

**IMPLEMENTACION DE MODELO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE A ESCALA
PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL LABORATORIO**

**ANDRÉS CAMILO RICO SALDAÑA
MARIA ANGELICA SUAZA HERNANDEZ**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT
2019**

**IMPLEMENTACION DE MODELO ESTRUCTURAL DE UN PUENTE A ESCALA
PARA ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN EL LABORATORIO**

**ANDRES CAMILO RICO SALDAÑA
MARIA ANGELICA SUAZA HERNANDEZ**

Trabajo de grado para obtener el título de ingeniero civil

ASESORES

**GENARO PENAGOS
Ingeniero Industrial**

**JUAN DAVID DEL RIO
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA CIVIL
GIRARDOT
2019**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Jurado

Girardot, 30 de Abril del 2019

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, queremos dar gracias a Dios quien nos dio la oportunidad de estar presentando ante ustedes este proyecto, ya que sin Él nada de esto sería posible.

Seguidamente a nuestros padres quienes estuvieron a lo largo de este camino apoyándonos y alentándonos a no desfallecer y a seguir adelante. Sin duda alguna fue un apoyo incondicional con el que contamos.

Y por último queremos agradecer al Ing. Luis Edgardo García Díaz, quien a pesar de no haber podido terminar con nosotros este proyecto por diferentes razones, fue esa persona quien nos orientó y siempre estuvo incondicionalmente. Al Ing. Genaro Penagos, quien desde un inicio vio con buenos ojos este proyecto y estuvo de principio a fin del presente guiándonos y acompañados durante el desarrollo de todo el proyecto. Y al Ing. Juan David del Río, por haber aportado con su gran conocimiento en el área de las estructuras y quien nos ayudó en el nudo y desenlace del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	11
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	12
3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
4. ALCANCES Y LIMITACIONES	14
4.1. Alcances	14
4.2. Limitaciones	14
5. OBJETIVOS	15
5.1. OBJETIVO GENERAL	15
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
6. MARCO REFERENCIA	16
6.1. ANTECEDENTES	16
6.2. MARCO TEORICO	20
6.2.1 Clasificación de los modelos	26
6.2.2 Métodos de análisis	27
6.2.3 Materiales	27
6.3. MARCO CONCEPTUAL	30
7. DISEÑO METODOLÓGICO	33
8. COSTOS Y RECURSOS	34
9. PRODUCTO DE LA INVESTIGACIÓN	35
10. ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
11. CONCLUSIONES	62
12. RECOMENDACIONES	64
13. BIBLIOGRAFÍA	65
14. ANEXOS	69
14.1. REGISTRO FOTOGRAFICO	69
14.2. IMPRESIÓN DE LOS RESULTADOS TABLAS SAP2000	74
14.2. MEMORIAS DE CALCULO	96
14.3. GUIA DE LABORATORIO	114
14.4. FICHA TECNICA DEL ALUMINO AA6063	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Costos	34
Tabla 2 Resultados pruebas de laboratorio	46
Tabla 3 Promedio resultados de laboratorio	46
Tabla 4 Comparación de resultados	52
Tabla 5 Determinación del Esfuerzo y deformación para un sistema de carga de 29,43 N.....	55
Tabla 6 Determinación del Esfuerzo y deformación para un sistema de carga de 58,86 N.....	57

LISTA DE FIGURAS

	PAG
Figura 1 Diagrama de Fuerzas	22
Figura 2 Diagrama de Fuerzas	23
Figura 3 Estructura sometida a tensión.....	24
Figura 4 Estructura sometida a compresión.....	25
Figura 5 Estructura con nodos	44
Figura 6 Estructura (a) Nodo 1 al Nodo 12 (b) Nodo 13 al Nodo 25	44
Figura 7 Referencia de puntos de Pruebas de laboratorio	45
Figura 8 Composición de la guía de laboratorio.....	50
Figura 9 Deformación de los elementos con carga de 29,43N	58
Figura 10 Deformación unitaria de los elementos con carga de 1Kg	59
Figura 11 Deformación de los elementos con carga de 58,86N	60
Figura 12 Deformación unitaria de los elementos carga 58,86N	61

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Modelo aeroelástico del puente (no se muestran pilones)	17
Ilustración 2 Plano de puente extradadosado	18
Ilustración 3 Localizacion, Puente Puerto Salgar y Modelo Estructural	19
Ilustración 4 Modulo de elasticidad de los materiales	28
Ilustración 5 Propiedades Mecánicas del Aluminio frente al Acero	29
Ilustración 6 Modelación de Armadura DWG en 3D.....	35
Ilustración 7 Modelo a escala	36
Ilustración 8 Prueba 1.....	47
Ilustración 9 Prueba 2.....	47
Ilustración 10 Prueba 3.....	48
Ilustración 11 Prueba 4.....	49
Ilustración 12 Representación de las Variaciones de los cálculos.....	53
Ilustración 13 Armadura y Soporte.....	69
Ilustración 14 Armadura y Soporte 2.....	70
Ilustración 15 Pesas	70
Ilustración 16 Pesas o Cargas	71
Ilustración 17 Forma de uso de los deformímetros	71
Ilustración 18 Estructura con los pesos y el deformímetro	72
Ilustración 19 Pesaje	72
Ilustración 20 Pesaje 2	73
Ilustración 21 Colocación Deformímetro	73

RESUMEN

Este proyecto se realizó, dada la importancia que tiene el objeto de conocimiento del programa “infraestructura sostenible” y su objeto de aprendizaje de estructuras. Dada la necesidad de fortalecer los procesos de simulación y los procedimientos de cálculo y prácticas de laboratorio que junto al empleo de programas especializados en estructuras, ofrezcan una visión más generalizada en el tema de armaduras. El presente proyecto de grado consistió en la realización de un modelo físico y matemático de una armadura o modelo estructural de un puente. El modelo físico se elaboró en material de aluminio, y se llevó a cabo el proceso el cálculo matemático mediante el método de nodos. Adicional nos apoyamos modelando el puente en SAP 2000, con el fin de observar y analizar la variación que pudiera presentar aplicando los dos métodos matemáticos.

Palabras claves: Modelo, cálculos, análisis de armaduras.

ABSTRACT

This project was carried out, given the importance of the knowledge object of knowledge of the “sustainable infrastructure”; programme and its learning object of structures. Given the need to simulate the processes and procedures of calculation and laboratory practices that together with the use of specialized program in structures that offer a more generalized vision in the subject of armor. The present degree project consisted in the realization of a physical and mathematical model of a reinforcement or structural model of a bridge. The physical model was made of aluminium material, and the mathematical calculation process was carried out using the node method. In addition, we supported ourselves by modeling the bridge in SAP 2000, in order to observe and analyze the variation that could present applying the two mathematical methods.

Keywords: Model, calculations, armor analysis.

1. INTRODUCCIÓN

La simulación de fenómenos físicos por medio de modelos estructurales en el área de la ingeniería civil, es una metodología que tiene gran importancia, debido a que permite ampliar la visión de cualquier proyecto, siendo una herramienta que sirve de apoyo para la toma de decisiones en cuanto a la elaboración, ejecución y planificación de un diseño o la materialización de una idea a gran escala, y así poder realizarlo previniendo dificultades que no se hubieran podido obtener sin el estudio del modelo.

Por lo anterior, los modelos estructurales de armaduras o cerchas permiten simular una estructura a escala, teniendo en cuenta que se asimila a la estructura real y que los resultados obtenidos son valores y datos aproximados que muestran su comportamiento y que se obtienen mediante diferentes factores como lo son: Ensayos de laboratorio, cálculos, materiales, etc. Estos modelos nos sirven para tener una idea del funcionamiento estructural y de cómo se comporta dependiendo de las condiciones en las que este fue construido y bajo algunos criterios sobre las cuales hayan sido diseñados, como por ejemplo las cargas de la estructura tales como cargas puntuales, cargas dinámicas, cargas de viento, etc.

Por eso, en muchos proyectos se ha optado por realizar estudios previos dentro de los cuales se ha implementado los modelos estructurales para evaluar el comportamiento de la estructura frente a diferentes factores como, sismos, cargas, excentricidades, entre otros. Obteniendo como resultado una visión del comportamiento aproximado que tendrá la estructura frente a los resultados obtenidos mediante el modelo o armadura.

En el desarrollo de los proyectos el diseño estructural o diseño de estructuras abarca diferentes actividades, para las cuales los diseñadores deben tenerlas en cuenta para la realización de un análisis previo, tales como: Dimensiones, forma, características, materiales, entre otros. Con el fin de absorber las diferentes solicitaciones que tenga que afrontar la estructura desde su construcción hasta su sostenimiento.

Es por esto que en el desarrollo del presente proyecto de grado, se busca adquirir y exponer el conocimiento obtenido con el análisis de esfuerzos vs deformación aplicándolo en modelos estructurales con el uso de modelos a escala y herramientas computacionales, teniendo como objetivo dejar un modelo practico para la realización de ensayos no destructivos y así, poder comparar los datos obtenidos en un modelo practico de laboratorio contra los cálculos que se puedan realizar según los métodos descritos en el presente proyecto.

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En busca de ampliar las herramientas para el aprendizaje en el área de estructuras, y el fortalecimiento de los modelos estructurales o laboratorio de estructuras, se ha tomado la dedición de elaborar un modelo estructural de un puente para que los estudiantes puedan interactuar con ella.

Todo esto en beneficio de los estudiantes y de la misma universidad, para incentivar a estudiantes y docentes a realizar simulaciones de estructuras bajo diferentes condiciones de carga. Esto en pro de enriquecer y fortalecer el conocimiento en el área de estructuras el cual creemos que es una de las ramas más significativas para el área de la Ingeniería.

3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El empleo de herramientas y modelos estructurales, es importante para la adquisición de conocimientos prácticos mediante ensayos no destructivos, y así complementar las teorías aprendidas en el área de estructuras del programa de ingeniería civil, como refuerzo de los conocimientos del estudiante en el área de estructuras. Por esto, es importante hacer énfasis en esta área, con el fin de que los estudiantes puedan ir más allá de lo aprendido en un aula de clase y que puedan contrastar lo que se obtiene mediante un cálculo con respecto a un ensayo en un modelo físico. Además de beneficiar a la comunidad educativa, también se beneficiaría la universidad teniendo en cuenta de que con un nuevo modelo estructural, lo que le podría significar un reconocimiento en el sector del alto magdalena. Además, se pretenden llenar los vacíos que puedan quedar en clase utilizando o haciendo la práctica o ensayo en el modelo estructural.

Debido a que la parte estructural en la ingeniería civil es un fuerte, se busca implementar un modelo o armadura de un puente para que los estudiantes puedan observar y analizar las deformaciones a las cuales un elemento estructural es sometido dependiendo del tipo de carga que se le administre. Con este modelo o armadura se busca dejar una puerta abierta al avance de la práctica en el área estructural en la universidad y a su vez de que ella en el futuro pueda implementar otros modelos tales como el de “la mesa vibratoria”, “Placa y muro de reacción” Etc.

Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario avanzar en este proyecto, en busca de mejorar y poder reforzar los conocimientos en la parte estructural de la universidad.

4. ALCANCES Y LIMITACIONES

4.1. Alcances

La finalidad de este proyecto es construir un modelo físico, para brindar un beneficio a los estudiantes para que puedan aplicar los conceptos teóricos adquiridos en las materias de estructuras y contrastarlo en el modelo.

4.2. Limitaciones

- Solo se realizarán cálculos mediante nodos.
- Durante la implementación de las practicas con el modelo solo será posible la utilización de cargas verticales debido a que la forma de la estructura impide la colocación de dichas cargas de manera horizontal, para lo cual se dispondrán en el tablero de forma vertical con ayuda de ganchos ubicados en los nodos 9, 13 y 17.
- En la determinación de las deformaciones no se tendrá en cuenta el peso propio de la estructura debido a las características del material a trabajar el modelo.
- Modelo elaborado para laboratorios no destructivos en busca de que esta herramienta perdure y puedan seguir surgiendo nuevas formas de evaluar y mejorar lo desarrollado en el presente trabajo.

5. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el estado esfuerzo-deformación de una simulación de un puente a partir de un modelo físico bajo cargas determinadas a escala.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Indagar sobre modelos estructurales implementados en laboratorios para el análisis de armaduras.
- Construir el modelo físico según las especificaciones de la investigación.
- Evaluar el esfuerzo y deformación de los elementos estructurales que conforman el modelo
- Realizar comparación entre los resultados obtenidos del modelo SAP2000 y el cálculo de nodos en los puntos referenciados en el desarrollo del proyecto para cargas verticales.
- Implementar guía práctica de laboratorio para ensayos no destructivos en laboratorio.

6. MARCO REFERENCIA

6.1. ANTECEDENTES

Toda estructura debe estar diseñada para soportar cargas y sismos según su diseño, pero antes de hacer una edificación se debe hacer un análisis previo que hoy lo denominamos como análisis de estructuras.

La aplicación de cargas a una estructura ocasiona que la estructura se deforme. Debido a la deformación, se producen varias fuerzas en las componentes que constituyen la estructura. Se denomina análisis estructural al cálculo de la magnitud de estas fuerzas, así como de las deformaciones que las causaron, lo cual es un tema muy importante para la sociedad. (Mc Cormac, 2010, pág. 3)

En el diseño estructural se debe tener en cuenta los dimensionamientos de cada parte de la estructura, como lo son: Zapatas, pilotes, vigas, columnas, etc., según los requisitos establecido por la norma colombiana NSR-10. Por otra parte, se dice que el análisis estructural es “La predicción del desempeño de una estructura ante las cargas prescritas y/o efectos externos, tales como movimientos en los apoyos y cambios de temperatura”. (Kassimali, 2015, pág. 3). Todo esto con el fin de brindar una estructura segura y económica que sirva para su propósito final.

Para la implementación de una edificación de calidad, los materiales son uno de los ítems más importantes. El acero es uno de los materiales más comercializados hoy en día para diferentes usos que van desde la fabricación de herramientas, utensilios, etc. Hasta la fabricación de máquinas industriales. En el caso de la ingeniería civil, es un material de construcción que generalmente suele usarse para hacer vigas, columnas, refuerzos, estribos, Etc. Las ventajas que presenta el acero dependiendo de su fabricación son: Alta resistencia, durabilidad, ductilidad, tenacidad, uniformidad, elasticidad, etc. Una de las principales desventajas que presenta el acero es la corrosión. Teniendo en cuenta lo anterior, los beneficios y ventajas que tiene el acero, lo hace un material deseable para suplir las necesidades que se presentan en las obras civiles teniendo en cuenta sus características y beneficios.

El acero empleado para la construcción de puentes ha sido muy utilizado, por eso:

Los puentes son puntos de unión y paso que están íntimamente relacionados con la red vial del país; son estructuras hechas de madera, piedra, concreto reforzado, o hierro estructural utilizados para que una vía de comunicación pueda salvar un río, una depresión de terreno u otra vía de comunicación. (Aquino & Hernandez, 2004)

Los puentes han sido construcciones que han desafiado a la ingeniería, en donde son diseñados teniendo en cuenta diferentes factores como lo son: los materiales, el costo del proyecto, a quien beneficia, la calidad de suelo o roca en la cual este se apoyará. Dentro de estos se encuentran varios tipos como los son: Puentes de vigas, arcos, de armaduras, atirantados, de voladizos sucesivos, etc. Además de la construcción de puentes, el análisis de estructuras de estos ha sido un punto de mejora en la ingeniería con el fin de que se pueda llevar a cabo su construcción dependiendo de la topografía del terreno.

En México la ejecución del puente Baluarte fue todo un reto para los ingenieros de ese país, pero antes de llevarse a cabo su construcción, se elaboró un modelo aeroelástico de este para ser sometido a cargas de viento.

Se diseñó y construyó un modelo aeroelástico del puente completo en una escala geométrica de 1:250 con respecto al prototipo. Se eligió esta escala para proveer una simulación adecuada, a escala, de las características del flujo turbulento, factor importante para el desarrollo de la aerodinámica del puente. (Pozos, Sánchez, & Gómez, 2012) (Ver Ilustración 1).



Ilustración 1 Modelo aeroelástico del puente (no se muestran pilones)
(Pozos, Raúl, & Roberto, 2012)

Un punto, en el estudio de los puentes ha sido a través de los modelos estructurales, que son: “cualquier elemento estructural o ensamblaje de elementos estructurales construidos a una escala reducida (en comparación con las estructuras de tamaño real) que se ensaya para interpretar los resultados por medio de las leyes de similitud” (Harris & Gajanan, 1999).

De igual forma se encontró también un modelo a escala de un puente con pretensado extradadoso mediante técnicas experimentales. Como se muestra en la siguiente imagen.

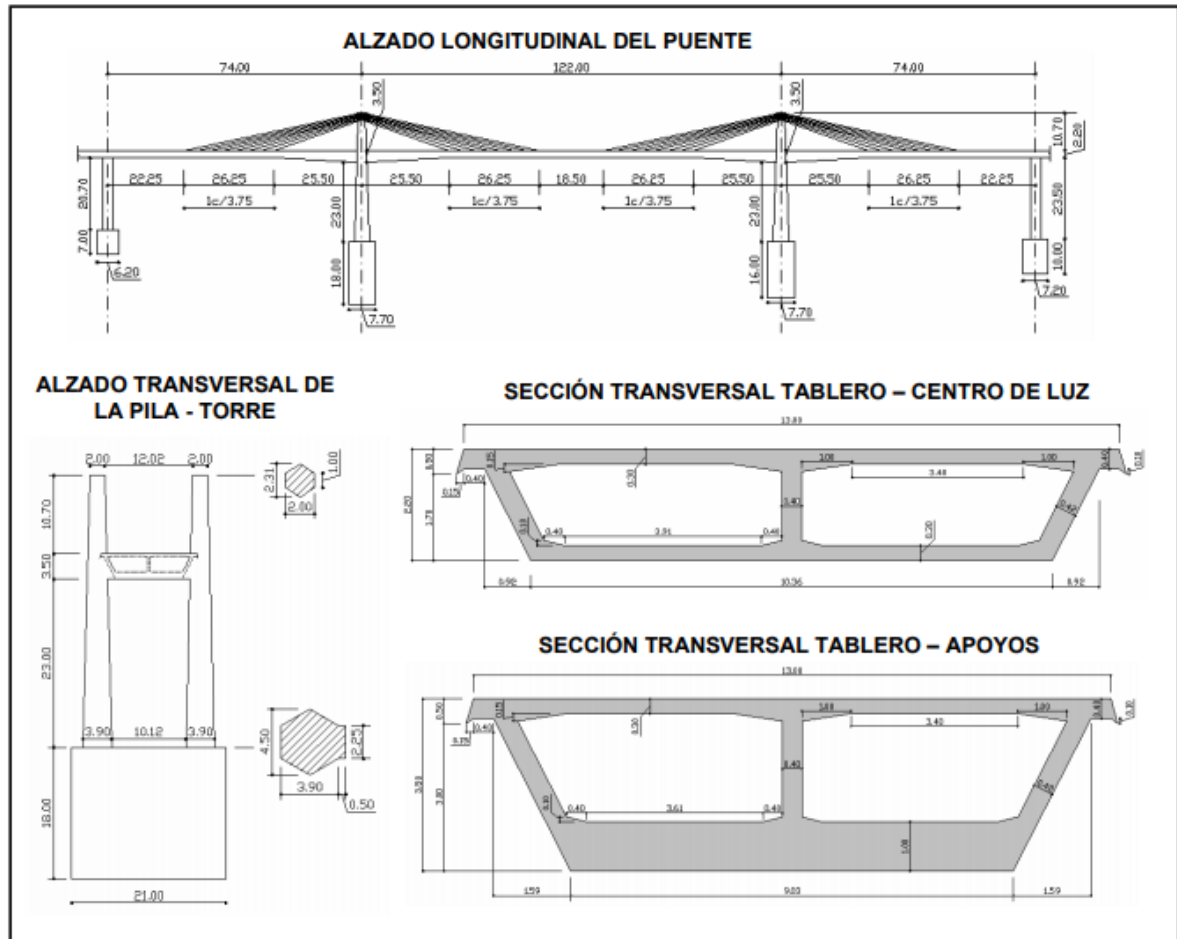


Ilustración 2 Plano de puente extradadoso

Fuente: (Rojas & Zuñiga, 2009)

Los autores de este modelo concluyeron lo siguiente “el modelado físico a escala reducida de un puente es un proceso que debe ser desarrollado cuidadosamente en función del tiempo y de los costos, mediante las etapas de planeación, dirección de ensayos y obtención e interpretación de los resultados, las cuales se deben realizar dentro de un ciclo de mejoramiento continuo, con el fin de desarrollar un modelo más confiable posible” (Rojas & Zuñiga, Modelado estructural del puente de homrigón con pretensado extradadoso mediante técnicas experimentales, 2009)

Se encontró como prototipo didáctico para la enseñanza de la ingeniería estructural un modelo que simulaba un puente en acero en Puerto Salgar, el

cual tenia como objetivo realizar la evaluación del puente a través de un sistema electrónico para la medición de deformaciones unitarias y fuerzas internas del modelo, todo con el fin de profundizar en el área de estructuras de la universidad Javeriana de Colombia.

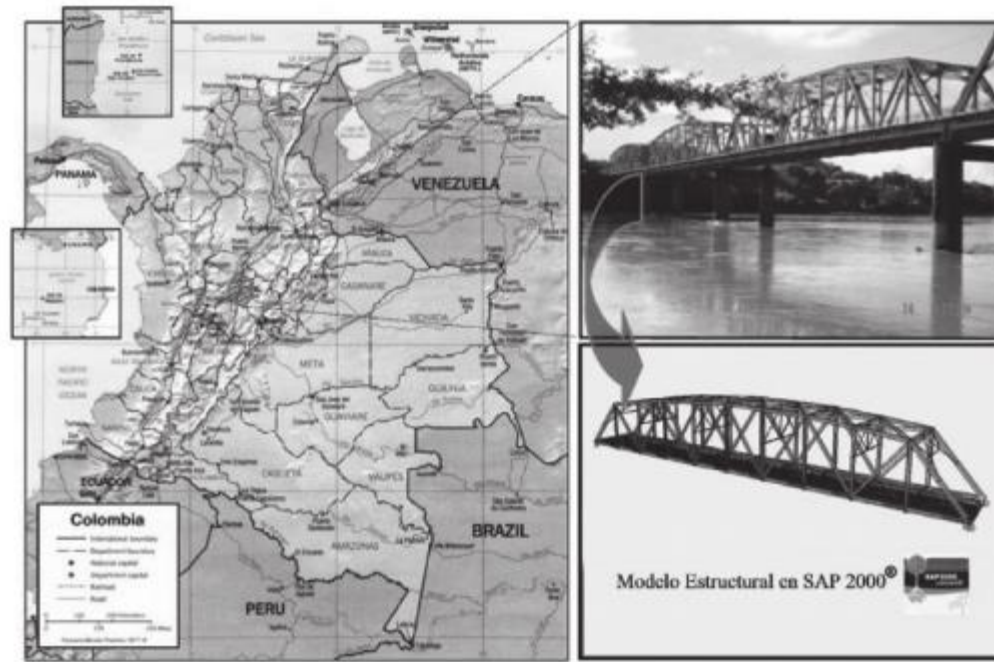


Ilustración 3 Localización, Puente Puerto Salgar y Modelo Estructural
Fuente: (Muñoz, Federico, & Otalora, 2007)

Como conclusión los autores afirman que este modelo fue realizado para modelo práctico para las asignaturas de la ingeniería estructural. Dando a su vez, un incremento en la participación y asistencia de los estudiantes. También genera un estímulo para que los estudiantes puedan realizar investigaciones y profundizaciones en el área estructural.

6.2 MARCO TEORICO

Cuando se habla de una estructura articulada o también conocido como celosía, se hace referencia a un sistema de barras unidas en sus extremos para soportar cargas estáticas o dinámicas. Normalmente cada barra que conforma una estructura articulada suele tener una sección transversal uniforme a lo largo de su longitud; No obstante, las distintas barras de una cercha tienen, típicamente, secciones transversales con diferentes áreas ya que se deben transmitir distintas fuerzas. (Shames, 1999, pág. 221).

Este trabajo se centra en evaluar y en buscar un tipo o modelo estructural sobre el cual se pueda llevar a cabo la ejecución, elaboración y construcción aproximada de un modelo para la realización de ensayos en laboratorio. Es necesario que en el presente se empiezan a implementar estos tipos de modelos en busca de mejorar la calidad de ingeniería en nuestro país. A continuación, se procederá con la explicación para determinar las fuerzas que actúan en una armadura.

Según Shames:

“Como primer paso, dividiremos las estructuras articuladas en dos grandes categorías de acuerdo con su geometría. Una estructura articulada que consista en un sistema de barras coplanares, se denominan estructuras articulada plana. Los laterales de un puente o la celosía de un tejado son ejemplos de estructura articulada plana. Por otro lado, un sistema tridimensional de barras se denomina estructura articulada espacial. La torre de un tendido de transmisión de corriente eléctrica es un ejemplo de estructura articulada espacial. Tanto las estructuras articuladas planas como las espaciales están compuestas por barras (o vigas) cuya sección transversal tiene forma de H, doble T o L. Estos tipos de barras son de uso común en muchas aplicaciones estructurales. Estas barras se unen entre sí para formar las estructuras articuladas mediante su soldadura, roblonado o atornillado a elementos estructurales intermedios denominados cartelas para un caso plano.” (Irving, 1999, págs. 221,223).

Como lo menciono Shames las estructuras articuladas se dividen en dos categorías, pero para la elaboración de este proyecto se pensó en ejecutar una armadura articulada plana. La cual se elaborará en base al diseño estructural real de un puente.

“Para maximizar la capacidad resistente de una estructura articulada, las cargas externas se deben aplicar en las uniones entre las barras, también llamadas nudos. La primera justificación de esta regla es el generalmente las barras de una celosía son delgadas y largas, por lo

que, al ser sometidas a compresión tendrán poca capacidad de soportar cargas transversales a sus directrices situadas lejos de los extremos. Si se omite el peso de las barras o de las vigas, estamos hablando de que estos elementos están sometidos a cargas equivalentes en sus extremos, y por ello estarán sometidos a una compresión o tracción” (Shames, 1999, pág. 223).

Para este proyecto se pensó en la evaluación de cargas en seis puntos específicos. Estas cargas se suministrarán en los nodos que se mencionaran más adelante y se evaluará la deformación obtenida.

Una estructura articulada se denomina isostática si la eliminación de cualquier barra destruye o anula su rigidez. Si la eliminación de una barra no destruye su rigidez, es decir que la estructura es hiperestática. (Shames, 1999, pág. 224).

Las estructuras articuladas más fundamentales es la formada por tres barras conectadas de tal forma que generen un triángulo. Las estructuras isostáticas espaciales se pueden formar a partir de este triángulo añadiendo tres barras nuevas por cada nudo nuevo. La estructura articulada plana simple se forma a partir del triángulo elemental, mediante la visión de dos nuevas barras para cada nudo nuevo.

Hay una relación entre el número de nodos “j” y el número de barras “m” de una estructura articulada simple. Revisando la estructura articulada espacial simple, se puede evidenciar que “m” está relacionado con “j”, como se describe a continuación:

$$M= 3j-6(1)$$

De forma similar, la estructura articulada plana simple, se puede verificar que:

$$M= 2j-3(2)$$

Según Beer, Jhohnston y Eisenberg, “la armadura es uno de los tipos principales de estructuras ingenieriles. Está proporciona una solución tanto practica como económica para muchas situaciones ingenieriles, en especial para el diseño de puentes y edificios. Una armadura consta de elementos rectos que se conectan en nudos. Los elementos de la armadura solo están conectados en sus extremos; por

tanto, ningún elemento continúa más allá de un nudo. (Beer, Johnston, & Eisenberg, 1997, pág. 276).

Para determinar las fuerzas en las barras Shames, plantea el siguiente argumento que hay dos tipos de métodos para determinar las fuerzas que actúan en las barras de una estructura articulada. “El primero se denomina el método de los nudos y el segundo se denomina el método de las secciones. La diferencia principal entre ambos métodos radica en la elección de los sólidos libres que se utilizan” (Shames, 1999, pág. 225).

El método de nudos permite analizar armaduras planas estáticamente determinadas utilizando ecuaciones de equilibrio en sus nudos, “es el más eficiente cuando se deben determinar las fuerzas en todos los elementos de una armadura.” (Ferdinand, Russell, & Elliot, 2007). Un nudo es un punto en el cual llegan 2 o más barras que están sujetas a este y que pueden trabajar a tensión o atracción.

De igual forma, “en el método de los nudos las fuerzas axiales en los elementos de una armadura estáticamente determinada son comprobadas al considerar las ecuaciones de equilibrio de sus nudos. Dado que la estructura completa está en equilibrio, cada uno de sus nudos también debe estarlo”. (Kassimali A. , 2015, pág. 113) (Ver figura 1).

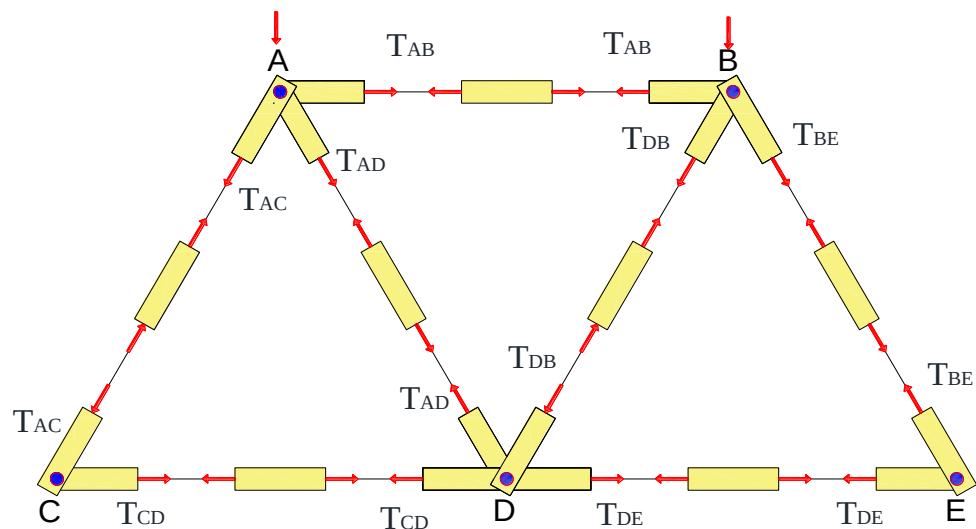


Figura 1 Diagrama de Fuerzas
Fuente: Autoría Propia

Otro método de cálculo es el de secciones, este método “ofrece la posibilidad de determinar las fuerzas en elementos específicos de la armadura de manera directa, sin calcular primero las fuerzas de muchos elementos no necesarios, como podría ser requerido en el método de los nudos”. (Kassimali A. , 2015, pág.

127). Generalmente se recomienda este método cuando hay máximo tres elementos con fuerzas actuantes desconocidas. La principal ventaja de este método según Mc Cormac “es que la fuerza en un miembro de una armadura puede calcularse en la mayoría de los casos sin tener que calcular las fuerzas en otros miembros de la armadura.” (McCormac, 2010, pág. 144). (Ver figura 2).

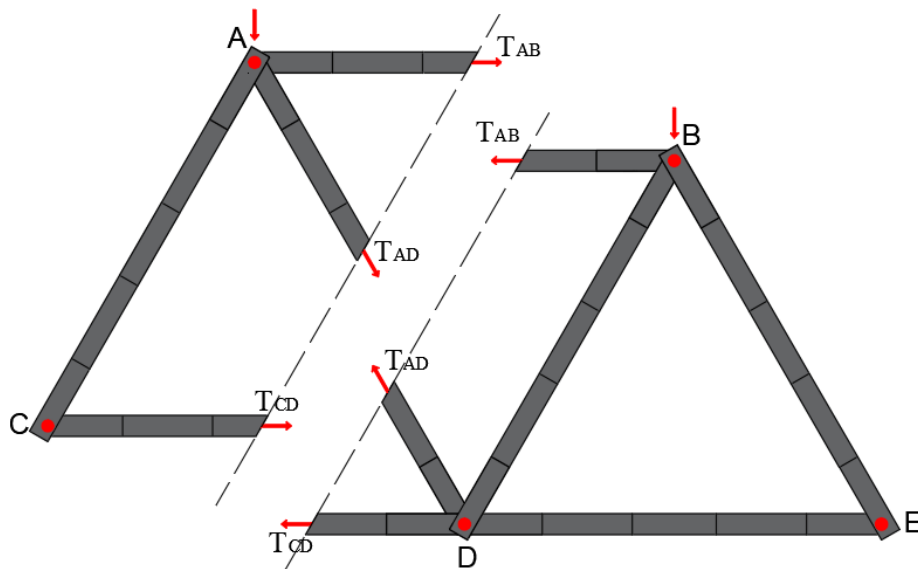


Figura 2 Diagrama de Fuerzas
Fuente: Autoría propia

En las estructuras podemos encontrar como actúan dos tipos de fuerzas como lo son la tracción y la compresión.

Cuando se habla de una estructura a tensión se dice que “estos elementos están sujetos a tensión pura bajo la acción de cargas externas. Debido a que los esfuerzos de tensión están distribuidos de manera uniforme en toda el área de la sección transversal de los elementos, el material de la estructura se utiliza de una manera más eficiente. Las estructuras sujetas a tensión compuestas por cables flexibles de acero son frecuentemente utilizadas para soportar puentes y cubiertas de grandes claros. Gracias a su flexibilidad, los cables tienen una resistencia de flexión despreciable, y son capaces de desarrollar solo tensión. Por lo tanto, en virtud de las cargas externas, el cable adopta la forma que le permite soportar las cargas debido únicamente a fuerzas de tensión. En otras palabras, la forma del cable

cambia conforme la carga actuante en él cambia”. (Kassimali A. , 2015, pág. 7)

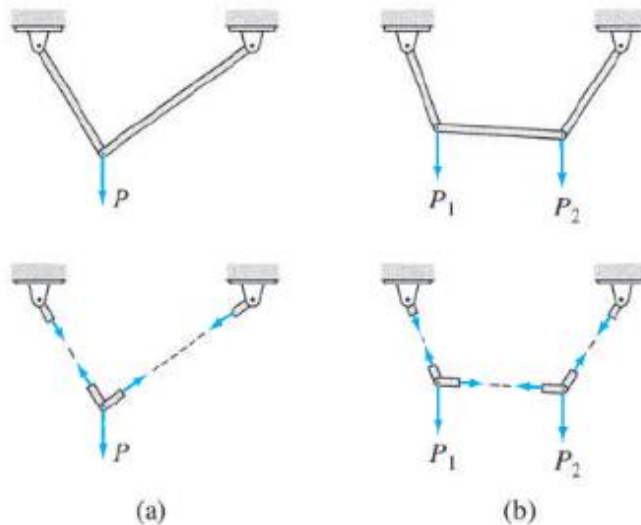


Figura 3 Estructura sometida a tensión.
Fuente: (Kassimali A. , 2015, pág. 8)

Por otro lado, cuando se habla de que una estructura se encuentra a compresión, Kassimali nos dice que “Las estructuras a compresión desarrollan principalmente esfuerzos de compresión bajo la acción de las cargas externas. Dos ejemplos comunes de esas estructuras son los arcos y las columnas. Las columnas son elementos rectos sujetos a cargas axiales de compresión. Cuando un elemento recto está sujeto a cargas laterales y/o momentos además de la carga axial, se les llama viga-columna”. (Kassimali A. , 2015, pág. 9).

“Un arco es una estructura curva, con una forma similar a un cable invertido. Esas estructuras son frecuentemente usadas para soportar puentes y techos de gran envergadura. Los arcos desarrollan principalmente esfuerzo de compresión cuando están sujetos a cargas y son generalmente diseñados para que desarrollen solo compresión bajo cargas de diseño. Sin embargo, como los arcos son rígidos y no pueden cambiar su forma como los cables, se presentan otras condiciones de carga que generalmente producen esfuerzos de flexión y cortante adicionales en estas estructuras, los cuales si son significativos, deberían ser considerados en el diseño”. (Kassimali A. , 2015, págs. 9-10).

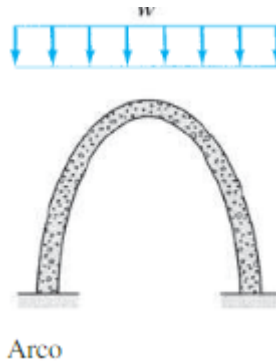


Figura 4 Estructura sometida a compresión
Fuente: (Kassimali A. , 2015, pág. 10)

Dado todo esto, es indispensable revisar las deformaciones que se obtienen mediante el esfuerzo al que es sometida una estructura por la aplicación de cargas puntuales o distribuidas. Esto a su vez debe ser evaluado mediante método matemático vs los resultados obtenidos en el laboratorio.

“En la parte teórica estudia mediante modelos matemáticos (ecuaciones) los esfuerzos y deformaciones producidos en el interior de los elementos estructurales por las fuerzas aplicadas. Hace uso intensivo de los diagramas de cuerpo libre y de las ecuaciones de equilibrio, así como de las relaciones geométricas entre las dimensiones de los elementos y sus deformaciones tanto lineales como angulares.” (Salazar, 2007, pág. 32).

“En la parte experimental ensaya en el laboratorio probetas de materiales sometiéndolas a diferentes tipos de cargas para calcular los esfuerzos resistentes de los materiales y adicionalmente mediante la medición de las deformaciones producidas busca encontrar relaciones entre estas y los esfuerzos aplicados con el fin de determinar lo que se conoce como las características acción-respuesta de los materiales lo cual permitirá determinar parámetros como los módulos de elasticidad y de corte, la relación de Poisson y la ductilidad de los materiales ensayados.” (Salazar, 2007, pág. 32).

Cuando respectivamente se haya determinado o realizado el equilibrio estático y calculado todas las fuerzas internas que actúan dentro de la armadura o modelo del cual suelen haber deformaciones al momento de la aplicación de cargas; se procede a realizar el análisis y la comparación a través de la relación esfuerzo vs deformación. A continuación, se realizará un ejemplo: Suponiendo que se tiene un avión estacionado del cual llega un carro con una barra de arrastre para mover el avión y lo conecta al tren de aterrizaje. En este caso al momento de realizar la

conexión entre el tren de aterrizaje y el carro se puede decir que la barra ha quedado tensionada. Pero una vez el carro proceda a moverse, se generará una fuerza axial que será dirigida a lo largo del eje del elemento.

Según la magnitud del esfuerzo se verá reflejado si el material ha pasado o no su límite elástico. Es decir, una vez se haya movido el avión al punto deseado, se debe verificar si la longitud inicial de la barra sufrió algún alargamiento. De ser así se puede afirmar que el elemento traspasó su límite elástico. Cabe resaltar que hay materiales que se deforman y vuelven a su estado original. La ecuación del esfuerzo es la siguiente:

$$\delta = \frac{P}{A}$$

Donde:

δ = Magnitud del esfuerzo.

P = Fuerza aplicada.

A = Área de la sección transversal.

James y Barry afirman que “esta ecuación expresa la intensidad de un esfuerzo uniforme en una barra prismática con sección transversal arbitraria cargada axialmente. Puesto que el esfuerzo normal (δ) se obtiene dividiendo la fuerza axial entre el área de la sección transversal, tiene unidades de fuerza por unidad de área”. (James & Barry, 2013, pág. 28)

6.2.1 Clasificación de los modelos

Harris y Sabnis dicen que los modelos estructurales se pueden clasificar de muchas maneras según el comportamiento y el tipo de estudio que se vaya a complementar. Dentro de los cuales tenemos:

- Modelos elásticos: Representan la geometría del prototipo, pero no necesariamente están hechos del mismo material, además se restringe el comportamiento en el rango elástico. (Harris & Sabnis, Structural Modeling and Experimental Technique", 1999).
- Modelos indirectos: Utilizados para obtener diagramas de influencia, donde la carga aplicada al modelo no tiene correspondencia con las cargas reales del prototipo. (Harris & Sabnis, Structural Modeling and Experimental Technique, 1999)
- Modelos directos: Es geoméricamente similar al prototipo y las cargas se aplican de la misma manera que al primero. Las mediciones de fuerza, esfuerzo, y deformación representan cantidades similares en el prototipo.

Modela el comportamiento elastoplástico del prototipo. (Harris & Sabnis, Structural Modeling and Experimental Technique, 1999).

- Modelo de fuerza: Este modelo predecirá el comportamiento del prototipo para todas las cargas hasta la falla, el principal problema es encontrar los materiales y formas de fabricación adecuadas del modelo. Debe satisfacer las condiciones de similitud. (Harris & Sabnis, Structural Modeling and Experimental Technique, 1999).
- Modelos dinámicos: Utilizados para estudiar los efectos de vibraciones o cargas dinámicas en estructuras, se prueban en mesas vibratorias para análisis de cargas de sismos o túneles de viento para efectos aeroelásticos. (Harris & Sabnis, Structural Modeling and Experimental Technique, 1999)

En este proyecto se llevará a cabo un modelo elástico con el fin de obtener las deformaciones que sufre el modelo estructural para realizar análisis.

6.2.2 Métodos de análisis

El modelo estructural tendrá como bases los cálculos realizados a través del método de los nodos, comparado con el modelo de SAP2000 teniendo en cuenta que solo se analizarán cargas verticales ya que en el momento de someter la armadura a cargas reales solo serán posibles cargas distribuidas a lo largo del modelo de forma vertical, además de que se despreciara el peso propio de la armadura para dichos procedimientos

6.2.3 Materiales

Diversos materiales presentan propiedades elásticas que sirven como base para modelar a escala el prototipo requerido para el modelo estructural. (Ver Tabla 1),

Metal	Módulo de Young, $F \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$
Cobre estirado en frío	12.7
Cobre, fundición	8.2
Cobre laminado	10.8
Aluminio	6.3-7.0
Acero al carbono	19.5-20.5
Acero aleado	20.6
Acero, fundición	17.0
Cinc laminado	8.2
Latón estirado en frío	8.9-9.7
Latón naval laminado	9.8
Bronce de aluminio	10.3
Titanio	11.6
Níquel	20.4
Plata	8.27

Ilustración 4 Modulo de elasticidad de los materiales
Fuente: (sc.ehu.es, s.f)

En este proyecto se estudiaron dos opciones de materiales para implementar el modelo estructural, dentro de ellos están: el acero y el aluminio.

6.2.3.1 Aluminio

El aluminio es uno de los materiales más usados en el campo de la construcción después del acero gracias a sus grandes propiedades que se clasifican en:

- Ductilidad
- Resistencia al peso
- Baja densidad
- Reflectividad
- Durabilidad
- Entre otras

Este es un material con alta demanda para el área de la construcción.

6.2.3.2 Acero

El acero hoy en día podemos decir que es uno de los materiales más usados ya que, actualmente se evidencia que en todas las construcciones el acero siempre está presente. Se puede identificar desde refuerzos para estructuras, hasta estructuras completamente en acero (Estructuras metálicas), carpintería metálica y acabados. Además, el acero junto con el concreto suelen ser una muy buena combinación debido a que uno funciona a la compresión y el otro a la tensión por lo cual los esfuerzos son asumidos por ambos dando así un equilibrio.

Las propiedades del acero más importantes son la conformabilidad y durabilidad, resistencia a la tracción y su buena resistencia a la fluencia, buena conductividad térmica, y, para los aceros inoxidable, la resistencia a la corrosión. (materia, s.f).

A continuación, se detalla una tabla en la cual realizan una comparación entre el acero y el aluminio, lo cual permite facilitar la elección del material a utilizar en el proyecto.

Propiedad		Aluminio	Acero 371
1	Esfuerzo (N/mm ²)	250	400
2	Elasticidad E, Módulo de Young (MPa)	70.000	210.000
3	Densidad (g/cm ³)	2,7	7,8
4	Punto de fusión (°C)	660	1500
5	Rango de temperatura de trabajo (°C)	-250 a 150	-50 a 500
6	Conductibilidad eléctrica (m/Ohm mm) ²	29	7
7	Conductividad térmica (W/m °C)	200	76
8	Coefficiente de expansión lineal x 10-6/°C	24	12
9	No-magnético	Sí	No
10	Tóxico	No	No
11	Resistente a la corrosión	Sí	Sí
12	Mecanizado	Fácil	Fácil
13	Maleable	Sí	Sí
14	Costo	Barato	Caro

Ilustración 5 Propiedades Mecánicas del Aluminio frente al Acero
Fuente: (puentelara.blogspot, 2013)

6.3 MARCO CONCEPTUAL

Cundo se habla de una armadura o modelo estructural, se refiere a una estructura construida a una escala determinada, dicha armadura se utiliza para analizar diversos factores de comportamiento. Generalmente, estas armaduras son diseñadas para soportar diferentes tipos de carga. Pero al momento en que se realiza un diseño estructural las cargas evaluadas son la carga viva, muerta, de viento, nieve, sismo, entre otras. Mientras que en el sistema estructural son fuerzas u otras sollicitaciones que actúan sobre el sistema estructural y provienen del peso de todos los elementos permanentes en la construcción, los ocupantes y sus pertenencias, efectos ambientales, asentamientos diferenciales y restricción de cambios dimensionales. (Asociacion colombiana de Ingenieria). La aplicación de estas cargas en los elementos estructurales crea una alteración del estado físico debido a una fuerza mecánica externa, a una variación de temperatura, a un hundimiento de apoyos, etc. (Morales, 1999). Uno de los principales puntos a estudiar en el modelo estructural es cómo se comporta frente a un sismo, lo cual se describe como un movimiento que se da al interior de la tierra por causas internas, el cual consiste en liberar una energía que crea ondas y se propagan en todas las direcciones de la tierra.

La medición de las deformaciones se puede observar mediante instrumentos de metrología, tales como deformímetros digitales o análogos, o galgas extensiométricas.

El análisis estructural, estudia la determinación de la fuerza, magnitud, dirección, si trabaja a compresión o a tensión y punto de aplicación de la fuerza. Cuando se habla de fuerza, se dice que es una acción que se ejecuta especialmente el aplicar una fuerza sobre una de las superficies de elementos estructurales o materiales. Esto crea una deformación que la definimos como el cambio de tamaño, forma o longitud que sufre un objeto al ser sometido a esfuerzos. Los esfuerzos son magnitudes físicas que se generan por la aplicación de una fuerza sobre un área.

Dentro del análisis estructural también se evalúan los diferentes elementos estructurales que conforman un pórtico. Un pórtico es una estructura que está formado por vigas y columnas. Las vigas son elementos estructurales que tienen como función transmitir y distribuir las cargas lateralmente hasta los apoyos. Generalmente en estos apoyos se encuentran columnas, las cuales tiene la función de transmitir las cargas hasta las fundaciones de la estructura. Las fundaciones son tipos de cimentaciones que se elaboran en el proceso constructivo de una estructura, dentro de las cuales tenemos: Vigas, placas flotantes, zapatas, pilotes, etc. Una vez transmitida estas cargas a la fundación, se disipan en tierra.

Existen diferentes tipos de armaduras, están son: Armadura Howe, Armadura Warren, Armadura Pratt, Armadura Fink. Dependiendo del modelo a diseñar así mismo se escoge el tipo de armadura. Cabe resaltar que estas armaduras son usadas para realizar ensayos de laboratorio.

6.4 MARCO LEGAL

En Colombia, para la construcción y diseño de diferentes proyectos, se han establecido normas con el fin de brindar seguridad y estabilidad al momento de hacer uso de esta construcción. En el caso de las construcción de edificaciones esta la norma NSR-10 la cual establece todos los parámetros para los diseños, y es el reglamento encargado en Colombia que realiza las pautas para la construcción y diseños de diferentes tipos de edificaciones dependiendo de su uso.

Para el diseño de vías, está se encuentra el Instituto Nacional de Vías “INVIAS” la cual es una entidad encargada de sacar a licitación los diferentes contratos para la asignación, y supervisión de la ejecución de autopistas, vías, carreteras y concesiones. Para el diseño de vías esta la norma INVIAS 2008. El INVIAS también tiene una norma que regula el diseño de los puentes en Colombia, del cual está enfocado este proyecto asimilando el modelo real de un puente a escala. Esta es la norma es la CCP-14.

Según el colombiano.com “La actualización del documento técnico se realizó, informó el Invias, en conjunto con la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, con el fin de que estos parámetros respondan a los cambios existentes en las cargas que circulan hoy por las carreteras y puentes del país. El convenio con la AIS tuvo un valor de 350 millones de pesos” (elcolombiano.com, 2014).

Lo que buscaba esta actualización era mejorar con respecto a calidad y seguridad en cuanto al diseño y construcción de puentes.

“En el CCP-14 se incluyeron aspectos novedosos como la actualización de los mapas de amenaza sísmica y la calibración de la carga viva vehicular de diseño para la práctica colombiana que mejoran los criterios de confiabilidad estructural.

Se espera que estas nuevas especificaciones técnicas redunden en la calidad y seguridad de la infraestructura de transporte que se construye en Colombia” (Ingeniería, s.f).

En Colombia hasta el año 1994 se trabajó para la elaboración de puentes con la AASHTO, la cual es una organización que controla las guías para el diseño y construcción de vías y puentes en el país. “Hasta mediados del siglo XIX, los puentes fueron diseñados y edificados por maestros de la construcción con procedimientos empíricos” (AASHTO, 2014).

7. DISEÑO METODOLÓGICO

El proceso de investigación, se llevó a cabo después de un análisis de la línea de investigación que presenta el programa de ingeniería civil, después de verificar e investigar en las diferentes propuestas presentadas por los egresados de la universidad, se definió la realización de un proyecto que dejará una marca en los estudiantes futuros, en el cual puedan poner en práctica el aprendizaje adquirido en las diversas materias especialmente en el análisis de las estructuras y su proceso de deformación debido a fuerzas que afectan a las mismas.

La metodología utilizada es de carácter aplicativa inmersa en el método científico con un enfoque cualitativo y cuantitativo donde se lleva a cabo una investigación de carácter experimental para lo cual se realiza observación de las variables y determinar que se puede suceder en la realidad, lo anterior enfocado en el estudio de armaduras utilizando uno de los modelos de calculo que existen y una herramienta digital.

Previo análisis de autores representativos como Mc Corman y Kassimali con sus respectivas temáticas de estructuras, se procedió a diseñar la investigación “implementación de modelo estructural de un puente a escala para ensayos no destructivos en el laboratorio” de la siguiente manera:

- Investigación del estado del arte en base a las armaduras.
- Investigación de modelos de laboratorios sobre armaduras.
- Diseño de modelo a implementar.
- Cálculo de la estructura por método de nodos en hoja de cálculo.
- Elaboración del modelo en SAP2000.
- Impresión de los resultados de SAP2000.
- Contraste de los resultados obtenidos del calculo por nodos y el modelado de SAP2000
- Implementación y desarrollo del laboratorio.
- Elaboración de la guía de laboratorio.

Lo anterior se desarrolló basado en un diseño de un puente visto en campo con el cual se desarrolló un modelo en DWG que sirvió de guía para el desarrollo de los cálculos y la realización del modelo estructural, además del modelamiento en el programa de SAP 2000.

Los datos recolectados mediante el análisis de nodos anteriormente mencionado se compararon el modelo en SAP2000, esta respectiva modelación tuvo en cuenta un peso despreciable del material de aluminio, además de que se volvió a realizar el modelamiento en el software SAP 2000.

El análisis de los cálculos ideales y los reales se compararon para obtener los resultados además de limitar el peso apto que soporta el modelo estructural.

8. COSTOS Y RECURSOS

ITEM	CANT.	UNID.	DETALLE	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
1	2	CAJA	REMACHE	\$ 6.000	\$ 12.000
2	6	UNID.	PERFIL METALICO 1/2 X 1/2 ALUMINIO	\$ 15.000	\$ 90.000
3	1	M.O	MANO DE OBRA	\$ 300.000	\$ 300.000
4	2	UNID.	INDICADOR DIGITAL MITUTOYO	\$ 809.200	\$ 1.618.400
5	1	UNID.	ESTRUCTURA DE SOPORTE	\$ 100.000	\$ 100.000
6	1	UNID.	VIATICOS	\$ 400.000	\$ 400.000
TOTAL					\$ 2.520.400

Tabla 1 Costos
Fuente: Autores

9. PRODUCTO DE LA INVESTIGACIÓN

9.1. Diseño

En el modelo estructural que se evaluó se tuvo como referencia para su diseño el puente que se encuentra en construcción en Guarino Honda, para lo cual se tomó como base los diseños observados en campo y los suministrados por la concesionara lo cual permitió la proyección del modelo en un formato DWG como se observa en la ilustración 6:

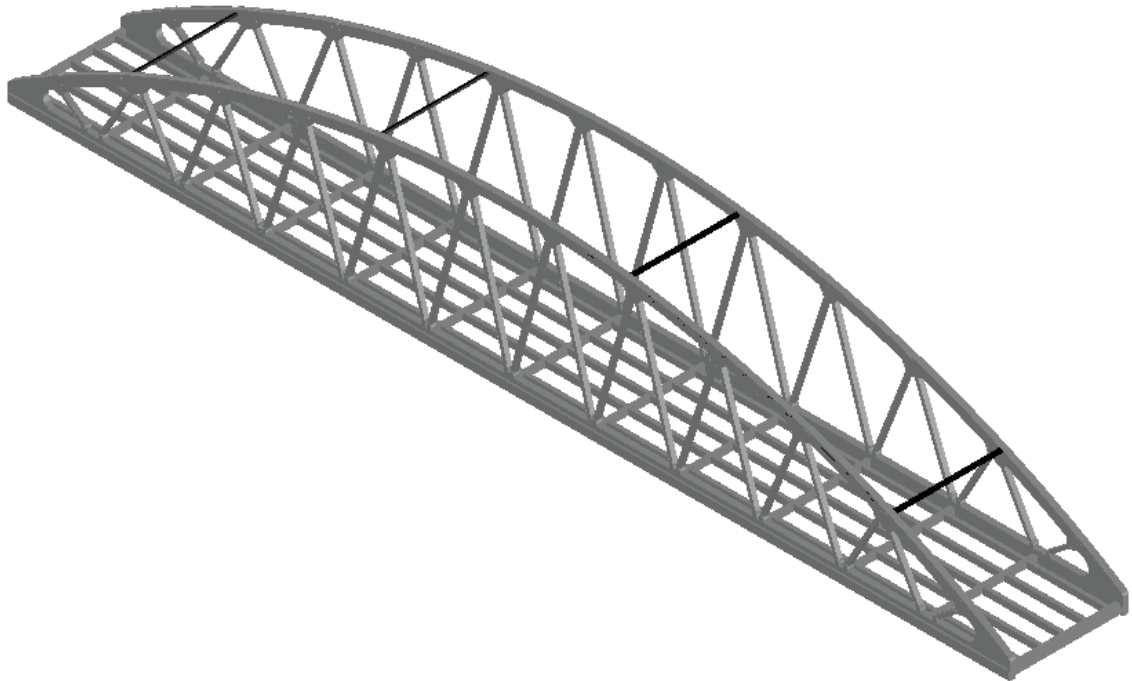
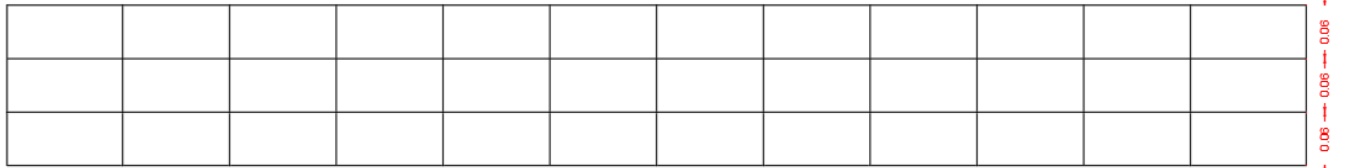


Ilustración 6 Modelación de Armadura DWG en 3D
Fuente: Los autores

Las medidas del modelo, se compone de una longitud de 1,47 mts y 22 cm de alto, lo que corresponde a una escala aproximada de 1:70. Además, un espaciamiento entre las barras longitudinales del tablero de 6 cm como se observa a continuación en la ilustración 7.

MEDIDAS EN METRO

TABLERO



ARCO

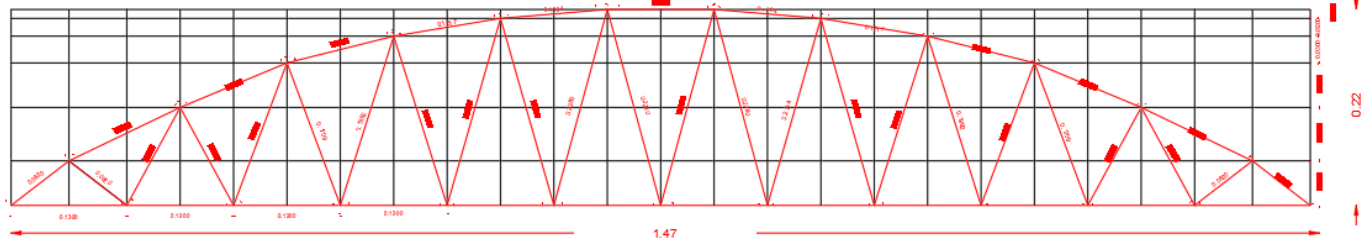


Ilustración 7 Modelo a escala

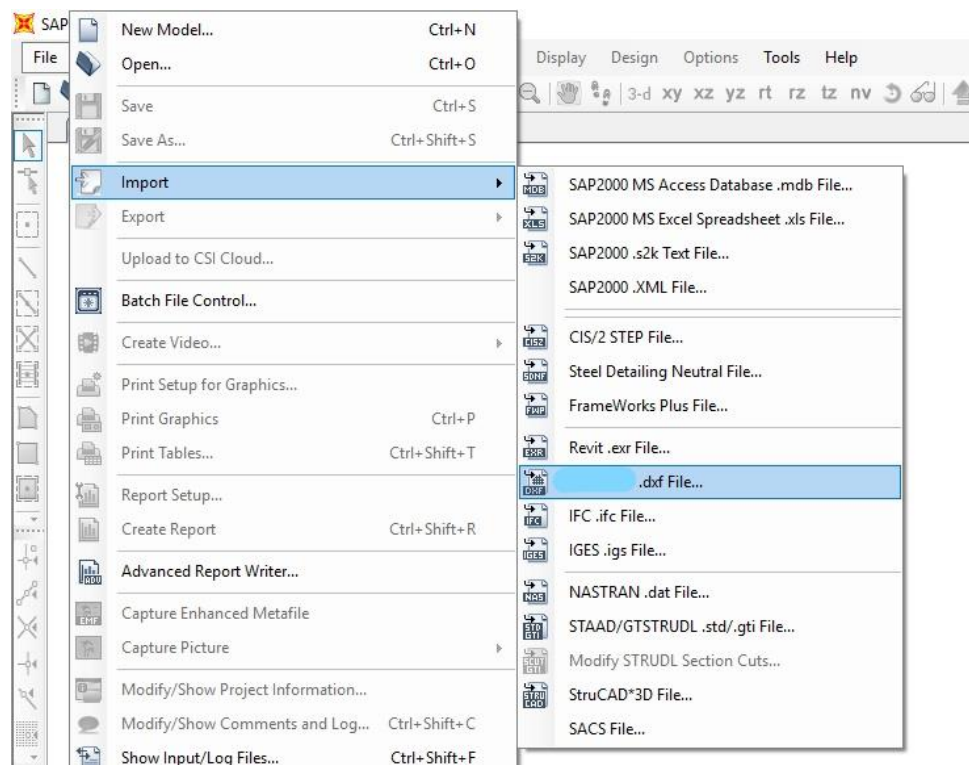
Fuente: Los autores

Para este proyecto se usaron dos medidores digitales marca Mitutoyo (deformímetro). Cuando se hace habla de un deformímetro hacemos referencia a un instrumento el cual sirve para medir deformaciones estos resultados pueden dar en milímetros (mm) o pulgadas según el instrumento.

9.2. Modelación del diseño

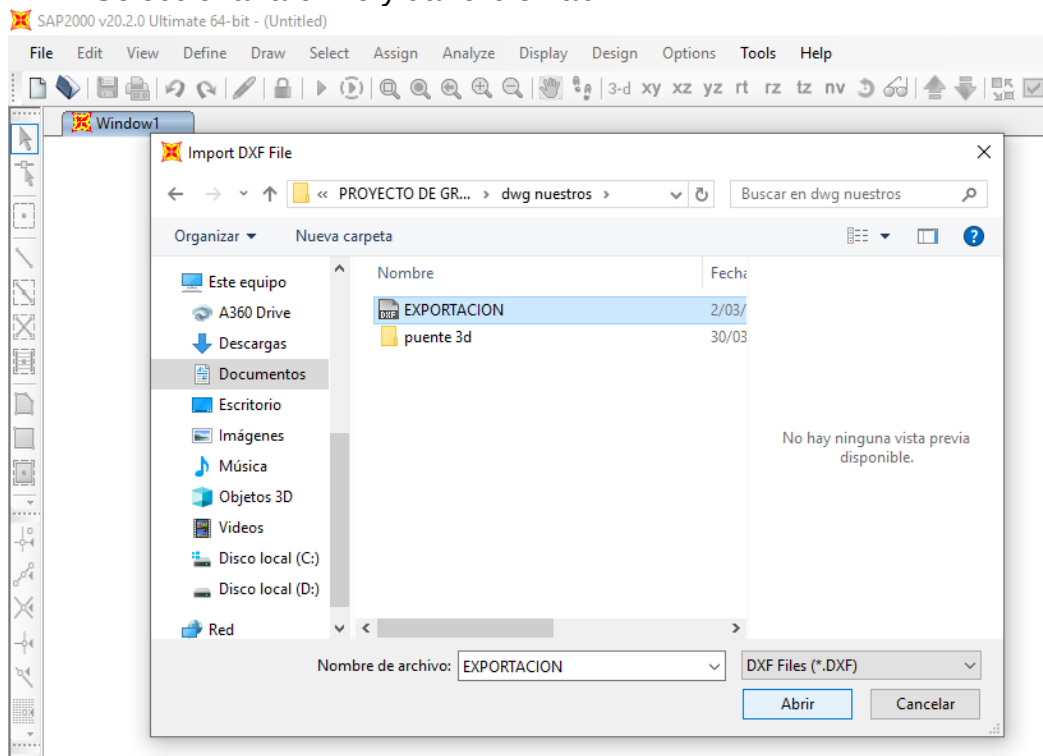
La elaboración del modelo después de su proceso de diseño y construcción se realizó en el programa SAP 2000 para poder realizar la comparación con el método de nodos y poder tener una referencia entre el modelo real y el programado. A continuación de detalla paso a paso la forma de elaboración de este modelo de la siguiente manera:

1. Guardar el diseño del formato DWG en formato DXF para su posterior importación en el programa
2. Abrir un archivo en blanco de SAP 2000
3. Dar clic en FILE – IMPORT – DXF file



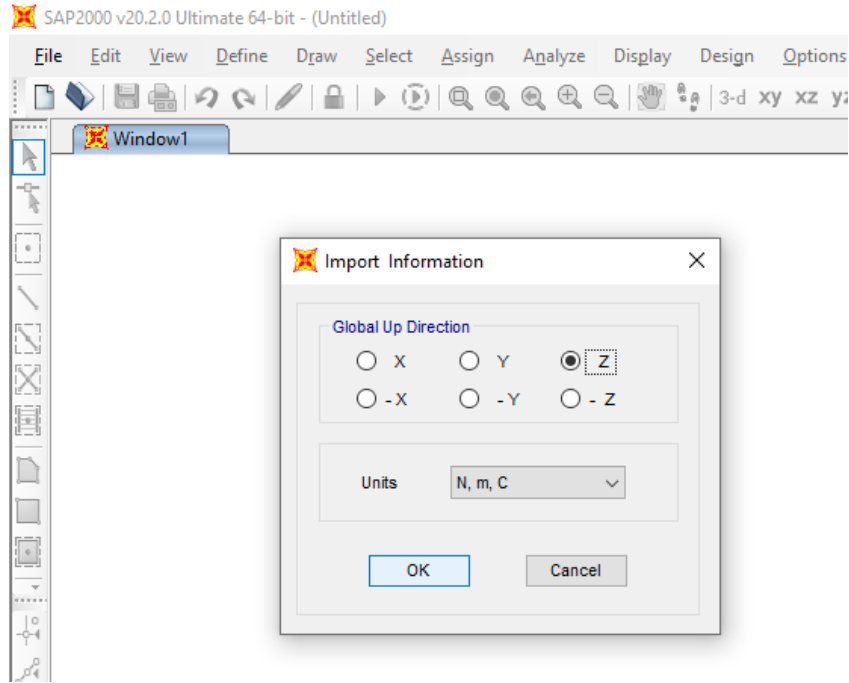
Fuente: Los autores

4. Seleccionar archivo y dar clic en abrir.



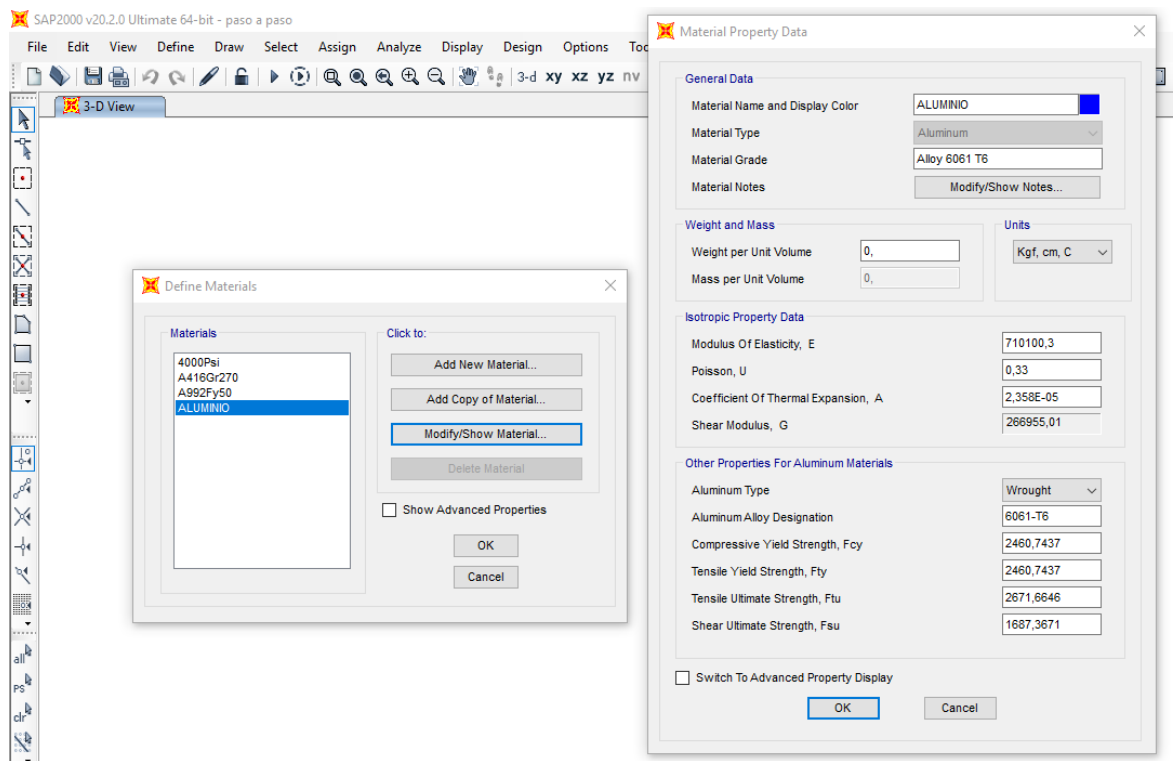
Fuente: Los autores

5. Determinar la posición global en Z (para SAP 2000 la altura se evidencia en el eje de las Z) y escoger las unidades que se van a manejar en el modelamiento.



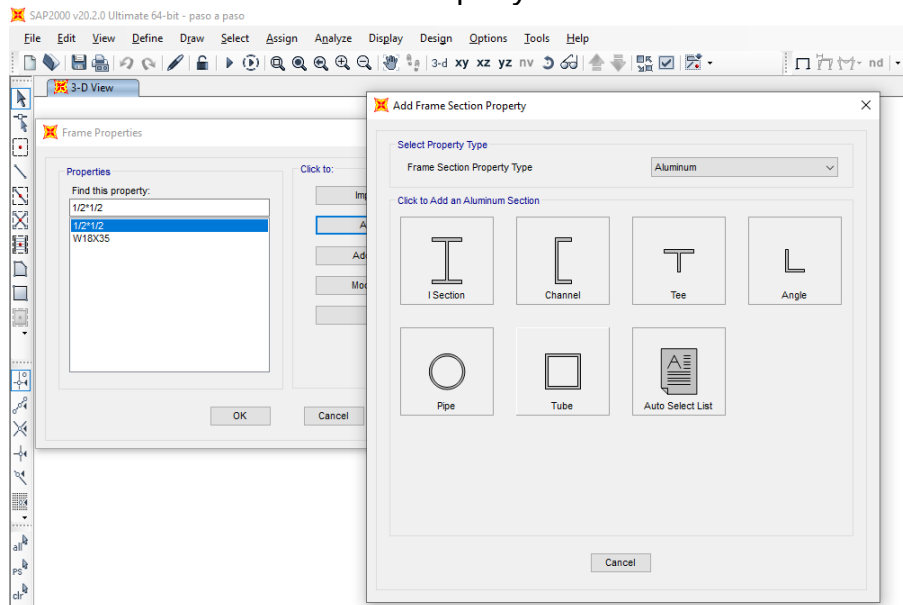
Fuente: Los autores

6. Seleccionar la capa en la cual se elaboró el diseño verificando que la armadura este en el eje de coordenadas 0,0,0 definida.
7. Definir el material de la estructura.
Para el modelo estructural del proyecto se determinó el aluminio para realizar el modelo real, el programa SAP 2000 trae definido internamente distintos materiales o se puede crear un nuevo material según sea el caso; para este proyecto se trabajó en base a las que ya están definidas.
Seleccionar la armadura y dar clic en Define > Materials > Modify/Show Materials y determinar el material a trabajar para el caso específico de este proyecto el peso de la estructura de despreciará, una vez definido el material dar Clic en OK.



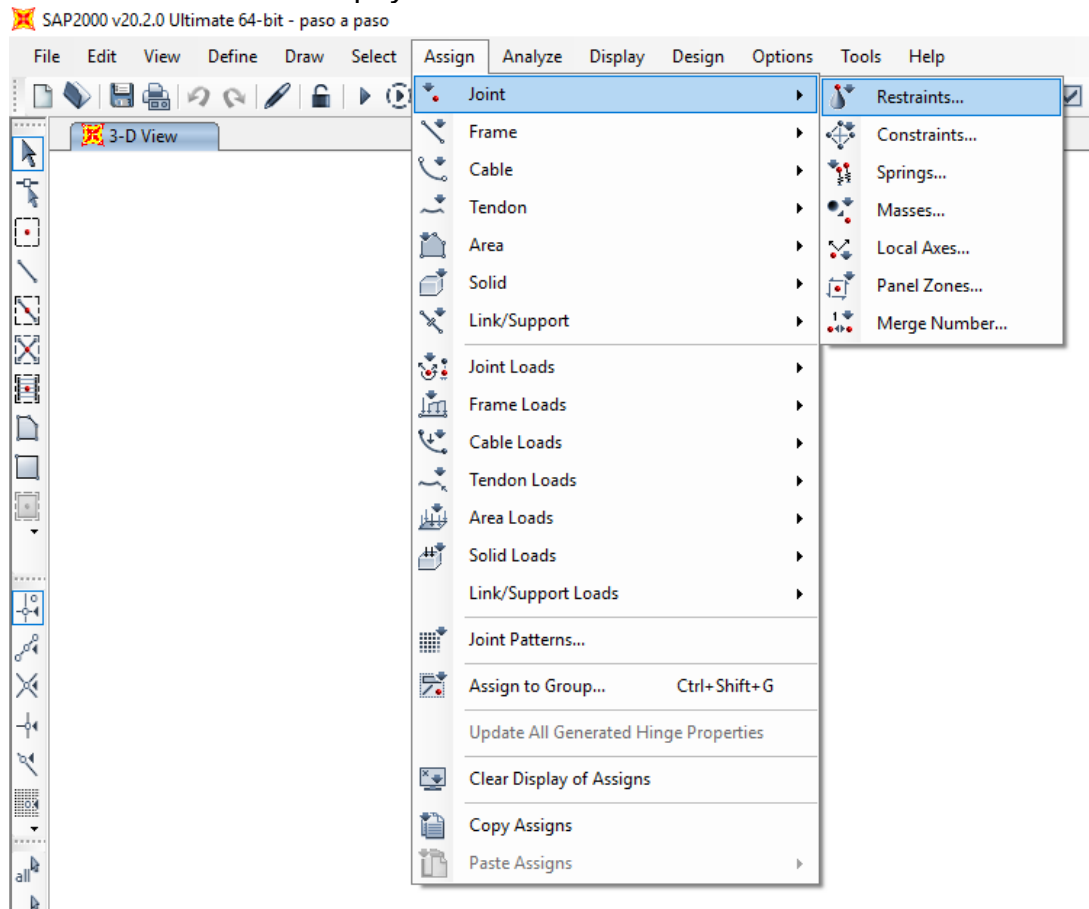
Fuente: Los autores

8. Definir las propiedades de la sección
 Seleccionar la armadura y dar clic en Define > Section Properties >
 Frame Section > Add New Property



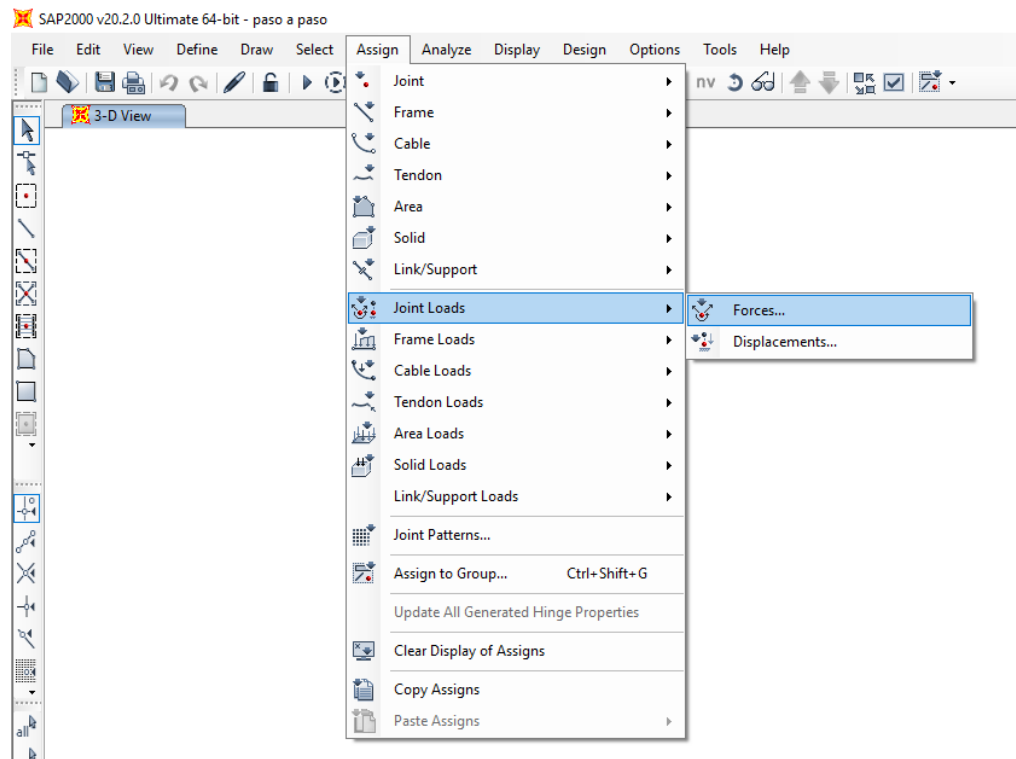
Fuente: Los autores

9. Asignar las restricciones o puntos de apoyo para la estructura, para lo cual se definió que esta tendría dos puntos en simplemente apoyado y 2 en pasador
Seleccionar los puntos y dar clic en Assing > Joint > Restraints y seleccionar los apoyos

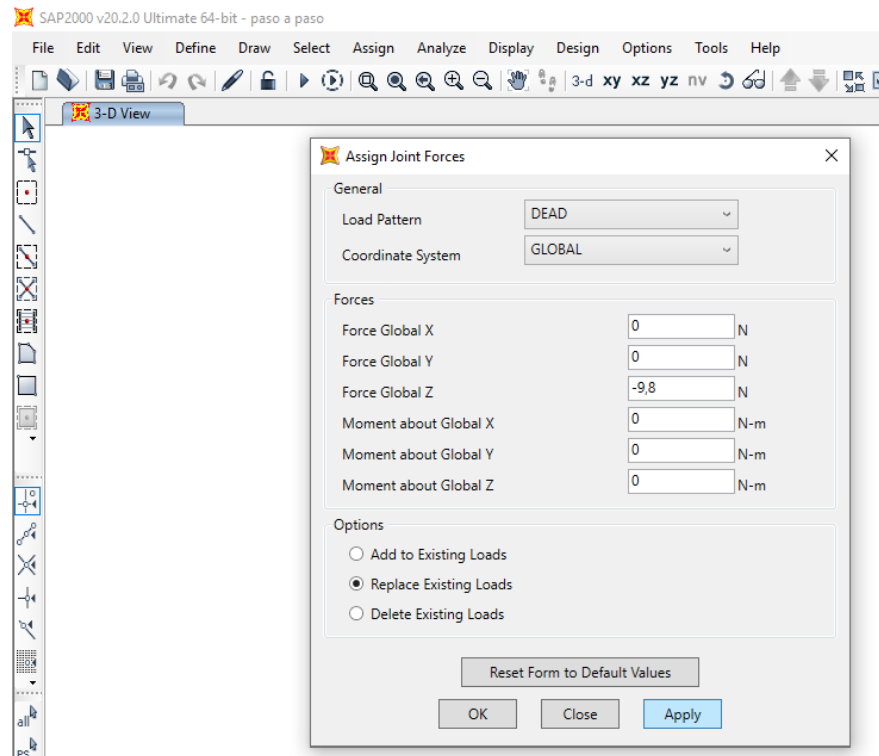


Fuente: Los autores

10. Definir las diferentes cargas
Seleccionar los puntos y dar clic en Assing > Joint Loads > Forces > Definir el valor de la Carga (recordar que si la carga es vertical a la estructura se debe suponer una carga negativa) > Apply > Close



Fuente: Los autores

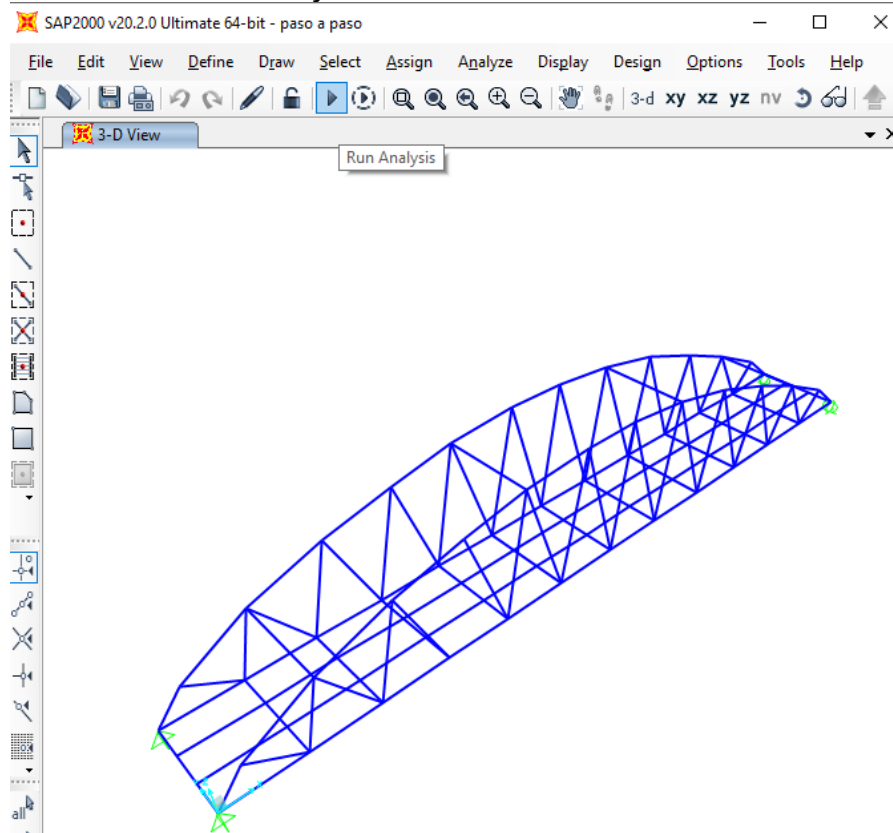


Fuente: Los autores

11. Verificar que los pasos anteriores se hallan aplicado al modelo

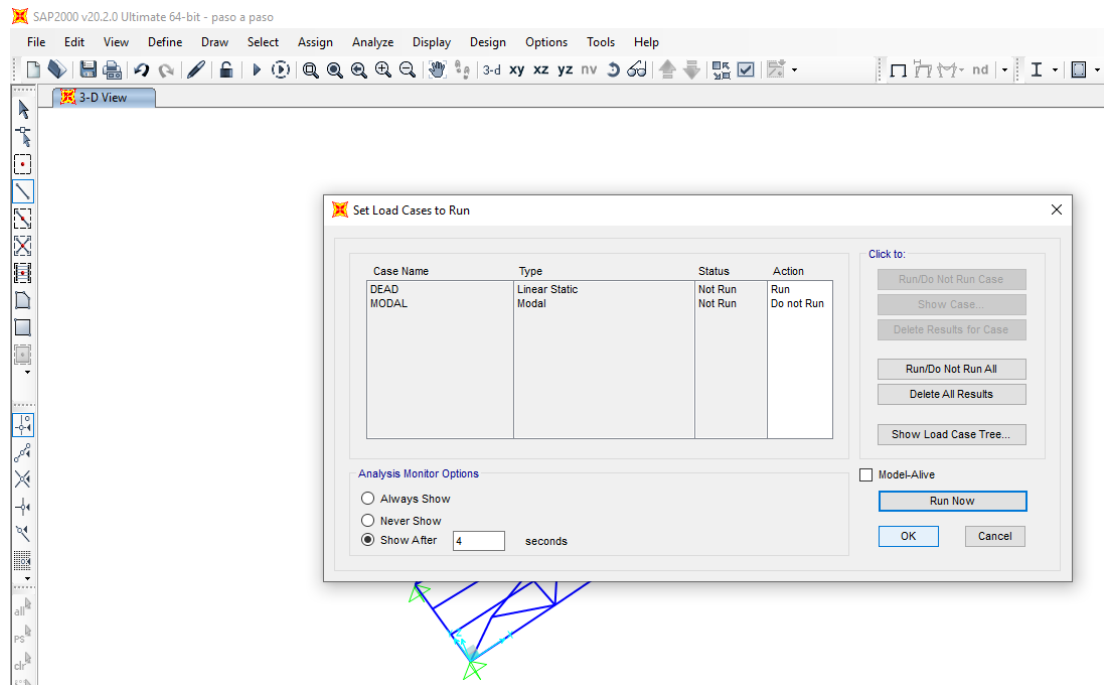
12. Correr el modelo

Dar clic en Run Analysis



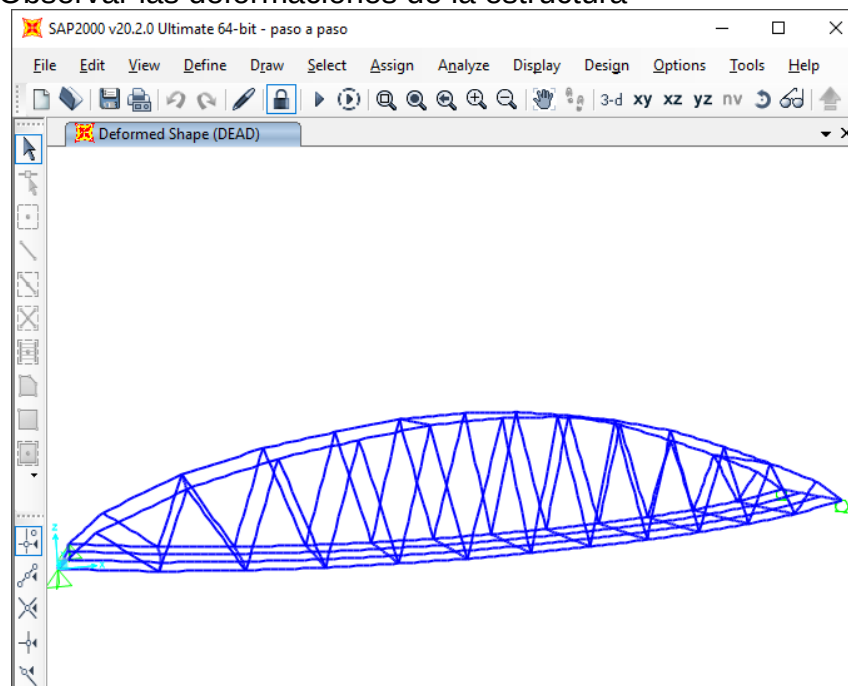
Fuente: Los autores

13. Seleccionar Modal > Run/Do Not Run All > Run Now



Fuente: Los autores

14. Observar las deformaciones de la estructura



Fuente: Los autores

15. Revisar los resultados

16. Imprimir los resultados

9.3. Cálculos hoja de Excel

En la siguiente imagen se muestra el modelo estructural con sus nodos, fuerzas y cargas con las cuales se hayo el equilibrio de la estructura para cada análisis anteriormente explicado.

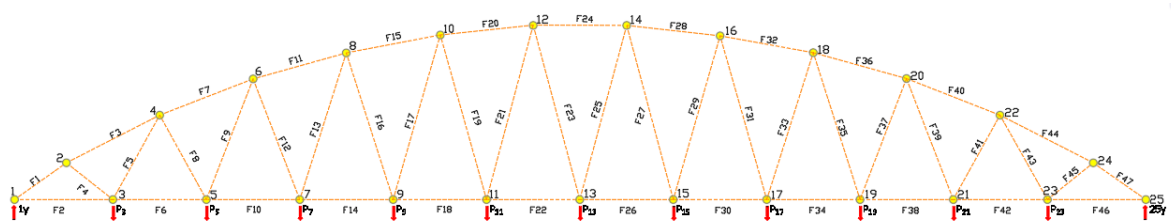


Figura 5 Estructura con nodos
Fuente: Los autores

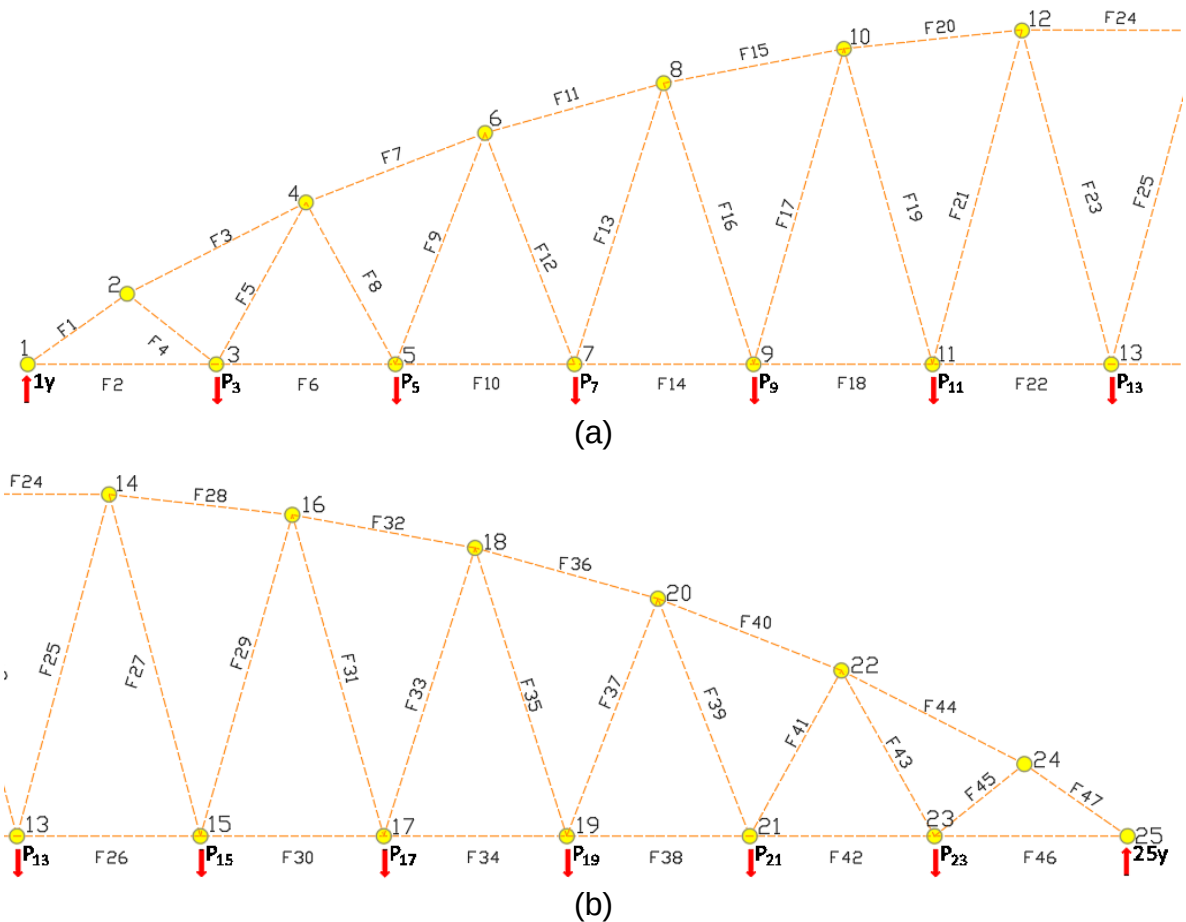


Figura 6 Estructura (a) Nodo 1 al Nodo 12 (b) Nodo 13 al Nodo 25
Fuente: Los autores

De acuerdo al método de los nodos se desarrolló la anterior armadura en una hoja de cálculo, la cual se debe revisar el anexo No. 14.2 del trabajo debido a su complejidad; en el cual se realizaron las modelaciones de:

- 1Kg en los Nodos 9 y Nodo 17
- 1Kg en los Nodos 9, Nodo 13 y Nodo 17
- 2Kg en los Nodos 9 y Nodo 17
- 2Kg en los Nodos 9, Nodo 13 y Nodo 17

Estas modelaciones se implementaron en la práctica de laboratorio como se demuestra en el siguiente ítem.

9.4. Resultados laboratorio

Se realizaron pruebas a los nodos centrales de la armadura (Nodo 9, Nodo 13 y Nodo 17) como se referencia en la figura 7, para lo cual se dispusieron cargas de 1 Kg y 2 Kg en los puntos 1 y 3 (de izquierda a derecha) de acuerdo a la tabla 2; de esta forma se llevó a cabo un proceso de aprendizaje y elaboración de una guía de laboratorio para la realización del laboratorio de acuerdo al siguiente paso a paso:

1. Nivelación de la estructura en el soporte y lugar del laboratorio.
2. Realizar comprobación del peso real de las masas a disponer en el modelo.
3. Instalar los deformímetros en los soportes.
4. Ubicar los deformitos sobre el tablero de la armadura.
5. Colocación de las pesas sobre los nodos predispuestos, estos pesos se beben disponer simultáneamente.
6. Toma de la lectura de los deformímetros.
7. Repetición del proceso.
8. Comparación de resultados.

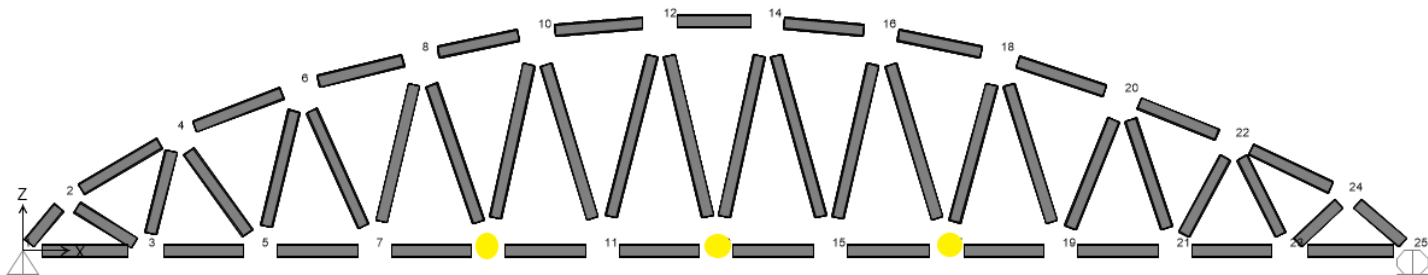


Figura 7 Referencia de puntos de Pruebas de laboratorio

Fuente: Los autores

Después de la realización de laboratorio se obtuvieron como resultados los siguientes valores:

Prueba	Ref	W (Kg)	Eo	ϵf	Eresultante
1	PUNTO 1	1	1,89	1,87	0,02
	PUNTO 3	1	2,27	2,24	0,03
	PUNTO 1	1	1,78	1,76	0,02
	PUNTO 3	1	2,13	2,10	0,03
	PUNTO 1	1	1,80	1,78	0,02
	PUNTO 3	1	2,15	2,12	0,03
2	PUNTO 1	2	2,05	2,01	0,04
	PUNTO 3	2	2,30	2,27	0,03
	PUNTO 1	2	1,78	1,75	0,03
	PUNTO 3	2	2,12	2,07	0,05
	PUNTO 1	2	1,80	1,76	0,04
	PUNTO 3	2	2,15	2,11	0,04
3	PUNTO 2	1	2,73	2,73	0,00
	PUNTO 2	1	2,74	2,74	0,00
	PUNTO 2	1	2,72	2,72	0,00
4	PUNTO 2	2	2,74	2,73	0,01
	PUNTO 2	2	2,74	2,73	0,01
	PUNTO 2	2	2,72	2,72	0,00

Tabla 2 Resultados pruebas de laboratorio
Fuente: Los autores

Prueba	Ref	W (Kg)	Resultado SAP	Prom. Lab
1	PUNTO 1	1	0,0245	0,0200
	PUNTO 3	1	0,0252	0,0300
2	PUNTO 1	2	0,0490	0,0367
	PUNTO 3	2	0,0505	0,0400
3	PUNTO 2	1	0,0002	0,0000
4	PUNTO 2	2	0,0039	0,0067

Tabla 3 Promedio resultados de laboratorio
Fuente: Los autores

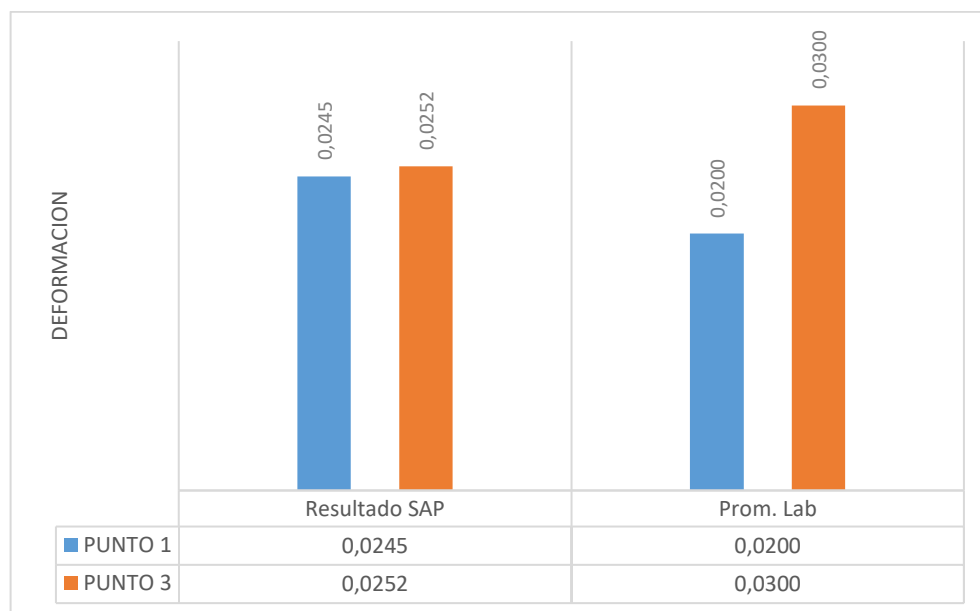


Ilustración 8 Prueba 1
Fuente: Los autores

De acuerdo a la ilustración número 8, en la cual se comparan los resultados obtenidos por SAP 2000 y los resultados del laboratorio se encontró una variación del 18,3% de diferencia en el nodo 9. Mientras que en el nodo 13, la diferencia fue del 16%, de lo cual se pudo identificar que el nodo 9 asumió mayor esfuerzo.

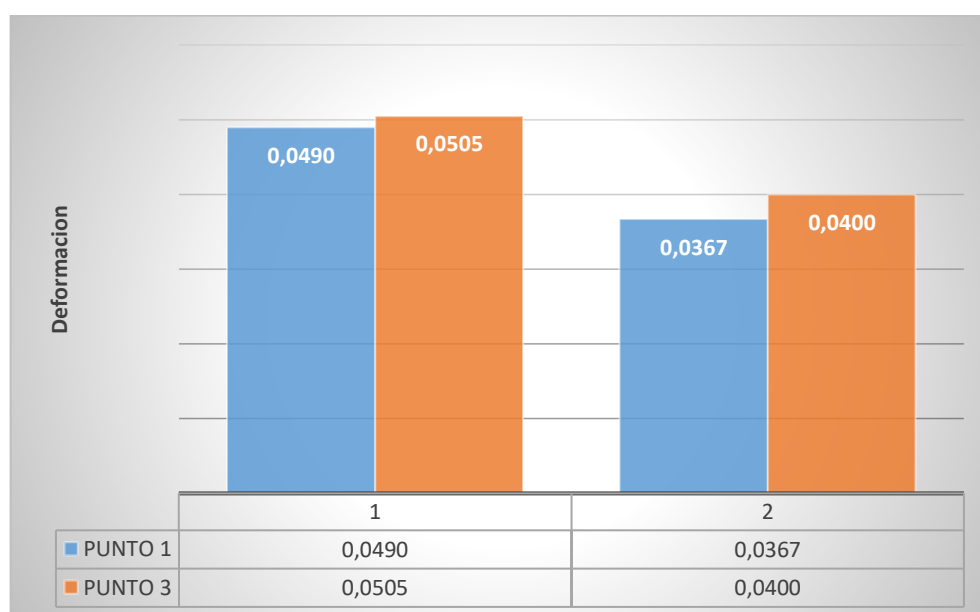


Ilustración 9 Prueba 2

Fuente: Los autores

En la ilustración número 9, se compararon los resultados obtenidos por SAP 2000 y los resultados del laboratorio. Del cual se encontró una variación del 25% de diferencia en el nodo 9. Mientras que en el nodo 13, la diferencia fue del 20.8%.

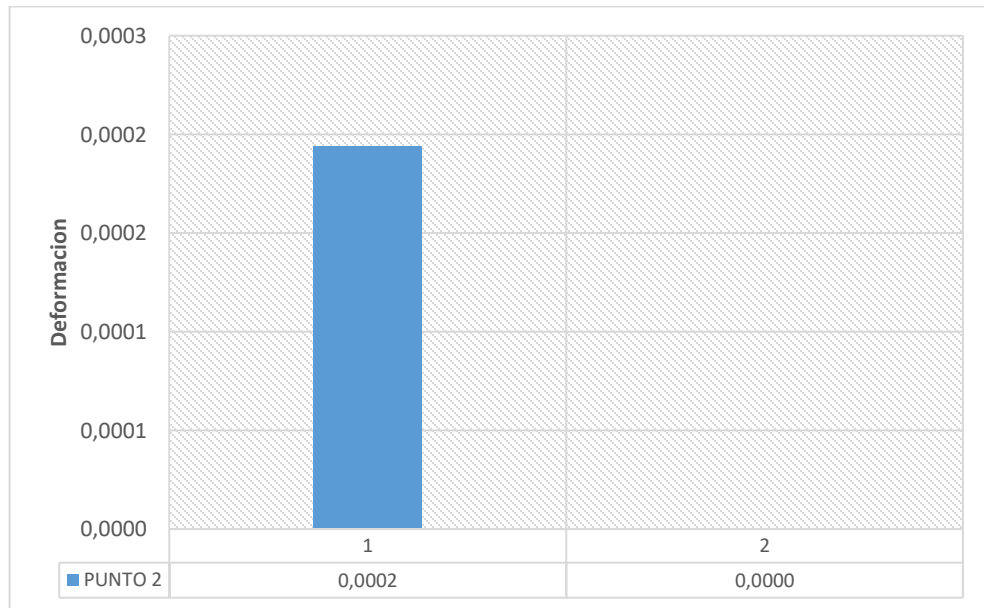


Ilustración 10 Prueba 3

Fuente: Los autores

En la ilustración número 10, se realizó la comparación del resultado obtenido por SAP 2000 y los resultados del laboratorio. Del cual su variación fue del 1%, de lo cual se puede decir que es despreciable.

Debido a las características de los deformímetros empleados en los cuales presenta dos cifras significativas, para esta prueba no hubo deformación como se demuestra en la comparación de los datos obtenidos con SAP2000

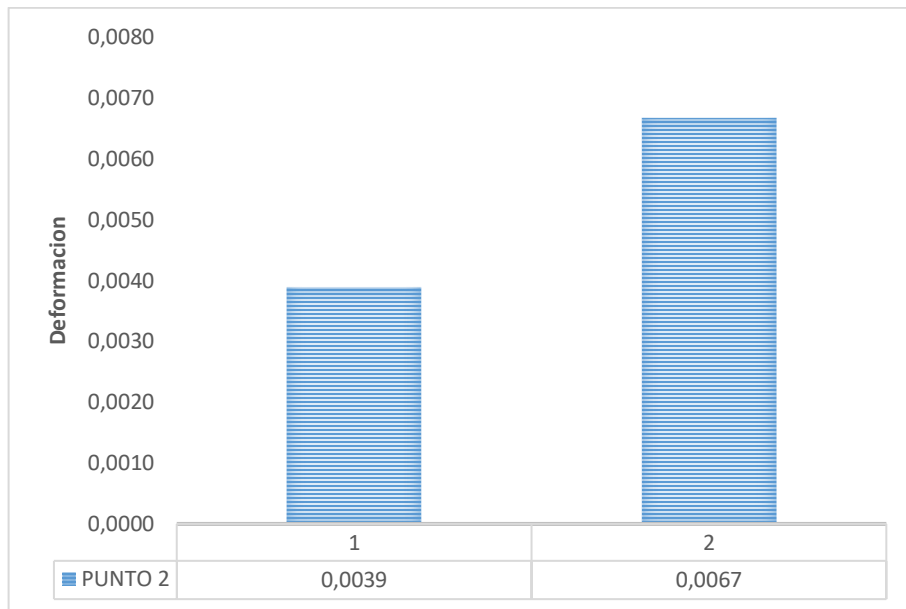


Ilustración 11 Prueba 4
Fuente: Los autores

En la ilustración número 11, se realizó la comparación del resultado obtenido por SAP 2000 y los resultados del laboratorio. Del cual su variación fue del 41.79%, en el nodo 13.

9.5. Guía de laboratorio

Para la implementación de las prácticas en laboratorio, se desarrolló una guía con objetivo de fomentar el aprendizaje en las áreas de estructuras para lo cual se debe revisar el anexo No. 14.3, en el cual se describe el paso a paso para implementar y desarrollar los respectivos procedimientos de acuerdo con las fases propuestas. Con esto se busca generar una nueva herramienta para los estudiantes de ingeniería civil.

El laboratorio permite observar la deformación que sufre una estructura o armadura en este caso de aluminio, al momento de someterla a cargas puntuales sobre sus uniones o nodos.

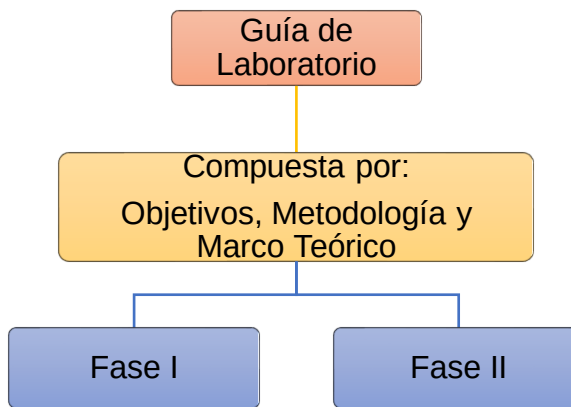


Figura 8 Composición de la guía de laboratorio
Fuente: Los Autores

Esta guía consta de 2 fases, las cuales constan de:

- I. Cálculos iniciales, en el cual se busca que los estudiantes implementen los conocimientos adquiridos como por ejemplo la resolución de un sistema a través de nodos; para lo cual deben indagar y reconocer los elementos que conforman la armadura y determinar que puede suceder con la misma a la hora de la aplicación de cargas.
- II. Practica de laboratorio, busca que se implemente esta guía para hallar los resultados para lo cual generan una experimentación y comparan lo teórico con la puesta en marcha de esta guía de laboratorio.

10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, se representa en la tabla 4 el análisis de los datos obtenidos del cálculo matemático por nodos desarrollado en la hoja de excel, los resultados de la modelación de sap2000 y la respectiva variación que hay entre los dos procedimientos , dando como resultado un promedio de variación del 7% como se observa y su respectiva grafica de barras para observar detalladamente la variación presente.

RESULTADO CALCULO EXCEL		RESULTADO SAP	VARIACION
FUERZA	VALOR	VALOR	VALOR
F1	1,92	1,89	1,6%
F2	1,20	1,17	2,6%
F3	2,20	2,12	3,9%
F4	0,80	0,77	4,4%
F5	0,44	0,43	2,3%
F6	2,01	1,95	3,0%
F7	2,63	2,55	3,1%
F8	0,74	0,72	2,9%
F9	0,61	0,59	3,2%
F10	2,59	2,52	2,9%
F11	3,07	2,97	3,4%
F12	0,94	0,82	14,1%
F13	0,87	0,75	16,3%
F14	3,20	3,05	5,0%
F15	3,07	3,40	9,8%
F16	0,84	0,83	1,2%
F17	0,19	0,17	11,8%
F18	3,52	3,29	7,0%
F19	0,25	0,23	8,7%
F20	2,94	3,38	12,9%
F21	0,23	0,20	15,0%
F22	3,65	3,42	6,7%
F23	0,51	0,49	4,1%
F24	3,11	3,53	11,8%
F25	0,55	0,48	14,6%
F26	2,83	3,43	17,6%
F27	0,17	0,16	6,3%
F28	3,06	3,46	11,7%
F29	0,24	0,20	20,0%
F30	2,92	3,33	12,2%
F31	0,19	0,17	11,8%

F32	3,18	3,45	7,8%
F33	0,84	0,82	2,4%
F34	3,18	3,17	0,4%
F35	0,46	0,49	6,9%
F36	3,23	3,17	1,8%
F37	0,47	0,53	11,3%
F38	2,84	2,81	1,2%
F39	0,50	0,44	12,9%
F40	2,88	2,87	0,3%
F41	0,53	0,48	10,4%
F42	2,46	2,42	1,6%
F43	0,56	0,53	5,7%
F44	2,42	2,41	0,5%
F45	0,70	0,67	4,5%
F46	1,75	1,67	4,8%
F47	2,30	2,23	3,4%
PROMEDIO			7,0%

Tabla 4 Comparación de resultados
Fuente: Los autores

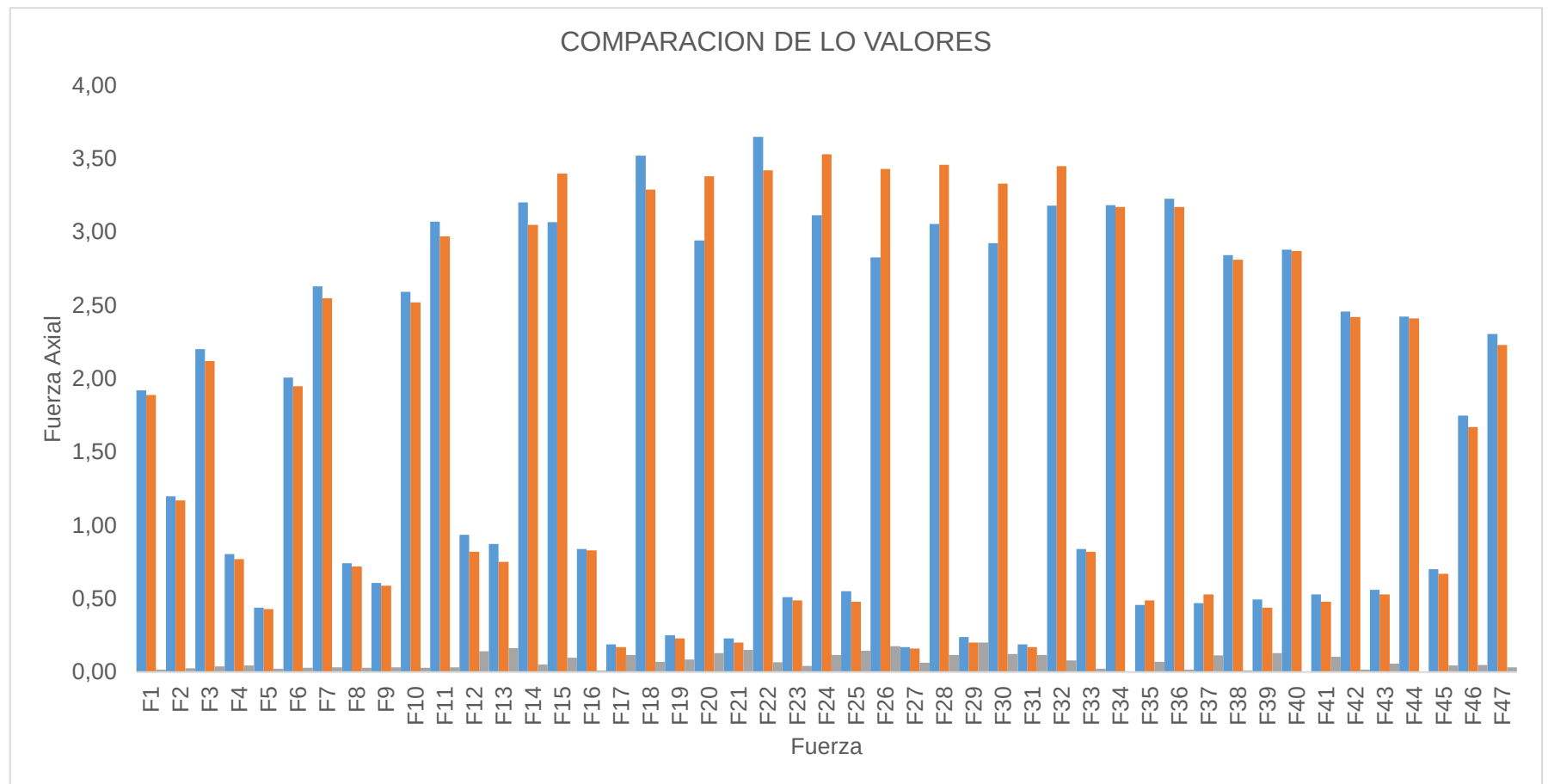


Ilustración 12 Representación de las Variaciones de los cálculos

Fuente: Los autores

De acuerdo a la ilustración anterior, se observa que el elemento estructural que presenta una mayor fuerza axial mediante el cálculo por nodos es el elemento F22, Del cual comparándolo con el modelo de SAP arrojo una variación del 6.7%.

En la determinación de los esfuerzos que se presentan en los elementos y para posteriormente a ver determinado las deformaciones totales y las deformaciones unitarias se tuvieron como referencia los siguientes elementos:

Módulo de Elasticidad			
700.000	9,81	10000	68.670.000.000
			68,67 MN/m2
Área de la sección			
cara exterior	13 mm	169	
cara interior	12 mm	144	
Área (mm2)		25	

Área	0,0025	m
E	7,E+10	N/m2

Los esfuerzos máximos que puede soportar la aleación del aluminio AA6063, que viene determinada en el anexo 14.4 en el cual se referencian las propiedades del aluminio como las siguientes que se tomaron como referencia.

RFT	15.009.300	Pa
RFC	10.987.200	Pa

Elemento	Fuerza (N)	RF	T/C	Esfuerzo (N/m2))	Longitud (m)	Deformación (mm)	Deformación unitaria
F1	1,89	10987200,00	C	756,00	0,07	8,E-07	1,10092E-08
F2	1,17	15009300,00	T	468,00	0,13	9,E-07	6,8152E-09
F3	2,12	10987200,00	C	848,00	0,14	2,E-06	1,23489E-08
F4	0,77	15009300,00	T	308,00	0,10	4,E-07	4,48522E-09
F5	0,43	10987200,00	C	172,00	0,13	3,E-07	2,50473E-09
F6	1,95	15009300,00	T	780,00	0,12	1,E-06	1,13587E-08
F7	2,55	10987200,00	C	1020,00	0,14	2,E-06	1,48536E-08
F8	0,72	15009300,00	T	288,00	0,15	6,E-07	4,19397E-09
F9	0,59	10987200,00	C	236,00	0,18	6,E-07	3,43673E-09
F10	2,52	15009300,00	T	1008,00	0,12	2,E-06	1,46789E-08
F11	2,97	10987200,00	C	1188,00	0,13	2,E-06	1,73001E-08
F12	0,82	15009300,00	T	328,00	0,19	9,E-07	4,77647E-09
F13	0,75	10987200,00	C	300,00	0,21	9,E-07	4,36872E-09
F14	3,05	15009300,00	T	1220,00	0,12	2,E-06	1,77661E-08
F15	3,40	10987200,00	C	1360,00	0,12	2,E-06	1,98049E-08
F16	0,83	15009300,00	T	332,00	0,22	1,E-06	4,83472E-09

F17	0,17	10987200,00	C	68,00	0,24	2,E-07	9,90243E-10
F18	3,29	15009300,00	T	1316,00	0,12	2,E-06	1,91641E-08
F19	0,23	10987200,00	C	92,00	0,24	3,E-07	1,33974E-09
F20	3,38	15009300,00	T	1352,00	0,13	3,E-06	1,96884E-08
F21	0,20	10987200,00	C	80,00	0,25	3,E-07	1,16499E-09
F22	3,42	15009300,00	T	1368,00	0,12	2,E-06	1,99214E-08
F23	0,49	10987200,00	C	196,00	0,25	7,E-07	2,85423E-09
F24	3,53	15009300,00	T	1412,00	0,11	2,E-06	2,05621E-08
F25	0,48	10987200,00	C	192,00	0,25	7,E-07	2,79598E-09
F26	3,43	15009300,00	T	1372,00	0,12	2,E-06	1,99796E-08
F27	0,16	10987200,00	C	64,00	0,25	2,E-07	9,31994E-10
F28	3,46	15009300,00	T	1384,00	0,12	2,E-06	2,01544E-08
F29	0,20	10987200,00	C	80,00	0,24	3,E-07	1,16499E-09
F30	3,33	15009300,00	T	1332,00	0,12	2,E-06	1,93971E-08
F31	0,17	10987200,00	C	68,00	0,24	2,E-07	9,90243E-10
F32	3,45	15009300,00	T	1380,00	0,13	3,E-06	2,00961E-08
F33	0,82	10987200,00	C	328,00	0,21	1,E-06	4,77647E-09
F34	3,17	15009300,00	T	1268,00	0,12	2,E-06	1,84651E-08
F35	0,49	10987200,00	C	196,00	0,22	6,E-07	2,85423E-09
F36	3,17	15009300,00	T	1268,00	0,14	3,E-06	1,84651E-08
F37	0,53	10987200,00	C	212,00	0,17	5,E-07	3,08723E-09
F38	2,81	15009300,00	T	1124,00	0,12	2,E-06	1,63681E-08
F39	0,44	10987200,00	C	176,00	0,17	4,E-07	2,56298E-09
F40	2,87	15009300,00	T	1148,00	0,13	2,E-06	1,67176E-08
F41	0,48	10987200,00	C	192,00	0,13	4,E-07	2,79598E-09
F42	2,42	15009300,00	T	968,00	0,12	2,E-06	1,40964E-08
F43	0,53	10987200,00	C	212,00	0,13	4,E-07	3,08723E-09
F44	2,41	15009300,00	T	964,00	0,13	2,E-06	1,40382E-08
F45	0,67	10987200,00	C	268,00	0,08	3,E-07	3,90272E-09
F46	1,67	15009300,00	T	668,00	0,13	1,E-06	9,72768E-09
F47	2,23	10987200,00	C	892,00	0,09	1,E-06	1,29897E-08

Tabla 5 Determinación del Esfuerzo y deformación para un sistema de carga de 29,43 N

La tabla No.5, hace referencia al esfuerzo que se presenta en cada elemento con el cual es posible determinar la deformación total y la deformación unitaria; para lo cual se tuvieron en cuenta dos variaciones de cargas y en amarillo se observan los elementos con mayor carga.

Elemento	Fuerza (N)	RF	T/C	Esfuerzo (N/m2))	Longitud (m)	Deformacion (mm)	Deformacion unitaria
F1	3,65	10987200,00	C	1460,00	0,07	1,E-06	2,12611E-08
F2	2,35	15009300,00	T	940,00	0,13	2,E-06	1,36887E-08
F3	4,25	10987200,00	C	1700,00	0,14	3,E-06	2,47561E-08
F4	1,54	15009300,00	T	616,00	0,10	9,E-07	8,97044E-09
F5	0,87	10987200,00	C	348,00	0,13	7,E-07	5,06772E-09
F6	3,90	15009300,00	T	1560,00	0,12	3,E-06	2,27173E-08
F7	5,10	10987200,00	C	2040,00	0,14	4,E-06	2,97073E-08
F8	1,45	15009300,00	T	580,00	0,15	1,E-06	8,44619E-09
F9	1,18	10987200,00	C	472,00	0,18	1,E-06	6,87345E-09
F10	5,05	15009300,00	T	2020,00	0,12	4,E-06	2,9416E-08
F11	5,94	10987200,00	C	2376,00	0,13	4,E-06	3,46003E-08
F12	1,64	15009300,00	T	656,00	0,19	2,E-06	9,55293E-09
F13	1,50	10987200,00	C	600,00	0,21	2,E-06	8,73744E-09
F14	6,11	15009300,00	T	2444,00	0,12	4,E-06	3,55905E-08
F15	6,80	10987200,00	C	2720,00	0,12	5,E-06	3,96097E-08
F16	1,66	15009300,00	T	664,00	0,22	2,E-06	9,66943E-09
F17	0,35	10987200,00	C	140,00	0,24	5,E-07	2,03874E-09
F18	6,59	15009300,00	T	2636,00	0,12	5,E-06	3,83865E-08
F19	0,47	10987200,00	C	188,00	0,24	7,E-07	2,73773E-09
F20	6,76	15009300,00	T	2704,00	0,13	5,E-06	3,93767E-08
F21	0,40	10987200,00	C	160,00	0,25	6,E-07	2,32998E-09
F22	6,84	15009300,00	T	2736,00	0,12	5,E-06	3,98427E-08
F23	0,98	10987200,00	C	392,00	0,25	1,E-06	5,70846E-09
F24	7,07	15009300,00	T	2828,00	0,11	5,E-06	4,11825E-08
F25	0,97	10987200,00	C	388,00	0,25	1,E-06	5,65021E-09
F26	6,86	15009300,00	T	2744,00	0,12	5,E-06	3,99592E-08
F27	0,33	10987200,00	C	132,00	0,25	5,E-07	1,92224E-09
F28	6,80	15009300,00	T	2720,00	0,12	5,E-06	3,96097E-08
F29	0,40	10987200,00	C	160,00	0,24	6,E-07	2,32998E-09
F30	6,67	15009300,00	T	2668,00	0,12	5,E-06	3,88525E-08
F31	0,35	10987200,00	C	140,00	0,24	5,E-07	2,03874E-09
F32	6,90	15009300,00	T	2760,00	0,13	5,E-06	4,01922E-08
F33	1,65	10987200,00	C	660,00	0,21	2,E-06	9,61118E-09
F34	6,34	15009300,00	T	2536,00	0,12	4,E-06	3,69302E-08
F35	0,99	10987200,00	C	396,00	0,22	1,E-06	5,76671E-09
F36	6,35	15009300,00	T	2540,00	0,14	5,E-06	3,69885E-08
F37	1,06	10987200,00	C	424,00	0,17	1,E-06	6,17446E-09
F38	5,62	15009300,00	T	2248,00	0,12	4,E-06	3,27363E-08

F39	0,89	10987200,00	C	356,00	0,17	9,E-07	5,18421E-09
F40	5,74	15009300,00	T	2296,00	0,13	4,E-06	3,34353E-08
F41	0,97	10987200,00	C	388,00	0,13	7,E-07	5,65021E-09
F42	4,85	15009300,00	T	1940,00	0,12	3,E-06	2,82511E-08
F43	1,06	10987200,00	C	424,00	0,13	8,E-07	6,17446E-09
F44	4,82	15009300,00	T	1928,00	0,13	4,E-06	2,80763E-08
F45	1,35	10987200,00	C	540,00	0,08	6,E-07	7,8637E-09
F46	3,35	15009300,00	T	1340,00	0,13	3,E-06	1,95136E-08
F47	4,47	10987200,00	C	1788,00	0,09	2,E-06	2,60376E-08

Tabla 6 Determinación del Esfuerzo y deformación para un sistema de carga de 58,86 N

La tabla No.6, hace referencia al esfuerzo que se presenta en cada elemento con el cual es posible determinar la deformación total y la deformación unitaria, en la 2 modelación para lo cual se tuvieron en cuenta dos variaciones de cargas y en amarillo se observan los elementos con mayor carga.

Como se puede observar los elementos que presentan mayor carga son: F14, F15, F18, F20, F22, F24, F26, F28, F30, F32, F34 Y F36; para lo cual se realizó el análisis de la variación de los esfuerzos y las deformaciones unitarias de los elementos que asumen la mayor carga se puede evidenciar variación del 50% entre los dos modelos de cargas analizados el primero de 29,43 N y el segundo de 58,86N

La figura No.9, hace referencia a la relación entre los elementos y su deformación total del sistema de carga de 20,43 N; en la cual se identifican en color amarillo las que son más críticas en la armadura.

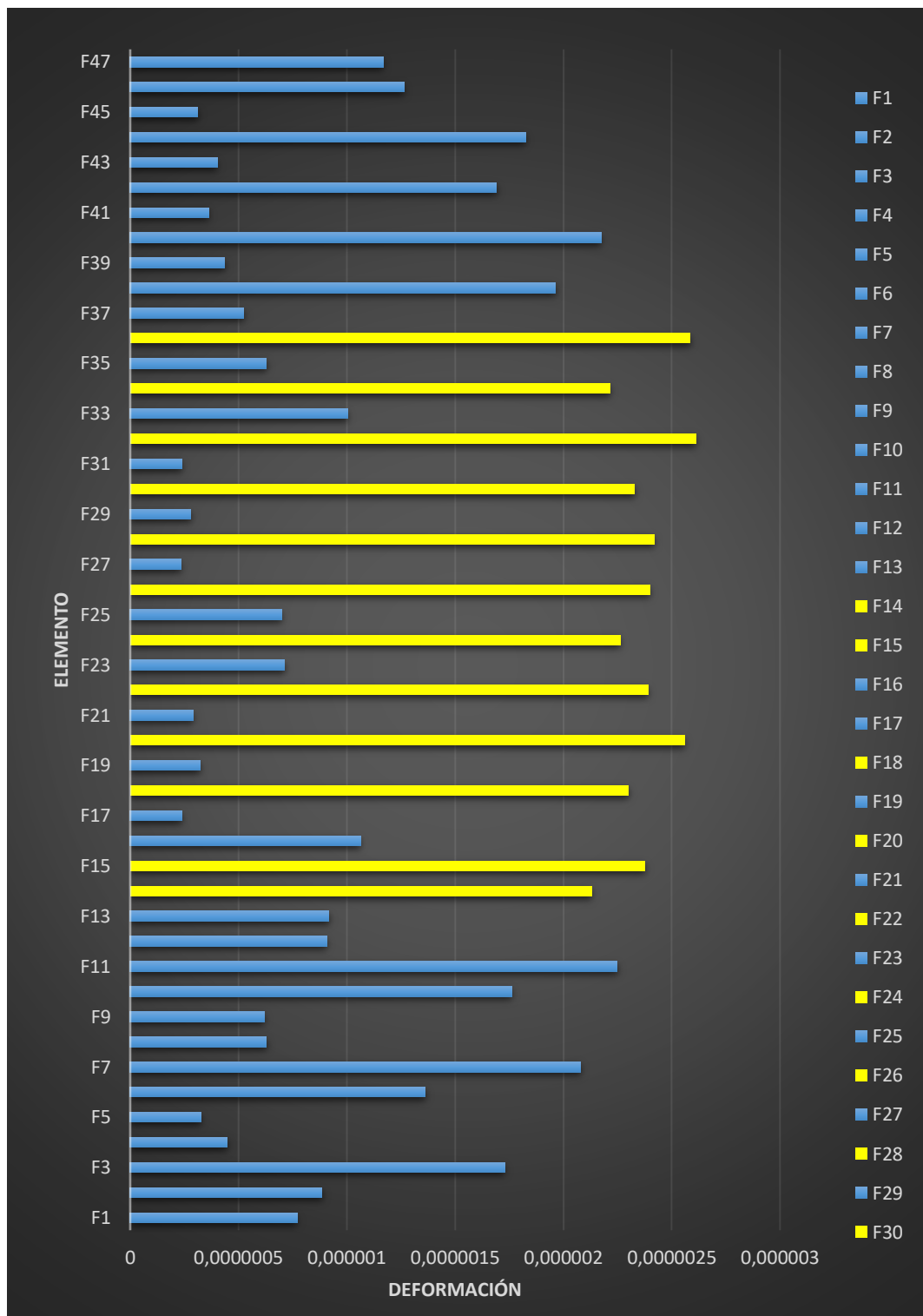


Figura 9 Deformación de los elementos con carga de 29,43N
Fuente: Los Autores

La grafica No. 10, se determina la deformación unitaria del mismo sistema de carga de 29,43N

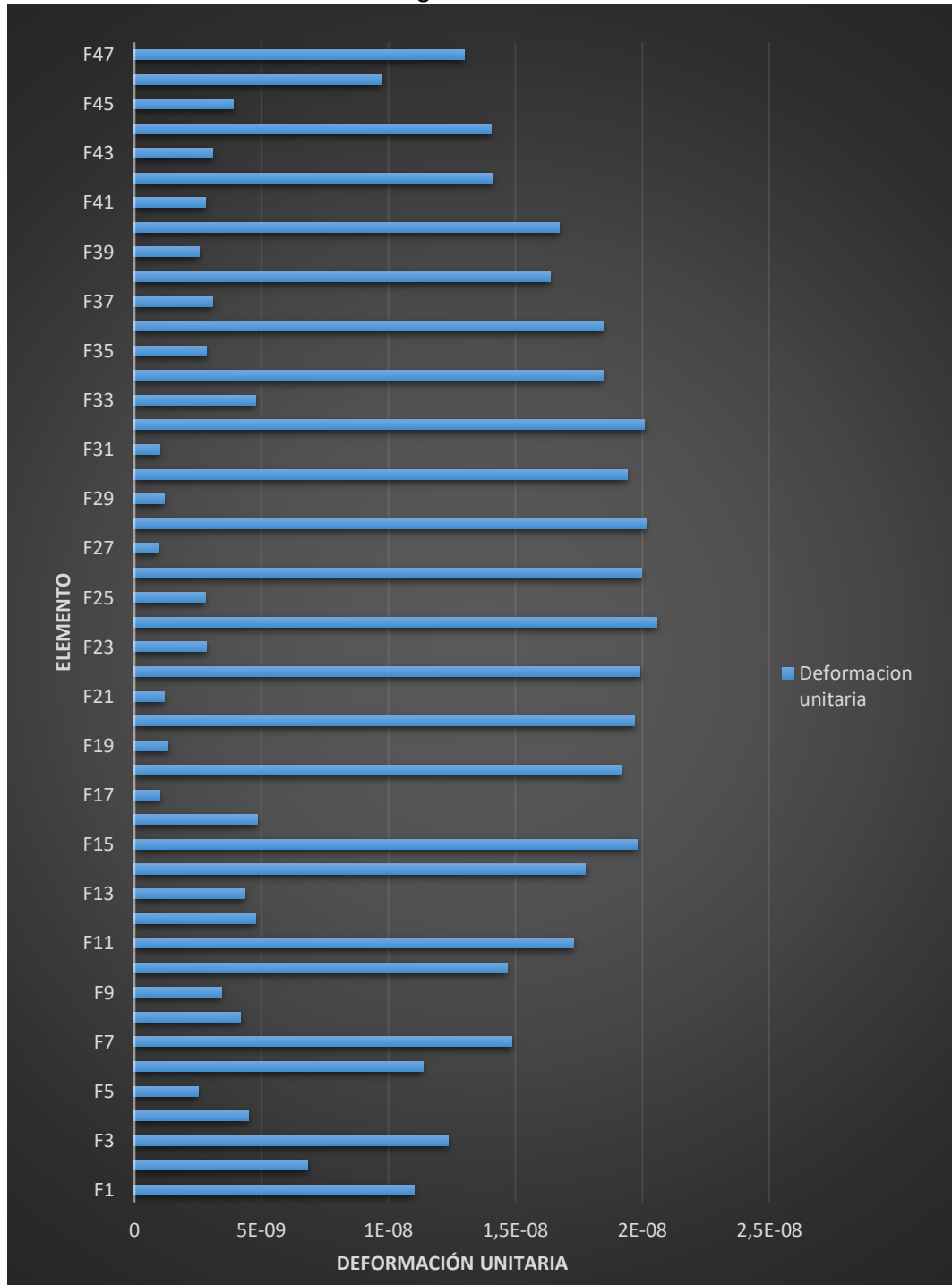


Figura 10 Deformación unitaria de los elementos con carga de 1Kg
Fuente: Los Autores

La figura No.11, hace referencia a la relación entre los elementos y su deformación total del sistema de carga de 58,86N; en la cual se identifican en color verde las que son más críticas en la armadura.

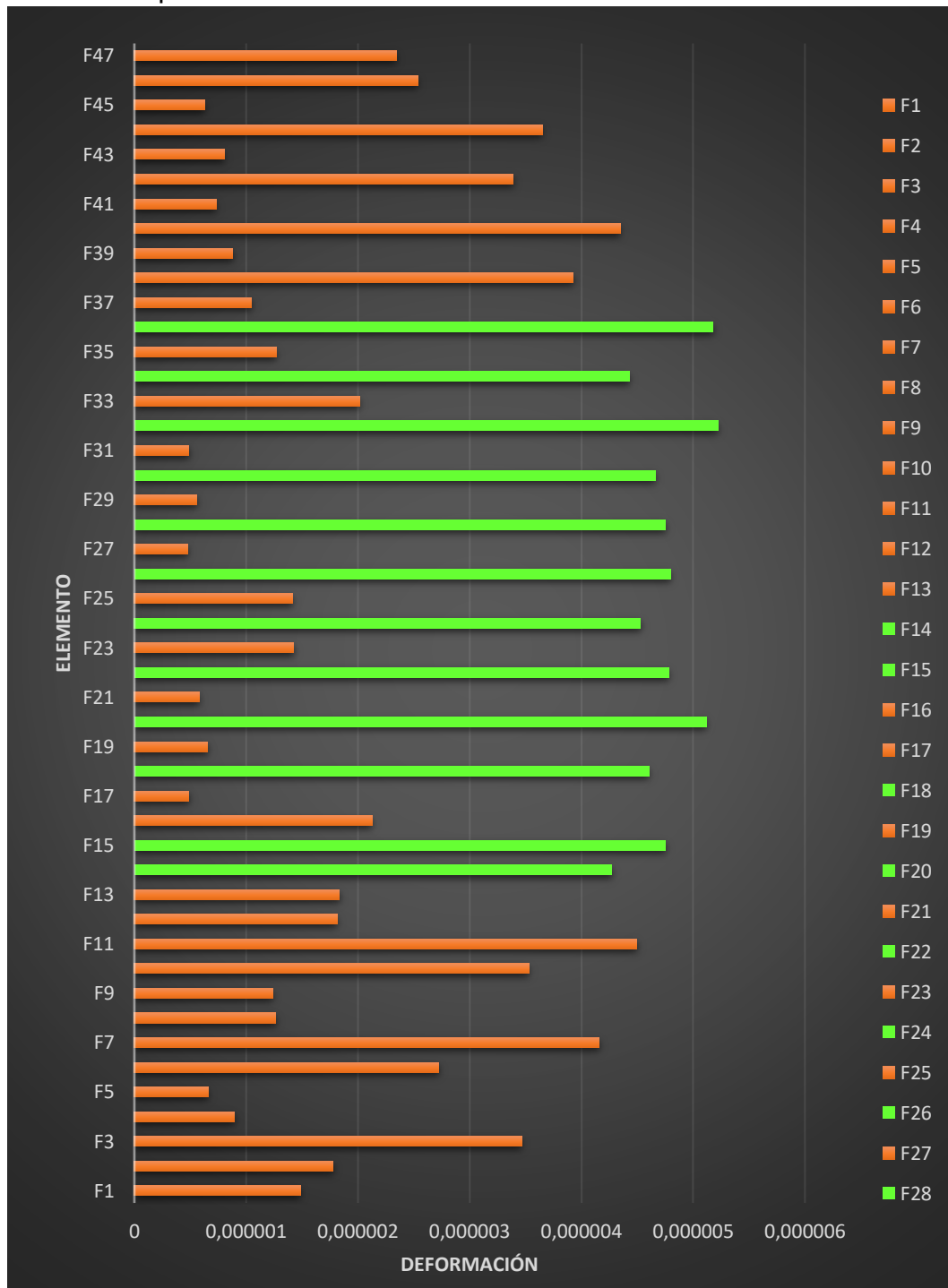


Figura 11 Deformación de los elementos con carga de 58,86N
Fuente: Los Autores

La grafica No. 12, se determina la deformación unitaria del mismo sistema de carga de 58,86N

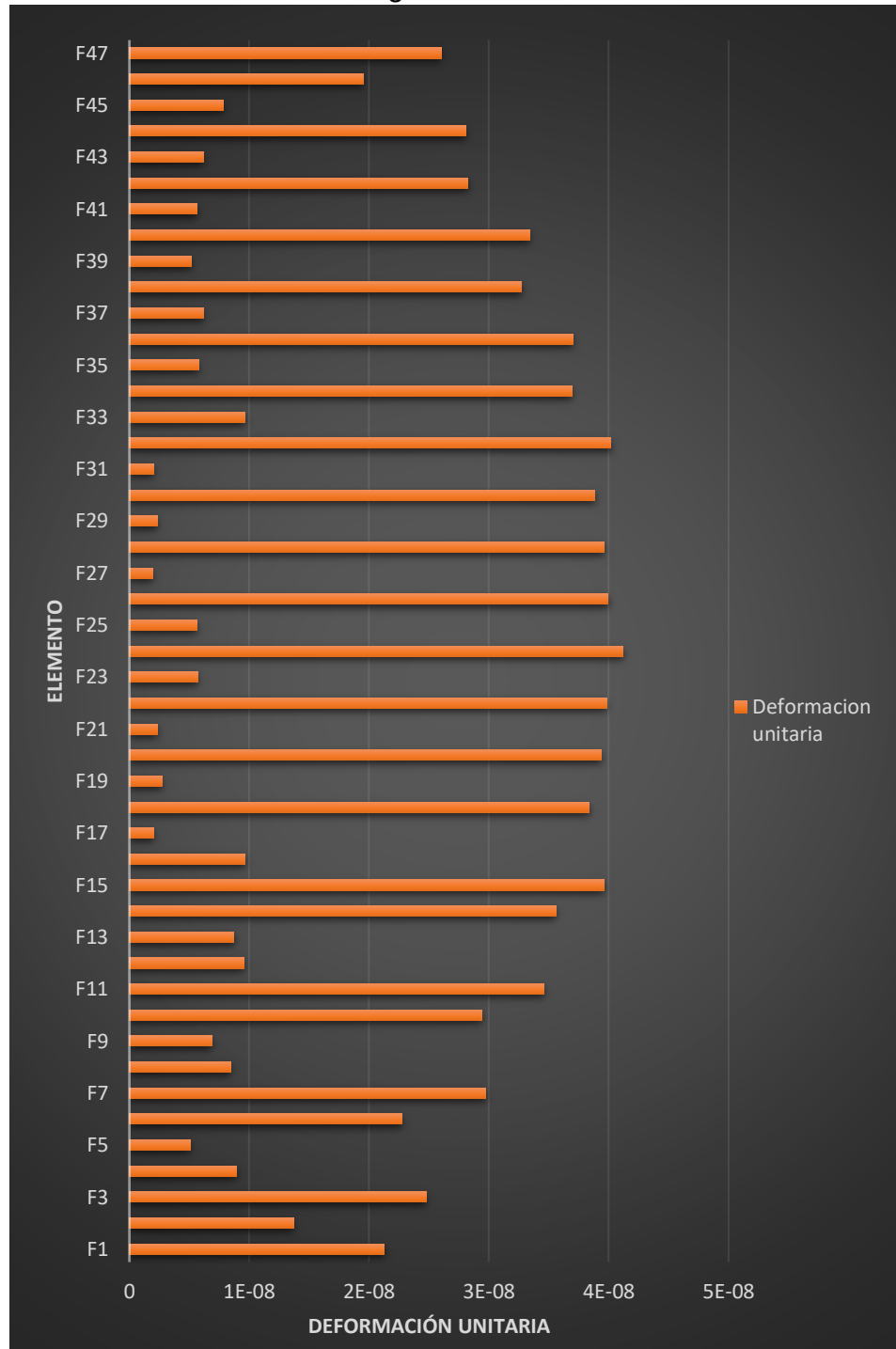


Figura 12 Deformación unitaria de los elementos carga 58,86N
Fuente: Los Autores

11. CONCLUSIONES

- Basados en los antecedentes y las conclusiones descritas en el marco de referencia, se procedió a realizar una armadura de un puente a escala, para analizar los resultados obtenido mediante el modelo de laboratorio y el cálculo matemático a través del método de los nodos. Adicional a esto se realizó el modelo en SAP 2000 con el fin de contrastar los resultados. Según la investigación realizada por los docentes de la Universidad Javeriana, se evidencio una notable mejoría en cuanto a la asistencia de los estudiantes. De lo cual se pretende así mismo llamar la atención de los estudiantes de la Universidad Piloto de Colombia Seccional Alto Magdalena.
- Se realizó el modelo en material de Aluminio teniendo en cuenta la ficha técnica y las características del material AA-6063 con unas dimensiones comerciales de $\frac{1}{2}$ "x1/2".
- El desarrollo de los cálculos en una hoja de Excel permitió realizar dos comparaciones: comparar el cálculo o método de nodos con el modelo SAP2000 y comparar los datos obtenidos en las prácticas de laboratorio con el modelo SAP2000; para lo cual el primer ítem arrojo un error promedio del 7% en las variaciones de los resultados. Es posible encontrar diferencias significativas en el módulo de elasticidad del material tabulado y el real, haciendo referencia al empleado en el modelo, lo cual genera un error apreciable al momento de realizar comparaciones.
- Para las cargas empleadas en las diferentes pruebas realizadas obtenidas mediante calculo por nodos y simulación en SAP2000, los valores de las deformaciones y esfuerzos se centraron los cálculos en los elementos estructurales con mayor carga, encontrando una variación de esfuerzo equivalente a la misma variación de carga. También se observa que los valores de deformación se encuentran por debajo de 1×10^{-8} mm. Lo que representa que los esfuerzos están muy por debajo de los valores críticos. Por lo cual, es posible realizar este tipo de modelos estructuras en un material con sección transversal menor.
- Se desarrollo una guía en la cual se busca que el estudiante elabore, redacte y aplique los diferentes conceptos. Y los diferentes métodos de cálculo para la búsqueda del esfuerzo al que es sometida una estructura.

Esta guía pretende que el estudiante empiece aplicar los diferentes temas que se empiezan a desarrollar desde la asignatura de mecánica estructural.

12.RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar con el desarrollo de nuevos prototipos de tipos de armaduras a escala para ampliar las posibilidades de prácticas de laboratorio que fortalezcan los conocimientos en el área de estructuras.
- Se propone, ofrecer como alternativa de grado para los estudiantes de ingeniería de sistemas, la incorporación de programas computacionales para el registro de la información y la sistematización de los resultados de los diferentes bancos de prueba.
- Para contar con excelentes prototipos de simulación y componentes de medición (sensores), resulta necesario realizar una gran inversión, la cual es posible si la universidad ofrece apoyo económico a este tipo de proyectos, que tienen por objetivo una mayor practicidad en el proceso de formación de un ingeniero civil.

13. BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (2014). *academia.edu*. Obtenido de https://www.academia.edu/14418311/Nuevo_C%C3%B3digo_Colombiano_de_dise%C3%B1o_de_puentes_LRFD_NCP_2014
- Aquino, D., & Hernandez, R. (Septiembre de 2004). Manual de construcción de puentes en concreto (Trabajo de pregrado). San Salvador, El Salvador: Universidad de El Salvador. Recuperado el 21 de Febrero de 2018
- Asociacion colombiana de Ingenieria. (s.f.). NSR 10. En *TITULO B*.
- Beer, F., Johnston, R., & Eisenberg, E. (1997). *Mecanica vectorial para ingenieros* (Sexta ed.). Mexico D.F: Mc Graw Hill. Recuperado el 24 de Abril de 2019
- Blanco, J., González, A., & García, J. (2012). *Análisis estático de estructuras por el método matricial*. Málaga, España: Servicio de publicaciones e intercambio científico de la Universidad de Málaga. Recuperado el 28 de Febrero de 2018
- Cádiz, U. d. (s.f). *tablaperiodica.uca.es*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de <http://tablaperiodica.uca.es/Tabla/elementos/Aluminio/Grupo1/Prop.%20Al>
- CONSTRUMÁTICA. (s.f.). Recuperado el 18 de Enero de 2018, de https://www.construmatica.com/construpedia/Viga_Warren
- elcolombiano.com. (4 de Diciembre de 2014). *elcolombiano.com*. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de <https://www.elcolombiano.com/colombia/colombia-estrena-norma-para-construccion-de-puentes-DJ812243>
- estaticageovanni.wordpress.com*. (5 de Octubre de 2016). Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <https://estaticageovanni.wordpress.com/2016/10/05/cerchas-metodo-de-secciones/>
- Ferdinand P. Beer, E. R. (s.f.). *Mecánica vectorial para ingenieros estática*. . México: McGraw-Hill.
- Ferdinand, B., Rusell, J., & Elliot, E. (2007). *Mecánica vectorial para ingenieros (Estática)*. McGraw-Hill/Interamericana. Recuperado el 28 de Febrero de 2018
- GNU FísicaLab. (s.f.). Recuperado el 28 de Enero de 2018, de https://www.gnu.org/software/fisicalab/manual/en/fisicalab/Example-13-_0028rs_0029.html

- Harris, H., & Gajanan, S. (1999). *Structural modeling and experimental techniques*. Washington D.C: CRC Press. Recuperado el 25 de Febrero de 2018
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural Modeling and Experimental Technique*. Florida, Estado Unidos: CRC Press LLC.
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural Modeling and Experimental Technique*. Florida, Estados Unidos: CRC Press LLC.
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural Modeling and Experimental Technique*. Florida, Estados Unidos: CRC Press LLC.
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural Modeling and Experimental Technique*. Florida, Estados Unidos: CRC Press LLC.
- Harris, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural Modeling and Experimental Technique"*. Florida, Estados Unidos: CRC Press LLC.
- Harry, H., & Sabnis, G. (1999). *Structural modeling and experimental techniques*. CRC Press. Recuperado el 28 de Febrero de 2018
- Ingenieria, E. c. (s.f). *escuelaing.edu.co*. Recuperado el 26 de Abril de 2019, de https://www.escuelaing.edu.co/es/programas/educacion_continuada/cursostalleres/Actualizaci%C3%B3n+norma+colombiana+de+dise%C3%B1o+de+puentes+LRFDCCP-14/presentacion
- Irving, S. (1999). *Mecánica para ingenieros* (Cuarta Edición ed.). Madrid: PRENTICE HALL. Recuperado el 1 de Abril de 2019
- James, G., & Barry, G. (2013). *Mecánica de materiales* (8ta edición ed.). Mexico D.F.: Cengage Learning. Recuperado el 24 de Abril de 2019
- Kassimali. (2015). *Análisis estructural* (Quinta edición ed.). México: Cengage Learning. Recuperado el 20 de Febrero de 2018
- Kassimali, A. (2015). *Análisis de estructuras* (Quinta ed.). México: Cengage Learning. Recuperado el 28 de Febrero de 2018
- Kassimali, A. (2015). *Analisis estructural* (5ta ed.). Mexico, D.F.: Cengage Learning.
- Kassimali, A. (2015). *Analisis estructural*. Mexico, D.F: Cengage Learning.
- Kassimali, A. (2015). *Analisis estructural*. Mexico, D.F.: Cengage Learning.
- Kassimali, A. (2015). *Analisis estructural*. Mexico, D.F: Cengage Learning.
- Kassimali, A. (2015). *Analisis estructural*. Mexico, D.F: Cengage Learning.

- Kassimali, A. (2015). *Análisis estructural* (Quinta ed.). (O. Martínez, Ed.) México D.F.: Cengage Learning. Recuperado el 2 de Abril de 2018
- materia, T. (s.f). *totalmateria.com*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de <http://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=propiedadesdelacero&LN=ES>
- Mc Cormac, J. (2010). *Análisis de estructuras: método clásico y matricial*. México: Alfaomega. Recuperado el 14 de Febrero de 2018
- McCormac, J. (2010). *Análisis de estructuras. Metodo clasico y matricial* (Cuarta ed.). New Jersey, Usa: Alfaomega. Recuperado el 2 de Abril de 2018
- mind42.com*. (s.f). Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de <https://mind42.com/public/539c93fa-d06d-4852-97ee-ec87c1d6a824>
- Morales, R. F. (1999). DEFORMACIONES DE LAS ESTRUCTURAS. *REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DE MENDOZA*. Recuperado el 3 de 04 de 2019, de <http://www.um.edu.ar/ojs-new/index.php/RUM/article/view/107>
- Pozos, A., Raúl, S., & Roberto, G. (2012). *smie.org.mx*. Recuperado el 25 de Febrero de 2018, de http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_17/te_10/ar_05.pdf
- Pozos, A., Sánchez, R., & Gómez, R. (2012). *smie.org.mx*. Recuperado el 24 de Febrero de 2018, de http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_17/te_10/ar_05.pdf
- puentelara.blogspot*. (13 de 02 de 2013). Obtenido de <http://puentelara.blogspot.com/2013/02/aluminio-uso-en-el-automovil.html>
- Rojas, E., & Zuñiga, L. (2009). Modelado estructural del puente de homrigón con pretensado extradadosado mediante técnicas experimentales. Bucaramanga, Santander, Colombia.
- Rojas, E., & Zuñiga, L. (2009). Modelado estructural del puente de hormigon con pretensado extradadosado mediante tecnicas experimentales. Bucaramanga, Santander, Colombia. Recuperado el Abril de 2019
- Salazar, J. (2007). *Resistencia de materiales basica para estudiantes de ingeniería* (1ra Edición ed.). Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.
- Salazar, J. (2007). *Resistencia de materiales basica para estudiantes de ingeniería* . Manizales: Universidad Nacional de Colombia sede Manizales.

sc.ehu.es. (s.f). Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de
http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm

Shames, I. (1999). *Mecanica para ingenieros* (4ta edición ed.). Madrid: Pretince Hall. Recuperado el 24 de Abril de 2019

Shames, I. (1999). *Mecanica para ingenieros*. Madrid: Pretince Hall.

Shames, I. (1999). *Mecánica para ingenieros* (Cuarta Edición ed.). Madrid: PRETINCE HALL.

Shames, I. (1999). *Mecánica para ingenieros estatica*. Madrid: pretice hall iberia S.R.L.

Tomas, U. S. (2016). *ustatunja.edu.co*. Recuperado el 28 de Febrero de 2018, de
<http://www.ustatunja.edu.co/cong-civil/images/memorias2016/1.%20Metodo%20Matricial%20para%20el%20Análisis%20de%20Armaduras%20Planas%20y%20Espaciales.pdf>

14. ANEXOS

14.1. REGISTRO FOTOGRAFICO



Ilustración 13 Armadura y Soporte
Fuente: los Autores



Ilustración 14 Armadura y Soporte 2
Fuente: los Autores



Ilustración 15 Pesas
Fuente: los Autores



Ilustración 16 Pesas o Cargas
Fuente: los Autores



Ilustración 17 Forma de uso de los deformímetros
Fuente: los Autores



Ilustración 18 Estructura con los pesos y el deformímetro
Fuente: los Autores



Ilustración 19 Pesaje
Fuente: los Autores



Ilustración 20 Pesaje 2
Fuente: los Autores



Ilustración 21 Colocación Deformímetro
Fuente: los Autores

14.2 IMPRESIÓN DE LOS RESULTADOS TABLAS SAP2000

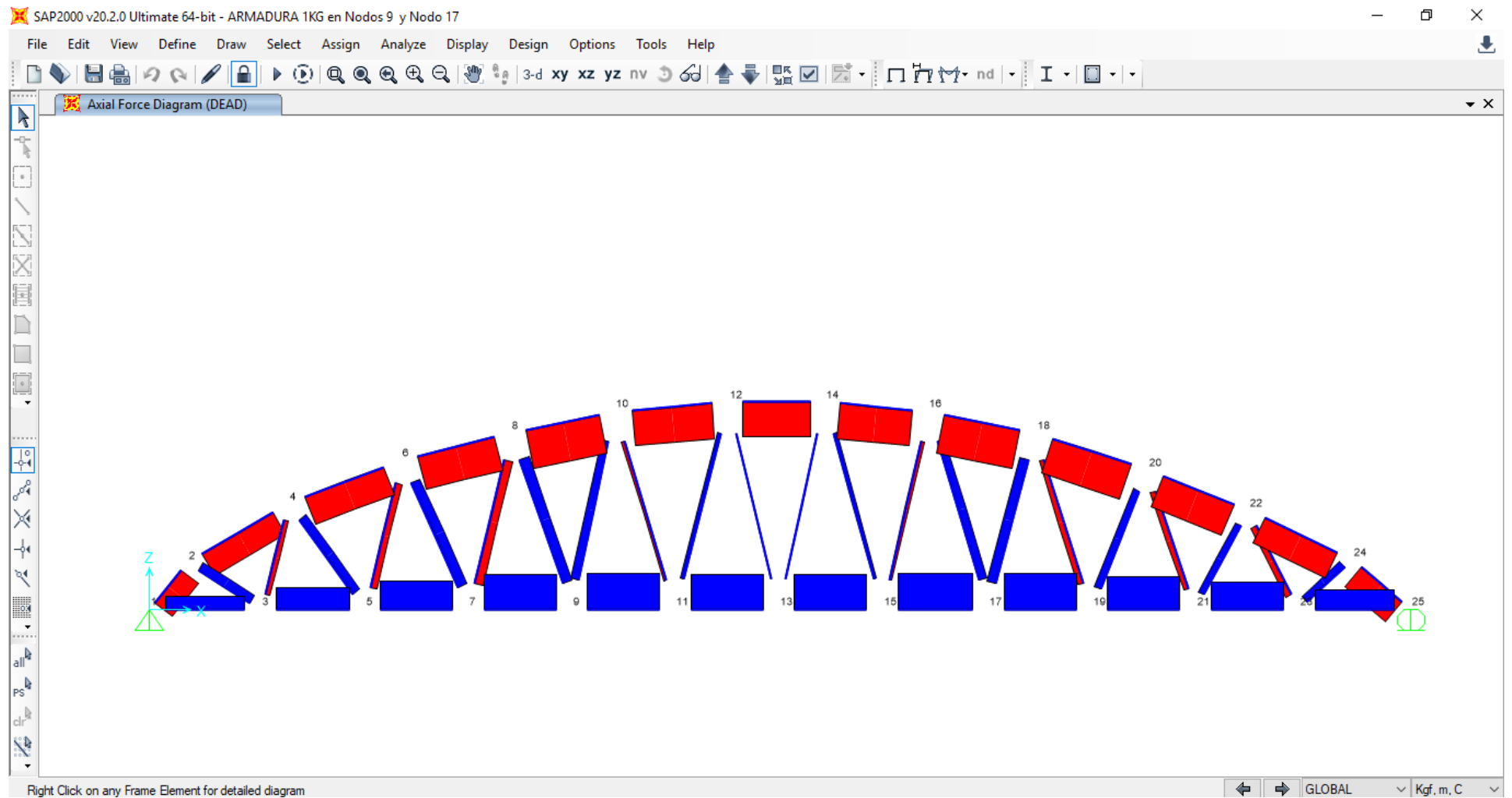


Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**

Joint	MassSource	U1 Kgf-s2/m	U2 Kgf-s2/m	U3 Kgf-s2/m	R1 Kgf-m-s2	R2 Kgf-m-s2	R3 Kgf-m-s2	CenterX m
1	MSSSRC1	4,983E-12	4,983E-12	4,983E-12	0,	0,	0,	0,
2	MSSSRC1	7,662E-12	7,662E-12	7,662E-12	0,	0,	0,	0,044
3	MSSSRC1	1,194E-11	1,194E-11	1,194E-11	0,	0,	0,	0,13
4	MSSSRC1	1,384E-11	1,384E-11	1,384E-11	0,	0,	0,	0,161
5	MSSSRC1	1,422E-11	1,422E-11	1,422E-11	0,	0,	0,	0,25
6	MSSSRC1	1,595E-11	1,595E-11	1,595E-11	0,	0,	0,	0,292
7	MSSSRC1	1,599E-11	1,599E-11	1,599E-11	0,	0,	0,	0,37
8	MSSSRC1	1,703E-11	1,703E-11	1,703E-11	0,	0,	0,	0,419
9	MSSSRC1	1,728E-11	1,728E-11	1,728E-11	0,	0,	0,	0,49
10	MSSSRC1	1,826E-11	1,826E-11	1,826E-11	0,	0,	0,	0,54
11	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,61
12	MSSSRC1	1,847E-11	1,847E-11	1,847E-11	0,	0,	0,	0,672
13	MSSSRC1	1,833E-11	1,833E-11	1,833E-11	0,	0,	0,	0,73
14	MSSSRC1	1,818E-11	1,818E-11	1,818E-11	0,	0,	0,	0,783
15	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,85
16	MSSSRC1	1,808E-11	1,808E-11	1,808E-11	0,	0,	0,	0,903
17	MSSSRC1	1,736E-11	1,736E-11	1,736E-11	0,	0,	0,	0,973
18	MSSSRC1	1,726E-11	1,726E-11	1,726E-11	0,	0,	0,	1,028
19	MSSSRC1	1,571E-11	1,571E-11	1,571E-11	0,	0,	0,	1,093
20	MSSSRC1	1,519E-11	1,519E-11	1,519E-11	0,	0,	0,	1,158
21	MSSSRC1	1,352E-11	1,352E-11	1,352E-11	0,	0,	0,	1,213
22	MSSSRC1	1,294E-11	1,294E-11	1,294E-11	0,	0,	0,	1,275
23	MSSSRC1	1,157E-11	1,157E-11	1,157E-11	0,	0,	0,	1,333
24	MSSSRC1	7,665E-12	7,665E-12	7,665E-12	0,	0,	0,	1,395
25	MSSSRC1	5,475E-12	5,475E-12	5,475E-12	0,	0,	0,	1,463
SumAccelUX	MSSSRC1	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,72407

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
1	MSSSRC1	0,	0,
2	MSSSRC1	0,	0,054
3	MSSSRC1	0,	0,
4	MSSSRC1	0,	0,123
5	MSSSRC1	0,	0,
6	MSSSRC1	0,	0,173
7	MSSSRC1	0,	0,
8	MSSSRC1	0,	0,205
9	MSSSRC1	0,	0,
10	MSSSRC1	0,	0,23
11	MSSSRC1	0,	0,
12	MSSSRC1	0,	0,241
13	MSSSRC1	0,	0,
14	MSSSRC1	0,	0,241
15	MSSSRC1	0,	0,

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
16	MSSSRC1	0,	0,23
17	MSSSRC1	0,	0,
18	MSSSRC1	0,	0,205
19	MSSSRC1	0,	0,
20	MSSSRC1	0,	0,162
21	MSSSRC1	0,	0,
22	MSSSRC1	0,	0,115
23	MSSSRC1	0,	0,
24	MSSSRC1	0,	0,058
25	MSSSRC1	0,	0,
SumAccelUX	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,09218

Table: Joint Displacements

Table: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,	0,	0,000047	0,
2	DEAD	LinStatic	2,325E-06	0,	-2,228E-06	0,	0,000043	0,
3	DEAD	LinStatic	2,995E-07	0,	-5,741E-06	0,	0,000038	0,
4	DEAD	LinStatic	4,419E-06	0,	-6,891E-06	0,	0,000033	0,
5	DEAD	LinStatic	7,577E-07	0,	-9,806E-06	0,	0,00003	0,
6	DEAD	LinStatic	5,284E-06	0,	-0,000011	0,	0,000027	0,
7	DEAD	LinStatic	1,351E-06	0,	-0,000013	0,	0,000025	0,
8	DEAD	LinStatic	5,352E-06	0,	-0,000014	0,	0,000019	0,
9	DEAD	LinStatic	2,068E-06	0,	-0,000016	0,	0,000015	0,
10	DEAD	LinStatic	4,887E-06	0,	-0,000016	0,	9,331E-06	0,
11	DEAD	LinStatic	2,816E-06	0,	-0,000017	0,	4,845E-06	0,
12	DEAD	LinStatic	4,135E-06	0,	-0,000017	0,	3,096E-06	0,
13	DEAD	LinStatic	3,531E-06	0,	-0,000017	0,	1,129E-06	0,
14	DEAD	LinStatic	3,474E-06	0,	-0,000017	0,	-5,220E-07	0,
15	DEAD	LinStatic	4,246E-06	0,	-0,000017	0,	-2,697E-06	0,
16	DEAD	LinStatic	2,758E-06	0,	-0,000017	0,	-6,199E-06	0,
17	DEAD	LinStatic	5,013E-06	0,	-0,000017	0,	-0,000013	0,
18	DEAD	LinStatic	2,175E-06	0,	-0,000015	0,	-0,000015	0,
19	DEAD	LinStatic	5,757E-06	0,	-0,000014	0,	-0,000023	0,
20	DEAD	LinStatic	2,255E-06	0,	-0,000012	0,	-0,000024	0,
21	DEAD	LinStatic	6,418E-06	0,	-0,000011	0,	-0,000029	0,
22	DEAD	LinStatic	2,934E-06	0,	-8,856E-06	0,	-0,000033	0,
23	DEAD	LinStatic	6,988E-06	0,	-6,661E-06	0,	-0,000041	0,
24	DEAD	LinStatic	4,582E-06	0,	-3,925E-06	0,	-0,000046	0,
25	DEAD	LinStatic	7,415E-06	0,	0,	0,	-0,000057	0,

Table: Joint Reactions

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	DEAD	LinStatic	1,399E-14	0,	1,	0,	0,	0,
25	DEAD	LinStatic	0,	0,	1,	0,	0,	0,

29 abril 2019

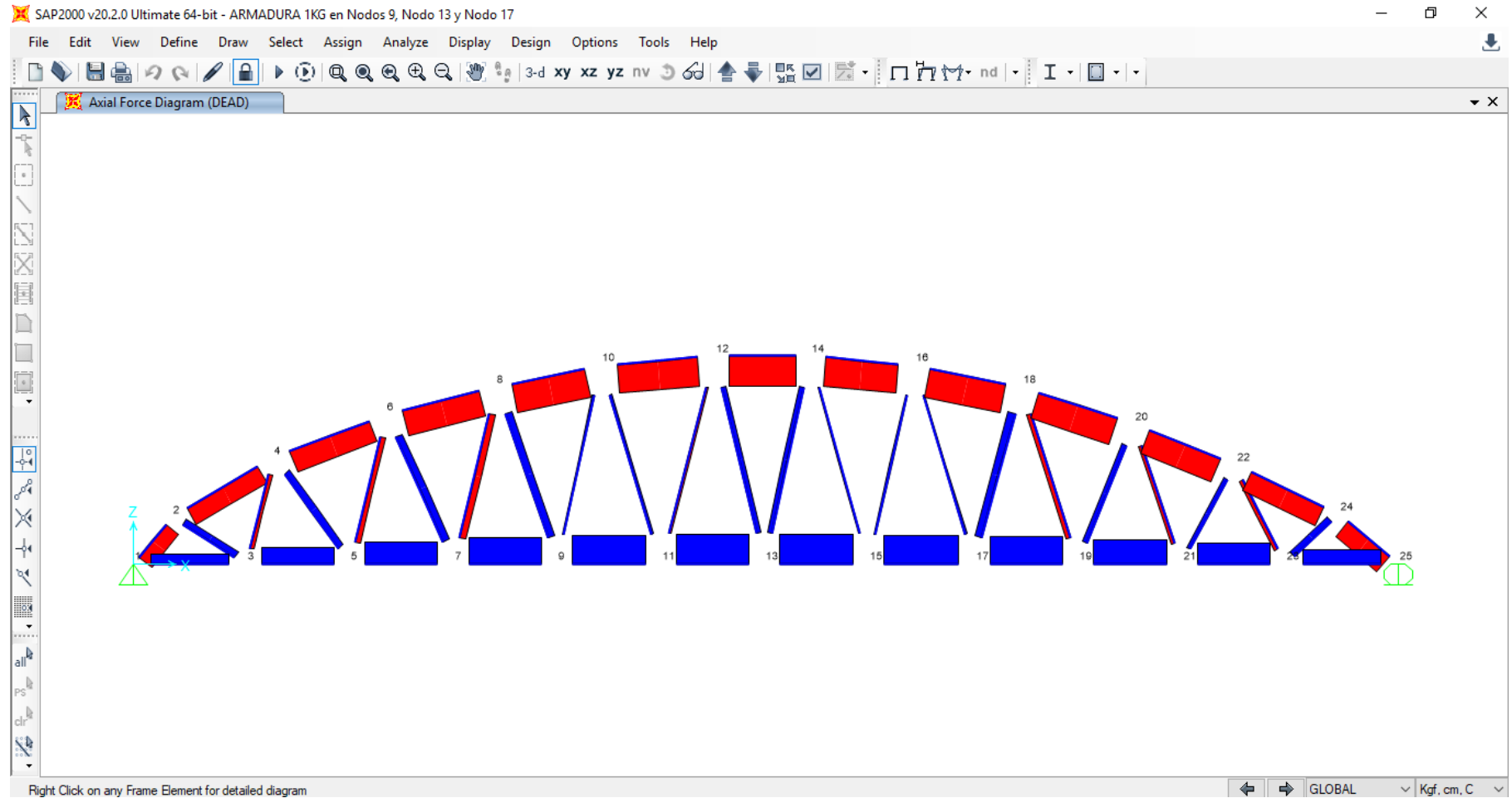


Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**

Joint	MassSource	U1 Kgf-s2/cm	U2 Kgf-s2/cm	U3 Kgf-s2/cm	R1 Kgf-cm-s2	R2 Kgf-cm-s2	R3 Kgf-cm-s2	CenterX cm
1	MSSSRC1	4,983E-14	4,983E-14	4,983E-14	0,	0,	0,	0,
2	MSSSRC1	7,662E-14	7,662E-14	7,662E-14	0,	0,	0,	4,4
3	MSSSRC1	1,194E-13	1,194E-13	1,194E-13	0,	0,	0,	13,
4	MSSSRC1	1,384E-13	1,384E-13	1,384E-13	0,	0,	0,	16,1
5	MSSSRC1	1,422E-13	1,422E-13	1,422E-13	0,	0,	0,	25,
6	MSSSRC1	1,595E-13	1,595E-13	1,595E-13	0,	0,	0,	29,2
7	MSSSRC1	1,599E-13	1,599E-13	1,599E-13	0,	0,	0,	37,
8	MSSSRC1	1,703E-13	1,703E-13	1,703E-13	0,	0,	0,	41,9
9	MSSSRC1	1,728E-13	1,728E-13	1,728E-13	0,	0,	0,	49,
10	MSSSRC1	1,826E-13	1,826E-13	1,826E-13	0,	0,	0,	54,
11	MSSSRC1	1,820E-13	1,820E-13	1,820E-13	0,	0,	0,	61,
12	MSSSRC1	1,847E-13	1,847E-13	1,847E-13	0,	0,	0,	67,2
13	MSSSRC1	1,833E-13	1,833E-13	1,833E-13	0,	0,	0,	73,
14	MSSSRC1	1,818E-13	1,818E-13	1,818E-13	0,	0,	0,	78,3
15	MSSSRC1	1,820E-13	1,820E-13	1,820E-13	0,	0,	0,	85,
16	MSSSRC1	1,808E-13	1,808E-13	1,808E-13	0,	0,	0,	90,3
17	MSSSRC1	1,736E-13	1,736E-13	1,736E-13	0,	0,	0,	97,3
18	MSSSRC1	1,726E-13	1,726E-13	1,726E-13	0,	0,	0,	102,8
19	MSSSRC1	1,571E-13	1,571E-13	1,571E-13	0,	0,	0,	109,3
20	MSSSRC1	1,519E-13	1,519E-13	1,519E-13	0,	0,	0,	115,8
21	MSSSRC1	1,352E-13	1,352E-13	1,352E-13	0,	0,	0,	121,3
22	MSSSRC1	1,294E-13	1,294E-13	1,294E-13	0,	0,	0,	127,5
23	MSSSRC1	1,157E-13	1,157E-13	1,157E-13	0,	0,	0,	133,3
24	MSSSRC1	7,665E-14	7,665E-14	7,665E-14	0,	0,	0,	139,5
25	MSSSRC1	5,475E-14	5,475E-14	5,475E-14	0,	0,	0,	146,3
SumAccelUX	MSSSRC1	3,633E-12	0,	0,	0,	0,	0,	72,407
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	3,633E-12	0,	0,	0,	0,	72,407
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,	3,633E-12	0,	0,	0,	72,407

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**

Joint	MassSource	CenterY cm	CenterZ cm
1	MSSSRC1	0,	0,
2	MSSSRC1	0,	5,4
3	MSSSRC1	0,	0,
4	MSSSRC1	0,	12,3
5	MSSSRC1	0,	0,
6	MSSSRC1	0,	17,3
7	MSSSRC1	0,	0,
8	MSSSRC1	0,	20,5
9	MSSSRC1	0,	0,
10	MSSSRC1	0,	23,
11	MSSSRC1	0,	0,
12	MSSSRC1	0,	24,1
13	MSSSRC1	0,	0,
14	MSSSRC1	0,	24,1
15	MSSSRC1	0,	0,

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Joint	MassSource	CenterY cm	CenterZ cm
16	MSSSRC1	0,	23,
17	MSSSRC1	0,	0,
18	MSSSRC1	0,	20,5
19	MSSSRC1	0,	0,
20	MSSSRC1	0,	16,2
21	MSSSRC1	0,	0,
22	MSSSRC1	0,	11,5
23	MSSSRC1	0,	0,
24	MSSSRC1	0,	5,8
25	MSSSRC1	0,	0,
SumAccelUX	MSSSRC1	0,	9,218
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	9,218
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	9,218

Table: Joint Displacements

Table: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,	0,	0,000072	0,
2	DEAD	LinStatic	0,000354	0,	-0,000338	0,	0,000065	0,
3	DEAD	LinStatic	0,000045	0,	-0,000873	0,	0,000058	0,
4	DEAD	LinStatic	0,000674	0,	-0,001049	0,	0,000005	0,
5	DEAD	LinStatic	0,000114	0,	-0,001494	0,	0,000046	0,
6	DEAD	LinStatic	0,000809	0,	-0,001695	0,	0,000041	0,
7	DEAD	LinStatic	0,000203	0,	-0,002019	0,	0,000038	0,
8	DEAD	LinStatic	0,000822	0,	-0,002214	0,	0,000003	0,
9	DEAD	LinStatic	0,00031	0,	-0,002448	0,	0,000025	0,
10	DEAD	LinStatic	0,000762	0,	-0,002533	0,	0,000018	0,
11	DEAD	LinStatic	0,000427	0,	-0,002653	0,	0,000013	0,
12	DEAD	LinStatic	0,000646	0,	-0,002724	0,	7,270E-06	0,
13	DEAD	LinStatic	0,000547	0,	-0,002785	0,	1,691E-06	0,
14	DEAD	LinStatic	0,00053	0,	-0,002745	0,	-3,562E-06	0,
15	DEAD	LinStatic	0,000668	0,	-0,002694	0,	-0,000001	0,
16	DEAD	LinStatic	0,000421	0,	-0,002622	0,	-0,000014	0,
17	DEAD	LinStatic	0,000788	0,	-0,002523	0,	-0,000022	0,
18	DEAD	LinStatic	0,000343	0,	-0,002351	0,	-0,000025	0,
19	DEAD	LinStatic	0,0009	0,	-0,002141	0,	-0,000035	0,
20	DEAD	LinStatic	0,00036	0,	-0,001895	0,	-0,000037	0,
21	DEAD	LinStatic	0,000999	0,	-0,001654	0,	-0,000045	0,
22	DEAD	LinStatic	0,000466	0,	-0,001345	0,	-0,000005	0,
23	DEAD	LinStatic	0,001085	0,	-0,001011	0,	-0,000063	0,
24	DEAD	LinStatic	0,000718	0,	-0,000595	0,	-0,000071	0,
25	DEAD	LinStatic	0,001149	0,	0,	0,	-0,000086	0,

Table: Joint Reactions

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
1	DEAD	LinStatic	1,998E-14	0,	1,5	0,	0,	0,
25	DEAD	LinStatic	0,	0,	1,5	0,	0,	0,

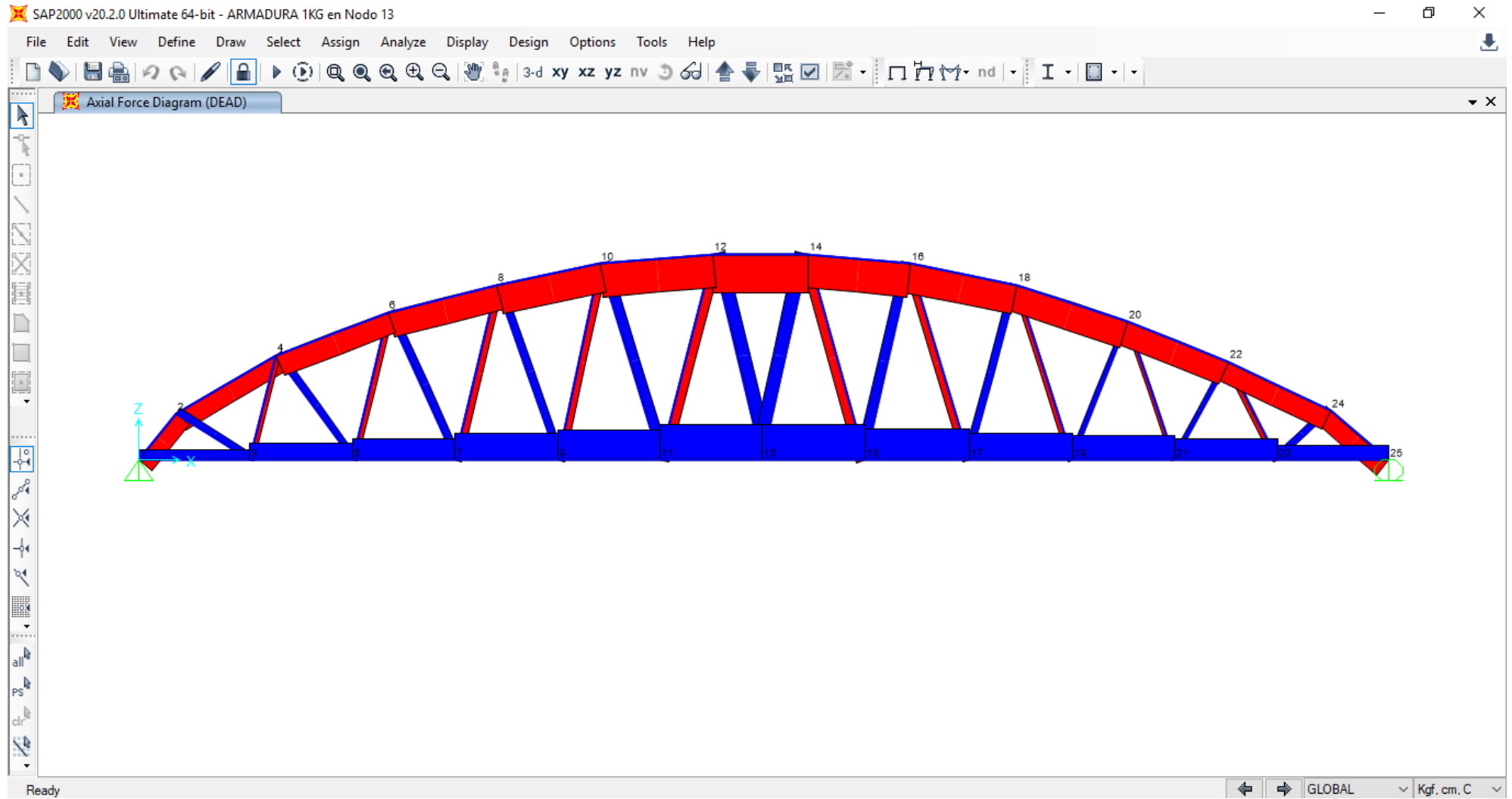


Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**

Joint	MassSource	U1 Kgf-s2/cm	U2 Kgf-s2/cm	U3 Kgf-s2/cm	R1 Kgf-cm-s2	R2 Kgf-cm-s2	R3 Kgf-cm-s2	CenterX cm
1	MSSSRC1	4,983E-14	4,983E-14	4,983E-14	0,	0,	0,	0,
2	MSSSRC1	7,662E-14	7,662E-14	7,662E-14	0,	0,	0,	4,4
3	MSSSRC1	1,194E-13	1,194E-13	1,194E-13	0,	0,	0,	13,
4	MSSSRC1	1,384E-13	1,384E-13	1,384E-13	0,	0,	0,	16,1
5	MSSSRC1	1,422E-13	1,422E-13	1,422E-13	0,	0,	0,	25,
6	MSSSRC1	1,595E-13	1,595E-13	1,595E-13	0,	0,	0,	29,2
7	MSSSRC1	1,599E-13	1,599E-13	1,599E-13	0,	0,	0,	37,
8	MSSSRC1	1,703E-13	1,703E-13	1,703E-13	0,	0,	0,	41,9
9	MSSSRC1	1,728E-13	1,728E-13	1,728E-13	0,	0,	0,	49,
10	MSSSRC1	1,826E-13	1,826E-13	1,826E-13	0,	0,	0,	54,
11	MSSSRC1	1,820E-13	1,820E-13	1,820E-13	0,	0,	0,	61,
12	MSSSRC1	1,847E-13	1,847E-13	1,847E-13	0,	0,	0,	67,2
13	MSSSRC1	1,833E-13	1,833E-13	1,833E-13	0,	0,	0,	73,
14	MSSSRC1	1,818E-13	1,818E-13	1,818E-13	0,	0,	0,	78,3
15	MSSSRC1	1,820E-13	1,820E-13	1,820E-13	0,	0,	0,	85,
16	MSSSRC1	1,808E-13	1,808E-13	1,808E-13	0,	0,	0,	90,3
17	MSSSRC1	1,736E-13	1,736E-13	1,736E-13	0,	0,	0,	97,3
18	MSSSRC1	1,726E-13	1,726E-13	1,726E-13	0,	0,	0,	102,8
19	MSSSRC1	1,571E-13	1,571E-13	1,571E-13	0,	0,	0,	109,3
20	MSSSRC1	1,519E-13	1,519E-13	1,519E-13	0,	0,	0,	115,8
21	MSSSRC1	1,352E-13	1,352E-13	1,352E-13	0,	0,	0,	121,3
22	MSSSRC1	1,294E-13	1,294E-13	1,294E-13	0,	0,	0,	127,5
23	MSSSRC1	1,157E-13	1,157E-13	1,157E-13	0,	0,	0,	133,3
24	MSSSRC1	7,665E-14	7,665E-14	7,665E-14	0,	0,	0,	139,5
25	MSSSRC1	5,475E-14	5,475E-14	5,475E-14	0,	0,	0,	146,3
SumAccelUX	MSSSRC1	3,633E-12	0,	0,	0,	0,	0,	72,407
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	3,633E-12	0,	0,	0,	0,	72,407
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,	3,633E-12	0,	0,	0,	72,407

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**

Joint	MassSource	CenterY cm	CenterZ cm
1	MSSSRC1	0,	0,
2	MSSSRC1	0,	5,4
3	MSSSRC1	0,	0,
4	MSSSRC1	0,	12,3
5	MSSSRC1	0,	0,
6	MSSSRC1	0,	17,3
7	MSSSRC1	0,	0,
8	MSSSRC1	0,	20,5
9	MSSSRC1	0,	0,
10	MSSSRC1	0,	23,
11	MSSSRC1	0,	0,
12	MSSSRC1	0,	24,1
13	MSSSRC1	0,	0,
14	MSSSRC1	0,	24,1
15	MSSSRC1	0,	0,

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Joint	MassSource	CenterY cm	CenterZ cm
16	MSSSRC1	0,	23,
17	MSSSRC1	0,	0,
18	MSSSRC1	0,	20,5
19	MSSSRC1	0,	0,
20	MSSSRC1	0,	16,2
21	MSSSRC1	0,	0,
22	MSSSRC1	0,	11,5
23	MSSSRC1	0,	0,
24	MSSSRC1	0,	5,8
25	MSSSRC1	0,	0,
SumAccelUX	MSSSRC1	0,	9,218
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	9,218
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	9,218

Table: Joint Displacements

Table: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1 cm	U2 cm	U3 cm	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,	0,	0,000025	0,
2	DEAD	LinStatic	0,000121	0,	-0,000116	0,	0,000022	0,
3	DEAD	LinStatic	0,000015	0,	-0,000299	0,	0,000002	0,
4	DEAD	LinStatic	0,000232	0,	-0,00036	0,	0,000017	0,
5	DEAD	LinStatic	0,000038	0,	-0,000514	0,	0,000016	0,
6	DEAD	LinStatic	0,00028	0,	-0,000583	0,	0,000014	0,
7	DEAD	LinStatic	0,000068	0,	-0,000696	0,	0,000013	0,
8	DEAD	LinStatic	0,000287	0,	-0,000765	0,	0,000011	0,
9	DEAD	LinStatic	0,000104	0,	-0,000847	0,	0,000001	0,
10	DEAD	LinStatic	0,000273	0,	-0,000902	0,	8,736E-06	0,
11	DEAD	LinStatic	0,000145	0,	-0,00097	0,	8,617E-06	0,
12	DEAD	LinStatic	0,000232	0,	-0,001021	0,	4,175E-06	0,
13	DEAD	LinStatic	0,000194	0,	-0,001067	0,	5,627E-07	0,
14	DEAD	LinStatic	0,000183	0,	-0,001028	0,	-3,040E-06	0,
15	DEAD	LinStatic	0,000243	0,	-0,000984	0,	-7,405E-06	0,
16	DEAD	LinStatic	0,000145	0,	-0,000935	0,	-7,478E-06	0,
17	DEAD	LinStatic	0,000287	0,	-0,000871	0,	-9,087E-06	0,
18	DEAD	LinStatic	0,000126	0,	-0,00081	0,	-9,492E-06	0,
19	DEAD	LinStatic	0,000324	0,	-0,000736	0,	-0,000012	0,
20	DEAD	LinStatic	0,000134	0,	-0,00065	0,	-0,000013	0,
21	DEAD	LinStatic	0,000357	0,	-0,000566	0,	-0,000016	0,
22	DEAD	LinStatic	0,000173	0,	-0,00046	0,	-0,000017	0,
23	DEAD	LinStatic	0,000386	0,	-0,000345	0,	-0,000022	0,
24	DEAD	LinStatic	0,00026	0,	-0,000202	0,	-0,000024	0,
25	DEAD	LinStatic	0,000407	0,	0,	0,	-0,000029	0,

Table: Joint Reactions

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-cm	M2 Kgf-cm	M3 Kgf-cm
1	DEAD	LinStatic	6,994E-15	0,	0,5	0,	0,	0,
25	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,5	0,	0,	0,

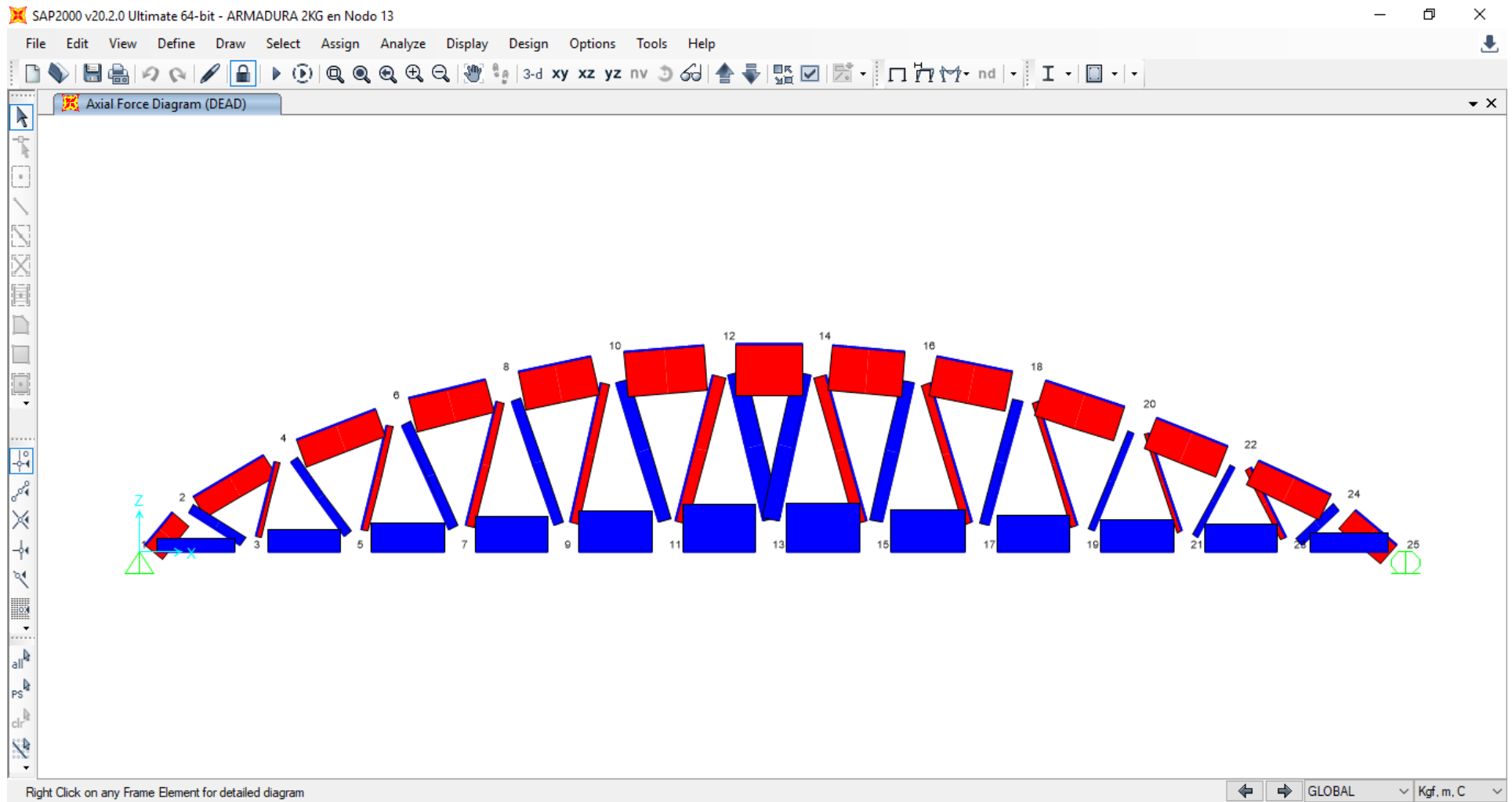


Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**

Joint	MassSource	U1 Kgf-s2/m	U2 Kgf-s2/m	U3 Kgf-s2/m	R1 Kgf-m-s2	R2 Kgf-m-s2	R3 Kgf-m-s2	CenterX m
1	MSSSRC1	4,983E-12	4,983E-12	4,983E-12	0,	0,	0,	0,
2	MSSSRC1	7,662E-12	7,662E-12	7,662E-12	0,	0,	0,	0,044
3	MSSSRC1	1,194E-11	1,194E-11	1,194E-11	0,	0,	0,	0,13
4	MSSSRC1	1,384E-11	1,384E-11	1,384E-11	0,	0,	0,	0,161
5	MSSSRC1	1,422E-11	1,422E-11	1,422E-11	0,	0,	0,	0,25
6	MSSSRC1	1,595E-11	1,595E-11	1,595E-11	0,	0,	0,	0,292
7	MSSSRC1	1,599E-11	1,599E-11	1,599E-11	0,	0,	0,	0,37
8	MSSSRC1	1,703E-11	1,703E-11	1,703E-11	0,	0,	0,	0,419
9	MSSSRC1	1,728E-11	1,728E-11	1,728E-11	0,	0,	0,	0,49
10	MSSSRC1	1,826E-11	1,826E-11	1,826E-11	0,	0,	0,	0,54
11	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,61
12	MSSSRC1	1,847E-11	1,847E-11	1,847E-11	0,	0,	0,	0,672
13	MSSSRC1	1,833E-11	1,833E-11	1,833E-11	0,	0,	0,	0,73
14	MSSSRC1	1,818E-11	1,818E-11	1,818E-11	0,	0,	0,	0,783
15	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,85
16	MSSSRC1	1,808E-11	1,808E-11	1,808E-11	0,	0,	0,	0,903
17	MSSSRC1	1,736E-11	1,736E-11	1,736E-11	0,	0,	0,	0,973
18	MSSSRC1	1,726E-11	1,726E-11	1,726E-11	0,	0,	0,	1,028
19	MSSSRC1	1,571E-11	1,571E-11	1,571E-11	0,	0,	0,	1,093
20	MSSSRC1	1,519E-11	1,519E-11	1,519E-11	0,	0,	0,	1,158
21	MSSSRC1	1,352E-11	1,352E-11	1,352E-11	0,	0,	0,	1,213
22	MSSSRC1	1,294E-11	1,294E-11	1,294E-11	0,	0,	0,	1,275
23	MSSSRC1	1,157E-11	1,157E-11	1,157E-11	0,	0,	0,	1,333
24	MSSSRC1	7,665E-12	7,665E-12	7,665E-12	0,	0,	0,	1,395
25	MSSSRC1	5,475E-12	5,475E-12	5,475E-12	0,	0,	0,	1,463
SumAccelUX	MSSSRC1	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,72407

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
1	MSSSRC1	0,	0,
2	MSSSRC1	0,	0,054
3	MSSSRC1	0,	0,
4	MSSSRC1	0,	0,123
5	MSSSRC1	0,	0,
6	MSSSRC1	0,	0,173
7	MSSSRC1	0,	0,
8	MSSSRC1	0,	0,205
9	MSSSRC1	0,	0,
10	MSSSRC1	0,	0,23
11	MSSSRC1	0,	0,
12	MSSSRC1	0,	0,241
13	MSSSRC1	0,	0,
14	MSSSRC1	0,	0,241
15	MSSSRC1	0,	0,

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
16	MSSSRC1	0,	0,23
17	MSSSRC1	0,	0,
18	MSSSRC1	0,	0,205
19	MSSSRC1	0,	0,
20	MSSSRC1	0,	0,162
21	MSSSRC1	0,	0,
22	MSSSRC1	0,	0,115
23	MSSSRC1	0,	0,
24	MSSSRC1	0,	0,058
25	MSSSRC1	0,	0,
SumAccelUX	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,09218

Table: Joint Displacements

Table: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,	0,	0,000049	0,
2	DEAD	LinStatic	2,427E-06	0,	-2,311E-06	0,	0,000044	0,
3	DEAD	LinStatic	3,001E-07	0,	-5,987E-06	0,	0,00004	0,
4	DEAD	LinStatic	4,649E-06	0,	-7,195E-06	0,	0,000034	0,
5	DEAD	LinStatic	7,593E-07	0,	-0,00001	0,	0,000032	0,
6	DEAD	LinStatic	5,605E-06	0,	-0,000012	0,	0,000028	0,
7	DEAD	LinStatic	1,354E-06	0,	-0,000014	0,	0,000026	0,
8	DEAD	LinStatic	5,734E-06	0,	-0,000015	0,	0,000022	0,
9	DEAD	LinStatic	2,073E-06	0,	-0,000017	0,	0,00002	0,
10	DEAD	LinStatic	5,459E-06	0,	-0,000018	0,	0,000017	0,
11	DEAD	LinStatic	2,901E-06	0,	-0,000019	0,	0,000017	0,
12	DEAD	LinStatic	4,642E-06	0,	-0,00002	0,	8,349E-06	0,
13	DEAD	LinStatic	3,881E-06	0,	-0,000021	0,	1,125E-06	0,
14	DEAD	LinStatic	3,660E-06	0,	-0,000021	0,	-6,080E-06	0,
15	DEAD	LinStatic	4,868E-06	0,	-0,00002	0,	-0,000015	0,
16	DEAD	LinStatic	2,902E-06	0,	-0,000019	0,	-0,000015	0,
17	DEAD	LinStatic	5,744E-06	0,	-0,000017	0,	-0,000018	0,
18	DEAD	LinStatic	2,519E-06	0,	-0,000016	0,	-0,000019	0,
19	DEAD	LinStatic	6,488E-06	0,	-0,000015	0,	-0,000024	0,
20	DEAD	LinStatic	2,685E-06	0,	-0,000013	0,	-0,000026	0,
21	DEAD	LinStatic	7,147E-06	0,	-0,000011	0,	-0,000031	0,
22	DEAD	LinStatic	3,452E-06	0,	-9,195E-06	0,	-0,000034	0,
23	DEAD	LinStatic	7,717E-06	0,	-6,895E-06	0,	-0,000043	0,
24	DEAD	LinStatic	5,205E-06	0,	-4,046E-06	0,	-0,000048	0,
25	DEAD	LinStatic	8,143E-06	0,	0,	0,	-0,000058	0,

Table: Joint Reactions

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	DEAD	LinStatic	1,554E-14	0,	1,	0,	0,	0,
25	DEAD	LinStatic	0,	0,	1,	0,	0,	0,

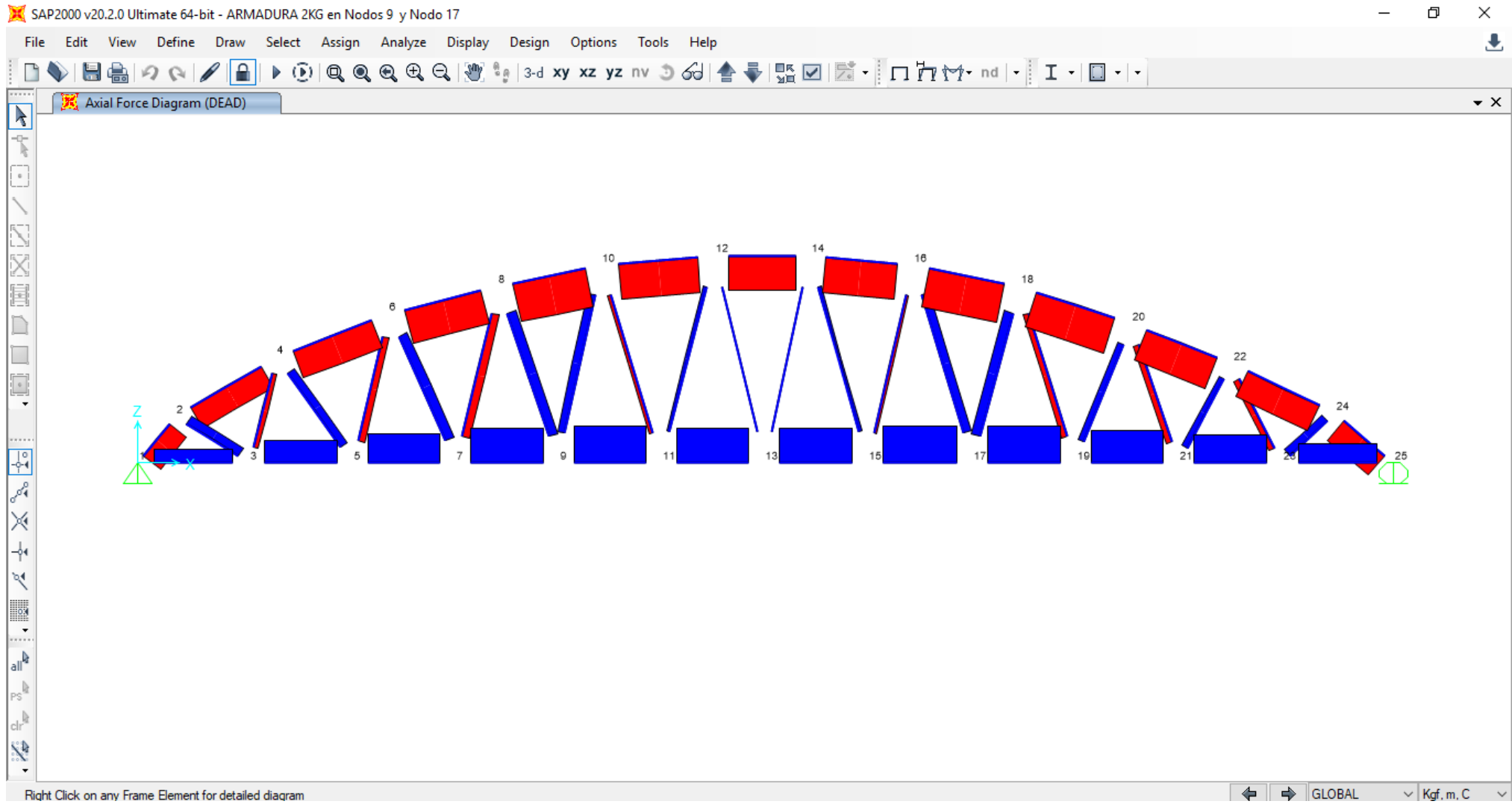


Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2**

Joint	MassSource	U1 Kgf-s2/m	U2 Kgf-s2/m	U3 Kgf-s2/m	R1 Kgf-m-s2	R2 Kgf-m-s2	R3 Kgf-m-s2	CenterX m
1	MSSSRC1	4,983E-12	4,983E-12	4,983E-12	0,	0,	0,	0,
2	MSSSRC1	7,662E-12	7,662E-12	7,662E-12	0,	0,	0,	0,044
3	MSSSRC1	1,194E-11	1,194E-11	1,194E-11	0,	0,	0,	0,13
4	MSSSRC1	1,384E-11	1,384E-11	1,384E-11	0,	0,	0,	0,161
5	MSSSRC1	1,422E-11	1,422E-11	1,422E-11	0,	0,	0,	0,25
6	MSSSRC1	1,595E-11	1,595E-11	1,595E-11	0,	0,	0,	0,292
7	MSSSRC1	1,599E-11	1,599E-11	1,599E-11	0,	0,	0,	0,37
8	MSSSRC1	1,703E-11	1,703E-11	1,703E-11	0,	0,	0,	0,419
9	MSSSRC1	1,728E-11	1,728E-11	1,728E-11	0,	0,	0,	0,49
10	MSSSRC1	1,826E-11	1,826E-11	1,826E-11	0,	0,	0,	0,54
11	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,61
12	MSSSRC1	1,847E-11	1,847E-11	1,847E-11	0,	0,	0,	0,672
13	MSSSRC1	1,833E-11	1,833E-11	1,833E-11	0,	0,	0,	0,73
14	MSSSRC1	1,818E-11	1,818E-11	1,818E-11	0,	0,	0,	0,783
15	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,85
16	MSSSRC1	1,808E-11	1,808E-11	1,808E-11	0,	0,	0,	0,903
17	MSSSRC1	1,736E-11	1,736E-11	1,736E-11	0,	0,	0,	0,973
18	MSSSRC1	1,726E-11	1,726E-11	1,726E-11	0,	0,	0,	1,028
19	MSSSRC1	1,571E-11	1,571E-11	1,571E-11	0,	0,	0,	1,093
20	MSSSRC1	1,519E-11	1,519E-11	1,519E-11	0,	0,	0,	1,158
21	MSSSRC1	1,352E-11	1,352E-11	1,352E-11	0,	0,	0,	1,213
22	MSSSRC1	1,294E-11	1,294E-11	1,294E-11	0,	0,	0,	1,275
23	MSSSRC1	1,157E-11	1,157E-11	1,157E-11	0,	0,	0,	1,333
24	MSSSRC1	7,665E-12	7,665E-12	7,665E-12	0,	0,	0,	1,395
25	MSSSRC1	5,475E-12	5,475E-12	5,475E-12	0,	0,	0,	1,463
SumAccelUX	MSSSRC1	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,72407

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2**

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
1	MSSSRC1	0,	0,
2	MSSSRC1	0,	0,054
3	MSSSRC1	0,	0,
4	MSSSRC1	0,	0,123
5	MSSSRC1	0,	0,
6	MSSSRC1	0,	0,173
7	MSSSRC1	0,	0,
8	MSSSRC1	0,	0,205
9	MSSSRC1	0,	0,
10	MSSSRC1	0,	0,23
11	MSSSRC1	0,	0,
12	MSSSRC1	0,	0,241
13	MSSSRC1	0,	0,
14	MSSSRC1	0,	0,241
15	MSSSRC1	0,	0,

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
16	MSSSRC1	0,	0,23
17	MSSSRC1	0,	0,
18	MSSSRC1	0,	0,205
19	MSSSRC1	0,	0,
20	MSSSRC1	0,	0,162
21	MSSSRC1	0,	0,
22	MSSSRC1	0,	0,115
23	MSSSRC1	0,	0,
24	MSSSRC1	0,	0,058
25	MSSSRC1	0,	0,
SumAccelUX	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,09218

Table: Joint Displacements

Table: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,	0,	0,000047	0,
2	DEAD	LinStatic	2,325E-06	0,	-2,228E-06	0,	0,000043	0,
3	DEAD	LinStatic	2,995E-07	0,	-5,741E-06	0,	0,000038	0,
4	DEAD	LinStatic	4,419E-06	0,	-6,891E-06	0,	0,000033	0,
5	DEAD	LinStatic	7,577E-07	0,	-9,806E-06	0,	0,00003	0,
6	DEAD	LinStatic	5,284E-06	0,	-0,000011	0,	0,000027	0,
7	DEAD	LinStatic	1,351E-06	0,	-0,000013	0,	0,000025	0,
8	DEAD	LinStatic	5,352E-06	0,	-0,000014	0,	0,000019	0,
9	DEAD	LinStatic	2,068E-06	0,	-0,000016	0,	0,000015	0,
10	DEAD	LinStatic	4,887E-06	0,	-0,000016	0,	9,331E-06	0,
11	DEAD	LinStatic	2,816E-06	0,	-0,000017	0,	4,845E-06	0,
12	DEAD	LinStatic	4,135E-06	0,	-0,000017	0,	3,096E-06	0,
13	DEAD	LinStatic	3,531E-06	0,	-0,000017	0,	1,129E-06	0,
14	DEAD	LinStatic	3,474E-06	0,	-0,000017	0,	-5,220E-07	0,
15	DEAD	LinStatic	4,246E-06	0,	-0,000017	0,	-2,697E-06	0,
16	DEAD	LinStatic	2,758E-06	0,	-0,000017	0,	-6,199E-06	0,
17	DEAD	LinStatic	5,013E-06	0,	-0,000017	0,	-0,000013	0,
18	DEAD	LinStatic	2,175E-06	0,	-0,000015	0,	-0,000015	0,
19	DEAD	LinStatic	5,757E-06	0,	-0,000014	0,	-0,000023	0,
20	DEAD	LinStatic	2,255E-06	0,	-0,000012	0,	-0,000024	0,
21	DEAD	LinStatic	6,418E-06	0,	-0,000011	0,	-0,000029	0,
22	DEAD	LinStatic	2,934E-06	0,	-8,856E-06	0,	-0,000033	0,
23	DEAD	LinStatic	6,988E-06	0,	-6,661E-06	0,	-0,000041	0,
24	DEAD	LinStatic	4,582E-06	0,	-3,925E-06	0,	-0,000046	0,
25	DEAD	LinStatic	7,415E-06	0,	0,	0,	-0,000057	0,

Table: Joint Reactions

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	DEAD	LinStatic	1,399E-14	0,	1,	0,	0,	0,
25	DEAD	LinStatic	0,	0,	1,	0,	0,	0,

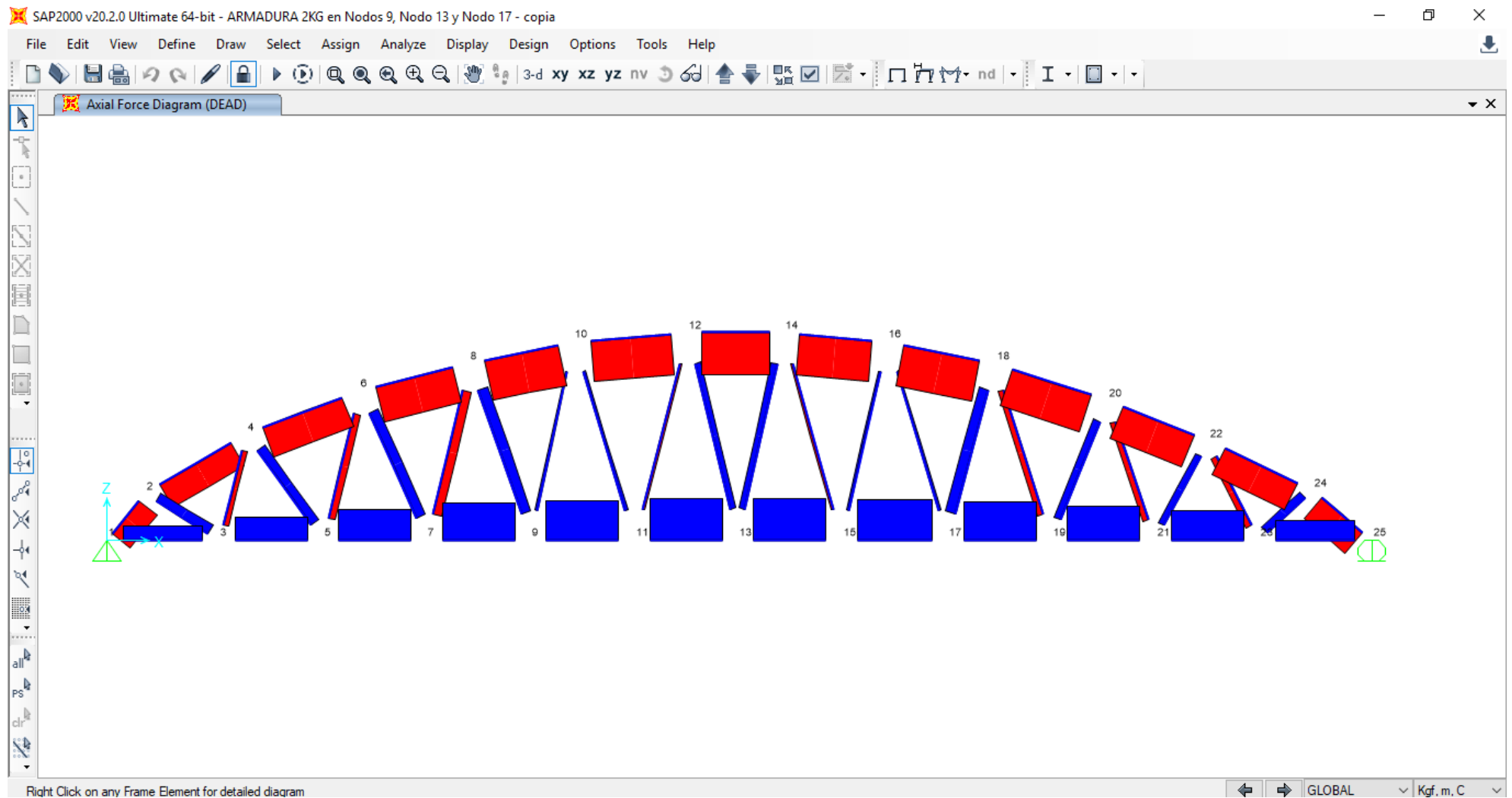


Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2

Table: Assembled Joint Masses, Part 1 of 2								
Joint	MassSource	U1 Kgf-s2/m	U2 Kgf-s2/m	U3 Kgf-s2/m	R1 Kgf-m-s2	R2 Kgf-m-s2	R3 Kgf-m-s2	CenterX m
1	MSSSRC1	4,983E-12	4,983E-12	4,983E-12	0,	0,	0,	0,
2	MSSSRC1	7,662E-12	7,662E-12	7,662E-12	0,	0,	0,	0,044
3	MSSSRC1	1,194E-11	1,194E-11	1,194E-11	0,	0,	0,	0,13
4	MSSSRC1	1,384E-11	1,384E-11	1,384E-11	0,	0,	0,	0,161
5	MSSSRC1	1,422E-11	1,422E-11	1,422E-11	0,	0,	0,	0,25
6	MSSSRC1	1,595E-11	1,595E-11	1,595E-11	0,	0,	0,	0,292
7	MSSSRC1	1,599E-11	1,599E-11	1,599E-11	0,	0,	0,	0,37
8	MSSSRC1	1,703E-11	1,703E-11	1,703E-11	0,	0,	0,	0,419
9	MSSSRC1	1,728E-11	1,728E-11	1,728E-11	0,	0,	0,	0,49
10	MSSSRC1	1,826E-11	1,826E-11	1,826E-11	0,	0,	0,	0,54
11	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,61
12	MSSSRC1	1,847E-11	1,847E-11	1,847E-11	0,	0,	0,	0,672
13	MSSSRC1	1,833E-11	1,833E-11	1,833E-11	0,	0,	0,	0,73
14	MSSSRC1	1,818E-11	1,818E-11	1,818E-11	0,	0,	0,	0,783
15	MSSSRC1	1,820E-11	1,820E-11	1,820E-11	0,	0,	0,	0,85
16	MSSSRC1	1,808E-11	1,808E-11	1,808E-11	0,	0,	0,	0,903
17	MSSSRC1	1,736E-11	1,736E-11	1,736E-11	0,	0,	0,	0,973
18	MSSSRC1	1,726E-11	1,726E-11	1,726E-11	0,	0,	0,	1,028
19	MSSSRC1	1,571E-11	1,571E-11	1,571E-11	0,	0,	0,	1,093
20	MSSSRC1	1,519E-11	1,519E-11	1,519E-11	0,	0,	0,	1,158
21	MSSSRC1	1,352E-11	1,352E-11	1,352E-11	0,	0,	0,	1,213
22	MSSSRC1	1,294E-11	1,294E-11	1,294E-11	0,	0,	0,	1,275
23	MSSSRC1	1,157E-11	1,157E-11	1,157E-11	0,	0,	0,	1,333
24	MSSSRC1	7,665E-12	7,665E-12	7,665E-12	0,	0,	0,	1,395
25	MSSSRC1	5,475E-12	5,475E-12	5,475E-12	0,	0,	0,	1,463
SumAccelUX	MSSSRC1	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,	0,72407
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,	3,633E-10	0,	0,	0,	0,72407

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2			
Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
1	MSSSRC1	0,	0,
2	MSSSRC1	0,	0,054
3	MSSSRC1	0,	0,
4	MSSSRC1	0,	0,123
5	MSSSRC1	0,	0,
6	MSSSRC1	0,	0,173
7	MSSSRC1	0,	0,
8	MSSSRC1	0,	0,205
9	MSSSRC1	0,	0,
10	MSSSRC1	0,	0,23
11	MSSSRC1	0,	0,
12	MSSSRC1	0,	0,241
13	MSSSRC1	0,	0,
14	MSSSRC1	0,	0,241
15	MSSSRC1	0,	0,
16	MSSSRC1	0,	0,23

Table: Assembled Joint Masses, Part 2 of 2

Joint	MassSource	CenterY m	CenterZ m
17	MSSSRC1	0,	0,
18	MSSSRC1	0,	0,205
19	MSSSRC1	0,	0,
20	MSSSRC1	0,	0,162
21	MSSSRC1	0,	0,
22	MSSSRC1	0,	0,115
23	MSSSRC1	0,	0,
24	MSSSRC1	0,	0,058
25	MSSSRC1	0,	0,
SumAccelUX	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUY	MSSSRC1	0,	0,09218
SumAccelUZ	MSSSRC1	0,	0,09218

Table: Joint Displacements

Table: Joint Displacements

Joint	OutputCase	CaseType	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
1	DEAD	LinStatic	0,	0,	0,	0,	0,000144	0,
2	DEAD	LinStatic	7,076E-06	0,	-6,767E-06	0,	0,00013	0,
3	DEAD	LinStatic	8,991E-07	0,	-0,000017	0,	0,000115	0,
4	DEAD	LinStatic	0,000013	0,	-0,000021	0,	0,0001	0,
5	DEAD	LinStatic	2,275E-06	0,	-0,00003	0,	0,000092	0,
6	DEAD	LinStatic	0,000016	0,	-0,000034	0,	0,000081	0,
7	DEAD	LinStatic	4,055E-06	0,	-0,00004	0,	0,000076	0,
8	DEAD	LinStatic	0,000016	0,	-0,000044	0,	0,00006	0,
9	DEAD	LinStatic	6,209E-06	0,	-0,000049	0,	0,00005	0,
10	DEAD	LinStatic	0,000015	0,	-0,000051	0,	0,000036	0,
11	DEAD	LinStatic	8,532E-06	0,	-0,000053	0,	0,000027	0,
12	DEAD	LinStatic	0,000013	0,	-0,000054	0,	0,000015	0,
13	DEAD	LinStatic	0,000011	0,	-0,000056	0,	3,383E-06	0,
14	DEAD	LinStatic	0,000011	0,	-0,000055	0,	-7,124E-06	0,
15	DEAD	LinStatic	0,000013	0,	-0,000054	0,	-0,00002	0,
16	DEAD	LinStatic	8,418E-06	0,	-0,000052	0,	-0,000027	0,
17	DEAD	LinStatic	0,000016	0,	-0,00005	0,	-0,000043	0,
18	DEAD	LinStatic	6,869E-06	0,	-0,000047	0,	-0,00005	0,
19	DEAD	LinStatic	0,000018	0,	-0,000043	0,	-0,00007	0,
20	DEAD	LinStatic	7,194E-06	0,	-0,000038	0,	-0,000074	0,
21	DEAD	LinStatic	0,00002	0,	-0,000033	0,	-0,00009	0,
22	DEAD	LinStatic	9,321E-06	0,	-0,000027	0,	-0,0001	0,
23	DEAD	LinStatic	0,000022	0,	-0,00002	0,	-0,000125	0,
24	DEAD	LinStatic	0,000014	0,	-0,000012	0,	-0,000141	0,
25	DEAD	LinStatic	0,000023	0,	0,	0,	-0,000172	0,

Table: Joint Reactions

Table: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1 Kgf	F2 Kgf	F3 Kgf	M1 Kgf-m	M2 Kgf-m	M3 Kgf-m
1	DEAD	LinStatic	4,130E-14	0,	3,	0,	0,	0,
25	DEAD	LinStatic	0,	0,	3,	0,	0,	0,

14.2. MEMORIAS DE CALCULO

SISTEMA DE EQUILIBRIO

NODO	CARGA	X	X (B a A)
25		0,00	0,00
23		0,13	0,13
21		0,12	0,25
19		0,12	0,37
17		0,12	0,49
15	1	0,12	0,61
13	1	0,12	0,73
11		0,12	0,85
9	1	0,12	0,97
7		0,12	1,09
5		0,12	1,21
3		0,12	1,33
1		0,13	1,46

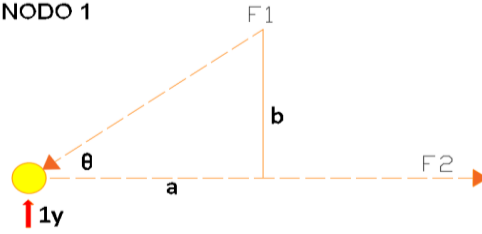
 $\Sigma MB:$

$$(+P_{23} \cdot X_{n23}) + (P_{21} \cdot X_{n21}) + (P_{19} \cdot X_{n19}) + (P_{17} \cdot X_{n17}) + (P_{15} \cdot X_{n15}) + (P_{13} \cdot X_{n13}) + (P_{11} \cdot X_{n11}) + (P_9 \cdot X_{n9}) + (P_7 \cdot X_{n7}) + (P_5 \cdot X_{n5}) + (P_3 \cdot X_{n3}) / (1y \cdot X_{n1})$$

1y

1,5

NODO 1



a

0,04

b

0,05

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

 θ (Rad.)

0,90

 θ (°)

51,34

 $\Sigma FX:$

$$F_2 - F_1 \cdot \cos(\theta) = 0$$

 $\Sigma FY:$

$$1y - F_1 \cdot \sin(\theta) = 0$$

$$F_1 = \frac{1y}{\sin \theta}$$

$$F_2 = (F_1 \cdot \cos \theta)$$

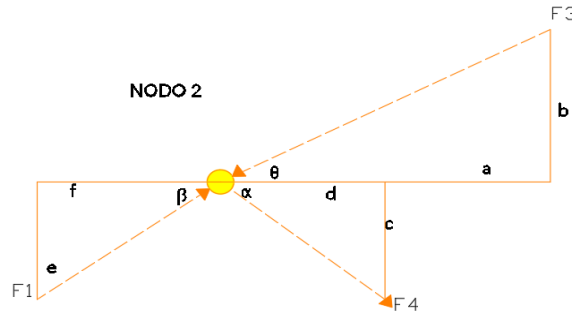
F1

1,92

F2

1,20

NODO 2



a

0,12

b

0,07

d

0,09

c

0,05

e

0,05

f

0,04

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{e}{f} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{c}{d} \right)$$

 θ (Rad.)

0,53

 θ (°)

30,26

 β (Rad.)

0,90

 β (°)

51,34

 α (Rad.)

0,51

 α (°)

29,05

 $\Sigma FX:$

$$F_1 \cdot \cos(\beta) - F_3 \cdot \cos(\theta) + F_4 \cdot \cos(\alpha) = 0$$

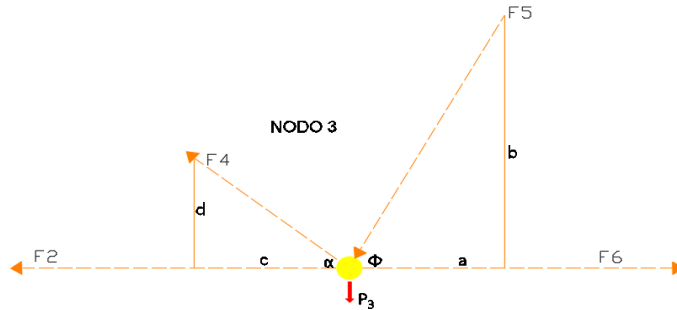
 $\Sigma FY:$

$$F_1 \cdot \sin(\beta) - F_3 \cdot \sin(\theta) - F_4 \cdot \sin(\alpha) = 0$$

$F1 \cdot \cos(\beta)$	+	$F4 \cdot \cos(\alpha)$	-	$F3 \cdot \cos(\theta)$	=	0	
$F1 \cdot \sin(\beta)$	-	$F4 \cdot \sin(\alpha)$	-	$F3 \cdot \sin(\theta)$	=	0	
1,2	+	0,87	F4	-	0,86	F3	= 0 (Sen(θ))
1,50	-	0,49	F4	-	0,50	F3	= 0 (-Cos(θ))
0,60	+	0,44	F4	-	0,44	F3	= 0
-1,30	+	0,42	F4	+	0,44	F3	= 0
-0,69	+	0,86	F4		0,00	F3	= 0

F4	0,80
----	------

F3	2,20
----	------

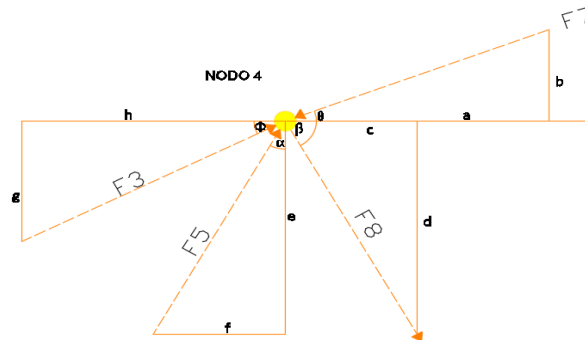


$\theta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$	<table><tr><td>a</td><td>0,03</td></tr><tr><td>c</td><td>0,09</td></tr></table>	a	0,03	c	0,09	<table><tr><td>b</td><td>0,12</td></tr><tr><td>d</td><td>0,05</td></tr></table>	b	0,12	d	0,05
	a	0,03								
c	0,09									
b	0,12									
d	0,05									
		$\alpha = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$								
<table><tr><td>θ (Rad.)</td><td>1,33</td></tr><tr><td>α (Rad.)</td><td>0,51</td></tr></table>	θ (Rad.)	1,33	α (Rad.)	0,51		<table><tr><td>θ (°)</td><td>75,96</td></tr><tr><td>α (°)</td><td>29,05</td></tr></table>	θ (°)	75,96	α (°)	29,05
θ (Rad.)	1,33									
α (Rad.)	0,51									
θ (°)	75,96									
α (°)	29,05									
<table><tr><td>ΣF_x:</td><td>F6 - F2 - F4*Cos(α) - F5*Cos(θ) = 0</td></tr><tr><td>ΣF_y:</td><td>F4*Sen(α) - F5*Sen(θ) - P3 = 0</td></tr></table>	ΣF_x :	F6 - F2 - F4*Cos(α) - F5*Cos(θ) = 0	ΣF_y :	F4*Sen(α) - F5*Sen(θ) - P3 = 0						
ΣF_x :	F6 - F2 - F4*Cos(α) - F5*Cos(θ) = 0									
ΣF_y :	F4*Sen(α) - F5*Sen(θ) - P3 = 0									

$$F5 = \frac{(F4 \cdot \sin \alpha) - P3}{\sin \theta}$$

$$F6 = (F2 + F4 \cdot \cos \alpha + F5 \cdot \cos \theta)$$

F5	0,44	F6	2,01
----	------	----	------

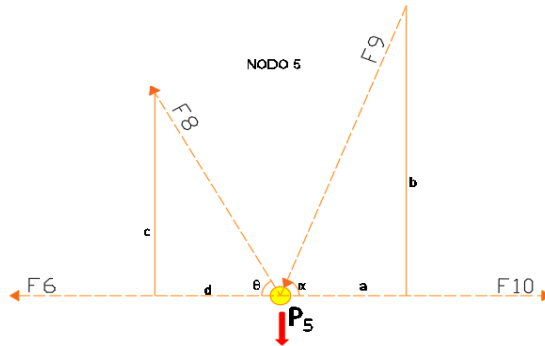


a	0,13	b	0,05	c	0,09
d	0,12	e	0,12	f	0,03
g	0,07	h	0,12		
$\theta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$	$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{g}{h}\right)$	$\alpha = \text{Cos}^{-1}\left(\frac{e}{f}\right)$	$\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$		
θ (Rad.)	0,37	θ (°)	21,04		
φ (Rad.)	0,53	φ (°)	30,26		
β (Rad.)	0,93	β (°)	53,13		
α (Rad.)	0,24	α (°)	14,04		

ΣF_x :	$F3 \cdot \cos(\phi) + F5 \cdot \sin(\alpha) - F7 \cdot \cos(\theta) + F8 \cdot \cos(\beta) = 0$
ΣF_y :	$F3 \cdot \sin(\phi) + F5 \cdot \cos(\alpha) - F7 \cdot \sin(\theta) - F8 \cdot \sin(\beta) = 0$

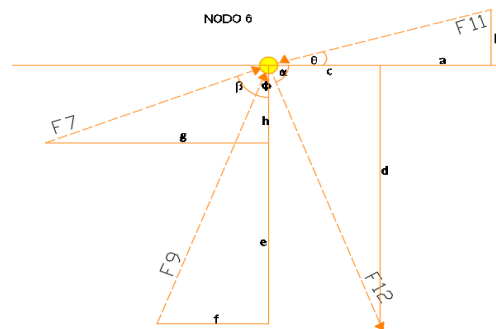
$F3 \cdot \cos(\varphi)$	+	$F5 \cdot \sin(\alpha)$	-	$F7 \cdot \cos(\theta)$	+	$F8 \cdot \cos(\beta)$	=	0	
$F3 \cdot \sin(\varphi)$	+	$F5 \cdot \cos(\alpha)$	-	$F7 \cdot \sin(\theta)$	-	$F8 \cdot \sin(\beta)$	=	0	
1,90	+	0,11	-	0,93	F7 +	0,60	F8 =	0	(Sen(θ))
1,11	+	0,43	-	0,36	F7 -	0,80	F8 =	0	(-Cos(θ))
0,68		0,04		0,34	F7	0,22	F8 =	0	
-1,04		-0,40		-0,34	F7	0,75	F8 =	0	
-0,35		-0,36	F4 +	0,00	F7 +	0,96	F8 =	0	

F8	0,74
F7	2,63



$\theta \tan^{-1}\left(\frac{c}{d}\right)$	$\alpha \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$
θ (Rad.)	θ (°)
α (Rad.)	α (°)
ΣF_X:	$(-F8 \cdot \cos(\theta)) - F6 - F9 \cdot \cos(\alpha) + F10 = 0$
ΣF_Y:	$F8 \cdot \sin(\theta) - F9 \cdot \sin(\alpha) - P5 = 0$

F9	$\frac{F8 \cdot \sin(\theta) - P5}{\sin(\alpha)}$	F10	$(F8 \cdot \cos(\theta) + F6 + F9 \cdot \cos(\alpha))$
F9	0,61	F10	2,59



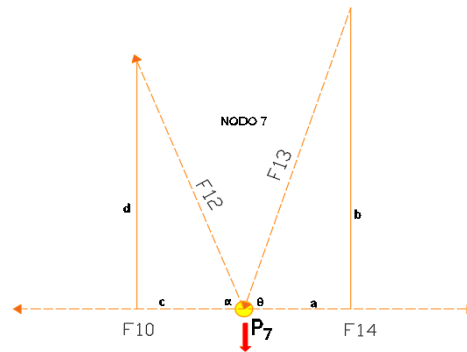
a	0,13	b	0,03	c	0,08
d	0,17	e	0,17	f	0,04
g	0,13	h	0,05		
$\theta \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$		$\beta \tan^{-1}\left(\frac{g}{h}\right)$			
$\phi \tan^{-1}\left(\frac{f}{e}\right)$		$\alpha \tan^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$			
θ (Rad.)	0,23	θ (°)	12,99		
ϕ (Rad.)	0,23	ϕ (°)	13,24		
β (Rad.)	1,20	β (°)	68,96		
α (Rad.)	1,13	α (°)	64,80		

$\Sigma F_X:$	$F7 \cdot \text{Sen}(\beta) + F9 \cdot \text{Sen}(\varphi) + F12 \cdot \text{Cos}(\alpha) + F11 \cdot \text{Cos}(\theta) = 0$
$\Sigma F_Y:$	$F7 \cdot \text{Cos}(\beta) + F9 \cdot \text{Cos}(\varphi) - F12 \cdot \text{Sen}(\alpha) - F11 \cdot \text{Sen}(\theta) = 0$

$F7 \cdot \text{Sen}(\beta)$	+	$F9 \cdot \text{Sen}(\varphi)$	+	$F12 \cdot \text{Cos}(\alpha)$	+	$F11 \cdot \text{Cos}(\theta)$	=	0	
$F7 \cdot \text{Cos}(\beta)$	+	$F9 \cdot \text{Cos}(\varphi)$	-	$F12 \cdot \text{Sen}(\alpha)$	-	$F11 \cdot \text{Sen}(\theta)$	=	0	
2,45	+	0,14	+	0,43	$F12$ +	0,97	$F11$ =	0	-0,22
0,94	+	0,59	-	0,90	$F12$ -	0,22	$F11$ =	0	0,97
-0,55		-0,03		-0,10	$F12$	-0,22	$F11$ =	0	
0,92		0,58		-0,88	$F12$	0,22	$F11$ =	0	
0,37		0,55		-0,98	$F12$	0,00	$F11$ =	0	

F12	0,94
------------	------

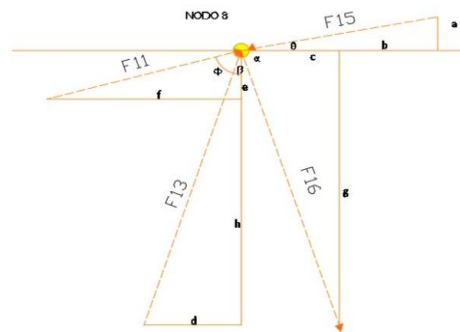
F11	3,07
------------	------



	<table><tr><td>a</td></tr><tr><td>c</td></tr></table>	a	c	<table><tr><td>0,05</td></tr><tr><td>0,08</td></tr></table>	0,05	0,08	<table><tr><td>b</td></tr><tr><td>d</td></tr></table>	b	d	<table><tr><td>0,20</td></tr><tr><td>0,17</td></tr></table>	0,20	0,17
a												
c												
0,05												
0,08												
b												
d												
0,20												
0,17												
$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{d}{c} \right)$			$\theta = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$									
<table><tr><td>α (Rad.)</td></tr><tr><td>θ (Rad.)</td></tr></table>	α (Rad.)	θ (Rad.)	<table><tr><td>1,13</td></tr><tr><td>1,33</td></tr></table>	1,13	1,33		<table><tr><td>α (°)</td></tr><tr><td>θ (°)</td></tr></table>	α (°)	θ (°)	<table><tr><td>64,80</td></tr><tr><td>75,96</td></tr></table>	64,80	75,96
α (Rad.)												
θ (Rad.)												
1,13												
1,33												
α (°)												
θ (°)												
64,80												
75,96												

$\Sigma F_X:$	$F14 - F13 \cdot \text{Cos}(\theta) - F10 - F12 \cdot \text{Cos}(\alpha) = 0$
$\Sigma F_Y:$	$F12 \cdot \text{Sen}(\alpha) - F13 \cdot \text{Sen}(\theta) - P7 = 0$

F13	$\frac{F12 \cdot \text{Sen}(\alpha) - P7}{\text{Sen}(\theta)}$	F14	$(F13 \cdot \text{Cos}(\theta) + F10 + F12 \cdot \text{Cos}(\alpha))$
F13	0,87	F14	3,20



$\theta = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{a}{b} \right)$	$\varphi = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{f}{e} \right)$	$\beta = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{d}{h} \right)$	$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left(\frac{g}{c} \right)$
θ	0,03	β	0,12
φ	0,05	α	0,03
β	0,20	α	0,20

θ (Rad.)	0,24
φ (Rad.)	1,34
β (Rad.)	0,24
α (Rad.)	1,23

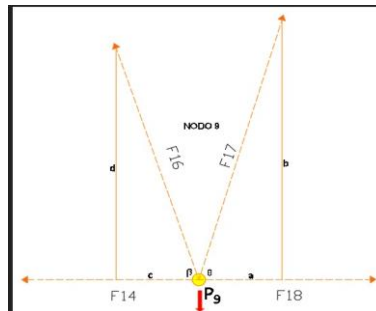
θ (°)	14,04
φ (°)	77,01
β (°)	14,04
α (°)	70,71

$\Sigma F_X:$	$F11 \cdot \text{Sen}(\varphi) + F13 \cdot \text{Sen}(\beta) + F16 \cdot \text{Cos}(\alpha) - F15 \cdot \text{Cos}(\theta) = 0$
$\Sigma F_Y:$	$F11 \cdot \text{Cos}(\varphi) + F13 \cdot \text{Cos}(\beta) - F16 \cdot \text{Sen}(\alpha) - F15 \cdot \text{Sen}(\theta) = 0$

$F11 \cdot \text{Sen}(\varphi)$	+	$F13 \cdot \text{Sen}(\beta)$	+	$F16 \cdot \text{Cos}(\alpha)$	-	$F15 \cdot \text{Cos}(\theta)$	=	0	
$F11 \cdot \text{Cos}(\varphi)$	+	$F13 \cdot \text{Cos}(\beta)$	-	$F16 \cdot \text{Sen}(\alpha)$	-	$F15 \cdot \text{Sen}(\theta)$	=	0	
2,99	+	0,21	+	0,33	$F16$	-	0,97	$F15$	= 0
0,69	+	0,85	-	0,94	$F16$	-	0,24	$F15$	= 0
-0,73		-0,05		-0,08	$F16$	0,24	$F15$	= 0	-0,24
0,67		0,82		-0,92	$F16$	-0,24	$F15$	= 0	0,97
-0,06		0,77		-1,00	$F16$	-	0,00	$F15$	= 0

F16	0,84
------------	------

F15	3,07
------------	------



a	0,05	b	0,23
c	0,07	d	0,20

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$$

β (Rad.)	1,23
θ (Rad.)	1,36

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

β (°)	70,71
θ (°)	77,74

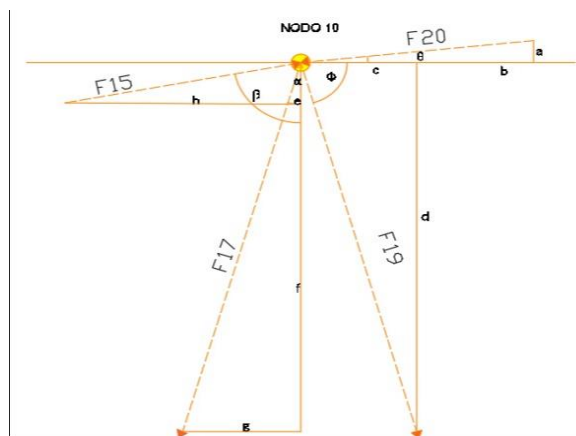
$\Sigma F_X:$	$F18 + F17 \cdot \text{Cos}(\theta) - F14 - F16 \cdot \text{Cos}(\beta) = 0$
$\Sigma F_Y:$	$F16 \cdot \text{Sen}(\beta) + F17 \cdot \text{Sen}(\theta) - P9 = 0$

$$F17 = \frac{-F16 \cdot \text{Sen}(\beta) + P9}{\text{Sen}(\theta)}$$

$$F18 = F17 \cdot \text{Cos}(\theta) + F14 + F16 \cdot \text{Cos}(\beta)$$

F17	0,19
------------	------

F18	3,52
------------	------



a	0,01	b	0,13	c	0,07
d	0,23	e	0,03	f	0,23
g	0,05	h	0,12		

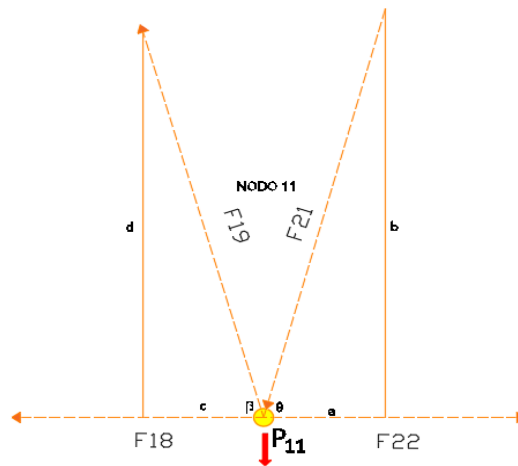
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right) \quad \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{d}{c} \right) \quad \beta = \tan^{-1} \left(\frac{h}{e} \right) \quad \alpha = \tan^{-1} \left(\frac{g}{f} \right)$$

θ (Rad.)	0,10	θ (°)	5,71
φ (Rad.)	1,28	φ (°)	73,07
β (Rad.)	1,33	β (°)	75,96
α (Rad.)	0,21	α (°)	12,26

ΣFX:	$F17 \cdot \text{Sen}(\alpha) - F20 \cdot \text{Cos}(\theta) + F19 \cdot \text{Cos}(\varphi) + F15 \cdot \text{Sen}(\beta) = 0$
ΣFY:	$F17 \cdot \text{Cos}(\alpha) - F20 \cdot \text{Sen}(\theta) - F19 \cdot \text{Sen}(\varphi) + F15 \cdot \text{Cos}(\beta) = 0$

$F15 \cdot \text{Sen}(\beta)$	+	$F17 \cdot \text{Sen}(\alpha)$	-	$F20 \cdot \text{Cos}(\theta)$	+	$F19 \cdot \text{Cos}(\varphi)$	=	0
$F15 \cdot \text{Cos}(\beta)$	+	$F17 \cdot \text{Cos}(\alpha)$	-	$F20 \cdot \text{Sen}(\theta)$	-	$F19 \cdot \text{Sen}(\varphi)$	=	0
2,98		0,04		-1,00	F20	0,29	F19 =	0
0,74		0,19		-0,10	F20	-0,96	F19 =	0
								-0,10
								1,00
-0,30		0,00		0,10	F20	-0,03	F19 =	0
0,74		0,18		-0,10	F20	0,95	F19 =	0
0,44		0,18		0,00	F20	0,92	F19 =	0

F19	0,25
F20	2,94



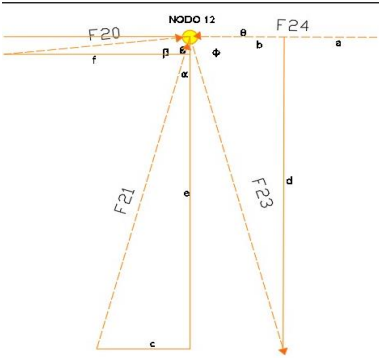
a	0,06	b	0,24
c	0,07	d	0,23

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{c} \right) \quad \theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

β (Rad.)	1,28	θ (Rad.)	73,07
θ (Rad.)	1,33	θ (°)	75,96

ΣFX:	$F22 - F18 - F19 \cdot \text{Cos}(\beta) - F21 \cdot \text{Cos}(\theta) = 0$
ΣFY:	$F19 \cdot \text{Sen}(\beta) - F21 \cdot \text{Sen}(\theta) - P11 = 0$

F21	$\frac{F19 \cdot \text{Sen}(\beta) - P11}{\text{Sen}(\theta)}$	F22	$F18 + F19 \cdot \text{Cos}(\beta) + F21 \cdot \text{Cos}(\theta)$
F21	0,23	F22	3,65



a	0,00	b	0,06	c	0,06
d	0,24	e	0,24	f	0,13
g	0,01				

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{d}{b}\right)$$
$$\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{f}{g}\right)$$
$$\alpha = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{c}{e}\right)$$

φ (Rad.)	1,33	φ (°)	75,96
β (Rad.)	1,49	β (°)	85,60
α (Rad.)	0,24	α (°)	14,04

$\Sigma F_X:$	$F_{21} \cdot \text{Sen}(\alpha) + F_{23} \cdot \text{Cos}(\varphi) + F_{20} \cdot \text{Sen}(\beta) - F_{24} = 0$
$\Sigma F_Y:$	$F_{21} \cdot \text{Cos}(\alpha) - F_{23} \cdot \text{Sen}(\varphi) + F_{20} \cdot \text{Cos}(\beta) = 0$

$F_{23} \frac{F_{20} \cdot \text{Cos}(\beta) + F_{21} \cdot \text{Cos}(\varphi)}{\text{Sen}(\varphi)}$

F23	0,51
-----	------

$F_{24} -F_{21} \cdot \text{Sen}(\alpha) - F_{23} \cdot \text{Cos}(\varphi) - F_{20} \cdot \text{Sen}(\beta)$

F24	3,11
-----	------

SISTEMA DE EQUILIBRIO

NODO
1
3
5
7
9
11
13
15
17
19
21
23
25

CARGA
1
1
1

X
0,00
0,13
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,12
0,13

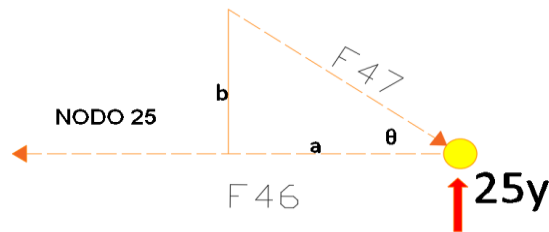
X (B a A)
0,00
0,13
0,25
0,37
0,49
0,61
0,73
0,85
0,97
1,09
1,21
1,33
1,46

 $\Sigma MB:$

$$(+P_{23} \cdot X_{n23}) + (P_{21} \cdot X_{n21}) + (P_{19} \cdot X_{n19}) + (P_{17} \cdot X_{n17}) + (P_{15} \cdot X_{n15}) + (P_{13} \cdot X_{n13}) + (P_{11} \cdot X_{n11}) + (P_9 \cdot X_{n9}) + (P_7 \cdot X_{n7}) + (P_5 \cdot X_{n5}) + (P_3 \cdot X_{n3}) / (25y \cdot X_{n1})$$

25y

1,5



a

0,07

b

0,06

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

 θ (Rad.)

0,71

 θ (°)

40,60

 $\Sigma FX:$

$$-F_{46} + F_{47} \cdot \cos(\theta) = 0$$

 $\Sigma FY:$

$$25y - F_{47} \cdot \sin(\theta) = 0$$

$$F_{47} = \frac{25y}{\sin \theta}$$

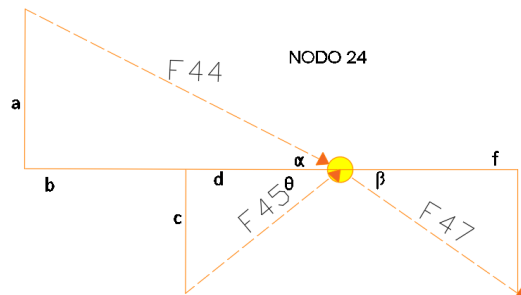
$$F_{46} = (F_{47} \cdot \cos \theta)$$

F47

2,30

F46

1,75



a

0,06

b

0,12

c

0,06

d

0,06

e

0,06

f

0,07

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{c}{d} \right)$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{e}{f} \right)$$

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right)$$

 θ (Rad.)

0,79

 θ (°)

45,00

 β (Rad.)

0,71

 β (°)

40,60

 α (Rad.)

0,46

 α (°)

26,57

 $\Sigma FX:$

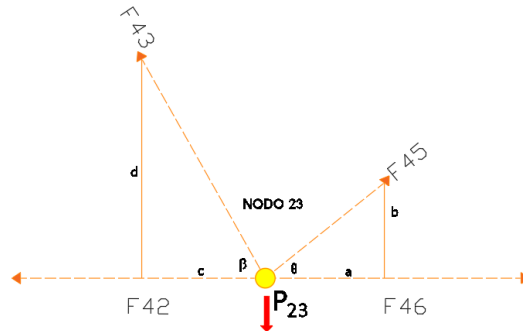
$$F_{44} \cdot \cos(\alpha) - F_{45} \cdot \cos(\theta) - F_{47} \cdot \cos(\beta) = 0$$

 $\Sigma FY:$

$$-F_{44} \cdot \sin(\alpha) - F_{45} \cdot \sin(\theta) + F_{47} \cdot \sin(\beta) = 0$$

-	F45*Cos(θ)	+	F44*Cos(α)	-	F47*Cos(β)	=	0	
-	F45*Sen(θ)	-	F44*Sen(α)	+	F47*Sen(β)	=	0	
-	0,71	F45	+	0,89	F44	-	1,75	= 0
-	0,71	F45	-	0,45	F44	+	1,50	= 0
+	0,71	F45	-	0,89	F44	+	1,75	= 0
-	0,71	F45	-	0,45	F44	+	1,50	= 0
	0,00	-	-1,34	F44	3,25	=	0	

F44	2,42
F45	0,70



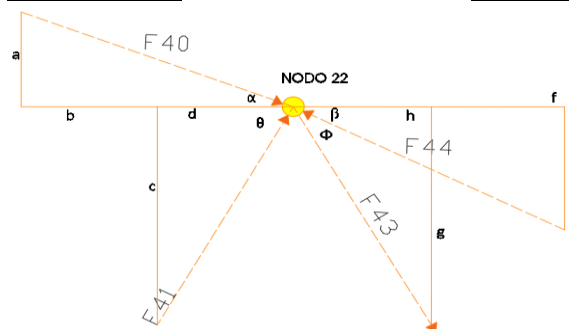
	a	0,06	b	0,06
	c	0,06	d	0,12
$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$			$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$	
β (Rad.)	1,11		β (°)	63,43
θ (Rad.)	0,79		θ (°)	45,00
ΣF_X :	F46-F42-F43*Cos(β)-F45*Cos(θ)= 0			
ΣF_Y :	F43*Sen(β)-F45*Sen(θ)-P23=0			

$$F43 = \frac{F45 * \text{Sen}(\beta) - P23}{\text{Sen}(\theta)}$$

F43	0,56
-----	------

$$F42 = F46 - F43 * \text{Cos}(\beta) - F45 * \text{Cos}(\theta)$$

F42	2,46
-----	------

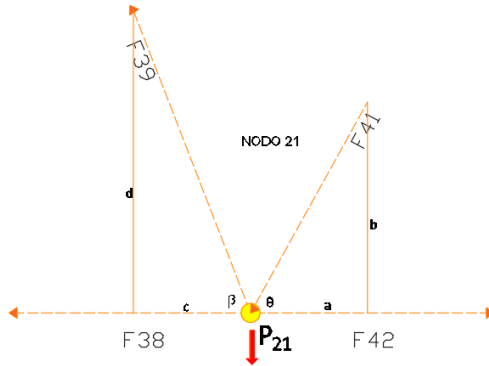


a	0,05	b	0,12	c	0,12
d	0,06	e	0,06	f	0,12
g	0,12	h	0,06		
$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{c}{d}\right)$		$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{g}{h}\right)$		$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{e}{f}\right)$	
θ (Rad.)	1,11		θ (°)	63,43	
ϕ (Rad.)	1,11		ϕ (°)	63,43	
β (Rad.)	0,46		β (°)	26,57	
α (Rad.)	0,39		α (°)	22,62	

ΣF_X :	+F40*Cos(α) + F41*Cos(θ) + F43*Cos(φ) - F44*Cos(β) = 0				
ΣF_Y :	-F40*Sen(α) + F41*Sen(θ) - F43*Sen(φ) + F44*Sen(β) = 0				

-	F44*Cos(β)	+	F43*Cos(φ)	+	F41*Cos(θ)	+	F40*Cos(α)	=	0
-	F44*Sen(β)	-	F43*Sen(φ)	+	F41*Sen(θ)	-	F40*Sen(α)	=	0

-2,17	0,25	0,45	F41	0,92	F40 =	0	-0,89
1,08	-0,50	0,89	F41	-0,38	F40 =	0	0,45
1,94	-0,22	-0,40	F41	-0,83	F40 =	0	
0,48	-0,22	0,40	F41	-0,17	F40 =	0	
2,42	-0,45	0,00	F41	-1,00	F40 =	0	
F40	2,88						
F41	0,53						

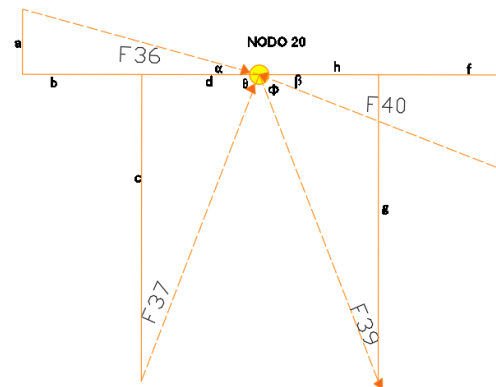


$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$	$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$
β (Rad.)	β (°)
θ (Rad.)	θ (°)
ΣF_X:	$F42 - F38 - F39 \cos(\beta) - F41 \cos(\theta) = 0$
ΣF_Y:	$F39 \sin(\beta) - F41 \sin(\theta) - P21 = 0$

$$F39 = \frac{F41 \sin(\theta) - P21}{\sin(\beta)}$$

$$F38 = -F39 + F42 + F41 \cos(\theta)$$

F39	0,50	F38	2,84
------------	-------------	------------	-------------



a	b	c	d	e	f
0,04	0,13	0,16	0,07	0,05	0,12
g	h				
0,16	0,05				
$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{c}{d}\right)$	$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{g}{h}\right)$	$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{e}{f}\right)$	$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$		

θ (Rad.)
φ (Rad.)
β (Rad.)
α (Rad.)

1,16
1,27
0,39
0,30

θ (°)
φ (°)
β (°)
α (°)

66,37
72,65
22,62
17,10

ΣF_X :
ΣF_Y :

$F36 \cdot \cos(\alpha) + F37 \cdot \cos(\theta) + F39 \cdot \cos(\varphi) - F40 \cdot \cos(\beta) = 0$
$-F36 \cdot \sin(\alpha) + F37 \cdot \sin(\theta) - F39 \cdot \sin(\varphi) + F40 \cdot \sin(\beta) = 0$

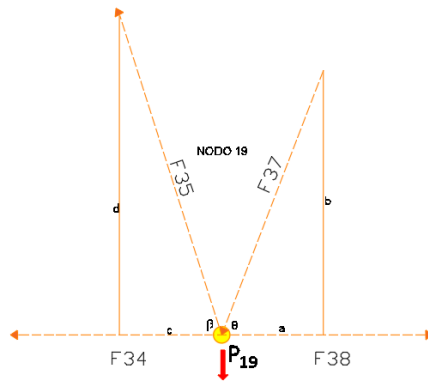
-	$F40 \cdot \cos(\beta)$	+	$F39 \cdot \cos(\varphi)$	+	$F37 \cdot \cos(\theta)$	+	$F36 \cdot \cos(\alpha)$	=	0		
	$F40 \cdot \sin(\beta)$	-	$F39 \cdot \sin(\varphi)$	+	$F37 \cdot \sin(\theta)$	-	$F36 \cdot \sin(\alpha)$	=	0		
	-2,66		0,15		0,40		0,96		$F36 =$	0	-0,92
	1,11		-0,47		0,92		-0,29		$F36 =$	0	0,40
	2,44		-0,14		-0,37		-0,88		$F36 =$	0	
	0,44		-0,19		0,37		-0,12		$F36 =$	0	
	2,88		-0,33		0,00		-0,99		$F36 =$	0	

F36

3,23

F37

0,47



a
c

0,07
0,07

b
d

0,16
0,20

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$$

β (Rad.)
θ (Rad.)

1,23
1,16

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

β (°)
θ (°)

70,71
66,37

ΣF_X :
ΣF_Y :

$F38 - F34 - F35 \cdot \cos(\beta) - F37 \cdot \cos(\theta) = 0$
$F35 \cdot \sin(\beta) - F37 \cdot \sin(\theta) - P19 = 0$

$$F35 = \frac{F37 \cdot \sin(\theta) - P19}{\sin(\beta)}$$

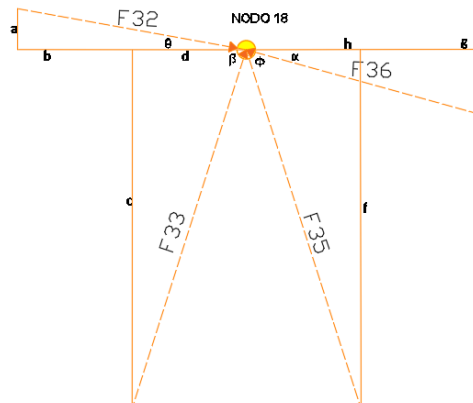
F35

0,46

$$F34 = F38 - F35 \cdot \cos(\beta) - F37 \cdot \cos(\theta)$$

F34

3,18



a
d
g

0,03
0,05
0,13

b
e
h

0,13
0,04
0,07

c
f

0,20
0,20

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{f}{h}\right)$$

$$\beta = \tan^{-1}\left(\frac{c}{d}\right)$$

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{e}{g}\right)$$

θ (Rad.)
φ (Rad.)
β (Rad.)
α (Rad.)

0,23
1,23
1,33
0,30

θ (°)
φ (°)
β (°)
α (°)

12,99
70,71
75,96
17,10

ΣF_X :
ΣF_Y :

$$-F_{32} \cdot \cos(\theta) + F_{35} \cdot \cos(\varphi) + F_{33} \cdot \cos(\beta) - F_{36} \cdot \cos(\alpha) + = 0$$

$$F_{32} \cdot \sin(\theta) - F_{35} \cdot \sin(\varphi) + F_{33} \cdot \sin(\beta) + F_{36} \cdot \sin(\alpha) = 0$$

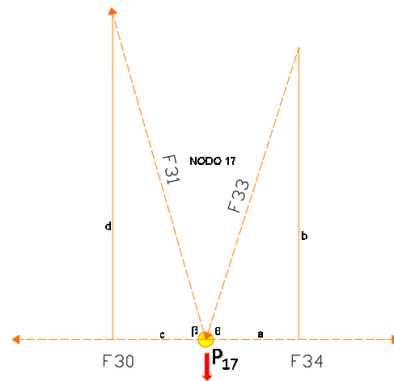
$F_{33} \cdot \cos(\beta)$	+	$F_{35} \cdot \cos(\varphi)$	-	$F_{32} \cdot \cos(\theta)$	-	$F_{36} \cdot \cos(\alpha)$	=	0	
$F_{33} \cdot \sin(\beta)$	-	$F_{35} \cdot \sin(\varphi)$	+	$F_{32} \cdot \sin(\theta)$	+	$F_{36} \cdot \sin(\alpha)$	=	0	
0,24	F_{33}	0,15		-0,97	F_{32}	-3,08	$F_{36} =$	0	-0,97
0,97	F_{33}	-0,43		0,22	F_{32}	0,95	$F_{36} =$	0	0,24
-0,24	F_{33}	-0,15		0,95	F_{32}	2,99	$F_{36} =$	0	
0,24	F_{33}	0,10		0,05	F_{32}	0,23	$F_{36} =$	0	
0,00	F_{33}	-0,04		1,00	F_{32}	3,22	$F_{36} =$	0	

F32

3,18

F33

0,84



a
c

0,05
0,07

b
d

0,20
0,23

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{c} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

β (Rad.)
θ (Rad.)

1,28
1,33

β (°)
θ (°)

73,07
75,96

ΣF_X :
ΣF_Y :

$$-F_{30} + F_{34} - F_{31} \cdot \cos(\beta) - F_{33} \cdot \cos(\theta) = 0$$

$$F_{31} \cdot \sin(\beta) - F_{33} \cdot \sin(\theta) - P_{17} = 0$$

$$F_{31} = \frac{F_{33} \cdot \sin(\theta) - P_{17}}{\sin(\beta)}$$

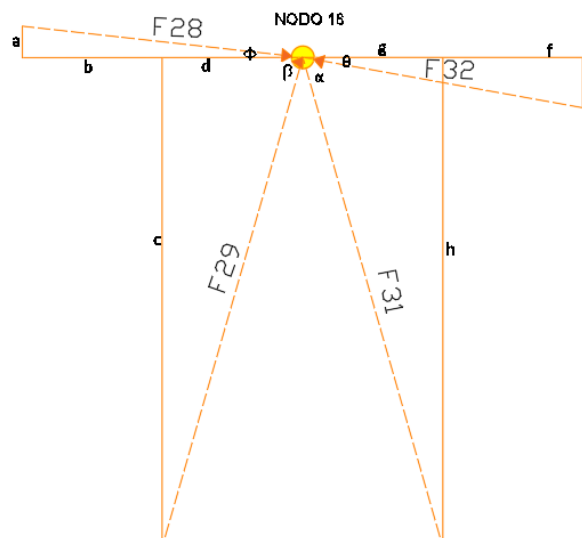
F31

0,19

$$F_{30} = F_{34} - F_{31} \cdot \cos(\beta) - F_{33} \cdot \cos(\theta)$$

F30

2,92



a
d
g

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{e}{f} \right)$$

0,01
0,05
0,07

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right)$$

b
e
h

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{c}{d} \right)$$

0,12
0,03
0,23

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{e}{f} \right)$$

c
f

0,23
0,13

θ (Rad.)
φ (Rad.)
β (Rad.)
α (Rad.)

0,23
0,08
1,36
1,28

θ (°)
φ (°)
β (°)
α (°)

12,99
4,76
77,74
73,07

ΣF_x :
ΣF_y :

$F_{31} \cdot \cos(\alpha) - F_{32} \cdot \cos(\theta) + F_{28} \cdot \cos(\varphi) + F_{29} \cdot \cos(\beta) = 0$
$-F_{31} \cdot \sin(\alpha) + F_{32} \cdot \sin(\theta) - F_{28} \cdot \sin(\varphi) + F_{29} \cdot \sin(\beta) = 0$

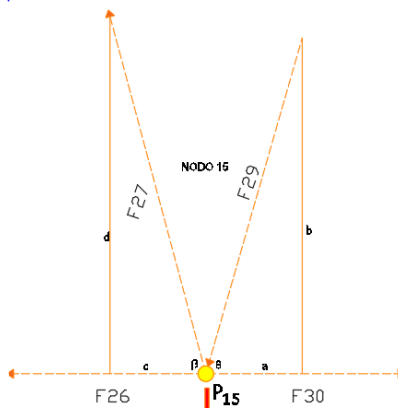
$F_{29} \cdot \cos(\beta)$	+	$F_{28} \cdot \cos(\varphi)$	-	$F_{32} \cdot \cos(\theta)$	+	$F_{31} \cdot \cos(\alpha)$	=	0	
$F_{29} \cdot \sin(\beta)$	-	$F_{28} \cdot \sin(\varphi)$	+	$F_{32} \cdot \sin(\theta)$	-	$F_{31} \cdot \sin(\alpha)$	=	0	
0,21	F_{29}	1,00	F_{28}	-3,10		0,06	=	0	-0,98
0,98	F_{29}	-0,08	F_{28}	0,72		-0,96	=	0	0,21
-0,21	F_{29}	-0,97	F_{28}	3,03		-0,05	=	0	
0,21	F_{29}	0,02	F_{28}	0,15		-0,20	=	0	
0,00		-0,96	F_{28}	3,18		-0,26	=	0	

F28

3,06

F29

0,24



a
c

0,05
0,07

b
d

0,23
0,24

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{d}{c} \right)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

β (Rad.)
θ (Rad.)

1,29
1,36

β (°)
θ (°)

73,74
77,74

ΣF_x :
ΣF_y :

$F_{30} - F_{26} - F_{27} \cdot \cos(\beta) - F_{29} \cdot \cos(\theta) = 0$
$F_{27} \cdot \sin(\beta) - F_{29} \cdot \sin(\theta) - P_{15} = 0$

$$\frac{F29 * \text{Sen}(\theta) - P15}{\text{Sen}(\beta)}$$

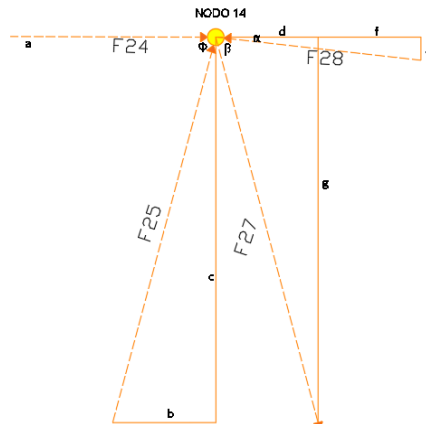
F27

F27	0,17
-----	------

F26

$$F30 + F27 * \text{Cos}(\beta) + F29 * \text{Cos}(\theta)$$

F26	2,83
-----	------



a	0,00	b	0,05	c	0,24
d	0,07	e	0,01	f	0,12
g	0,24				

$$\varphi = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b}{c}\right)$$

$$\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{g}{d}\right)$$

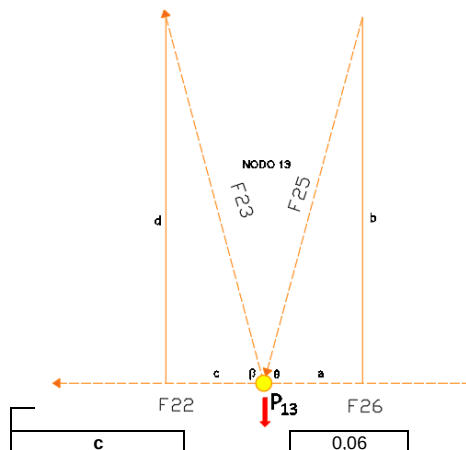
$$\alpha = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{e}{f}\right)$$

φ (Rad.)	0,21	φ (°)	11,77
β (Rad.)	1,29	β (°)	73,74
α (Rad.)	0,08	α (°)	4,76

ΣF_X :	$F24 - F28 * \text{Cos}(\alpha) + F25 * \text{Sen}(\varphi) + F27 * \text{Cos}(\beta) = 0$
ΣF_Y :	$F28 * \text{Sen}(\alpha) + F25 * \text{Cos}(\varphi) - F27 * \text{Sen}(\beta) = 0$

F24	+	F25 * Sen(φ)	+	F27 * Cos(β)	-	F28 * Cos(α)	=	0	
		F25 * Cos(φ)	-	F27 * Sen(β)	+	F28 * Sen(α)	=	0	
3,11	F24	0,20	F25	0,05	-3,05		=	0	-0,98
0,00		0,98	F25	-0,16	0,08		=	0	0,20
-3,05	F24	-0,20	F25	-0,05	2,98		=	0	
0,00		0,20	F25	-0,03	0,02		=	0	
-3,05		0,00	F25	-0,08	3,00		=	0	

F25	0,55
-----	------



$$\beta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{d}{c}\right)$$

$$\theta = \text{Tan}^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$$

β (Rad.)	1,33	β (°)	75,96
θ (Rad.)	1,37	θ (°)	78,23

ΣF_X :	$F26 - F22 - F23 * \text{Cos}(\beta) - F25 * \text{Cos}(\theta) = 0$
ΣF_Y :	$F23 * \text{Sen}(\beta) - F25 * \text{Sen}(\theta) - P13 = 0$

$$F23 = \frac{F25 * \text{Sen}(\theta) - P13}{\text{Sen}(\beta)}$$

F23	0,56
-----	------

$$F22 = F26 + F23 * \text{Cos}(\beta) + F25 * \text{Cos}(\theta)$$

F22	3,07
-----	------

FUERZA	VALOR
F1	1,92
F2	1,20
F3	2,20
F4	0,80
F5	0,44
F6	2,01
F7	2,63
F8	0,74
F9	0,61
F10	2,59
F11	3,07
F12	0,94
F13	0,87
F14	3,20
F15	3,07
F16	0,84
F17	0,19
F18	3,52
F19	0,25
F20	2,94
F21	0,23
F22	3,65
F23	0,51
F24	3,11
F25	0,55
F26	2,83
F27	0,17
F28	3,06
F29	0,24
F30	2,92
F31	0,19
F32	3,18
F33	0,84
F34	3,18
F35	0,46
F36	3,23
F37	0,47
F38	2,84
F39	0,50
F40	2,88
F41	0,53
F42	2,46
F43	0,56
F44	2,42
F45	0,70
F46	1,75

F47

2,30

14.3. GUIA DE LABORATORIO

 UNIVERSIDAD Piloto DE COLOMBIA Seccional del Alto Magdalena	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	GUIA DE LABORATORIO	
		OBJETO DE APRENDIZAJE ESTRUCTURAS	
		FORMATO:	
		No. Paginas: 6	Versión:

TEMA: Tensión y compresión de armaduras

OBJETIVOS

1. Identificar los elementos de una armadura que, al ser sometidos a una carga puntual, sufren esfuerzos a tensión y a compresión
2. Observar deformaciones de elementos sometidos a cargas de tensión y a cargas de compresión.
3. Aplicar la teoría de armaduras, en un modelo a escala.
4. Medir deformaciones en una estructura metálica, tanto en miembros, nudos y apoyos.

METODOLOGÍA:

Se organizarán equipos de trabajo de 4 estudiantes cada uno.

Cada grupo realizará las pruebas en el modelo según las previas indicaciones realizadas en cada una de las fases. En el laboratorio, utilizando un calibrador o pie de rey, se realizará las mediciones de las dimensiones de la armadura, separación de nudos, longitud de miembros y ubicación de apoyos.

Se realizará la correspondiente gráfica del modelo a escala en alguno de los programas de estructuras recomendados.

Seguidamente, aplicará una carga puntual en los nudos indicados por el docente.

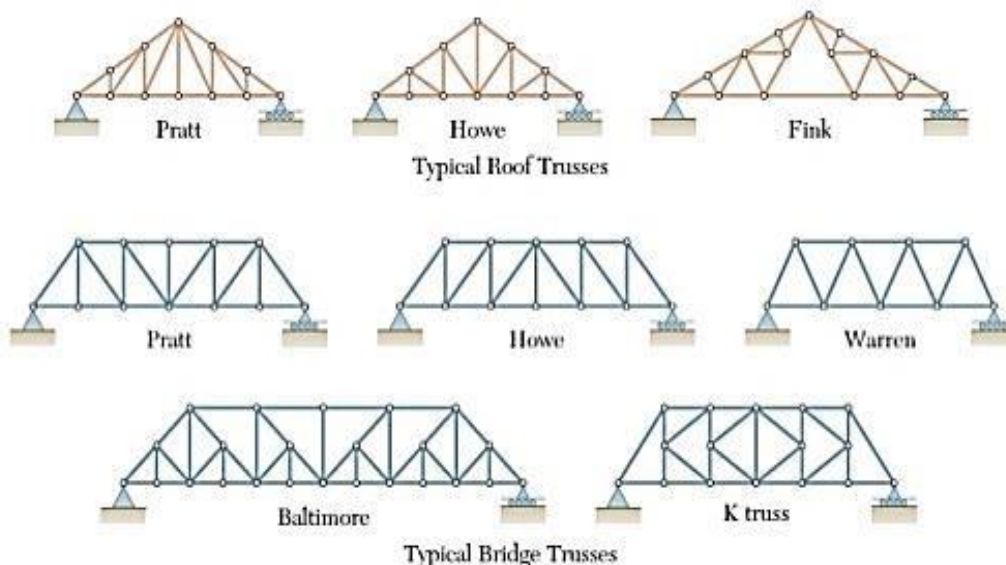
Finalmente, se calcularán la distribución de cargas, reacciones en los apoyos, y se identificarán los miembros que por cálculo trabajaron a compresión y los que trabajaron a tensión para su respectiva comparación con el método del programa y los resultados del laboratorio.

MARCO TEÓRICO

También conocidas como cerchas, las armaduras son sistemas livianos, pero con gran capacidad de soportar cargas. Se utilizan con grandes espacios en su interior como techos de almacenes, iglesias y en general edificaciones. Las armaduras también se usan en algunos puentes, aunque para este tipo de estructuras se han

Desarrollado otras técnicas como los atirantados.

Tipos de Armaduras



Las armaduras o cerchas están compuestas por dos apoyos, uno simple y el otro compuesto. Por miembros

	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL	GUIA DE LABORATORIO	
		OBJETO DE APRENDIZAJE ESTRUCTURAS	
		FORMATO:	
		No. Paginas: 6	Versión:

y por nodos.

El cálculo de las armaduras se puede realizar a través de la resolución de nodos, secciones o matricial, estos cálculos son realizados al conocer en qué tipo de armadura se trabaja y reconociendo los elementos que la conforman.

El método de nodos permite analizar armaduras planas estáticamente determinadas utilizando ecuaciones de equilibrio en sus nodos, “es el más eficiente cuando se deben determinar las fuerzas en todos los elementos de una armadura. Sin embargo, si sólo se desea encontrar la fuerza de un elemento o en un número muy reducido de elementos” (Ferdinand, Russell, & Elliot, 2007). Un nodo es un punto en la cual llegan 2 o más barras que están sujetas a este y que pueden trabajar a tensión o atracción.

Las deformaciones se pueden obtener modelando la armadura en plataformas tecnológicas como pueden ser SAP 2000 o ROBOT de AutoDesk, o en su defecto la herramienta designado por los docentes.

El análisis estructural, estudia la determinación de la fuerza, magnitud, dirección, si trabaja a compresión o a tensión y punto de aplicación de la fuerza. Cuando se habla de fuerza, se dice que es una acción que se ejecuta especialmente el aplicar una fuerza sobre una de las superficies de los elementos estructurales o materiales. Esto crea una deformación que la definimos como el cambio de tamaño, forma o longitud que sufre un objeto al ser sometido a esfuerzos. Los esfuerzos son magnitudes físicas que se generan por la aplicación de una fuerza sobre un área.

Dentro del cual encontramos la fórmula para esfuerzo de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

En donde σ será el esfuerzo, F la fuerza aplicada y A, el área sobre la aplicación de la fuerza.

Para la medición de deformaciones, se encontró la siguiente formula:

$$\varepsilon = \frac{FxL}{ExA}$$

En donde ε será la deformación. F la fuerza aplicada. L la longitud. E el módulo de elasticidad del material y A, el área a evaluar.

Dentro del análisis estructural también se evalúan los diferentes elementos estructurales que conforman un pórtico. Un pórtico es una estructura que está formado por vigas y columnas. Las vigas son elementos estructurales que tienen como función transmitir y distribuir las cargas lateralmente hasta los apoyos. Generalmente en estos apoyos se encuentran columnas, las cuales tiene la función de transmitir las cargas hasta las fundaciones de la estructura. Las fundaciones son tipos de cimentaciones que se elaboran en el proceso constructivo de una estructura, dentro de las cuales tenemos: Vigas, placas flotantes, zapatas, pilotes, etc. Una vez transmitida estas cargas a la fundación, se disipan en tierra.

IMPLEMENTACION:

Fase 1: Cálculos iniciales

Aplicando la metodología de los nudos, se calcularán las cargas por elemento, así, por ejemplo, si con la prensa hidráulica aplicamos una carga puntual, esta se distribuiría según el modelo y sus medidas, por tanto identificaremos la armadura a estudiar:

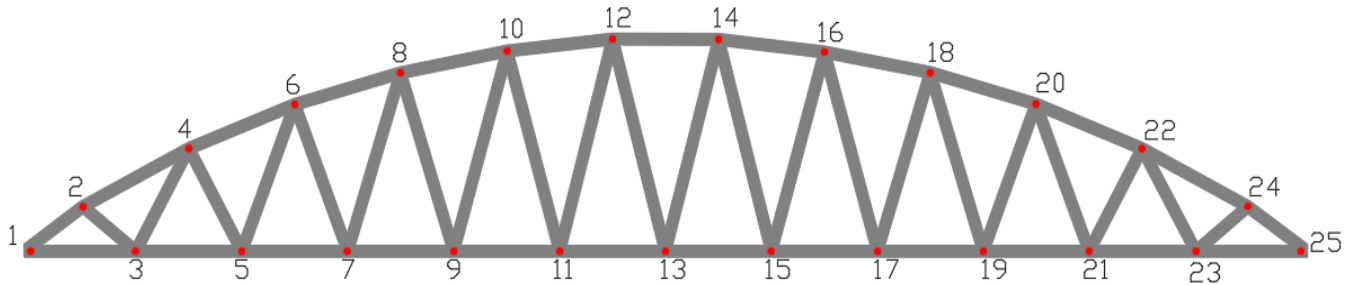


Figura 1. Modelo a escala de la armadura o cercha.

Paso 1.

Marcamos los nombres de los nudos y los elementos.

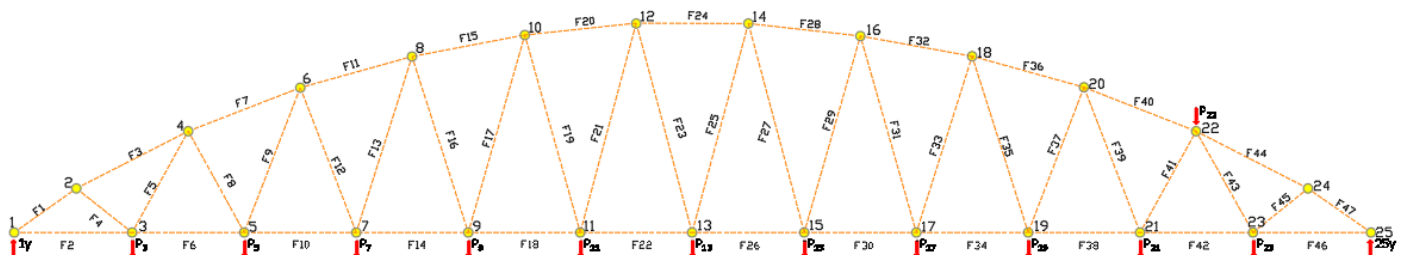


Figura 2. Modelo con enumeración y nombres de elementos.

Paso 2.

Despiece de nudos con sus respectivas fuerzas.

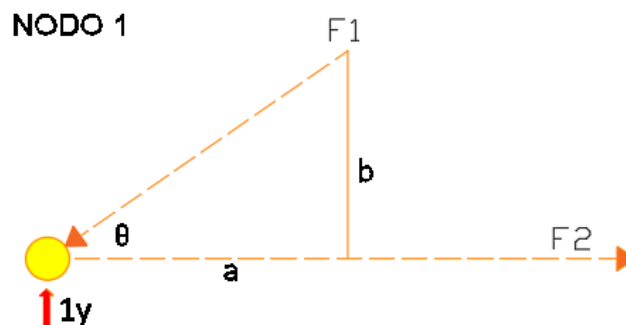


Figura 3. Despiece con medidas

	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		GUIA DE LABORATORIO	
			OBJETO DE APRENDIZAJE ESTRUCTURAS	
			FORMATO:	
			No. Paginas: 6	Versión:

Paso 3. Cálculo de reacciones

$$\Sigma MB = P_{23}xX_{n23} + P_{21}xX_{n21} + P_{19}xX_{n19} + P_{17}xX_{n17} + P_n \dots xX_{n..} - 1YxX_{n1}$$

Paso 4. Cálculo de fuerzas

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

$$\theta = x^\circ$$

$$\begin{aligned} F_x &= 0 \\ (-F_1 * \cos \theta) + F_2 &= 0 \\ F_2 &= \frac{P}{\sin \theta} - F_1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_y &= 0 \\ (F_1 * \sin \theta) - P &= 0 \\ F_1 &= \frac{P}{\sin \theta} \end{aligned}$$

Paso 5.

Proceder con los demás cálculos de los demás nodos para hallar las fuerzas. Se recomienda emplear la hoja de cálculo de Excel.

Paso 6.

Una vez realizado el paso 5 proceder a realizar la simulación del modelo, según la aplicación de cargas con las que se calcularon las fuerzas que entran a los nodos, empleando SAP 2000.

Fase 2: Practica de laboratorio

Paso 1.

Se debe verificar que el modelo estructural se encuentre bien ajustado en los apoyos para que al momento de poner las cargas no se caiga de la base.

Paso 2.

Se debe nivelar la estructura.

Paso 3.

Seleccionar las pesas y colocar en la báscula con el fin de verificar cuantos Kg pesa cada elemento que hará de carga.

Paso 4.

Se debe proceder a instalar los deformímetros en las bases que fueron elaboradas para estos. Una vez se tenga instalados se deben colocar según la ubicación del elemento o nodo que quieran analizar. Para lo anterior, se recomienda colocar el deformímetro por la parte superior de la estructura con alguna marcación para tener mayor precisión en el momento en que se requiera realizar la lectura de la deformación una vez cargado el sistema.

Paso 4.

 UNIVERSIDAD Piloto DE COLOMBIA Seccional del Alto Magdalena	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL			GUIA DE LABORATORIO	
				OBJETO DE APRENDIZAJE ESTRUCTURAS	
	FORMATO:				
				No. Paginas: 6	Versión:

Una vez se tengan los elementos que simularan la carga, se debe proceder a descolgarlos en los ganchos que fueron elaborados para sostener las cargas.

Paso 5.

Tomar lectura de deformaciones.

Paso 6.

Contrastar los cálculos obtenidos en el laboratorio, con lo resultados obtenidos en el simulador, graficar, para comprar y analizar los dos resultados.

RESULTADOS

CALCULOS				PROGRAMA	LABORATORIO		
Nodo	Carga	Fuerza	Valor	Valor	ϵ_0	ϵ_F	$\epsilon_{Resultante}$
1		F1					
		F2					
2		F3					
		F4					
3		F5					
		F6					
4		F7					
		F8					
5		F9					
		F10					
6		F11					
		F12					
7		F13					
		F14					
8		F15					
		F16					
9		F17					
		F18					
10		F19					
		F20					

11	F21					
	F22					
12	F23					
	F24					
13	F25					
	F26					
14	F27					
	F28					
15	F29					
	F30					
16	F31					
	F32					
17	F33					
	F34					
18	F35					
	F36					
19	F37					
	F38					
20	F39					
	F40					
21	F41					
	F42					
22	F43					
	F44					
23	F45					
	F46					
24	F47					

Conclusiones:

 UNIVERSIDAD Piloto DE COLOMBIA Seccional del Alto Magdalena	UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL		GUIA DE LABORATORIO	
			OBJETO DE APRENDIZAJE ESTRUCTURAS	
			FORMATO:	
			No. Paginas: 6	Versión:

Vo. Bo. LABORATORIO	Vo. Bo. DOCENTE	REALIZÓ:
		1. _____
		2. _____
		3. _____
		4. _____

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ferdinand, B., Rusell, J., & Elliot, E. (2007). *Mecánica vectorial para ingenieros (Estática)*. McGraw-Hill/Interamericana. Recuperado el 28 de Febrero de 2018

14.4. FICHA TECNICA DEL ALUMINO AA6063

Santiago de Cali, Julio 13 de 2018.

FICHA TÉCNICA.

ALUMINA certifica que la Aleación *AA6063*, Temple *T-5*, que se utiliza en la Referencia *WINCO382*, *TUBOCOD90* como perfilaría arquitectónica; cumple con los siguientes rangos de composición química y propiedades mecánicas de acuerdo a los estándares de ALUMINUM ASSOCIATION basado en la Norma Internacional UNE-EN 573-3 y ASTM B221.

PROPIEDADES MECÁNICAS.

RFT Kg/mm ²	RPC Kg/mm ²	% E	DUREZA WEBSTER ALUMINA	DUREZA R. F.
Min 15,3	Min 11,2	Min 8	Min 10	Min 61

COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Aleación	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Zn	% Ti
AA6063	Min - Max 0.20 - 0.60	Max 0.35	Max 0.10	Max 0.10	Min - Max 0.45 - 0.90	Max 0.10	Max 0.10	Max 0.10

Atentamente;

VLADIMIR MORENO.

Coordinador de Calidad.

Grupo Alumina Planta Sur.



Grupo ALUMINA - Colombia

Oficina y Sala de ventas Bogotá: Cra. 19A N° 77-29, Local 73 y 75 C.C. Los Héroes Tel: 57 (1) 795 34 10

Oficina y Planta EMMA & Cia S.A-Medellín: Cra. 64A N° 33-40, Itagüí Tel: (4) 370 56 00

Oficina y Planta ALUMINA S.A-Cali: Cra. 32 N° 11-101, Acopi - Yumbo Tel: 57 (2) 651 04 00

Oficina Barranquilla: Vía 40 N° 71-197, C.I Marisol Bodega 207 Tel: 57 (5) 318 55 90

Grupo ALUMINA - Ecuador

Oficina Quito-Norte: Av. 6 de diciembre N° 51 -53 José Rafael Bustamante Tel: 593 (2) 240 19 58

Grupo ALUMINA - USA

Oficina Estados Unidos:

Centro de Distribución Opalocka, Florida 33054 - 14475 NW. 26 AVTeléfono: 1 (305) 444 11 98