Armadura2D.html	Simulador Beli para armaduras espaciales
Viga.html	Simulador Beli para vigas continuas
Portico2D.html	Simulador Beli para pórticos planos
Portico3D.html	Simulador Beli para Pórticos espaciales

Fuente: Propia, 2022.

CSS

CSS es un lenguaje de estilos, el cual permito dar la forma de cómo podemos apreciar la página principal y el simulador, las cuales fueron identificado como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. *Distribución de ventanas en CSS*

Nombre	Distribución
Index.css	Página principal
Armadura2D.css	Simulador Beli para armaduras planas
Armadura2D.css	Simulador Beli para armaduras espaciales
Viga.css	Simulador Beli para vigas continuas
Portico2D.css	Simulador Beli para pórticos planos
Portico3D.css	Simulador Beli para Pórticos espaciales

Fuente: Propia, 2022.

JavaScript

Siendo JavaScript el lenguaje de programación utilizado, el cual fue el motor de cálculo ejecutándose pendiente botones en la página principal y el simulador, como en caso anteriores también fueron identificado como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Distribución de ventanas en JS

Nombre	Distribución
Index.css	Página principal
Armadura2D.css	Simulador Beli para armaduras planas
Armadura2D.css	Simulador Beli para armaduras espaciales
Viga.css	Simulador Beli para vigas continuas
Portico2D.css	Simulador Beli para pórticos planos
Portico3D.css	Simulador Beli para Pórticos espaciales

Fuente: Propia, 2022.

De las tablas 2, 3 y 4 podemos ver los nombres con los cuales se ha identificado a los archivos, cabe aclarar que estos no son todos, pero si son los necesarios para la ejecución correcta del simulador y cumplir con los objetivos. A parte se crea un pequeño simulador de secciones y estilos de fuentes para los botones.

Página principal

La venta principal permite la selección del tipo de simulación que se realizara, en la figura 11 se aprecia la pantalla de inicio del simulador, la cual se encara de direccionar al usuario a las distintas simulaciones como se muestra la figura 12.



Figura 11. Interfaz de inicio.

Fuente: Propia 2022.

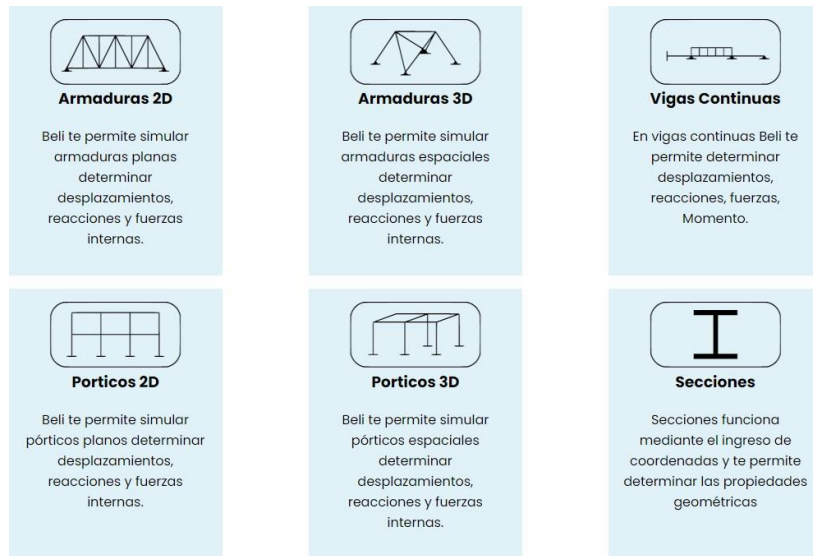


Figura 12. Selección del tipo simulación, en la ventana principal
Fuente: Propia 2022.

Simulador Beli

El simulador Beli presenta una distribución de trabajo mediante contenedores principales y secundarios, los contenedores esenciales se presenta en la tabla 5 y la figura 13.

Tabla 5. Distribución del área de trabajo

Nombre	ID	Característica
Contenedor mayor	ContenedorMayor	Es el contenedor general que se puede ampliar o reducir mediante el botón Ampliar o Reducir.
Contenedor B	ContenedorB01	Es donde se contiene la barra de herramientas superior.
Contenedor de Lienzo	CajaD02	Se encarga de mostrar las grafica de la estructura analizada
Contenedor de datos	CajaF01 a la CajaF07,	Donde se ingresa datos de materiales, sesiones, nodos, barras, restricciones, y cargas.
Caja de resultados	CajaF06	Se muestra los resultados obtenidos de la simulación mediante tablas.

Fuente: Propia, 2022.

El área de trabajo por secciones contenida en otras secciones, para esto se estable en div en el lenguaje HTML. Como se muestra en la figura 13.

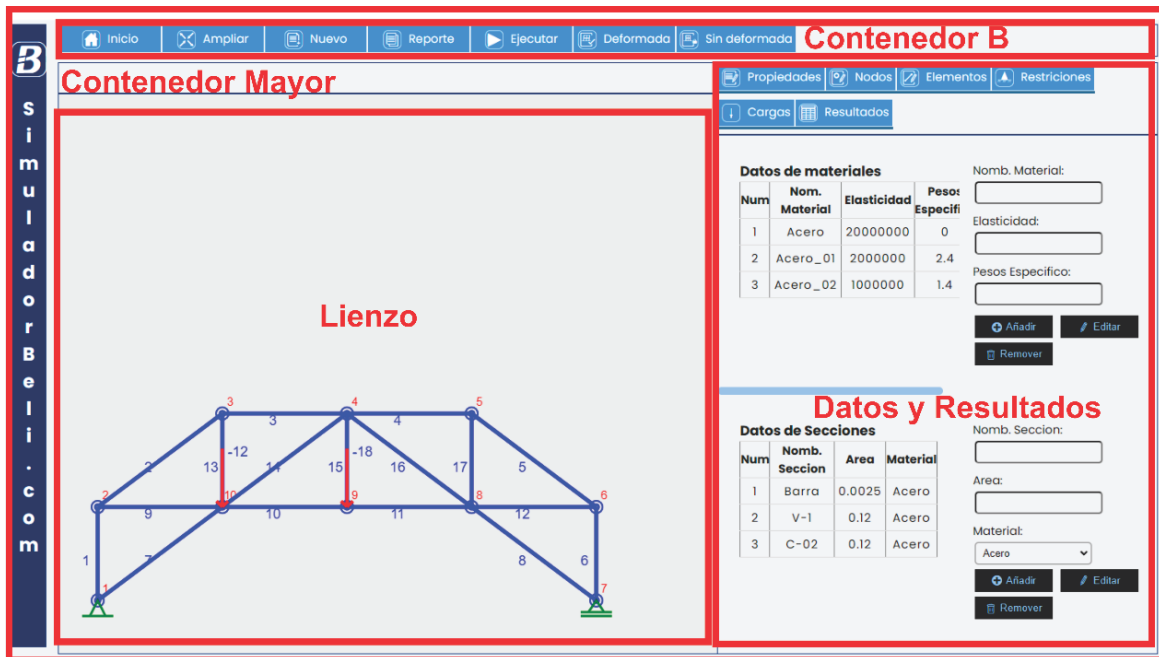


Figura 13. Estructura trabajo interna
Fuente: Propia 2022.

SEGUNDA ETAPA: Ejecución del simulador y la comparación de resultados con el software SAP2000

Parte 1: Ejecución del simulador Beli

En la ejecución del simulador se debe tener en cuenta el correcto ingreso de datos al simulador, para tener un correcto funcionamiento en el proceso de cálculo estructural.

Rutina para el ingreso de datos al simulador

Para obtener resultados correctos y evitar los errores en el proceso de cálculo se desarrolla un flujo de ingreso de datos adecuados como se muestra en la figura 14.

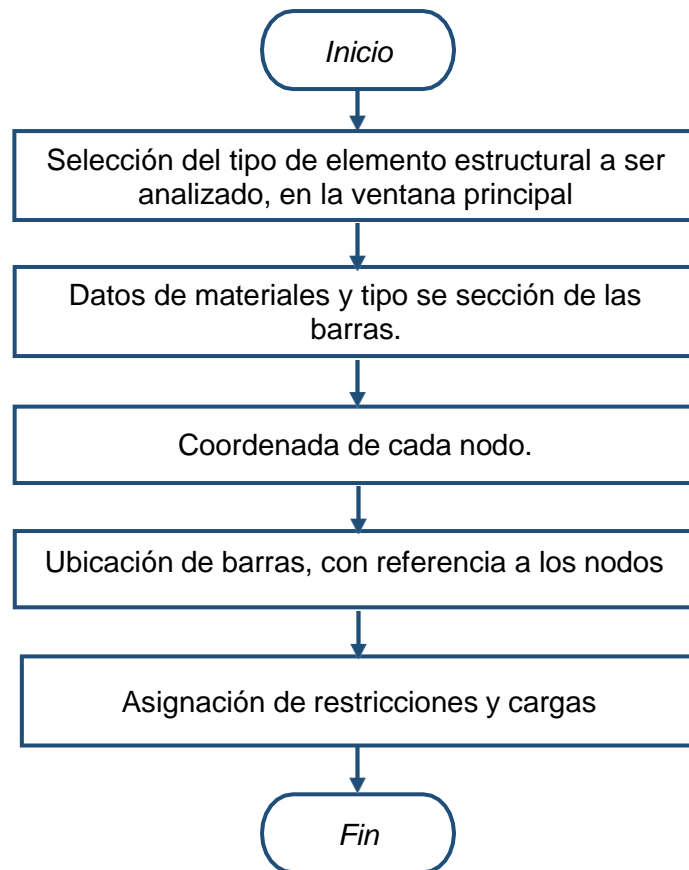


Figura 14. Diagrama de Flujo de secuencia de ingreso de datos en el simulador.
Fuente: Propia 2022.

Rutina de código para calculo estructural

Internamente el simulador ejecuta procedimiento mediante la llamada de funciones. En la figura 15 se presenta mediante un diagrama de flujo todos los procesos que realiza el simulador Beli.

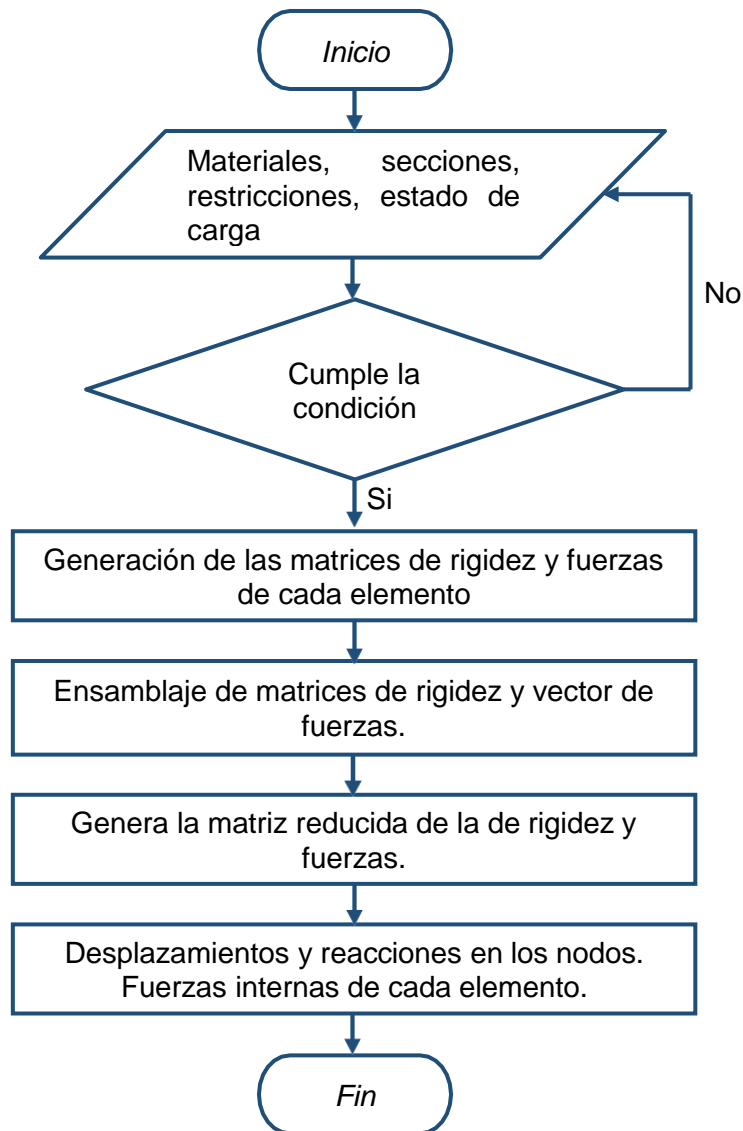


Figura 15. Diagrama de Flujo de proceso de cálculo de cada elemento
Fuente: Propia 2022.

Funciones para el análisis matricula en JavaScript

Dentro de las funciones o rutinas para la realización del cálculo de estructuras se dividen en principales y secundarias. Las funciones principales se pueden ejecutar desde el simulador medite una llamada y también desde la consola del navegador. Las funciones para la realización del cálculo se presentan en la tabla 6

Tabla 6. *Funciones para el cálculo estructural*

Función	Característica
Calcular(r)	Permite mostrar los grados de libertad globales de la estructura y el número de incógnitas del sistema lineal, todo esto partir de los datos de restricciones en los apoyos
Ke(mm)	Genera la matriz de rigidez de cada elemento, mediante el ingreso del número de barra.
KKglobla()	Encargada del ensamblaje de la matriz global de rigideces.
KKreducida()	Genera la condensación de matrices, retornando como resultado la matriz reducida.
FFglobal()	Encargada de generar el ensamblaje de las cargas aplicadas
FFreducida()	Genera la condensación del vector de fuerzas, retornando como resultado la vector reducido.
xxM()	Encarga de solucionar el sistema lineal mediante el método de Gauss, retornando como resultado los desplazamientos.
reacionesR()	Encargada de generar el valor de las reacciones en cada barra.
Esfuerzos()	Encargada de generar las fuerzas internas de cada elemento.

Fuente: Propia 2022.

Parte 2: Ejecución en SAP2000

El SAP2000 es un software comercial basado en MEF, con interfaz gráfica espacial que se orienta al trabajo con objetos, preparada para realizar modelaciones, análisis y dimensionamiento integrales del más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras (Chocata, 2021). Por lo que se realizó la modelación de las aplicaciones tipo armaduras, viga continua y pórticos en el SAP2000.

Parte 3: Comparación de los resultados entre el simulador Belí y SAP2000

La comparación de los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas obtenidas se realizó mediante tablas las cuales permitieron determinar el error absoluto en cada aplicación analizada.

3.6. Aspectos éticos

Las fuentes utilizadas están bajo estricta revisión y referenciadas en la bibliografía. Además, expresar el desarrollo del simulador web Beli fue desarrollado desde cero en los lenguajes de HTML, CSS y JavaScript.

Esta investigación se realizó contemplado el Código de Ética planteado en la resolución No. 0126-2017/UCV de la Universidad César Vallejo, por lo que se ha contemplado los siguientes artículos: 6 Honestidad, 7 Rigor científico y 9 Responsabilidad.

IV. RESULTADOS

El procedimiento para la obtención de resultados está dividido en dos etapas, las cuales se aplican a las estructuras analizadas como armaduras, vigas continuas, pórticos espaciales:

En la primera etapa se presenta el código JavaScript esencial para el análisis matricial de las estructuras planteadas, mediante la llamada de funciones.

En la segunda etapa se presenta la ampliación del simulador Beli, software SAP2000 y la comparación de resultados, esto para cada aplicación (Armaduras, Vigas Continuas y Pórticos), para esto se subdivide en tres partes:

- Primera parte: Análisis estructural de cada aplicación estructural con el uso del simulador Beli mediante el método matricial.
- Segunda parte: Con el fin de validar los resultados obtenidos del simulador se realiza el análisis de las mismas estructuras mediante el software comercial SAP2000.
- Tercera parte: Tras finalizar el cálculo mediante el simulador Web Beli y el software comercial Sap2000 en las cinco aplicaciones estructurales, se realiza la comparación de resultados mediante tablas donde se establece los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas, así como el error absoluto.

4.1. Primera Etapa: Código JavaScript para el análisis de las estructuras

Para la contrición del simulador web Beli se utilizó tres lenguajes de programación como: HTML, CSS, JavaScript, dentro de ellos JavaScript es el más importante ya que este realiza los cálculos de las estructuras, por lo que se presenta código para el trabajo con matrices de rigidez de cada elemento, grados de libertad, vector de desplazamientos y fuerzas internas. Lo que se muestra aquí es una parte del código, el código completo se presenta en el Anexo 2.

- **Solución lineal por el Método de Gaus - Jordán**

Un sistema de m -ecuaciones lineales con n -incógnitas, es un conjunto de ecuaciones de la forma.

Este método consiste en lo siguiente:

1. Reducir la matriz ampliada [A/B] en matriz canónica.
2. Discutir el sistema en base a la reducción canónica de [A/B]

Se presenta la función xxM(M_Rig, V_Fue) que recibe dos parámetros "M_Rig" que viene a ser la matriz de coeficientes, "V_Fue" es la matriz de términos independientes. Esta función retorna el vector "V_Desp" es la matriz de las incógnitas.

```
/* *****  
Solución lineal por el Método de Gaus - Jordán  
***** */  
function xxM(M_Rig,V_Fue) {  
    var N_filas = M_Rig.length;  
    var V_Desp = zerosM(N_filas,N_filas+1)  
    for (var i=0; i<N_filas; i++) {  
        for (var j=0; j<N_filas; j++) {  
            V_Desp[i][j] = M_Rig[i][j];  
        }  
        V_Desp[i][N_filas] = V_Fue[i];  
    }  
    for (var e=0; e<N_filas; e++){  
        t = V_Desp[e][e];  
        for (var j=0; j<N_filas+1; j++){  
            V_Desp[e][j] = (V_Desp[e][j])/t;}  
        for (var i=0; i<N_filas; i++){  
            if (i != e) {  
                t = V_Desp[i][e];  
                for (var j= 0; j<N_filas+1; j++){  
                    V_Desp[i][j] = V_Desp[i][j]-t*V_Desp[e][j];  
                }  
            }  
        }  
    }  
    var x = zerosV(N_filas)  
    for (var i=0; i<N_filas; i++) {  
        x[i] = V_Desp[i][N_filas]  
    }  
    return x;}  
}
```

- **Multiplicación de matrices**

```
/* *****  
Multiplicación de dos matrices  
***** */  
function multM(M_A, M_B) {  
    var SumaC;  
    if (M_A[0].length == M_B.length) {  
        var M_C=new Array()  
        for (var i = 0; i<M_A[0].length; i++) {  
            M_C[i]=new Array();  
            for (var j=0; j<M_B.length; j++) {  
                SumaC = 0;  
                for (var k=0; k<M_B[0].length; k++){  
                    SumaC = SumaC+M_A[i][k]*M_B[k][j];  
                }  
                M_C[i][j] = SumaC;}}  
        return M_C;}}  
}
```


- **Matriz traspuesta**

```

/* =====
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
Matrices traspuestas
===== */
function tranM(M_A) {
    var M_C = zerosM(M_A.length, M_A[0].length);
    for (var i=0; i<M_A[0].length; i++) {
        for (var j=0; j<M_A.length; j++) {
            M_C[i][j]=M_A[j][i];
        }
    }
    return M_C;
}

```

4.2. Matriz de rigidez de cada barra

- **Para Armaduras planas**

```

/* =====
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
Matrices de rigidez para armaduras planas
===== */
function Ke(n) {
    ii=nudo[n][0]-1;
    jj=nudo[n][1]-1;
    Dx = X[jj]-X[ii];
    Dy = Y[jj]-Y[ii];
    L=Math.sqrt(Math.pow(Dx,2) + Math.pow(Dy,2));
    cc=(EA[n]/L) * (Math.pow(Dx/L,2));
    ss=(EA[n]/L) * (Math.pow(Dy/L,2));
    cs=(EA[n]/L) * ((Dx/L) * (Dy/L));
    var kk=[
        [cc,    cs, -cc, -cs],
        [cs,    ss, -cs, -ss],
        [-cc, -cs,  cc,  cs],
        [-cs, -ss,  cs,  ss]
    ];
    return kk;
}

```

- Para Armaduras espaciales

```

/* =====
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
Matrices de rigidez para armaduras espaciales
===== */
function Ke(n) {
    var Dx,Dy,Dz;
    i=nudo[n][0]-1;
    j=nudo[n][1]-1;
    Dx=X[j]-X[i];
    Dy=Y[j]-Y[i];
    Dz=Z[j]-Z[i];
    L=Math.sqrt(Math.pow(Dx,2)+Math.pow(Dy,2)+Math.pow(Dz,2));
    r=Math.sqrt(EA[n]/L);
    cx=r*Dx/L;
    cy=r*Dy/L;
    cz=r*Dz/L;
    var kk=[
        [cx*cx, cx*cy, cx*cz, -cx*cx, -cx*cy, -cx*cz],
        [cx*cy, cy*cy, cy*cz, -cx*cy, -cy*cy, -cy*cz],
        [cx*cz, cy*cz, cz*cz, -cx*cz, -cy*cz, -cz*cz],
        [-cx*cx, -cx*cy, -cx*cz, cx*cx, cx*cy, cx*cz],
        [-cx*cy, -cy*cy, -cy*cz, cx*cy, cy*cy, cy*cz],
        [-cx*cz, -cy*cz, -cz*cz, cx*cz, cy*cz, cz*cz]
    ];
    return kk;
}

```

- Para Vigas Continuas

```

/* =====
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
Matrices de rigidez para vigas continuas
===== */
function Ke(n) {
    a12=(12*EI[n])/(Math.pow(L[n],3))
    a6=a12*L[n]/2;
    a4=2*a6*L[n]/3;
    a2=a4/2;
    var kk=[
        [ a12,  a6, -a12,  a6],
        [  a6,  a4, -a6,  a2],
        [-a12, -a6,  a12, -a6],
        [  a6,  a2, -a6,  a4]
    ];
    return kk;
}

```

- Para Pórticos Planos

```

/* *****
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
Matrices de rigidez para pórticos planos
***** */
function Ke (n) {
    i=nudo[n][0]-1;
    j=nudo[n][1]-1;
    Dx= X[j] - X[i];
    Dy= Y[j] - Y[i];
    L=Math.sqrt(Math.pow(Dx,2) + Math.pow(Dy,2));
    s=Dy/L;
    c=Dx/L;
    w1 = (EA[n]/L)*c*c+12*EI[n]*s*s/(L*L*L);
    w2 = EA[n]*s*s/L+12*EI[n]*c*c/(L*L*L);
    w3 = (EA[n]/L-12*EI[n]/(L*L*L))*c*s;
    w4 = 6*EI[n]*s/(L*L);
    w5 = 6*EI[n]*c/(L*L);
    var kk=[
        [w1,    w3, -w4, -w1, -w3, -w4],
        [w3,    w2,  w5, -w3, -w2,  w5],
        [-w4,   w5, 4*EI[n]/L, w4, -w5, 2*EI[n]/L],
        [-w1, -w3,  w4,  w1,  w3,  w4],
        [-w3, -w2, -w5, w3,  w2, -w5],
        [-w4,  w5, 2*EI[n]/L, w4, -w5, 4*EI[n]/L]
    ];
    return kk;
}

```

4.2.1. Vector de grados de libertad

```

/* *****
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
grados de libertad
***** */
function calcular(Uxy) {
    var k1 = new Array();
    var t=-1;
    nt=0;
    for (var i=0; i<Uxy.length; i++){
        for (var j=0; j<Uxy[0].length; j++){
            t=t+1;
            if (Uxy[i][j] == 0) {
                nt=nt+1;
                k1[t]=nt;
            }else{
                k1[t]=0;
            }
        }
    }
    return [k1,nt];
}

```

4.3. Segunda Etapa: Aplicación del análisis matricial en casos específicos

Para la selección de casos a ser analizados se tomó en cuenta estructuras de libros de análisis estructural, así como la cantidad de nodos y barras. Cabe aclarar que el simulador no tiene restricciones a la cantidad de número de nodos y barras.

4.3.1. Primera Aplicación: Armadura Plana

En este ejemplo aplicativo se calculó por el método matricial usado el simulador Beli, donde se obtuvo como resultado los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas. Como datos de la armadura plana se propuso la figura 16, con restricciones en los nodos "1" y "7", sometido a cargas puntuales en los nodos "9" y "10". El área de la sección transversal de cada elemento de 0.12m^2 y el módulo de elasticidad del material de los miembros de la estructura es 2000000Tonf/m^2 .

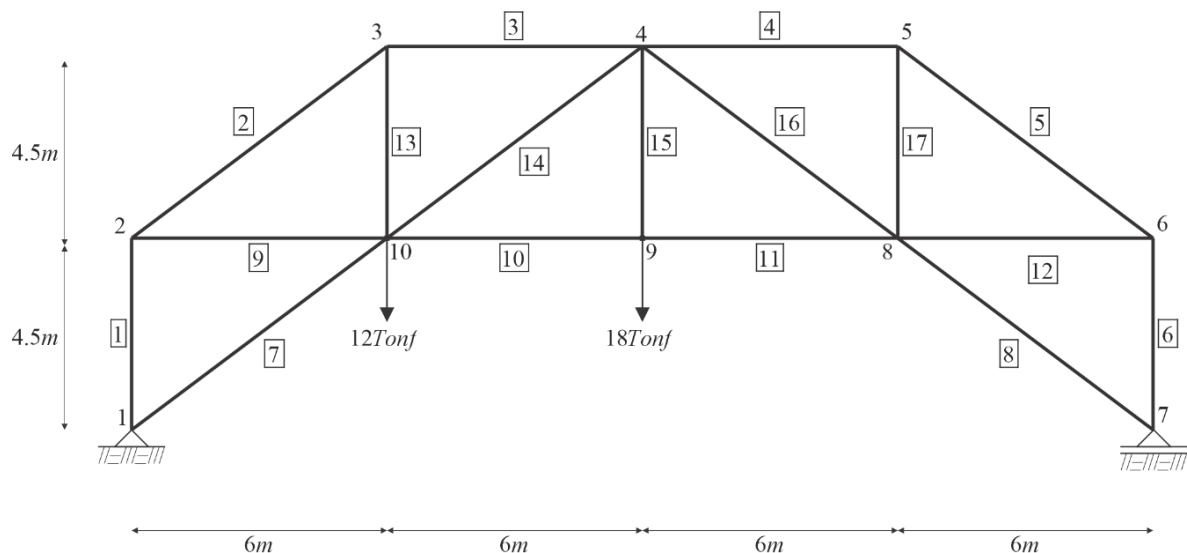


Figura 16. Primer Aplicación Armadura Plana.

Fuente: Propia 2022.

Primera Parte: Proceso de cálculo con el simulador Beli.

El proceso de cálculo para el caso de Armadura Plana, se realiza siguiendo los diagramas de flujo que se muestra en las figuras 14 y 15. El proceso inicia desde la definición del material ingresado el módulo de elasticidad, definición de la sección con un área, ingreso de las coordenadas de los nodos, ubicación de las barras mediante el número de nodo, asignación de restricciones y cargas.

- **Creación del tipo de material.**

Aquí se definió un nuevo material que se denominó como “Acero” tenido como módulo de elasticidad 2000000Tonf/m² y con un peso específico de cerro con la finalidad que no considere el peso propio de la estructura en el análisis como se muestra en la figura 17.

Datos de materiales

Num	Nom. Material	Elasticidad	Peso Especifico
1	Acero	20000000	0
2	Acero_01	2000000	2.4
3	Acero_02	1000000	1.4

Nomb. Material:

Elasticidad:

Pesos Especifico:

Figura 17. Interfaz de ingreso de materiales (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

- **Creación del tipo de sección.**

Aquí se definió una nueva sección con el nombre de “Barra” teniendo como área de la sección de 0.12m² y a esta sección se le asignó el material creado denominado “Acero” como se muestra en la figura 18.

Datos de Secciones

Num	Nomb. Seccion	Area	Material
1	Barra	0.0025	Acero
2	V-1	0.12	Acero
3	C-02	0.12	Acero

Nomb. Seccion:

Area:

Material:

Figura 18. Interfaz de ingreso de secciones (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

- **Nodos.**

Aquí se ingresó la coordenada en cada nodo mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todos los nodos se muestran en una tabla “Datos de nodos”, el

simulador genera de forma automática un grafica de los nodos como se muestra en la figura 19.

Num	X(m)	Y(m)
1	0	0
2	0	4.5
3	6	9
4	12	9
5	18	9
6	24	4.5
7	24	0
8	18	4.5
9	12	4.5
10	6	4.5

Figura 19. Interfaz de ingreso de nodos (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

- **Elementos.**

Los elementos o barras se generan a partir de la ubicación de los nodos, aquí se ingresó las barras mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todas las barras se muestran en una tabla “Datos de Elementos”, el simulador genera de forma automática un grafica de las barras como se muestra en la figura 20.

Num	Ni	Nj	Material
1	1	2	Barra
2	2	3	Barra
3	3	4	Barra
4	4	5	Barra
5	5	6	Barra
6	6	7	Barra
7	1	10	Barra
8	7	8	Barra
9	2	10	Barra
10	10	9	Barra
11	9	8	Barra
12	8	6	Barra
13	10	3	Barra
14	10	4	Barra
15	9	4	Barra
16	8	4	Barra
17	8	5	Barra

Figura 20. Interfaz de ingreso de barras (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las restricciones en los nodos.**

Aquí se ingresó las restricciones en los nodos “1” y “7” mediante la selección de apoyo que se muestra en los botones. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla “Datos restricciones”, el simulador genera de forma automática la gráfica de los nodos con restricciones como se muestra en la figura 21.

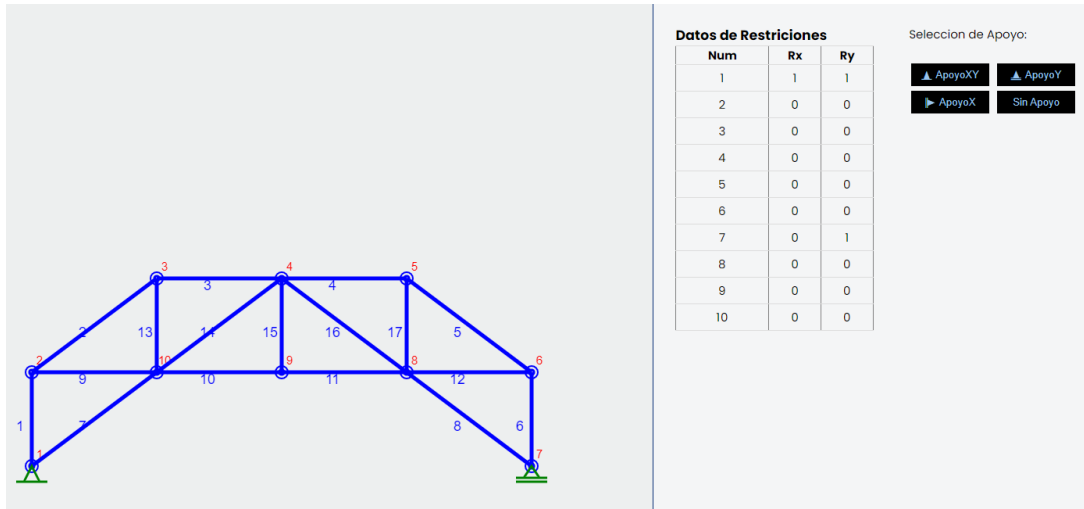


Figura 21. Interfaz de ingreso de restricciones (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las fuerzas en los nodos.**

La asignación de fuerzas en los nodos “9” y “10” mediante el cuadro de texto de fuerzas y el botón añadir. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de “Fuerzas Aplicadas”, el simulador genera de forma automática un grafica de los nodos como se muestra en la figura 22.

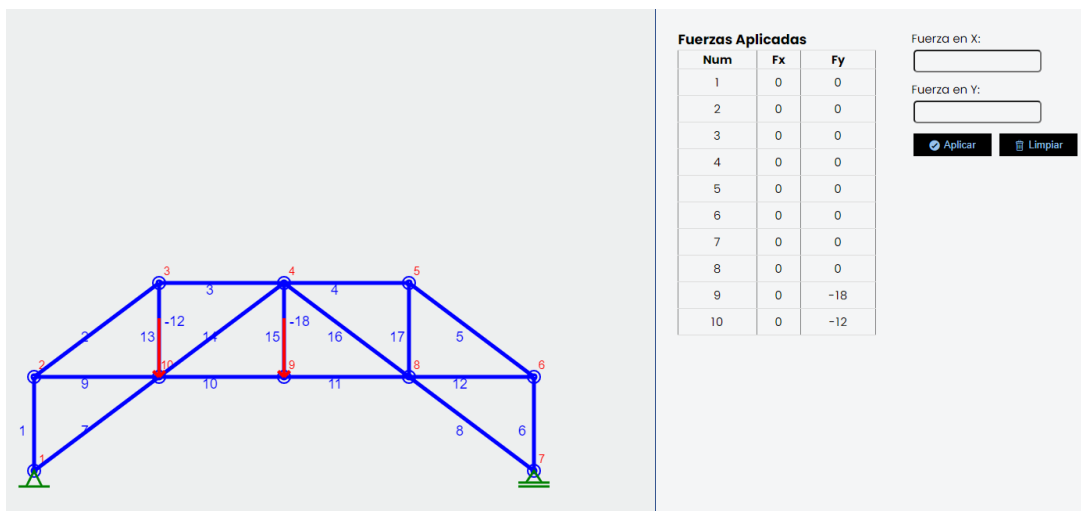


Figura 22. Interfaz de ingreso de Fuerzas (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

- **Ejecución del cálculo matricial y resultados.**

Al ejecutar el cálculo, el simulador Beli internamente procederá la creación de matrices de rigidez y vectores de fuerzas, dando como resultado desplazamientos en los nodos, reacciones en los apoyos y las fuerzas internas en cada barra. Al finalizar el simulador genera tabla de resultados de desplazamientos, reacciones, y fuerzas internas. El simulador genera de forma automática una gráfica de las deformaciones de la estructura como se muestra en la figura 23.

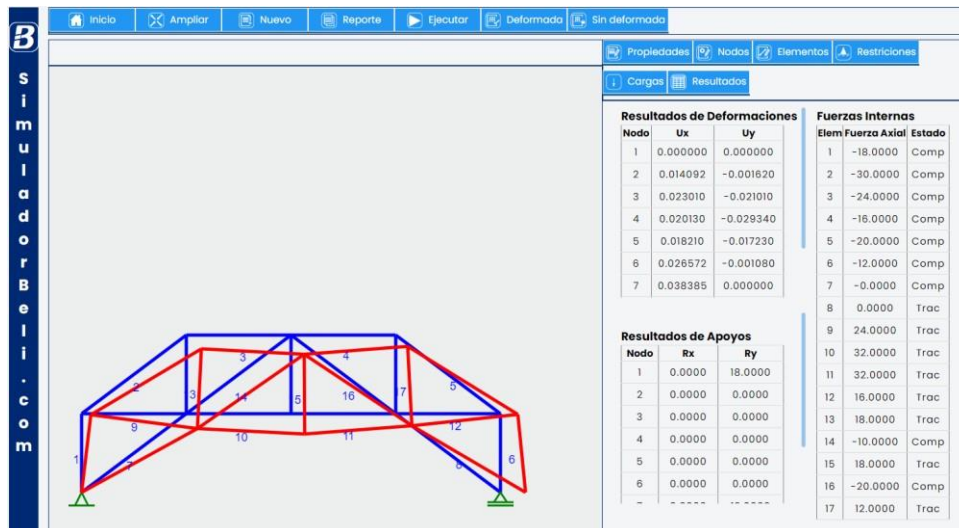


Figura 23. Interfaz de salida de resultados (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

Segunda Parte: Proceso de cálculo con Sap2000 v20.

Análisis estructural de la armadura plana con el software comercial SAP2000. Para se utilizó los mismos datos de la aplicación 1, dado como resultado la figura 24.

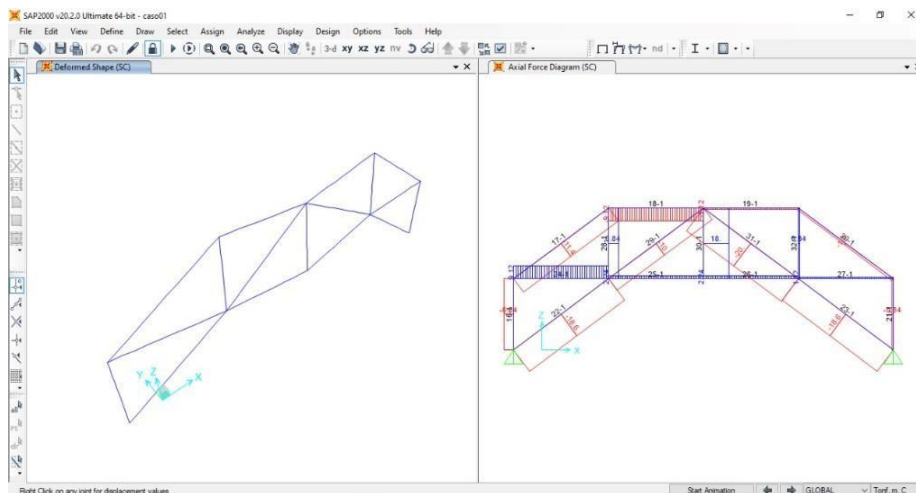


Figura 24: Simulación de la armadura mediante (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

Tercera Parte: Comparación de cálculos obtenidos entre el simulador Beli y SAP2000

Con la finalidad de validar la herramienta “Simulador Beli” para el caso de Armaduras Planas se plantea la comparación de desplazamientos, reacciones y esfuerzos internos con el software SAP2000, obtenido como resultado las tablas 7, 8, y 9.

- **Desplazamientos**

Tabla 7. Desplazamientos Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 1)

Nodo	Desplazamientos [m]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [m]
1	X	0	0	0
	Y	0	0	0
2	X	0.014092	0.014093	1E-06
	Y	-0.00162	-0.00162	0
3	X	0.02301	0.02301	0
	Y	-0.02101	-0.02101	0
4	X	0.02013	0.02013	0
	Y	-0.02934	-0.02934	0
5	X	0.01821	0.01821	0
	Y	-0.01723	-0.01723	0
6	X	0.026572	0.026573	1E-06
	Y	-0.00108	-0.00108	0
7	X	0.038385	0.038385	0
	Y	0	0	0
8	X	0.024652	0.024653	1E-06
	Y	-0.01831	-0.01831	0
9	X	0.020812	0.020813	1E-06
	Y	-0.03096	-0.03096	0
10	X	0.016972	0.016973	1E-06
	Y	-0.02263	-0.02263	0

Fuente: Propia, 2022

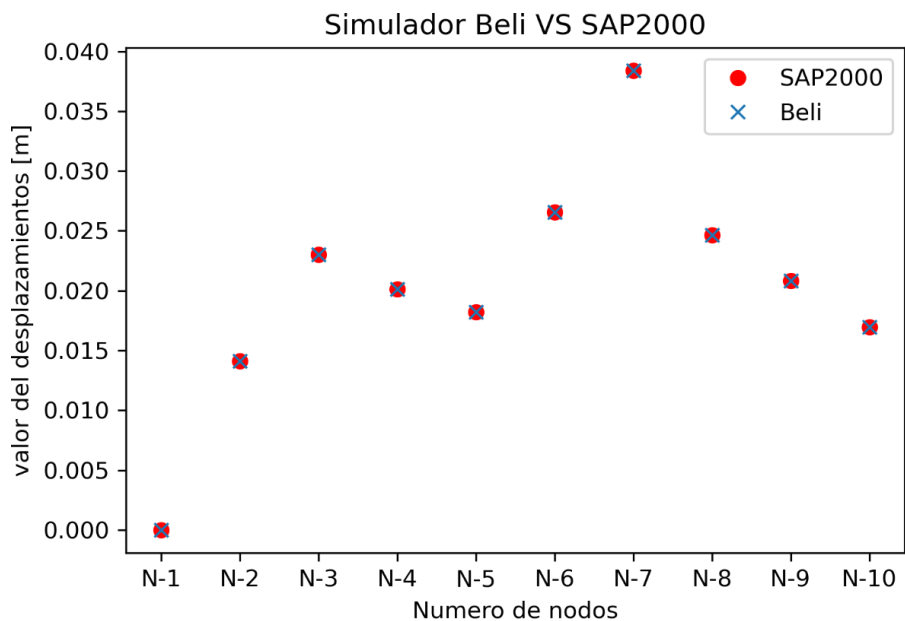


Figura 25. Simulador Beli vs SAP2000, Desplazamientos en X (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

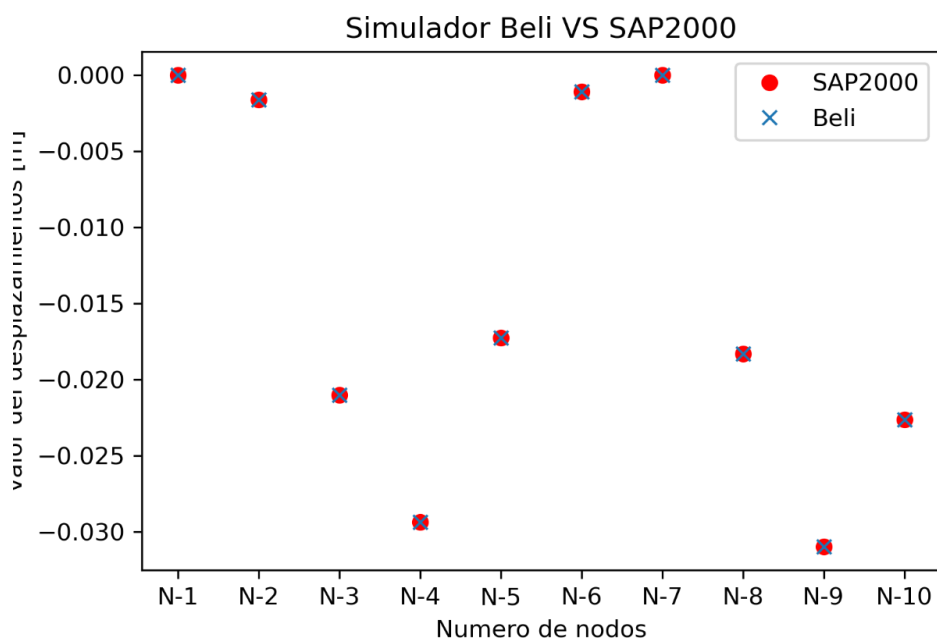


Figura 26. Simulador Beli vs SAP2000, Desplazamientos en Y (Aplicación 1).
Fuente: Propia 2022.

De la Tabla 7 y las figuras 25 y 26 se muestra una mínima variación (millonésima) en X de $1E-0.6m$ y en Y de $1E-0.6m$, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene los mismos valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

- **Fuerzas en los apoyos**

Tabla 8. *Reacciones Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 1).*

Nodo	Reacciones [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [Tonf]
1	X	0	0	0
	Y	18	18	0
7	X	0	0	0
	Y	12	12	0

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 8 no existe variación alguna la reacciones en dirección en X ni en Y, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene los mismos valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

- **Fuerzas internas en los elementos**

Tabla 9. *Fuerza Axial Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 1)*

Barra	Fuerza Axial [Tonf]		
	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [Tonf]
1	-18	-18	0
2	-30	-30	0
3	-24	-24	0
4	-16	-16	0
5	-20	-20	0
6	-12	-12	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	24	24	0
10	32	32	0
11	32	32	0
12	16	16	0
13	18	18	0
14	-10	-10	0
15	18	18	0
16	-20	-20	0
17	12	12	0

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 9 no existe variación alguna en los esfuerzos internos de cada Barras, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene los mismos valores, por lo tanto, se puede usar cualquiera de los dos.

4.3.2. Segunda Aplicación: Armadura Espacial

En este ejemplo aplicativo se calculó por el método matricial usado el simulador Beli, donde se obtuvo como resultado los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas. Como datos de la armadura espacial se propuso la figura 27, con restricciones en los nodos de la base, sometido a cargas puntuales en sentido de la gravedad en los nodos "5" y "6" con un valor de 4Tonf. El módulo de elasticidad del material de los miembros de la estructura es 141000Tonf/m², el área de cada barra son las siguientes:

Barra	Área
1,2,3,4,5,6	900 cm ²
7	400 cm ²

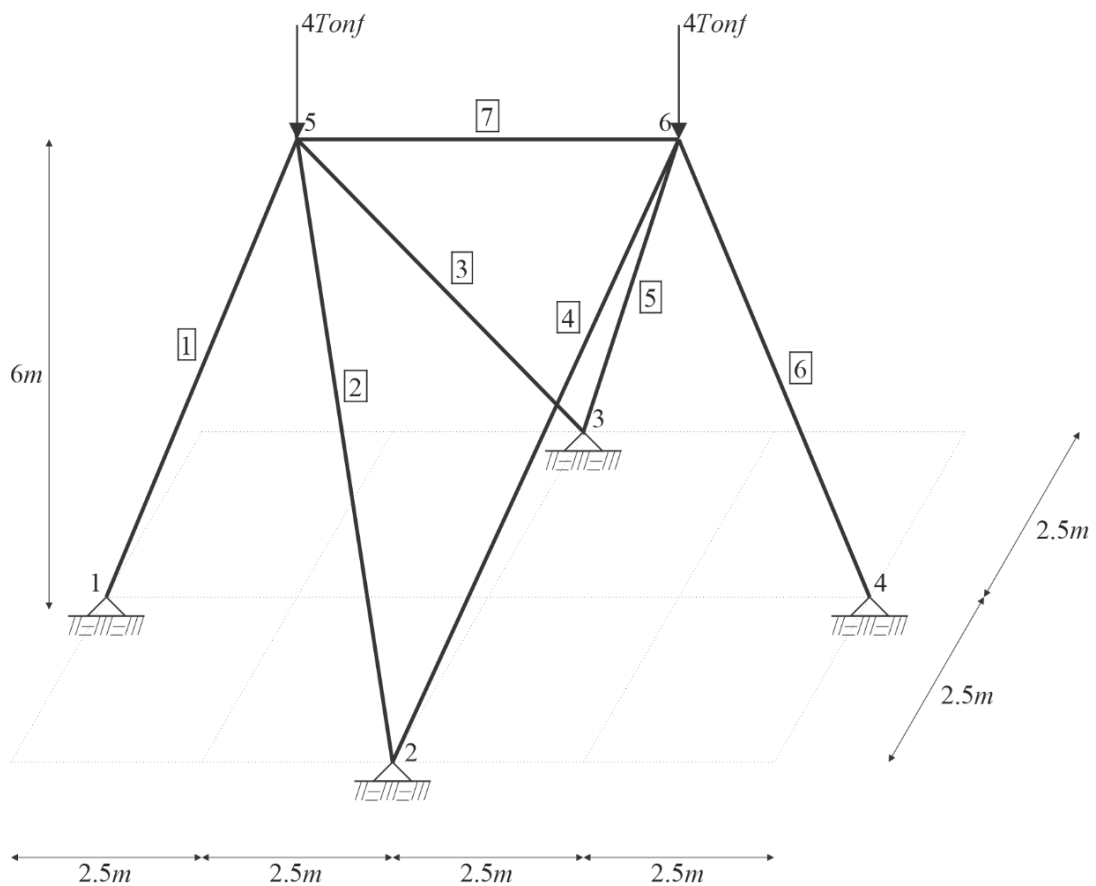


Figura 27. Segunda Aplicación Armadura Espacial.
Fuente: Propia 2022.

Primera Parte: Proceso de cálculo con el simulador Beli.

El proceso de cálculo para el caso de Armadura Espaciales, se realiza siguiendo los diagramas de flujo que se muestra en las figuras 14 y 15. El proceso inicia desde

la definición del material ingresado el módulo de elasticidad, definición de la sección con un área, ingreso de las coordenadas de los nodos, ubicación de las barras mediante el número de nodo, asignación de restricciones y cargas.

- **Creación del tipo de material.**

Aquí se definió un nuevo material que se denominó como “Acero” teniendo como módulo de elasticidad 141000Tonf/m² y con un peso específico de cero con la finalidad que no considere el peso propio de la estructura en el análisis como se muestra en la figura 28.

Datos de materiales

Num	Nom. Material	Elasticidad	Pesos Especific
1	Acero	141000	0
2	Acero_01	2000000	2.4
3	Acero_02	1000000	1.4

Nomb. Material:

Elasticidad:

Pesos Especifico:

Figura 28. Interfaz de ingreso de materiales (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

- **Creación del tipo de sección.**

Aquí se definió dos nuevos tipos de barras “Barra01” y “Barra02” con un área de 0.09m² y 0.04m² respectivamente. como material de ambas secciones se le asigno el material creado denominado “Acero” como se muestra en la figura 29.

Datos de Secciones

Num	Nomb. Seccion	Area	Material
1	Barra01	0.09	Acero
2	Barra02	0.04	Acero
3	Barra4	4000	Acero
4	Barra5	5000	Acero

Nomb. Seccion:

Area:

Material:

Figura 29. Interfaz de ingreso de secciones (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

- **Nodos.**

La creación de los nodos se realiza por el ingreso de coordenadas en X, Y también Z. Cada nodo mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todos los nodos se muestran en una tabla de nodos, el simulador genera de forma automática un grafica de los nodos como se muestra en la figura 30.

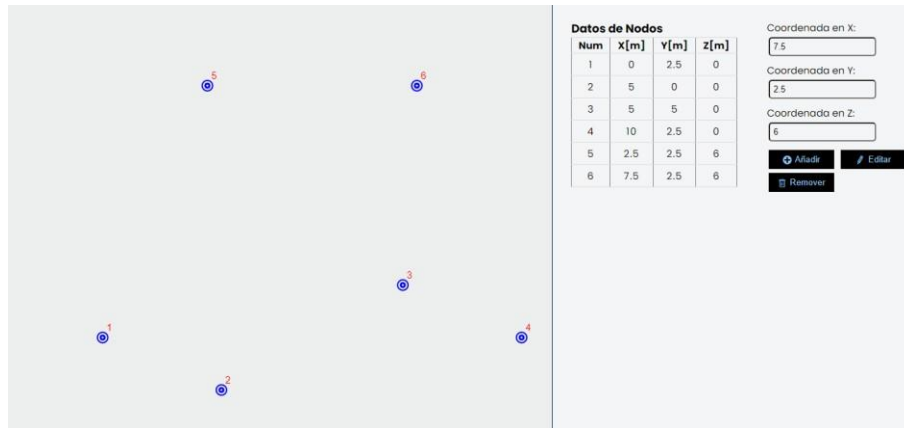


Figura 30. Interfaz de ingreso de nodos (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

- **Elementos.**

Los elementos se generan a partir de la ubicación de los nodos, solo basta indicar en que nodo inicie y termine la barra. El ingreso de las barras mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todas las barras se muestran en una tabla “Datos de elementos”, el simulador genera de forma automática una gráfica de las barras como se muestra en la figura 31.

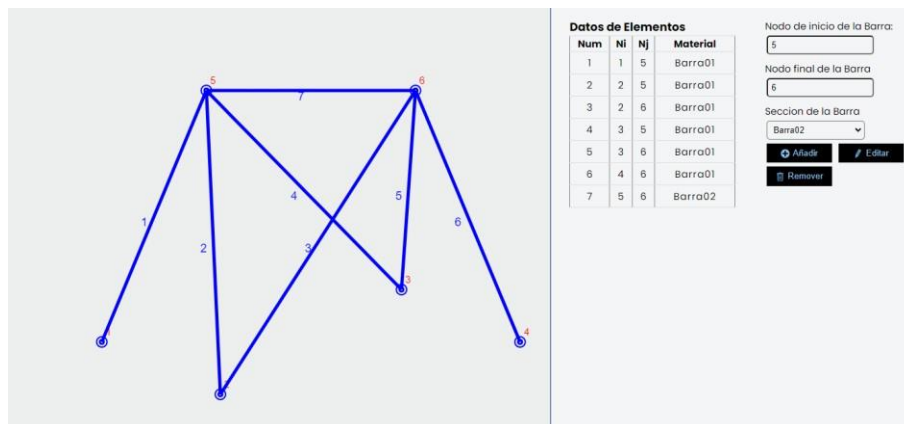


Figura 31. Interfaz de ingreso de barras (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las restricciones en los nodos.**

Aquí se le asigno las restricciones en los nodos inferiores “1”, “2”, “3” y “4”, mediante la selección de apoyo que se muestra en los botones. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de restricciones, el simulador genera de forma automática una gráfica de los nodos como se muestra en la figura 32.

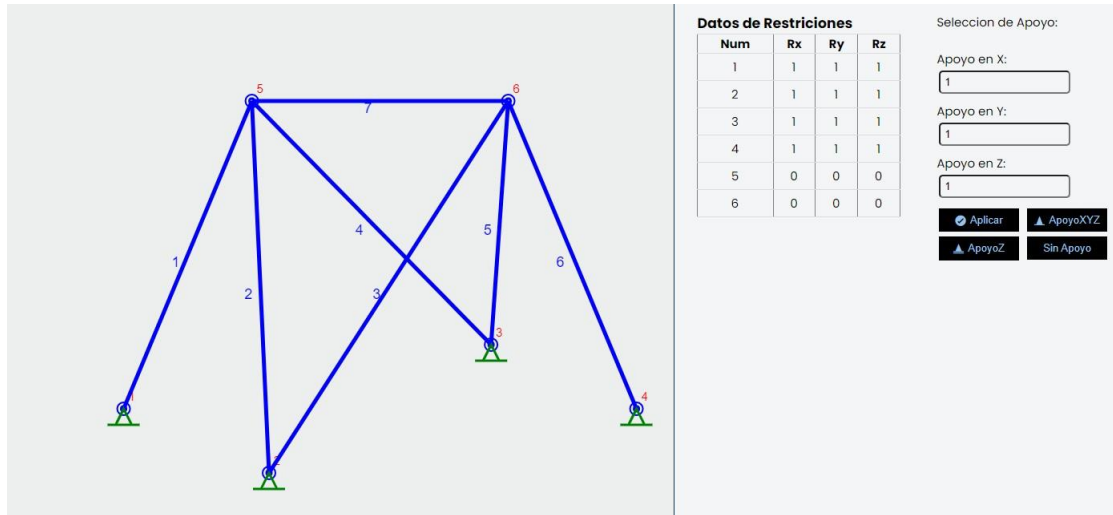


Figura 32. Interfaz de ingreso de restricciones (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las fuerzas en los nodos.**

Aquí se ingresó las fuerzas en los nodos superiores “5” y “6” con un valor de 4Tonf en cada uno de los nodos, con dirección a la gravedad. Mediante el cuadro de texto de fuerzas y el botón añadir. la figura 33.

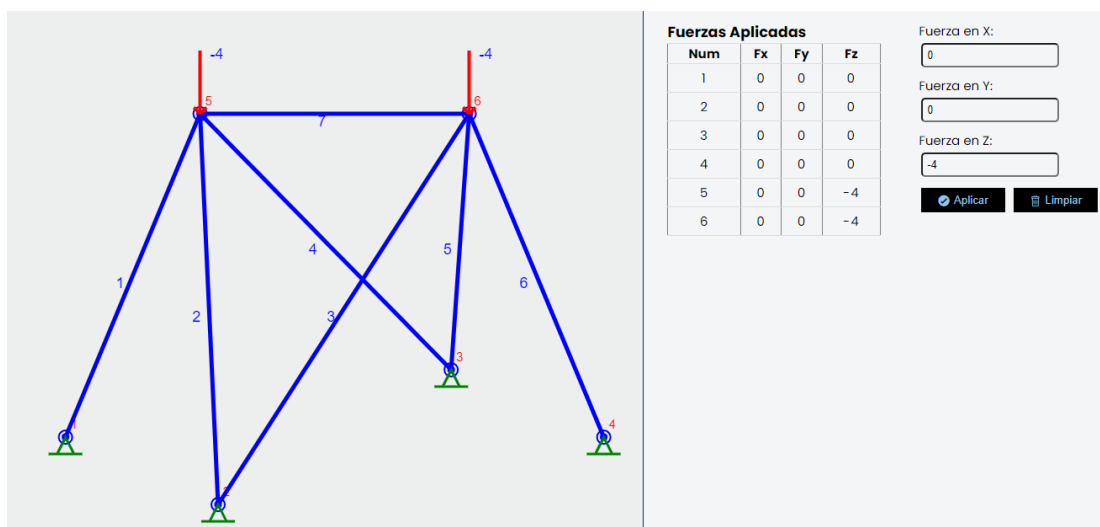


Figura 33. Interfaz de ingreso de Fuerzas (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

- **Ejecución del cálculo matricial y resultados.**

Al ejecutar cálculo, el simulador Beli internamente procederá la creación de matrices de rigidez y vectores de fuerzas, dando como resultado desplazamientos en los nodos, reacciones en los apoyos y esfuerzo internos de cada barra, como se aprecia en la figura 34.

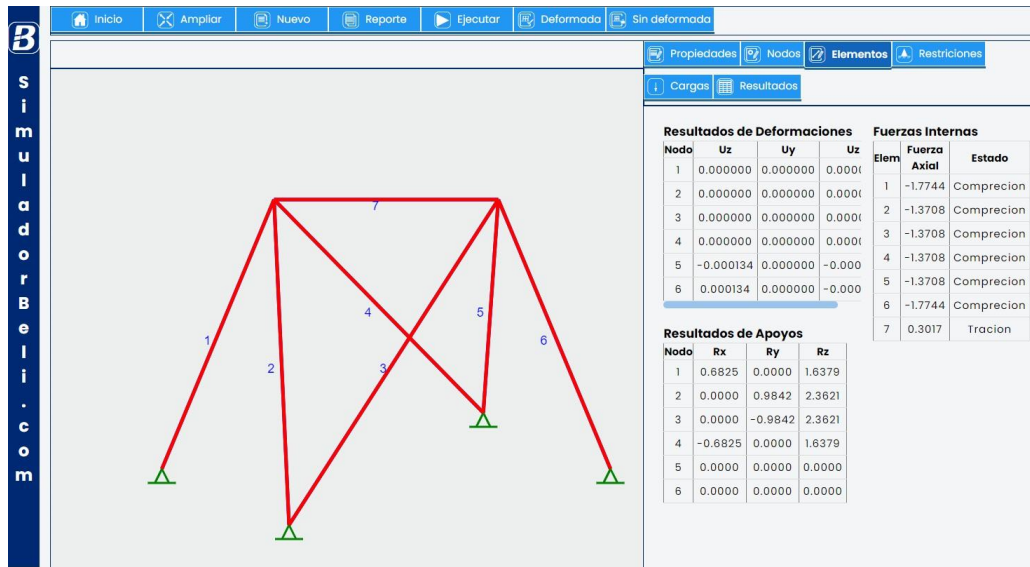


Figura 34. Interfaz de salida de resultados (Aplicación 2).

Fuente: Propia 2022.

Segunda Parte: Proceso de cálculo con Sap2000 v20.

Análisis estructural de la armadura espacial con el software comercial SAP2000.

Para se utilizó los mismos datos del ejemplo, dado como resultado la figura 35.

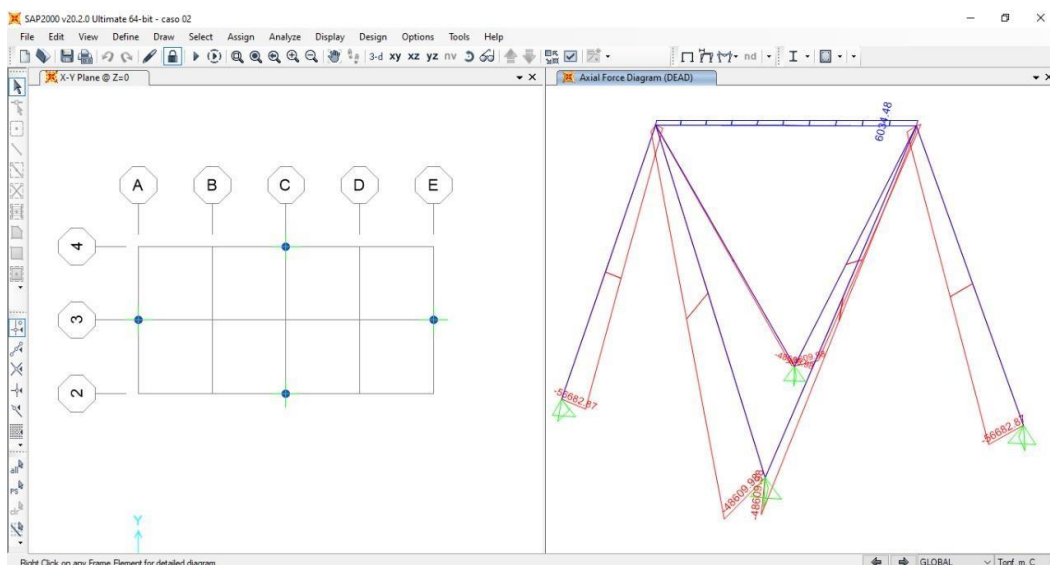


Figura 35. Simulación de la armadura mediante SAP2000 (Aplicación 2).

Fuente: Propia 2022.

Tercera Parte: Comparación de cálculos obtenidos entre el simulador Beli y SAP2000

Finalmente se validada los resultados brindados por el simulador Beli en Armaduras espaciales, al medir la variación de resultados con SAP2000, para lo cual se compara los desplazamientos, reacciones y esfuerzos internos.

- **Desplazamientos**

Tabla 10. Desplazamientos Simulador Beli vs SAP2000 (Aplicación 2)

Nodo	Desplazamientos [m]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [m]
5	X	-0.000134	-0.000134	0
	Y	0	0	0
	Z	-0.000929	-0.000929	0
6	X	0.000134	0.000134	0
	Y	0	0	0
	Z	-0.000929	-0.000929	0

Fuente: Propia, 2022

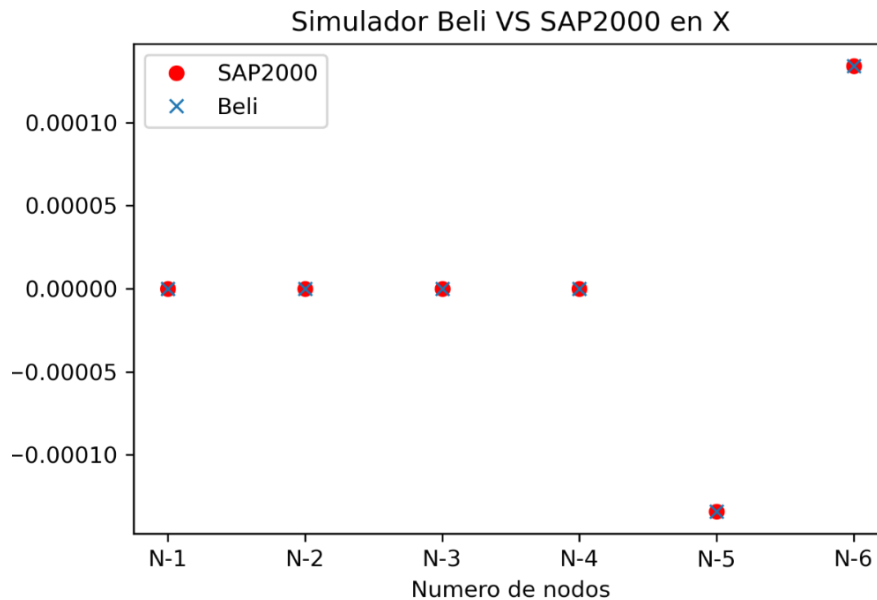


Figura 36. Simulador Beli vs SAP2000, Desplazamientos en X (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

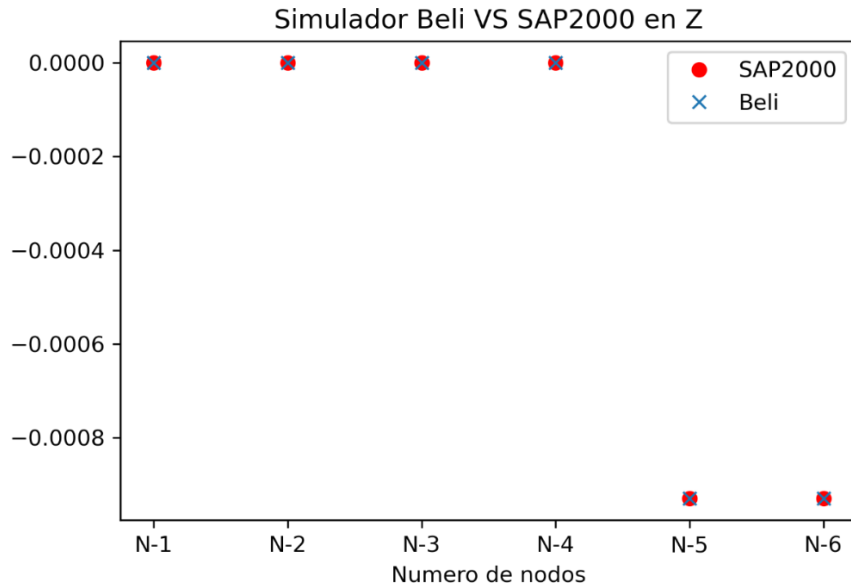


Figura 37. Simulador Beli vs SAP2000, Desplazamientos en Z (Aplicación 2).
Fuente: Propia 2022.

De la Tabla 10 y las figuras 36 y 37 no se muestra cambio alguno en los desplazamientos, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene los mismos valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

- **Fuerzas en los apoyos**

Tabla 11. Reacciones Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 2)

Nodo	Reacciones [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [Tonf]
1	X	0.6825	0.6825	0
	Y	0	0	0
	Z	1.6379	1.6379	0
2	X	0	1.11E-16	1.11E-16
	Y	0	0	0
	Z	2.3621	2.3621	0
3	X	0	1.11E-16	1.11E-16
	Y	2.3621	2.3621	0
	Z	0.9842	0.9842	0
4	X	-0.6825	-0.6825	0
	Y	1.6379	1.6379	0
	Z	0	0	0

Fuente: Propia, 2022

En la Tabla 11 prácticamente no variación alguna ya que error absoluto es extremadamente pequeño ($1.11E-16$). Lo que implica que para los cálculos de reacciones se usa SAP2000 y el Beli.

- **Fuerzas internas en los elementos**

Tabla 12. *Fuerza Axial Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 2)*

Barra	Fuerza Axial [Tonf]		
	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [Tonf]
1	-1.7744	-1.7744	0
2	-1.3708	-1.3708	0
3	-1.3708	-1.3708	0
4	-1.3708	-1.3708	0
5	-1.3708	-1.3708	0
6	-1.7744	-1.7744	0
7	0.3017	0.3017	0

Fuente: Propia, 2022

En la tabla 11 análogamente a lo comentado en la tabla 9 y 10 no existe variación significativa por lo que se llega a concluir que usando SAP2000 o Beli se obtiene los mismos resultados.

4.3.3. Tercera Aplicación: Viga continua

En este ejemplo aplicativo se calculó por el método matricial usado el simulador Beli, donde se obtuvo como resultado los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas. Como datos de la viga continua se propuso la figura 38, con restricciones en los nodos “1”, “2”, “4”, “6” y “7”, sometido a cargas puntuales de 10Tonf en los nodos “3” y “5”. Con carga distribuida en las barras “1” y “6”. El momento de inercia de la viga es de 0.0054m^4 para los tramos “2”, “3”, “4” y “5”. En los tramos exterior se tiene un momento de inercia de 0.0020833m^4 y con un módulo de elasticidad del material de $1580000\text{Tonf}/\text{m}^2$.

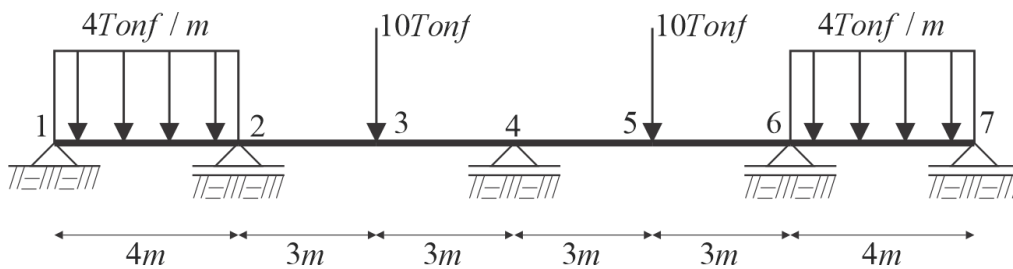


Figura 38. Tercera Aplicación Armadura Plana.

Fuente: Propia 2022.

Primera Parte: Proceso de cálculo con el simulador Beli

El proceso de cálculo aplicado a vigas continuas, se inicia con el ingreso de datos de cada tramo de la viga, seguidamente las asignaciones de restricciones y cargas.

- Creación del tipo de material

Aquí se creó un nuevo material que se denominó como “Material” tenido como módulo de elasticidad $1580000\text{Tonf}/\text{m}^2$ y con un peso específico de cero con la finalidad que no considere el peso propio de la viga para el análisis como se muestra en la figura 39.

Datos de materiales			
Num	Nom. Material	Elasticidad [Tonf/m ²]	Pesos Especifico [Tonf/m ³]
1	Material	1580000	0
2	fc280	2000000	2.4
3	Acero	1000000	1.4

Nomb. Material:

Elasticidad:

Pesos Especifico:

Figura 39. Interfaz de ingreso de materiales (Aplicación 3).

Fuente: Propia 2022.

- **Creación del tipo de sección.**

Aquí se definió dos nuevas secciones con los nombres de “V20x50” y “V30x60” teniendo como momento de inercia 0.002833m^4 y 0.0054m^4 respectivamente. a esta sección se le asigno el material antes creado denominado “concreto” como se muestra en la figura 40.

Datos de Secciones				
Num	Nomb. Seccion	Inercia [m4]	Area [m2]	Materi
1	V30x60	0.0054	0	Materi
2	V20x50	0.0020833	0	Materi
3	C-02	0.12	0	Acerc

Nomb. Seccion:

Inercia:

Area:

Material:

Figura 40. Interfaz de ingreso de secciones (Aplicación 3).
Fuente: Propia 2022.

- **Tramos de la viga.**

A diferencia de las aplicaciones en armaduras, en vigas se ingresa la longitud de cada tramo. Teniendo en cuenta que la figura 38, y las distancias respectivas como se muestra la figura 41. Todo esto mediante un cuadro de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados.

Datos de Tramos		
Num	Longitud [m]	Sección
1	4	V20x50
2	3	V30x60
3	3	V30x60
4	3	V30x60
5	3	V30x60
6	4	V20x50

Longitud de Cada tramo:

Sección de la Barra:

Figura 41. Interfaz de ingreso de barras (Aplicación 3).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las restricciones en los nodos.**

Aquí se ingresó las restricciones en los nodos “1”, “2”, “4”, “5”, “6” y “7” mediante la selección de apoyo que se muestra en los botones. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de restricciones, el simulador genera de forma automática en una gráfica de los nodos como se muestra en la figura 42.

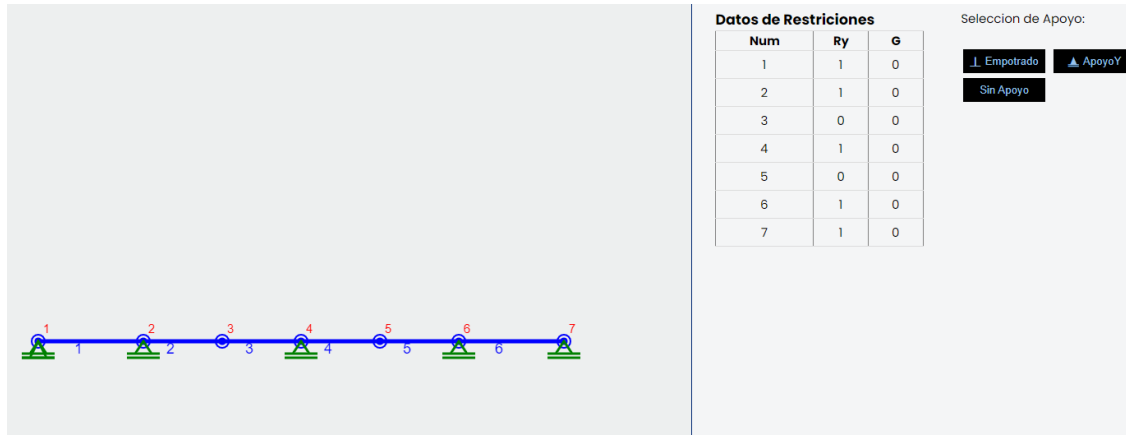


Figura 42. Interfaz de ingreso de restricciones (Aplicación 3).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de cargas en nodos y elementos.**

Según la figura 38, se presenta dos cargas puntuales y dos cargas distribuidas con un valor de 10Tonf y -4Tonf/m en dirección Y negativo respectivamente. Donde las cargas puntuales están aplicadas en los nodos “3” y “5”. En los tramos 1 y 6 se carga con la carga distribuida como se muestra en la figura 43.

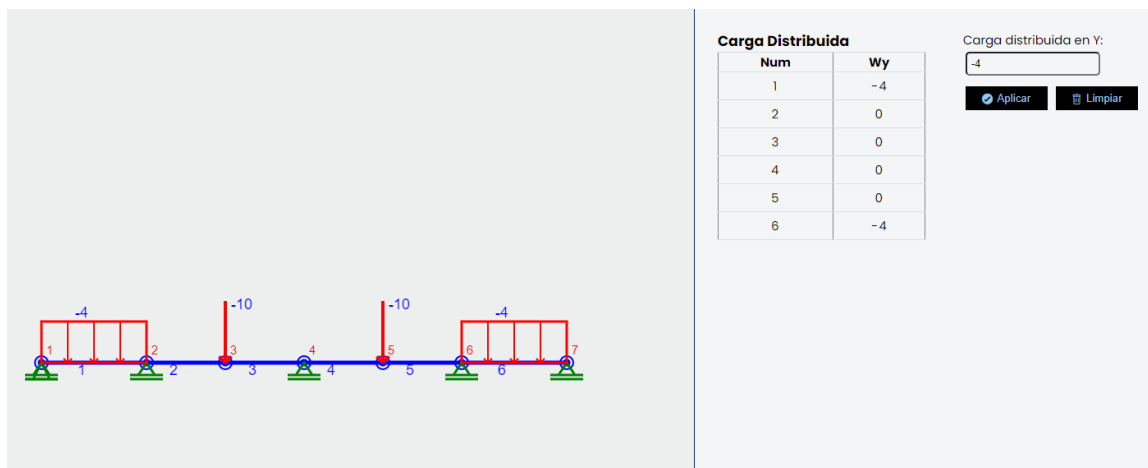


Figura 43. Interfaz de ingreso de Fuerzas (Aplicación 3).
Fuente: Propia 2022.

- **Ejecución del cálculo matricial y resultados.**

Al ejecutar el proceso de cálculo internamente el simulador inicia con la creación de las matrices de rigidez de cada subdivisión de la viga, dando como resultado desplazamientos en los nodos, reacciones en los apoyos y fuerza cortante y momento flecto en los extremos de cada tramo de la viga. Al finalizar el simulador se genera la tabla de resultados como se muestra en la figura 44.

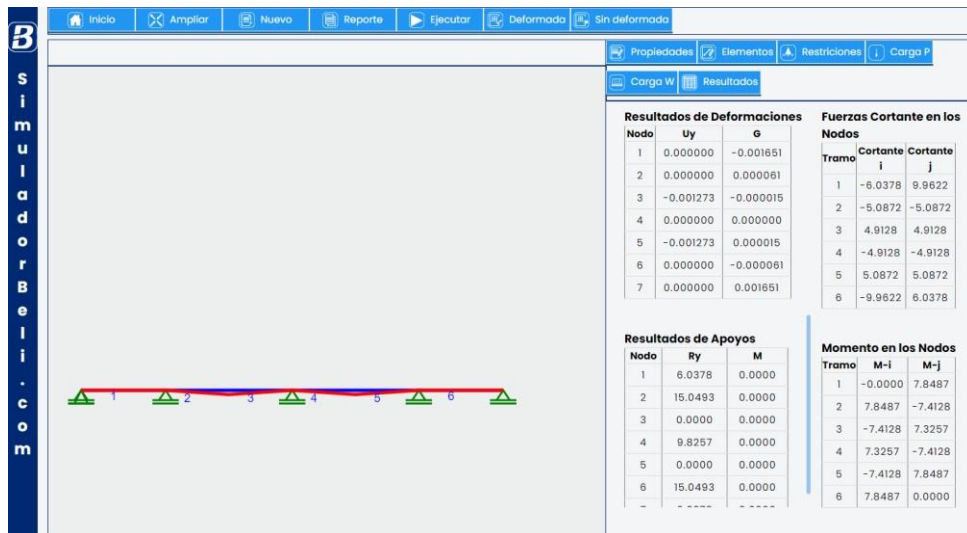


Figura 44. Interfaz de salida de resultados (Aplicación 3).

Fuente: Propia 2022.

Segunda Parte: Proceso de cálculo con SAP2000 v20.

Análisis estructural de la viga continua con el software comercial SAP2000. Para se utilizó los mismos datos de la aplicación 3, dado como resultado la figura 45.

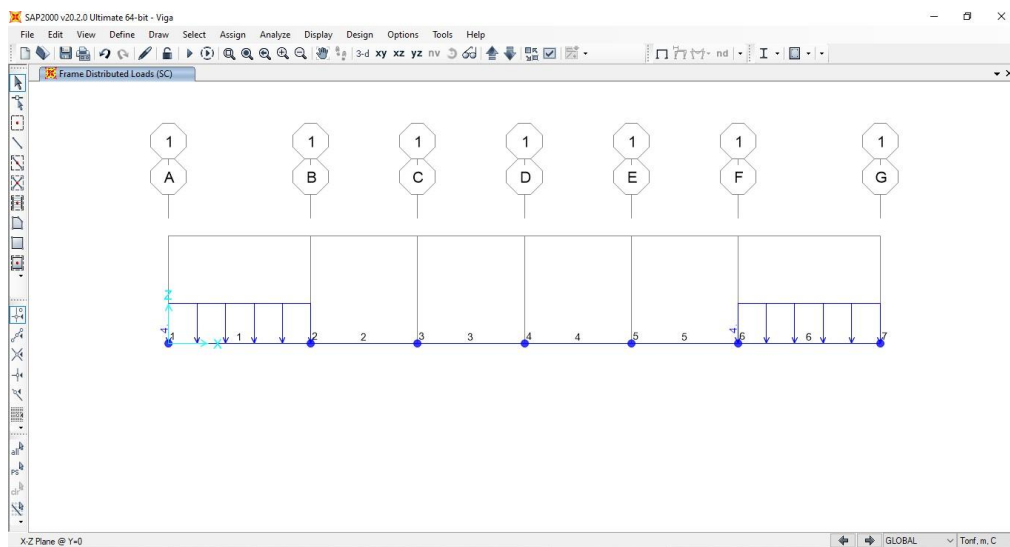


Figura 45. Simulación de la armadura mediante (Aplicación 3).

Fuente: Propia 2022.

Tercera Parte: Comparación de cálculos obtenidos entre el simulador Beli y SAP2000

Con la finalidad de validar la herramienta “Simulador Beli” para el caso de vigas continuas se plantea la comparación de desplazamientos, reacciones y esfuerzos internos con el software SAP2000, obtenido como resultado las tablas 13, 14, 15, 16 y 17.

- **Desplazamientos**

Tabla 13. Desplazamientos Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 3)

Nodo	Desplazamientos [m]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [m]
3	Y	-0.001273	-0.001432	0.000159
5	Y	-0.001273	-0.001432	0.000159

Fuente: Propia, 2022

Tabla 14. Giro Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 3)

Nodo	Giro [rad]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [rad]
1	Z	-0.001651	0.001699	0.00335
2	Z	0.000061	-5.1E-05	0.000112
3	Z	-0.000015	0.000012	0.000027
4	Z	0	2.81E-19	2.81E-19
5	Z	0.000015	-1.2E-05	0.000027
6	Z	-0.000061	0.000051	0.000112
7	Z	0.001651	-0.0017	0.00335

Fuente: Propia, 2022

De las Tabla 13 y 14 se presenta un error absoluto máximo de 0.000159m en el desplazamiento en Y, también un 0.00335rad de giro máximo. Se variación en milésimas, lo cual nos lleva a decir que utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene valores similares en los desplazamientos de vigas.

- **Fuerzas en los apoyos**

Tabla 15. *Reacciones Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 3).*

Nodo	Reacciones [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [Tonf]
1	Y	6.0378	6.0536	0.0158
2	Y	15.0493	15.0174	0.0319
4	Y	9.8257	9.8582	0.0325
6	Y	15.0493	15.0174	0.0319
7	Y	6.0378	6.0536	0.0158

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 15, se observa una variación máxima de 0.0319Tonf que estaría en el orden de las centésima.

- **Fuerza Constante**

Tabla 16. *Fuerzas Cortante Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 3)*

Tramo	Cortante [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [Tonf]
1	V-i	-6.0378	-6.0536	0.0158
	V-f	9.9622	9.9464	0.0158
2	V-i	-5.0872	-5.0709	0.0163
	V-f	-5.0872	-5.0709	0.0163
3	V-i	4.9128	4.9291	0.0163
	V-f	4.9128	4.9291	0.0163
4	V-i	-4.9128	-4.9291	0.0163
	V-f	-4.9128	-4.9291	0.0163
5	V-i	5.0872	5.0709	0.0163
	V-f	5.0872	5.0709	0.0163
6	V-i	-9.9622	-9.9464	0.0158
	V-f	6.0378	6.0536	0.0158

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 16 existe en los signos de los datos esto es debió a que SAP2000 tiene una distinta convención de signos, por lo que para obtener el

error absoluto se tiene que cambiar de signo, Aun así, se aprecia una variación máxima de 0.0163Tonf.

- **Momento Flector**

Tabla 17. *Momento flector Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 3)*

Tramo	Momento [Tonf*m]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [Tonf*m]
1	M-i	0	-2.64E-16	2.64E-16
	M-f	7.8487	-7.78573	0.06297
2	M-i	7.8487	-7.78573	0.06297
	M-f	-7.4128	7.42703	0.01423
3	M-i	-7.4128	7.42703	0.01423
	M-f	7.3257	-7.3602	0.0345
4	M-i	7.3257	-7.3602	0.0345
	M-f	-7.4128	7.42703	0.01423
5	M-i	-7.4128	7.42703	0.01423
	M-f	7.8487	-7.78573	0.06297
6	M-i	7.8487	-7.78573	0.06297
	M-f	0	6.217E-15	6.22E-15

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 17 se presentar variación entre los resultados dando como máxima variación de 0.06297Tonf*m.

4.3.4. Cuarta Aplicación: Pórtico Plano

En este ejemplo aplicativo se calculó por el método matricial usado el simulador Beli, donde se obtuvo como resultado los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas. Como datos del pórtico plano se propusieron en la figura 46, con restricciones de empotramiento en la base, sometido a dos cargas puntuales en los nodos "2" y "3" de 9Tonf y 16Tonf respectivamente. Como datos se tiene que el módulo de elasticidad de $1.58 \cdot 10^6$ Tonf/m², características de las vigas es la siguiente sección 30x45cm, de la columna 30x80cm

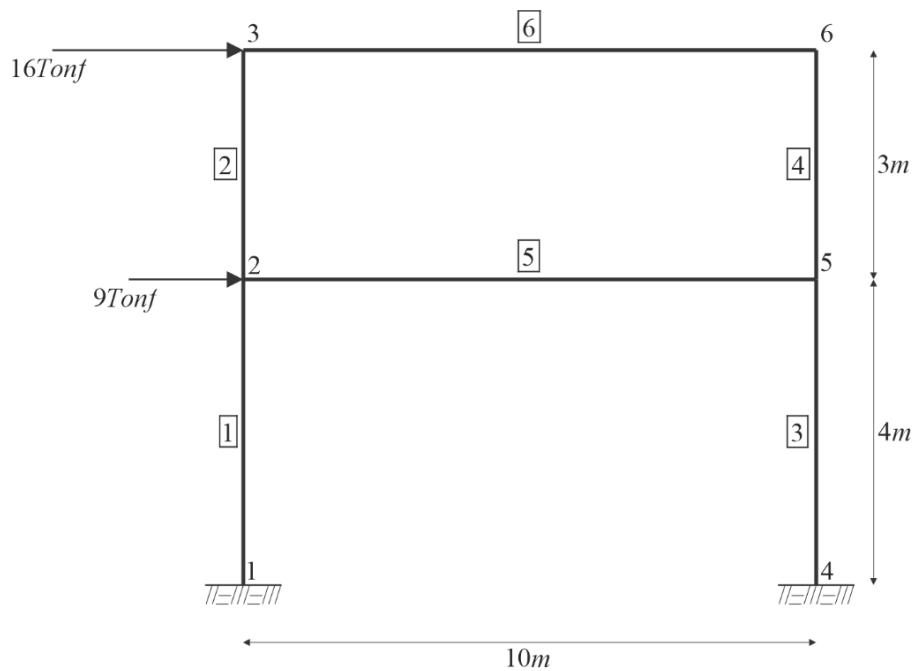


Figura 46. Cuarta Aplicación Pórtico Plano.
Fuente: Propia 2022.

Primera Parte: Proceso de cálculo con el simulador Beli.

El proceso de cálculo para el caso de pórticos planos, se realiza siguiendo los diagramas de flujo que se muestra en las figuras 14 y 15. El proceso inicia desde la definición del material ingresado el módulo de elasticidad, definición de la sección con un área, ingreso de las coordenadas de los nodos, ubicación de las barras mediante el número de nodo, asignación de restricciones y cargas.

- **Creación del tipo de material.**

Aquí se creó un nuevo material que se denominó como "Material" tenido como módulo de elasticidad 1580000 Tonf/m² y con un peso específico de cero con la

finalidad de despreciar el peso propio de la estructura en el análisis como se muestra en la figura 47.

Num	Nom. Material	Elasticidad [Tonf/m2]	Pesos Especifico [Tonf/m3]
1	Material	1580000	0

Figura 47. Interfaz de ingreso de materiales (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

- **Creación del tipo de sección.**

Creación de dos nuevas secciones con los nombres “C30x45” y “V30x80” teniendo como área de 0.135m² y 0.24 m² respectivamente, esta sección se le asigno el material creado denominado “Material” como se muestra en la figura 48.

Num	Nom. Sección	Area [m2]	Inercia [m4]	Material
1	C30x45	0.135	0.0022781	Material
2	V30x80	0.24	0.0128	Material
3	C-02	0.02	0.005	fc210

Figura 48. Interfaz de ingreso de secciones (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

- **Nodos.**

Aquí se ingresó la coordenada en cada nodo mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todos los nodos se muestran en una tabla de nodos, el simulador genera de forma automática una gráfica de los nodos como se muestra en la figura 49.

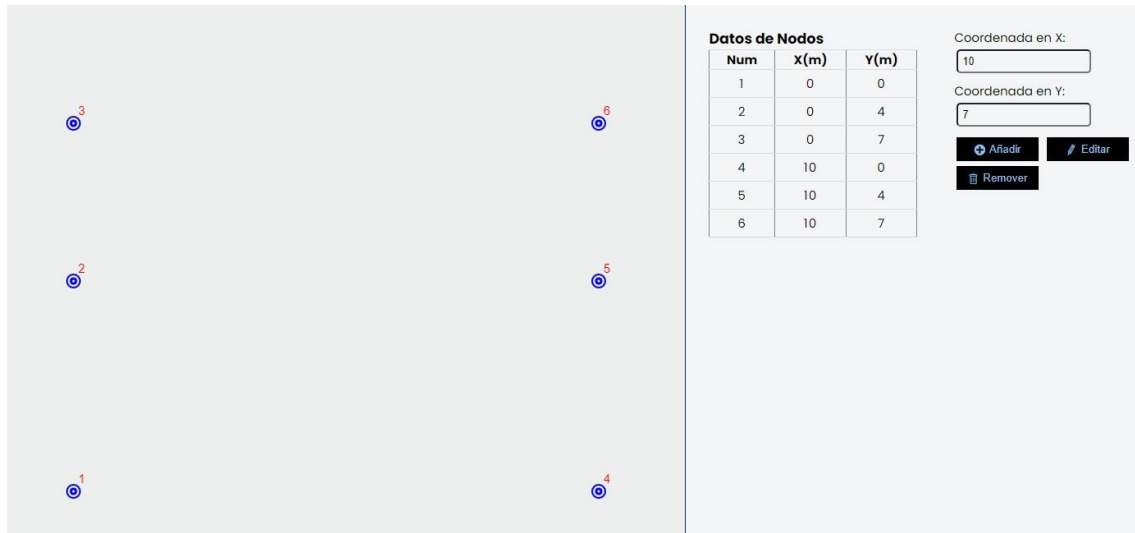


Figura 49. Interfaz de ingreso de nodos (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

- **Elementos.**

Los elementos se generan a partir de la ubicación de los nodos, aquí se ingresó las barras mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todas las barras se muestran en una tabla de barras, el simulador genera de forma automática un grafica de las barras como se muestra en la figura 50.

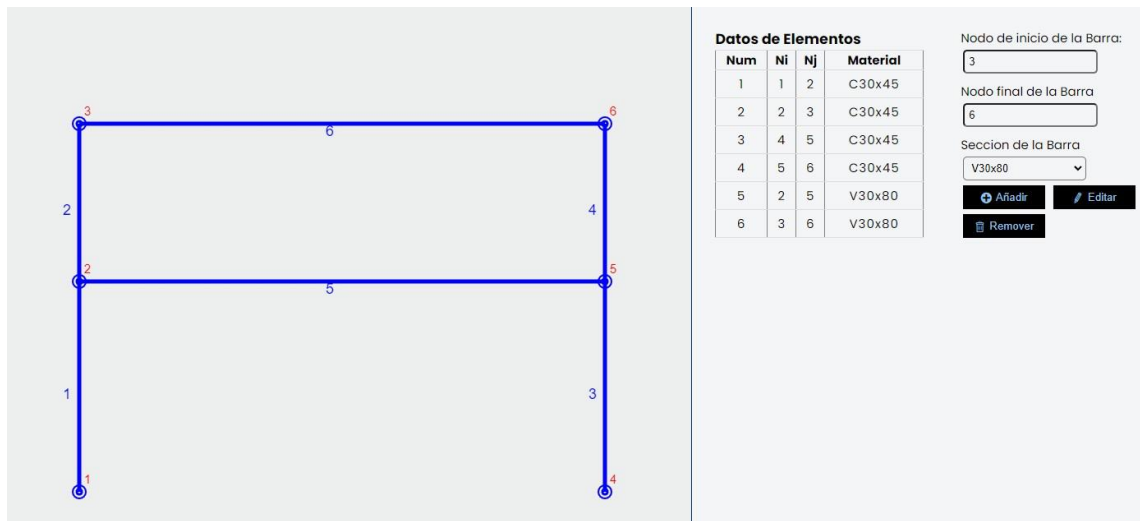


Figura 50. Interfaz de ingreso de barras (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las restricciones en los nodos.**

Aquí se ingresó las restricciones en los nodos “1” y “4” mediante la selección de apoyo que se muestra en los botones. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de restricciones como se muestra en la figura 51.

Datos de Restricciones

Num	Rx	Ry	Gz
1	1	1	1
2	0	0	0
3	0	0	0
4	1	1	1
5	0	0	0
6	0	0	0

Selección de Apoyo:

Apoyo en X:

Apoyo en Y:

Giro en Z:

Figura 51. Interfaz de ingreso de restricciones (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las fuerzas en los nodos.**

Aquí se ingresó las fuerzas en los nodos “2” y “3” mediante el cuadro de texto de fuerzas y el botón añadir. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de Fuerzas Aplicadas, el simulador genera de forma automática un grafica de los nodos como se muestra en la figura 52.

Carga Puntual

Num	Fx	Fy	Mz
1	0	0	0
2	9	0	0
3	16	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0

Fuerza en X:

Fuerza en Y:

Momento en Z:

Figura 52. Interfaz de ingreso de Fuerzas (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

- **Ejecución del cálculo matricial y resultados.**

Al ejecutar calculo, el simulador Beli internamente procederá la creación de matrices de rigidez y vectores de fuerzas, dando como resultado desplazamientos en los nodos, reacciones en los apoyos y fuerzas internas de cada barra. Al finalizar el simulador genera tabla de como se muestra en la figura 53.

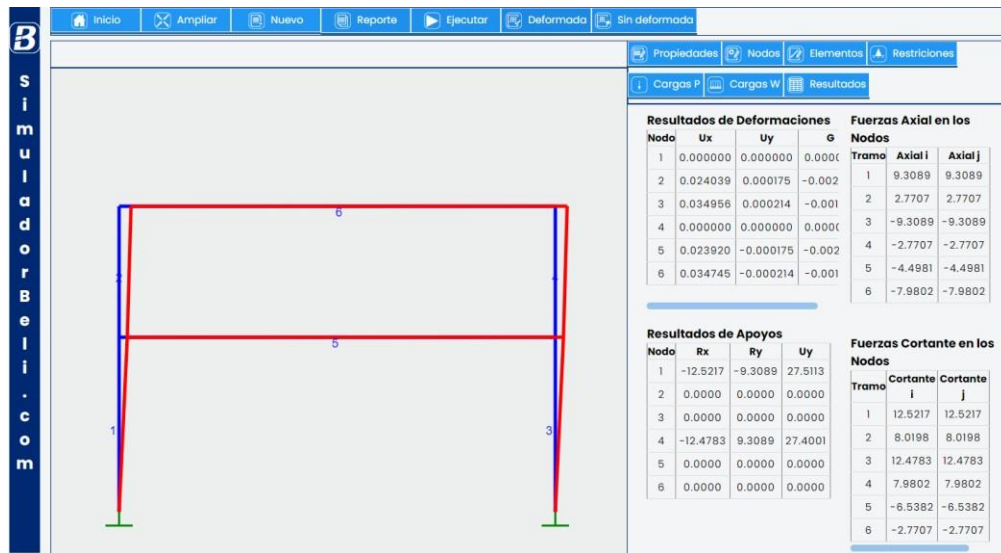


Figura 53. Interfaz de salida de resultados (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

Segunda Parte: Proceso de cálculo con SAP2000 v20.

Análisis estructural del pórtico plano con el software comercial SAP2000. Para el cual se utilizó los mismos datos del ejemplo, dado como resultado la figura 48.

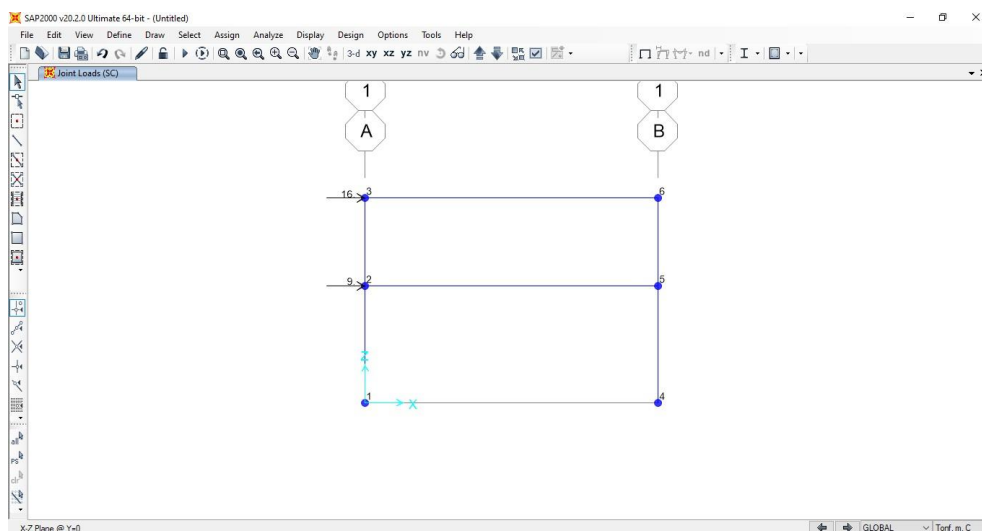


Figura 54. Simulación de pórtico plano mediante SAP2000 (Aplicación 4).
Fuente: Propia 2022.

Tercera Parte: Comparación de cálculos obtenidos entre el simulador Beli y SAP2000

Con la finalidad de validar el los resultados brindados por el simulador Beli en el caso de pórticos planos se compara los desplazamientos, reacciones.

- **Desplazamientos**

Tabla 18. Desplazamientos Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 4)

Nodo	Desplazamientos [m]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
2	X	0.024039	0.024802	0.000763
	Y	0.000175	0.000174	1E-06
3	X	0.034956	0.036144	0.001188
	Y	0.000214	0.000213	1E-06
5	X	0.02392	0.024684	0.000764
	Y	-0.000175	-0.000174	1E-06
6	X	0.034745	0.035933	0.001188
	Y	-0.000214	-0.000213	1E-06

Fuente: Propia, 2022

Tabla 19. Giro Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 4)

Nodo	Giro [rad]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
1	Z	0	0	0
2	Z	-0.00274	0.002787	0.00553
3	Z	-0.00119	0.001216	0.002409
4	Z	0	0	0
5	Z	-0.00272	0.00276	0.005475
6	Z	-0.00118	0.001199	0.002375

Fuente: Propia, 2022

De las Tablas 18 y 19 se aprecia una mínima escala millonésima, teniendo como máxima variación de 0.001188m el cual se encuentra en escala millonésima en dirección X y en dirección Y la variación está en la orden millonésima, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene resultados similares valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

- **Fuerzas en los apoyos**

Tabla 20. *Reacciones Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 4).*

Nodo	Reacciones [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [Tonf]
1	X	-12.5217	-12.5212	0.0005
	Y	-9.3089	-9.3009	0.008
	M	27.5113	27.54995	0.03865
4	X	-12.4783	-12.4788	0.0005
	Y	9.3089	9.3009	0.008
	M	27.4001	27.44097	0.04087

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 20 que la variación es mínima de las reacciones en dirección en X y en Y, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene casi los mismos valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

- **Fuerza Axial**

Tabla 21. *Fuerzas Cortante Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 4)*

Tramo	Axial [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [Tonf]
1	A-i	9.3089	9.3009	0.008
	A-f	9.3089	9.3009	0.008
2	A-i	2.7707	2.7757	0.005
	A-f	2.7707	2.7757	0.005
3	A-i	-9.3089	-9.3009	0.008
	A-f	-9.3089	-9.3009	0.008
4	A-i	-2.7707	-2.7757	0.005
	A-f	-2.7707	-2.7757	0.005
5	A-i	-4.4981	-4.4982	1E-04
	A-f	-4.4981	-4.4982	1E-04
6	A-i	-7.9802	-7.9805	0.0003
	A-f	-7.9802	-7.9805	0.0003

Fuente: Propia, 2022

- **Fuerza Constante**

Tabla 22. *Fuerzas Cortante Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 4)*

Tramo	Cortante [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto
1	V-i	12.5217	12.5212	0.0005
	V-f	12.5217	12.5212	0.0005
2	V-i	8.0198	8.0195	0.0003
	V-f	8.0198	8.0195	0.0003
3	V-i	12.4783	12.4788	0.0005
	V-f	12.4783	12.4788	0.0005
4	V-i	7.9802	7.9805	0.0003
	V-f	7.9802	7.9805	0.0003
5	V-i	-6.5382	6.5252	0.013
	V-f	-6.5382	6.5252	0.013
6	V-i	-2.7707	2.7757	0.005
	V-f	-2.7707	2.7757	0.005

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 22 existe en los signos de los datos esto es debió a que SAP2000 tiene una distinta convención de signos, por lo que para obtener el error absoluto se tiene que cambiar de signo, Aun así, se aprecia una variación máxima de 0.013Tonf.

- **Momento Flector**

Tabla 23. *Momento flector Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 4)*

Tramo	Momento [Tonf*m]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto [Tonf*m]
1	M-i	27.5113	27.54995	0.03865
	M-f	-22.5754	-22.535	0.0404
2	M-i	10.1706	10.14503	0.02557
	M-f	-13.8887	-13.9134	0.02468
3	M-i	27.4001	27.44097	0.04087
	M-f	-22.5132	-22.4741	0.03912
4	M-i	10.1229	10.09797	0.02493
	M-f	-13.8178	-13.8436	0.02582
5	M-i	-32.7461	32.68004	0.06606
	M-f	32.6361	-32.5721	0.06405
6	M-i	-13.8887	13.91338	0.02468
	M-f	13.8178	-13.8436	0.02582

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 23 que presenta la variación entre los resultados dando como máxima variación de 0.06606Tonf*m.

4.3.5. Quinta Aplicación: Pórtico Espacial

En este ejemplo aplicativo se calculó por el método matricial usado el simulador Beli, donde se obtuvo como resultado los desplazamientos, reacciones y fuerzas internas. Como datos del pórtico espacial se propuso la figura 55, con restricciones tipo empotramiento en la base de la estructura, sometido a cargas horizontales en los nodos “5” y “7” con un valor de 10Tonf en cada nodo. Como datos se tiene que el módulo de elasticidad de $1.58 \cdot 10^6$ Tonf/m², característica de las columnas de 40x40cm y vigas de 30x30cm.

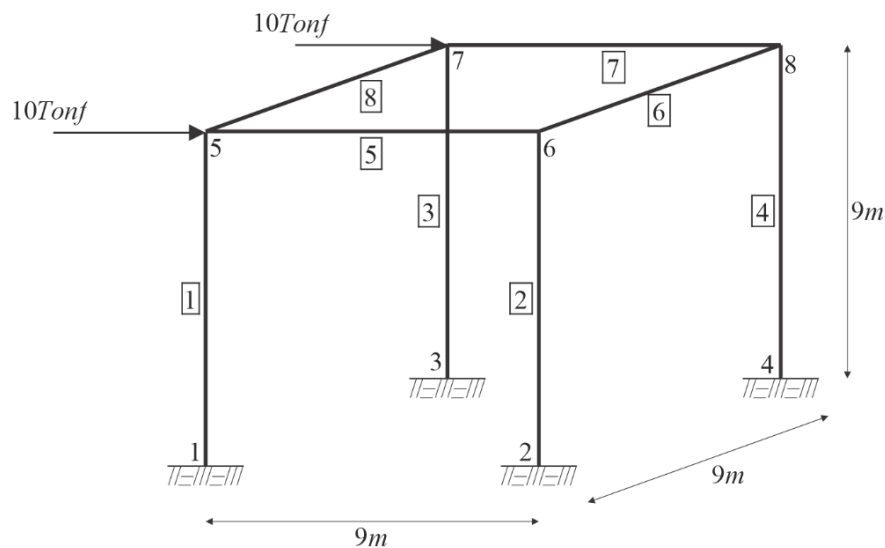


Figura 55. Quinta Aplicación pórtico espacial.

Fuente: Propia 2022.

Primera Parte: Proceso de cálculo con el simulador Beli.

El proceso de cálculo para el caso del Pórticos espaciales, se realiza siguiendo los diagramas de flujo que se muestra en las figuras 14 y 15. El proceso inicia desde la definición del material ingresado el módulo de elasticidad, definición de la sección con un área, ingreso de las coordenadas de los nodos, ubicación de las barras mediante el número de nodo, asignación de restricciones y cargas.

- **Creación del tipo de material.**

Aquí se creó un nuevo material que se denominó como “Material” teniendo como módulo de elasticidad 1580000 Tonf/m² y con un peso específico de cero con la finalidad que no considere el peso propio de la estructura en el análisis como se muestra en la figura 56.

Datos de materiales			
Num	Nom. Material	Elasticidad [Tonf/m2]	Corte [Tonf/m2]
1	Material	1580000	658333.3

Nomb. Material:

Elasticidad:

Modulo de Cote:

Pesos Especifico:

Figura 56. Interfaz de ingreso de materiales (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

- **Creación del tipo de sección.**

Aquí se definió una nueva sección con el nombre de “V30x30” teniendo como área de 0.09m² y a esta sección se le asigno el material creado denominado “Material” como se muestra en la figura 57.

Datos de Secciones				
Num	Nom. Sección	Area [m2]	Inercia Y [m4]	Ine [r
1	V30x30	0.09	0.000675	0.00
2	C40x40	0.16	0.001251	0.0
3	C-02	0.02	0.005	0.0

Area:

Inercia Y:

Inercia Z:

J:

Material:

Figura 57. Interfaz de ingreso de secciones (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

- **Nodos.**

Aquí se ingresó la coordenada en cada nodo mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todos los nodos se muestran en una tabla de nodos, el

simulador genera de forma automática una gráfica de los nodos como se muestra en la figura 58.

The interface shows a 2D coordinate system with 8 nodes plotted. Node 1 is at the origin (0,0). Nodes 2-4 are at (9,0), (0,9), and (9,9) respectively. Nodes 5-8 are at (0,9), (9,9), (9,0), and (0,0) respectively. The data table is as follows:

Num	x[m]	y[m]	z[m]
1	0	0	0
2	9	0	0
3	0	9	0
4	9	9	0
5	0	0	9
6	9	0	9
7	0	9	9
8	9	9	9

Figura 58. Interfaz de ingreso de nodos (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

- **Elementos.**

Los elementos se generan a partir de la ubicación de los nodos, aquí se ingresó las barras mediante dos cuadros de texto y la selección del botón añadir, también cuenta con la opción de editar y/o remover los nodos ingresados. Todas las barras se muestran en una tabla de barras, el simulador genera de forma automática una gráfica de las barras como se muestra en la figura 59.

The interface shows a truss structure with 8 nodes and 8 elements. The data table is as follows:

Num	Ni	Nj	Material
1	1	5	C40x40
2	2	6	C40x40
3	3	7	C40x40
4	4	8	C40x40
5	5	6	V30x30
6	6	8	V30x30
7	8	7	V30x30
8	7	5	V30x30

Figura 59. Interfaz de ingreso de barras (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las restricciones en los nodos.**

Aquí se ingresó las restricciones en los nodos “1”, “2”, “3” y “4” mediante la selección de apoyo que se muestra en los botones. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de restricciones, el simulador genera de forma automática una gráfica de los nodos como se muestra en la figura 60.

Datos de Restricciones

Num	Rx	Ry	Rz	Gx	Gy	Gz
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0

Apoyo en X:

Apoyo en Y:

Apoyo en Z:

Giro en X:

Giro en Y:

Giro en Z:

Figura 60. Interfaz de ingreso de restricciones (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

- **Asignación de las fuerzas en los nodos.**

Aquí se ingresó las fuerzas en los nodos “5” y “7” mediante el cuadro de texto de fuerzas y el botón añadir. Todos los cambios realizados se muestran en la tabla de Fuerzas Aplicadas, el simulador genera de forma automática una gráfica de los nodos como se muestra en la figura 61.

Carga Puntual

Num	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0
5	10	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0
7	10	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0

Fuerza en X:

Fuerza en Y:

Fuerza en Z:

Momento en X:

Momento en Y:

Momento en Z:

Figura 61. Interfaz de ingreso de Fuerzas (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

- **Ejecución del cálculo matricial y resultados.**

Al ejecutar calculo, el simulador Beli internamente procederá la creación de matrices de rigidez y vectores de fuerzas, dando como resultado desplazamientos en los nodos, reacciones en los apoyos y fuerzas internas de cada barra. Al finalizar el simulador genera tabla de como se muestra en la figura 62.

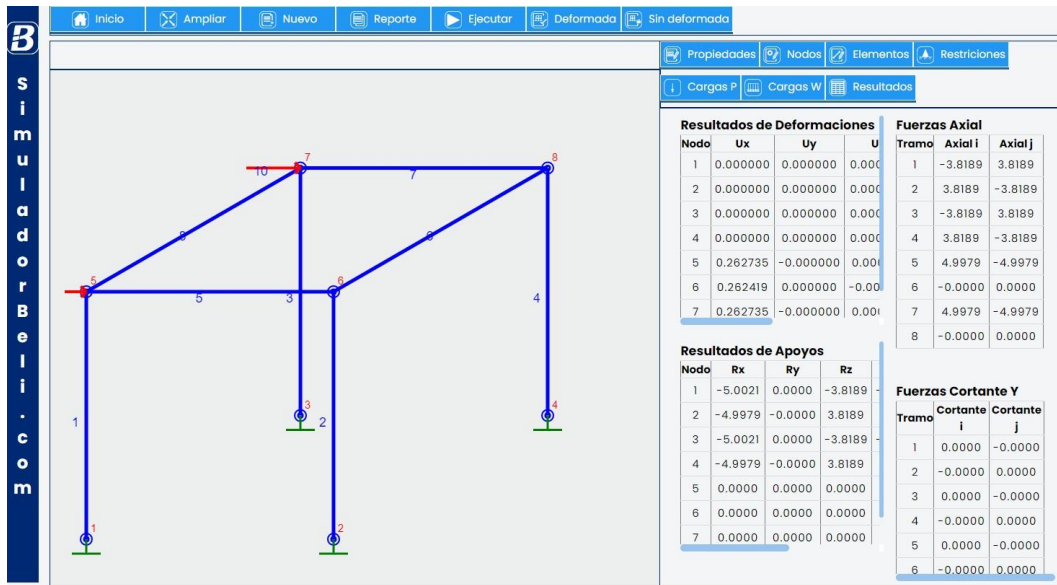


Figura 62. Interfaz de salida de resultados (Aplicación 5).

Segunda Parte: Proceso de cálculo con SAP2000 v20.

Análisis estructural de pórtico espacial con el software comercial SAP2000. Para se utilizó los mismos datos del ejemplo, dado como resultado la figura 63.

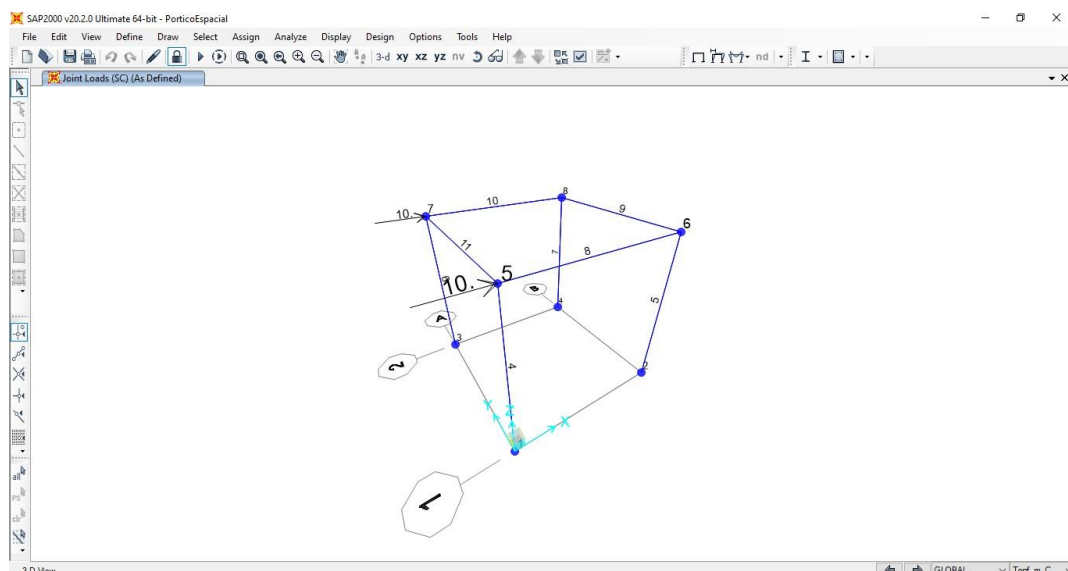


Figura 63. Simulación de pórtico espacial mediante SAP2000 (Aplicación 5).
Fuente: Propia 2022.

Tercera Parte: Comparación de cálculos obtenidos entre el simulador Beli y SAP2000

Con la finalidad de validar la herramienta “Simulador Beli” para el caso de Armaduras Planas se plantea la comparación de desplazamientos, reacciones y esfuerzos internos con el software SAP2000, obtenido como resultado las tablas del 24 al 32.

- **Desplazamientos**

Tabla 24. Desplazamientos Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 5)

Nodo	Desplazamientos [m]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
5	X	0.263771	0.2627668	0.001004
	Y	0	-2.30E-15	2.30E-15
	Z	0.000177	0.0001776	5.62E-07
6	X	0.263454	0.2624505	0.001004
	Y	0	2.32E-15	2.32E-15
	Z	-0.000177	-0.000178	5.62E-07
7	X	0.263771	0.2627668	0.001004
	Y	0	-2.29E-15	2.29E-15
	Z	0.000177	0.0001776	5.62E-07
8	X	0.263454	0.2624505	0.001004
	Y	0	2.32E-15	2.32E-15
	Z	-0.000177	-0.000178	5.62E-07

Fuente: Propia, 2022

Tabla 25. Giro Simulador Web Beli vs SAP2000 (Ampliación 5)

Nodo	Giros [rad]			
	Giro	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
5	X	0	1.03E-19	1.03E-19
	Y	0.024228	0.02429	6.20E-05
	Z	0	-5.43E-18	5.43E-18
6	X	0	8.76E-19	8.76E-19
	Y	0.024187	0.024248	6.10E-05
	Z	0	-1.36E-18	1.36E-18
7	X	0	1.28E-19	1.28E-19
	Y	0.024228	0.02429	6.20E-05
	Z	0	-4.13E-19	4.13E-19
8	X	0	1.59E-19	1.59E-19
	Y	0.024187	0.024248	6.10E-05
	Z	0	5.39E-18	5.39E-18

Fuente: Propia, 2022

De las Tablas 24 y 25 se muestra una mínima variación variación(millonésima) en X de 0.001004m y en Y de 2.32E-15m, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene los mismos valores, por lo que usando cualquier de los dos.

- **Fuerzas en los apoyos**

Tabla 26. *Reacciones Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).*

Nodo	Reacciones [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto [m]
1	X	-5.0021	-5.0021	0
	Y	0	2.887E-17	2.887E-17
	Z	-3.8189	-3.816	0.0029
	Mx	0	-1.53E-16	1.526E-16
	My	-27.829	-27.84188	0.01288
	Mz	0	8.398E-16	8.398E-16
2	X	-4.9979	-4.9979	0
	Y	0	1.593E-16	1.593E-16
	Z	3.8189	3.816	0.0029
	Mx	0	-9.09E-16	9.092E-16
	My	-27.8009	-27.81386	0.01296
	Mz	0	2.098E-16	2.098E-16
3	X	-5.0021	-5.0021	0
	Y	0	2.63E-17	2.63E-17
	Z	-3.8189	-3.816	0.0029
	Mx	0	-1.46E-16	1.464E-16
	My	-27.829	-27.84188	0.01288
	Mz	0	6.39E-17	6.39E-17
4	X	-4.9979	-4.9979	0
	Y	0	2.633E-16	2.633E-16
	Z	3.8189	3.816	0.0029
	Mx	0	-1.22E-15	1.22E-15
	My	-27.8009	-27.81386	0.01296
	Mz	0	-8.34E-16	8.339E-16

Fuente: Propia, 2022

Como se aprecia en la Tabla 26 existe variación mínima las reacciones en dirección en X y en Y, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene casi los mismos valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

- **Fuerzas Axial**

Tabla 27. Fuerzas Axiales Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).

Tramo	Axial [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto
1	A-i	-3.8189	-3.816	0.0029
	A-f	3.8189	3.816	0.0029
2	A-i	3.8189	3.816	0.0029
	A-f	-3.8189	-3.816	0.0029
3	A-i	-3.8189	-3.816	0.0029
	A-f	3.8189	3.816	0.0029
4	A-i	3.8189	3.816	0.0029
	A-f	-3.8189	-3.816	0.0029
5	A-i	4.9979	-3.816	1.1819
	A-f	-4.9979	3.816	1.1819
6	A-i	0	8.28E-17	8.28E-17
	A-f	0	-8.28E-17	8.28E-17
7	A-i	4.9979	3.816	1.1819
	A-f	-4.9979	-3.816	1.1819
8	A-i	0	-1.94E-17	1.94E-17
	A-f	0	1.94E-17	1.94E-17

Fuente: Propia, 2022

- **Fuerzas Cortante en Y**

Tabla 28. Cortante en Y Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).

Tramo	Cortante en Y [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	Sap2000	Error Absoluto
1	V-i	0	2.89E-17	2.89E-17
	V-f	0	-2.89E-17	2.89E-17
2	V-i	0	1.59E-16	1.59E-16
	V-f	0	-1.59E-16	1.59E-16
3	V-i	0	2.63E-17	2.63E-17
	V-f	0	-2.63E-17	2.63E-17
4	V-i	0	2.63E-16	2.63E-16
	V-f	0	-2.63E-16	2.63E-16
5	V-i	0	-4.03E-16	4.03E-16
	V-f	0	4.03E-16	4.03E-16
6	V-i	0	-2.44E-16	2.44E-16
	V-f	0	2.44E-16	2.44E-16
7	V-i	0	-5.23E-16	5.23E-16
	V-f	0	5.23E-16	5.23E-16
8	V-i	0	-4.96E-16	4.96E-16
	V-f	0	4.96E-16	4.96E-16

Fuente: Propia, 2022

- **Fuerzas Cortante en Z**

Tabla 29. Cortante en Z Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).

Tramo	Cortante en Z [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
1	V-i	5.0021	-5.0021	0
	V-f	-5.0021	5.0021	0
2	V-i	4.9979	-4.9979	0
	V-f	-4.9979	4.9979	0
3	V-i	5.0021	-5.0021	0
	V-f	-5.0021	5.0021	0
4	V-i	4.9979	-4.9979	0
	V-f	-4.9979	4.9979	0
5	V-i	-3.8189	4.9979	1.179
	V-f	3.8189	-4.9979	1.179
6	V-i	0	-1.31E-15	1.313E-15
	V-f	0	1.313E-15	1.313E-15
7	V-i	3.8189	-4.9979	1.179
	V-f	-3.8189	4.9979	1.179
8	V-i	0	-4.28E-16	4.278E-16
	V-f	0	4.278E-16	4.278E-16

Fuente: Propia, 2022

- **Torsión**

Tabla 30. Torsión Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).

Tramo	Torsión [Tonf*m]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
1	T-i	0	-1.53E-16	1.53E-16
	T-f	0	-1.07E-16	1.07E-16
2	T-i	0	-9.09E-16	9.09E-16
	T-f	0	-5.25E-16	5.25E-16
3	T-i	0	-1.46E-16	1.46E-16
	T-f	0	-9.03E-17	9.03E-17
4	T-i	0	-1.22E-15	1.22E-15
	T-f	0	-1.15E-15	1.15E-15
5	T-i	0	-6.45E-17	6.45E-17
	T-f	0	6.45E-17	6.45E-17
6	T-i	0	4.59E-16	4.59E-16
	T-f	0	2.89E-16	2.89E-16
7	T-i	0	2.62E-18	2.62E-18
	T-f	0	-2.62E-18	2.62E-18
8	T-i	0	9.20E-17	9.20E-17
	T-f	0	8.52E-17	8.52E-17

Fuente: Propia, 2022

- **Momento en Y**

Tabla 31. *Momento en Y Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).*

Tramo	Momento en Y [Tonf]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
1	M-i	-27.829	-27.84188	0.01288
	M-f	-17.19	-17.17704	0.01296
2	M-i	-27.8009	-27.81386	0.01296
	M-f	-17.1802	-17.16722	0.01298
3	M-i	-27.829	-27.84188	0.01288
	M-f	-17.19	-17.17704	0.01296
4	M-i	-27.8009	-27.81386	0.01296
	M-f	-17.1802	-17.16722	0.01298
5	M-i	17.19	17.17704	0.01296
	M-f	17.1802	17.16722	0.01298
6	M-i	0	-8.88E-16	8.882E-16
	M-f	0	8.882E-16	8.882E-16
7	M-i	-17.1802	17.16722	0.01298
	M-f	-17.19	17.17704	0.01296
8	M-i	0	0	0
	M-f	0	0	0

Fuente: Propia, 2022

- **Momento en Z**

Tabla 32. *Momento en Z Simulador Web Beli vs SAP2000 (Aplicación 5).*

Tramo	Momento en Z [Tonf*m]			
	Dirección	Simulador Beli	SAP2000	Error Absoluto
1	M-i	0	8.398E-16	8.398E-16
	M-f	0	-8.4E-16	8.398E-16
2	M-i	0	2.098E-16	2.098E-16
	M-f	0	-2.1E-16	2.098E-16
3	M-i	0	6.39E-17	6.39E-17
	M-f	0	-6.39E-17	6.39E-17
4	M-i	0	-8.34E-16	8.339E-16
	M-f	0	8.339E-16	8.339E-16
5	M-i	0	-2.3E-15	2.298E-15
	M-f	0	-1.33E-15	1.332E-15
6	M-i	0	4.825E-15	4.825E-15
	M-f	0	6.103E-15	6.103E-15
7	M-i	0	3.041E-15	3.041E-15
	M-f	0	1.664E-15	1.664E-15
8	M-i	0	-1.28E-15	1.281E-15
	M-f	0	-2.57E-15	2.569E-15

Fuente: Propia, 2022

De las tablas 27 a la 32, se presenta una variación mínima, quiere decir utilizando SAP2000 y el Beli se obtiene los mismos valores, por lo que se puede usar cualquiera de los dos.

V. DISCUSIÓN

Es necesario explicar que el simulador Beli se desarrolla y funciona en navegadores de internet, esto porque se enfoca al trabajo desde la Web, lo que indica que se puede ejecutar el simulador desde un equipo móvil, con esto se innova la forma de calcular estructuras tipo armadura, viga continua y pórticos. Con la finalidad de optimizar los recursos informáticos se desarrolló el simulador web Beli en el los lenguajes de HTML, CSS, y JavaScript puro, por lo que no se usó ningún complemento, siendo construido desde cero. Finalmente se obtuvo como resultado desplazamientos, reacciones y fuerzas internas de cada estructura analizada.

A partir de la comparación de datos, se puede observar que la precisión del simulado Beli creado está a la talla del software comercial SAP2000, obteniéndose resultados sin variación en el caso de Armaduras, en el caso de vigas continuas y pórticos se presentó variación mínima. Mediante este trabajo se espera mostrar a la web como un aliado en el desarrollo de aplicaciones, para universitarios y profesionales de la rama de Estructuras.

Es importante mencionar que los softwares de análisis estructural como SAP2000, ETABS, Robot Structural Analysis y otros. Esto presenta diferencias mínimas en los resultados debido a la codificación, es por ello que en algunos casos se obtendrá los mismos valores, pero con signo contrario. Ante esto el simulador Beli no es la excepción, es por esto que para la comparación de resultados se ha tenido que establecer el signo.

Márquez y Quiroga (2007). En su artículo título: Uso de un software elaborado mediante programación Visual Basic para el análisis de estructuras, realizo un el modelador de un pórtico plano obtenido un error máximo de 1.5% que representaría 0.0005m en el desplazamiento en X. mostrando incompatibilidad de un decimal con la aplicación 5 (Pórticos planos). En el caso del giro se mostró compatibilidad.

Es necesario mencionar que el software SAP2000 ha evolucionado con el paso del tiempo iniciado en SAP3, SAP-IV, SAP80, SAP90 y llegado a SAP2000, es claro

que ha ido perfeccionándose en el cálculo y la interfaz de usuarios. En cambio, el simulador Beli recién inicia en sus primeros pasos aplicado al análisis estructural de armaduras, vigas continuas y pórticos. Es por esto que el simulador desarrollado no considera el análisis por peso propio de la estructura específicamente al caso de pórticos espaciales.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión general.

Se determino la validez de los resultados al comparar los resultados obtenidos por el Simulador desarrollado con el software SAP2000. Dando respuesta al objetivo general, que el simulador Beli muestra una diferencia mínima al ser comparado con SAP2000. Llegando a ver que el simulador Web Beli optimiza el análisis matricial de estructuras planas y espaciales.

Conclusión específicos 1.

Después de realizar el análisis estructural con el simulador Web Beli y SAP2000 y comparar en armaduras se obtuvo un error absoluto máximo de $1E-06m$ en el desplazamiento en la armadura plana, concluyendo que se obtendrá los mismos valores si se usa SAP2000 y/o Simulador Beli por lo que se mejoró el análisis matricial de armaduras con el uso del simulador Beli.

Conclusión específicos 2.

Por otro lado, para vigas continuas se aprecian una diferencia máxima entre los resultados del simulador Web Beli y SAP2000 de $0.000159m$ desplazamiento y un giro de $0.00335rad$, concluyendo que se obtendrá los mismos valores si se usa SAP2000 y/o Simulador Beli por lo que se perfecciona el análisis matricial de vigas continuas mediante el desarrollo del simulador web Beli, ya que este se puede ejecutar desde un ordenador y/o celular.

Conclusión específicos 3.

Por último, en la aplicación de pórticos se pudo apreciar una diferencia del orden de milésimas esto producto a las conexiones entre barras, además SAP2000 está basado en el MEF. Aun así, se obtuvo resultados similares, siendo en la aplicación 4 donde se presentó variaciones máximas de $0.001189m$ en dirección X de despeamiento y $0.005475rad$ en giro máximo con relación a SAP2000 en la aplicación 4. Llegando a decir que se obtendrá los mismos valores si se usa SAP2000 y/o Simulador Beli, por lo que se concluye que se pudo resolver mediante el método matricial en pórticos a través del desarrollo del simulador web Beli.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda que para el uso correcto de simulador se revise el manual de usuario de tal manera que pueda ingresar de manera óptima los datos y pueda interpretar adecuadamente los resultados obtenidos. Por otro lado, en futuras simulaciones se recomienda usar Beli en proyectos reales de estructuras de acero y concreto armado.

El simulador web Beli tiene limitaciones a la hora de generar diagramas de fuerza cortante y momento flector, por lo que en una segunda etapa se pueda mejorar la parte de cálculo por el método de elementos finitos, así como mejorar la interfaz gráfica de dibujo de los elementos. También poder generar diagramas de fuerza axial, fuerza cortante, momentos y torsión, por algún método alternativo con apoyo del método matricial.

Se recomienda que en futuras investigación se mejore la interfaz gráfica del lienzo 3D mediante la utilización de JavaScript aplicado a canvas, generación de cuentas de usuarios para guardar las simulaciones en línea, también se recomienda continuar con la creación de un simulador sísmico y el diseño de cada elemento estructural.

El simulador Beli para el caso específico de pórticos espaciales no considera en su código el análisis de peso propio de la estructura, por lo que para futuros trabajos se sugiere incorporar en el código el análisis por peso propio, también incorporar un graficado de diagramas de fuerzas internas de cada barra.

Como sea posible apreciar el simulador Beli trabaja en la web por lo que es una alternativa a los softwares de escritorio. Por lo que el código del simulador web Beli es de libre acceso pudiéndose descargar directamente desde el sitio Web simuladorbeli.com. Con esto se espera que futuros programadores en la rama de las estructuras continúen con la creación de herramientas enfocadas a la Web.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUNALATA, Fabiana. Desarrollo de software de aplicación para cálculo de vigas continuas simplemente apoyadas, empotradas y en volado. Tesis (Ingeniero Civil). Ambato - Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 2016. 259pp. Disponible en: <https://bit.ly/3rttHMF>

BASSANTES, Ebenezer. Desarrollo de un programa interactivo para cálculo y diseño de columnas aplicando el software Matlab. Tesis (Ingeniero Civil). Ambato - Ecuador. Universidad Técnica de Ambato. 2018. 235pp. Disponible en: <https://bit.ly/3qDJcCv>

BLANCO, Elena [et al]. análisis matricial de estructuras. Barcelona - España: Cimne. 2015. 245pp.
ISBN: 9788494424458

CAMACHO, Juan y ROMERO, Marlon. Análisis estructural con el método de elementos finitos asistidos por computadora. Tesis (Ingeniero Civil). Cartagena de Indias. Universidad Tecnológica de Boívar. 2012. 253pp. Disponible en <https://bit.ly/3rqk29L>

CARRASCO, Sergio. Metodología de la investigación científica. 4° ed. Lima - Perú: San Marcos. 2005. 474 pp.
ISBN: 9972342425

CHOCATA, Wido. Conociendo SAP 2000: Aplicaciones y Ventajas de uso. Perú: 2021.

COLÓME, Graciela y FEMENIA, Paul. Metodología de investigación para cursos de posgrado en ingeniería. San Juna - Argentina: Universidad Nacional de San Juan. 2018. 66 pp.
ISBN: 9789877706055

COYLA, Leonel. Aplicación Web de análisis sísmico de una edificación de la región Puno - 2016. Tesis (DOCTORIS SCIENTIAE EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN). PUNO - PERÚ. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, PROGRAMA DE DOCTORADO. 2017. 114pp. Disponible en: <https://bit.ly/3tEuHQW>

DELGADO, Genaro. Análisis estructural. 2° ed. Lima - Perú: EDICIVIL. 2013. 197pp.

DELGADO, Genaro. Resistencia de materiales. 2° ed. Lima - Perú: Edicivil SRL. 2012. 326 pp.

DIAZ, Frank y GUILLÉN, Álvaro. Modelo computacional para el análisis matricial de estructuras reticulares. Tesis (Ingeniero Civil). Lima - Perú. UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS. 2020. 150 pp. Disponible en <https://bit.ly/3rwUVC2>

GASCÓN, Ulises. JavaScript, ¡Inspírate! Leanpub. 2017. 149 pp.
ISBN: 9788461774166

GAUCHAT, Juan. El gran libro de HTML5, CSS3 y JavaScript. Barcelona-España: Marcombo. 2012. 354 pp.
ISBN: 9788426717825

GERE, James y GOODNO, Barry. Mecánica de materiales. 7° ed. México: Cengage Learning. 2009. 1050 pp.
ISBN: 9786074813159

GONZÁLES, Cristian y MANRIQUE, Juan. Software de aplicación al cálculo de cargas, rotaciones, deflexiones y deformaciones de estructuras en 2d mediante análisis matricial de rigidez (DIRECT STIFFNESS METHOD) "DEMAT". Tesis (Ingeniero Civil). Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2017. 116pp. Disponible en: <https://bit.ly/3N0WMYO>

GONZÁLES, Oscar. Análisis estructural. México: Limusa. 2009. 581 pp.
ISBN: 9789681860035

GUEVARA, Pedro y SALGAR, Sergio. Diseño y codificación de una aplicación en el sistema de cómputo numérico Matlab que facilite el análisis de comportamiento dinámico de sistemas estructuras de múltiples grados de libertad. Tesis (Ingeniero Civil). Bogotá. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2019. 111pp. Disponible en: <https://bit.ly/38VsVT3>

HERNÁNDEZ, Arturo [et. al]. Metodología de la investigación científica. Manabí: Área de innovación y desarrollo. 2018. 174 pp.
ISBN: 9788494825705

HERNÁNDEZ, Roberto y FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 4° ed. Izatopalapa - México: McGraw - Hill Interamericana. 2006. 882 pp.
ISBN: 9701057538

"HERNÁNDEZ, Roberto y FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación. 6° ed. México: McGraw - Hill Interamericana. 2014. 634 pp. ISBN: 9781456223960

HIBBELER, Russell. Análisis estructural. 8° ed. México: Pearson. 2012. 718 pp. ISBN: 9786073210621

HINOSTROZA, Saúl. Desarrollo de sistema de computación para el cálculo de diagramas momento curvatura de secciones de concreto armado en Huancayo, 2021. Tesis (Ingeniero Civil). Lima - Perú. Universidad César Vallejo. 2021. 121 pp. Disponible en: <https://bit.ly/3KjgAX0>

KASSIMALI, Aslam. Análisis estructural. 5° ed. México: Cengage Learning. [2009]. 817 pp.

NINARAQUI, Edwin. Análisis matricial de estructuras. Moquegua - Perú: TECN. 2019. 124 pp.

ORTIZ, David. Análisis estructural 2D y 3D - Problemario. México: UNAM. 2005. 145 pp.

POMA, José. Software educativo para la automatización del análisis no lineal estático Pushover en estructuras de concreto armado. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil). Lima - Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2018. 124pp. Disponible en <https://bit.ly/3A7YOBBr>

QUISPE, Alder. Análisis matricial de estructuras introducción al método de elementos finitos. Lima - Perú: Macro. 2015. 450pp. ISBN: 9786123043100

RIVERA, René [et. al]. Metodología de la investigación científica. Lima - Perú: Universidad Tecnológica del Perú. [2005]. 167 pp.

RODRIGUEZ, Luis. Python programación. 3° ed. Ecuador: Escuela Superior del Litoral. 2017. 534pp.

ROJAS, Marcelo. Manual de investigación y redacción científica. 3° ed. Lima - Perú: Book press. 2002. 93 pp.

ROJAS, Rafael y PADILLA, Helia. Análisis estructural con matrices. Trillas. 320 pp. ISBN: 978607

SALCEDO, Chistian. Análisis estructural por el método de elementos finitos asistidos por computadora (Vigas - Pórticos, Placas, Solidos de revolución). Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca - Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2014. 216 pp. Disponible en: <https://bit.ly/3fBsHAC>

STRATTA, Lucas [et al]. Software didáctico para la enseñanza del método de la rigidez en ingeniería mecánica. 1-6. Disponible en: <https://bit.ly/3OOJL6u>

SULLCARAY, Susana. Metodología de la investigación. Lima-Perú. Biblioteca Nacional del Perú. 2013. 102 pp.

SUPO, José. Cómo empezar una tesis. Arequipa - Perú: Biblioteca Nacional del Perú. 2015. 70 pp.
ISBN: 1505894190

SUPO, José. Cómo validar un instrumento. Arequipa - Perú: Biblioteca Nacional del Perú. 2013. 64 pp.
ISBN: 1492278904

URIBE, Jairo. Análisis de estructuras. 2° ed. Bogotá - Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 2000. 651 pp.
ISBN: 9588060141

VILLARREAL, Genner. Análisis estructural. Lima - Perú: Villareal. 2009. 327 pp.

YALDA, Lucero. Concepto y recomendaciones prácticas para la formulación de hipótesis y objetivos. Chile: Universidad de Chile. 2017. 8 pp.

ANEXOS

Anexo N° 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: DESARROLLO DEL SIMULADOR WEB BELI PARA EL ANÁLISIS MATRICIAL DE ESTRUCTURAS PLANAS Y ESPACIALES

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGIA
PROBLEMA PRINCIPAL ¿Cómo el desarrollo del simulador web Beli optimizaría el análisis matricial de estructuras planas y espaciales?	OBJETIVO PRINCIPAL Optimizar el análisis matricial de estructuras planas y espaciales por medio del desarrollo del simulador web Beli.	No Aplica	VI: Simulador Web Beli VD: Análisis matricial de estructuras planas y espaciales.	Programación del código Método de matricial de rigideces	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz grafica • Cargas, apoyos, desplazamientos, esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • METODO DE INVESTIGACION: Analítico • TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada • NIVEL DE INVESTIGACIÓN Descriptivo-Explicativo
PROBLEMA SECUNDARIO N.º 1 ¿Con el desarrollo del simulador web Beli se mejoraría el análisis matricial de armaduras planas y espaciales?	OBJETIVO SECUNDARIO N.º 1 Mejorar el análisis matricial de armaduras planas y espaciales por medio del desarrollo del simulador web Beli.		VI: Simulador Web Beli VD: Análisis matricial de armaduras planas y espaciales.	Programación del código Método de rigideces armaduras	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz grafica • Cargas, apoyos, desplazamientos, esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • DISEÑO INVESTIGACIÓN Pre Experimental, con un solo grupo de control. $G \rightarrow O_1 \rightarrow X \rightarrow O_2$
PROBLEMA SECUNDARIO N.º 2 ¿Con el desarrollo del simulador web Beli se perfeccionaría el análisis matricial de vigas continuas?	OBJETIVO SECUNDARIO N.º 2 Perfeccionar el análisis matricial de vigas continuas mediante el desarrollo del simulador web Beli		VI: Simulador Web Beli VD: Análisis matricial de vigas continuas	Programación del código Método de rigideces vigas	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz grafica • Cargas, apoyos, desplazamientos, esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • POBLACIÓN Estructuras tipo: Armaduras, Vigas continuas y Pórticos. • MUESTRA 2 caso de amadoras 1 caso de vigas continuas 2 casos de pórticos
PROBLEMA SECUNDARIO N.º 3 ¿Con el desarrollo del simulador web Beli se resolvería el análisis matricial de pórticos planos y espaciales?	OBJETIVO SECUNDARIO N.º 3 Resolver el análisis matricial de pórticos planos y espaciales a través del desarrollo del simulador web Beli		VI: Simulador Web Beli VD: Análisis matricial de pórticos planos y espaciales.	Programación del código Método de rigideces pórticos	<ul style="list-style-type: none"> • Interfaz grafica • Cargas, apoyos, desplazamientos, esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> • MUESTREO Por conveniencia • TECNICAS DE OBTENCION DE DATOS: Investigación bibliográfica

Anexo N° 2: Condigo JavaScript para Calculo de Armaduras Plana.

```
/* =====  
    Universidad Cesar Vallejo  
    Por: Lupaca Quispe Denis Rudy  
    Código JavaScript  
===== */  
                                ARMADURAS PLANAS =====*/  
  
var contenedor = document.getElementById("contenedorMayor");  
var ampliarLienzo = document.getElementById("lienzo01");  
var btnAmpliar = document.querySelector("#btnAmpliar");  
  
function Ampliar() {  
  
    contenedor.style.width="100%";  
    contenedor.style.height="99vh";  
    contenedor.style.margin="0";  
  
    ampliarLienzo.style.width="88%";  
    ampliarLienzo.style.height="100vh";  
    ampliarLienzo.style.height="cover";  
    ampliarLienzo.style.backgroundRepeat="no-repeat";  
  
    btnAmpliar.innerHTML="<span class='ico ico-img02 ico-1x'></span>Reducir";  
    btnAmpliar.style.zIndex="1";  
  
    btnAmpliar.setAttribute("onClick", "Reducir()");  
}  
  
function Reducir() {  
  
    contenedor.style.width="1500px";  
    contenedor.style.height="800px";  
    contenedor.style.margin="5vh auto";  
  
    ampliarLienzo.style.width="800px";  
    ampliarLienzo.style.height="700px";  
  
    btnAmpliar.innerHTML="<span class='ico ico-img02 ico-1x'></span>Ampliar";  
    btnAmpliar.style.zIndex="0";  
  
    btnAmpliar.setAttribute("onClick", "Ampliar()");  
}  
  
/* =====                Mostrar                =====*/  
function mostrar01() {  
    document.getElementById("CajaF01").style.display="block";  
    document.getElementById("CajaF02").style.display="none";  
    document.getElementById("CajaF03").style.display="none";  
    document.getElementById("CajaF04").style.display="none";  
}
```

```

    document.getElementById("CajaF05").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="none";
}
function mostrar02() {
    document.getElementById("CajaF01").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF02").style.display="block";
    document.getElementById("CajaF03").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF04").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF05").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="none";
}
function mostrar03() {
    document.getElementById("CajaF01").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF02").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF03").style.display="block";
    document.getElementById("CajaF04").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF05").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="none";
}
function mostrar04() {
    document.getElementById("CajaF01").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF02").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF03").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF04").style.display="block";
    document.getElementById("CajaF05").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="none";
    seleccionFila05();
}
function mostrar05() {
    document.getElementById("CajaF01").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF02").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF03").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF04").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF05").style.display="block";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="none";
    seleccionFila06();
}
function mostrar06() {
    document.getElementById("CajaF01").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF02").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF03").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF04").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF05").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="block";
}

/* ===== Tabla de 01 =====*/
var Indice01,
table01 = document.getElementById("table01");

function chekeo01() {
    var condlable01 = false,

```

```

    mMaterial = document.getElementById("mMaterial").value,
    mElasticidad = document.getElementById("mElasticidad").value,
    mPesosEspecifico =
document.getElementById("mPesosEspecifico").value;

    if(mMaterial === ""){
        alert("Falto Ingresar el nombre del material");
        condlablel01 = true;
    }else if(mElasticidad === ""){
        alert("Falto Ingresar el modulo de elaticidad");
        condlablel01 = true;
    }else if(mPesosEspecifico === ""){
        alert("Falto Ingresar el peso especifico");
        condlablel01 = true;
    }
    return condlablel01;
}

function addFila01(){
    if(!chequeo01()){
        var newRow = table01.insertRow(table01.length),
            cell0 = newRow.insertCell(0),
            cell1 = newRow.insertCell(1),
            cell2 = newRow.insertCell(2),
            cell3 = newRow.insertCell(3),
            mMaterial = document.getElementById("mMaterial").value,
            mElasticidad = document.getElementById("mElasticidad").value,
            mPesosEspecifico =
document.getElementById("mPesosEspecifico").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table01").getElementsByTagName('tr').length;

        cell0.innerHTML = numFilas-1;
        cell1.innerHTML = mMaterial;
        cell2.innerHTML = mElasticidad;
        cell3.innerHTML = mPesosEspecifico;

        seleccionFila01();
        actualizarNum01();
        Actualizar02();

    }
}

function seleccionFila01(){
    for(var i = 1; i < table01.rows.length; i++){
        table01.rows[i].onclick = function(){
            Indice01 = this.rowIndex;
            document.getElementById("mMaterial").value =
this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("mElasticidad").value =
this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("mPesosEspecifico").value =
this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

```

```

}

seleccionFila01();
function editarFila01() {
    var valTabla01=table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML;
    var mMaterial = document.getElementById("mMaterial").value,
        mElasticidad = document.getElementById("mElasticidad").value;
    mPesosEspecifico =
document.getElementById("mPesosEspecifico").value;

    if(!chequeo01()){
        table01.rows[Indice01].cells[0].innerHTML = Indice01;
        table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML = mMaterial;
        table01.rows[Indice01].cells[2].innerHTML = mElasticidad;
        table01.rows[Indice01].cells[3].innerHTML = mPesosEspecifico;
    }
    Actualizar02();
    ActualizarTablaSecciones01(valTabla01);
}

function removerFila01() {
    var valTabla01=table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML;
    var numFilas1 =
document.getElementById("table01").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var numFilas2 =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName('tr').length-1;

    if (numFilas1 > 1) {
        for (let i = 0; i < numFilas2; i++) {
            var valTabla02=table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML;

            if(valTabla01 === valTabla02){
                if (Indice01 > 1) {
                    table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table01.rows[1].cells[1].innerHTML;
                }else{
                    table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table01.rows[2].cells[1].innerHTML;
                }
            }

        }
        table01.deleteRow(Indice01);
        document.getElementById("mMaterial").value = "";
        document.getElementById("mElasticidad").value = "";
        document.getElementById("mPesosEspecifico").value = "";
        actualizarNum01();
        Actualizar02();
    }else{
        alert("Estimado calculista no se pueden borrar todos los
materiales. :(");
    }
}

function actualizarNum01() {

```

```

    var numFilas =
document.getElementById("table01").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table01.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

```

```

function ActualizarTablaSecciones01(valTabla01){
    var numFilas2 =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas2; i++) {
        var valTabla02=table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
        if(valTabla01 === valTabla02){
            table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML;
        }
    }
}

```

```

/* ***** Tabla de 02 Secciones ***** */

```

```

var Indice02,
table02 = document.getElementById("table02");

```

```

function chekeo02(){
    var condlable02 = false,
        mSeccion = document.getElementById("mSeccion").value,
        mArea = document.getElementById("mArea").value,
        mMaterialSecion = document.getElementById("mMaterialSecion").value;

    if(mSeccion === ""){
        alert("Falto Ingresar el nombre de la sección");
        condlable02 = true;
    }else if(mArea === ""){
        alert("Falto Ingresar el area");
        condlable02 = true;
    }else if(mMaterialSecion === ""){
        alert("Falto seleccionar el tipo de material");
        condlable02 = true;
    }
    return condlable02;
}

```

```

function addFila02(){
    if(!chekeo02()){
        var newRow = table02.insertRow(table02.length),
            cell0 = newRow.insertCell(0),
            cell1 = newRow.insertCell(1),
            cell2 = newRow.insertCell(2),
            cell3 = newRow.insertCell(3),
            mSeccion = document.getElementById("mSeccion").value,
            mArea = document.getElementById("mArea").value;
    }
}

```

```

        mMaterialSecion =
document.getElementById("mMaterialSecion").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName('tr').length;
        cell0.innerHTML = numFilas-1;
        cell1.innerHTML = mSeccion;
        cell2.innerHTML = mArea;
        cell3.innerHTML = mMaterialSecion;

        seleccionFila02();
        actualizarNum02();
        Actualizar04();
    }
}

function seleccionFila02(){
    for(var i = 1; i < table02.rows.length; i++){
        table02.rows[i].onclick = function(){
            Indice02 = this.rowIndex;
            document.getElementById("mSeccion").value =
this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("mArea").value = this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("mMaterialSecion").value =
this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

seleccionFila02();
function editarFila02(){
    var valTabla02=table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML;
    var mSeccion = document.getElementById("mSeccion").value,
        mArea = document.getElementById("mArea").value,
        mMaterialSecion = document.getElementById("mMaterialSecion").value;

    if(!chekeo02()){
        table02.rows[Indice02].cells[0].innerHTML = Indice02;
        table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML = mSeccion;
        table02.rows[Indice02].cells[2].innerHTML = mArea;
        table02.rows[Indice02].cells[3].innerHTML = mMaterialSecion;
    }
    Actualizar04();
    ActualizarTablaSecciones02(valTabla02);
}

function removerFila02(){
    var valTabla02=table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML;
    var numFilas2 =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var numFilas4 =
document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length-1;

    if (numFilas2 > 1) {
        for (let i = 0; i < numFilas4; i++) {
            var valTabla04=table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
            if(valTabla02 === valTabla04){

```

```

        if (Indice02 > 1) {
            table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table02.rows[1].cells[1].innerHTML;
        }else{
            table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table02.rows[2].cells[1].innerHTML;
        }
    }
}
table02.deleteRow(Indice02);
document.getElementById("mSeccion").value = "";
document.getElementById("mArea").value = "";
document.getElementById("mMaterialSeccion").value = "";
actualizarNum02();
Actualizar04();
}else{
    alert("Estimado calculista no se pueden borrar todas las secciones.
:(");
}
}

function actualizarNum02(){
    var numFilas =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table02.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

Actualizar02();
function Actualizar02() {
    var array = MatrizMateriales();
    document.getElementById("mMaterialSeccion").innerHTML="<option
disabled>Selecione un material</option>";
    for(var i in array){
        document.getElementById("mMaterialSeccion").innerHTML += "<option
value='"+array[i][1]+"'">"+array[i][1]+"</option>";
    }
}

function ActualizarTablaSecciones02(valTabla02){
    var numFilas4 =
document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas4; i++) {
        var valTabla04=table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
        if(valTabla02 === valTabla04){
            table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML;
        }
    }
}
}

```

```

/* ===== Tabla de 03 Nodos ===== */
// Tabla Numero 03 Nodos
var Indice03,
    table03 = document.getElementById("table03");

function chekeo03(){
    var condlable03 = false,
        cDirecX = document.getElementById("cDirecX").value,
        cDirecY = document.getElementById("cDirecY").value;

    if(cDirecX === ""){
        alert("Falto Ingresar la Coordenada en X :(");
        condlable03 = true;
    }else if(cDirecY === ""){
        alert("Falto Ingresar la Coordenada en Y :(");
        condlable03 = true;
    }
    return condlable03;
}

function addFila03(){
    if(!chekeo03()){
        var newRow = table03.insertRow(table03.length),
            cell0 = newRow.insertCell(0),
            cell1 = newRow.insertCell(1),
            cell2 = newRow.insertCell(2),

            cDirecX = document.getElementById("cDirecX").value,
            cDirecY = document.getElementById("cDirecY").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table03").getElementsByTagName('tr').length;
        cell0.innerHTML = numFilas-1;
        cell1.innerHTML = cDirecX;
        cell2.innerHTML = cDirecY;

        actualizarNum03();
        seleccionFila03();

        addFila03Tabla05(); /* tabla de restricciones */
        addFila03Tabla06();
        GraficaCanvas01(ctx01);
    }
}

function seleccionFila03(){
    for(var i = 1; i < table03.rows.length; i++){
        table03.rows[i].onclick = function(){
            Indice03 = this.rowIndex;
            document.getElementById("cDirecX").value = this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("cDirecY").value = this.cells[2].innerHTML;

        };
    }
}

```



```

    }
}

seleccionFila03();
function editarFila03() {
    var cDirecX = document.getElementById("cDirecX").value,
        cDirecY = document.getElementById("cDirecY").value;

    if(!chekeo03()){
        table03.rows[Indice03].cells[0].innerHTML = Indice03;
        table03.rows[Indice03].cells[1].innerHTML = cDirecX;
        table03.rows[Indice03].cells[2].innerHTML = cDirecY;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

function removerFila03() {
    table03.deleteRow(Indice03);

    document.getElementById("cDirecX").value = "";
    document.getElementById("cDirecY").value = "";

    actualizarNum03();
    removerFila03Tabla05();
    removerFila03Tabla06();

    GraficaCanvas01(ctx01);

}

function actualizarNum03() {
    var numFilas =
document.getElementById("table03").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table03.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

function actualizarNum03Tabla05() {
    var numFilas =
document.getElementById("table05").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table05.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

function actualizarNum03Tabla06() {
    var numFilas =
document.getElementById("table06").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table06.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

```

```

var Indice05, table05 = document.getElementById("table05");
function addFila03Tabla05() {
    var newRow = table05.insertRow(table05.length),
        cell10 = newRow.insertCell(0),
        cell11 = newRow.insertCell(1),
        cell12 = newRow.insertCell(2);

    var numFilas =
document.getElementById("table05").getElementsByTagName('tr').length;
    cell10.innerHTML = numFilas-1;
    cell11.innerHTML = 0;
    cell12.innerHTML = 0;
    actualizarNum03Tabla05();
}
function removerFila03Tabla05() {
    table05.deleteRow(Indice03);
    actualizarNum03Tabla05();
}

function tab05RestrX() {
    editarFila05(1);
    return 1;
}
function tab05RestrY() {
    editarFila05(2);
    return 2;
}
function tab05RestrXY() {
    editarFila05(3);
    return 3;
}
function tab05SinApoyo() {
    editarFila05(4);
    return 4;
}

function seleccionFila05() {
    for(var i = 1; i < table05.rows.length; i++) {
        table05.rows[i].onclick = function() {
            Indice05 = this.rowIndex;
        };
    }
}
seleccionFila05();
function editarFila05(valApoyo) {
    if(valApoyo == 1) {
        table05.rows[Indice05].cells[1].innerHTML = 1;
        table05.rows[Indice05].cells[2].innerHTML = 0;
    } else if(valApoyo == 2) {
        table05.rows[Indice05].cells[1].innerHTML = 0;
        table05.rows[Indice05].cells[2].innerHTML = 1;
    } else if(valApoyo == 3) {
        table05.rows[Indice05].cells[1].innerHTML = 1;
        table05.rows[Indice05].cells[2].innerHTML = 1;
    } else {
        table05.rows[Indice05].cells[1].innerHTML = 0;
    }
}

```

```

        table05.rows[Indice05].cells[2].innerHTML = 0;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

```

```

var Indice06, table06 = document.getElementById("table06");
function addFila03Tabla06(){
    var newRow = table06.insertRow(table06.length),
        cell0 = newRow.insertCell(0),
        cell1 = newRow.insertCell(1),
        cell2 = newRow.insertCell(2);

    var numFilas =
document.getElementById("table06").getElementsByTagName('tr').length;
    cell0.innerHTML = numFilas-1;
    cell1.innerHTML = 0;
    cell2.innerHTML = 0;
    actualizarNum03Tabla06();
}
function removerFila03Tabla06(){
    table06.deleteRow(Indice03);
    actualizarNum03Tabla06();
}

```

```

function chequeo06(){
    var condlable06 = false,
        cFuerX = document.getElementById("cFuerX").value,
        cFuerY = document.getElementById("cFuerY").value;
    if(cFuerX === ""){
        alert("Falto Ingresar la Fuerza en X");
        condlable06 = true;
    }else if(cFuerY === ""){
        alert("Falto Ingresar la Fuerza en Y");
        condlable06 = true;
    }
    return condlable06;
}

```

```

function seleccionFila06(){
    for(var i = 1; i < table06.rows.length; i++){
        table06.rows[i].onclick = function(){
            Indice06 = this.rowIndex;
            document.getElementById("cFuerX").value = this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("cFuerY").value = this.cells[2].innerHTML;

```

```

        };
    }
}

seleccionFila06();
function editarFila06(){
    var cFuerX = document.getElementById("cFuerX").value,
        cFuerY = document.getElementById("cFuerY").value;

    if(!chekeo06()){
        table06.rows[Indice06].cells[0].innerHTML = Indice06;
        table06.rows[Indice06].cells[1].innerHTML = cFuerX;
        table06.rows[Indice06].cells[2].innerHTML = cFuerY;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

function removerFila06(){
    document.getElementById("cFuerX").value = 0;
    document.getElementById("cFuerY").value = 0;
    editarFila06();
}

/* ***** Tabla de 04 Barras ***** */
// Tabla Numero 04 Elementos
var Indice04,
    table04 = document.getElementById("table04");

function chekeo04(){
    var condlable04 = false,
        bNodoInicial = document.getElementById("bNodoInicial").value,
        bNodoFinal = document.getElementById("bNodoFinal").value,
        bSeccionBarra = document.getElementById("bSeccionBarra").value;

    if(bNodoInicial === ""){
        alert("Falto Ingresar el Nodo Inicial :(");
        condlable04 = true;
    }else if(bNodoFinal === ""){
        alert("Falto Ingresar el Nodo Final :(");
        condlable04 = true;
    }else if(bSeccionBarra === ""){
        alert("Falto Ingresar el Nodo Final :(");
        condlable04 = true;
    }
    return condlable04;
}

function addFila04(){
    if(!chekeo04()){
        var newRow = table04.insertRow(table04.length),
            cell0 = newRow.insertCell(0),
            cell1 = newRow.insertCell(1),
            cell2 = newRow.insertCell(2),
            cell3 = newRow.insertCell(3),

```

```

        bNodoInicial = document.getElementById("bNodoInicial").value,
        bNodoFinal = document.getElementById("bNodoFinal").value,
        bSeccionBarra = document.getElementById("bSeccionBarra").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length;
        cell0.innerHTML = numFilas-1;
        cell1.innerHTML = bNodoInicial;
        cell2.innerHTML = bNodoFinal;
        cell3.innerHTML = bSeccionBarra;

        actualizarNum04();
        seleccionFila04();
        GraficaCanvas01(ctx01);
    }
}

function seleccionFila04(){
    for(var i = 1; i < table04.rows.length; i++){
        table04.rows[i].onclick = function(){
            Indice04 = this.rowIndex;
            document.getElementById("bNodoInicial").value =
this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("bNodoFinal").value =
this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("bSeccionBarra").value =
this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

seleccionFila04();
function editarFila04(){
    var bNodoInicial = document.getElementById("bNodoInicial").value,
        bNodoFinal = document.getElementById("bNodoFinal").value,
        bSeccionBarra = document.getElementById("bSeccionBarra").value;

    if(!chequeo04()){
        table04.rows[Indice04].cells[0].innerHTML = Indice04;
        table04.rows[Indice04].cells[1].innerHTML = bNodoInicial;
        table04.rows[Indice04].cells[2].innerHTML = bNodoFinal;
        table04.rows[Indice04].cells[3].innerHTML = bSeccionBarra;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

function removerFila04(){
    table04.deleteRow(Indice04);

    document.getElementById("bNodoInicial").value = "";
    document.getElementById("bNodoFinal").value = "";
    document.getElementById("bSeccionBarra").value = "";
    actualizarNum04();

    GraficaCanvas01(ctx01);
}

```

```

function actualizarNum04 () {

    var numFilas =
document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table04.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;

    }
}

Actualizar04();
function Actualizar04() {
    var array = MatrizSecciones();
    document.getElementById("bSeccionBarra").innerHTML="<option
disabled>Selecione Seccion ...</option>";
    for(var i in array){
        document.getElementById("bSeccionBarra").innerHTML += "<option
value='"+array[i][1]+'>"+array[i][1]+"</option>";

    }
}

/* Aquí termina el trabajo con el ingreso de datos */

/* %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Actualizar Grafica %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%*/
/* Aquí Inicia el trabajo de dibujo de los eleméntenos */

var canvas01=document.getElementById('lienzo01');
var ctx01=canvas01.getContext('2d');

GraficaCanvas01(ctx01);

var cordGrafix;
var cordGrafiy;

function GraficaCanvas01(ctx){
    ctx.clearRect(0, 0, canvas01.width, canvas01.height);
    GraficarNodosCanva01(ctx);
    GraficarBarrasCavas01(ctx,1);
    GraficarApoyosCanvas01(ctx);
    GraficaCargasCanvas01();
}

function GraficaCanvasDeformada(ctx){
    XYsinDef=CoordenadasNodos();
    XYconDef=sumaM(XYsinDef,tranM(UU),1500);

    ctx.clearRect(0, 0, canvas01.width, canvas01.height);
    GraficarBarrasCavas01(ctx,2);
    GraficarApoyosCanvas01(ctx);
    GraficarBarrasDeformadaCavas01(ctx);
}

```

```

function GraficarNodosCanva01 (ctx) {
  CoordenadasNodos ();
  var XX = cordGrafix;
  var YY = cordGrafy;
  var iin=XX.length;
  if (iin != 1) {
    for(var i = 0; i < iin; i++){
      dCirculo(ctx,XX[i],YY[i],i+1,"blue");
    }
  }else{
    dCirculo(ctx,30,canvas01.height-30,"1","blue");
  }
  return 1;
}

```

```

function GraficarBarrasCavas01 (ctx,ij) {
  var XXYX=CoordenadasNodos ();
  var Nij=MatrizBarras ();
  var XX=XXYX[0];
  var YY=XXYX[1];
  var ji;
  n=Nij.length-1;
  for(var i = 0; i < Nij.length; i++){
    ii=Nij[i][1]-1;
    jj=Nij[i][2]-1;
    if (ij == 1){
      ji=i+1;
    }else{
      ji="";
    }
    dLine (ctx,XX[ii],YY[ii],XX[jj],YY[jj],ji,"blue");
  }
}

```

```

function GraficarBarrasDeformadaCavas01 (ctx) {

  var XXYX=XYconDef;
  var Nij=MatrizBarras ();
  var XX=XXYX[0];
  var YY=XXYX[1];
  n=Nij.length-1;
  for(var i = 0; i < Nij.length; i++){
    ii=Nij[i][1]-1;
    jj=Nij[i][2]-1;
    dLine (ctx,XX[ii],YY[ii],XX[jj],YY[jj],i+1,"red");
  }
}

```

```

function GraficarApoyosCanvas01 (ctx) {
  CoordenadasNodos ();

```

```

var XX = cordGrafix;
var YY = cordGrafy;
var tipo =4;
var Uxy=MatrizRestriciones();
var Ux, Uy;
for(var i = 0; i < XX.length; i++){
    Ux=Uxy[i][1];
    Uy=Uxy[i][2];
    if(Ux == 1){
        tipo=1;
        if(Uy == 1){
            tipo=3;
        }
    }else if(Uy == 1){
        tipo=2;
    }else{
        tipo=4;
    }
    dApoyos(ctx, XX[i],YY[i],tipo);
}
}

function GraficaCargasCanvas01() {
    CoordenadasNodos();
    var XX = cordGrafix;
    var YY = cordGrafy;

    var Fxy=MatrizFuerzas();
    var Fx, Fy;

    for(var i = 0; i < XX.length; i++){
        Fx=Fxy[i][1];
        Fy=Fxy[i][2];

        if(Fx != 0){
            dFlecha(ctx01, XX[i],YY[i],1, Fx);
        }
        if(Fy != 0){
            dFlecha(ctx01, XX[i],YY[i],2, Fy);
        }
    }
}

function dApoyos(ctx,x,y,tipo){
    var grosor=3, color="green";
    ctx.beginPath();
    ctx.strokeStyle=color;//"rgba(10,255,100,1)";
    ctx.lineWidth=grosor;

    if (tipo === 2) { //Y
        ctx.moveTo(x-20,y+20);
        ctx.lineTo(x+20,y+20);

        ctx.moveTo(x-20,y+15);

```



```

    ctx.lineTo(x+20,y+15);

    ctx.moveTo(x-10,y+15);
    ctx.lineTo(x,y);
    ctx.lineTo(x+10,y+15);
}else if(tipo === 3) { //XY
    ctx.moveTo(x-20,y+20);
    ctx.lineTo(x+20,y+20);

    ctx.moveTo(x-10,y+20);
    ctx.lineTo(x,y);
    ctx.lineTo(x+10,y+20);
}else if(tipo === 1) { //X
    ctx.moveTo(x-20,y-20);
    ctx.lineTo(x-20,y+20);

    ctx.moveTo(x-15,y-20);
    ctx.lineTo(x-15,y+20);

    ctx.moveTo(x-15,y-10);
    ctx.lineTo(x,y);
    ctx.lineTo(x-15,y+10);
}
ctx.stroke();
ctx.closePath();
}

function dFlecha(ctx, x,y,cond, texto){
    if (texto != 0){
        var grosor=4, color="red", tamano=75;
        var x1=x;
        var y1=y;
        ctx.beginPath();
        ctx.strokeStyle=color; //"rgba(10,255,100,1)";
        ctx.lineWidth=grosor;
        ctx.moveTo(x,y);

        if (cond == 1) {
            if (texto < 0) {
                x1=x1+tamano;
            }else if(texto > 0){
                x1=x1-tamano;
            }
        }else if(cond == 2) {
            if (texto < 0) {
                y1=y1-tamano;
            }else if(texto > 0){
                y1=y1+tamano;
            }
        }
        ctx.lineTo(x1,y1);
        if (cond == 1) {
            if (texto < 0) {
                ctx.moveTo(x,y);
                ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y-0.1*tamano)
                ctx.moveTo(x,y);
                ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y+0.1*tamano)
            }
        }
    }
}

```

```

        }else if(texto > 0){
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y-0.1*tamano)
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y+0.1*tamano)
        }
    }else if(cond == 2) {
        if (texto < 0) {
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y-0.1*tamano)
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y-0.1*tamano)
        }else if(texto > 0){
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y+0.1*tamano)
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y+0.1*tamano)
        }
    }

    ctx.stroke();
    ctx.closePath();

    ctx.font = "18px Helvetica";
    ctx.fillStyle = "blue";
    ctx.textAlign = "center";
    ctx.fillText(texto,x1+20,y1+10);
}
}

function CoordenadasNodos() {
    cordGrafix=new Array();
    cordGrafy=new Array();
    var XXYY=tranM(MatrizCoordenadas());
    var XX=XXYY[1];
    var YY=XXYY[2];
    var iin=XX.length;
    if (iin != 1) {
        var scalaNodo=aCoordenadas(XX,YY);
        for(var i = 0; i < iin; i++){
            dXX=30+0.8*scalaNodo*XX[i];
            dYY=canvas01.height-0.8*scalaNodo*YY[i]-50;
            cordGrafix[i]=dXX;
            cordGrafy[i]=dYY;
        }
    }else{
        cordGrafix[i]=XX[0];
        cordGrafy[i]=YY[0];
    }
    return [cordGrafix, cordGrafy];
}

function aCoordenadas(X,Y) {
    var cB=canvas01.width;
    var cH=canvas01.height;

```

```

var Xmin = Math.min(...X);
var Xmax = Math.max(...X);
var Ymin = Math.min(...Y);
var Ymax = Math.max(...Y);

var Dx=Xmax-Xmin;
var Dy=Ymax-Ymin;

var scale;
if (cB/Dx < cH/Dy){
    scale=cB/Dx;
}else{
    scale=cH/Dy;
}
return scale;
}

function dLine(ctx,xi,yi,xj,yj,texto, color){
    var grosor=5;// color="blue";
    ctx.beginPath();
    ctx.strokeStyle=color;//"rgba(10,255,100,1)";
    ctx.lineWidth=grosor;

    ctx.moveTo(xi,yi);
    ctx.lineTo(xj,yj);
    ctx.stroke();
    ctx.closePath();

    ctx.font = "18px Helvetica";
    ctx.fillStyle = "blue";
    ctx.textAlign = "center";
    ctx.fillText(texto, (xi+xj)/2-15, (yi+yj)/2+15);
}

function dCirculo(ctx, x, y, texto, color){
    var r1=3, r2=8;
    ctx.beginPath();
    ctx.arc(x,y,r1,0,2*Math.PI);
    ctx.closePath()
    ctx.lineWidth=3;
    ctx.strokeStyle=color;
    ctx.stroke();

    ctx.beginPath();
    ctx.arc(x,y,r2,0,2*Math.PI);
    ctx.closePath()
    ctx.lineWidth=2;
    ctx.strokeStyle=color;
    ctx.stroke();

    ctx.font = "15px Helvetica";
    ctx.fillStyle = "red";
    ctx.textAlign = "center";
    ctx.fillText(texto,x+10,y-10);
}

```

```

/* ~~~~~*/
/* ~~~~~ Recolecion de Datos de las tablas ~~~~~*/

function MatrizMateriales() {
    table01 = document.getElementById("table01");
    var
indCantidad=document.getElementById("table01").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,4);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table01.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=table01.rows[i+1].cells[1].innerHTML;
        Mat[i][2]=parseFloat(table01.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
        Mat[i][3]=parseFloat(table01.rows[i+1].cells[3].innerHTML);
    }
    return Mat;
}

function MatrizSecciones() {
    table02 = document.getElementById("table02");
    var
indCantidad=document.getElementById("table02").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,4);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table02.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=table02.rows[i+1].cells[1].innerHTML;
        Mat[i][2]=parseFloat(table02.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
        Mat[i][3]=table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
    }
    return Mat;
}

function MatrizCoordenadas() {
    table03 = document.getElementById("table03");
    var
indCantidad=document.getElementById("table03").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,3);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
        Mat[i][2]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
    }
    return Mat;
}

function MatrizRestriciones() {
    table05 = document.getElementById("table05");
    var
indCantidad=document.getElementById("table05").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,3);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
    }
}

```

```

        Mat[i][2]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
    }
    return Mat;
}

function MatrizFuerzas(){
    table06 = document.getElementById("table06");
    var
indCantidad=document.getElementById("table06").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,3);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
        Mat[i][2]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
    }
    return Mat;
}

function MatrizBarras(){
    table04 = document.getElementById("table04");
    var
indCantidad=document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,4);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table04.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=parseFloat(table04.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
        Mat[i][2]=parseFloat(table04.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
        Mat[i][3]=table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
    }
    return Mat;
}

```

```

/* *****
/* ***** Llamada de datos para el calculo *****

```

```

var nn;
var ne;
var EA;
function llamadaDatos() {
    var XY=MatrizCoordenadas();
    var Uxy=MatrizRestriciones();
    var Fxy=MatrizFuerzas();
    var Nij=MatrizBarras();
    var Mater=MatrizMateriales();
    var SAM=MatrizSecciones();
}

```

```

nn=XY.length;
ne=Nij.length;
var ns=SAM.length;
var nm=Mater.length;

X=zerosV(nn);
Y=zerosV(nn);
k0=zerosM(nn,2);
P=zerosM(nn,2);
nudo=zerosM(ne,2);
EA=zerosV(ne);
var element_label=zerosV(ne);

for (var i=0; i<nn; i++){
    X[i]=XY[i][1];
    Y[i]=XY[i][2];
    k0[i][0]=Uxy[i][1];
    k0[i][1]=Uxy[i][2];
    P[i][0]=Fxy[i][1];
    P[i][1]=Fxy[i][2];
}

for (var i=0; i<ne; i++){
    nudo[i][0]=Nij[i][1];
    nudo[i][1]=Nij[i][2];
    element_label[i]=Nij[i][3];
}

var E=zerosV(nm);
var gamma=zerosV(nm);
var cofTer=zerosV(nm);
var material_label=zerosV(nm);
for (var i=0; i<nm; i++){
    material_label[i]=Mater[i][1];/* Etiqueta */
    E[i]=Mater[i][2];
    gamma[i]=Mater[i][3];
    cofTer[i]=Mater[i][4];
}

var section_label=zerosV(ns);
var area=zerosV(ns);
var material=zerosV(ns);
for (var i=0; i<ns; i++){
    section_label[i]=SAM[i][1];/* tipo2 */
    area[i]=SAM[i][2];
    material[i]=SAM[i][3];
}

for (var n=0; n<ne; n++){
    for (var i=0; i<ns; i++){
        if (element_label[n] == section_label[i]) {
            for (var j=0; j<nm; j++){
                if (material[i] === material_label[j]) {
                    EA[n]=E[j]*area[i];
                }
            }
        }
    }
}

```

```

    }
  }
}
return EA;
}

```

```

/* =====*/
/* ===== Código del cálculo =====*/

```

```

var e;
var t;
var n;
var Dx;
var Dy;
var L;
var r;
var K;
var F;
var resX;
var nx;

```

```

function CalInicioArmadura() {
  llamadaDatos();
  k1=calcular(k0) [0];
  nx=calcular(k0) [1];
  Kglobal=KKglobal();
  Kreducido=KKreducida(Kglobal,k1,nx) [0];
  kr=KKreducida(Kglobal,k1,nx) [1];
  F=fuerzaF();
  resX=xxM(Kreducido,F);
  UU=desplazamientoU(resX);
  Rxy=multM(kr,resX);
  Rtable=reaccionesR(Rxy);
  FuerAxial=FA(UU);
  GenerarDesplazamientos();
  GenerarEsfuerzos();
  GenerarValorApoyos();
  alert("Calculo terminado :");
  return 1;
}

```

```

function calcular(Uxy) {
  var k1 = new Array();
  var t=-1;
  nt=0;
  for (var i=0; i < Uxy.length; i++){
    for (var j=0; j < Uxy[0].length; j++){
      t=t+1;
    }
  }
}

```

```

        if (Uxy[i][j] == 0) {
            nt=nt+1;
            k1[t]=nt;
        }else{
            k1[t]=0;
        }
    }
}
return [k1,nt];
}

function K2(n){
    var k2 = new Array();
    k2[3]=2*nudo[n][1];
    k2[2]=k2[3]-1;
    k2[1]=2*nudo[n][0];
    k2[0]=k2[1]-1;
    return k2;
}

function Ke(n){
    ii=nudo[n][0]-1;
    jj=nudo[n][1]-1;
    Dx=X[jj]-X[ii];
    Dy=Y[jj]-Y[ii];
    L=Math.sqrt(Math.pow(Dx,2)+Math.pow(Dy,2));
    cc=(EA[n]/L)*(Math.pow(Dx/L,2));
    ss=(EA[n]/L)*(Math.pow(Dy/L,2));
    cs=(EA[n]/L)*((Dx/L)*(Dy/L));
    var kk=[
        [cc,cs,-cc,-cs],
        [cs,ss,-cs,-ss],
        [-cc,-cs,cc,cs],
        [-cs,-ss,cs,ss]
    ];
    return kk;
}

function KKglobal(){
    var columna;
    var fila;
    var ke;
    var k2;
    var K=zerosM(2*nn,2*nn);
    for (var n=0; n<ne; n++){
        ke=Ke(n);
        k2=K2(n);
        for (var i=0; i<4; i++){
            columna=k2[i];
            for (var j=0; j<4; j++){
                fila=k2[j];
                K[fila-1][columna-1] = K[fila-1][columna-1]+ke[i][j];
            }
        }
    }
}
return K;

```



```

}

function KKreducida(KK,k1,nx){
    var K=zerosM(nx,nx);
    var ny=2*nn-nx;
    var kr=zerosM(ny,nx);
    var t=-1;
    var h=-1;
    var columna;
    var fila;
    for (var i=0; i<2*nn; i++){
        fila=k1[i];
        if (fila != 0){
            for (var j=0; j<2*nn; j++) {
                columna=k1[j];
                if (columna != 0){
                    K[fila-1][columna-1] = K[fila-1][columna-1]+KK[i][j];
                }
            }
        }else{
            t=t+1;
            h=-1;
            for (var j=0; j<2*nn; j++) {
                columna=k1[j];
                if (columna != 0){
                    h=h+1;
                    kr[t][h]=KK[i][j];
                }
            }
        }
    }
    return [K,kr];
}

```

```

function fuerzaF(){
    var F = zerosV(nx);
    var n=-1;
    for (var i=0; i<nn; i++){
        for (var j=0; j<2; j++){
            n=n+1;
            k=k1[n];
            if (k != 0) {
                F[k-1]=P[i][j];
            }
        }
    }
    return F;
}

```

```

function reaccionesR(R){
    var u=zerosM(nn,2);
    var n=-1;
    var k=-1;
    for (var i=0; i<nn; i++){

```

```

    for (var j=0; j<2; j++){
        n=n+1;
        u[i][j]=0;
        if (k1[n] == 0){
            k=k+1;
            u[i][j]=R[k];
        }
    }
}
return u;
}

function desplazamientoU(uu){
    var desp = zerosM(nn,2);
    var n=-1;
    for (var i=0; i < nn; i++){
        for (var j=0; j < 2; j++){
            n=n+1;
            desp[i][j]=0;
            if (k1[n] != 0) {
                desp[i][j]=uu[k1[n]-1];
            }
        }
    }
    return desp;
}

function FA(uu){
    var F=zerosM(ne,2);
    for (var n=0; n < ne; n++){
        ii=nudo[n][0]-1;
        jj=nudo[n][1]-1;
        Dx=X[jj]-X[ii];
        Dy=Y[jj]-Y[ii];
        L2=Math.pow(Dx,2)+Math.pow(Dy,2);
        Du=uu[jj][0]-uu[ii][0];
        Dv=uu[jj][1]-uu[ii][1];
        F[n][0]=(EA[n]/L2)*(Du*Dx+Dv*Dy);

        if (F[n][0]<0) {
            F[n][1]="Comp";
        }else if (F[n][0]>0){
            F[n][1]="Trac";
        }else {
            F[n][1]="NoTrab";
        }
    }
    return F;
}

```

```
/* Aquí inicia la generación de los desplazamientos de la Armadura Plana */
```

```
function GenerarDesplazamientos () {  
  
    numFilas=nn;  
    var  
    codigoHTML="<thead><tr><th>Nodo</th><th>Ux</th><th>Uy</th></tr></thead><tbody>";  
  
    for (var i=0; i < numFilas; i++){  
  
        codigoHTML+="<tr>";  
        //valores[i-1].toFixed(3)  
  
        codigoHTML+="<td>"+(i+1)+"</td>";  
        codigoHTML+="<td>"+UU[i][0].toFixed(6)+"</td>";  
        codigoHTML+="<td>"+UU[i][1].toFixed(6)+"</td>";  
  
        codigoHTML+="</tr>";  
    }  
    codigoHTML+="</tbody>";  
    document.getElementById("table07").innerHTML=codigoHTML;  
}
```

```
function GenerarValorApoyos () {  
  
    numFilas=nn;  
    var  
    codigoHTML="<thead><tr><th>Nodo</th><th>Rx</th><th>Ry</th></tr></thead><tbody>";  
  
    for (var i=0; i < numFilas; i++){  
        codigoHTML+="<tr>";  
  
        codigoHTML+="<td>"+(i+1)+"</td>";  
        codigoHTML+="<td>"+Rtable[i][0].toFixed(4)+"</td>";  
        codigoHTML+="<td>"+Rtable[i][1].toFixed(4)+"</td>";  
  
        codigoHTML+="</tr>";  
    }  
    codigoHTML+="</tbody>";  
    document.getElementById("table08").innerHTML=codigoHTML;  
}
```

```
function GenerarEsfuerzos () {  
    numFilas=ne;  
    var codigoHTML="<thead><tr><th>Elem</th><th>Fuerza  
Axial</th><th>Estado</th></tr></thead><tbody>";  
  
    for (var i=0; i < numFilas; i++){  
  
        codigoHTML+="<tr>";
```

```

        codigoHTML+="<td>"+(i+1)+"</td>";

        codigoHTML+="<td>"+FuerAxial[i][0].toFixed(4)+"</td>";
        codigoHTML+="<td>"+FuerAxial[i][1]+"</td>";

        codigoHTML+="</tr>";
    }
    codigoHTML+="</tbody>";
    document.getElementById("table09").innerHTML=codigoHTML;
}

```

// Trabajo con Matrices

```

function sumaV2(V) {
    var sum=0;
    for (var i=0; i<V.length; i++){
        sum=sum+V[i];
    }
    return sum;
}

function zerosV(n) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i <n; i++) {
        c[i]=0;
    }
    return c;
}

function zerosM(n,m) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i <n; i++) {
        c[i]=new Array();
        for (var j =0; j < m; j++) {
            c[i][j]=0;
        }
    }
    return c;
}

function tranM(a) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i < a[0].length; i++) {
        c[i]=new Array();
        for (var j = 0; j < a.length; j++) {
            c[i][j]=a[j][i];
        }
    }
    return c;
}

```

```
// Multiplicación especial
```

```
function multM(a, b){  
  var sum;  
  var c=new Array()  
  for (var i = 0; i < a.length; i++) {  
    c[i]=new Array();  
    sum=0  
    for (var k=0; k < b.length; k++){  
      sum=sum+a[i][k]*b[k];  
    }  
    c[i]=sum;  
  }  
  return c;  
}
```

```
// Gauus
```

```
function xxM(a, b) {  
  var n=a.length;  
  var c=new Array()  
  for (var i = 0; i < n; i++) {  
    c[i]=new Array();  
    for (var j = 0; j < n; j++) {  
      c[i][j]=a[i][j];  
    }  
    c[i][n]=b[i];  
  }  
  for (var e = 0; e < n; e++){  
    t=c[e][e];  
    for (var j = 0; j < n+1; j++){  
      c[e][j]=(c[e][j])/t;  
    }  
  
    for (var i = 0; i < n; i++){  
      if (i != e) {  
        t=c[i][e];  
        for (var j = 0; j < n+1; j++){  
          c[i][j]=c[i][j]-t*c[e][j];  
        }  
      }  
    }  
  }  
  var x=new Array()  
  for (var i = 0; i < n; i++) {  
    x[i]=c[i][n];  
  }  
  return x;  
}
```

```
// Suma de Matrices, la escala se aplica en b
function sumaM(a, b, scala) {
  if ((a.length = b.length) && (a[0].length = b[0].length)) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i < a.length; i++) {
      c[i]=new Array();
      for (var j = 0; j < a[0].length; j++) {
        c[i][j]=a[i][j]-scala*b[i][j];
      }
    }
    return c;
  }
}
```

```

/* =====
Universidad Cesar Vallejo
Por: Lupaca Quispe Denis Rudy
Código JavaScript
===== ARMADURAS ESPACIALES =====*/

var contenedor = document.getElementById("contenedorMayor");
var ampliarLienzo = document.getElementById("lienzo01");
var btnAmpliar = document.querySelector("#btnAmpliar");

function Ampliar() {

    contenedor.style.width="100%";
    contenedor.style.height="99vh";
    contenedor.style.margin="0";

    ampliarLienzo.style.width="88%";
    ampliarLienzo.style.height="100vh";
    ampliarLienzo.style.height="cover";
    ampliarLienzo.style.backgroundRepeat="no-repeat";

    btnAmpliar.innerHTML="<span class='ico ico-img02 ico-1x'></span>Reducir";
    btnAmpliar.style.zIndex="1";

    btnAmpliar.setAttribute("onClick", "Reducir()");
}

function Reducir() {

    contenedor.style.width="1500px";
    contenedor.style.height="800px";
    contenedor.style.margin="5vh auto";

    ampliarLienzo.style.width="800px";
    ampliarLienzo.style.height="700px";

    btnAmpliar.innerHTML="<span class='ico ico-img02 ico-1x'></span>Ampliar";
    btnAmpliar.style.zIndex="0";

    btnAmpliar.setAttribute("onClick", "Ampliar()");
}

/* ===== Mostrar =====*/
function mostrar01() {
    document.getElementById("CajaF01").style.display="block";
    document.getElementById("CajaF02").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF03").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF04").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF05").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF06").style.display="none";
    document.getElementById("CajaF07").style.display="none";
}

```



```

/* ===== Tabla de 01 ===== */
var Indice01,
table01 = document.getElementById("table01");

function chekeo01(){
    var condlabel01 = false,
        mMaterial = document.getElementById("mMaterial").value,
        mElasticidad = document.getElementById("mElasticidad").value,
        mPesosEspecifico =
document.getElementById("mPesosEspecifico").value;

    if(mMaterial === ""){
        alert("Falto Ingresar el nombre del material");
        condlabel01 = true;
    }else if(mElasticidad === ""){
        alert("Falto Ingresar el modulo de elaticidad");
        condlabel01 = true;
    }else if(mPesosEspecifico === ""){
        alert("Falto Ingresar el peso especifico");
        condlabel01 = true;
    }
    return condlabel01;
}

function addFila01(){
    if(!chekeo01()){
        var newRow = table01.insertRow(table01.length),
            cell0 = newRow.insertCell(0),
            cell1 = newRow.insertCell(1),
            cell2 = newRow.insertCell(2),
            cell3 = newRow.insertCell(3),
            mMaterial = document.getElementById("mMaterial").value,
            mElasticidad = document.getElementById("mElasticidad").value,
            mPesosEspecifico =
document.getElementById("mPesosEspecifico").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table01").getElementsByTagName("tr").length;

        cell0.innerHTML = numFilas-1;
        cell1.innerHTML = mMaterial;
        cell2.innerHTML = mElasticidad;
        cell3.innerHTML = mPesosEspecifico;

        seleccionFila01();
        actualizarNum01();
        Actualizar02();

        noRepetirAnadir01();
    }
}

function seleccionFila01(){
    for(var i = 1; i < table01.rows.length; i++){
        table01.rows[i].onclick = function(){
            Indice01 = this.rowIndex;
        }
    }
}

```

```

        document.getElementById("mMaterial").value =
this.cells[1].innerHTML;
        document.getElementById("mElasticidad").value =
this.cells[2].innerHTML;
        document.getElementById("mPesosEspecifico").value =
this.cells[3].innerHTML;
    };
}
}

seleccionFila01();
function editarFila01() {
    var valTabla01=table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML;
    var mMaterial = document.getElementById("mMaterial").value,
        mElasticidad = document.getElementById("mElasticidad").value;
    mPesosEspecifico =
document.getElementById("mPesosEspecifico").value;

    if (!chequeo01()) {
        table01.rows[Indice01].cells[0].innerHTML = Indice01;
        table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML = mMaterial;
        table01.rows[Indice01].cells[2].innerHTML = mElasticidad;
        table01.rows[Indice01].cells[3].innerHTML = mPesosEspecifico;
    }
    Actualizar02();
    ActualizarTablaSecciones01(valTabla01);
}

function removerFila01() {
    var valTabla01=table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML;
    var numFilas1 =
document.getElementById("table01").getElementsByTagName("tr").length-1;
    var numFilas2 =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName("tr").length-1;

    if (numFilas1 > 1) {
        for (let i = 0; i < numFilas2; i++) {
            var valTabla02=table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML;

            if (valTabla01 === valTabla02) {
                if (Indice01 > 1) {
                    table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table01.rows[1].cells[1].innerHTML;
                } else {
                    table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table01.rows[2].cells[1].innerHTML;
                }
            }

        }
    }
    table01.deleteRow(Indice01);
    document.getElementById("mMaterial").value = "";
    document.getElementById("mElasticidad").value = "";
    document.getElementById("mPesosEspecifico").value = "";
    actualizarNum01();
    Actualizar02();
}

```

```

    }else{
        alert("Estimado calculista no se pueden borrar todos los
materiales. :(");
    }
}

function actualizarNum01 () {
    var numFilas =
document.getElementById("table01").getElementsByTagName("tr").length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table01.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

function ActualizarTablaSecciones01 (valTabla01) {
    var numFilas2 =
document.getElementById("table02").getElementsByTagName("tr").length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas2; i++) {
        var valTabla02=table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
        if(valTabla01 === valTabla02){
            table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table01.rows[Indice01].cells[1].innerHTML;
        }
    }
}

/* ***** Tabla de 02 Secciones ***** */
var Indice02,
table02 = document.getElementById("table02");

function chekeo02 () {
    var condlable02 = false,
    mSeccion = document.getElementById("mSeccion").value,
    mArea = document.getElementById("mArea").value,
    mMaterialSecion = document.getElementById("mMaterialSecion").value;

    if(mSeccion === ""){
        alert("Falto Ingresar el nombre de la sección");
        condlable02 = true;
    }else if(mArea === ""){
        alert("Falto Ingresar el area");
        condlable02 = true;
    }else if(mMaterialSecion === ""){
        alert("Falto seleccionar el tipo de material");
        condlable02 = true;
    }
    return condlable02;
}

function addFila02 () {
    if(!chekeo02()){
        var newRow = table02.insertRow(table02.length),

```

```

        cell10 = newRow.insertCell(0),
        cell11 = newRow.insertCell(1),
        cell12 = newRow.insertCell(2),
        cell13 = newRow.insertCell(3),
        mSeccion = document.getElementById("mSeccion").value,
        mArea = document.getElementById("mArea").value;
        mMaterialSeccion =
document.getElementById("mMaterialSeccion").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table02").getElementsByName("tr").length;
        cell10.innerHTML = numFilas-1;
        cell11.innerHTML = mSeccion;
        cell12.innerHTML = mArea;
        cell13.innerHTML = mMaterialSeccion;

        seleccionFila02();
        actualizarNum02();
        Actualizar04();
    }
}

function seleccionFila02(){
    for(var i = 1; i < table02.rows.length; i++){
        table02.rows[i].onclick = function(){
            Indice02 = this.rowIndex;
            document.getElementById("mSeccion").value =
this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("mArea").value = this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("mMaterialSeccion").value =
this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

seleccionFila02();
function editarFila02(){
    var valTabla02=table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML;
    var mSeccion = document.getElementById("mSeccion").value,
        mArea = document.getElementById("mArea").value,
        mMaterialSeccion = document.getElementById("mMaterialSeccion").value;

    if(!chequeo02()){
        table02.rows[Indice02].cells[0].innerHTML = Indice02;
        table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML = mSeccion;
        table02.rows[Indice02].cells[2].innerHTML = mArea;
        table02.rows[Indice02].cells[3].innerHTML = mMaterialSeccion;
    }
    Actualizar04();
    // Aquí va la actualización tabla-04 Barras
    ActualizarTablaSecciones02(valTabla02);
}

function removerFila02(){
    var valTabla02=table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML;
    var numFilas2 =
document.getElementById("table02").getElementsByName("tr").length-1;

```

```

var numFilas4 =
document.getElementById("table04").getElementsByName('tr').length-1;

if (numFilas2 > 1) {
    for (let i = 0; i < numFilas4; i++) {
        var valTabla04=table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
        if(valTabla02 === valTabla04){
            if (Indice02 > 1) {
                table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table02.rows[1].cells[1].innerHTML;
            }else{
                table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table02.rows[2].cells[1].innerHTML;
            }
        }
    }
    table02.deleteRow(Indice02);
    document.getElementById("mSeccion").value = "";
    document.getElementById("mArea").value = "";
    document.getElementById("mMaterialSeccion").value = "";
    actualizarNum02();
    Actualizar04();
}else{
    alert("Estimado calculista no se pueden borrar todas las secciones.
:(");
}
}

function actualizarNum02(){
    var numFilas =
document.getElementById("table02").getElementsByName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table02.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

Actualizar02();
function Actualizar02() {
    var array = MatrizMateriales();
    document.getElementById("mMaterialSeccion").innerHTML="<option
disabled>Selecione un material</option>";
    for(var i in array){
        document.getElementById("mMaterialSeccion").innerHTML += "<option
value='"+array[i][1]+"'">"+array[i][1]+"</option>";
    }
}

function ActualizarTablaSecciones02(valTabla02){
    var numFilas4 =
document.getElementById("table04").getElementsByName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas4; i++) {
        var valTabla04=table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
        if(valTabla02 === valTabla04){
            table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML =
table02.rows[Indice02].cells[1].innerHTML;

```

```

    }
}

/* ===== Tabla de 03 Nodos ===== */
// Tabla Numero 03 Nodos
var Indice03,
    table03 = document.getElementById("table03");

function chekeo03(){
    var condlable03 = false,
        cDirecX = document.getElementById("cDirecX").value,
        cDirecY = document.getElementById("cDirecY").value,
        cDirecZ = document.getElementById("cDirecZ").value;

    if(cDirecX === ""){
        alert("Falto Ingresar la Coordenada en X :(");
        condlable03 = true;
    }else if(cDirecY === ""){
        alert("Falto Ingresar la Coordenada en Y :(");
        condlable03 = true;
    }else if(cDirecZ === ""){
        alert("Falto Ingresar la coordenada en Z :(");
        condlable03 = true;
    }
    return condlable03;
}

function addFila03(){
    if(!chekeo03()){
        var newRow = table03.insertRow(table03.length),
            cell0 = newRow.insertCell(0),
            cell1 = newRow.insertCell(1),
            cell2 = newRow.insertCell(2),
            cell3 = newRow.insertCell(3),

            cDirecX = document.getElementById("cDirecX").value,
            cDirecY = document.getElementById("cDirecY").value,
            cDirecZ = document.getElementById("cDirecZ").value;

        var numFilas =
document.getElementById("table03").getElementsByTagName("tr").length;
        cell0.innerHTML = numFilas-1;
        cell1.innerHTML = cDirecX;
        cell2.innerHTML = cDirecY;
        cell3.innerHTML = cDirecZ;

        actualizarNum03();
        seleccionFila03();

        addFila03Tabla05(); /* tabla de restricciones */
        addFila03Tabla06();
    }
}

```

```

    GraficaCanvas01(ctx01);
}
}

function seleccionFila03(){
    for(var i = 1; i < table03.rows.length; i++){
        table03.rows[i].onclick = function(){
            Indice03 = this.rowIndex;
            document.getElementById("cDirecX").value = this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("cDirecY").value = this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("cDirecZ").value = this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

seleccionFila03();
function editarFila03(){
    var cDirecX = document.getElementById("cDirecX").value,
        cDirecY = document.getElementById("cDirecY").value,
        cDirecZ = document.getElementById("cDirecZ").value;

    if(!chekeo03()){
        table03.rows[Indice03].cells[0].innerHTML = Indice03;
        table03.rows[Indice03].cells[1].innerHTML = cDirecX;
        table03.rows[Indice03].cells[2].innerHTML = cDirecY;
        table03.rows[Indice03].cells[3].innerHTML = cDirecZ;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

function removerFila03(){
    table03.deleteRow(Indice03);

    document.getElementById("cDirecX").value = "";
    document.getElementById("cDirecY").value = "";
    document.getElementById("cDirecZ").value = "";

    actualizarNum03();
    GraficaCanvas01(ctx01);

    removerFila03Tabla05();
    removerFila03Tabla06();
}

function actualizarNum03(){
    var numFilas =
document.getElementById("table03").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table03.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

function actualizarNum03Tabla05(){
    var numFilas =
document.getElementById("table05").getElementsByTagName('tr').length-1;

```

```

    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table05.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}
function actualizarNum03Tabla06(){

    var numFilas =
document.getElementById("table06").getElementsByName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table06.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

```

```

var Indice05, table05 = document.getElementById("table05");
function addFila03Tabla05(){
    var newRow = table05.insertRow(table05.length),
        cell0 = newRow.insertCell(0),
        cell1 = newRow.insertCell(1),
        cell2 = newRow.insertCell(2);
        cell3 = newRow.insertCell(3);

    var numFilas =
document.getElementById("table05").getElementsByName('tr').length;
    cell0.innerHTML = numFilas-1;
    cell1.innerHTML = 0;
    cell2.innerHTML = 0;
    cell3.innerHTML = 0;
    actualizarNum03Tabla05();
}
function removerFila03Tabla05(){
    table05.deleteRow(Indice03);
    actualizarNum03Tabla05();
}

```

```

function chekeo05(){
    var condlable05 = false,
        cRestrX = document.getElementById("cRestrX").value,
        cRestrY = document.getElementById("cRestrY").value,
        cRestrZ = document.getElementById("cRestrZ").value;
    if(cRestrX === ""){
        alert("Falto Ingresar Apoyo en X :(");
        condlable05 = true;
    }else if(cRestrY === ""){
        alert("Falto Ingresar Apoyo en Y :(");
        condlable05 = true;
    }
}

```



```

else if(cRestrZ === ""){
    alert("Falto Ingresar Apoyo en Z :(");
    condlable105 = true;
}
return condlable105;
}

```

```

function seleccionFila05(){
    for(var i = 1; i < table05.rows.length; i++){
        table05.rows[i].onclick = function(){
            Indice05 = this.rowIndex;
            document.getElementById("cRestrX").value = this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("cRestrY").value = this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("cRestrZ").value = this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

```

```

seleccionFila05();
function editarFila05(){
    var cRestrX = document.getElementById("cRestrX").value,
        cRestrY = document.getElementById("cRestrY").value;
        cRestrZ = document.getElementById("cRestrZ").value;

    if(!chequeo05()){
        table05.rows[Indice05].cells[1].innerHTML = cRestrX;
        table05.rows[Indice05].cells[2].innerHTML = cRestrY;
        table05.rows[Indice05].cells[3].innerHTML = cRestrZ;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

```

```

function tab05RestrZ(){
    removerFila05(2);
    return 2;
}

```

```

function tab05RestrXYZ(){
    removerFila05(3);
    return 3;
}

```

```

function tab05SinApoyo(){
    removerFila05(4);
    return 4;
}

```

```

function removerFila05 (valApoyo) {
    var rX, rY, rZ;
    if (valApoyo == 2) {
        rX=0;
        rY=0;
        rZ=1;
    } else if (valApoyo == 3) {
        rX=1;
        rY=1;
        rZ=1;
    } else {
        rX=0;
        rY=0;
        rZ=0;
    }

    table05.rows[Indice05].cells[1].innerHTML = rX;
    table05.rows[Indice05].cells[2].innerHTML = rY;
    table05.rows[Indice05].cells[3].innerHTML = rZ;
    document.getElementById("cRestrX").value = rX;
    document.getElementById("cRestrY").value = rY;
    document.getElementById("cRestrZ").value = rZ;
    GraficaCanvas01 (ctx01);
}

```

```

var Indice06, table06 = document.getElementById("table06");
function addFila03Tabla06 () {
    var newRow = table06.insertRow(table06.length),
        cell10 = newRow.insertCell(0),
        cell11 = newRow.insertCell(1),
        cell12 = newRow.insertCell(2),
        cell13 = newRow.insertCell(3);

    var numFilas =
document.getElementById("table06").getElementsByTagName("tr").length;
    cell10.innerHTML = numFilas-1;
    cell11.innerHTML = 0;
    cell12.innerHTML = 0;
    cell13.innerHTML = 0;
    actualizarNum03Tabla06();
}
function removerFila03Tabla06 () {
    table06.deleteRow(Indice03);
    actualizarNum03Tabla06();
}

```

```

function chekeo06(){
    var condlable06 = false,
        cFuerX = document.getElementById("cFuerX").value,
        cFuerY = document.getElementById("cFuerY").value,
        cFuerZ = document.getElementById("cFuerZ").value;
    if(cFuerX === ""){
        alert("Falto Ingresar la Fuerza en X :(");
        condlable06 = true;
    }else if(cFuerY === ""){
        alert("Falto Ingresar la Fuerza en Y :(");
        condlable06 = true;
    }
    else if(cFuerZ === ""){
        alert("Falto Ingresar la Fuerza en Z :(");
        condlable06 = true;
    }
    return condlable06;
}

```

```

function seleccionFila06(){
    for(var i = 1; i < table06.rows.length; i++){
        table06.rows[i].onclick = function(){
            Indice06 = this.rowIndex;
            document.getElementById("cFuerX").value = this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("cFuerY").value = this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("cFuerZ").value = this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

```

```

seleccionFila06();
function editarFila06(){
    var cFuerX = document.getElementById("cFuerX").value,
        cFuerY = document.getElementById("cFuerY").value;
        cFuerZ = document.getElementById("cFuerZ").value;

    if(!chekeo06()){
        table06.rows[Indice06].cells[1].innerHTML = cFuerX;
        table06.rows[Indice06].cells[2].innerHTML = cFuerY;
        table06.rows[Indice06].cells[3].innerHTML = cFuerZ;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

```

```

function removerFila06(){
    document.getElementById("cFuerX").value = 0;
    document.getElementById("cFuerY").value = 0;
    document.getElementById("cFuerZ").value = 0;
    editarFila06();
}

```

```
}
```

```
/* %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% Tabla de 04 Barras %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%*/  
// Tabla Numero 04 Elementos  
var Indice04,  
    table04 = document.getElementById("table04");
```

```
function chekeo04(){  
    var condlable04 = false,  
        bNodoInicial = document.getElementById("bNodoInicial").value,  
        bNodoFinal = document.getElementById("bNodoFinal").value,  
        bSeccionBarra = document.getElementById("bSeccionBarra").value;  
  
    if(bNodoInicial === ""){  
        alert("Falto Ingresar el Nodo Inicial :(");  
        condlable04 = true;  
    }else if(bNodoFinal === ""){  
        alert("Falto Ingresar el Nodo Final :(");  
        condlable04 = true;  
    }else if(bNodoFinal === ""){  
        alert("Falto Ingresar el Nodo Final :(");  
        condlable04 = true;  
    }  
    return condlable04;  
}
```

```
function addFila04(){  
    if(!chekeo04()){  
        var newRow = table04.insertRow(table04.length),  
            cell10 = newRow.insertCell(0),  
            cell11 = newRow.insertCell(1),  
            cell12 = newRow.insertCell(2),  
            cell13 = newRow.insertCell(3),  
  
            bNodoInicial = document.getElementById("bNodoInicial").value,  
            bNodoFinal = document.getElementById("bNodoFinal").value,  
            bSeccionBarra = document.getElementById("bSeccionBarra").value;  
  
            var numFilas =  
document.getElementById("table04").getElementsByTagName("tr").length;  
            cell10.innerHTML = numFilas-1;  
            cell11.innerHTML = bNodoInicial;  
            cell12.innerHTML = bNodoFinal;  
            cell13.innerHTML = bSeccionBarra;  
  
            actualizarNum04();  
            seleccionFila04();  
            GraficaCanvas01(ctx01);  
    }  
}
```

```

function seleccionFila04(){
    for(var i = 1; i < table04.rows.length; i++){
        table04.rows[i].onclick = function(){
            Indice04 = this.rowIndex;
            document.getElementById("bNodoInicial").value =
this.cells[1].innerHTML;
            document.getElementById("bNodoFinal").value =
this.cells[2].innerHTML;
            document.getElementById("bSeccionBarra").value =
this.cells[3].innerHTML;
        };
    }
}

```

```

seleccionFila04();
function editarFila04(){
    var bNodoInicial = document.getElementById("bNodoInicial").value,
        bNodoFinal = document.getElementById("bNodoFinal").value,
        bSeccionBarra = document.getElementById("bSeccionBarra").value;

    if(!chequeo04()){
        table04.rows[Indice04].cells[0].innerHTML = Indice04;
        table04.rows[Indice04].cells[1].innerHTML = bNodoInicial;
        table04.rows[Indice04].cells[2].innerHTML = bNodoFinal;
        table04.rows[Indice04].cells[3].innerHTML = bSeccionBarra;
    }
    GraficaCanvas01(ctx01);
}

```

```

function removerFila04(){
    table04.deleteRow(Indice04);

    document.getElementById("bNodoInicial").value = "";
    document.getElementById("bNodoFinal").value = "";
    document.getElementById("bSeccionBarra").value = "";
    actualizarNum04();

    GraficaCanvas01(ctx01);
}

```

```

function actualizarNum04(){
    var numFilas =
document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length-1;
    for (let i = 0; i < numFilas; i++) {
        table04.rows[i+1].cells[0].innerHTML = i+1;
    }
}

```

```

}

Actualizar04();
function Actualizar04() {
    var array = MatrizSecciones();
    document.getElementById("bSeccionBarra").innerHTML="<option
disabled>Selecione Seccion ...</option>";
    for(var i in array){
        document.getElementById("bSeccionBarra").innerHTML += "<option
value='"+array[i][1]+"'">"+array[i][1]+"</option>";
    }
}

/* Aquí termina el trabajo con el ingreso de datos */

/* ===== Actualizar Grafica =====*/
/* Aquí Inicia el trabajo de dibujo de los elementos */

var canvas01=document.getElementById('lienzo01');
var ctx01=canvas01.getContext('2d');

var aTheta=Math.PI*30/180;
var cost=Math.cos(aTheta);
var senT=Math.sin(aTheta);

GraficaCanvas01(ctx01);

var cordGrafix;
var cordGrafiy;

function GraficaCanvas01(ctx){
    ctx.clearRect(0, 0, canvas01.width, canvas01.height);
    GraficarNodosCanva01(ctx);
    GraficarBarrasCavas01(ctx,1);
    GraficarApoyosCanvas01(ctx);
    GraficaCargasCanvas01();
}

function GraficaCanvasDeformada(ctx){
    XYZsinDef=CoordenadasNodos();
    var UUU=CoordenadasNodosDeformados();
    XYZconDef=sumaM(XYZsinDef,UUU,0.1);

```

```

// console.log(XYZconDef)
ctx.clearRect(0, 0, canvas01.width, canvas01.height);
GraficarBarrasCavas01(ctx,2);
GraficarApoyosCanvas01(ctx);
GraficarBarrasDeformadaCavas01(ctx);
}

```

```

function GraficarNodosCanva01 (ctx) {
  CoordinadasNodos ();
  var XX = cordGrafiX;
  var YY = cordGrafiY;
  var iin=XX.length;
  if (iin != 1) {
    for(var i = 0; i < iin; i++){
      dCirculo(ctx,XX[i],YY[i],i+1,"blue");
    }
  }else{
    dCirculo(ctx,30,canvas01.height-30,"1","blue");
  }
  return 1;
}

```

```

function GraficarBarrasCavas01 (ctx,ij) {
  var XXYY=CoordinadasNodos ();
  var Nij=MatrizBarras ();
  var XX=XXYY[0];
  var YY=XXYY[1];
  var ji;
  n=Nij.length-1;
  for(var i = 0; i < Nij.length; i++){
    ii=Nij[i][1]-1;
    jj=Nij[i][2]-1;
    if (ij == 1){
      ji=i+1;
    }else{
      ji="";
    }
    dLine(ctx,XX[ii],YY[ii],XX[jj],YY[jj],ji,"blue");
  }
}

```

```

function GraficarBarrasDeformadaCavas01 (ctx) {
  var XXYYZZ=XYZconDef;
  var Nij=MatrizBarras ();
  var XX=XXYYZZ[0];
  var YY=XXYYZZ[1];
  n=Nij.length-1;
  for(var i = 0; i < Nij.length; i++){
    ii=Nij[i][1]-1;
    jj=Nij[i][2]-1;
    dLine(ctx,XX[ii],YY[ii],XX[jj],YY[jj],i+1,"red");
  }
}

```

```

function GraficarApoyosCanvas01 (ctx) {
    CoordenadasNodos ();
    var XX = cordGrafix;
    var YY = cordGrafy;
    var tipo =4;
    var Uxyz=MatrizRestriciones ();
    var Ux, Uy, Uz;
    for (var i = 0; i < XX.length; i++){
        Ux=Uxyz[i][1];
        Uy=Uxyz[i][2];
        Uz=Uxyz[i][3];

        if(Ux+Uy+Uz == 3){
            tipo=3;
        }else if(Ux+Uy+Uz == 0){
            tipo=4;
        }else if(Uz == 1){
            tipo=2;
        }
        else{
            tipo=1;
        }
        dApoyos (ctx, XX[i],YY[i],tipo);
    }
}

function GraficaCargasCanvas01 () {
    CoordenadasNodos ();
    var XX = cordGrafix;
    var YY = cordGrafy;

    var Fxyz=MatrizFuerzas ();
    var Fx, Fy, Fz;

    for (var i = 0; i < XX.length; i++){
        Fx=Fxyz[i][1];
        Fy=Fxyz[i][2];
        Fz=Fxyz[i][3];

        if(Fx != 0){
            dFlecha (ctx01, XX[i],YY[i],1, Fx);
        }
        if(Fy != 0){
            dFlecha (ctx01, XX[i],YY[i],3, Fy);
        }
        if(Fz != 0){
            dFlecha (ctx01, XX[i],YY[i],2, Fz);
        }
    }
}

function dApoyos (ctx,x,y,tipo) {

```



```

var grosor=3, color="green";
ctx.beginPath();
ctx.strokeStyle=color;//"rgba(10,255,100,1)";
ctx.lineWidth=grosor;

if (tipo === 2) { //Z
  ctx.moveTo(x-20,y+20);
  ctx.lineTo(x+20,y+20);

  ctx.moveTo(x-20,y+15);
  ctx.lineTo(x+20,y+15);

  ctx.moveTo(x-10,y+15);
  ctx.lineTo(x,y);
  ctx.lineTo(x+10,y+15);
} else if (tipo === 3) { //XYZ
  ctx.moveTo(x-20,y+20);
  ctx.lineTo(x+20,y+20);

  ctx.moveTo(x-10,y+20);
  ctx.lineTo(x,y);
  ctx.lineTo(x+10,y+20);
} else if (tipo === 1) { //variable X Y Z
  ctx.moveTo(x-15,y-15);
  ctx.lineTo(x+15,y+15);

  ctx.moveTo(x-15,y+15);
  ctx.lineTo(x+15,y-15);
}
ctx.stroke();
ctx.closePath();
}

function dFlecha(ctx, x,y,cond, texto){
  if (texto != 0){
    var grosor=4, color="red", tamano=75;
    var x1=x;
    var y1=y;
    ctx.beginPath();
    ctx.strokeStyle=color;//"rgba(10,255,100,1)";
    ctx.lineWidth=grosor;
    ctx.moveTo(x,y);

    if (cond == 1) {
      if (texto < 0) {
        x1=x1+tamano;
      } else if (texto > 0) {
        x1=x1-tamano;
      }
    } else if (cond == 2) {
      if (texto < 0) {
        y1=y1-tamano;
      } else if (texto > 0) {
        y1=y1+tamano;
      }
    }
    ctx.lineTo(x1,y1);
  }
}

```

```

    if (cond == 1) {
        if (texto < 0) {
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y-0.1*tamano);
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y+0.1*tamano);

        }else if(texto > 0){
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y-0.1*tamano);
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y+0.1*tamano);
        }
    }else if(cond == 2){
        if (texto < 0) {
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y-0.1*tamano);
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y-0.1*tamano);
        }else if(texto > 0){
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x-0.1*tamano,y+0.1*tamano);
            ctx.moveTo(x,y);
            ctx.lineTo(x+0.1*tamano,y+0.1*tamano);
        }
    }else if(cond == 3){
        ctx.moveTo(x-5,y+5);
        ctx.lineTo(x+5,y-5);
        ctx.moveTo(x-5,y-5);
        ctx.lineTo(x+5,y+5);
    }

    ctx.stroke();
    ctx.closePath();

    ctx.font = "18px Helvetica";
    ctx.fillStyle = "blue";
    ctx.textAlign = "center";
    ctx.fillText(texto,x1+20,y1+10);
}
}

```

```

function CoordenadasNodos() {
    cordGrafIX=new Array();
    cordGrafIY=new Array();
    var xx, yy, zz;
    var XXYZZ=tranM(MatrizCoordenadas());
    xx=XXYZZ[1];
    yy=XXYZZ[2];
    zz=XXYZZ[3];
    var iin=xx.length;
    var XX=zerosV(iin);
    var YY=zerosV(iin);

    for(var i = 0; i < iin; i++){
        XX[i]=xx[i]+yy[i]*cosT;
        YY[i]=zz[i]+yy[i]*senT;
    }
}

```

```

}

if (iin != 1) {
  var scalaNodo=aCoordenadas (XX,YY);
  for(var i = 0; i < iin; i++){
    dXX=00+0.8*scalaNodo*XX[i];
    dYY=canvas01.height-0.8*scalaNodo*YY[i]-50;
    cordGrafix[i]=dXX;
    cordGrafy[i]=dYY;
  }
} else{
  cordGrafix[i]=XX[0];
  cordGrafy[i]=YY[0];
}
return [cordGrafix, cordGrafy];
}

function CoordenadasNodosDeformados () {
  var xx, yy, zz;
  var XXYZZ=tranM(UU);
  xx=XXYZZ[0];
  yy=XXYZZ[1];
  zz=XXYZZ[2];
  var iin=xx.length;
  var XX=zerosV(iin);
  var YY=zerosV(iin);

  for(var i = 0; i < iin; i++){
    XX[i]=xx[i]+yy[i]*cosT;
    YY[i]=zz[i]+yy[i]*senT;
  }
  return [XX, YY];
}

function aCoordenadas (X,Y) {
  var cB=canvas01.width;
  var cH=canvas01.height;

  var Xmin = Math.min(...X);
  var Xmax = Math.max(...X);
  var Ymin = Math.min(...Y);
  var Ymax = Math.max(...Y);

  var Dx=Xmax-Xmin;
  var Dy=Ymax-Ymin;

  var scale;
  if (cB/Dx < cH/Dy) {
    scale=cB/Dx;
  } else{
    scale=cH/Dy;
  }
  return scale;
}

```

```

function dLine(ctx,xi,yi,xj,yj,texto, color){
    var grosor=5;// color="blue";
    ctx.beginPath();
    ctx.strokeStyle=color;//"rgba(10,255,100,1)";
    ctx.lineWidth=grosor;

    ctx.moveTo(xi,yi);
    ctx.lineTo(xj,yj);
    ctx.stroke();
    ctx.closePath();

    ctx.font = "18px Helvetica";
    ctx.fillStyle = "blue";
    ctx.textAlign = "center";
    ctx.fillText(texto,(xi+xj)/2-15,(yi+yj)/2+15);
}

```

```

function dCirculo(ctx, x, y, texto, color){
    var r1=3, r2=8;
    ctx.beginPath();
    ctx.arc(x,y,r1,0,2*Math.PI);
    ctx.closePath();
    ctx.lineWidth=3;
    ctx.strokeStyle=color;
    ctx.stroke();

    ctx.beginPath();
    ctx.arc(x,y,r2,0,2*Math.PI);
    ctx.closePath();
    ctx.lineWidth=2;
    ctx.strokeStyle=color;
    ctx.stroke();

    ctx.font = "15px Helvetica";
    ctx.fillStyle = "red";
    ctx.textAlign = "center";
    ctx.fillText(texto,x+10,y-10);
}

```

```

/* ***** */
/* ***** Recolección de Datos de las tablas ***** */
function MatrizMateriales(){
    table01 = document.getElementById("table01");
    var
    indCantidad=document.getElementById("table01").getElementsByTagName('tr').length-1;

```

```

var Mat=zerosM(indCantidad,4);
for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
    Mat[i][0]=parseFloat(table01.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
    Mat[i][1]=table01.rows[i+1].cells[1].innerHTML;
    Mat[i][2]=parseFloat(table01.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
    Mat[i][3]=parseFloat(table01.rows[i+1].cells[3].innerHTML);
}
return Mat;
}

function MatrizSecciones(){
    table02 = document.getElementById("table02");
    var
indCantidad=document.getElementById("table02").getElementsByTagName("tr").length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,4);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table02.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=table02.rows[i+1].cells[1].innerHTML;
        Mat[i][2]=parseFloat(table02.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
        Mat[i][3]=table02.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
    }
    return Mat;
}

function MatrizCoordenadas(){
    table03 = document.getElementById("table03");
    var
indCantidad=document.getElementById("table03").getElementsByTagName("tr").length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,3);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
        Mat[i][2]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
        Mat[i][3]=parseFloat(table03.rows[i+1].cells[3].innerHTML);
    }
    return Mat;
}

function MatrizRestriciones(){
    table05 = document.getElementById("table05");
    var
indCantidad=document.getElementById("table05").getElementsByTagName("tr").length-1;
    var Mat=zerosM(indCantidad,3);
    for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
        Mat[i][0]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
        Mat[i][1]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
        Mat[i][2]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
        Mat[i][3]=parseFloat(table05.rows[i+1].cells[3].innerHTML);
    }
    return Mat;
}

function MatrizFuerzas(){
    table06 = document.getElementById("table06");

```

```

var
indCantidad=document.getElementById("table06").getElementsByTagName('tr').length-1;
var Mat=zerosM(indCantidad,3);
for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
Mat[i][0]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
Mat[i][1]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
Mat[i][2]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
Mat[i][3]=parseFloat(table06.rows[i+1].cells[3].innerHTML);
}
return Mat;
}

```

```

function MatrizBarras(){
table04 = document.getElementById("table04");
var
indCantidad=document.getElementById("table04").getElementsByTagName('tr').length-1;
var Mat=zerosM(indCantidad,4);
for (var i = 0; i <indCantidad; i++) {
Mat[i][0]=parseFloat(table04.rows[i+1].cells[0].innerHTML);
Mat[i][1]=parseFloat(table04.rows[i+1].cells[1].innerHTML);
Mat[i][2]=parseFloat(table04.rows[i+1].cells[2].innerHTML);
Mat[i][3]=table04.rows[i+1].cells[3].innerHTML;
}
return Mat;
}

```

```

/* =====*/
/* ===== Llamada de datos para el cálculo =====*/

```

```

var nn;
var ne;
var EA;
function llamadaDatos() {
var XYZ=MatrizCoordenadas();
var Uxy=MatrizRestriciones();
var Fxy=MatrizFuerzas();
var Nij=MatrizBarras();
var Mater=MatrizMateriales();
var SAM=MatrizSecciones();

nn=XYZ.length;
ne=Nij.length;
var ns=SAM.length;
var nm=Mater.length;

X=zerosV(nn);
Y=zerosV(nn);
Z=zerosV(nn);
k0=zerosM(nn,3);
P=zerosM(nn,3);
nudo=zerosM(ne,2);
EA=zerosV(ne);
var element_label=zerosV(ne);

```

```

for (var i=0; i<nn; i++){
    X[i]=XYZ[i][1];
    Y[i]=XYZ[i][2];
    Z[i]=XYZ[i][3];
    k0[i][0]=Uxy[i][1];
    k0[i][1]=Uxy[i][2];
    k0[i][2]=Uxy[i][3];
    P[i][0]=Fxy[i][1];
    P[i][1]=Fxy[i][2];
    P[i][2]=Fxy[i][3];
}

for (var i=0; i<ne; i++){
    nudo[i][0]=Nij[i][1];
    nudo[i][1]=Nij[i][2];
    element_label[i]=Nij[i][3];
}

var E=zerosV(nm);
var gamma=zerosV(nm);
var cofTer=zerosV(nm);
var material_label=zerosV(nm);
for (var i=0; i<nm; i++){
    material_label[i]=Mater[i][1];/* Etiqueta */
    E[i]=Mater[i][2];
    gamma[i]=Mater[i][3];
    cofTer[i]=Mater[i][4];
}

var section_label=zerosV(ns);
var area=zerosV(ns);
var material=zerosV(ns);
for (var i=0; i<ns; i++){
    section_label[i]=SAM[i][1];/* tipo2 */
    area[i]=SAM[i][2];
    material[i]=SAM[i][3];
}

for (var n=0; n<ne; n++){
    for (var i=0; i<ns; i++){
        if (element_label[n] == section_label[i]) {
            for (var j=0; j<nm; j++){
                if (material[i] === material_label[j]) {
                    EA[n]=E[j]*area[i];
                }
            }
        }
    }
}
return EA;
}

```

```

/* ~~~~~*/
/* ~~~~~ Código del cálculo ~~~~~*/
var e;
var t;
var n;
var Dx;
var Dy;
var L;
var r;
var K;
var F;
var resX;
var nx;

function CalInicioArmadura() {
    llamadaDatos();
    k1=calcular(k0) [0];
    nx=calcular(k0) [1];
    Kglobal=KKglobal();
    Kreducido=KKreducida(Kglobal,k1,nx) [0];
    kr=KKreducida(Kglobal,k1,nx) [1];
    F=fuerzaF();
    resX=xxM(Kreducido,F);
    UU=desplazamientoU(resX);
    Rxy=multM(kr,resX);
    Rtable=reaccionesR(Rxy);
    FuerAxial=FA(UU);
    GenerarDesplazamientos();
    GenerarEsfuerzos();
    GenerarValorApoyos();
    alert("Calculo terminado :");
    return 1;
}

function calcular(Uxy) {
    var k1 = new Array();
    var t=-1;
    nt=0;
    for (var i=0; i < Uxy.length; i++){
        for (var j=0; j < Uxy[0].length; j++){
            t=t+1;
            if (Uxy[i][j] == 0) {
                nt=nt+1;
                k1[t]=nt;
            }else{
                k1[t]=0;
            }
        }
    }
    return [k1,nt];
}

```



```

function K2(n){
    var k2 = new Array();
    k2[5]=3*nudo[n][1];
    k2[4]=k2[5]-1;
    k2[3]=k2[5]-2;
    k2[2]=3*nudo[n][0];
    k2[1]=k2[2]-1;
    k2[0]=k2[2]-2;
    return k2;
}

function Ke(n){
    var Dx,Dy,Dz;
    i=nudo[n][0]-1;
    j=nudo[n][1]-1;
    Dx=X[j]-X[i];
    Dy=Y[j]-Y[i];
    Dz=Z[j]-Z[i];
    L=Math.sqrt(Math.pow(Dx,2)+Math.pow(Dy,2)+Math.pow(Dz,2));
    r=Math.sqrt(EA[n]/L);
    cx=r*Dx/L;
    cy=r*Dy/L;
    cz=r*Dz/L;
    var kk=[
        [cx*cx, cx*cy, cx*cz, -cx*cx, -cx*cy, -cx*cz],
        [cx*cy, cy*cy, cy*cz, -cx*cy, -cy*cy, -cy*cz],
        [cx*cz, cy*cz, cz*cz, -cx*cz, -cy*cz, -cz*cz],
        [-cx*cx, -cx*cy, -cx*cz, cx*cx, cx*cy, cx*cz],
        [-cx*cy, -cy*cy, -cy*cz, cx*cy, cy*cy, cy*cz],
        [-cx*cz, -cy*cz, -cz*cz, cx*cz, cy*cz, cz*cz]
    ];
    return kk;
}

function KKglobal(){
    var columna;
    var fila;
    var ke;
    var k2;
    var K=zerosM(3*nn,3*nn);
    for (var n=0; n<ne; n++){
        ke=Ke(n);
        k2=K2(n);
        for (var i=0; i<6; i++){
            columna=k2[i];
            for (var j=0; j<6; j++) {
                fila=k2[j];
                K[fila-1][columna-1] = K[fila-1][columna-1]+ke[i][j];
            }
        }
    }
    return K;
}

function KKreducida(KK,k1,nx){

```

```

var K=zerosM(nx,nx);
var ny=3*nn-nx;
var kr=zerosM(ny,nx);
var t=-1;
var h=-1;
var columna;
var fila;
for (var i=0; i<3*nn; i++){
    fila=k1[i];
    if (fila != 0){
        for (var j=0; j<3*nn; j++) {
            columna=k1[j];
            if (columna != 0){
                K[fila-1][columna-1] = K[fila-1][columna-1]+KK[i][j];
            }
        }
    }
else{
    t=t+1;
    h=-1;
    for (var j=0; j<3*nn; j++){
        columna=k1[j];
        if (columna != 0){
            h=h+1;
            kr[t][h] = KK[i][j];
        }
    }
}
return [K,kr];
}

```

```

function fuerzaF(){
    var F = zerosV(nx)
    var e=-1;
    for (var i=0; i<nn; i++){
        for (var j=0; j<3; j++){
            e=e+1;
            k=k1[e];
            if (k != 0) {
                F[k-1]=F[k-1]+P[i][j];
            }
        }
    }
    return F;
}

```

```

function desplazamientoU(uu){
    var desp = zerosM(nn,2);
    var n=-1;
    for (var i=0; i<nn; i++){
        for (var j=0; j<3; j++){
            n=n+1;
            desp[i][j]=0;
            if (k1[n] != 0) {
                desp[i][j]=uu[k1[n]-1];
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    return desp;
}

function reaccionesR(R) {
    var u=zerosM(nn,3);
    var n=-1;
    var k=-1;
    for (var i=0; i<nn; i++){
        for (var j=0; j<3; j++){
            n=n+1;
            u[i][j]=0;
            if (k1[n] == 0){
                k=k+1;
                u[i][j]=R[k];
            }
        }
    }
    return u;
}

function FA(uu) {
    var F=zerosM(ne,2);
    for (var n=0; n<ne; n++){
        ii=nudo[n][0]-1;
        jj=nudo[n][1]-1;
        Dx=X[jj]-X[ii];
        Dy=Y[jj]-Y[ii];
        Dz=Z[jj]-Z[ii];
        L2=Math.pow(Dx,2)+Math.pow(Dy,2)+Math.pow(Dz,2);
        Du=uu[jj][0]-uu[ii][0];
        Dv=uu[jj][1]-uu[ii][1];
        Dw=uu[jj][2]-uu[ii][2];

        F[n][0]=(EA[n]/L2)*(Dx*Du+Dy*Dv+Dz*Dw);

        if (F[n][0]<0){
            F[n][1]="Compresion";
        }else if (F[n][0]>0){
            F[n][1]="Tracion";
        }else{
            F[n][1]="No trabaja";
        }
    }
    return F;
}

/* Aquí inicia la generación de los desplazamientos de la Armadura Espacial
*/
function GenerarDesplazamientos(){
    numFilas=nn;

```

```

var
codigoHTML="<thead><tr><th>Nodo</th><th>Uz</th><th>Uy</th><th>Uz</th></tr><
/thead><tbody>";

for (var i=0; i < numFilas; i++){

codigoHTML+="<tr>";
//valores[i-1].toFixed(3)

codigoHTML+="<td>"+(i+1)+"</td>";
codigoHTML+="<td>"+UU[i][0].toFixed(6)+"</td>";
codigoHTML+="<td>"+UU[i][1].toFixed(6)+"</td>";
codigoHTML+="<td>"+UU[i][2].toFixed(6)+"</td>";

codigoHTML+="</tr>";
}
codigoHTML+="</tbody>";
document.getElementById("table07").innerHTML=codigoHTML;
}

```

```

function GenerarValorApoyos () {

numFilas=nn;
var
codigoHTML="<thead><tr><th>Nodo</th><th>Rx</th><th>Ry</th><th>Rz</th></tr><
/thead><tbody>";

for (var i=0; i < numFilas; i++){
codigoHTML+="<tr>";

codigoHTML+="<td>"+(i+1)+"</td>";
codigoHTML+="<td>"+Rtable[i][0].toFixed(4)+"</td>";
codigoHTML+="<td>"+Rtable[i][1].toFixed(4)+"</td>";
codigoHTML+="<td>"+Rtable[i][2].toFixed(4)+"</td>";

codigoHTML+="</tr>";
}
codigoHTML+="</tbody>";
document.getElementById("table08").innerHTML=codigoHTML;
}

```

```

function GenerarEsfuerzos () {
// var
numFilas=parseInt (document.getElementById("nFilasElementos").value);
numFilas=ne;
var codigoHTML="<thead><tr><th>Elem</th><th>Fuerza
Axial</th><th>Estado</th></tr></thead><tbody>";

for (var i=0; i < numFilas; i++){

codigoHTML+="<tr>";

codigoHTML+="<td>"+(i+1)+"</td>";

```

```

        codigoHTML+="<td>"+FuerAxial[i][0].toFixed(4)+"</td>";
        codigoHTML+="<td>"+FuerAxial[i][1]+"</td>";

        codigoHTML+="</tr>";
    }
    codigoHTML+="</tbody>";
    document.getElementById("table09").innerHTML=codigoHTML;
}

```

// Trabajo con Matrices

```

function sumaV2(V) {
    var sum=0;
    for (var i=0; i<V.length; i++){
        sum=sum+V[i];
    }
    return sum;
}

```

```

function zerosV(n) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i <n; i++) {
        c[i]=0;
    }
    return c;
}

```

```

function zerosM(n,m) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i <n; i++) {
        c[i]=new Array();
        for (var j =0; j < m; j++) {
            c[i][j]=0;
        }
    }
    return c;
}

```

```

function tranM(a) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i < a[0].length; i++) {
        c[i]=new Array();
        for (var j = 0; j < a.length; j++) {
            c[i][j]=a[j][i];
        }
    }
    return c;
}

```

// Multiplicacion especial

```

function multM(a, b){

```

```

var sum;
var c=new Array()
  for (var i = 0; i < a.length; i++) {
    c[i]=new Array();
    sum=0
    for (var k=0; k < b.length; k++){
      sum=sum+a[i][k]*b[k];
    }
    c[i]=sum;
  }
  return c;
}

```

// Gauus

```

function xxM(a, b) {
  var n=a.length;
  var c=new Array()
  for (var i = 0; i < n; i++) {
    c[i]=new Array();
    for (var j = 0; j < n; j++) {
      c[i][j]=a[i][j];
    }
    c[i][n]=b[i];
  }
  for (var e = 0; e < n; e++){
    t=c[e][e];
    for (var j = 0; j < n+1; j++){
      c[e][j]=(c[e][j])/t;
    }

    for (var i = 0; i < n; i++){
      if (i != e) {
        t=c[i][e];
        for (var j = 0; j < n+1; j++){
          c[i][j]=c[i][j]-t*c[e][j];
        }
      }
    }
  }
  var x=new Array()
  for (var i = 0; i < n; i++) {
    x[i]=c[i][n];
  }
  return x;
}

```

// Suma de Matrices, la escala se aplica en b

```

function sumaM(a, b, scala) {
  if ((a.length = b.length) && (a[0].length = b[0].length)) {
    var c=new Array()
    for (var i = 0; i < a.length; i++) {
      c[i]=new Array();
      for (var j = 0; j < a[0].length; j++) {
        c[i][j]=a[i][j]-scala*b[i][j];
      }
    }
  }
}

```

```
    }  
    return c;  
  }  
}
```