



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Análisis de influencia de curvaturas de elementos para el comportamiento estático de estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Leguia Valverde, Stephen Ronald (ORCID: 0000-0002-2733-0160)

Orosco Huayana, Marco Antonio (ORCID: 0000-0003-2713-1353)

ASESOR:

Ing. Aybar Arriola, Gustavo Adolfo (ORCID: 0000-0001-8625-3989)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño sísmico y estructural

CALLAO – PERÚ

2020

DEDICATORIA

Al Todopoderoso, por obsequiarnos el regalo de la vida y darnos muestras de amor con cada ser que se cruza en nuestro camino y así moldearnos a bien.

A nuestros padres, por sus palabras y acciones de amor constante.

A ti, que desde donde estés, eres causa y consecuencia a bien constantemente.

Los autores.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Cesar Vallejo, por habernos acogido.

A nuestro asesor magister. Aybar Arriola, Gustavo Adolfo por guiarnos en el proceso de la elaboración de la tesis.

Al magister Hurtado Anampa Efrain, por guiarnos e introducirnos a esta área de la ingeniería civil, análisis y diseño estructural.

A nuestros padres y hermanos por perdonarnos la ausencia en momentos importantes, además de reconfortarnos en momentos difíciles.

Los autores

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de Tablas	v
Índice de Figuras.....	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I INTRODUCCIÓN	12
II MARCO TEÓRICO.....	18
III METODOLÓGIA.....	55
3.1 Tipo y diseño de investigación	55
3.2 Variable y operacionalización	57
3.3 Población, muestra, muestreo unidad de análisis	57
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
3.5 Procedimientos	61
3.6 Métodos de análisis de datos.....	70
3.7 Aspectos Éticos.....	121
IV RESULTADOS.....	122
V DISCUSIÓN	138
VI CONCLUSIONES	141
VII RECOMENDACIONES	142
REFERENCIAS.....	143
ANEXOS	146

Índice de Tablas

Tabla 1	Comparación entre las directrices circular y parabólica en arcos de 10m de luz y 5 de flecha discretizados en 10m	24
Tabla 2	Comparación entre las directrices circular y parabólica en arcos de 40m de luz y 5m de flecha, discretizados en 10 tramos	25
Tabla 4	Características principales del modelo tipológico estudiado	63
Tabla 5	Modelos a comparar	67
Tabla 6	Características de los materiales utilizados en el modelo parte 1	67
Tabla 7	Características de los materiales utilizados en el modelo parte 2	68
Tabla 8	Metrado de cargas permanente de cubierta de techo	69
Tabla 9.	Metrado de cargas para un arco reticulado	69
Tabla 10	Metrado de cargas permanente en arco por punto de aplicación	69
Tabla 11	Características del Script del Software en Matlab	71
Tabla 12	Estructura de la tabla Excel para insertar en el script	73
Tabla 13	Sección de introducción del programa RETBI	73
Tabla 14	Sección 1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas	74
Tabla 15	Sección 1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento	74
Tabla 16	Sección 1.3-Matriz de transformación	74
Tabla 17	Sección 1.4-Cálculo de propiedades primarias del nodo	75
Tabla 18	Sección 1.5-Gráfico de la estructura	75
Tabla 19	Sección 2.1-Asignación de restricciones (Apoyos)	76
Tabla 20	Sección 2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio	77
Tabla 21	Sección 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio	77
Tabla 22	Sección 3.1-Cálculo de matrices de rigidez	78
Tabla 23	Sección 3.2-Subdibición de la matriz global de rigidez	79
Tabla 24	Sección 3.3-Cálculo del vector desplazamiento	80
Tabla 25	Sección 3.4-Cálculo de las reacciones	80
Tabla 26	Sección 3.5-Gráfica de estado deformado	80
Tabla 27	Sección 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento	81
Tabla 28	Sección 4.1- Recolección de datos y resultados	81
Tabla 29	Sección 4.2- Recolección de datos y resultados	81
Tabla 30	Características de los modelos en cuanto a sus curvaturas	83
Tabla 31	Datos de primarios de Modelo analítico 1.F.S.	83
Tabla 32	Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 1.F.S.	84
Tabla 33	Diálogo del programa RETBI modelo 1.F.S.	84
Tabla 34	Datos primarios de Modelo analítico 1.F.D.	87
Tabla 35	Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 1.F.D.	88
Tabla 36	Diálogo del programa RETBI modelo 1.F.D	89
Tabla 37	Diálogo del programa RETBI modelo 1.M.S.	92
Tabla 38	Diálogo del programa RETBI modelo 1.M.D.	95
Tabla 39	Datos de primarios de Modelo analítico 2.F.S.	97
Tabla 40	Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 2.F.S.	97
Tabla 41	Diálogo del programa RETBI modelo 2.F.S.	98

Tabla 42	Datos de primarios de Modelo analítico 2.F.D.	100
Tabla 43	Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 2.F.D.	101
Tabla 44	Diálogo del programa RETBI modelo 2.F.D.	102
Tabla 45	Diálogo del programa RETBI modelo 2.M.S	104
Tabla 46	Diálogo del programa RETBI modelo 2.M.D.	107
Tabla 47	Datos de primarios de Modelo analítico 3.F.S.	109
Tabla 48	Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 3.F.S.	110
Tabla 49	Diálogo del programa RETBI modelo 3.F.S.	110
Tabla 50	Datos primarios de Modelo analítico 3.F.D.	112
Tabla 51	Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 3.F.D.	113
Tabla 52	Diálogo del programa RETBI modelo 3.F.D.	114
Tabla 53	Diálogo del programa RETBI modelo 3.M.D.	116
Tabla 54	Diálogo del programa RETBI modelo 3.M.D.	119
Tabla 55	Resultados correspondientes al objetivo específico 1	122
Tabla 56	Reacciones horizontales modelo 1FS con 1FD	123
Tabla 57	Reacciones verticales modelo 1FS con 1FD	123
Tabla 58	Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 1FS con 1FD	123
Tabla 59	Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 1FS con 1FD	123
Tabla 60	Rotaciones nodales (RY) modelo 1FS con 1FD	123
Tabla 61	Diferencia de fuerzas internas modelo 1FS con 1FD	124
Tabla 62	Reacciones horizontales modelo 1MS con 1MD	125
Tabla 63	Reacciones verticales modelo 1MS con 1MD	125
Tabla 64	Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 1MS con 1MD	125
Tabla 65	Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 1MS con 1MD	125
Tabla 66	Rotaciones nodales (RY) modelo 1MS con 1MD	125
Tabla 67	Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 1MS con 1MD	126
Tabla 68	Reacciones horizontales modelo 2FS con 2FD	127
Tabla 69	Reacciones verticales modelo 2FS con 2FD	127
Tabla 70	Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 2FS con 2FD	127
Tabla 71	Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 2FS con 2FD	127
Tabla 72	Rotaciones nodales (RY) modelo 2FS con 2FD	127
Tabla 73	Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 2FS con 2FD	128
Tabla 74	Reacciones horizontales modelo 2MS con 2MD	129
Tabla 75	Reacciones verticales modelo 2MS con 2MD	129
Tabla 76	Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 2MS con 2MD	129
Tabla 77	Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 2MS con 2MD	129
Tabla 78	Rotaciones nodales (RY) modelo 2MS con 2MD	129
Tabla 79	Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 2MS con 2MD	130
Tabla 80	Reacciones horizontales modelo 3FS con 3FD	131
Tabla 81	Reacciones verticales modelo 3FS con 3FD	131
Tabla 82	Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 3FS con 3FD	131
Tabla 83	Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 3FS con 3FD	131
Tabla 84	Rotaciones nodales (RY) modelo 3FS con 3FD	131

Tabla 85	Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 3FS con 3FD	132
Tabla 86	Reacciones horizontales modelo 3MS con 3MD	133
Tabla 87	Reacciones verticales modelo 3MS con 3MD	133
Tabla 88	Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 3MS con 3MD	133
Tabla 89	Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 3MS con 3MD	133
Tabla 90	Rotaciones nodales (RY) modelo 3MS con 3MD	133
Tabla 91	Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 3MS con 3MD	134
Tabla 92	Porcentaje de influencia de la curvatura en las reacciones	135
Tabla 93	Porcentaje de influencia de la curvatura en los desplazamientos	135
Tabla 94	Porcentaje de influencia de la curvatura en las fuerzas internas	136

Índice de Figuras

<i>Figura I.</i> Producto bruto interno y demanda interna del sector construcción de enero 2003 al abril 2019.	13
<i>Figura II.</i> Polideportivo del Colegio Gregorio Martinelly, de la ciudad de Andahuaylas.	14
<i>Figura III.</i> Se visualiza máquina roladora de tubos, perfiles, para uso estructural y de cerrajería metálica.	15
<i>Figura IV.</i> Superposición de modelos: Analítico(verde) y ejecutado(rojo) con un rebajamiento de 0.012, 0.024 y 0.048 de izquierda a derecha.	16
<i>Figura VI.</i> Tabla 7.50;Fuente.(López 2003)	26
<i>Figura VII.</i> Cubo Diferencial de esfuerzos Fuente. (Wilson, 2004,p.2)	32
<i>Figura VIII.</i> Estructura reticulada simple Fuente. (Wilson, 2004,p.20)	38
<i>Figura IX.</i> Convención de signos para las fuerzas y desplazamientos nodales Fuente. (Wilson, 2004,p. 20)	39
<i>Figura X.</i> Elemento reticular típico Bidimensional Fuente. (Wilson, 2004,p.22)	40
<i>Figura XI.</i> Rotación entre sistemas de coordenadas. Fuente. (Blanco et al., 2014,p.23)	46
<i>Figura XII.</i> Esquema de las fuerzas y desplazamientos en coordenadas locales para una barra biempotrada.	47
<i>Figura XIII.</i> Apoyos más comunes, reacciones y grados de libertad.	51
<i>Figura XIV.</i> Convención de signos para los esfuerzos de cálculo matricial (arriba) y en resistencia de materiales (abajo).	53
<i>Figura XV.</i> Procedimiento para el análisis de datos y su posterior interpretación.	62
<i>Figura XVI.</i> Características del Modelo tipo 1 (Curvatura grado 01)	64
<i>Figura XVII.</i> Características del modelo tipo II (Curvatura grado 02)	65
<i>Figura XVIII.</i> Características del modelo tipo III (curvatura grado 03).	66
<i>Figura XIX.</i> Vista frontal del modelo 1.F.S. con nodos etiquetados.	84
<i>Figura XX.</i> Vista frontal del modelo 1.F.S. con elementos etiquetados.	87
<i>Figura XXI.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 1.F.S.	87
<i>Figura XXII.</i> Vista frontal del modelo 1.F.D. con nodos etiquetados.	89
<i>Figura XXIII.</i> Vista frontal del modelo 1.F.D. con elementos etiquetados.	91
<i>Figura XXIV.</i> Vista frontal sobre Vista frontal deformada del modelo 1.F.D.	91
<i>Figura XXV.</i> Vista frontal de modelo 1.M.S. con nodos etiquetados	92
<i>Figura XXVI.</i> Vista frontal del modelo 1.M.S. con elementos etiquetados.	94
<i>Figura XXVII.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 1.M.S.	94
<i>Figura XXVIII.</i> Vista frontal de modelo 1.M.D. con nodos etiquetados	94
<i>Figura XXIX.</i> Vista frontal del modelo 1.M.D. con elementos etiquetados.	96
<i>Figura XXX.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 1.M.D.	96
<i>Figura XXXI.</i> Vista frontal del modelo 2.F.S. con nodos etiquetados.	98
<i>Figura XXXII.</i> Vista frontal del modelo 2.F.S. con elementos etiquetados.	100
<i>Figura XXXIII.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.F.S.	100

<i>Figura XXXIV.</i> Vista frontal del modelo 2.F.D. con nodos etiquetados.	102
<i>Figura XXXV.</i> Vista frontal del modelo 2.F.D. con elementos etiquetados.	104
<i>Figura XXXVI.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.F.D.	104
<i>Figura XXXVII.</i> Vista frontal de modelo 2.M.S. con nodos etiquetados.	104
<i>Figura XXXVIII.</i> Vista frontal del modelo 2.M.S. con elementos etiquetados.	106
<i>Figura XXXIX.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.M.S.	106
<i>Figura XL.</i> Vista frontal de modelo 2.M.D. con nodos etiquetados	107
<i>Figura XLI.</i> Vista frontal del modelo 2.M.D. con elementos etiquetados.	109
<i>Figura XLII.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.M.D.	109
<i>Figura XLIII.</i> Vista frontal del modelo 3.F.S. con nodos etiquetados.	110
<i>Figura XLIV.</i> Vista frontal del modelo 3.F.S. con elementos etiquetados.	112
<i>Figura XLV.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.F.S.	112
<i>Figura XLVI.</i> Vista frontal del modelo 3.F.D. con nodos etiquetados.	114
<i>Figura XLVII.</i> Vista frontal del modelo 3.F.D. con elementos etiquetados.	116
<i>Figura XLVIII.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.F.D.	116
<i>Figura XLIX.</i> Vista frontal de modelo 3.M.S. con nodos etiquetados	116
<i>Figura L.</i> Vista frontal del modelo 3.M.S. con elementos etiquetados.	118
<i>Figura LI.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.M.S.	118
<i>Figura LII.</i> Vista frontal de modelo 3.M.D. con nodos etiquetados	119
<i>Figura LIII.</i> Vista frontal del modelo 3.M.D. con elementos etiquetados.	120
<i>Figura LIV.</i> Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.M.D.	121

RESUMEN

La presente investigación aborda el *Análisis de influencia de curvaturas de elementos para el comportamiento estático de estructuras reticulares de acero*, es decir cuánto influyen (reacciones, esfuerzos y desplazamientos), conforme cambia la relación flecha-luz (rebajamiento y curvatura), debido a que, en la idealización del modelo analítico estructural, a menudo se desprecia el rebajamiento de los elementos curvados, sin embargo la omisión de la curvatura se hace sin algún referente, dando como resultado respuestas con mucha incertidumbre, lo cual, en el mejor de los casos solo conlleva a deformaciones superiores a los límites normativos y en el peor al colapso de la estructura. Por tal razón en la presente investigación se realiza el análisis por el método de la rigidez en el software Matlab, de tres estructuras reticulares metálicas con tres diferentes grados de rebajamiento, de los mismos que se idealizan dos modelos estructurales de cada uno (considerando y despreciando curvaturas), así como también se considera dos condiciones de apoyo a cada modelo (fijo-fijo, fijo-móvil), dando como resultado 12 modelos analíticos. La estructura de la presente investigación está dividida en 09 capítulos: INTRODUCCIÓN, MARCO TEÓRICO, METODOLOGÍA, RESULTADOS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS y ANEXOS.

Palabras clave: Método de Rigidez, elementos en arco, Rebajamiento de arcos, elementos curvados, estructuras reticulares.

ABSTRACT

The present research addresses the Analysis of the influence of curvatures of elements for the static behavior of steel lattice structures, that is, how much they influence (reactions, forces and displacements), as the arrow-light relationship changes (lowering and curvature), because In the idealization of the structural analytical model, the lowering of the curved elements is often neglected, however the omission of the curvature is done without any reference, resulting in answers with a lot of uncertainty, which, in the best of cases it only leads to deformations exceeding the normative limits and in the worst to the collapse of the structure. For this reason, in the present investigation the analysis is carried out by the rigidity method in the Matlab software, of three metallic lattice structures with three different degrees of lowering, of which two structural models of each one are idealized (considering and neglecting curvatures), as well as two support conditions for each model (fixed-mobile, fixed-fixed), resulting in 12 analytical models. The structure of this research is divided into 09 chapters: INTRODUCTION, THEORETICAL FRAMEWORK, METHODOLOGY, RESULTS, DISCUSSION, CONCLUSIONS, RECOMMENDATIONS, BIBLIOGRAPHIC REFERENCES and ANNEXES.

Keywords: Stiffness method, arched elements, Recessing of arches, curved elements, lattice structures.

I INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda la subárea de la ingeniería civil que es la ingeniería estructural, en el estudio de las estructuras reticulares metálicas, específicamente el estudio de elementos estructurales en arco y la influencia que ejercen en el sistema estructural a la que pertenecen, en lo correspondiente al comportamiento estático.

La presente investigación tiene como problema general: ¿Cuánto influyen las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular de acero? y el objetivo planteado es: Determinar la influencia de las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular acero. La presente investigación nace y es motivada por los casos de obras de estructuras reticulares empíricas que se vienen dando en el valle del Chumbao.

Para el estudio se tiene como variable independiente a la *curvaturas de elementos* quienes influirán en el *comportamiento estático* de la estructura reticular de acero, para poder realizar el análisis la investigación se sustenta en diferentes teorías de la mecánica estructural, la estática estructural, y diferentes principios de la estática, además del cálculo matricial de estructuras. A continuación, se presenta una descripción de forma deductiva en donde se describe el panorama nacional, seguidamente la el de la industria de la construcción y en seguida la rama de la ingeniería estructural y su ejecución.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) el sector de la construcción ha tenido un crecimiento, especialmente en estos dos últimos años. Para el presente año mostrará un mayor ritmo de crecimiento, alcanzando una variación positiva de 6.7%, revelando así un avance por tercer año consecutivo, así lo indica el Instituto de Economía y Desarrollo Empresarial (IEDEP) de la Cámara de Comercio de Lima (CCL). Para las construcciones de estructuras metálicas se prevé también crecimiento.

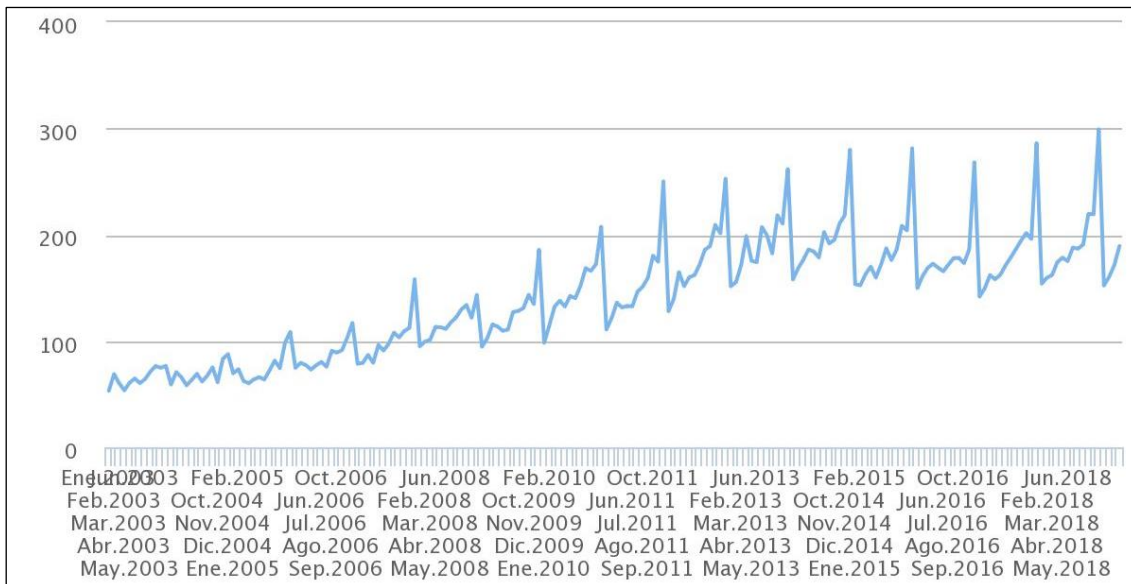


Figura 1. Producto bruto interno y demanda interna del sector construcción de enero 2003 al abril 2019.

Fuente: Banco Central de Reserva del Perú.

El crecimiento de las estructuras metálicas se ha visto influenciado por el cambio climático, el congreso de la república ha dado la ley N° 30102 “Ley que dispone medidas preventivas contra los efectos nocivos para la salud por la exposición prolongada a la radiación solar”, el cual ha impulsado la ejecución de obras de cubierta metálica en las instituciones educativas y en instituciones en general. Además El promotor de Tubest de Tupemesa, en una sección de la revista Perú Construye Numero 48, señaló “Nosotros particularmente, con nuestro sistema constructivo Tubest, hemos tenido un buen año acompañado no solo de proyectos para el sector industrial – que es el de mayor dinamismo debido a la oferta de grandes parques industriales- , sino también porque hemos desarrollado otro tipo de estructuras como, por ejemplo, coliseos para colegios” y resaltó también los beneficios del acero como material de construcción al ser más versátil, ligero y rápido.

Actualmente el uso de estructuras reticulares metálicas “curvadas” están presentes en la mayoría de las estructuras más representativas de nuestra localidad entre ellas: el Coliseo Nación Chanka, El Polideportivo del Colegio Gregorio Martinelly y decenas de cubiertas de losas deportivas a lo largo del valle del Chumbao.



Figura II. Polideportivo del Colegio Gregorio Martinelly, de la ciudad de Andahuaylas.
Fuente: Elaboración propia.

Resaltando los beneficios de las estructuras reticulares metálicas nos enfocaremos en su versatilidad en cuanto a forma y diseño, ya que es posible alcanzar cualquier forma y, en el diseño también nos da una gran gama de posibilidades por sus generosas propiedades mecánicas y físicas. Es por ello que muchos de los elementos de estas estructuras ya sea por la forma de ejecución (Rolado) o el diseñador lo haya concebido así.



Figura III. Se visualiza máquina roladora de tubos, perfiles, para uso estructural y de cerrajería metálica.

Fuente: Elaboración propia.

El uso en el valle del Chumbao, sin embargo, es a menudo empírica y en muchos casos no cuenta con la participación de profesionales especialistas en el tema, a menudo hasta en ninguna fase del proyecto, razón por la que en la mayoría de los casos las estructuras reticulares no cumplen con los requisitos mínimos de seguridad estructural, calidad, funcionalidad y en muchos casos se encuentran sobredimensionados parcialmente y en otros por el contrario subdimensionados también parcialmente.

La realidad local en torno al tema que nos atañe en esta investigación, es de la siguiente forma: en la idealización de los modelos analíticos de la estructura, los elementos no son considerados curvos, sino más bien líneas rectas, líneas abajo se muestra tres modelos con diferentes rebajamientos, en los cuales se puede apreciar que a medida que aumenta el rebajamiento hay mayor diferencia entre lo analizado y lo ejecutado.

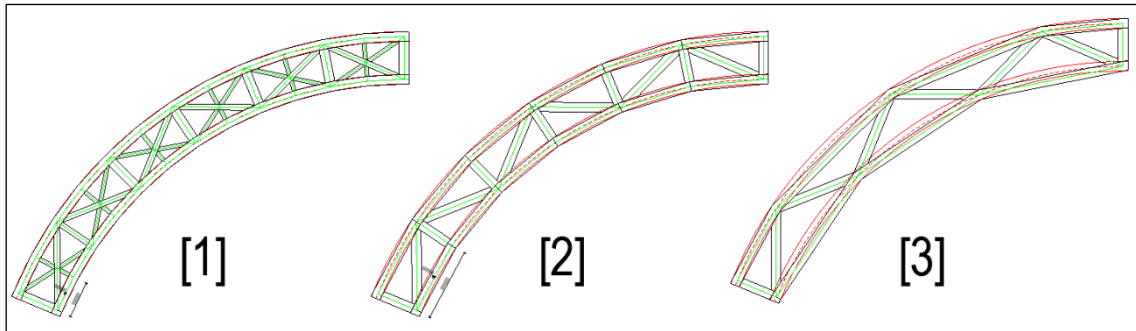


Figura IV. Superposición de modelos: Analítico(verde) y ejecutado(rojo) con un rebajamiento de 0.012, 0.024 y 0.048 de izquierda a derecha.

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia entre lo idealizado en el modelo estructural versus la ejecución, acarrea esfuerzos y deformaciones diferentes a las concebidas en el análisis y diseño del proyecto.

Por lo expuesto en párrafos previos nace la necesidad de cuantificar la influencia de la curvatura de elementos estructurales en estructuras reticulares metálicas, la influencia en el comportamiento estructural, es decir determinar los esfuerzos internos y desplazamientos que acarrea en la estructura en general. De manera que a continuación se formula el problema de investigación.

Para la presente investigación como problema general tenemos: ¿Cuánto influyen las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020?, mientras que como problemas específicos tenemos: ¿Cuáles son las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020? y ¿Cuáles son variaciones de las reacciones, desplazamientos nodales y esfuerzos internos de estructura reticular de acero, Andahuaylas Perú, 2020?.

Los objetivos para las preguntas planteadas son los siguientes, como objetivo general tenemos: “Determinar la influencia de las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular acero”, y como específicos tenemos: “Determinar las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020” y Calcular las variaciones de los reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.

Las hipótesis son las siguientes, como hipótesis general tenemos: La influencia de las curvaturas de elementos en el comportamiento estático de estructura reticular, no es directa y proporcional, y como hipótesis específicas tenemos: “las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos se encuentran entre 0.05 - 0.1 y 1/2 - 1/10 en estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.” y “Las variaciones de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos no son proporcionales directamente a la curvatura de los elementos estructurales de acero, Andahuaylas, Perú, 2020

La justificación de la presente investigación se da esencialmente porque aporta información e impacta directa o indirectamente a los siguientes componentes:

El tiempo, factor imprescindible en todo aspecto de la vida. En ingeniería civil específicamente en el área de análisis y diseño estructural; tanto el análisis, en su idealización y concepción como modelo analítico apto para su análisis mediante las diferentes metodologías, y diseño requieren de un tiempo considerable proporcional a la magnitud, complejidad y tecnología. La investigación recoge casos de estructuras más usadas en la zona y servirá de referencia para casos similares.

La belleza con las sensaciones de deleite, así como también las de seguridad. En nuestro recorrido, hemos visto: pilares notoriamente inclinados, techos que se fueron extendiendo con el tiempo, así como miembros estructurales que sobresalen, rompiendo el esquema de armonía, las observaciones expuestas en muchos casos no representan riesgos, pero emiten sensaciones de inseguridad y rompen la armonía, y con ella la belleza.

La experiencia, si bien es cierto que una experiencia personal es más transformadora que una de otro profesional, no podemos menos valorar las experiencias registradas en las diferentes literaturas, así como tampoco podemos negar que el desarrollo del mundo actual siempre se ha apoyado en la experiencia de las distintas personas que nos han legado de diferentes formas.

II MARCO TEÓRICO

Antecedentes del problema

Antecedentes Internacionales

(González Meza 2016) realizó la investigación “Estructuras de retícula triangular. Transformaciones constructivas de las edificaciones” con la finalidad de optar el grado de doctor en la Universidad Politécnica de Madrid – España. Cuyo trabajo, llegó a las siguientes conclusiones:

“Los criterios de la reticulación triangular han sido la solución del desarrollo de superficies arquitectónicas como elementos estructurales y cuyo desarrollo en geometrías no lineales han permitido aportar no solamente una solución de construcción de superficies complejas no desarrollables al establecer una superficie continua inscrita en una superficie alabeada que no podían definirse mediante líneas curvas tipo NURBS, sino una solución universal para cualquier tipo de geometrías imaginadas por los diseñadores.

Convirtiéndose en el principal punto de cambio de las transformaciones constructivas en el camino hacia el diseño de propuestas ilimitadas de generación de formas en la arquitectura contemporánea, logrando que las estructuras trabajen a trabajo simple, lo que permite una mejor optimización del funcionamiento estructural y el empleo de los recursos e insumos necesarios para la construcción de la estructura.

Y es precisamente en esta transformación del plano al espacio, por medio de la aplicación de mallas estructurales en conjunto con el desarrollo de los nodos fabricados por medios industrializados que logran modular las retículas y por lo tanto las estructuras, lo que permitirá que las transformaciones geométricas simples den un paso a formas complejas iniciadas con el diseño de cubiertas de doble curvatura, y que por medio de la optimización de la técnica de diseño con la utilización de curvas complejas de formas libres (NURBS, Bezier, B-Spline) aplicando tecnologías digitales, dando como resultado otra transformación en las estructuras reticulares, desarrollada por la revolución digital de finales del siglo XX.

Para comprobar la hipótesis y cumplir el objetivo general se determinan los factores que influyen en el desarrollo de la forma dando solución así a una conclusión al primer objetivo particular planteado:

Un primer factor son las diferentes tipologías reticulares, que tienen como base modular al triángulo, siendo las tipologías de una y dos capas en 3 y 4 direcciones las más empleadas, al permitir mayor adaptabilidad a la forma diseñada, además de desarrollar una evolución de la forma en búsqueda de las geometrías complejas relacionada con las estructuras diseñadas internacionalmente.

Un segundo factor es el desarrollo de los nodos y las barras, que al inicio de la segunda mitad del siglo XX, el nodo MERO y el nodo Triodetic se convierten en los sistemas de unión que permiten mayor flexibilidad en la búsqueda de formas complejas, y la solución óptima otorgada a las barras por medio de una evolución tecnológica durante este periodo, alcanzada con el desarrollo de tubulares de diferentes secciones, combinando en algunos casos las diferentes propuestas fabricadas, lo que permite un perfeccionamiento de los sistemas estructurales que son capaces de adaptarse a las diferentes geometrías.

Un tercer factor es la técnica de generación de la geometría, que en conjunto con herramientas de diseño, principalmente digitales, influyen en la técnica de generación geométrica utilizada en la solución estructural, logrando dar respuesta a las formas proyectadas.

Un cuarto y último factor que influye en la evolución y desarrollo de las estructuras reticulares triangulares es el empleo del sistema estructural correcto capaz de adaptarse a la forma diseñada, directamente influenciada por la técnica de diseño.

El segundo objetivo se cumple con el trabajo de investigación iniciado desde un contexto histórico al determinar la primera transformación estructural a principios del siglo XIX con el inicio de la Revolución Industrial y el desarrollo de celosías aplicadas a elementos lineales, formando vigas capaces de soportar grandes cargas, basándose en módulos triangulares, concluyendo con un

proceso de transformación aplicado a superficies continuas reticulares de formas complejas.

Este periodo sirve para establecer a las superficies no desarrollables, al ser definidas como soluciones estructurales transformadas de las superficies planas, relacionando así de manera inequívoca la geometría con la estructura.

Al ser inicialmente soluciones lineales, como vigas de puentes para ferrocarriles (Castriotto, Celani y Silva 2020), estas soluciones lineales definen superficies de grandes dimensiones, teniendo que arriostrarse para estabilizarse, y esta estabilización será formada por una triangulación que es proyectada sobre soluciones estereométricas o estereotómicas estructurales, al proyectar la fuerza de la gravedad y transmitiéndola de una manera continua por medio de un sistema estructural continuo y donde la continuidad constructiva es completa. Convirtiéndose este proceso en un primer paso de transformación del plano a la superficie.

El siguiente paso es la definición de las superficies no desarrollables, es decir las que no son susceptibles a desarrollarse en un plano como superficies alabeadas de formas complejas o de alto grado de indeterminación y que son únicamente definibles por curvas complejas (NURBS), este salto también va a plantear la condición del hecho de que las estructuras espaciales se difundirán por medio de la definición de las grandes losas y estructuras soportantes en los años 1960's, extendiéndose de las estructuras de una capa o de dos capas a estructuras espaciales de condiciones genéricas de diversas capas y diversos elementos estructurales, como en las propuestas de Archigram.

Finalmente, el último paso de transformación en la generación de la estructura espacial de superficies no desarrollables a superficies de geometrías complejas de los años 1990's, teniendo en la triangulación una nueva identidad aparentemente bidimensional, pero teniendo una

tercera componente o coordenada que plantea una nueva problemática solucionada con la tecnología digital.

Con esas consideraciones en la transformación de las superficies planas a las mallas espaciales y después a las superficies de geometrías complejas, se retoma el concepto de las estructuras monocapa, por lo tanto, el problema está en la estabilización de las formas autoportantes de los sistemas monocapa. De esta situación se concretan las condiciones de las necesidades de las superficies de grandes dimensiones de condiciones espaciales, siguiendo la forma diseñada y recuperando la estabilidad perdida de los sistemas bicapa en formas de geometrías complejas, donde el último salto serán las estructuras reticulares de tipología espacial y geometría compleja tomando como ejemplo el Heidar Aliyev Center donde se plantea una estructura espacial bicapa.

Concluyendo que el principal punto de cambio que determina la transformación de las estructuras reticulares triangulares es el empleo de los elementos lineales de principios del siglo XIX, evolucionando a estructuras diseñadas en un plano surgidas a mediados del siglo XIX conformando consecutivamente las vigas cajón, para posteriormente continuar esta evolución a una tipología más eficiente de las estructuras reticulares triangulares, con el desarrollo de las estructuras Diagrid por V. Shukhov.

Tipología reticular que se consolida cuando las estructuras reticulares ligeras cambian del plano a superficies y posteriormente al espacio a mediados del siglo XX, con el diseño de superficies no desarrollables de geometría compleja también aplicado a estructuras de altura, lo que determina la importancia de delimitar el inicio del estudio durante la segunda mitad del siglo XX y concluyendo a principios del siglo XXI.

Con la determinación de los elementos lineales como origen de todas las transformaciones arquitectónicas de las estructuras reticulares triangulares, se establecen las soluciones basadas en la industrialización y la prefabricación, como las técnicas que influyen en

el desarrollo de las estructuras ligeras posteriores a la Segunda Guerra Mundial, situándose como un hecho histórico determinante que detona el inicio de la mayor transformación en las estructuras del siglo XX, teniendo como resultado una gran variedad de soluciones.

Estas soluciones reticulares inmediatas fueron la aplicación de nuevos materiales ligeros, económicos y de fácil aplicación como el aluminio, plásticos y textiles entre otros, y que en conjunto con la transformación de la industria para la fabricación de elementos de unión y modulares prefabricados facilitando así la construcción por medio de la mecanización de los procesos de fabricación, disminuyendo los costos de fabricación y de construcción, además del aligeramiento de las estructuras, técnicas que influyen en la posterior transformación de las estructuras reticulares ligeras del siglo XXI, que exigieron el diseño de nuevas formas cada vez más complejas.

El tercer objetivo se concluye al determinar en base al desarrollo y evolución de los sistemas estructurales empleando la retícula triangular para dar solución a las nuevas formas de geometrías complejas que se están diseñando en la actualidad, estas transformaciones han sido determinadas en base al estudio de los principales factores que influyen en la metamorfosis de las estructuras ligeras reticulares, concluyendo en propuestas complejas de fácil solución estructural como es el desarrollo de las cascaras de formas libres y las torres de altura solucionadas por el sistema Diagrid, cuyo auge iniciaría a principios del siglo XXI. Esta metamorfosis plantea una solución de propuestas geométricas infinitas basadas en formas complejas y no complejas que darán solución a cualquier tipología estructural y proyectual.

Dando como resultado que la retícula triangular aplicada en la arquitectura se convierta en una de las herramientas principales que determinan el éxito o fracaso de las propuestas contemporáneas, proponiendo 4 líneas futuras de investigación y que se irán consolidado en los próximos años:

El diseño y construcción de estructuras Diagrid aplicadas en edificios de altura, propuesta que plantea nuevos retos en la solución de estructuras de altura y la delimitación de las formas desarrollables posibles.

Un factor determinante para determinar la importancia de las mallas triangulares son las infinitas propuestas de forma utilizadas a las estructuras laminares, cuya proyección abre un panorama amplio de investigación al no haber una limitante en las propuestas geométricas, por lo que estudios geométricos y estructurales aplicando estructuras reticulares para su solución plantean la obtención de ilimitadas conclusiones y estudios futuros.

El diseño y fabricación de nuevas propuestas de unión y barras ampliamente ligado a la línea de investigación anterior, por lo que la propuesta de nuevos diseños y tecnologías aplicadas a uniones y barras plantea una línea de investigación que busque la optimización de los recursos pero sobre todo maximice la rigidez de las estructuras sin demeritar la elegancia de una estructura y limite su geometría.

La necesidad de una comparación y estudio de propiedades de tres diferentes tipologías reticulares contemporáneas utilizada para el diseño de formas complejas para poder determinar la eficiencia de cada una de ellas y sus posibles limitantes: las retículas triangulares, ortogonales y hexagonales.

Finalmente se determina que la retícula triangular se ha consolidado como un factor determinante en la solución estructural de cubiertas y estructuras soportantes de diferentes geometrías, al presentar un presente y futuro prometedor inmediato, al fortalecerse como una solución eficiente y universal para dar respuesta a cualquier propuesta estructural y geometría diseñada por muchos años más, siendo el triángulo un módulo a contemplar para dar solución a cualquier necesidad estructural.”(González Meza, 2016,p.468)

(López 2003) realizó el trabajo de grado *“Modelo de elementos finitos para el cálculo de arcos. Validación en estructuras agroindustriales de acero.”* para optar el grado académico de Doctor en la Universidad de Castilla - La Mancha, Ciudad Real, España. Las conclusiones son las siguientes:

“Desde el punto de vista estético, es difícil diferenciar entre una parábola de segundo grado y un arco de circunferencia, a igualdad de luz y de flecha. Las diferencias son prácticamente imperceptibles. Basta para ello analizar los puntos en los que se discretiza un arco parabólico y un arco circular.

En las tablas 7.48 y 7.49 se presenta la discretización efectuada en arcos de 30 y 40 m de luz, con flechas de 5 m, que se corresponde a rebajamientos de 1/6 y 1/8, respectivamente. Puede comprobarse que los cambios de las coordenadas se producen en el primer o segundo decimal, esto es, en los decímetros o en los centímetros, lo que teniendo en cuenta las luces importantes que se manejan hace que sea difícil determinar a simple vista cuál es la directriz parabólica y cuál es la circular.

Tabla 1
Comparación entre las directrices circular y parabólica en arcos de 10m de luz y 5 de flecha discretizados en 10m

Nodo	Arcos Circulares		Arcos Parabólicos	
	x(m)	z(m)	x(m)	z(m)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	2.691	1.760	2.744	1.662
2	5.586	3.160	5.636	3.051
3	8.636	4.176	8.665	4.108
4	11.791	4.793	11.804	4.773
5	15.000	5.000	15.004	5.000
6	18.209	4.793	18.205	4.772
7	21.364	4.176	21.343	4.106
8	24.414	3.160	24.372	3.048
9	27.309	1.760	27.263	1.658
10	30.000	0.000	30.000	0.000

Fuente.(López 2003)

Tabla 2

Comparación entre las directrices circular y parabólica en arcos de 40m de luz y 5m de flecha, discretizados en 10 tramos

	Arcos circulares		Arcos Parabólicos	
	x(m)	z(m)	x(m)	z(m)
0	0.000	0.000	0.000	0.000
1	3.765	1.777	3.790	1.715
2	7.685	3.177	7.709	3.111
3	11.724	4.186	11.738	4.147
4	15.842	4.796	15.848	4.785
S	20.000	5.000	20.003	5.000
6	24.158	4.796	24.157	4.784
7	28.276	4, 186	28.268	4.146
8	32.31S	3.177	32.297	3.110
9	36.235	1.777	36.215	1.713
10	40.000	0.000	40.000	0.000

Fuente.(López 2003)

En principio se justifica la utilización de la parábola frente a la circunferencia porque representa la curva antifunicular de una carga uniformemente repartida sobre el arco. Sin embargo, al someter a un arco parabólico y a otro circular a la misma hipótesis de carga, no necesariamente vertical, se puede comprobar cómo efectivamente los esfuerzos en el arco parabólico son menores que en el circular, pero realmente en una pequeña magnitud.

Con respecto a las condiciones de sustentación, es tradición el alabar el mejor comportamiento del arco biempotrado frente al biarticulado (Torroja, 1996; Fernández Casado, 1955). Atendiendo únicamente a resistencia, si la sección de los arcos es constante, la influencia de la directriz es superior a la que tiene las condiciones de sustentación. Los esfuerzos tampoco difieren excesivamente entre un arco biempotrado y el mismo arco con los extremos apoyados. Sin embargo, sí son mayores las deformaciones que experimenta el arco biarticulado frente al de extremos empotrados. Sin embargo, si se analiza el pandeo, se puede constatar una mayor resistencia ante este fenómeno en arcos empotrados que en arcos biarticulados, lo que se manifiesta en mayores valores de las cargas críticas de pandeo que se obtienen en arcos biempotrados.

Introducidos en el problema del pandeo, puede asegurarse la mayor resistencia de los arcos parabólicos (Cortés 2016; Tumialan 2016), frente a los circulares, con independencia de las condiciones de sustentación.

De los análisis efectuados utilizando la metodología de los autovalores, se propone la tabla 7.50 para la determinación de la carga crítica de pandeo en arcos parabólicos y circulares, a través de un coeficiente K_{cr} .

Tabla 7.50 Coeficiente K_{cr} para la determinación de la carga crítica q_{cr} en arcos simétricos.						
Tipología		Rebajamiento				
		1/5	1/6	1/7	1/8	1/10
Arcos parabólicos	Biempotrados	131.2	109.8	94.4	82.9	66.8
	Biarticulados	57.5	49.5	43.2	38.2	31.0
Arcos circulares	Biempotrados	130.1	109.0	93.8	82.4	66.6
	Biarticulados	58.8	50.3	43.7	38.6	31.3

$$q_{cr} = K_{cr} \cdot \frac{E \cdot I}{L^3} \quad [7.6]$$

Figura V. Tabla 7.50; Fuente. (López 2003)

siendo E el módulo de elasticidad del acero, I el momento de inercia del perfil elegido y L la longitud del arco, que se puede obtener de las tablas 7.20 y 7.21, dependiendo de la directriz del arco.

A partir de este valor también se puede obtener el del esfuerzo axial crítico, recurriendo a la expresión [7.2] y a las tablas 7.22 y 7.23, donde se recoge el valor de α en los arcos estudiados.

Por último, la utilización del método de los elementos finitos ha sido una perfecta excusa para introducirme en un mundo lleno de posibilidades, en el que quizás las estructuras de barras sean el ámbito en que su aportación sea menor, pues es cubierto con sistemas matriciales tradicionales. (Savira y Suharsono 2013; BUENO y LORIGGIO 2016)

El elemento de pórtico plano, tanto el que sigue la formulación de Timoshenko como el que se define en función del modelo de Euler-Bernoulli (Andreaus et al. 2018; Pydah y Sabale 2017; Stoykov 2018; Roy Chowdhury y Reddy 2019), muestra una belleza innegable en su definición, en su desarrollo y en la sencillez de aplicación. La secuencia que conduce a la obtención de todas las expresiones, alterada para introducir los conceptos matemáticos necesarios, culmina con unas aplicaciones informáticas sencillas, desarrolladas en la hoja de

cálculo Microsoft Excel, que permiten calcular los arcos introduciendo el menor número de datos posible.

El elemento de pórtico plano, tanto el que sigue la formulación de Timoshenko como el que se define en función del modelo de Euler-Bernoulli, muestra una belleza innegable en su definición, en su desarrollo y en la sencillez de aplicación. La secuencia que conduce a la obtención de todas las expresiones, alterada para introducir los conceptos matemáticos necesarios, culmina con unas aplicaciones informáticas sencillas, desarrolladas en la hoja de cálculo Microsoft Excel, que permiten calcular los arcos introduciendo el menor número de datos posible.”(López, 2003,p.90)(Marinelli et al. 2018)

Antecedentes Nacionales

(Carrasco Angulo 2011) realizó la investigación “Metodología para el análisis estático y dinámico de estructuras metálicas aplicando el método de los elementos finitos” con la finalidad de optar el título de Ingeniero Mecánico, en la Pontificia Universidad Católica del Perú en la ciudad de Lima cuyo trabajo, llegó a las siguientes conclusiones:

“La metodología propuesta es aplicable a aquellas estructuras no convencionales en etapa de diseño (previa a su fabricación), considerando la pre selección de sus miembros estructurales y la configuración de estos en el sistema que componen. Esto asume o presupone un comportamiento elástico–lineal del sistema, para poder aplicar las ecuaciones gobernantes de la mecánica de sólidos deformables. En efecto, es factible aplicar la metodología a estructuras existentes si se asume la misma hipótesis de diseño.

La metodología propuesta constituye una nueva y eficiente alternativa para el diseñador porque adecúa los criterios de diseño de las normas para aplicarlos a las estructuras no convencionales. También porque se basa en el MEF para lograr resultados óptimos. Ambos aspectos se comprobaron en el ejemplo de validación de ésta.

En el ejemplo de análisis se logró obtener los estados de resistencia más críticos sobre el sistema, luego de adecuar cinco de las ocho combinaciones de cargas establecidas por la norma AISC–LRFD. Esto al superponer linealmente

las dos cargas dinámicas pulsantes del sistema con sus correspondientes factores de carga estimados en función de la precisión del cálculo de las mismas. Las cargas factorizadas resultantes se definieron asignando un factor de carga de 1,1 para ambas cargas.

Es preferible analizar estructuras no convencionales con el mayor número de estados o combinaciones de cargas para abarcar, en consecuencia, el mayor número de estados críticos de diseño. En el ejemplo de validación de la metodología se generaron veinte combinaciones de cargas, en vez de las cinco (aplicables para este caso particular) de las ocho establecidas por la AISC–LRFD. Ahora, el MEF permite considerar el estado envolvente de todas ellas, es decir, todas las posibles combinaciones que se puedan generar matemáticamente. Sin duda, el MEF logra generar resultados más confiables que los métodos clásicos.

Como resultado del análisis sísmico, se logró cuantificar la respuesta del sistema ante un sismo espectral. Éste último fue modelado a través de las ecuaciones gobernantes del análisis modal, integradas en cualquier software basado en el MEF. La cortante basal o carga sísmica alcanzó un valor de 6,5 ton-f que comparado con el peso total de la estructura de anclaje (14 ton-f) es bastante alto. Sin embargo, es la misma conclusión a la que llega la NTE E.030 que la sustenta en función de que las estructuras van a experimentar, durante un sismo de intensidad moderada, posibles daños dentro de límites inelásticos aceptables. Esto se comprueba en el ejemplo de análisis, pues producto de la cortante basal, los tramos correspondientes a las columnas verticales e inclinadas en el primer nivel de la estructura están cerca de no cumplir con la resistencia última ($SR = 0,412$), según AISC–LRFD, con lo cual se concluye que estos tramos de columnas podrían deformarse inelásticamente durante un sismo moderado.

El MEF permite calcular indirectamente un parámetro importante contemplado en la NTE E.030: el periodo fundamental del sistema, a partir del cual se determinará la distribución espacial de la carga sísmica; aún cuando ésta es aplicada inicialmente en los apoyos. El resultado del cálculo determina un valor del periodo fundamental de 0,37 s, con lo cual se concluye que la cortante

basal no se distribuirá espacialmente, pues el periodo es menor a 0,7 s. Por lo tanto, el análisis sísmico no es alterado por este parámetro.”(Carrasco C., 2011, p.89)

Bases teóricas

Sistemas de estructuras

“De todos los elementos que componen una forma material rígida – casa, máquina, árbol o cualquier ser animado -, la estructura es el más esencial. Sin la estructura, la forma material no puede ser preservada, y sin preservar la forma, al organismo interior no le es posible funcionar. De aquí se infiere la imposibilidad de existencia de ningún organismo, animado o inanimado, al no haber estructura.”(Engel, 1979,p.12)

Según la clasificación de los sistemas de estructuras de Engel, se encuentran: Sistemas de forma activa (arcos funiculares, catenarias), sistemas de vector activo (celosías, armaduras), sistemas de masa activa (vigas, pórticos), sistema de superficie activa (superficies resistentes a compresión, tracción y cortante), sistemas estructurales verticales (son una combinación de dos o más sistemas antes mencionados). De los sistemas mencionados pasaremos a desarrollar los tres primeros ya que se acercan al tema de investigación de alguna forma.

Sistemas de estructuras de forma activa

“La característica de los sistemas estructurales de forma activa es, pues, que ellos vuelven a encauzar las fuerzas exteriores por medio de simples tensiones axiales: el arco por compresión y el cable colgante por tracción.”(Engel, 1979,p.19)

Tanto el arco funicular como la catenaria son ejemplos claros de este sistema. El arco funicular que depende de la carga impuesta, es decir para cada condición de carga existe una respectiva directriz. Mientras que la catenaria será la misma para distintas magnitudes de carga de una misma distribución.

Como ya hemos mencionado en el párrafo anterior existen y pueden existir sistemas de estructuras que sean puramente de forma activa, es decir,

que los esfuerzos dentro de la estructura sean compresiones o tracciones, sin embargo, la realidad de las estructuras civiles y las solicitaciones son dinámicas y por tanto variables, esto hace que aparezcan esfuerzos combinados.

Sistemas estructurales de vector activo

“Elementos cortos, sólidos y rectos, es decir piezas lineales, son componentes estructurales, los cuales, debido a su reducida sección en relación con su longitud, pueden transmitir solamente esfuerzos en la dirección de esta, es decir esfuerzos axiales como compresión y tracción.”(Engel, 1979,p.71)

Este sistema estructural es lo que también llamamos sistemas estructurales reticulares y consiste esencialmente en la disposición de elementos prismáticos en forma triangular. La forma triangular la hace estable y es a través de esta configuración bidimensional es posible extenderla hacia el tridimensional. Basado en esta configuración básica se nos abre infinitas posibilidades de forma con ventajas valiosas a nivel de comprensión del funcionamiento de la estructura y ejecución de esta.

Con los avances científicos y tecnológicos este sistema estructural es uno de los de mayor futuro, ya que se alinea con las tendencias, prefabricación y aprovechamiento máximo del espacio, del desarrollo de las ciudades del futuro y implícita en ella las estructuras que las sostendrán.

Sistemas estructurales de masa activa

“Los elementos lineales rectos, cuando están dotados de resistencia, pueden realizar funciones estructurales. Con resistencia a compresión pueden emplearse como barras comprimidas, y con resistencia a tracción, como barras extendidas. Si, además, están provistas de resistencia a la flexión pueden emplearse como vigas.

La viga recta apoyada en sus dos extremos es un prototipo de los sistemas estructurales de masa activa.”(Engel, 1979, p. 107)

Los pórticos estructurales, los marcos estructurales, las vigas continuas son ejemplos conocidos usados con mucha frecuencia en las arquitecturas

actuales y es uno de los sistemas con mayor normalización en el reglamento nacional, como materiales predominantes tenemos el concreto, el acero, la madera, etc.

Fundamentos de la mecánica estructural

Introducción

“Las ecuaciones fundamentales de la mecánica estructural pueden ser clasificadas en tres categorías. En primer lugar, la relación esfuerzo-deformación contiene información sobre las propiedades de los materiales que deben ser evaluadas mediante experimentos de laboratorio o de campo. En segundo lugar, la estructura global, cada elemento, y cada partícula infinitesimal dentro de cada elemento deben estar en equilibrio de fuerzas en su posición deformada. En tercer lugar, se deben cumplir las condiciones de compatibilidad de desplazamiento.”(Wilson, 2004,p.1-1)

Propiedades de los materiales

Materiales Anisotrópicos

“Las relaciones lineales esfuerzo-deformación contienen las constantes de las propiedades de materiales, que únicamente pueden ser evaluadas a través de experimentos de laboratorio o de campo. Las propiedades mecánicas para la mayoría de los materiales comunes, tales como el acero, son bien conocidas, y se definen en función de tres números: el módulo de elasticidad E , la relación de Poisson ν , y el coeficiente de dilatación térmica α . Además, el peso específico w y la densidad ρ se consideran propiedades fundamentales de los materiales.”(Wilson 2004)

La convención de los esfuerzos para fines de estudio se muestra:

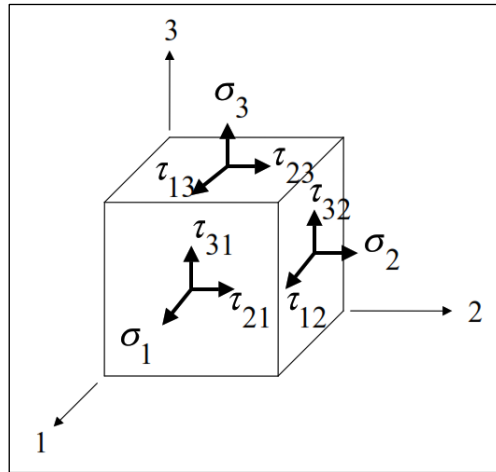


Figura VI. Cubo Diferencial de esfuerzos
Fuente. (Wilson, 2004,p.2)

El cubo diferencial mostrado en la Figura X, es una representación aproximada de los esfuerzos en un material alrededor de un punto cualquiera en el interior de un cuerpo.

El significado de la notación $\sigma_1 = \sigma_{11}, \sigma_2 = \sigma_{22}, \sigma_3 = \sigma_{33}$ es el siguiente: el primer subíndice indica el plano (la normal que lo atraviesa) en el que la componente del vector esfuerzo actúa, mientras que el segundo subíndice indica la dirección de dicho componente, de manera que podemos leer de la siguiente manera:

σ_1 : Esfuerzo actuante en la cara 1 (positiva y negativa), en la dirección 1

τ_{12} : Esfuerzo actuante en la cara 1 (positiva y negativa), en la dirección 2

τ_{13} : Esfuerzo actuante en la cara 1 (positiva y negativa), en la dirección 3

σ_2 : Esfuerzo actuante en la cara 2 (positiva y negativa), en la dirección 2

τ_{21} : Esfuerzo actuante en la cara 2 (positiva y negativa), en la dirección 1

τ_{23} : Esfuerzo actuante en la cara 2 (positiva y negativa), en la dirección 3

σ_3 : Esfuerzo actuante en la cara 3 (positiva y negativa), en la dirección 3

τ_{31} : Esfuerzo actuante en la cara 3 (positiva y negativa), en la dirección 1

τ_{32} : Esfuerzo actuante en la cara 3 (positiva y negativa), en la dirección 2

Adicionalmente a los esfuerzos $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ se les llama esfuerzos normales, en tanto que a los $\tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{21}, \tau_{23}, \tau_{31}, \tau_{32}$ suele llamarles esfuerzos cortantes.

Por definición, todos los esfuerzos vienen dados en unidades de fuerza/unidad de área. En notación matricial, los seis esfuerzos independientes pueden ser definidos mediante:

$$\mathbf{f}^T = [\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \sigma_3 \quad \tau_{21} \quad \tau_{31} \quad \tau_{23}] \quad (2.1)$$

De la condición de equilibrio se deduce, $\tau_{21} = \tau_{12}, \tau_{31} = \tau_{13}, \tau_{23} = \tau_{32}$. Las seis deformaciones son:

$$\mathbf{d}^T = [\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \varepsilon_3 \quad \gamma_{21} \quad \gamma_{31} \quad \gamma_{23}] \quad (2.2)$$

“La forma más general de la relación tridimensional esfuerzo-deformación para materiales estructurales lineales sujetos tanto a los esfuerzos mecánicos como a cambios de temperatura puede expresarse de manera matricial como”(Wilson 2004):

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{21} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{V_{12}}{E_2} & -\frac{V_{13}}{E_3} & -\frac{V_{14}}{E_4} & -\frac{V_{15}}{E_5} & -\frac{V_{16}}{E_6} \\ -\frac{V_{21}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & -\frac{V_{23}}{E_3} & -\frac{V_{24}}{E_4} & -\frac{V_{25}}{E_5} & -\frac{V_{26}}{E_6} \\ -\frac{V_{31}}{E_1} & -\frac{V_{32}}{E_2} & \frac{1}{E_3} & -\frac{V_{34}}{E_4} & -\frac{V_{35}}{E_5} & -\frac{V_{36}}{E_6} \\ -\frac{V_{41}}{E_1} & -\frac{V_{42}}{E_2} & -\frac{V_{43}}{E_3} & \frac{1}{E_4} & -\frac{V_{45}}{E_5} & -\frac{V_{46}}{E_6} \\ -\frac{V_{51}}{E_1} & -\frac{V_{52}}{E_2} & -\frac{V_{53}}{E_3} & -\frac{V_{54}}{E_4} & \frac{1}{E_5} & -\frac{V_{56}}{E_6} \\ -\frac{V_{61}}{E_1} & -\frac{V_{62}}{E_2} & -\frac{V_{63}}{E_3} & -\frac{V_{64}}{E_4} & -\frac{V_{65}}{E_5} & \frac{1}{E_6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{21} \\ \tau_{31} \\ \tau_{23} \end{bmatrix} + \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{31} \\ \alpha_{23} \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

O en forma matricial simbólica:

$$\mathbf{d} = \mathbf{C}\mathbf{f} + \Delta T\mathbf{a} \quad (2.4)$$

La matriz \mathbf{C} se conoce como la matriz de correlación, y puede considerarse como la definición más fundamental de las propiedades de materiales porque todos los términos pueden ser evaluados directamente a través de sencillos experimentos de laboratorio. Cada columna de matriz \mathbf{C} representa las deformaciones causadas por la aplicación de un esfuerzo unitario (I et al. 2019). El incremento de temperatura ΔT viene dado en referencia a la temperatura a esfuerzo cero. La matriz \mathbf{a} indica las deformaciones causadas por un incremento unitario de temperatura.

Uso de las propiedades de los materiales en programas de computadora

“La mayoría de los programas modernos de computadoras para el análisis de elementos finitos exigen que los esfuerzos sean expresados en términos de las deformaciones y cambios de temperatura.

$$\mathbf{f} = \mathbf{E}\mathbf{d} + \mathbf{f}_0 \quad (2.5)$$

Donde $\mathbf{E} = \mathbf{C}^{-1}$. Por lo tanto, los esfuerzos térmicos de cero-deformación se definen como sigue:

$$\mathbf{f}_0 = -\Delta T \mathbf{E} \mathbf{a} \quad (2.6)$$

La inversión numérica de la matriz \mathbf{C} 6x6 para materiales anisotrópicos complejos se realiza dentro del programa de computadora. Por lo tanto, no se requiere calcular la matriz \mathbf{E} en forma analítica según se indica en muchos libros clásicos sobre la mecánica de sólidos.” (Estrada-cingualbres y Pérez-rodríguez 2016; Wilson 2004; I et al. 2019)

Materiales Isotrópicos

Un material isotrópico posee propiedades iguales en todas las direcciones, siendo la aproximación de mayor uso para pronosticar el comportamiento de materiales elásticos lineales. Para materiales isotrópicos, la ecuación general toma la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \gamma_{21} \\ \gamma_{31} \\ \gamma_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \tau_{21} \\ \tau_{31} \\ \tau_{23} \end{bmatrix} + \Delta T \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_{21} \\ \alpha_{31} \\ \alpha_{23} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Parece que la matriz de correlación posee tres constantes de los materiales independientes. Se puede demostrar fácilmente que la aplicación de un esfuerzo cortante puro debe producir deformaciones puras de tensión y de compresión sobre el elemento si éste se gira unos 45 grados. Usando esta restricción, puede demostrar que:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (2.8)$$

Por lo tanto, para materiales isotrópicos, se tienen que definir solamente el módulo de Young E y la relación de Poisson ν . La mayoría de los programas de computadora usan la ecuación (2.8) para calcular el módulo de cortante, en el caso de que no sea especificado.

Equilibrio

El equilibrio tridimensional de un elemento infinitesimal, que se presenta en la Figura X, se expresa como las siguientes ecuaciones de equilibrio:(Wilson 2004)

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_1}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{13}}{\partial x_3} + \beta_1 &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{21}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_2}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial x_3} + \beta_2 &= 0 \\ \frac{\partial \tau_{31}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_3}{\partial x_3} + \beta_3 &= 0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

La fuerza del cuerpo, β_i se expresa por unidad de volumen en la dirección i , representando fuerzas de gravedad o gradientes de presión de poro. Ya que $\tau_{ij} = \tau_{ji}$, el elemento infinitesimal se encuentra automáticamente en equilibrio rotacional. Por supuesto, que esta ecuación sea válida para desplazamientos significativos, se debe satisfacer en la posición deformada, y todos los esfuerzos deben ser definidos como fuerzas por unidad de área deformada. Adicionalmente las ecuaciones (2.9) para ciertos parámetros fijos se pueden resolver mediante elementos finitos (Díaz Díaz et al. 2020, p. 7; Primero 2011; Gutiérrez, Stempniewski y Fleming 2018; Ur Rahman y Alam 2018)

Resultantes de esfuerzo-fuerzas y momentos

En el análisis estructural es una práctica estándar expresar las ecuaciones de equilibrio en términos de las resultantes de esfuerzo en vez de en términos de esfuerzos. Las resultantes del esfuerzo de fuerza se calculan mediante la integración de esfuerzos normales o esfuerzos cortantes que actúan sobre una superficie. Las resultantes del esfuerzo de momento equivalen a la integración de los esfuerzos sobre una superficie multiplicada por su distancia a un eje.

Para un elemento o unión de tamaño finito, una subestructura, o un sistema estructural completo, se deben satisfacer las siguientes seis ecuaciones de equilibrio (Wilson 2004):

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 & \sum F_y &= 0 & \sum F_z &= 0 \\ \sum M_x &= 0 & \sum M_y &= 0 & \sum M_z &= 0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

Requisitos de compatibilidad

Para los sólidos continuos, hemos definido las deformaciones como desplazamientos por unidad de longitud. Para calcular los desplazamientos absolutos en un punto determinado, debemos integrar las deformaciones con respecto a una condición de borde fija. Dicha integración podrá ser conducida a través de muchas vías o trayectorias diferentes. Una solución es compatible si el desplazamiento en todos los puntos no es una función de la trayectoria. Por lo tanto, una solución compatible con el desplazamiento implica la existencia de un campo único de desplazamiento definido.

En el análisis de un sistema estructural de elementos discretos, todos los elementos conectados a una unión o punto nodal deben tener el mismo desplazamiento absoluto. Si se conocen los desplazamientos nodales, todas las deformaciones del elemento pueden ser calculadas en base a las ecuaciones básicas de la geometría. En un análisis de elemento finito basado en el desplazamiento, se satisface la compatibilidad de desplazamiento nodal. Sin embargo, no es necesario que los desplazamientos a lo largo de los laterales de los elementos sean compatibles si el elemento pasa la prueba de grupo.

Un elemento finito pasa la prueba de grupo si un conjunto de elementos de forma arbitraria se sujeta a desplazamientos nodales asociados con deformaciones constantes, y el resultado de un análisis de elemento finito del grupo de elementos arroja una deformación constante.

Ecuaciones de desplazamiento de deformación

Si los campos de pequeños desplazamientos u_1, u_2 y u_3 son especificados, asumidos o calculados, las deformaciones consistentes pueden

ser calculadas directamente en base a las siguientes ecuaciones bien conocidas de deformación-desplazamiento:

$$\varepsilon_1 = \frac{\partial u_1}{\partial x_1} \quad (2.11a)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \quad (2.11b)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \quad (2.11c)$$

$$\gamma_{12} = \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \quad (2.11d)$$

$$\gamma_{13} = \frac{\partial u_1}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_1} \quad (2.11e)$$

$$\gamma_{23} = \frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \quad (2.11f)$$

Definición de rotación

“Dentro de una estructura real, no existe una rotación única en un punto determinado. La rotación de una línea horizontal puede ser diferente a la rotación de una línea vertical. Sin embargo, en muchos libros teóricos sobre la mecánica continua, se usan las siguientes ecuaciones matemáticas para definir la rotación de los tres ejes:

$$\theta_3 \equiv \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_1}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right] \quad (2.12a)$$

$$\theta_2 \equiv \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_3}{\partial x_1} + \frac{\partial u_1}{\partial x_3} \right] \quad (2.12b)$$

$$\theta_1 \equiv \frac{1}{2} \left[\frac{\partial u_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right] \quad (2.12c)$$

Es de interés notar que esta definición de la rotación es el promedio de la rotación de dos líneas normales. Es importante reconocer que estas definiciones no son las mismas que se emplean en la teoría de vigas cuando se incluyen deformaciones cortantes. Cuando las secciones de vigas están conectadas, la rotación absoluta de las secciones terminales debe ser iguales.”(Wilson 2004)

Ecuaciones de acoplamiento en sistemas de elemento finito

“En el caso de un sistema de elemento finito donde se satisfacen las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad solamente en los puntos nodales a lo

largo de la interfaz, las ecuaciones fundamentales del equilibrio pueden expresarse como:

$$\sum F_n + \sum \bar{F}_n = 0 \quad (2.13a)$$

$$\sum F_s + \sum \bar{F}_s = 0 \quad (2.13b)$$

$$\sum F_t + \sum \bar{F}_t = 0 \quad (2.13c)$$

Cada nodo en la interfaz entre elementos posee un conjunto único de desplazamientos; por lo tanto, la compatibilidad en la interfaz se satisface en un número finito de puntos.”(Wilson 2004)

Estructuras estáticamente determinadas

“Las fuerzas internas de algunas estructuras pueden ser determinadas directamente en base a las ecuaciones de equilibrio solamente. Por ejemplo, la estructura reticulada o armadura que se presenta en la FiguraXI. será analizada para ilustrar que el clásico método de nodos no es más que la solución de un conjunto de ecuaciones de equilibrio.

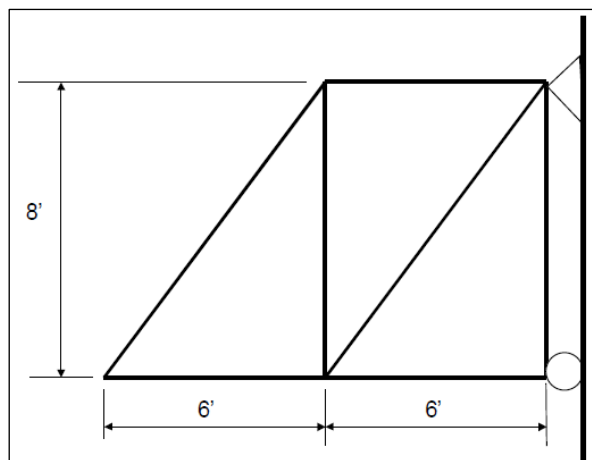


Figura VII. Estructura reticulada simple
Fuente. (Wilson, 2004,p.20)

En la Figura XII. se presentan los desplazamientos nodales y cargas nodales externas positivas (Cruz Rovira, Figueroa Catalan y Hernandez Castillo 2017). Las fuerzas del elemento f_i y las deformaciones d_i son positivas en tensión.

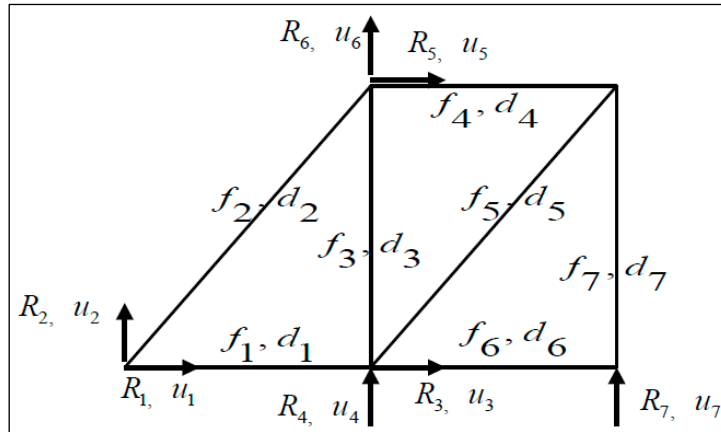


Figura VIII. Convención de signos para las fuerzas y desplazamientos nodales
Fuente. (Wilson, 2004,p. 20)

Igualando las dos cargas externas, R_j , en cada nodo a la suma de las fuerzas internas del elemento, f_i , produce siete ecuaciones de equilibrio que se expresan como una ecuación matricial:

$$\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \\ R_4 \\ R_5 \\ R_6 \\ R_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.0 & -0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1.0 & 0 & 0 & 0 & -0.6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.0 & 0 & -0.8 & -1.0 & 0 \\ 0 & 0.6 & 0 & -1.0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.8 & 1.0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \\ f_4 \\ f_5 \\ f_6 \\ f_7 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

O de manera simbólica:

$$R = Af \quad (2.15)$$

Donde A es una matriz de transformación carga-fuerza, y es una función exclusiva de la geometría de la estructura. Para esta estructura estáticamente determinada, tenemos siete fuerzas elementales desconocidas y siete ecuaciones nodales de equilibrio; por lo tanto, el conjunto de ecuaciones indicado arriba puede ser resuelto directamente por cualquier número de condiciones de cargas nodales. Si la estructura tuviera un elemento diagonal adicional, habría ocho fuerzas elementales desconocidas, y no sería posible una solución directa, porque la estructura sería estáticamente indeterminada. El objetivo principal de este ejemplo es expresar el método tradicional bien conocido de análisis, método de nodos, en notación matricial.”(Wilson 2004)

Matriz de transformación de desplazamientos

“Después de calcular las fuerzas elementales, existen muchos métodos tradicionales diferentes para calcular los desplazamientos de los nodos. Para ilustrar de nueva vez el uso de la notación matricial, las deformaciones del elemento d_i serán expresadas en términos de los desplazamientos de la unión u_j . Veamos un elemento reticular típico como el indicado en la Figura XIII

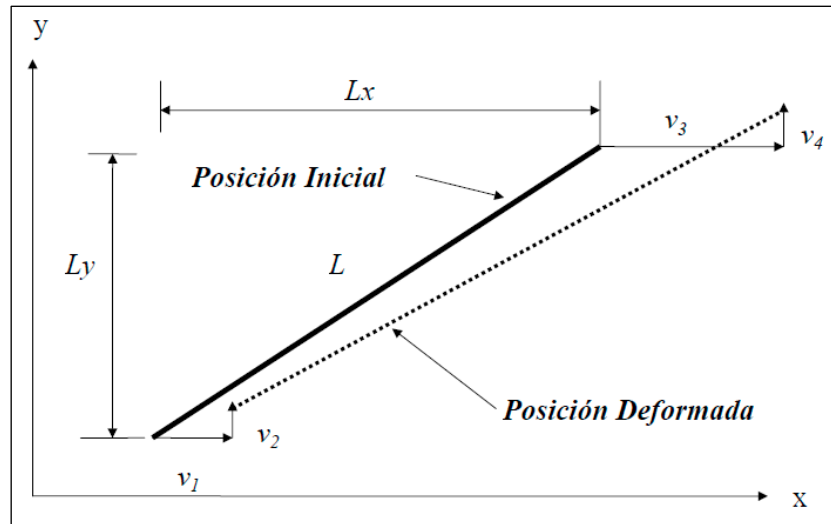


Figura IX. Elemento reticular típico Bidimensional
Fuente. (Wilson, 2004,p.22)

La deformación axial del elemento puede ser expresada como la suma de las deformaciones axiales resultantes de los cuatro desplazamientos en los dos extremos del elemento. La deformación axial total expresada en forma matricial es:

$$\begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \\ d_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.0 & 0 & 1.0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -0.6 & -0.8 & 0 & 0 & 0.6 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1.0 & 0 & 1.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0.6 & -0.8 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1.0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

O de manera simbólica:

$$\mathbf{d} = \mathbf{B}\mathbf{u} \quad (2.17)$$

La matriz de transformación deformación-desplazamiento del elemento, \mathbf{B} , es una función de la geometría de la estructura. Sin embargo, es más

importante el hecho de que la matriz B sea la transpuesta de la matriz A definida por la ecuación de equilibrio de unión. Por lo tanto, dadas las deformaciones del elemento dentro de esta estructura reticulada estáticamente determinada, podemos resolver la ecuación (2.16) para los desplazamientos del nodo.”(Wilson 2004)

Matrices de rigidez y flexibilidad del elemento

“Las fuerzas dentro de los elementos pueden expresarse en términos de las deformaciones en los elementos utilizando las siguientes ecuaciones matriciales:

$$f = kd \quad \text{o, } d = k^{-1}f \quad (2.18)$$

La matriz de rigidez k del elemento es una matriz diagonal para esta armadura, donde los términos diagonales son $k_{ii} = \frac{A_i E_i}{L_i}$ y todos los demás términos son cero. La matriz de flexibilidad del elemento es la inversa de la matriz de rigidez, donde los términos diagonales son $\frac{L_i}{A_i E_i}$. Es importante notar que las matrices de rigidez y flexibilidad del elemento son funciones de las propiedades mecánicas de los elementos, únicamente.”(Wilson 2004)

Solución de sistemas estáticamente determinados

“Las tres ecuaciones fundamentales del análisis estructural para esta estructura reticular sencilla son el equilibrio (2.14), la compatibilidad (2.16) y fuerza-deformación (2.18). Para condición de carga R , se pueden resumir los pasos para la solución como sigue:

1. Calcular las fuerzas de los elementos en base a la ecuación (2.14).
2. Calcular las deformaciones de los elementos en base a la ecuación (2.16).
3. Resolver para los desplazamientos nodales utilizando la ecuación (2.11).

Todo método tradicional de análisis estructural emplea estas ecuaciones básicas. Sin embargo, antes de que se pudiera tener fácil acceso a las computadoras digitales económicas que pueden solucionar más de 100 ecuaciones en menos de un segundo, se elaboraron muchas técnicas especiales

para minimizar el número de cálculos manuales. Por lo tanto, en este momento, es de poco valor resumir estos métodos en este libro sobre el análisis estático de estructuras.”(Wilson 2004)

Solución general de sistemas estructurales

“En el análisis estructural que emplea la computadora digital clásico. El punto de partida siempre es el equilibrio de la unión. Esto es, $R = Af$. De la ecuación fuerza-deformación del elemento, $f = kd$, la ecuación del equilibrio nodal puede expresarse en términos de desplazamiento nodales como $R = AkBu$. Por lo tanto, se puede expresar el equilibrio general de nodos como sigue:

$$R = ku \quad (2.19)$$

La matriz de rigidez global k se expresa mediante una de las siguientes ecuaciones matriciales:

$$K = AkB \quad \text{ó} \quad K = AkA^T \quad \text{ó} \quad K = B^T kB \quad (2.15)$$

Es interesante notar que las ecuaciones de equilibrio o las ecuaciones de compatibilidad pueden ser empleadas para calcular la matriz de rigidez global K .

El enfoque estándar es solucionar la ecuación (2.19) para desplazamientos nodales, y luego calcular las fuerzas del elemento en base a:

$$f = kBu \quad \text{ó} \quad f = kA^T u \quad (2.16)$$

Se debe notar que, dentro de un programa de computadora, nunca se forman las matrices dispersas A, B, k y K , debido a la magnitud de sus requerimientos de almacenamiento. La matriz de rigidez global simétrica K se forma y se soluciona en forma condensada.”(Wilson 2004)

Análisis estático de estructuras por el método matricial

Introducción

Los métodos de cálculo matricial (CM) de estructuras son un conjunto de métodos que tienen en común organizar toda la información en forma de matrices. En estos métodos, todas las relaciones entre las distintas partes de

una estructura dan lugar a sistemas de ecuaciones con un alto número de variables, pero donde no se han realizado suposiciones o simplificaciones en las que se pierda información relevante. Esta generalidad, junto a la estructura de información en matrices, permite que su planteamiento y resolución pueda ser ejecutada de manera automática por medio de programas de ordenador, que ha hecho que en la actualidad sean la práctica habitual en la ingeniería. (Blanco, Antonio, Jos, & Garc, 2014,p.09)

“... se va desarrollar el denominado método de la rigidez de cálculo matricial, aplicado a estructuras bidimensionales formadas por barras y vigas. Este mismo esquema puede ser extendido a otras formas de discretizar una estructura o un medio continuo. De hecho, el método del método de elementos finitos es la extensión del método de CM donde se trata con elementos que no son sólo barras, sino volúmenes de distintas formas geométricas que modelan un mayor número de problemas mecánicos o físicos.

En todo el desarrollo del método aceptaremos las hipótesis generales en las que normalmente se desarrolla la teoría de estructuras, esto es, comportamiento elástico y lineal del material y estado de pequeños desplazamientos.”(SILVA y RODRIGUES 2019; Gutiérrez, Stempniewski y Fleming 2018; Blanco et al. 2014)

Características de los métodos matriciales

Generalidad: No se limita a un tipo de estructuras, al consideran todas las ecuaciones del comportamiento estructural su uso es generalizado.

Conocimiento: Una vez que sus relaciones ya han sido desarrolladas se convierte en un problema matemático, ya no requiere del conocimiento de estructuras.

Número de ecuaciones: Se consideran todas las ecuaciones, una por cada grado de libertad.

Velocidad de Cálculo: Al considerarse todas las ecuaciones, es fundamental la resolución por ordenar.

Sentido físico del problema: Al ser planteado todas las ecuaciones resulta difícil la comprensión del sentido físico del problema, lo opuesto a los métodos tradicionales.

Automatización del método: Esta es una característica que ha llevado a este método a su generalización en distintas ciencias, ya que su lenguaje de programación es sencillo.(Blanco et al. 2014)

Modelización del problema

A pesar de que este método de cálculo está pensado de manera que la resolución lo haga un ordenador, existe un paso fundamental que es responsabilidad del calculista que no podrá ser realizada por un ordenador, es la de su planteamiento del modelo matemático del problema y de su correcta discretización, los cuales si tienen que ver con la comprensión del sentido físico del problema. Su mal planteamiento podría llevarnos a errores fatales.(Hechavarría et al. 2017; Trindade, Fernandes y Bertolino Júnior 2017; Dong 2020; Martinelli y Alves 2020; Blanco et al. 2014; López 2003)

Métodos de cálculo matricial

“En términos generales, existen dos procedimientos genéricos en mecánica de medios continuos de sólidos deformables para poder establecer el sistema completo de ecuaciones dependiendo del orden en que las vayamos aplicando.

Las ecuaciones que podemos poner en juego son las ecuaciones de equilibrio, las de comportamiento(esfuerzo-deformación) y las de compatibilidad del problema. Cuando partiendo de las ecuaciones de equilibrio las utilizamos para incorporarlas a las de comportamiento y finalmente el resultado el resultado lo introducimos en las ecuaciones de compatibilidad, estamos aplicando el método denominado de la compatibilidad o de la flexibilidad. Hablando en términos de las variables implicadas, en este caso llegamos a formular los desplazamientos en función de las cargas aplicadas.

Si seguimos el procedimiento inverso, inicialmente relacionamos deformaciones y desplazamientos aplicando las ecuaciones de compatibilidad

para posteriormente aplicar las leyes de comportamiento y finalmente las ecuaciones de equilibrio, en ese caso el método se denomina de la rigidez o del equilibrio.”(Blanco et al., 2014,p.13)

Características de la Matriz de Rigidez

“La matriz de rigidez es una propiedad del sistema estructural, no cambia en función del estado de cargas o de condiciones de contorno a que se someta la estructura, Sólo se verá afectada si se introduce un nuevo elemento.

Cada columna representa las acciones necesarias para conseguir un desplazamiento unitario en el grado de libertad definido por el índice de la columna a la vez que se quedan fijados a cero el resto de GDL.

Una fila es un conjunto de multiplicadores que operados sobre el vector desplazamiento completo proporcionan a valor de la fuerza correspondiente al GDL definido por el índice de la fila.

Cada termino k_{ij} se puede considerar una “función de peso” que representa la proporción de contribución a la fuerza del GDL i . En caso de que su valor se cero significa que ambos GDL no están relacionados.”(García Arribas y Pérez 1986; Ricardo y Silveira 2001; Blanco et al. 2014)

Rotaciones entre sistemas de coordenadas

“Antes de abordar el cálculo matricial, es conveniente repasar el concepto del cambio de coordenadas de un vector en el plano, una operación omnipresente en capítulos posteriores. Consideremos un punto P (o el vector desde el origen a dicho punto \vec{P}), cuyas coordenadas en un sistema de referencia global son $P = [p_x \ p_y]^T$. Si en lugar de tener dichas coordenadas las tuviéramos en un sistema que esté girado un ángulo \emptyset con respecto al de referencia siguiendo unos nuevos ejes x' e y' , el mismo punto (o vector) tendría entonces unas coordenadas locales a dicho sistema que denotemos como $P' = [p'_x \ p'_y]^T$ como se ve en la siguiente figura.

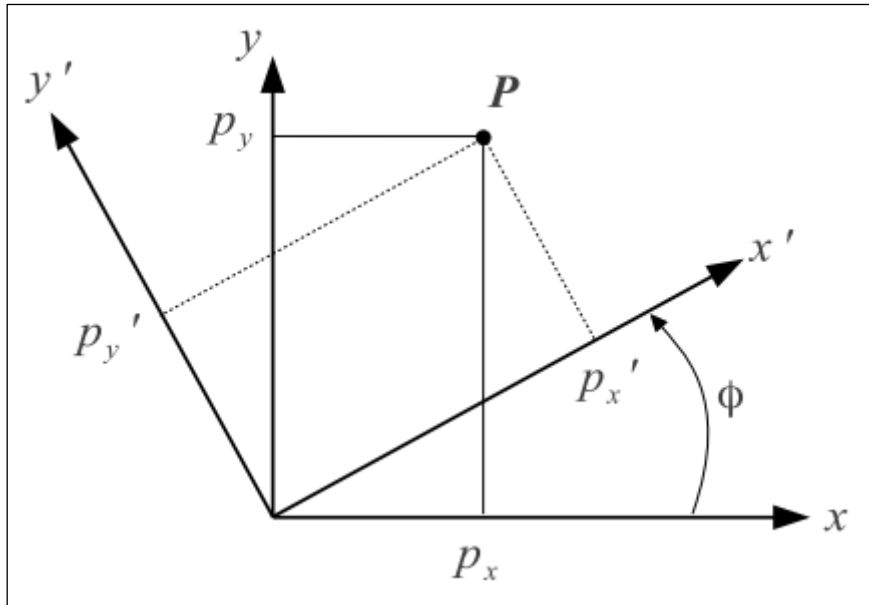


Figura X. Rotación entre sistemas de coordenadas.
Fuente. (Blanco et al., 2014,p.23)

La relación entre ambos pares de coordenadas se puede establecer fácilmente mediante relaciones trigonométricas y conocido únicamente el giro ϕ (Con signo positivo en la dirección contraria a las agujas del reloj).

$$\begin{pmatrix} p_x \\ p_y \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{pmatrix} p'_x \\ p'_y \end{pmatrix}$$

En ocasiones no nos bastará con trabajar con un vector de desplazamiento en x' e y' , si no que manejaremos un giro θ . En dichos casos, la matriz de rotación se modifica así para reflejar esta identidad:

$$\begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ \theta \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi & 0 \\ \sin \phi & \cos \phi & 0 \\ 0 & 0 & \theta \end{bmatrix} \begin{pmatrix} p'_x \\ p'_y \\ \theta \end{pmatrix}$$

A lo largo de este texto haremos uso intensivo de esta matriz de rotación elemental, por lo que es importante tener claro su significado geométrico, que ha quedado patente. Por último, hacer notar que la expresión hallada nos sirve para pasar unas coordenadas locales a globales. En caso de querer realizar la conversión inversa, lo único que hay que hacer es multiplicar ambos lados de la ecuación por la inversa de la matriz de rotación.”(Blanco et al., 2014,p.22)

Matriz completa de una barra (6 GDL)

Matriz de rigidez

“Consideremos ahora el caso más general de una barra a en la que estudiaremos sus 6 grados de libertad (el máximo posible en 2D). Por ejemplo, se deberá emplear dicho modelo con barras en la configuración llamada ‘biempotrada’, es decir, con uniones rígidas en sus dos nudos extremos i y j .

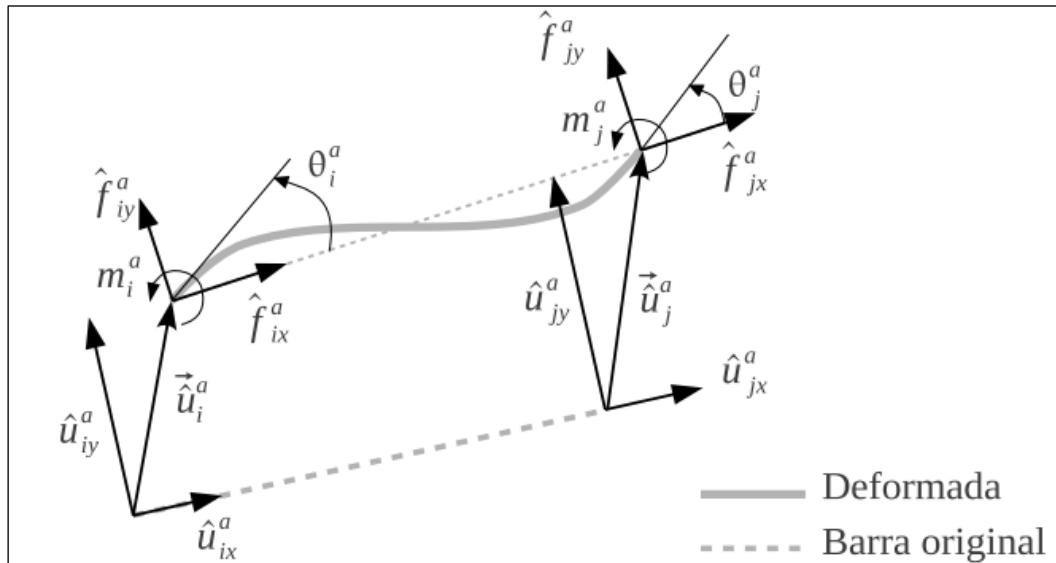


Figura XI. Esquema de las fuerzas y desplazamientos en coordenadas locales para una barra biempotrada.

Fuente. (Blanco et al., 2014,p.41)

$$\vec{f}^a = \widehat{K}^a \widehat{u}_i^a$$

$$\begin{pmatrix} \hat{f}_{ix}^a \\ \hat{f}_{iy}^a \\ \hat{m}_i^a \\ \hat{f}_{jx}^a \\ \hat{f}_{jy}^a \\ \hat{m}_j^a \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \hat{u}_{ix}^a \\ \hat{u}_{iy}^a \\ \hat{\theta}_i^a \\ \hat{u}_{jx}^a \\ \hat{u}_{jy}^a \\ \hat{\theta}_j^a \end{pmatrix}$$

Donde I y A son el momento de inercia y el área de su sección transversal, respectivamente, L es la longitud de la barra y E el módulo de elasticidad del material.”(Jos et al. 2016; Osuna, Carranza 2013; Blanco et al. 2014)

Cambio de coordenadas

“La sencilla expresión a la que se ha llegado arriba modela el comportamiento de una barra siempre y cuando las fuerzas y desplazamientos estén dados en coordenadas locales. En la práctica es necesario poner las variables de cada barra en un marco de coordenadas común, o coordenadas globales. Las fuerzas y los desplazamientos en coordenadas globales serán ahora denotados como los vectores f^a y u^a , respectivamente.”(Blanco et al., 2014,p.39)

$$T^a = \begin{bmatrix} R_2 * (\varnothing^a) & 0_{2x2} \\ 0_{2x2} & R_2 * (\varnothing^a) \end{bmatrix}_{4x4}$$

Donde $R_2 (\varnothing)$ representa la matriz de rotación en el plano:

$$R_2 (\varnothing) = \begin{bmatrix} \cos \varnothing & -\sin \varnothing \\ \sin \varnothing & \cos \varnothing \end{bmatrix}$$

Método matricial de ensamblaje y resolución

Introducción

“El objetivo de esta sección es describir cómo las matrices de rigidez de los elementos (barras) individuales se ensamblan para formar la matriz de rigidez global K de una estructura, de forma que se pueda plantear es sistema de ecuaciones correspondiente a la estructura completa:

$$\vec{F} = K\vec{U}$$

Y posteriormente despejar el valor de las variables desconocidas, ya sean desplazamientos y giros de nudos libres o reacciones en los apoyos.

En primer lugar, se expondrá la justificación teórica de dicho método de ensamblaje, describiéndose a continuación el procedimiento para realizar el ensamblaje en sí de forma sistémica. Una vez montada la matriz global de la estructura, se expondrán cómo tener en cuenta las condiciones de contorno (apoyos y cargas externas) y se propondrá un método de resolución basado en una partición en grados de libertad libres y restringidos.

Sistema de coordenadas

“Antes de comenzar a plantear y resolver problemas de cálculo de estructuras por este método es muy importante tener claro que vamos a tratar con tres sistemas de coordenadas distintos, cada uno de ellos empleado en un momento de la resolución:

Un sistema de referencia global: Salvo excepciones es en este sistema de coordenadas en el que se referirán las reacciones, solicitaciones y desplazamientos de la estructura en los nudos.

Sistemas locales: Existe un sistema de coordenadas locales asociado a cada barra de la estructura, de forma que su eje x positivo va desde el nodo inicial al final y por lo tanto su orientación depende de la conectividad que se decida para cada barra. Este sistema de coordenadas también se emplea al calcular los esfuerzos que sufren las barras como se verá.

Sistemas nodales: Existen otros sistemas de coordenadas asociados a cada nodo de la estructura que pueden ser necesarios para usos específicos, como definir las condiciones de contorno, y en especial, las restricciones de movimiento impuestas por los apoyos. En la práctica estos sistemas normalmente coincidirán con el sistema global, salvo los nudos que coincidan con apoyos deslizantes sobre planos inclinados.”(Blanco et al., 2014,p.58)

Compatibilidad y equilibrio

Ecuaciones de compatibilidad

“La condición de compatibilidad en los desplazamientos de cada nudo simplemente obliga a que dichos desplazamientos, considerados en coordenadas globales deben ser únicos para cada nudo”(Blanco et al., 2014,p.60)

Ecuaciones de equilibrio

“Para cada nudo de la estructura se debe cumplir que el efecto conjunto de las solicitaciones producidas por todas las barras que converjan en dicho nudo debe coincidir con la fuerza externa que se aplique desde el exterior.

Nótese que esto incluye el caso común de solicitaciones de distintas barras que se anulan entre sí en un nudo que no tiene cargas externas, como demandan las ecuaciones del equilibrio estático.”(Blanco et al., 2014,p.61)

Ensamblaje de la matriz de rigidez completa

“La ecuación global de la estructura tiene la siguiente forma matricial:

$$\vec{F} = K\vec{U}$$

Dónde \vec{F} y \vec{U} son los vectores de solicitaciones y desplazamientos de la estructura global, respectivamente. A la matriz K se le llama matriz de rigidez global de la estructura.

Si numeramos cada uno de los N nudos de la estructura como $i = 1, 2, \dots, N$, se puede mostrar que dicha matriz K se forma a partir de las submatrices descritas en las secciones anteriores como sigue:

$$\mathbf{K} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \dots & i & \dots & j & \dots & N \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ j \\ \vdots \\ N \end{matrix} & \left[\begin{array}{cccccc} \ddots & & & & & \\ & \ddots & & & & \\ & & \sum_{\alpha} \mathbf{K}_{ii}^{\alpha} & & \mathbf{K}_{ij}^{\beta} & \\ & & & \ddots & & \\ & & \mathbf{K}_{ji}^{\beta} & & \sum_{\alpha} \mathbf{K}_{jj}^{\alpha} & \\ & & & & & \ddots \\ & & & & & & \ddots \end{array} \right] \end{matrix}$$

Las i' ésima submatriz de la diagonal se compone sumando todas las matrices K_{ii}^{α} para todas las barras α que inciden en el nudo i .

Por cada barra β entre dos nudos i y j , existen un par de entradas simétricas con las K_{ij}^{β} y K_{ji}^{β} en las entradas (i,j) y (j,i) , respectivamente. Siempre se cumplirá que $K_{ji}^{\beta} = K_{ij}^{\beta T}$.

El resto de entradas son ceros.”(Blanco et al., 2014,p.62)

Condiciones de contorno

“Antes de abordar la resolución del problema de forma matricial es necesario identificar en qué grados de libertad queda cada nudo libre y en cuales está su movimiento o giro restringido y, por tanto, aparecen reacciones.”(Blanco et al., 2014,p.65) (Viader Muñoz 2016; Gutiérrez, Stempniewski y Fleming 2018)

Tipo de apoyo	Representación	Reacciones	Grados de libertad
Empotramiento		 Dos fuerzas y un momento	 Ninguno
Empotramiento deslizante		 Una fuerza y un momento	 Un desplazamiento
Apoyo simple (articulado)		 Dos fuerzas	 Un giro
Articulado deslizante		 Una fuerza	 Un desplazamiento y un giro

Figura XII. Apoyos más comunes, reacciones y grados de libertad.

Fuente. (Blanco et al., 2014,p.65)

El método matricial solo puede manejar cargas en los nudos, sin embargo, existen formas de abordar dichas cuestiones de cargas distribuidas en las barras.

Cálculo de las fuerzas en barras

“Una vez se han resuelto los desplazamientos de la estructura completa como se ha descrito hasta ahora, tenemos perfectamente definido al valor del vector de desplazamientos en coordenadas globales U . A continuación, vamos a mostrar cómo, a partir de únicamente esta información y las matrices de rigidez, es posible calcular los esfuerzos que soporta cada una de las barras de la estructura.

Supongamos que nos centramos en una barra particular situada entre los nudos i y j . Los esfuerzos vendrán determinados por cómo ha sido obligada a deformarse en dichos extremos, valores que nombramos como \vec{U}_i y \vec{U}_j y que conoceremos por ser una parte del vector \mathbf{U} .

Como se vio, el cálculo matricial de estructuras está en la siguiente aproximación lineal:

$$\widehat{\vec{f}}^a = \widehat{\mathbf{K}}^a \widehat{\vec{u}}^a$$

$$\begin{pmatrix} \widehat{f}_i^a \\ \widehat{f}_j^a \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \widehat{K}_{ii}^a & \widehat{K}_{ij}^a \\ \widehat{K}_{ji}^a & \widehat{K}_{jj}^a \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \widehat{u}_i^a \\ \widehat{u}_j^a \end{pmatrix}$$

Por lo tanto, únicamente hemos de calcular el vector de desplazamiento en coordenadas locales $\widehat{\vec{u}}^a = (\widehat{u}_i^a \quad \widehat{u}_j^a)^T$, lo cual es muy sencillo a partir de los vectores correspondientes en coordenadas globales \vec{U}_i y \vec{U}_j que ya conocemos. Recordando que la matriz de transformación de coordenadas de la barra a , denotado como \mathbf{T}^a , tiene la propiedad de convertir coordenadas locales en globales, es decir:

$$\vec{u}^a = \mathbf{T}^a * \widehat{\vec{u}}^a$$

$$\widehat{\vec{u}}^a = (\mathbf{T}^a)^T * \vec{u}^a$$

$$\widehat{\vec{f}}^a = \widehat{\mathbf{K}}^a * (\mathbf{T}^a)^T * \vec{u}^a$$

Fórmula que ya nos permite calcular los esfuerzos de la barra en coordenadas locales $\widehat{\vec{f}}^a$, al disponer de todos los términos de la derecha tras resolver el problema matricial.

Solamente queda un último paso, que si bien parece superfluo en este momento, será muy conveniente en casos de existir cargas no nodales. Se trata de pasar los esfuerzos obtenidos como $\widehat{\vec{f}}^a$ del sistema de coordenadas empleado en cálculo matricial al sistema de coordenadas correspondiente a resistencia de materiales.

Este cambio consiste en llamar a los esfuerzos en dirección del eje x local \hat{f}_x e y local \hat{f}_y por sus nombres significativos en resistencia de materiales: axiales (N) y cortantes (V), correspondientemente.”(Blanco et al., 2014,p.71)(Juárez y Tenorio 2017, p. 2; Pydah y Sabale 2017)

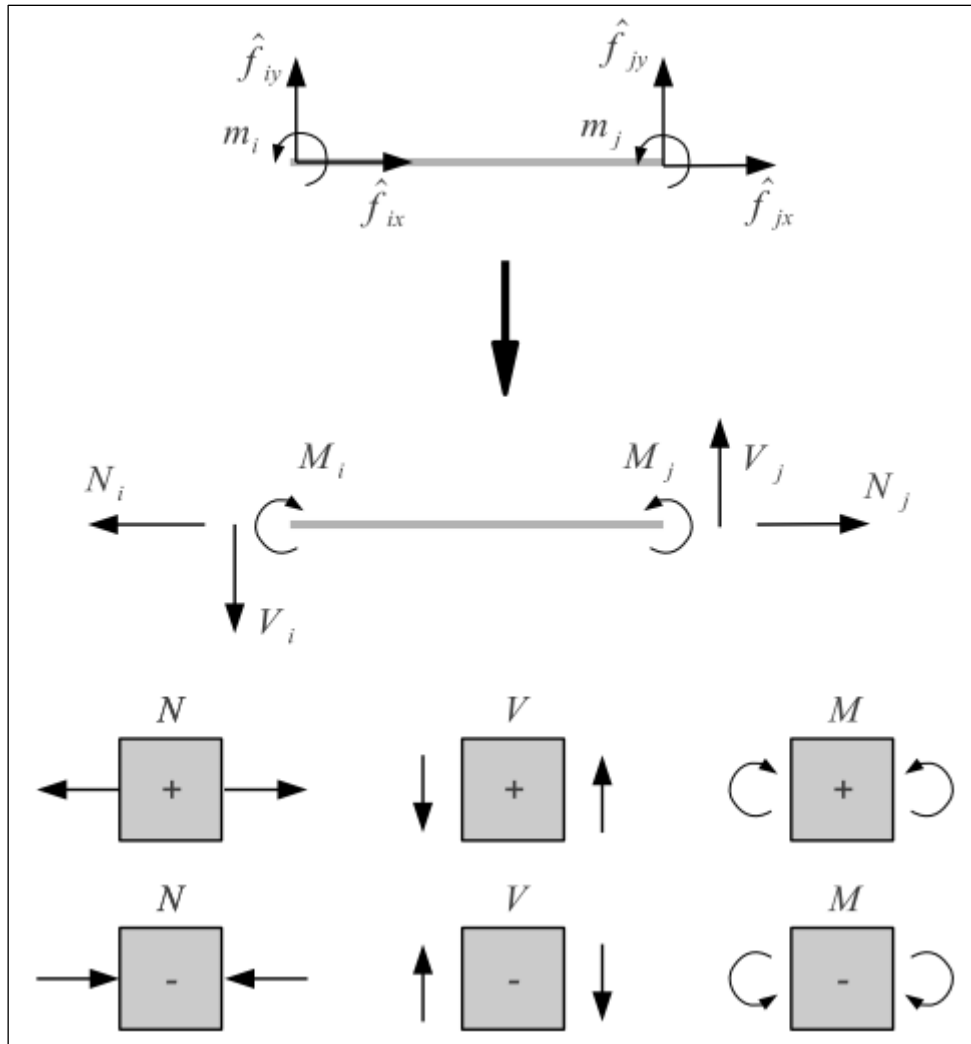


Figura XIII. Convención de signos para los esfuerzos de cálculo matricial (arriba) y en resistencia de materiales (abajo).
Fuente. (Blanco et al., 2014,p.74)

Por lo tanto, el vector de axiles, cortantes y flectores según el convenio de resistencia de materiales se obtiene mediante:

$$\begin{pmatrix} -N_i^a \\ -V_i^a \\ -M_i^a \\ N_j^a \\ V_j^a \\ M_j^a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{f}_{ix}^a \\ \hat{f}_{iy}^a \\ \hat{m}_i^a \\ \hat{f}_{jx}^a \\ \hat{f}_{jy}^a \\ \hat{m}_j^a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{f}_i^a \\ \hat{f}_j^a \end{pmatrix} = \widehat{\vec{f}}^a$$

Definición de términos básicos

Curvatura

La curvatura es un número real que nos indica qué tanto se tuerce (o se dobla) una curva, para arcos es la relación de 1 entre el radio de círculo. (Malakhaltsev [sin fecha]; Torres y Caminos 1989; Casado y Delgado SánchEz 2015)

Elementos estructurales

“Elemento estructural es cada una de las partes diferenciadas, aunque vinculadas, en que puede ser dividida una estructura a efectos de su diseño.” (Wikipedia [sin fecha]; Wilson 2004)

Estructuras reticulares

“Se denomina estructura entramado a un sistema de barras rectas o curvas (elementos mono dimensionales) enlazados elásticamente entre sí en unos puntos denominados nudos. Si las cargas actuantes se encuentran situadas en un plano, que contiene asimismo a todos los elementos lineales o barras de la estructura, ésta se denomina entramado plano. Frecuentemente, en este caso, como las piezas son rectas y forman mallas rectangulares o trapeciales e incluso triangulares, también recibe el nombre de estructura reticulada plana.” (Samartin Quiroga, 1982,p.01)

Comportamiento estructural

“El comportamiento estructural, es la respuesta de una edificación frente a cargas de gravedad y fuerzas de origen sísmico, que se evalúa mediante el análisis estructural con el objetivo de determinar los esfuerzos resultantes que causan la deformación de los elementos estructurales que componen la edificación.” (Campos Culqui, 2018,p.23).

III METODOLÓGIA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

“Tal clase de investigación cumple dos propósitos fundamentales: *a)* producir conocimiento y teorías (investigación básica) y *b)* resolver problemas (investigación aplicada). Gracias a estos dos tipos de investigación la humanidad ha evolucionado” (Hernández Sampieri 2014,p 14)

La presente investigación buscar analizar cuanto influye la curvatura de elementos para el comportamiento estático de estructuras reticulares de la que forman parte, en otras palabras, se cuantifica dicha influencia en valores numéricos. Los cuales podrán ser utilizados por los ingenieros estructurales (academia) como referencia para la idealización de los modelos estructurales, modelos analíticos con o sin curvatura. En ese sentido al no generar conocimiento con la aplicación directa a los problemas de la sociedad o el sector productivo ni crear tecnología, esta investigación es eminentemente *investigación aplicada*.

3.1.2 Diseño de la investigación

“Podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables”(Hernández Sampieri, 2014,p.152)

El presente estudio no manipula deliberadamente la curvatura de miembros estructurales, recoge la información de tres casos ya dados y los analiza para dar explicación del por qué, por lo tanto, el diseño de la investigación es No experimental de corte transversal de nivel correlacional.

3.1.3 Nivel de la investigación

El presente estudio además de explorar la influencia de la curvatura, describir el comportamiento, establecer la relación entre la curvatura de elementos estructurales y la estructura reticular metálica, busca responder el por qué ocurre dicha influencia, por lo tanto, el nivel de investigación es: **Exploratoria y Correlacional**. (Hernández Sampieri)

3.1.4 Enfoque de la investigación

El presente estudio usa recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica por lo que el enfoque es cuantitativo (Hernández Sampieri).

3.2 Variable y operacionalización

Para la presente investigación tiene dos variables de estudio, la primera como variable independiente y de enfoque cuantitativo:

3.2.1 Curvatura de elementos (Variable Independiente)

Definición conceptual: Cual quiera de los elementos estructurales conformantes de una estructura reticular que describa forma curva de arco circular.

Definición operacional: Número de elementos con directriz de arco con sus respectivas curvaturas.

Dimensiones: Curvatura, rebajamiento.

Indicadores: Curvatura, Flecha/Luz.

3.2.2 Comportamiento estático (Variable dependiente)

Definición conceptual: Respuesta de una estructura resistente frente a cargas estáticas. Que se evalúan con el análisis estructural estático con el objeto de determinar esfuerzos internos y desplazamientos nodales.

Definición Operacional: La magnitud de esfuerzos internos, reacciones, desplazamientos nodales ante las sollicitaciones impuestas.

Dimensiones: Reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos.

Indicadores: Reacción en el eje X, reacción en el eje Z, desplazamiento en el eje X, desplazamiento en el eje Z, fuerzas axiales, fuerzas cortantes, momentos flexionantes.

3.3 Población, muestra, muestreo unidad de análisis

3.3.1 Población

“Población o universo, conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.”(Hernandez Sampieri, 2014,p.174)

Estructuras reticulares de acero con elementos estructurales en arco en la zona urbana del valle del Chumbao, un número de **35 unidades**.

3.3.1.1 Criterios de inclusión

Se han incluido en el análisis aquellas estructuras que tengan las características tipológicas de arco extruido con rebajamientos de cercha dentro de 1/10 y 1/2.

3.3.1.2 Criterios de exclusión

Se han incluido en el análisis aquellas estructuras que tengan las características tipológicas de arco extruido con rebajamientos de cercha fuera de 1/10 y 1/2.

3.3.2 Muestra

“Muestra, subgrupo del universo o población del cual se recolectan los datos y que debe ser representativo de ésta.”(Hernandez Sampieri, 2014,p.173)

“Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización”(Hernandez Sampieri, 2014,p.189)

“La ventaja de una muestra no probabilística —desde la visión cuantitativa— es su utilidad para determinados diseños de estudio que requieren no tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema.”

El tipo de muestra es dirigida o no probabilística, debido a que la intención de la investigación es determinar la influencia de los elementos estructurales en arco en el comportamiento estático de estructura reticular de acero, es conveniente seleccionar muestras con tres grados de curvatura: alta, media y una baja, número de **3 unidades**.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

“Los instrumentos que serán revisados en este capítulo son: cuestionarios¹⁰ y escalas de actitudes, mencionando a otros. En el capítulo adicional 7, “Recolección de los datos cuantitativos, segunda parte”, que se puede descargar en el centro de recursos en línea, se comentan los siguientes: registros del contenido (análisis de contenido) y observación cuantitativa, pruebas estandarizadas, recolección de información factual e indicadores (análisis de datos secundarios de registros públicos y documentación) y metaanálisis, así como otras clases de mediciones. Los metodólogos de cada ciencia y disciplina han desarrollado una gran diversidad de instrumentos y procedimientos, algunos de los cuales puede buscarlos el lector en los manuales y ejemplos del centro de recursos (<http://www.mhhe.com/he/hmi6e>).” (Hernández, 2014,p217)

3.4.1 Técnicas

- La observación directa.
- Información indirecta.
- Observación de campo.

3.4.2 Instrumentos

- Guía de información
- Ficha de observación
- Programa RETBI (desarrollado en Matlab)

3.4.3 Fuentes

En el presente proyecto de investigación se obtuvo la información de: normas técnicas, libros, tesis, entrevista a especialistas, páginas Webs, artículos científicos y revistas científicas.

3.4.4 Validación y Confiabilidad de instrumentos

La validez hace referencia al grado en que un instrumento mide realmente la variable que pretende medir (Hernández, 2014).

Para nuestro trabajo de investigación utilizamos 2 instrumentos los cuales se validaron a través del juicio de 3 expertos, dichos instrumentos miden 9 indicadores, donde el instrumento de la observación directa mide la Curvatura y Flecha/Luz, y el instrumento RETBI mide Fuerzas axiales, Fuerzas cortantes, Momentos flexionantes, Reacción en el eje X, reacción en el eje Z, Desplazamiento en el eje X, Desplazamiento en el eje Z

La confiabilidad de un instrumento de medición hace referencia al grado en que su aplicación repetida al mismo individuo u objeto brinda los mismos resultados (Hernández, 2014).

El instrumento RETBI es altamente confiable pues se compatibilizo con el software SAP2000, el cual muestra los mismos resultados que el RETBI para un diseño específico, la comparativa de resultados para un mismo diseño se muestra en el anexo 9.4

3.5 Procedimientos

Con los datos obtenidos de las muestras seleccionadas, geometría y propiedades físico – mecánicas, se procederá a dibujar los planos y sus respectivas especificaciones técnicas, para luego proceder con la realización de los modelos analíticos: por un lado, considerando todos sus miembros rectos de nodo a nodo (sin considerar curvatura) y por otro se realizará considerando la curvatura de miembros estructurales (la curva se considerará arco de círculo discretizado convenientemente). Es preciso añadir que para ambos grupos de modelos se le considerará las mismas condiciones de: carga, apoyo, geometría (a excepción de la curvatura de los miembros que se hayan ejecutado por el procedimiento llamado rolado), propiedades físicas y mecánicas.

Dados ambos grupos de modelos analíticos se procederá a realizar el análisis estático obteniendo los esfuerzos internos (axiales y normales) de cada miembro estructural, así como las reacciones en cada apoyo y desplazamientos en cada nodo. Con los datos obtenidos realizaremos las comparaciones y extraeremos las diferencias para posteriormente evaluar si es prescindible la consideración de la curvatura, así como también si mejora o empeora el desempeño estructural de las estructuras reticuladas estudiadas.

Los modelos analíticos se realizaron teniendo en consideración las bases teóricas de la presente investigación.

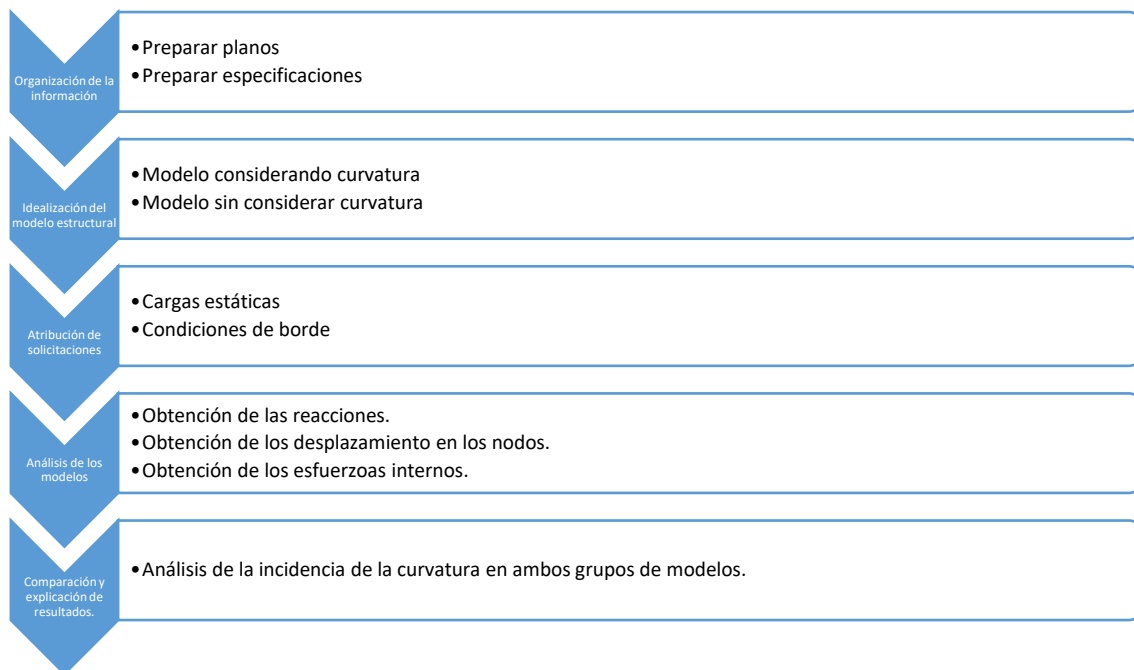


Figura XIV. Procedimiento para el análisis de datos y su posterior interpretación.
Fuente. Elaboración propia

3.5.1 Descripción del modelo tipológico de estudio

La tipología objeto de estudio consta de cubiertas metálicas de losa multideportiva de 20x30m de área de juego. La forma es de arcos de directriz circular extruidos a lo largo de la cancha sobre estructura reticular de acero estructural ASTM A500. La cobertura descansa sobre las correas, y éstas sobre los arcos reticulados planos, y estos sobre pilares metálicos o concreto armado.

La cobertura es de láminas de Aluzinc de diferentes espesores y diferentes acabados, la cubierta predominante es el TR4 (con cuatro trapecios por ancho unitario de plancha), los espesores en el mercado rondan de 0.35 a 0.80 mm de espesor.

La cobertura descansa sobre correas de acero estructural ASTM A500 de [] 40x80mm, e=2.5mm espaciadas entre 1.00m a 1.50m.

Asu vez las correas descansan sobre arcos reticulados planos con una luz promedio de 22m y con un rebajamiento entre L/3.5 a L/5.5 y un peralte de 0.40-0.60m espaciados cada 6.00m a lo largo de la cancha y con volados de 2.0m en ambos extremos, las bridas son [] 50x50mm, e=3.0mm, mientras que las montantes

y diagonales son de [] 38x38mm e=2.5mm, los montantes están espaciadas entre 0.60m a 1.20m. Y estos a su vez descansan sobre apoyos de diferentes características.

Tabla 3

Características principales del modelo tipológico estudiado

Conformante de la estructura	Material	Descripción
Cobertura	Aluzinc	e=0.55
Correas	ASTM A500	[] 40x80mm e=2.5mm
Arcos reticulados:	ASTM A500	
Bridas		[] 50x50mm, e=3.0mm
Diagonales y montantes		[] 38x38mm e=2.5mm
Apoyos	ASTM A500	
Templador (Según tipo de apoyo)	Acero trefilado	D ½"

Fuente: Elaboración propia

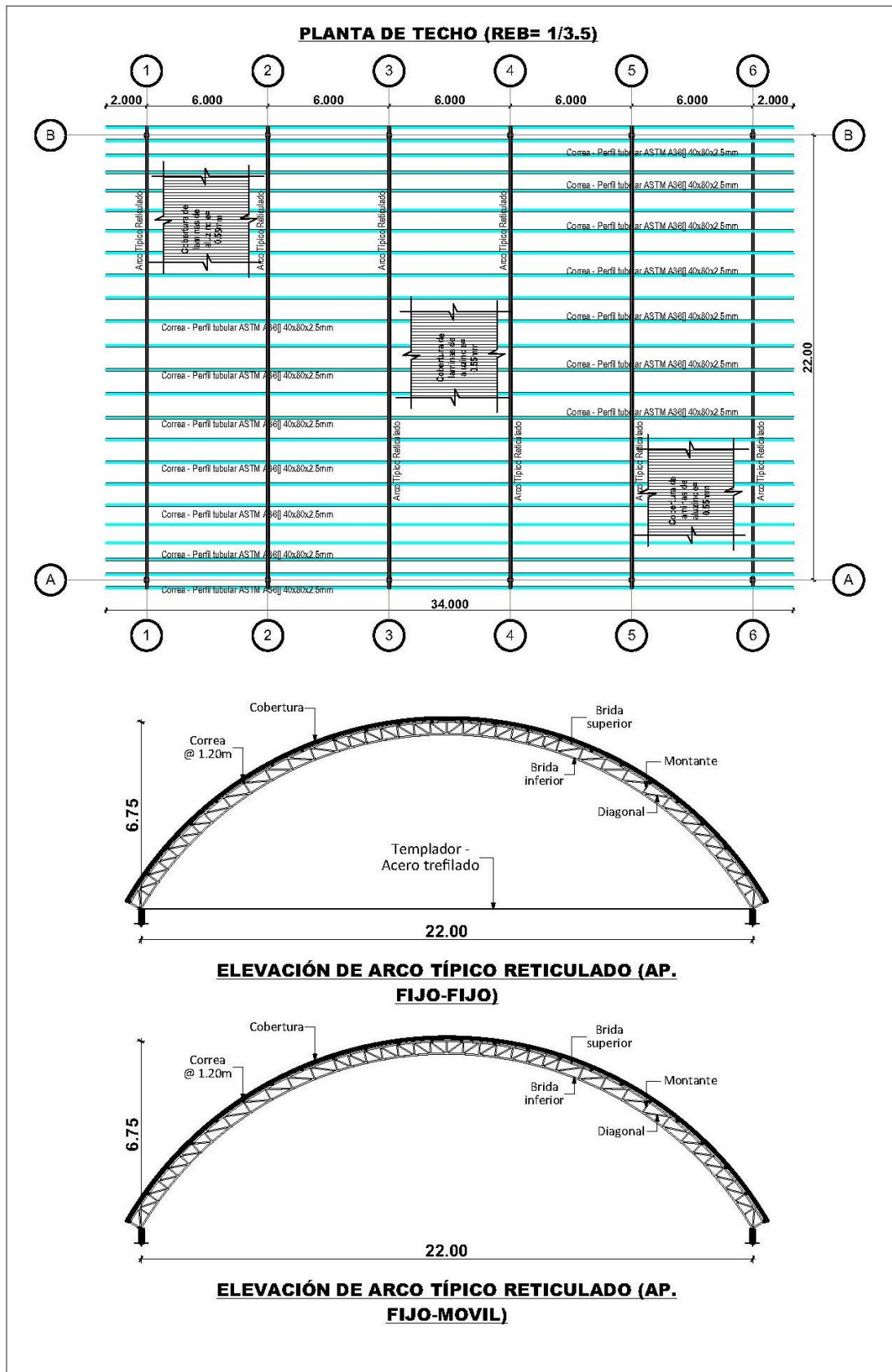


Figura XV. Características del Modelo tipo 1 (Curvatura grado 01)
Fuente: Elaboración Propia

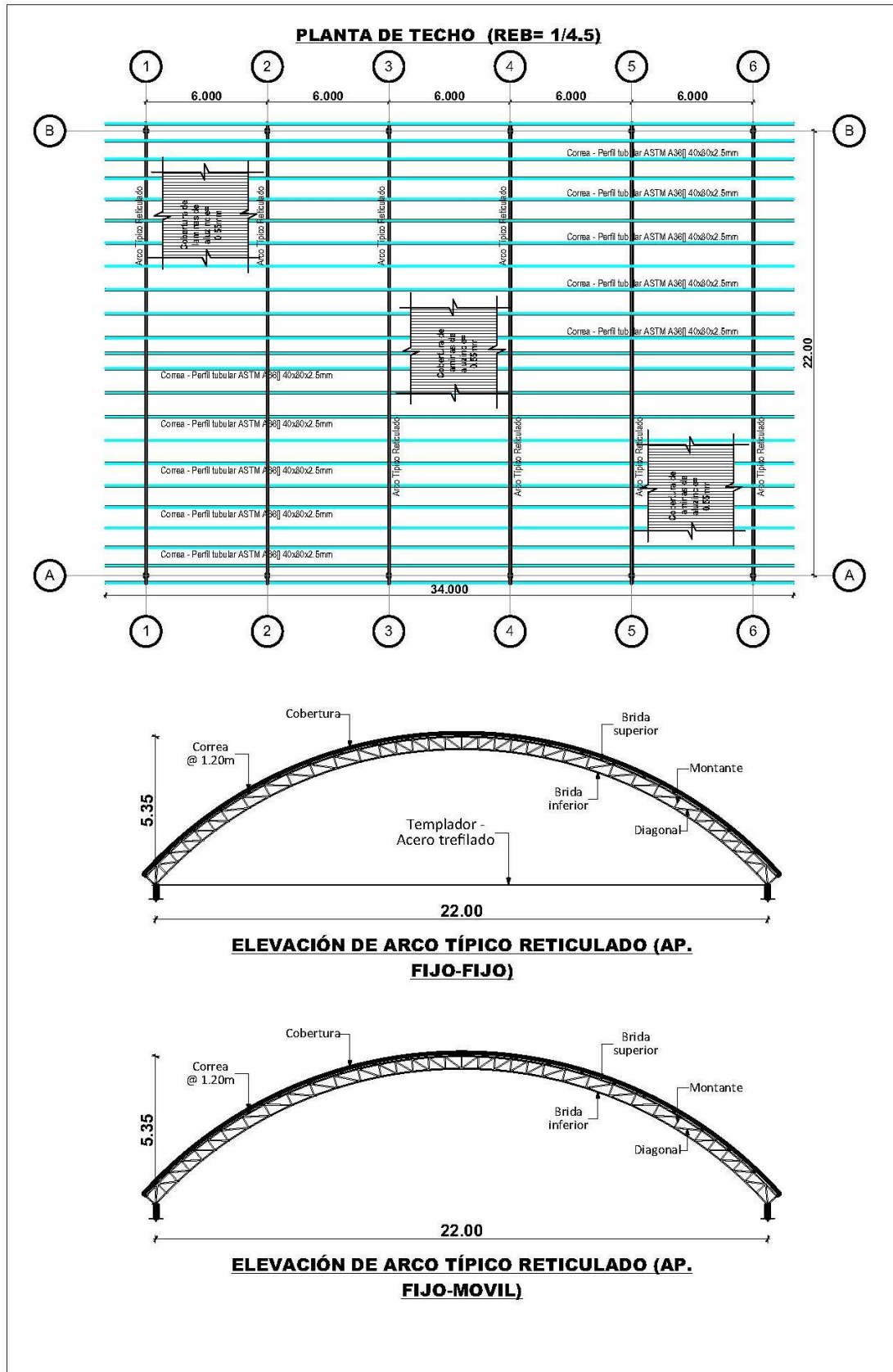


Figura XVI. Características del modelo tipo II (Curvatura grado 02)
Fuente: Elaboración propia

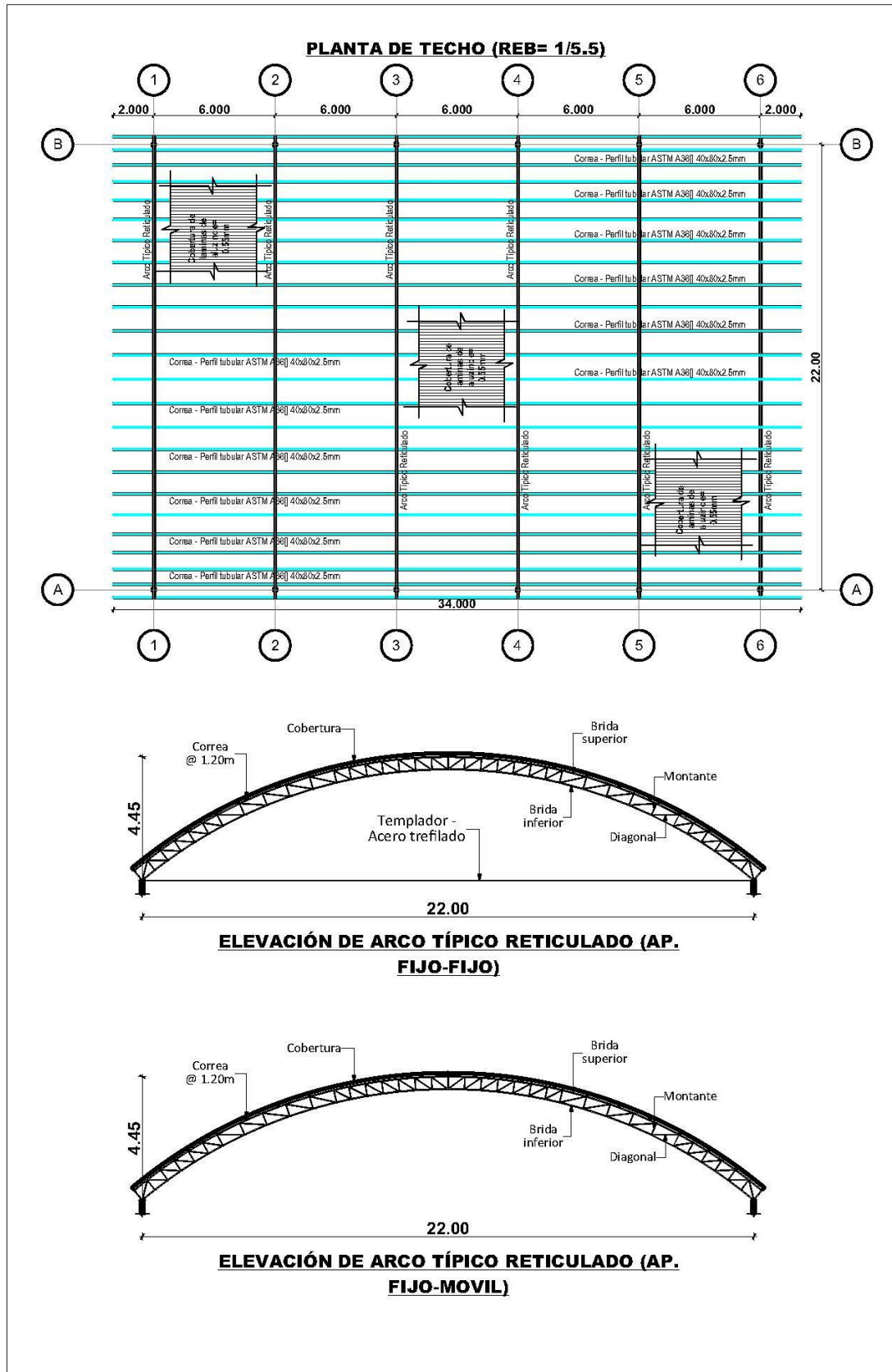


Figura XVII. Características del modelo tipo III (curvatura grado 03).
Fuente: Elaboración Propia

La diferencia principal entre los tres modelos presentados anteriormente, radica en el rebajamiento, $F/L=1/3.5$ para el Modelo I, $F/L=1/4.5$ para el Modelo II, $F/L=1/5.5$ para el Modelo III, los cuales dan como flechas 6.75 m, 5.35 m y 4.45 m respectivamente y una luz uniforme de 22.00 m. Además de la diferencia principal se encuentran diferencias ocasionadas por esta variación como las cantidades de material como el área de cobertura, las longitudes de los diferentes perfiles metálicos como: correas, bridas, montantes y diagonales.

Por otro lado, se presenta de forma paralela a los tres modelos otros tres, es decir se forman dos grupos, el primer grupo se tienen tres modelos con apoyo fijo de un lado y también apoyo fijo del otro lado, mientras que el segundo grupo con apoyo fijo de un extremo y móvil del otro. En total se tienen 6 modelos, que constan de 2 grupos de tres grados cada uno.

Tabla 4
Modelos a comparar

Grupo I					
Grado	Luz (m)	Flecha(m)	Rebajamiento	Apoyo izquierdo	Apoyo derecho
1	22	6.75	~1/3.5	Fijo	fijo
2	22	5.35	~1/4.5	Fijo	fijo
3	22	4.45	~1/5.5	Fijo	fijo
Grupo II					
Modelo	Luz(m)	Flecha(m)	Rebajamiento	Apoyo izquierdo	Apoyo derecho
1	22	6.75	~1/3.5	Fijo	Móvil
2	22	5.35	~1/4.5	Fijo	Móvil
3	22	4.45	~1/5.5	Fijo	Móvil

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales se extrajeron de fichas técnicas de la marca Precor TR4 para la cobertura y Aceros Arequipa para los perfiles metálicos ASTM A500 grado A.

Tabla 5
Características de los materiales utilizados en el modelo parte 1

Item	Material	Descripción	Dimensiones	Peso unitario
1	Acero ASTM A792	Cobertura TR4	1.00 m x 12 m e= 0.55mm	5.26 kg/m ²
2	Acero ASTM A500	Bridas	50 mm x 50 mm e= 3 mm	4.316 kg/m
3	Acero ASTM A500	Montantes	40 mm x 40 mm e=2 mm	2.244 kg/m

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6
Características de los materiales utilizados en el modelo parte 2

Ítem	Material	Descripción	Características
	Acero ASTM A500-B		
		Densidad	800.3801 Kg/m ³
		Peso específico	7849.0476 Kg/m ³
		Módulo de elasticidad	2038901.9 Kg/cm ²
		Módulo de corte	784193 kg/cm ²
		Coefficiente de Poisson	0.3
		Coefficiente térmico	1.17 E-05 cm/C
		Fy	3234.1203 Kg/cm ²
		Fu	4077.8038 Kg/cm ²
		Fye	3557.5323 Kg/cm ²
		Fue	4485.5842 Kg/cm ²

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 Criterio y tolerancia para discretización de arcos.

Como se han descrito líneas arriba en los tres modelos se utilizarán diferentes grados de discretización, los cuales serán cuantificados según el rebajamiento.

Tanto para el primer grupo (Modelos con apoyo fijo-fijo) como para el segundo grupo (Modelos con apoyo Fijo-móvil) se procederá a la interpretación al modelo analítico con rebajamientos que únicamente dependerán de la distribución de los montantes en el arco reticulado. Posteriormente se realizará la interpretación al modelo analítico con rebajamientos considerando las tolerancias dimensionales de la normativa ASTM A6, para proceder a su discretización, los cuales nos darán una flecha máxima de 1mm, por elemento básico de análisis (elemento finito).

3.5.4 Metrado de cargas gravitatorias

Se procedió a realizar el metrado de la cubierta de cada uno de los tres modelos presentados. Los cuales se presentan a continuación.

Tabla 7
Metrado de cargas permanente de cubierta de techo

Ítem	Descripción	Und	N° Elementos	N° Veces	Long. (m)	Ancho (m)	Área/Long.	Peso Unitario (kg/m, kg/m ²)	Parcial (kg)
1	Cargas sobre Arco								8571.88
1.1	Cobertura	m ²	1	1	34.00	27.90	948.60	5.26	4989.64
1.2	Correas 40x80x2.5mm	m	1	24	34.00		816.00	4.39	3582.24
2	Arcos Reticulados								2144.56
2.1	Bridas 50x50x3mm	m	6	2	28.37		340.44	4.32	1469.34
2.1	Montante 40x40x2mm	m	6	39	0.45		105.30	2.24	236.29
2.3	Diagonal 40x40x2mm	m	6	28	0.74		124.32	2.24	278.97
2.4	Diagonal 40x40x2mm	m	6	12	0.99		71.28	2.24	159.95
									10716.43

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8.
Metrado de cargas para un arco reticulado

Ítem	Descripción	und	N° Elementos	N° Veces	Long. (m)	Ancho (m)	Área/Long	Peso Unitario (kg/m, kg/m ²)	Parcial (kg)
1	Cargas sobre Arco								1512.68
1.1	Cobertura	m ²	1	1	6.00	27.90	167.40	5.26	880.52
1.2	Correas 40x80x2.5mm	m	1	24	6.00		144.00	4.39	632.16
2	Arcos Reticulados								2144.56
2.1	Bridas 50x50x3mm		6	2	28.37		340.44	4.32	1469.34
2.1	Montante 40x40x2mm		6	39	0.45		105.30	2.24	236.29
2.3	Diagonal 40x40x2mm		6	28	0.74		124.32	2.24	278.97
2.4	Diagonal 40x40x2mm		6	12	0.99		71.28	2.24	159.95
									3657.24

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 9
Metrado de cargas permanente en arco por punto de aplicación

Ítem	X (m)	Z (m)	Elemento	Long (m)	Ancho (m)	Área/Long (m)	Peso Unitario (kg/m, kg/m ²)	Parcial (kg)	Total (kg)
1	-11.397	0.2277	Cobertura	0.64	6	3.84	5.26	20.20	46.54
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
2	-10.7418	1.2326	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
3	-9.9982	2.1741	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
4	-9.1723	3.0443	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75

			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
5	-8.2711	3.8273	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
6	-7.3016	4.5431	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
7	-6.2724	5.1515	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
8	-5.1914	5.6721	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
9	-4.0672	6.1	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
10	-2.9746	6.402	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
11	-1.7946	6.6185	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
12	-0.5998	6.7272	Cobertura	1.14	6	6.84	5.26	35.98	62.32
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
13	0.5998	6.7272	Cobertura	1.14	6	6.84	5.26	35.98	62.32
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
14	1.7946	6.6185	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
15	2.9746	6.402	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
16	4.0672	6.1	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
17	5.1914	5.6721	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
18	6.2724	5.1515	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
19	7.3016	4.5431	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
20	8.2711	3.8273	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
21	9.1723	3.0443	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
22	9.9982	2.1741	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
23	10.7418	1.2326	Cobertura	1.217	6	7.302	5.26	38.41	64.75
			Correa	6.00		6.00	4.39	26.34	
24	11.397	0.2277	Cobertura	0.64	6	3.84	5.26	20.20	46.54
			Correa	6		6.00	4.39	26.34	
									1512.7

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Métodos de análisis de datos

Se procedió a analizar los datos con un algoritmo creado en Matlab, haciendo uso de el método de la rigidez.

Como datos de entrada se utilizaron tablas de datos en formato del Software Microsoft Excel, así también los resultados se obtuvieron en las tablas de Excel, así como resultados intermedios en la interfaz del mismo software Matlab.

Posteriormente se pasó a comparar el polígono cerrado de la clave y apoyos para su comparación entre ambos modelos analíticos, que son con curvatura y sin curvatura. (Márcio Agostini et al. 2018, p. 2)

3.6.1 Desarrollo del instrumento de análisis

El script desarrollado en el software Matlab.exe a continuación desarrolla el análisis estructural de modelos analíticos de estructuras reticulares planos con cargas paralelas al mismo plano. El programa teóricamente presenta las siguientes características y funcionalidades.

Tabla 10
Características del Script del Software en Matlab

Ítem	Aspecto	Limitación/bondades
1	Espacio de Análisis	Bidimensional plano XZ
2	Formado de entrada de datos primarios	Tabla de Excel predeterminada
3	Número máximo de elementos	Ilimitado
4	Tipos de distribución de fuerzas aceptadas	Puntual y distribuida
5	Momentos aceptados	Puntual
6	Condiciones de borde aceptados	Libre, fijo y empotrado
7	Número de nodos máximos	Ilimitado
8	Dirección de fuerzas	X y Z
9	Dirección de momentos	Y
10	Salida de Fuerzas en nodos	Sí
11	Salida de reacciones en apoyos	Sí
12	Salida de fuerza axial por elemento	Sí
13	Salida de fuerza cortante por elemento	Sí
14	Salida de momento flexionante por elemento	Sí
15	Desplazamientos en la dirección X	Sí
16	Desplazamiento en la dirección Z	Sí
17	Giro en la dirección Y	Sí

Fuente: Elaboración Propia

Además de las bondades mencionadas en la tabla anterior agregamos que el programa al hacer de la metodología de la rigidez realiza cálculos de propiedades inherentes al proceso, como por ejemplo el peso de los elementos y la estructura en general y las longitudes de cada elemento además de calcular las matrices de rigidez de cada elemento y de la estructura global.

La salida de resultados se hace también en un archivo de Excel en tres hojas, la primera retorna las reacciones de los apoyos, la segunda las fuerzas en los nodos, la tercera las fuerzas internas de los elementos, como fuerza axial, cortante y momento flector, en el nodo inicial y final del elemento.

Es preciso indicar que al hacer uso del método de la rigidez el programa arrojará resultados de los nodos extremos del elemento, mas no del interior del elemento, por lo cual, si se desea saber los resultados, a mayor detalle o en puntos específicos del elemento, se debe discretizar en mayor número de elementos la estructura.

3.6.1.1 Estructura del programa

3.6.1.1.1 Sección I, Lectura de datos primarios

Para la lectura de datos primarios se debe tener una tabla de Excel con las propiedades geométricas y mecánicas de la estructura a analizar, a continuación, se presenta el formato de tabla a requerir.

Tabla 11
Estructura de la tabla Excel para insertar en el script

N°	Xi	Yi	Xj	Yj	E	A	I	Ppe	ID
1	-11.40	0.23	-11.08	0.74	2.039E+10	5.640E-04	2.085E-07	4.43	BS
2	-11.08	0.74	-10.74	1.23	2.039E+10	5.640E-04	2.085E-07	4.43	BS
.
.
.
n	n	n	n	n	n	n	n	n	n

Fuente: Elaboración Propia

La primera columna de la tabla contiene el número del elemento o barra, la segunda columna contiene la coordenada X (número Racional) del nodo inicial del elemento, la tercera columna contiene la coordenada Z (número Racional) del nodo inicial del elemento, la segunda cuarta columna contiene la coordenada X (número Racional) del nodo final del elemento, la quinta columna contiene la coordenada Z (número Racional) del nodo final del elemento, la siguiente el módulo de elasticidad, la siguiente el área del elemento, la siguiente el momento de inercia contenido en el plano XZ, la penúltima contiene el peso unitario del elemento, el cual modela una carga distribuida por peso propio, la última columna contiene el código del elemento.'

Tabla 12
Sección de introducción del programa RETBI

```
% RETICULADOS PLANOS CON CARGAS PARALELAS
clc % Limpia la ventana de comandos "Command Window"
clear % Limpia la ventana de trabajo "Workspace"
disp(...)
'-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----')
disp(...)
'-----')
disp(...)
'NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda en-'
disp(...)
'trada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel de-'
disp('be incluir .xlsx')
disp...
('-----')
% FASE 01:LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
disp('FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS')
disp...
('-----')
```

Fuente: Elaboración Propia

La sección de introducción del programa RETBI, da la bienvenida, precisa y aclara la característica del archivo de datos de excel.

Tabla 13

Sección 1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas

```

%% 1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas.
disp('1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS')
file1=input(' Ingrese el nombre del archivo de datos=');
sheet1=input(' Ahora ingrese el nombre de la hoja =');
PFM=xlsread(file1,sheet1,'A2:I1000');% Lectura de datos fisico-mecánicos
[~,ID]=xlsread(file1,sheet1,'J2:J1000');% Lectura de grupo de elemento.

disp(' 1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 1.1, realiza la lectura de datos de la tabla e ingresa al software Matlab como una variable tipo matriz, tanto para las propiedades físico-mecánicas como para el código referente al agrupamiento de elementos.

Tabla 14

Sección 1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento

```

%% 1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento
CXe=(PFM(:,2)+PFM(:,4))/2; % Vector de coordenada X del centro del elemento.
CZe=(PFM(:,3)+PFM(:,5))/2; % Vector de coordenada Z del centro del elemento.
Lex=PFM(:,4)-PFM(:,2); % Vector de distancia longitudinal en X.
Lez=PFM(:,5)-PFM(:,3); % Vector de distancia vertical en Z.
Le=(Lex.^2+Lez.^2).^(1/2); % Vector de longitud del elemento.
Theta=atan2d(Lez,Lex); % Vector de ángulo de inclinación
Pe=PFM(:,9).*Le; % Vector de peso del elemento.

disp(' 1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 1.2 realiza cálculos para la obtención de propiedades primarias como: centroides, peso del elemento, longitudes en los ejes y de elementos, que serán útiles para la gestión y manipulación de datos y revisiones al modelo.

Tabla 15

Sección 1.3-Matriz de transformación

```

%% 1.3-Matriz de transformación
n=(PFM(:,4)-PFM(:,2))./Le;
u=(PFM(:,5)-PFM(:,3))./Le;
t0=zeros(3);
for i=1:length(PFM(:,1))
    te=[n(i,1) -u(i,1) 0;u(i,1) n(i,1) 0;0 0 1];
    T(:, :, i)=[te t0;t0 te];
end

disp(' 1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 1.3 crea una matriz tridimensional de seis por seis por el número de elementos, en donde a cada matriz de transformación de determinada página le corresponde el elementos posicionado en el número de página leído.

Tabla 16
Sección 1.4-Cálculo de propiedades primarias del nodo

```

%% 1.4-Cálculo de propiedades primarias del nodo
Nn=unique([PFM(:,2) PFM(:,3); PFM(:,4) PFM(:,5)], 'rows'); % Matriz de puntos singulares.
V_GDL=(1:length(Nn)*3)';
Pn=[(1:length(Nn(:,1)))' Nn];
GDL=reshape(V_GDL,3,length(Nn))';

% Cálculo de asignación de GDL para elemento.
[i,j]=ismember(PFM(:,2:3),Pn(:,2:3), 'rows');
[k,l]=ismember(PFM(:,4:5),Pn(:,2:3), 'rows');
GDLe=[GDL(j,:) GDL(l,:)];
Ne=[j l];

disp('Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:')
CCG=[length(unique(ID)) length(PFM(:,1)) length(Pn) max(max(GDLe))]
Grupos=unique(ID)

disp(' 1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 1.4, esta sección se debe diferenciar de la sección 1.2 de similar nombre. Esta sección primero filtra los nodos de convergencia de los elementos, seguidamente ordena y borra los duplicados y consigue una lista de puntos singulares denominados nodos de la estructura, a cada nodo se le asigna los grados de libertad con números enteros positivos y consecutivos, cabe señalar que en esta sección no se tiene en cuenta las restricciones de los grados de libertad. Posteriormente hace imprimir en la pantalla un mensaje de cantidad de grupos, elementos, nodos y grados de libertad.

Tabla 17
Sección 1.5-Gráfico de la estructura

```

%% 1.5-Gráfico de la estructura

% Datos geometricos de la estructura
X=[PFM(:,2) PFM(:,4)]'; % Coordenadas X de los vectores
Y=[PFM(:,3) PFM(:,5)]'; % Coordenadas Y de los vectores
% Dimensión de la estructura
if (max(max(Y))-min(min(Y)))==0;
    z=10;
else;
    z=max(max(Y))-min(min(Y));
end;
if max(max(X))-min(min(X))==0;
    x=10;
else;
    x=max(max(X))-min(min(X));
end;
% Gráfica de la estructura con nodos etiquetados
subplot(3,1,1);
plot(X,Y,'-'); % gráfica de los vectores
Yij=[min(min(Y))-0.05*z max(max(Y))+0.05*z]; % rango de las coordenadas Y
Xij=[min(min(X))-0.05*x max(max(X))+0.05*x]; % rango de las coordenadas X
axis([Xij Yij]); % delimitación del espacio de gráfico
title([sheet1 ' - Vista frontal-Nodos etiquetados']);
xlabel('cm');
ylabel('cm');
grid on
t1=text(Pn(:,2),Pn(:,3)-0.005*z,num2str(Pn(:,1)),'FontSize',8); % etiquetado de Nodos

```

```

% Gráfica de la estructura con elementos etiquetados
subplot(3,1,2);
plot(X,Y,'.-'); % gráfica de los vectores
Yij=[min(min(Y))-.05*z max(max(Y))+.05*z]; % rango de las coordenadas Y
Xij=[min(min(X))-.05*x max(max(X))+.05*x]; % rango de las coordenadas X
axis([Xij Yij]); % delimitación del espacio de gráfico
title([sheet1 ' - Vista frontal-Elementos etiquetados']);
xlabel('cm');
ylabel('cm');
grid on
t2=text(CXe,CZe-.005*z,num2str(PFM(:,1)),'FontSize',8,'HorizontalAlignment','right'); %
etiquetado de Nodos

disp(' 1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!')

disp...
('-----')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 1.5 primero desglosa las coordenadas inicial y final, tanto X así como Y de la matriz de datos, segundo pasa a graficar los las líneas, establece los rangos y delimita el espacio etiqueta la gráfica tanto título como los nodos. Seguidamente realiza operaciones similares, pero esta vez etiqueta los elementos.

Tabla 18
Sección 2.1-Asignación de restricciones (Apoyos)

```

%% 2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos)
% FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNAICÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
disp('FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNAICÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES')
disp...
('-----')
disp(' ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES')
disp(' Ingrese punto y dirección a restringir(U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)')
Nap0=input('=');
for i=1:length(Nap0(:,1));
    if Nap0(i,2)==1
        Nap(i,1:2)=[Nap0(i,1)*3-2 0];
    elseif Nap0(i,2)==2;
        Nap(i,1:2)=[Nap0(i,1)*3-1 0];
    elseif Nap0(i,2)==3;
        Nap(i,1:2)=[Nap0(i,1)*3 0];
    else
        disp('Error, verifique los datos y/o formato de entrada de variable')
    end
end
disp(' Se muestran las GDL restringidos')
Nap
a=Nap(:,1);
b=V_GDL ; % Vector de grado de libertad con desplazamiento restringido.
b(a,:)=[]; % Vector de grados de libertad con desplazamientos libres.

disp(' 2.1-Asignación de Restrincciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 2.1 solicita los nodos y las direcciones a restringir, de haber ingresado correctamente se imprimen los grados de libertad a restringidos, es preciso aclarar que se debe realizar una restricción de direcciones de nodos de manera que la estructura quede estable, es decir que el grado de Hiperestaticidad

sea ser mayor o igual a 0, de lo contrario la ecuación no tendrá solución y arrojará un mensaje de error.

Tabla 19

Sección 2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio

```

%% 2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio
% Vector de fuerzas de empotramiento en SCL
for i=1:length(PFM(:,1))
    Ni=PFM(i,9)*sind(Theta(i,1))*Le(i,1)*.5;
    Vi=PFM(i,9)*cosd(Theta(i,1))*Le(i,1)*.5;
    Mi=PFM(i,9)*((Le(i,1)*cosd(Theta(i,1)))^2)/12;
    sppe(:, :, i)=[Ni; Vi; Mi; Ni; Vi; -Mi];
end
sppe;
% Vector de fuerzas de empotramiento en SCG
for i=1:length(PFM(:,1));
    SPPe(:, :, i)=T(:, :, i)*sppe(:, :, i);
end
% Vector de Delta de fuerzas de empotramiento
DeltaSPP(:, 1, length(PFM(:, 1)))=zeros(length(Pn(:, 1))*3, 1);
for i=1:length(PFM(:, 1));
    DeltaSPP(GDLe(i, :)', 1, i)=SPPe(:, :, i);
end
DeltaSPP;
SPP=zeros(length(Pn(:, 1))*3, 1);
for i=1:length(PFM(:, 1));
    SPP=SPP+DeltaSPP(:, 1, i); % matriz de fuerzas de empotramiento
end

disp(' 2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO')
disp(' CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 2.2, el primer bucle crea las matrices de fuerzas para cada elemento en el sistema de coordenadas locales, y el segundo bucle las transforma en al sistema de coordenadas globales, mientras que el siguiente bucle crea una vector de fuerzas de empotramiento y seguidamente inserta cada componente de cada fuerza de empotramiento de cada elemento en el vector total de fuerzas de empotramiento, seguidamente se superponen los vectores de cada elemento y se crea un vector de fuerzas de empotramiento.

Tabla 20

Sección 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio

```

%% 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio

% MECÁNICA DE LA SECCIÓN.-Comienza con la creación del vector de fuerzas seguido
% de la apertura de diálogo de entrada 'Mentrada' abriendo las
% siguientes cuatro alternativas cada una con un bloque de estructura if.
% -Al seleccionar la alternativa 0(ninguno) se ejecuta sólo primera
% condición que le indica al computador saltar esta sección. Mientras que
% los siguientes sí ejecutan los bucles if anidados.
% -Al seleccionar la alternativa 1(Tabla de excel) se ejecuta el primer y
% tercer bloque de if anidado.
% -Al seleccionar la alternativa 2(Manual Matlab) se ejecuta el segundo y
% tercer bloque if anidado.
% -Al seleccionar la alternativa 3(Ambos) se ejecuta los tres bloques if.
% -De ingresar cualquier otro valor diferente a las alternativas imprimira

```

```

% un mensaje de error.
CE=zeros(length(V_GDL),1); % Creación del vector de Fuerzas
Mentrada=input...
(' Ingrese el método de entrada carga:Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:');
if Mentrada==0
else
    if xor(Mentrada==1,Mentrada==3); % Primer bloque if - inicio
        sheet2=input(' Ingrese nombre de hoja de datos de carga=');
        carga=xlsread(file1,sheet2,'A2:D100');% Lectura de datos físico-mecánicos
        Numero_de_cargas_puntuales=length(carga(:,1))
        SEN=input(' Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :');
        % búsqueda de puntos y atribución de carga, la línea devuelve para el
        % el vector i devuelve verdadero o falso.
        % el vector j devuelve los indices cuando i es verdadero
        [i,j]=ismember(carga(:,2:3),Pn(:,2:3),'rows');
        cargal=GDL(j,SEN);
        CEinterno=CE;
        CEinterno(cargal)=carga(:,4);
    end % Primer bloque if - final

    if xor(Mentrada==2,Mentrada==3); % Segundo bloque if - inicio
        CPexterno=input(' Ingrese GDL y fuerza =')
        if CPexterno~=0;
            CEexterno(CPexterno(:,1))=CPexterno(:,2);
        else
            CEexterno=CE;
        end
    end % Segundo bloque if - final

    if Mentrada==1; % Tercer bloque if - inicio
        CE=CEinterno;
    elseif Mentrada==2;
        CE=CEexterno;
    elseif Mentrada==3;
        CE=CEinterno+CEexterno;
    else
        disp(' Error!:Seleccione una de las siguientes opciones:0, 1, 2 o 3')
    end % Tercer bloque if - final
end
disp(' 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferenes al peso propio - PROCE-
')
disp(' -SADO CON ÉXITO!')

disp...
('-----')
% FASE 03: PROCESAMIENTO Y CÁLCULO DE RESULTADOS
disp('FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES')
disp...
('-----')
disp('3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS(Ver script en lenguaje matlab)')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 2.3, esta sección se dedica a asignar cargas a la estructura, o simplemente saltarla de no haber cargas, a través de cuatro opciones: ninguna(que salta esta sección), Tabla de excel (con formato predeterminado), Manual Matlab (a través de una matriz, que indica el grado de libertad y la fuerza), ambos (se refieres tanto a la tabla de Excel y el manual Matlab, finalmente de haber ingresado con errores imprimirá un mensaje de error.

Tabla 21

Sección 3.1-Cálculo de matrices de rigidez

```

%% 3.1-Cálculo de las matrices de rigidez

```

```

disp(' 3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!')

% 3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL
for i=1:length(PFM(:,1))
    k1=PFM(i,6)*PFM(i,7)/Le(i,1);
    k2=12*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1)^3;
    k3=6*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1)^2;
    k4=4*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1);
    k5=2*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1);
    ke(:, :, i)=[ k1  0  0 -k1  0  0;...
                 0  k2  k3  0 -k2  k3;...
                 0  k3  k4  0 -k3  k5;...
                 -k1  0  0  k1  0  0;...
                 0 -k2 -k3  0  k2 -k3;...
                 0  k3  k5  0 -k3  k4];
end

disp(' 3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!')

% 3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG
for i=1:length(PFM(:,1))
    Ke(:, :, i)=T(:, :, i)*ke(:, :, i)*T(:, :, i)';
end

disp(' 3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!')

% 3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura
%Cálculo del delta de la matriz de rigidez de elementos
for i=1:length(PFM(:,1))
    DeltaK(GDLe(i, :), GDLe(i, :), i)=Ke(:, :, i);
end
DeltaK;
% Suma de Delta de la Matriz de rigidez del elemento
K=zeros(length(Pn(:,1))*3);
for i=1:length(PFM(:,1))
    K=K+DeltaK(:, :, i); % matriz de rigidez global
end

disp(' 3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 3.1 en el primer bucle if calcula la matrices de rigidez en coordenadas locales, el siguiente bucle transforma las matrices de rigidez al sistema de coordenadas globales, y los bucles siguientes ensamblan las matrices de rigidez previamente calculadas y transformadas al sistema de coordenadas globales para obtener la matriz de rigidez global de la estructura.

Tabla 22
Sección 3.2-Subdibición de la matriz global de rigidez

```

%% 3.2-Subdibición de la matriz global
K_aa=K(a,a); % porción de matriz de rigides de GDL restringidos(conocidos)
K_ab=K(a,b);
K_ba=K(b,a);
K_bb=K(b,b); % porción matriz de rigides de GDL libres(desconocidos)

disp(' 3.2-Subdibición de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 3.2 con fines de resolver la ecuación principal, subdivide la matriz global de rigidez en las cuatro submatrices.

Tabla 23

Sección 3.3-Cálculo del vector desplazamiento

```

%% 3.3-Cálculo del vector desplazamientos
D=zeros(length(Pn(:,1))*3,1); % Creación del vector desplazamiento.
Db=K_bb\ (CE(b)-SPP(b)); % Desplazamientos calculados en nodos libres.
D(b)=Db; % Vector de desplazamientos D.
UX=D(GDL(:,1)); % Vector de desplazamiento en la dirección X(m).
UZ=D(GDL(:,2)); % Vector de desplazamiento en la dirección Z(m).
RY=D(GDL(:,3)); % Vector de giro en la dirección Z(rad).

disp(' 3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 3.3 realiza el cálculo del vector desplazamiento y desglosa los resultados para exportación en tablas de Excel.

Tabla 24

Sección 3.4-Cálculo de las reacciones

```

%% 3.4-Cálculo del vector fuerzas
F=zeros(length(Pn(:,1))*3,1); % Creación del vector fuerzas.
F_a=K_ab*Db+SPP(a); % Fuerzas calculadas(Reacciones)
F_b=K_bb*Db;
F(a)=F_a; % Inserción de fuerzas conocidas en el vector de fuerzas (F)
F(b)=F_b;
FFX=F(GDL(:,1));
FFZ=F(GDL(:,2),1);
FMY=F(GDL(:,3),1);
% Datos impresos
disp(' Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=')
DUX=[max(UX) min(UX)]
disp(' Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=')
DUZ=[max(UZ) min(UZ)]
RRY=[max(RY) min(RY)];

disp(' 3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 3.4 Realiza el cálculo de las reacciones y ensambla en el vector de fuerzas.

Tabla 25

Sección 3.5-Gráfica de estado deformado

```

%% 3.5-Gráfica de estado deformado
% Datos geométricos de la estructura
Xd=[PFM(:,2)+100*D(GDLe(:,1)) PFM(:,4)+100*D(GDLe(:,4))]; % Coordenadas X de los
vectores
Yd=[PFM(:,3)+100*D(GDLe(:,2)) PFM(:,5)+100*D(GDLe(:,5))]; % Coordenadas Y de los
vectores
if Mentrada~=1
    fig3=subplot(3,1,3);
    plot(X,Y,'b:',Xd,Yd,'k.-'); % gráfica de los vectores
else
    fig3=subplot(3,1,3);
    plot(X,Y,'b:',Xd,Yd,'k.-'); % gráfica de los vectores
end

Yijd=[min(min(Yd))- .05*z max(max(Yd))+.05*z]; % rango de las coordenadas Y
Xijd=[min(min(Xd))- .05*x max(max(Xd))+.05*x]; % rango de las coordenadas X
axis([Xijd Yijd]); % delimitación del espacio de gráfico

```

```

title([sheet1 ' - Vista frontal + Cargas/Vista frontal deformada']);
xlabel('cm');
ylabel('cm');
grid on
disp(' 3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 3.5 realiza el gráfico de la estructura deformada vs la no deformada.

Tabla 26

Sección 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento

```

%% 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento
for i=1:length(PFM(:,1))
    De(1:6,1,i)=D(GDLe(i,:));
    Esf=[-1; -1;-1; 1; 1; 1];
    Fint(i,1:6)=ke(:, :, i)*T(:, :, i)*De(:, :, i).*Esf+sppe(:, :, i).*Esf;
end
P1i=Fint(:,1); % Vector de fuerza cortante en el nodo inicial.
P1j=Fint(:,4); % Vector de fuerza cortante en el nodo final.
V2i=Fint(:,2); % Vector de fuerza cortante en el nodo inicial.
V2j=Fint(:,5); % Vector de fuerza cortante en el nodo final.
M3i=Fint(:,3); % Vector de momento flector en el nodo inicial.
M3j=Fint(:,6); % Vector de momento flector en el nodo final.

disp(' 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!')

disp...
('-----')
% FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
disp('FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS')
disp...
('-----')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 3.6 realiza el cálculo de las fuerzas internas como: axiales, cortantes y momentos flectores para cada nodo y los desglosa para su exportación a tabla de Excel.

Tabla 27

Sección 4.1- Recolección de datos y resultados

```

%% 4.1-Recolección de datos y resultados
% Matriz general de entradas-proceso-salidas de nodos
Reac=[a F_a]; % Matriz de reacción en cada grado de libertad.
MEn=[Pn(:,1) Pn(:,2) Pn(:,3) FFX FFZ FMY UX UZ RY ]; % Resumen de desplazamientos.
% Matriz general de entradas-procesos-salidas de Elementos
MEe_0=[PFM(:,1) PFM(:,2) PFM(:,3) PFM(:,4) PFM(:,5) PFM(:,6) PFM(:,7) PFM(:,8) PFM(:,9)
CXe CZe Lex Lez Le Pe];
MEe_1=[PFM(:,1) Ne(:,1) PFM(:,2) PFM(:,3) P1i V2i M3i Ne(:,2) PFM(:,4) PFM(:,5) P1j V2j
M3j]; % Resumen de fuerzas i.

disp(' 4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 4.1 Recolecta los datos y ordena para su poster exportación o revisión de la consistencia de los resultados.

Tabla 28

Sección 4.2- Recolección de datos y resultados

```

%% 4.2-Exportando resultados
file2=input(' Ingrese el nombre para la denominación del archivo =');
sheet3=sheet1;
%Datos reacciones
T1={'GDL' 'Reacción'};
xlswrite(file2,T1, strcat(sheet3, '-R'), "A1");
xlswrite(file2,Reac, strcat(sheet3, '-R'), "A2");

%Datos fuerzas
T2={'Nodo' 'X' 'Z' 'FX' 'FZ' 'MY' 'UX' 'UZ' 'RY'};
xlswrite(file2,T2, strcat(sheet3, '-F.N'), "A1");
xlswrite(file2,MEn, strcat(sheet3, '-F.N'), "A2");

%Datos esfuerzos internos
T3={'Gr' 'Be' 'i' 'Xi' 'Zi' 'P1i' 'V2i' 'M3i'...
    'j' 'Xj' 'Zj' 'P1j' 'V2j' 'M3j' };
xlswrite(file2,T3, strcat(sheet3, '-F.E'), 'A1');
xlswrite(file2,MEe_1, strcat(sheet3, '-F.E'), 'B2');
xlswrite(file2,ID, strcat(sheet3, '-F.E'), 'A2');

disp(' 4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!')
disp...
('-----')
disp('!CONCLUSIÓN EXITOSA!')
disp...
('-----END-----')

```

Fuente: Elaboración Propia

La sección 4.2 realiza la exportación de los resultados a en formatos predeterminados, para lo cual te pide el nombre y deposita las tablas en la ruta del archivo del código.

3.6.2 Corrido de los modelos mediante el instrumento de análisis

A continuación, se presenta una tabla de denominación de modelos analíticos, en el cual se aprecia una bifurcación de los 6 modelos anteriormente mencionados. Ahora la bifurcación es debido a la consideración o no de la curvatura de los elementos de la estructura del arco reticular, con el cual servirá de prueba para cuantificar la influencia de la curvatura en la estructura reticular.

La estructura de la denominación se encuentra separadas por puntos entre sus componentes y es de la siguiente forma: la primera letra “M”, abrevia el termino modelo, seguidamente el número hasta el punto representa el grupo, el siguiente número hasta el punto representa el grado, y finalmente las dos últimas letras que se refieren al nivel de detalle del modelo “1 y 2” abrevian los términos Desprecia Curvatura y Considera Curvatura respectivamente. En adelante se hablará de modelos, pudiendo referirse a uno de los doce; grupos pudiendo referirse a uno o dos; grados de rebajamiento pudiendo referirse a grado uno, dos y tres; finalmente a nivel de detalle del modelo analítico pudiendo ser Simple y Detallado que

corresponden a que el primero desprecia la curvatura de sus elementos “1” y el segundo considera la curvatura de sus elementos “2”.

Tabla 29
Características de los modelos en cuanto a sus curvaturas

Modelo	Modelo Analítico simple (Desprecia curvatura)	Modelo Analítico detallado (Considera Curvatura)
Modelo 1.F	1.F.S	1.F.D
Modelo 2.F	2.F.S	2.F.D
Modelo 3.F	3.F.S	3.F.D
Modelo 1.M	1.M.S	1.M.D
Modelo 2.M	2.M.S	2.M.D
Modelo 3.M	3.M.S	3.M.D

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2.1 Grado 1

3.6.2.1.1 Modelo analítico 1.F.S

Modelo incluido en el grupo 1 (fijo-fijo) de grado 1 ($R_b=1/3.5$) con luz de 22.00 m flecha de 6.75 no considera curvatura en sus elementos.

Tabla 30
Datos de primarios de Modelo analítico 1.F.S.

N°	Xi (cm)	Yi (cm)	Xj (cm)	Yj (cm)	E (Kg/cm ²)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Ppe(Kg/cm)	ID
1	-1138.79	22.82	-1107.20	73.82	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
2	-1107.20	73.82	-1073.32	123.34	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
3	-1073.32	123.34	-1037.24	171.27	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
4	-1037.24	171.27	-999.02	217.51	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
5	-999.02	217.51	-958.73	261.97	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
6	-958.73	261.97	-916.47	304.56	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
7	-916.47	304.56	-872.32	345.18	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
8	-872.32	345.18	-826.37	383.76	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
9	-826.37	383.76	-778.72	420.21	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
10	-778.72	420.21	-729.47	454.46	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
20	-231.57	653.63	-172.28	662.80	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
30	406.09	610.12	348.60	627.26	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
40	916.47	304.56	872.32	345.18	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
50	-1001.91	143.40	-964.99	188.06	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
60	-553.57	502.78	-500.80	526.72	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
70	50.97	628.06	0.00	629.08	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
80	605.20	476.46	553.57	502.78	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
90	1036.77	97.10	1001.91	143.40	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
100	-1036.77	97.10	-1037.24	171.27	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
110	-826.37	383.76	-798.23	348.65	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
120	-573.09	543.32	-553.57	502.78	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
130	-290.39	641.77	-280.50	597.87	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
140	0.00	629.08	0.00	674.08	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
150	290.39	641.77	280.50	597.87	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
160	573.09	543.32	553.57	502.78	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
170	826.37	383.76	798.23	348.65	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
180	1036.77	97.10	1037.24	171.27	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
185	1107.20	73.82	1069.49	49.27	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31
Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 1.F.S.

N°	X (cm)	Y (cm)	CE (Kg)
1	-1138.79	22.82	-46.54
2	-1073.32	123.34	-64.75
3	-999.02	217.51	-64.75
4	-916.47	304.56	-64.75
5	-826.37	383.76	-64.75
6	-729.47	454.46	-64.75
7	-626.54	516.08	-64.75
8	-518.46	568.11	-64.75
9	-406.09	610.12	-64.75
10	-290.39	641.77	-64.75
11	-172.28	662.80	-64.75
12	-52.76	673.03	-62.32
13	52.76	673.03	-62.32
14	172.28	662.80	-64.75
15	290.39	641.77	-64.75
16	406.09	610.12	-64.75
17	518.46	568.11	-64.75
18	626.54	516.08	-64.75
19	729.47	454.46	-64.75
20	826.37	383.76	-64.75
21	916.47	304.56	-64.75
22	999.02	217.51	-64.75
23	1073.32	123.34	-64.75
24	1138.79	22.82	-46.54

Fuente: Elaboración Propia

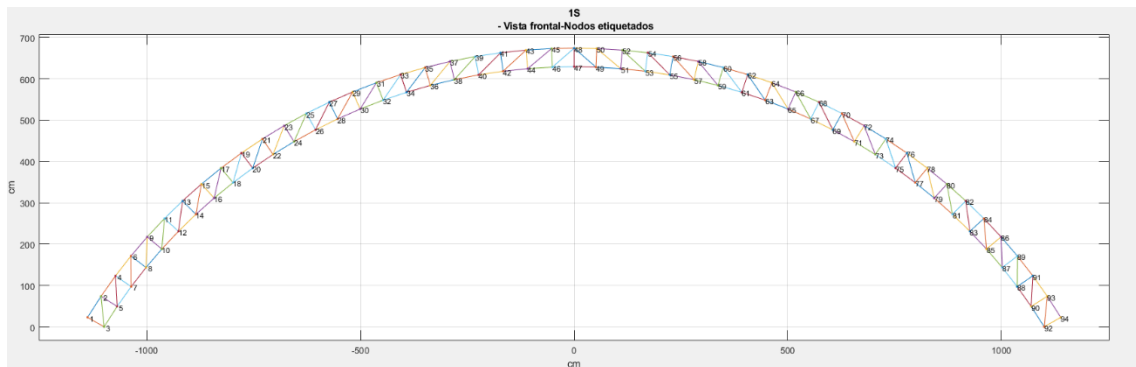


Figura XVIII. Vista frontal del modelo 1.F.S. con nodos etiquetados.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico se observa que los apoyos son en el nodo 3 y 92, se procede a ingresar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 32
Diálogo del programa RETBI modelo 1.F.S.

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----

NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx

FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS

1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS

Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
Ahora ingrese el nombre de la hoja ="1S"

1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!

1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!

1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!

Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

4 185 94 282

Grupos =

1x4 cell array

{'BI'} {'BS'} {'DG'} {'ME'}

1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!

1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES

ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES

Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[3 1; 3 2;92 1;92 2]

Se muestran las GDL restringidos

Nap =

7 0
8 0
274 0
275 0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!

2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!

Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C1S"

Numero_de_cargas_puntuales =

24

Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2

2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES

3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS(Ver script en lenguaje matlab)

3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!

3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!

3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!

3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!

3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!

3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

0.1631 -0.1626

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

```

0.0732   -0.3758

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R1S"
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 367)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 372)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 378)
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: Elaboración Propia

Una vez ingresado el nombre del archivo de datos incluyendo la extensión, se procede a continuar con el ingreso del nombre de la hoja contenedora de la información físico-mecánica del modelo a analizar, a continuación se presenta un resumen de la información leída, posteriormente el programa solicita la asignación de restricciones mediante una matriz que contiene el punto y la dirección a restringir, seguidamente el programa devuelve los grados de libertad restringidos (Nap) que corresponden a los puntos restringidos, seguidamente el programa solicita el método de entrada de carga, que en nuestro caso es la opción 01, que es tabla de Excel, luego el programa devuelve la cantidad de cargas encontradas, a continuación nos solicita ingresar la dirección de la carga. A partir de aquí el programa ya tiene la suficiente información para calcular los resultados, sin embargo, para la exportación de los resultados el programa solicitará el nombre de archivo para guardar los resultados, en la primera hoja se exportan las reacciones, la segunda las fuerzas en los nodos, la tercera y última se exporta las fuerzas internas de los elementos como axiales, cortantes y momentos flectores.

Si bien es cierto que el programa arroja los resultados de todos los elementos y todos los nodos, debido al objetivo del estudio y la simetría del modelo, se procederá a anotar solamente los resultados en las siguientes elementos y

elementos que converjan en el elemento montante en: apoyos, clave y entre clave y apoyo.

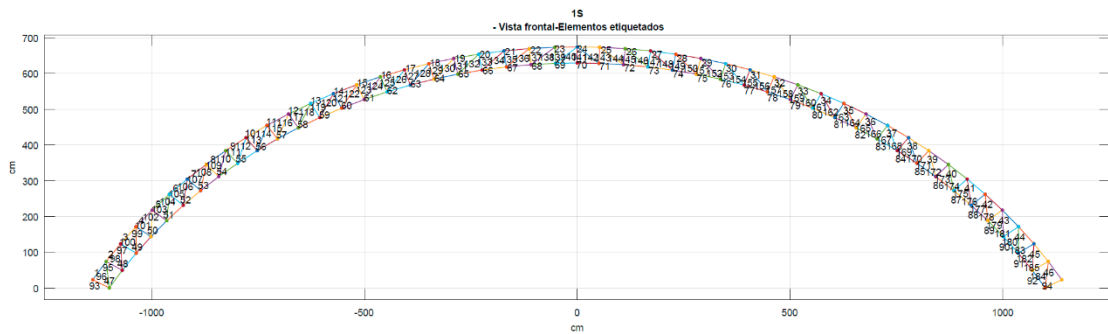


Figura XIX. Vista frontal del modelo 1.F.S. con elementos etiquetados.

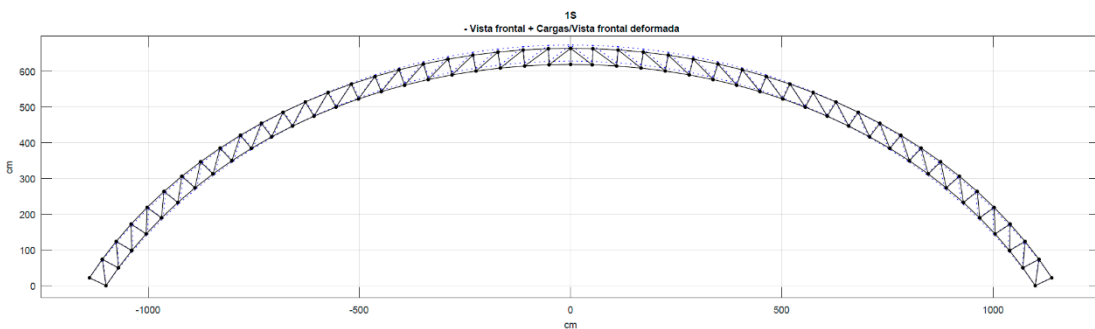


Figura XX. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 1.F.S.

3.6.2.1.2 Modelo analítico 1.F.D

Modelo incluido en el grupo 1 (fijo-fijo) de grado 1 ($R_b=1/3.5$) con luz de 22.00 m flecha de 6.75 considera curvatura en sus elementos.

Tabla 33

Datos primarios de Modelo analítico 1.F.D.

Nº	Xi (cm)	Yi (cm)	Xj (cm)	Yj (cm)	E (Kg/cm ²)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Ppe(Kg/cm)	ID
1	-1138.79	22.82	-1131.11	35.70	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
2	-1131.11	35.70	-1123.28	48.50	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
3	-1123.28	48.50	-1115.31	61.21	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
4	-1115.31	61.21	-1107.20	73.82	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
5	-1107.20	73.82	-1098.94	86.35	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
6	-1098.94	86.35	-1090.54	98.78	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
7	-1090.54	98.78	-1082.00	111.11	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
8	-1082.00	111.11	-1073.32	123.34	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
9	-1073.32	123.34	-1064.51	135.48	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
10	-1064.51	135.48	-1055.55	147.51	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
20	-968.99	251.03	-958.73	261.97	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
30	-861.00	355.02	-849.57	364.73	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
40	-741.92	446.11	-729.47	454.46	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
50	-613.30	523.12	-599.97	530.00	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
60	-476.77	585.06	-462.75	590.39	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
70	-334.11	631.14	-319.58	634.85	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
80	-187.15	660.76	-172.28	662.80	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
90	-37.77	673.54	-22.78	673.88	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS

100	112.64	669.27	97.69	670.46	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
110	261.05	648.03	246.33	650.92	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
120	406.09	610.12	391.80	614.65	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
130	545.91	556.03	532.22	562.15	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
140	678.70	486.44	665.79	494.07	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
150	802.76	402.25	790.79	411.30	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
160	916.47	304.56	905.61	314.90	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
170	1018.39	194.61	1008.77	206.12	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
180	1107.20	73.82	1098.94	86.35	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
190	-1061.51	61.36	-1053.40	73.37	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
200	-974.41	177.06	-964.99	188.06	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
210	-874.77	282.13	-864.16	292.01	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
220	-763.86	375.25	-752.20	383.86	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
230	-643.11	455.20	-630.56	462.43	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
240	-514.09	520.96	-500.80	526.72	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
250	-378.45	571.68	-364.59	575.90	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
260	-237.94	606.70	-223.69	609.32	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
270	-94.36	625.59	-79.91	626.58	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
280	50.97	628.06	36.49	628.56	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
290	195.10	614.08	180.77	616.21	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
300	336.73	583.86	322.73	587.60	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
310	474.02	537.79	460.53	543.09	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
320	605.20	476.46	592.41	483.26	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
330	728.60	400.67	716.66	408.87	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
340	842.61	311.38	831.68	320.89	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
350	945.78	209.76	935.99	220.44	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
360	1036.77	97.10	1028.25	108.82	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
370	1138.79	22.82	1100.00	0.00	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	ME
380	-958.73	261.97	-926.08	231.01	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
390	-729.47	454.46	-704.62	416.94	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
400	-462.75	590.39	-446.99	548.24	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
410	-172.28	662.80	-166.42	618.18	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
420	112.64	669.27	108.80	624.43	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
430	406.09	610.12	392.26	567.30	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
440	678.70	486.44	655.59	447.83	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
450	916.47	304.56	885.26	272.14	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
460	1100.00	0.00	1107.20	73.82	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
461	1107.20	73.82	1069.49	49.27	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 34

Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 1.F.D.

N°	X (cm)	Y (cm)	CE (Kg)
1	-1138.79	22.82	-46.54
2	-1073.32	123.34	-64.75
3	-999.02	217.51	-64.75
4	-916.47	304.56	-64.75
5	-826.37	383.76	-64.75
6	-729.47	454.46	-64.75
7	-626.54	516.08	-64.75
8	-518.46	568.11	-64.75
9	-406.09	610.12	-64.75
10	-290.39	641.77	-64.75
11	-172.28	662.80	-64.75
12	-52.76	673.03	-62.32
13	52.76	673.03	-62.32

14	172.28	662.80	-64.75
15	290.39	641.77	-64.75
16	406.09	610.12	-64.75
17	518.46	568.11	-64.75
18	626.54	516.08	-64.75
19	729.47	454.46	-64.75
20	826.37	383.76	-64.75
21	916.47	304.56	-64.75
22	999.02	217.51	-64.75
23	1073.32	123.34	-64.75
24	1138.79	22.82	-46.54

Fuente: Elaboración Propia

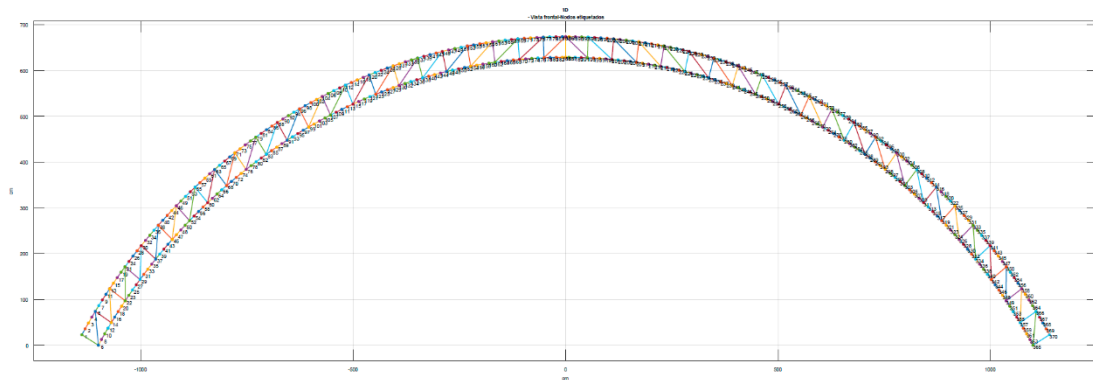


Figura XXI. Vista frontal del modelo 1.F.D. con nodos etiquetados.

Del gráfico se observa que los apoyos son en el nodo 6 y 365, se procede a ingresar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 35
Diálogo del programa RETBI modelo 1.F.D

```

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="1D"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

      4      461      370      1110

Grupos =

1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

```

```

1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNAICÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[6 1;6 2;365 1;365 2]
Se muestran las GDL restringidos

Nap =

      16          0
      17          0
     1093         0
     1094         0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!
Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C1S"

Numero_de_cargas_puntuales =

      24

Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNAICÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
3.2-Subdibisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

      0.1646   -0.1645

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

      0.0735   -0.3781

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R1D"
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----

```

Fuente: Elaboración Propia

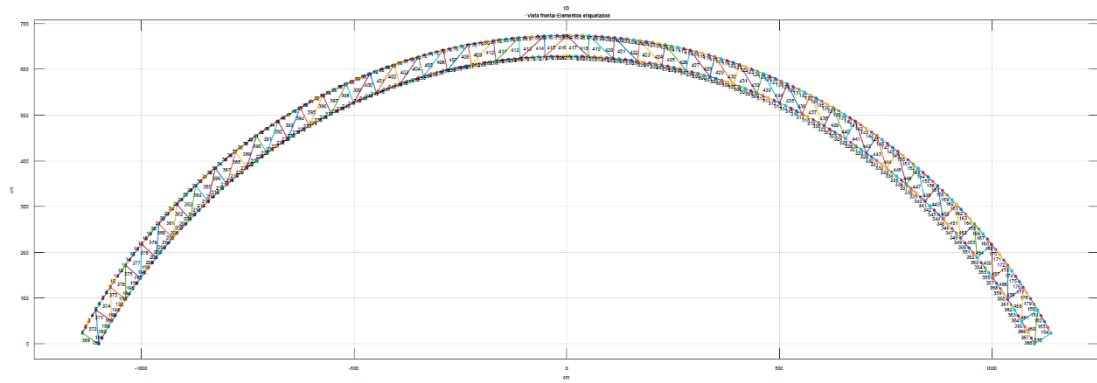


Figura XXII. Vista frontal del modelo 1.F.D. con elementos etiquetados.

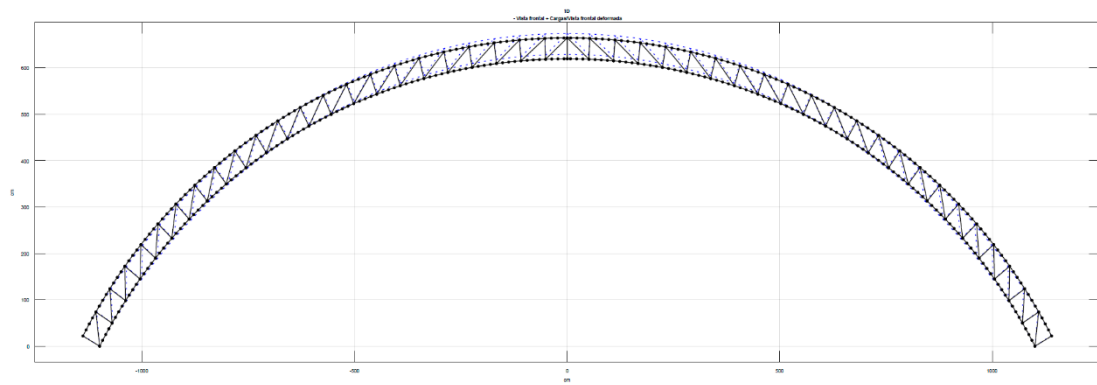


Figura XXIII. Vista frontal sobre Vista frontal deformada del modelo 1.F.D.

3.6.2.1.3 Modelo analítico 1.M.S

Modelo incluido en el grupo 2 (fijo-móvil) de grado 1 ($R_b=1/3.5$) con luz de 22.00 m flecha de 6.75 m no considera curvatura en sus elementos. Cabe destacar que este modelo, geométrica y fisicomecánicamente es igual al modelo 1.F.S., la diferencia radica en las condiciones de apoyo, por lo tanto, para los datos nos remitiremos a dichas tablas.

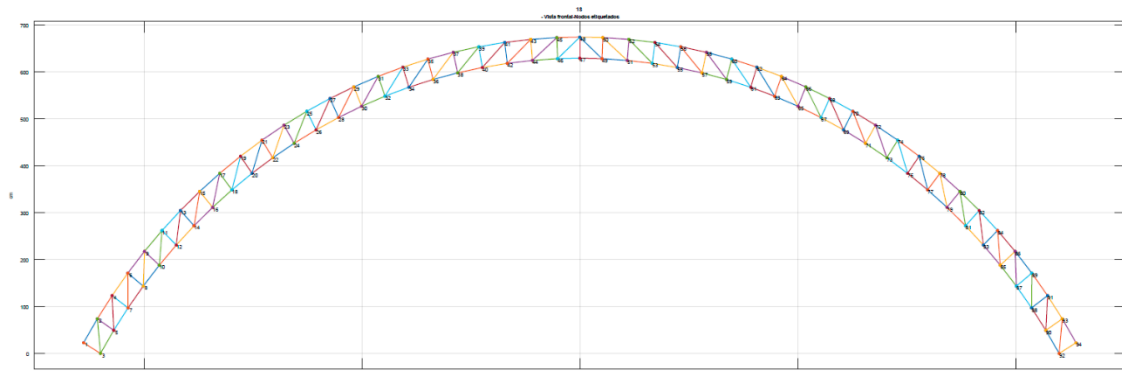


Figura XXIV. Vista frontal de modelo 1.M.S. con nodos etiquetados

Del gráfico se observa que los apoyos son en el nodo 3 y 92, se procede a ingresar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 36
Diálogo del programa RETBI modelo 1.M.S.

```
-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="1S"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

    4    185    94    282

Grupos =

    1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
```

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES

```
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[3 1; 3 2;92 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =

      7      0
      8      0
     275      0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C1S"

Numero_de_cargas_puntuales =

      24

  Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
3.2-Subdibisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

      33.2121      0

  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

      1.1937  -20.4360

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R1S_M"
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>
```

Fuente: Elaboración Propia

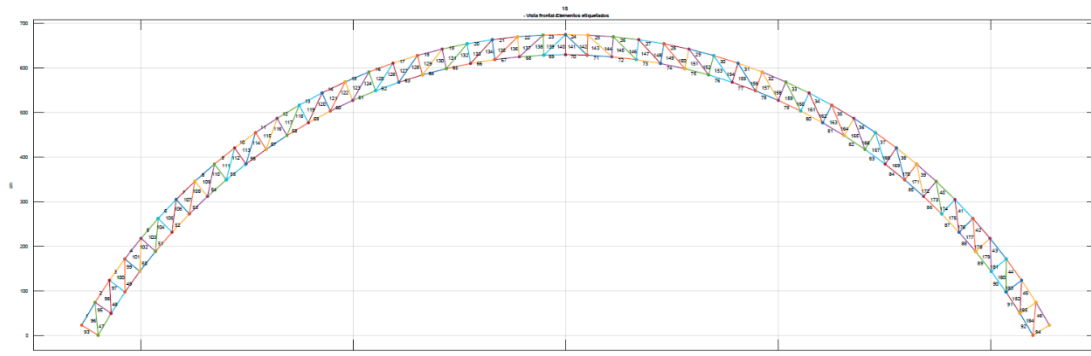


Figura XXV. Vista frontal del modelo 1.M.S. con elementos etiquetados.

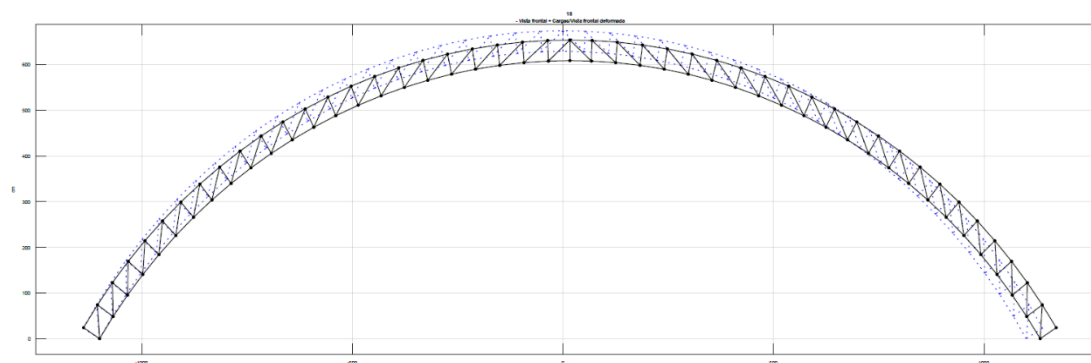


Figura XXVI. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 1.M.S.

3.6.2.1.4 Modelo analítico 1.M.D

Modelo incluido en el grupo 2 (fijo-móvil) de grado 1 ($R_b=1/3.5$) con luz de 22.00 m flecha de 6.75 m considera curvatura en sus elementos. Cabe destacar que este modelo geométrica y fisicomecánicamente es igual al modelo 1.M.D., la diferencia radica en las condiciones de apoyo, por lo tanto, para los datos nos remitiremos a dichas tablas.

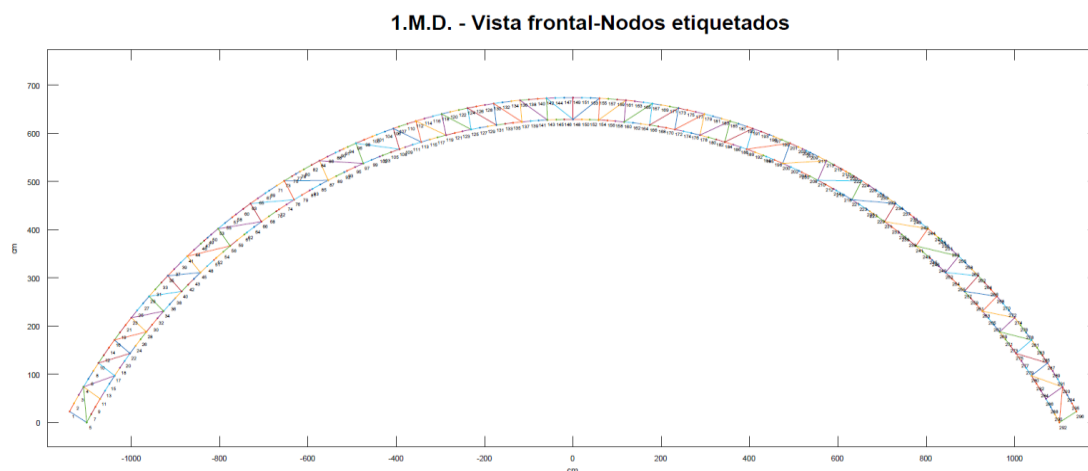


Figura XXVII. Vista frontal de modelo 1.M.D. con nodos etiquetados

Del gráfico se observa que los apoyos son en el nodo 3 y 92, se procede a ingresar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 37
Diálogo del programa RETBI modelo 1.M.D.

```
-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="1D"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

      4      461      370      1110

Grupos =

  1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[6 1; 6 2;365 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =

      16      0
      17      0
     1094      0

  2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
  2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C1D"

Numero_de_cargas_puntuales =

      24

  Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
  2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
  3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
  3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
```

3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

33.3085 0

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

1.1966 -20.4891

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS

4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R1D_M"
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!

!CONCLUSIÓN EXITOSA!

END

>>

Fuente: Elaboración Propia

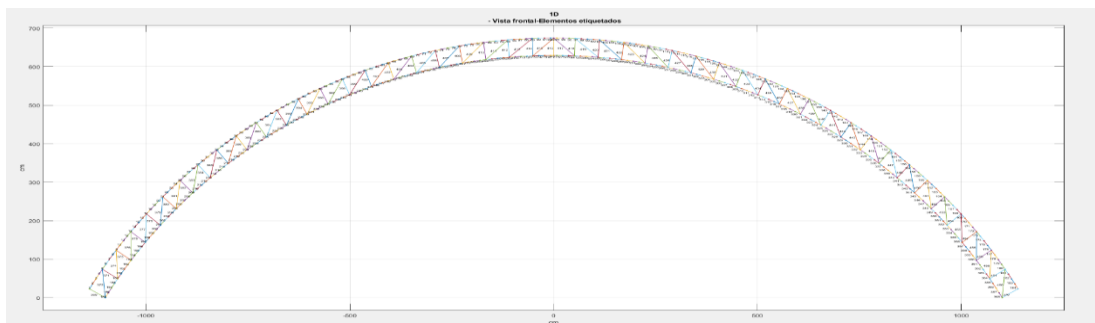


Figura XXVIII. Vista frontal del modelo 1.M.D. con elementos etiquetados.

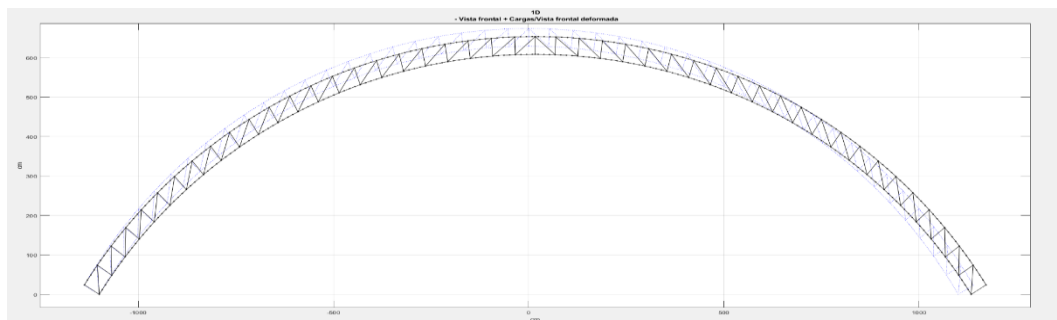


Figura XXIX. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 1.M.D.

3.6.2.2 Grado 2

3.6.2.2.1 Modelo analítico 2.F.S

Modelo incluido en el grupo 1 (fijo-fijo) de grado 2 ($R_b=1/4.5$) con luz de 22.00 m flecha de 5.35 m no considera curvatura en sus elementos.

Tabla 38

Datos de primarios de Modelo analítico 2.F.S.

N°	Xi (cm)	Yi (cm)	Xj (cm)	Yj (cm)	E (Kg/cm ²)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Ppe(Kg/cm)	ID
1	-1133.40	30.16	-1092.33	73.89	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
2	-1092.33	73.89	-1049.57	115.97	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
3	-1049.57	115.97	-1005.19	156.35	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
4	-1005.19	156.35	-959.26	194.95	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
5	-959.26	194.95	-911.85	231.71	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
6	-911.85	231.71	-863.03	266.59	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
7	-863.03	266.59	-812.88	299.52	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
8	-812.88	299.52	-761.47	330.45	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
9	-761.47	330.45	-708.89	359.34	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
10	-708.89	359.34	-655.21	386.15	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
20	-137.01	527.70	-77.16	531.91	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
30	431.24	471.70	373.37	487.51	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
40	959.26	194.95	911.85	231.71	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
50	-884.98	195.62	-837.60	229.46	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
60	-362.37	443.88	-305.64	457.00	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
70	190.85	476.52	132.97	482.88	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
80	739.03	291.45	688.00	319.49	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
90	1133.40	30.16	1100.00	0.00	2038901.9	5.64	20.8492	0.0239	ME
100	-911.85	231.71	-884.98	195.62	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
110	-655.21	386.15	-635.90	345.50	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
120	-373.37	487.51	-362.37	443.88	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
130	-77.16	531.91	-74.89	486.97	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
140	190.85	476.52	137.01	527.70	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
150	474.06	410.99	431.24	471.70	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
160	739.03	291.45	708.89	359.34	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
170	975.57	122.47	959.26	194.95	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
176	1100.00	0.00	1092.33	73.89	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 39

Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 2.F.S.

N°	X (cm)	Y (cm)	CE (Kg)
1	-1133.4	30.16	-46.54
2	-1049.57	115.97	-64.75
3	-959.26	194.95	-64.75
4	-863.03	266.59	-64.75
5	-761.47	330.45	-64.75
6	-655.21	386.15	-64.75
7	-544.91	433.33	-64.75
8	-431.24	471.7	-64.75
9	-314.92	501.03	-64.75
10	-196.65	521.15	-64.75
11	-77.16	531.91	-64.75
12	0	533.86	-62.32
13	77.16	531.91	-64.75
14	196.65	521.15	-64.75
15	314.92	501.03	-64.75
16	431.24	471.7	-64.75
17	544.91	433.33	-64.75
18	655.21	386.15	-64.75
19	761.47	330.45	-64.75
20	863.03	266.59	-64.75
21	959.26	194.95	-64.75

22	1049.57	115.97	-64.75
23	1133.4	30.16	-46.54

Fuente: Elaboración Propia

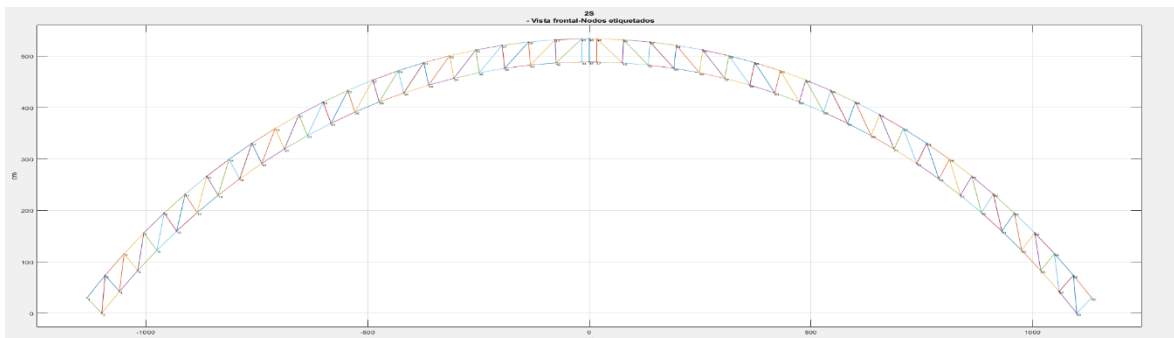


Figura XXX. Vista frontal del modelo 2.F.S. con nodos etiquetados.

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 2 y 85, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 40
Diálogo del programa RETBI modelo 2.F.S.

```

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="2S"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

    4    176    90    270

Grupos =

1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[2 1;2 2;89 1;89 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =

    4    0

```

```

5      0
265    0
266    0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!
Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C2S"

Numero_de_cargas_puntuales =

23

Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

0.0968   -0.0956

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

0.0562   -0.3241

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R2S"
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
In xlswrite (line 220)
In RETBI_V3 (line 371)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
In xlswrite (line 220)
In RETBI_V3 (line 376)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
In xlswrite (line 220)
In RETBI_V3 (line 382)
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: Elaboración Propia

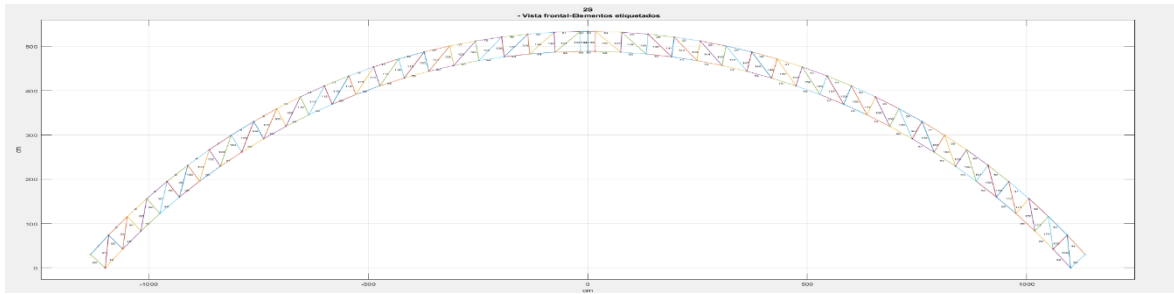


Figura XXXI. Vista frontal del modelo 2.F.S. con elementos etiquetados.

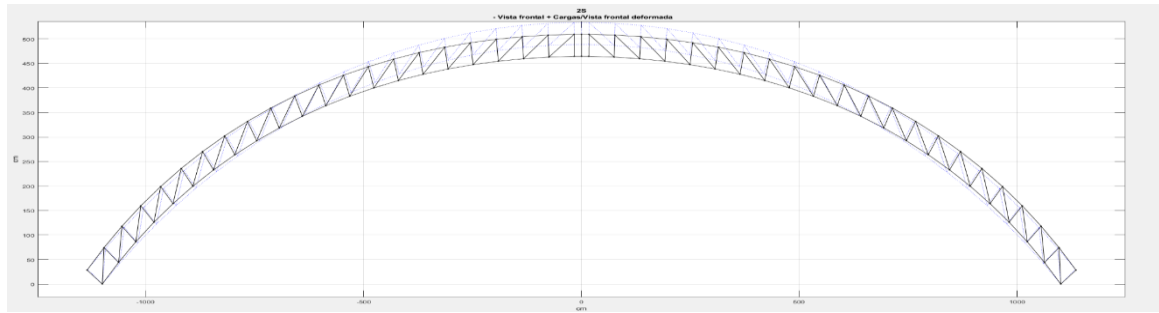


Figura XXXII. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.F.S.

3.6.2.2.2 Modelo analítico 2.F.D

Modelo incluido en el grupo 1 (fijo-fijo) de grado 2 ($R_b=1/4.5$) con luz de 22.00 m flecha de 5.35 m considera curvatura en sus elementos.

Tabla 41

Datos de primarios de Modelo analítico 2.F.D.

N°	Xi (cm)	Yi (cm)	Xj (cm)	Yj (cm)	E (Kg/cm ²)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Ppe(Kg/cm)	ID
1	-1133.40	30.16	-1123.29	41.24	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
2	-1123.29	41.24	-1113.08	52.22	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
3	-1113.08	52.22	-1102.76	63.11	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
4	-1102.76	63.11	-1092.33	73.89	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
5	-1092.33	73.89	-1081.79	84.57	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
6	-1081.79	84.57	-1071.16	95.14	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
7	-1071.16	95.14	-1060.41	105.61	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
8	-1060.41	105.61	-1049.57	115.97	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
9	-1049.57	115.97	-1038.62	126.23	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
10	-1038.62	126.23	-1027.58	136.38	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
20	-923.84	222.70	-911.85	231.71	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
30	-800.14	307.44	-787.33	315.24	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
40	-668.73	379.64	-655.21	386.15	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
50	-530.87	438.61	-516.78	443.76	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
60	-387.90	483.77	-373.37	487.51	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
70	-241.18	514.69	-226.36	516.99	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
80	-92.14	531.08	-77.16	531.91	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
90	77.16	531.91	62.18	532.59	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
100	226.36	516.99	211.51	519.14	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
110	373.37	487.51	358.81	491.11	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
120	516.78	443.76	502.64	448.76	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
130	655.21	386.15	641.63	392.51	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
140	787.33	315.24	774.44	322.91	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
150	911.85	231.71	899.77	240.61	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS

160	1027.58	136.38	1016.43	146.42	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
170	1133.40	30.16	1123.29	41.24	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
180	-1008.02	93.24	-997.30	103.09	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
190	-896.61	186.87	-884.98	195.62	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
200	-776.56	269.11	-764.12	276.68	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
210	-649.02	339.19	-635.90	345.50	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
220	-515.23	396.42	-501.55	401.41	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
230	-376.46	440.25	-362.37	443.88	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
240	-234.07	470.26	-219.69	472.49	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
250	-89.42	486.16	-74.89	486.97	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
260	74.89	486.97	60.34	487.63	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
270	219.69	472.49	205.28	474.57	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
280	362.37	443.88	348.23	447.37	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
290	501.55	401.41	487.83	406.27	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
300	635.90	345.50	622.72	351.68	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
310	764.12	276.68	751.61	284.12	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
320	884.98	195.62	873.26	204.25	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
330	997.30	103.09	986.48	112.84	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
340	1100.00	0.00	1090.19	10.76	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
350	-959.26	194.95	-930.99	159.94	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
360	-708.89	359.34	-688.00	319.49	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
370	-431.24	471.70	-418.54	428.53	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
380	-137.01	527.70	-132.97	482.88	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
390	132.97	482.88	77.16	531.91	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
400	418.54	428.53	373.37	487.51	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
410	688.00	319.49	655.21	386.15	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
420	930.99	159.94	911.85	231.71	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
428	1100.00	0.00	1092.33	73.89	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 42
Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 2.F.D.

N°	X (cm)	Y (cm)	CE (Kg)
1	-1133.4	30.16	-46.54
2	-1049.57	115.97	-64.75
3	-959.26	194.95	-64.75
4	-863.03	266.59	-64.75
5	-761.47	330.45	-64.75
6	-655.21	386.15	-64.75
7	-544.91	433.33	-64.75
8	-431.24	471.7	-64.75
9	-314.92	501.03	-64.75
10	-196.65	521.15	-64.75
11	-77.16	531.91	-64.75
12	0	533.86	-62.32
13	77.16	531.91	-64.75
14	196.65	521.15	-64.75
15	314.92	501.03	-64.75
16	431.24	471.7	-64.75
17	544.91	433.33	-64.75
18	655.21	386.15	-64.75
19	761.47	330.45	-64.75
20	863.03	266.59	-64.75
21	959.26	194.95	-64.75
22	1049.57	115.97	-64.75
23	1133.4	30.16	-46.54

Fuente: Elaboración Propia

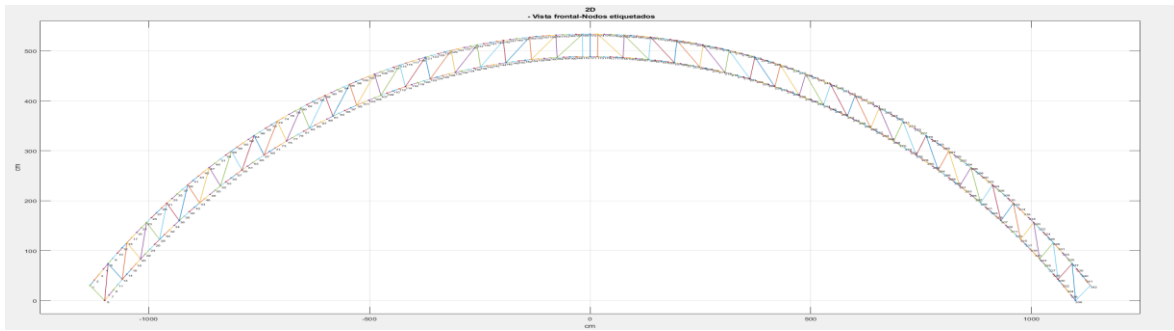


Figura XXXIII. Vista frontal del modelo 2.F.D. con nodos etiquetados.

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 4 y 279, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 43
Diálogo del programa RETBI modelo 2.F.D.

```
-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="2D"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =
      4      428      342      1026

Grupos =
1x4 cell array
    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[5 1;5 2;;338 1;338 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =
      13      0
      14      0
     1012      0
     1013      0
```

```

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C2D"

Numero_de_cargas_puntuales =

    23

  Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

    0.0973    -0.0972

  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

    0.0560    -0.3257

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R2D"
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 371)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 376)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 382)
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: Elaboración Propia

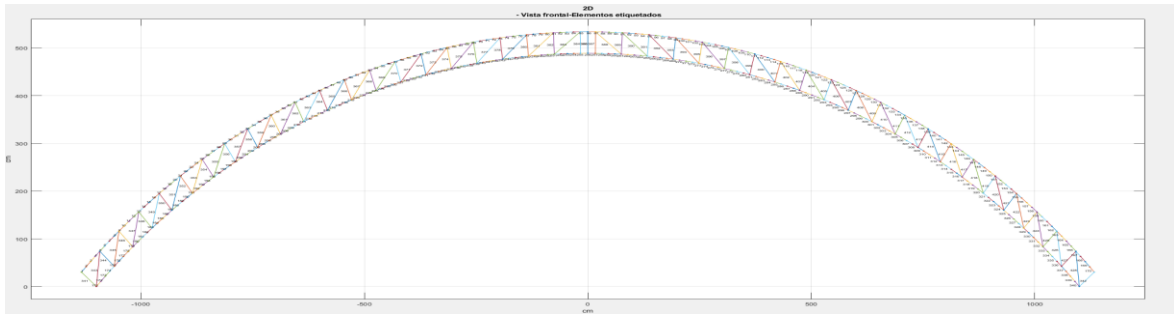


Figura XXXIV. Vista frontal del modelo 2.F.D. con elementos etiquetados.

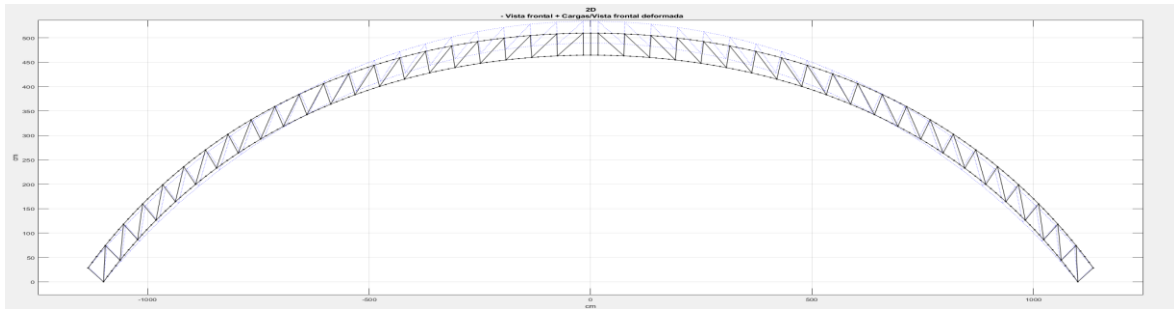


Figura XXXV. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.F.D.

3.6.2.2.3 Modelo analítico 2.M.S

Modelo incluido en el grupo 2 (fijo-móvil) de grado 2 ($R_b=1/4.5$) con luz de 22.00 m flecha de 5.35 m no considera curvatura en sus elementos. Cabe destacar que este modelo geométrica y fisicomecánicamente es igual al modelo 2.F.S., la diferencia radica en las condiciones de apoyo, por lo tanto, para los datos nos remitiremos a dichas tablas.

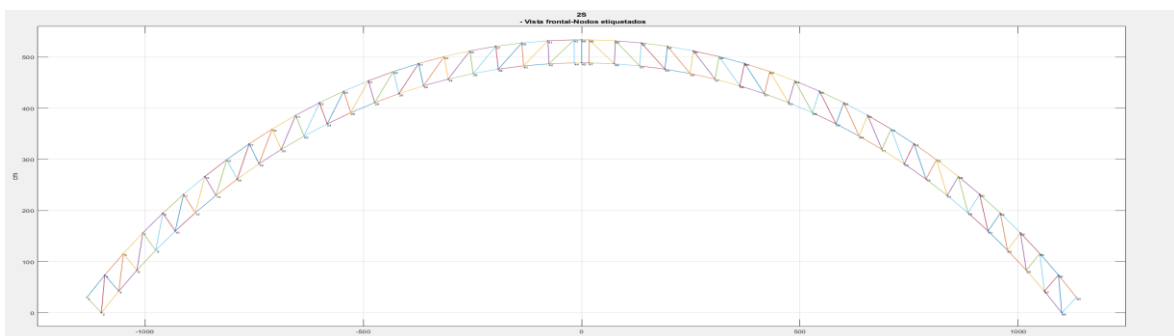


Figura XXXVI. Vista frontal de modelo 2.M.S. con nodos etiquetados.

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 2 y 85, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 44
Diálogo del programa RETBI modelo 2.M.S


```

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="2S"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

      4   176   90   270

Grupos =

1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
  ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[2 1;2 2;89 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =

      4      0
      5      0
     266      0

  2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
  2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C2S"

Numero_de_cargas_puntuales =

      23

  Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
  2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
  3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
  3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

      25.5434      0

  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

```

```

1.0080 -20.4575

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R2S_M"
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 371)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 376)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 382)
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: Elaboración Propia

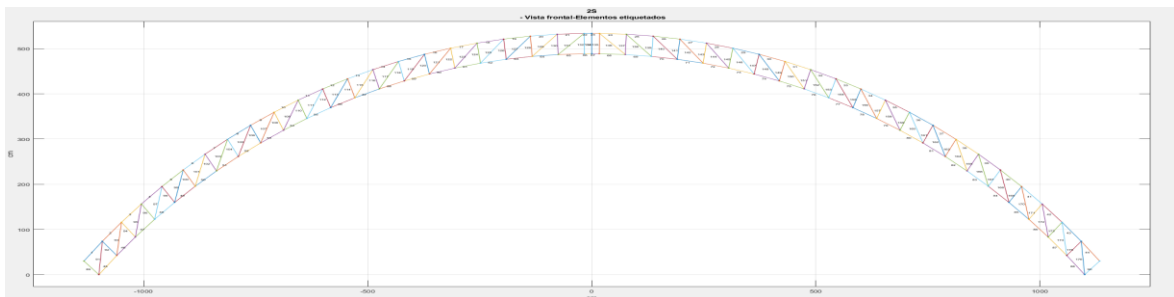


Figura XXXVII. Vista frontal del modelo 2.M.S. con elementos etiquetados.

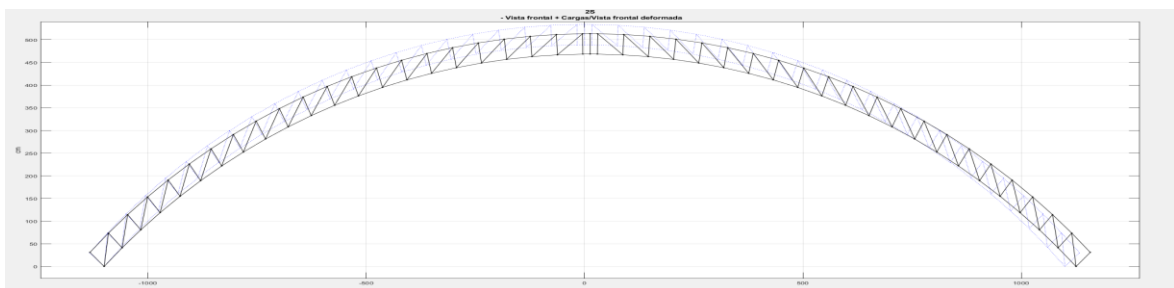


Figura XXXVIII. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.M.S.

3.6.2.2.4 Modelo analítico 2.M.D

Modelo incluido en el grupo 2 (fijo-móvil) de grado 2 ($R_b=1/4.5$) con luz de 22.00 m flecha de 5.35 m considera curvatura en sus elementos. Cabe destacar que este modelo geométrica y fisicomecánicamente es igual al modelo 2.M.D., la

diferencia radica en las condiciones de apoyo, por lo tanto, para los datos nos remitiremos a dichas tablas.

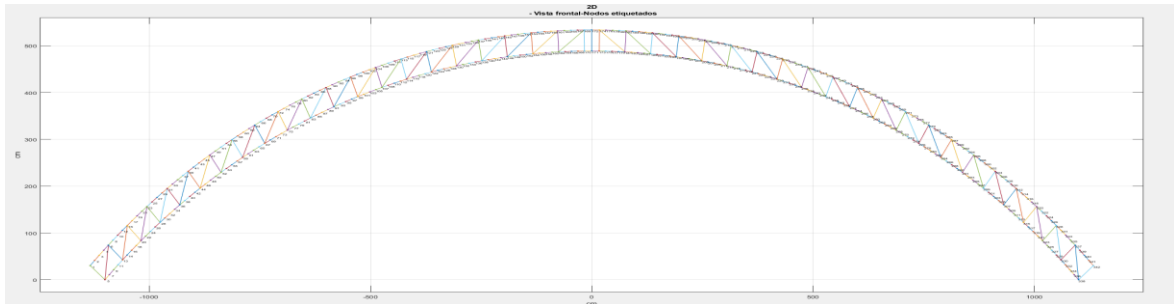


Figura XXXIX. Vista frontal de modelo 2.M.D. con nodos etiquetados

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 4 y 279, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 45

Diálogo del programa RETBI modelo 2.M.D.

```

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="2D"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =
      4      428      342      1026

Grupos =
  1x4 cell array
      {'BI'}      {'BS'}      {'DG'}      {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[5 1;5 2;338 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =
      13      0
      14      0
     1013      0

```

```

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C2D"

Numero_de_cargas_puntuales =

    23

  Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

    25.6092      0

  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

    1.0100   -20.5034

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R2D_M"
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 371)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 376)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 382)
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: Elaboración Propia

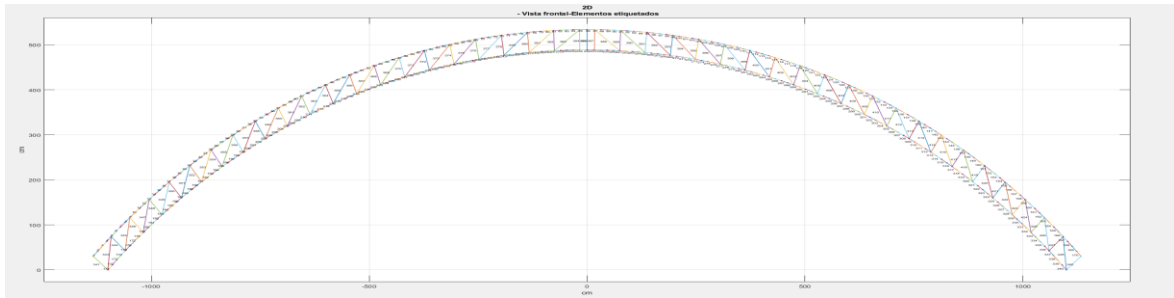


Figura XL. Vista frontal del modelo 2.M.D. con elementos etiquetados.

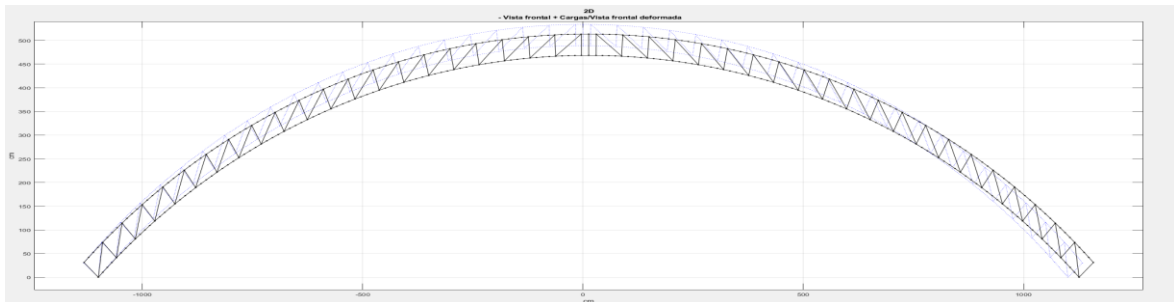


Figura XLI. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 2.M.D.

3.6.2.3 Grado 3

3.6.2.3.1 Modelo analítico 3.F.S

Modelo incluido en el grupo 1 (fijo-fijo) de grado 3 ($R_b=1/5.5$) con luz de 22.00 m flecha de 4.45 no considera curvatura en sus elementos.

Tabla 46
Datos de primarios de Modelo analítico 3.F.S.

Nº	Xi (cm)	Yi (cm)	Xj (cm)	Yj (cm)	E (Kg/cm ²)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Ppe(Kg/cm)	ID
1	-1128.85	34.54	-1082.15	72.21	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
2	-1082.15	72.21	-1034.20	108.27	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
3	-1034.20	108.27	-985.05	142.67	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
4	-985.05	142.67	-934.76	175.39	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
5	-934.76	175.39	-883.37	206.36	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
6	-883.37	206.36	-830.97	235.58	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
7	-830.97	235.58	-777.60	262.98	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
8	-777.60	262.98	-723.32	288.56	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
9	-723.32	288.56	-668.21	312.27	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
10	-668.21	312.27	-612.32	334.09	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
20	-85.35	441.91	-25.39	443.80	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
30	498.48	371.95	440.65	387.95	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
40	1034.20	108.27	985.05	142.67	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BS
50	-757.73	222.61	-704.84	247.53	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
60	-199.68	387.32	-141.51	393.13	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
70	372.55	358.05	315.27	369.77	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
80	910.87	137.25	860.80	167.44	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443	BI
90	-1082.15	72.21	-1007.77	71.85	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
100	-830.97	235.58	-757.73	222.61	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
110	-555.72	353.99	-485.74	328.79	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
120	-264.38	424.02	-199.68	387.32	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
130	25.39	443.80	24.74	398.80	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG

140	382.32	401.97	315.27	369.77	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
150	668.21	312.27	596.67	291.89	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
160	934.76	175.39	860.80	167.44	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG
169	1082.15	72.21	1054.50	36.71	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239	DG

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47
Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 3.F.S.

N°	X (cm)	Y (cm)	CE (Kg)
1	-1128.85	34.54	-46.54
2	-1034.2	108.27	-64.75
3	-934.76	175.39	-64.75
4	-830.97	235.58	-64.75
5	-723.32	288.56	-64.75
6	-612.32	334.09	-64.75
7	-498.48	371.95	-64.75
8	-382.32	401.97	-64.75
9	-264.38	424.02	-64.75
10	-145.22	437.98	-64.75
11	-25.39	443.8	-62.32
12	25.39	443.8	-62.32
13	145.22	437.98	-64.75
14	264.38	424.02	-64.75
15	382.32	401.97	-64.75
16	498.48	371.95	-64.75
17	612.32	334.09	-64.75
18	723.32	288.56	-64.75
19	830.97	235.58	-64.75
20	934.76	175.39	-64.75
21	1034.2	108.27	-64.75
22	1128.85	34.54	-46.54

Fuente: Elaboración Propia

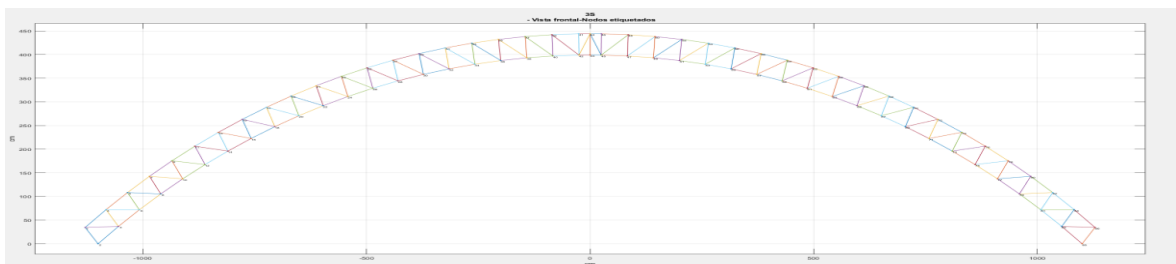


Figura XLII. Vista frontal del modelo 3.F.S. con nodos etiquetados.

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 3 y 86, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 48
Diálogo del programa RETBI modelo 3.F.S.

```
-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
NOTA: Los datos de carga y geometria deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
```

FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS

1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS

Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"

Ahora ingrese el nombre de la hoja ="3S"

1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!

1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!

1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!

Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

4 169 86 258

Grupos =

1x4 cell array

{'BI'} {'BS'} {'DG'} {'ME'}

1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!

1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES

ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES

Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)

= [2 1; 2 2; 85 1; 85 2]

Se muestran las GDL restringidos

Nap =

4 0
5 0
253 0
254 0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!

2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!

Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1

Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C3S"

Numero_de_cargas_puntuales =

22

Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2

2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES

3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)

3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!

3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!

3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!

3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!

3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!

3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

0.060969265082905 -0.060477786691039

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

0.035393607856270 -0.343339419169199

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!

```

3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R3S"
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: *Elaboración Propia*

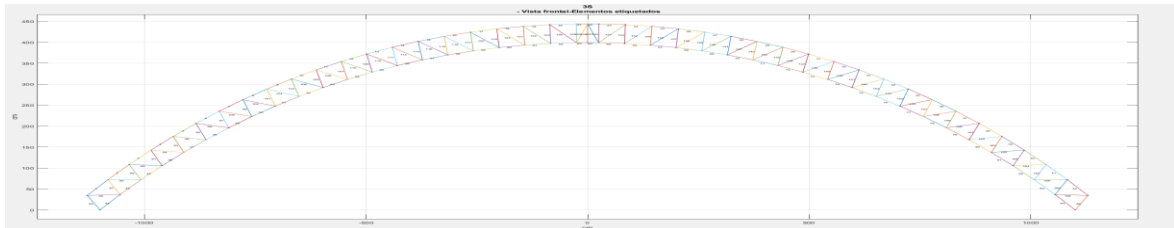


Figura XLIII. Vista frontal del modelo 3.F.S. con elementos etiquetados.

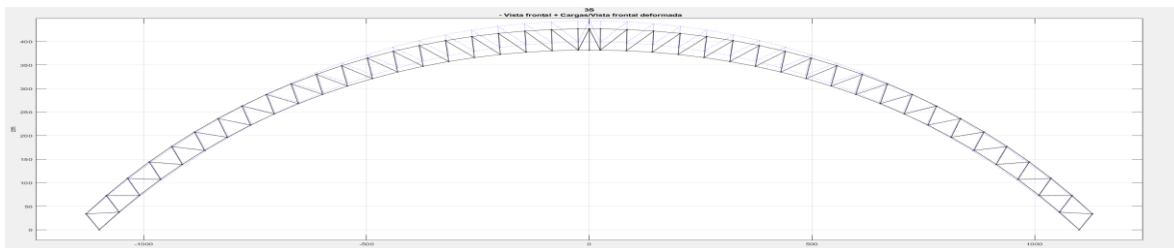


Figura XLIV. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.F.S.

3.6.2.3.2 Modelo analítico 3.F.D

Modelo incluido en el grupo 1 (fijo-fijo) de grado 3 ($R_b=1/5.5$) con luz de 22.00 m flecha de 4.45 considera curvatura en sus elementos.

La variable Nap de la imagen precedente corresponde a la matriz de grados de libertad restringidos. Seguidamente se continúa con el método de entrada de las cargas.

Seguidamente se ingresa el método de entrada de la carga, elegimos la opción tabla de Excel, ya que tenemos la tabla #1, seguidamente ingresamos el nombre del archivo de salida y un prefijo, con los cuales el programa creará un archivo de Excel y tres hojas con el prefijo ingresado. A continuación, presentamos los resultados exportados en las tablas.

Tabla 49
Datos primarios de Modelo analítico 3.F.D.

N°	Xi (cm)	Yi (cm)	Xj (cm)	Yj (cm)	E (Kg/cm ²)	A(cm ²)	I(cm ⁴)	Ppe(Kg/cm)
----	---------	---------	---------	---------	-------------------------	---------------------	---------------------	------------

1	-1128.59	34.49	-1099.69	0.00	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
2	-1113.17	47.23	-1128.59	34.49	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
3	-1099.69	0.00	-1084.27	12.73	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
4	-1097.61	59.79	-1113.17	47.23	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
5	-1084.27	12.73	-1069.95	24.29	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
6	-1081.90	72.17	-1097.61	59.79	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
7	-1069.95	24.29	-1054.24	36.68	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
8	-1066.06	84.38	-1081.90	72.17	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
9	-1054.24	36.68	-1038.34	48.92	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
10	-1050.08	96.40	-1066.06	84.38	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
20	-968.17	153.76	-984.81	142.66	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
30	-883.14	206.37	-900.38	196.23	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
40	-795.26	254.06	-813.05	244.93	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
50	-723.09	288.55	-732.19	284.45	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
60	-649.42	319.78	-667.96	312.30	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
70	-569.09	301.81	-550.02	308.39	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
80	-485.64	328.78	-466.26	334.38	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
90	-400.92	351.46	-385.95	354.99	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
100	-318.25	414.97	-337.91	411.24	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
110	-233.15	383.06	-213.32	385.66	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
120	-139.86	438.41	-144.96	437.98	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
130	-40.00	443.52	-59.99	442.96	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
140	38.47	398.55	58.46	397.98	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
150	136.79	393.52	155.19	391.94	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
160	219.44	430.25	199.58	432.63	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
170	310.62	370.62	328.76	367.17	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
180	396.59	398.72	382.07	401.99	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
190	479.00	377.54	459.72	382.88	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
200	564.95	350.84	545.97	357.16	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
210	632.34	278.15	651.05	270.60	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
220	713.96	292.66	704.79	296.70	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
230	791.81	205.25	809.49	195.91	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
240	877.80	157.31	893.56	147.80	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
250	959.63	105.36	976.14	94.08	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
260	1038.34	48.92	1054.24	36.68	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
270	1128.59	34.49	1113.17	47.23	2038901.9	5.64	20.8492	0.0443
300	-1033.96	108.24	-1007.52	71.83	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
310	-750.33	276.02	-651.05	270.60	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
320	-348.37	363.22	-411.27	395.25	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
330	-58.46	397.98	-119.91	439.89	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
340	233.15	383.06	239.27	427.64	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
350	583.85	344.32	485.64	328.78	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
360	934.52	175.38	910.62	137.25	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239
367	1081.90	72.17	1007.52	71.83	2038901.9	3.04	7.3365	0.0239

Fuente: *Elaboración Propia*

Tabla 50
Ubicación y magnitud de cargas sobre nodo para el modelo 3.F.D.

Nº	X (cm)	Y (cm)	CE (Kg)
1	-1128.59	34.49	-46.54
2	-1033.96	108.24	-64.75
3	-934.52	175.38	-64.75
4	-830.73	235.59	-64.75
5	-723.09	288.55	-64.75
6	-612.08	334.09	-64.75
7	-498.21	371.99	-64.75

8	-382.07	401.99	-64.75
9	-264.13	424.03	-64.75
10	-144.96	437.98	-64.75
11	-25.11	443.78	-62.32
12	25.11	443.78	-62.32
13	144.96	437.98	-64.75
14	264.13	424.03	-64.75
15	382.07	401.99	-64.75
16	498.21	371.99	-64.75
17	612.08	334.09	-64.75
18	723.09	288.55	-64.75
19	830.73	235.59	-64.75
20	934.52	175.38	-64.75
21	1033.96	108.24	-64.75
22	1128.59	34.49	-46.54

Fuente: *Elaboración Propia*

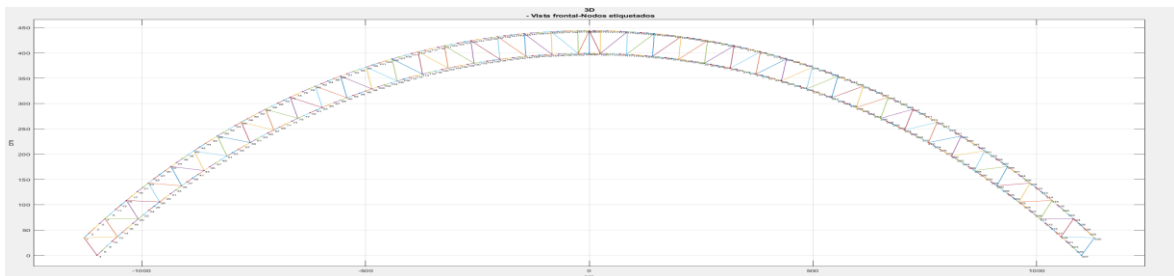


Figura XLV. Vista frontal del modelo 3.F.D. con nodos etiquetados.

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 5 y 292, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 51
Diálogo del programa RETBI modelo 3.F.D.

```

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="3D"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

      4      413      330      990

Grupos =

1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

```

```

1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[4 1;4 2;327 1;327 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =

    10    0
    11    0
   979    0
   980    0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C3D"

Numero_de_cargas_puntuales =

    22

  Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES
-----
3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
  3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
  3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
3.2-Subdibisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

    0.0613   -0.0611

  Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

    0.0360   -0.3447

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R3D"
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>

```

Fuente: Elaboración Propia

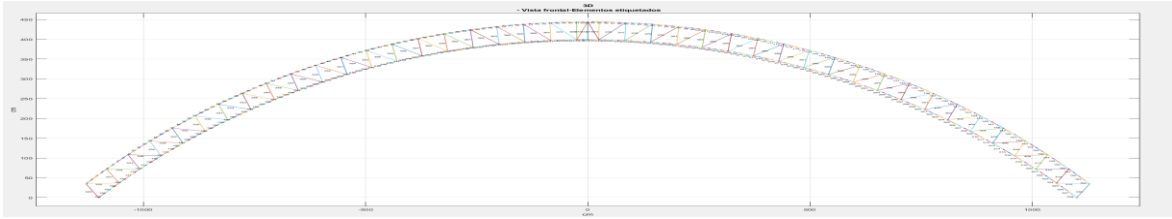


Figura XLVI. Vista frontal del modelo 3.F.D. con elementos etiquetados.

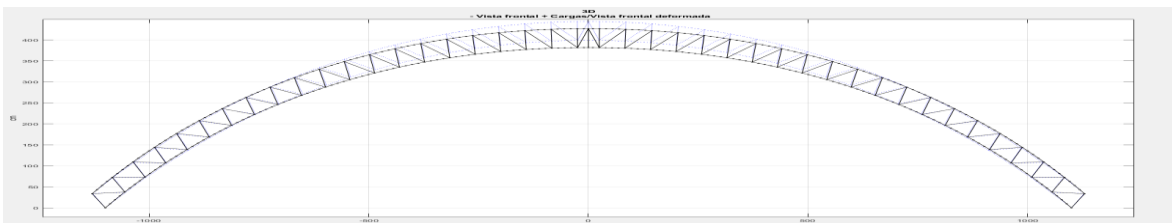


Figura XLVII. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.F.D.

3.6.2.3.3 Modelo analítico 3.M.S

Modelo incluido en el grupo 2 (fijo-móvil) de grado 3 ($R_b=1/5.5$) con luz de 22.00 m flecha de 4.45 m no considera curvatura en sus elementos. Cabe destacar que este modelo, geométrica y físicomecánicamente es igual al modelo 3.F.S., la diferencia radica en las condiciones de apoyo, por lo tanto, para los datos nos remitiremos a dichas tablas.

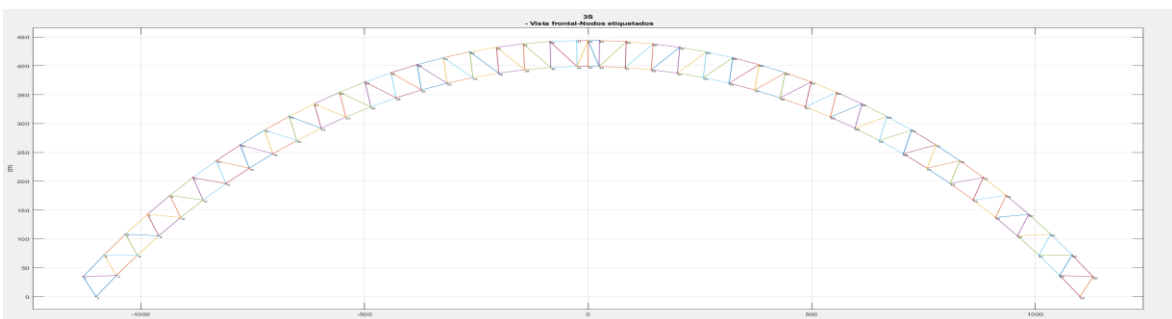


Figura XLVIII. Vista frontal de modelo 3.M.S. con nodos etiquetados

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 2 y 85, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 52

Diálogo del programa RETBI modelo 3.M.D.

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----

NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx

FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS

```
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="3S"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
```

Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

4 169 86 258

Grupos =

1x4 cell array

{'BI'} {'BS'} {'DG'} {'ME'}

1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!

1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES

ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES

Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[2 1;2 2;85 2]

Se muestran las GDL restringidos

Nap =

4 0
5 0
254 0

2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!

2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO
CON ÉXITO!

Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1

Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C3S"

Numero_de_cargas_puntuales =

22

Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2

2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCE-
-SADO CON ÉXITO!

FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES

3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)

3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!

3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!

3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!

3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!

3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!

3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

19.997153855218759 0

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

0.827745224428705 -19.699437760623894

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!

3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!

3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!

FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS

```
-----
4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R3S_M"
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 372)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 377)
Warning: Added specified worksheet.
> In xlswrite>activate_sheet (line 300)
  In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
  In xlswrite (line 220)
  In RETBI_V3 (line 383)
4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
!CONCLUSIÓN EXITOSA!
-----END-----
>>
```

Fuente: Elaboración Propia

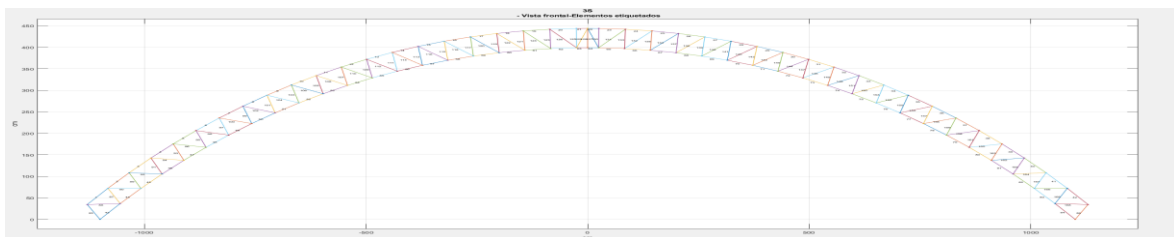


Figura XLIX. Vista frontal del modelo 3.M.S. con elementos etiquetados.

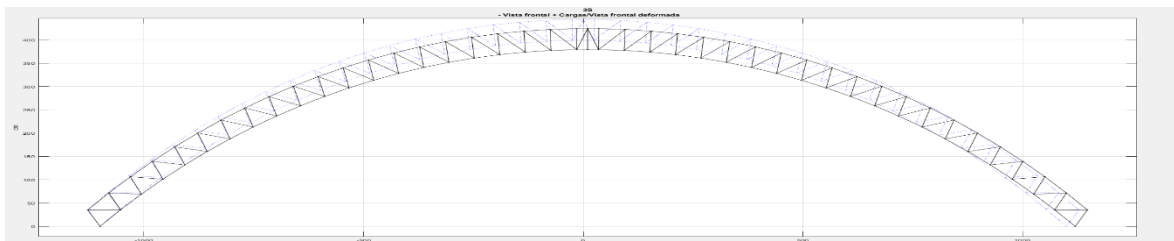


Figura L. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.M.S.

3.6.2.3.4 Modelo analítico 3.M.D

Modelo incluido en el grupo 2 (fijo-móvil) de grado 3 ($R_b=1/5.5$) con luz de 22.00 m flecha de 4.45 m considera curvatura en sus elementos. Cabe destacar que este modelo, geométrica y fisicomecánicamente es igual al modelo 3.F.S., la diferencia radica en las condiciones de apoyo, por lo tanto, para los datos nos remitiremos a dichas tablas.

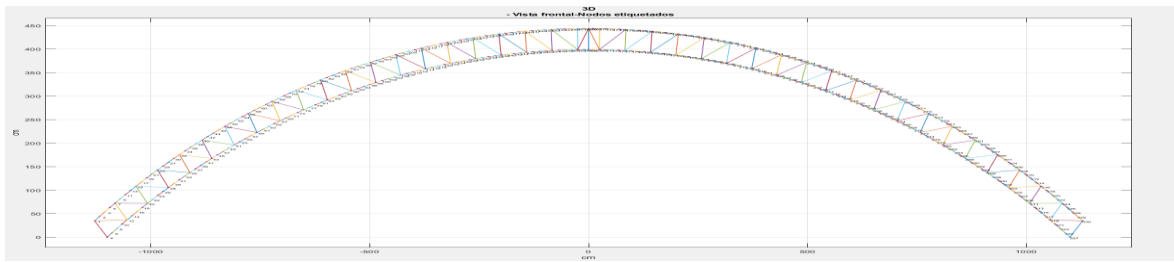


Figura 11. Vista frontal de modelo 3.M.D. con nodos etiquetados

Del gráfico se observa que los apoyos son el nodo 5 y 292, se procede a identificar los grados de libertad a restringir. A continuación, se presenta el diálogo con el programa en Matlab.

Tabla 53
Diálogo del programa RETBI modelo 3.M.D.

```

-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----
NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de excel y toda entrada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los archivos excel debe incluir .xlsx
-----
FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
-----
1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS
  Ingrese el nombre del archivo de datos="MASS.XLSX"
  Ahora ingrese el nombre de la hoja ="3D"
  1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!
Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:

CCG =

      4      413      330      990

Grupos =

1x4 cell array

    {'BI'}    {'BS'}    {'DG'}    {'ME'}

  1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON ÉXITO!
  1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
-----
FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
-----
ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES
  Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2, R2:RotY=3)
=[4 1;4 2;327 2]
  Se muestran las GDL restringidos

Nap =

      10      0
      11      0
      980      0

  2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON ÉXITO!
  2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!
  Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2 o Ambos=3:1
  Ingrese nombre de hoja de datos de carga="C3D"

Numero_de_cargas_puntuales =

```

Ingrese la dirección de la carga, horiz=1, vert=2 :2
 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso propio - PROCESADO CON ÉXITO!

 FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES

3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script en lenguaje matlab)
 3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON ÉXITO!
 3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON ÉXITO!
 3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON ÉXITO!
 3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!
 3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!
 3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON ÉXITO!
 Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección X:Horizontal=

DUX =

20.0258 0

Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección Z:Vertical=

DUZ =

0.8286 -19.7162

3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!
 3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!
 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento - PROCESADO CON ÉXITO!

 FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS

4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!
 Ingrese el nombre para la denominación del archivo ="R3D_M"
 Warning: Added specified worksheet.
 > In xlswrite>activate_sheet (line 300)
 In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
 In xlswrite (line 220)
 In RETBI_V3 (line 372)
 Warning: Added specified worksheet.
 > In xlswrite>activate_sheet (line 300)
 In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
 In xlswrite (line 220)
 In RETBI_V3 (line 377)
 Warning: Added specified worksheet.
 > In xlswrite>activate_sheet (line 300)
 In xlswrite/ExecuteWrite (line 266)
 In xlswrite (line 220)
 In RETBI_V3 (line 383)
 4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!

 !CONCLUSIÓN EXITOSA!

Fuente: Elaboración Propia

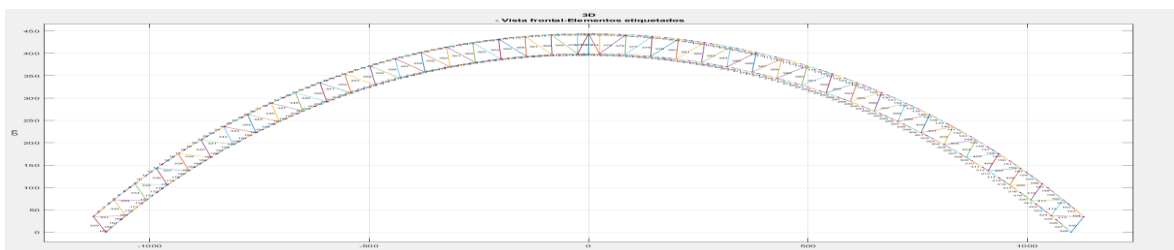


Figura LII. Vista frontal del modelo 3.M.D. con elementos etiquetados.

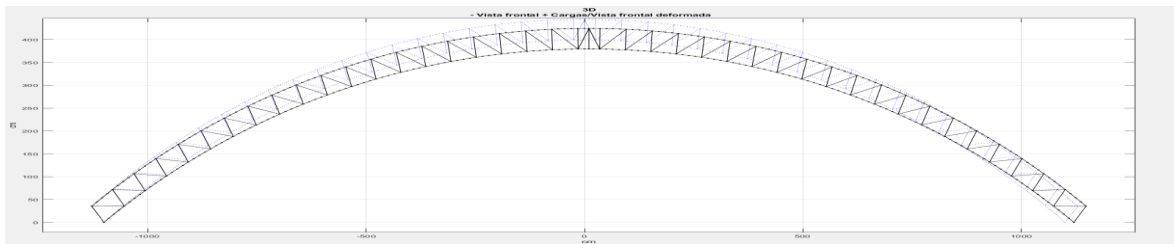


Figura LIII. Vista frontal +cargas sobre Vista frontal deformada del modelo 3.M.D.

3.7 Aspectos Éticos

3.7.1 Consentimiento o Aprobación de la participación

Los participantes expresan su aprobación en la participación del trabajo de la investigación de forma explícita.

Todos los participantes expresan su participación mediante un documento firmado aprobando la participación y que no se vulnera ningún derecho de ningún tipo en el proceso.

3.7.2 Confidencialidad

En primera instancia no se revelarán las identidades de los participantes, ni se indicará los datos que los participantes no quieran dar a conocer, sin traicionar la confianza de los participantes respetando sus principios de la ética y de la moral

En la medida de las posibilidades los participantes recibirán algún apoyo económico como agradecimiento de la información solicitada, así como el tiempo brindado para la ejecución del proyecto

3.7.3 Permisos

En el contexto actual se solicitarán los permisos necesarios a todas las entidades en la que intervengan durante la investigación, esto respetando la autonomía de las instituciones públicas y privadas que estarán vincularas con la investigación, para esto se solicitaran permisos por anticipado para no modificar el cronograma de ejecución de la tesis

IV RESULTADOS

4.1 Dimensiones: Curvatura y Rebajamiento (Objetivo Específico I)

Tabla 54

Resultados correspondientes al objetivo específico 1(Dim.: Curvatura y rebajamiento)

Modelo	Luz Cercha (m)	Flecha Cercha (m)	Radio Cercha(m)	Curvatura Cercha	Rebajamiento Cercha	Luz Elemento (cm)	Flecha Elemento (cm)	Rebajamiento Elemento
1FS	22	6.35	13.21	0.0757	0.29	59.9948	0.003406	0.000057
1FD								
1MS								
1MD								
2FS	22	5.35	15.27	0.0655	0.24	59.9961	0.002947	0.000049
2FD								
2MS								
2MD								
3FS	22	4.45	17.61	0.0568	0.20	59.9971	0.002556	0.000043
3FD								
3MS								
3MD								

En la tabla se aprecia por las filas todos los modelos analíticos mientras que en las columnas las propiedades referentes al objetivo específico 01, en la columna quinta y sexta se puede apreciar los objetivos alcanzados.

Fuente: Elaboración Propia

Al revisar la anterior, Tabla 54, se puede apreciar que las curvaturas (que corresponden a la primera dimensión de la primera variable) calculadas que son: 0.0757 para el grado 01, 0.0655 para el grado 02 y 0.0568 para el grado 03. Mientras que los rebajamientos calculados son: 0.29 para el grado 01, 0.24 para el grado 02 y 0.20 para el grado 03.

4.2 Dimensiones: Reacciones, Desplazamientos y Fuerzas internas. (Objetivo Específico II)

En el presente subtítulo presentan los resultados de las dimensiones de la variable dependiente, que están organizadas según las dimensiones, indicadores y escala de medición presentadas en la operacionalización. Se comparan los resultados entre modelos del mismo grado de curvatura, entre las comparaciones tenemos: reacciones, las de desplazamientos y las de fuerzas internas en sus diferentes direcciones, todas las comparaciones se hacen en puntos característicos y comunes en ambos modelos (apoyo, medio y clave).

4.2.1 Comparación Modelo 1FS con 1FD

Tabla 55

Reacciones horizontales modelo 1FS con 1FD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RX_s(Kg)	RX_d(Kg)	ΔX (Kg)	%
Horizontal	7	16	639.36	639.11	0.26	0.0399%
Horizontal	274	1093	-639.36	-639.11	-0.26	0.0399%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56

Reacciones verticales modelo 1FS con 1FD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RZ_s(Kgf)	RZ_d(Kgf)	ΔY	%
Vertical	8	17	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%
Vertical	275	1094	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57

Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 1FS con 1FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UX_s(cm)	UX_d(cm)	ΔX	%
1	1	-1138.79	22.82	-0.020593	-0.0208	0.000162	-0.7867%
3	6	-1100	0	0.000000	0.0000	0.000000	-
23	88	-678.7	486.44	-0.087590	-0.0886	0.000997	-1.1383%
24	91	-655.59	447.83	-0.112446	-0.1136	0.001135	-1.0094%
47	185	0	629.08	0.000370	0.0001	0.000314	84.8649%
48	186	0	674.08	0.000314	0.0000	0.000269	85.6688%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58

Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 1FS con 1FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UZ_s(cm)	UZ_d(cm)	ΔUZ (cm)	%
1	1	-1138.79	22.82	-0.035155	-0.0354	0.000268	-0.7623%
3	6	-1100	0.00	0.000000	0.0000	0.000000	-
23	88	-678.7	486.44	-0.022635	-0.0227	0.000074	-0.3269%
24	91	-655.59	447.83	-0.038104	-0.0383	0.000157	-0.4120%
47	185	0.00	629.08	-0.375822	-0.3781	0.002289	-0.6091%
48	186	0.00	674.08	-0.375694	-0.3780	0.002291	-0.6098%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59

Rotaciones nodales (RY) modelo 1FS con 1FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	RY_s(rad)	RY_d(rad)	ΔRY	%
1	1	-1138.79	22.82	0.000923	0.0009	0.000005	0.5417%
3	6	-1100	0	0.000940	0.0010	-0.000046	-4.8936%
23	88	-678.7	486.44	-0.000655	-0.0007	0.000001	-0.1527%
24	91	-655.59	447.83	-0.000661	-0.0007	0.000007	-1.0590%
47	185	0	629.08	0.000004	0.0000	0.000003	75.0000%
48	186	0	674.08	0.000004	0.0000	0.000003	75.0000%

Tabla 60

Diferencia de fuerzas internas modelo 1FS con 1FD

Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	ΔP1 (Kg)	ΔV2 (Kg)	ΔM3 (Kg-cm)
1	1	-1138.8	22.8	47.5	5.6	138.4	2	1	1	-1138.8	22.8	50.8	5.9	164.0	2	-3.3	-0.2	-25.6
93	1	-1138.8	22.8	-19.0	-7.5	-138.4	3	369	1	-1138.8	22.8	-18.0	-10.8	-164.0	6	-1.0	3.3	25.6
47	3	-1100.0	0.0	-1221.9	6.9	150.0	5	185	6	-1100.0	0.0	-1226.9	25.6	300.6	8	5.0	-18.7	-150.6
96	3	-1100.0	0.0	98.3	0.8	10.4	2	372	6	-1100.0	0.0	100.5	0.3	-19.2	5	-2.2	0.6	29.7
115	22	-704.6	416.9	-118.3	0.3	8.3	23	391	83	-704.6	416.9	-118.7	0.3	8.8	88	0.4	0.0	-0.5
12	23	-678.7	486.4	-107.9	-3.5	-118.2	25	45	88	-678.7	486.4	-107.3	-2.0	-106.3	90	-0.6	-1.5	-11.8
-11	23	-678.7	486.4	-15.7	1.2	-65.5	21	-44	88	-678.7	486.4	-14.8	0.7	-55.6	86	-0.9	0.5	-9.8
116	23	-678.7	486.4	70.2	0.4	12.2	24	392	88	-678.7	486.4	70.4	0.4	11.1	91	-0.2	0.0	1.1
-57	24	-655.6	447.8	-689.2	1.2	-70.1	22	-228	91	-655.6	447.8	-689.5	-10.4	58.5	89	0.4	11.6	-128.6
58	24	-655.6	447.8	-559.1	-2.8	-93.9	26	229	91	-655.6	447.8	-559.3	6.9	30.3	93	0.2	-9.7	-124.2
117	24	-655.6	447.8	-159.5	0.1	5.5	25	393	91	-655.6	447.8	-159.8	0.1	7.3	96	0.3	0.0	-1.8
139	46	-51.0	628.1	2.4	0.0	35.2	48	415	178	-51.0	628.1	1.8	0.0	33.9	186	0.6	0.0	1.3
-70	47	0.0	629.1	215.6	-4.4	10.3	49	-277	185	0.0	629.1	217.3	-7.7	52.3	187	-1.7	3.4	-42.0
-69	47	0.0	629.1	215.8	4.1	-16.1	46	-276	185	0.0	629.1	217.3	7.8	-53.5	184	-1.5	-3.7	37.4
140	47	0.0	629.1	17.0	-0.3	-5.8	48	416	185	0.0	629.1	16.7	-0.1	-1.2	186	0.3	-0.2	-4.6
-24	48	0.0	674.1	-855.5	-5.4	32.5	50	-93	186	0.0	674.1	-857.5	9.3	-90.2	188	1.9	-14.8	122.6
-23	48	0.0	674.1	-856.9	4.8	-32.8	45	-92	186	0.0	674.1	-857.8	-9.6	97.5	183	0.9	14.5	-130.3
141	49	51.0	628.1	1.0	-0.1	-46.6	48	417	193	51.0	628.1	1.5	0.0	-44.0	186	-0.5	-0.1	-2.6

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2 Comparación Modelo 1MS con 1MD

Tabla 61

Reacciones horizontales modelo 1MS con 1MD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RX_s(Kg)	RX_d(Kg)	ΔX (Kg)	%
Horizontal	7	16	0.00	0.00	0.00	-
Horizontal	274	1093	0.00	0.00	0.00	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 62

Reacciones verticales modelo 1MS con 1MD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RZ_s(Kgf)	RZ_d(Kgf)	ΔY	%
Vertical	8	17	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%
Vertical	275	1094	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 63

Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 1MS con 1MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UX_s(cm)	UX_d(cm)	ΔX	%
1	1	-1138.79	22.82	0.702432	0.7041	-0.001686	-0.2401%
3	6	-1100	0	0.000000	0.0000	0.000000	-
23	88	-678.7	486.44	14.028022	14.0638	-0.035823	-0.2554%
24	91	-655.59	447.83	13.135767	13.1695	-0.033687	-0.2565%
47	185	0	629.08	16.606398	16.6543	-0.047915	-0.2885%
48	186	0	674.08	16.606342	16.6543	-0.047961	-0.2888%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 64

Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 1MS con 1MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UZ_s(cm)	UZ_d(cm)	ΔUZ (cm)	%
1	1	-1138.79	22.82	1.193725	1.1966	-0.002862	-0.2398%
3	6	-1100	0	0.000000	0.0000	0.000000	-
23	88	-678.7	486.44	-11.978688	-12.0077	0.028986	-0.2420%
24	91	-655.59	447.83	-12.518468	-12.5487	0.030261	-0.2417%
47	185	0	629.08	-20.435955	-20.4891	0.053114	-0.2599%
48	186	0	674.08	-20.433246	-20.4864	0.053193	-0.2603%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65

Rotaciones nodales (RY) modelo 1MS con 1MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	RY_s(rad)	RY_d(rad)	ΔRY	%
1	1	-1138.79	22.82	-0.030845	-0.0309	0.000081	-0.2619%
3	6	-1100	0	-0.030897	-0.0310	0.000064	-0.2062%
23	88	-678.7	486.44	-0.023433	-0.0235	0.000052	-0.2204%
24	91	-655.59	447.83	-0.023387	-0.0235	0.000069	-0.2954%
47	185	0	629.08	0.000004	0.0000	0.000003	84.7348%
48	186	0	674.08	0.000004	0.0000	0.000003	69.7078%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 66

Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 1MS con 1MD

Be	i	Xi (cm)	Zi (cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	ΔP1 (Kg)	ΔV2 (Kg)	ΔM3 (Kg-cm)
1	1	-1138.8	22.8	17.4	-12.6	-482.7	2	1	1	-1138.8	22.8	17.6	-13.5	-489.9	2	-0.2	0.9	7.2
93	1	-1138.8	22.8	-36.6	23.0	482.7	3	369	1	-1138.8	22.8	-37.2	22.6	489.9	6	0.6	0.4	-7.2
47	3	-1100.0	0.0	-198.2	-17.3	-598.6	5	185	6	-1100.0	0.0	-199.3	-13.2	-559.6	8	1.1	-4.2	-38.9
96	3	-1100.0	0.0	-728.0	0.9	6.0	2	372	6	-1100.0	0.0	-727.9	0.5	-7.9	5	-0.2	0.4	13.9
115	22	-704.6	416.9	-648.1	3.0	390.2	23	391	83	-704.6	416.9	-647.3	3.0	395.2	88	-0.7	0.0	-4.9
-11	23	-678.7	486.4	-5899.6	-5.1	1159.3	21	-44	88	-678.7	486.4	-5899.0	-107.4	2470.5	86	-0.6	102.3	-1311.2
12	23	-678.7	486.4	-6427.1	-8.9	824.6	25	45	88	-678.7	486.4	-6426.5	98.8	2136.0	90	-0.6	-107.7	-1311.4
116	23	-678.7	486.4	676.6	20.6	483.1	24	392	88	-678.7	486.4	676.3	21.0	487.4	91	0.3	-0.5	-4.3
-57	24	-655.6	447.8	6158.5	-14.6	1465.0	22	-228	91	-655.6	447.8	6157.6	93.3	154.7	89	0.9	-107.9	1310.3
58	24	-655.6	447.8	6706.4	-18.3	605.2	26	229	91	-655.6	447.8	6705.1	-128.8	-721.1	93	1.3	110.6	1326.3
117	24	-655.6	447.8	-648.5	2.7	405.1	25	393	91	-655.6	447.8	-648.2	2.5	405.2	96	-0.2	0.1	-0.1
139	46	-51.0	628.1	4.8	0.2	451.9	48	415	178	-51.0	628.1	7.7	-1.1	392.2	186	-3.0	1.4	59.6
-70	47	0.0	629.1	9706.6	7.8	-1867.7	49	-277	185	0.0	629.1	9703.4	-155.0	-401.9	187	3.2	162.8	-1465.8
-69	47	0.0	629.1	9706.9	-8.0	1861.9	46	-276	185	0.0	629.1	9703.4	155.1	400.7	184	3.4	-163.1	1461.3
140	47	0.0	629.1	372.6	-0.3	-5.8	48	416	185	0.0	629.1	361.8	-0.1	-1.2	186	10.8	-0.2	-4.6
-24	48	0.0	674.1	-9708.9	-2.1	-1648.2	50	-93	186	0.0	674.1	-9709.6	162.2	-3155.2	188	0.6	-164.3	1507.0
-23	48	0.0	674.1	-9710.3	1.5	1647.8	45	-92	186	0.0	674.1	-9709.9	-162.5	3162.5	183	-0.4	164.0	-1514.7
141	49	51.0	628.1	3.3	-0.3	-463.3	48	417	193	51.0	628.1	7.4	1.1	-402.3	186	-4.0	-1.4	-60.9

Fuente: Elaboración Propia

4.2.3 Comparación Modelo 2FS con 2FD

Tabla 67

Reacciones horizontales modelo 2FS con 2FD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RX_s(Kg)	RX_d(Kg)	ΔX (Kg)	%
Horizontal	4	13	840.63	840.33	0.30	0.0357%
Horizontal	265	1012	-840.63	-840.33	-0.30	0.0357%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 68

Reacciones verticales modelo 2FS con 2FD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RZ_s(Kgf)	RZ_d(Kgf)	ΔY	%
Vertical	5	14	899.61	898.70	0.91	0.1013%
Vertical	266	1013	899.61	898.70	0.91	0.1013%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69

Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 2FS con 2FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UX_s(cm)	UX_d(cm)	ΔX	%
1	1	-1133.4	30.16	-0.0201	-0.0203	0.000156	-0.7771%
2	5	-1100	0.00	0.0000	0.0000	0.000000	-
21	80	-655.21	386.15	-0.0442	-0.0448	0.000659	-1.4903%
22	83	-635.9	345.5	-0.0668	-0.0675	0.000759	-1.1371%
45	171	0.00	488.86	0.0003	0.0001	0.000261	82.8208%
46	172	0.00	533.86	0.0003	0.0000	0.000215	83.4493%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 70

Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 2FS con 2FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UZ_s(cm)	UZ_d(cm)	ΔUZ (cm)	%
1	1	-1133.4	30.16	-0.0224	-0.0226	0.000166	-0.7423%
2	5	-1100	0.00	0.0000	0.0000	0.000000	-
21	80	-655.21	386.15	-0.0318	-0.0317	-0.000094	0.2952%
22	83	-635.9	345.5	-0.0428	-0.0428	-0.000045	0.1057%
45	171	0.00	488.86	-0.3239	-0.3256	0.001738	-0.5365%
46	172	0.00	533.86	-0.3240	-0.3257	0.001770	-0.5465%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 71

Rotaciones nodales (RY) modelo 2FS con 2FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	RY_s(rad)	RY_d(rad)	ΔRY	%
1	1	-1133.4	30.16	0.00068	0.00068	0.000006	0.8337%
2	5	-1100	0.00	0.00069	0.00073	-0.000040	-5.7256%
21	80	-655.21	386.15	-0.00055	-0.00055	0.000001	-0.1639%
22	83	-635.9	345.5	-0.00055	-0.00056	0.000004	-0.6685%
45	171	0	488.86	0.00000	0.00000	0.000002	70.2836%
46	172	0	533.86	0.00000	0.00000	0.000002	74.2041%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 72

Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 2FS con 2FD

Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	ΔP1 (Kg)	ΔV2 (Kg)	ΔM3 (Kg-cm)
1	1	-1133.4	30.2	39.7	4.4	95.0	3	1	1	-1133.4	30.2	42.4	4.7	117.8	2	-2.7	-0.2	-22.8
89	1	-1133.4	30.2	-27.5	-5.3	-95.0	2	341	1	-1133.4	30.2	-26.7	-7.9	-117.8	5	-0.8	2.7	22.8
45	2	-1100.0	0.0	-1261.2	5.2	96.4	4	171	5	-1100.0	0.0	-1265.4	22.1	236.0	7	4.2	-16.8	-139.6
91	2	-1100.0	0.0	32.8	0.8	12.2	3	343	5	-1100.0	0.0	34.9	0.2	-15.1	6	-2.1	0.5	27.3
109	20	-688.0	319.5	-138.7	0.0	2.0	21	361	75	-688.0	319.5	-138.9	0.1	3.1	80	0.3	0.0	-1.1
-10	21	-655.2	386.2	-158.0	-0.6	-4.0	19	-40	80	-655.2	386.2	-156.9	-3.1	29.3	78	-1.1	2.5	-33.3
11	21	-655.2	386.2	-237.3	-0.5	-20.6	23	41	80	-655.2	386.2	-236.4	2.6	14.2	82	-0.9	-3.1	-34.7
110	21	-655.2	386.2	33.9	-0.8	-14.2	22	362	80	-655.2	386.2	34.0	-0.8	-15.5	83	-0.1	0.0	1.3
-54	22	-635.9	345.5	-713.4	0.1	-25.5	20	-210	83	-635.9	345.5	-713.9	-10.2	94.2	81	0.5	10.3	-119.7
55	22	-635.9	345.5	-633.1	-0.6	-27.8	24	211	83	-635.9	345.5	-633.4	9.0	90.9	85	0.3	-9.6	-118.7
111	22	-635.9	345.5	-99.7	0.3	14.7	23	363	83	-635.9	345.5	-100.0	0.3	15.2	88	0.3	0.0	-0.5
22	43	-17.2	533.8	-948.8	-19.0	-65.5	46	85	169	-17.2	533.8	-951.2	-14.6	19.0	172	2.4	-4.5	-84.4
66	44	-16.7	488.8	108.0	-9.8	-3.8	45	255	170	-16.7	488.8	110.7	-14.2	-38.4	171	-2.7	4.5	34.5
133	45	0.0	488.9	-8.5	-0.2	-3.5	46	385	171	0.0	488.9	-13.0	-0.1	-1.2	172	4.5	-0.1	-2.3
134	45	0.0	488.9	-8.5	-0.2	-3.5	46	385	171	0.0	488.9	-13.0	-0.1	-1.2	172	4.5	-0.1	-2.3
67	47	16.7	488.8	107.7	9.9	-0.8	45	256	173	16.7	488.8	110.6	14.4	38.8	171	-2.9	-4.5	-39.6
23	48	17.2	533.8	-948.5	18.9	56.1	46	86	174	17.2	533.8	-951.1	14.4	-24.2	172	2.6	4.5	80.3

Fuente: Elaboración Propia

4.2.4 Comparación Modelo 2MS con 2MD

Tabla 73

Reacciones horizontales modelo 2MS con 2MD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RX_s(Kg)	RX_d(Kg)	ΔX (Kg)	%
Horizontal	4	13	0.00	0.00	0.00	-
Horizontal	-	-	0.00	0.00	0.00	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 74

Reacciones verticales modelo 2MS con 2MD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RZ_s(Kgf)	RZ_d(Kgf)	ΔY	%
Vertical	5	14	899.61	898.70	0.91	0.1013%
Vertical	266	1013	899.61	898.70	0.91	0.1013%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 75

Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 2MS con 2MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UX_s(cm)	UX_d(cm)	ΔX	%
1	1	-1133.4	30.16	0.9105	0.9123	-0.0018	-0.1970%
2	5	-1100	0.00	0.0000	0.0000	0.0000	-
21	80	-655.21	386.15	10.8946	10.9176	-0.0230	-0.2110%
22	83	-635.9	345.5	9.9749	9.9961	-0.0212	-0.2126%
45	171	0.00	488.86	12.7732	12.8046	-0.0314	-0.2462%
46	172	0.00	533.86	12.7731	12.8046	-0.0315	-0.2465%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 76

Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 2MS con 2MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UZ_s(cm)	UZ_d(cm)	ΔUZ (cm)	%
1	1	-1133.4	30.16	1.0080	1.0100	-0.001984	-0.1968%
2	5	-1100	0.00	0.0000	0.0000	0.000000	-
21	80	-655.21	386.15	-12.4297	-12.4542	0.024550	-0.1975%
22	83	-635.9	345.5	-12.8717	-12.8971	0.025396	-0.1973%
45	171	0.00	488.86	-20.4593	-20.5032	0.043899	-0.2146%
46	172	0.00	533.86	-20.4588	-20.5034	0.044532	-0.2177%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 77

Rotaciones nodales (RY) modelo 2MS con 2MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	RY_s(rad)	RY_d(rad)	ΔRY	%
1	1	-1133.40	30.16	-0.0303	-0.0303	0.000063	-0.2092%
2	5	-1100.00	0.00	-0.0303	-0.0304	0.000058	-0.1919%
21	80	-655.21	386.15	-0.0229	-0.0230	0.000042	-0.1821%
22	83	-635.90	345.50	-0.0229	-0.0229	0.000056	-0.2453%
45	171	0.00	488.86	0.0000	0.0000	0.000002	70.2836%
46	172	0.00	533.86	0.0000	0.0000	0.000002	74.2041%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 78

Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 2MS con 2MD

Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	Pli(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	Pli(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	ΔP1 (Kg)	ΔV2 (Kg)	ΔM3 (Kg-cm)
1	1	-1133.4	30.2	5.2	-16.8	-616.5	3	1	1	-1133.4	30.2	4.3	-17.7	-630.8	2	0.9	0.9	14.3
89	1	-1133.4	30.2	-48.1	29.6	616.5	2	341	1	-1133.4	30.2	-49.0	30.3	630.8	5	0.8	-0.7	-14.3
45	2	-1100.0	0.0	89.1	-22.6	-753.8	4	171	5	-1100.0	0.0	89.6	-22.6	-747.5	7	-0.5	0.0	-6.3
91	2	-1100.0	0.0	-897.7	0.7	3.8	3	343	5	-1100.0	0.0	-898.1	0.4	-3.4	6	0.4	0.3	7.1
109	20	-688.0	319.5	-721.0	2.6	389.8	21	361	75	-688.0	319.5	-721.6	2.7	396.6	80	0.6	-0.1	-6.8
-10	21	-655.2	386.2	-6086.7	-7.7	1275.5	19	-40	80	-655.2	386.2	-6086.5	-97.0	2427.9	78	-0.2	89.4	-1152.4
11	21	-655.2	386.2	-6646.1	-6.7	938.0	23	41	80	-655.2	386.2	-6647.0	85.8	2087.1	82	0.9	-92.5	-1149.1
110	21	-655.2	386.2	637.3	21.5	505.7	22	362	80	-655.2	386.2	637.4	21.9	511.3	83	0.0	-0.5	-5.6
-54	22	-635.9	345.5	6432.4	-16.6	1566.3	20	-210	83	-635.9	345.5	6433.0	80.0	377.8	81	-0.6	-96.6	1188.4
55	22	-635.9	345.5	6969.9	-17.0	675.0	24	211	83	-635.9	345.5	6969.5	-118.2	-529.7	85	0.4	101.2	1204.8
111	22	-635.9	345.5	-635.6	2.7	420.4	23	363	83	-635.9	345.5	-634.6	2.7	421.6	88	-1.0	0.1	-1.2
22	43	-17.2	533.8	-10004.4	-35.5	1614.0	46	85	169	-17.2	533.8	-10004.5	51.7	2787.4	172	0.1	-87.2	-1173.4
66	44	-16.7	488.8	10004.2	6.0	1755.7	45	255	170	-16.7	488.8	10004.3	-81.2	610.6	171	-0.1	87.2	1145.2
133	45	0.0	488.9	60.6	-0.2	-3.5	46	385	171	0.0	488.9	-26.6	-0.1	-1.2	172	87.2	-0.1	-2.3
134	45	0.0	488.9	60.6	-0.2	-3.5	46	385	171	0.0	488.9	-26.6	-0.1	-1.2	172	87.2	-0.1	-2.3
67	47	16.7	488.8	10003.9	-5.9	-1760.3	45	256	173	16.7	488.8	10004.2	81.4	-610.1	171	-0.3	-87.2	-1150.3
23	48	17.2	533.8	-10004.1	35.4	-1623.4	46	86	174	17.2	533.8	-10004.3	-51.9	-2792.6	172	0.3	87.2	1169.2

Fuente: Elaboración Propia

4.2.5 Comparación Modelo 3FS con 3FD

Tabla 79

Reacciones horizontales modelo 3FS con 3FD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RX_s(Kg)	RX_d(Kg)	ΔX (Kg)	%
Horizontal	4	10	1004.62	1004.17	0.45	0.0451%
Horizontal	253	979	-1004.62	-1004.17	-0.45	0.0451%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 80

Reacciones verticales modelo 3FS con 3FD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RZ_s(Kgf)	RZ_d(Kgf)	ΔY	%
Vertical	5	11	859.60	859.60	0.00	-0.0006%
Vertical	254	980	859.60	859.60	0.00	-0.0006%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 81

Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 3FS con 3FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UX_s(cm)	UX_d(cm)	ΔX	%
1	1	-1128.85	34.54	-0.022289	-0.0225	0.000188	-0.8433%
2	4	-1100	0	0.000000	0.0000	0.000000	-
21	80	-612.32	334.09	-0.016715	-0.0172	0.000440	-2.6308%
22	83	-596.67	291.89	-0.035384	-0.0359	0.000521	-1.4731%
43	165	0	398.95	0.000318	0.0001	0.000210	66.0974%
44	166	0	443.95	0.000249	0.0001	0.000162	65.1731%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 82

Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 3FS con 3FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UZ_s(cm)	UZ_d(cm)	ΔUZ (cm)	%
1	1	-1128.85	34.54	-0.018787	-0.0189	0.000148	-0.7876%
2	4	-1100	0	0.000000	0.0000	0.000000	-
21	80	-612.32	334.09	-0.081605	-0.0817	0.000047	-0.0579%
22	83	-596.67	291.89	-0.087822	-0.0879	0.000076	-0.0860%
43	165	0	398.95	-0.343339	-0.3447	0.001346	-0.3919%
44	166	0	443.95	-0.343169	-0.3445	0.001352	-0.3940%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 83

Rotaciones nodales (RY) modelo 3FS con 3FD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	RY_s(rad)	RY_d(rad)	ΔRY	%
1	1	-1138.79	22.82	0.000601	0.0006	0.000005	0.8243%
3	6	-1100	0.00	0.000611	0.0007	-0.000040	-6.4694%
23	88	-678.7	486.44	-0.000522	-0.0005	0.000002	-0.3212%
24	91	-655.59	447.83	-0.000524	-0.0005	0.000004	-0.7418%
47	185	0.00	629.08	0.000002	0.0000	0.000001	74.6995%
48	186	0.00	674.08	0.000002	0.0000	0.000001	59.5286%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 84

Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 3FS con 3FD

Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	ΔP1 (Kg)	ΔV2 (Kg)	ΔM3 (Kg-cm)
1	1	-1128.9	34.5	30.0	-2.4	-180.3	3	1	1	-1128.9	34.5	34.3	-2.4	-164.9	2	-4.3	-0.1	-15.5
85	1	-1128.9	34.5	-32.5	9.8	241.1	2	329	1	-1128.9	34.5	-30.7	6.8	215.3	4	-1.8	3.0	25.9
88	1	-1128.9	34.5	-11.6	-1.3	-60.8	4	331	1	-1128.9	34.5	-13.5	-1.0	-50.4	12	1.9	-0.3	-10.4
43	2	-1100.0	0.0	-1311.1	-4.0	-228.4	4	165	4	-1100.0	0.0	-1313.8	10.4	-118.4	6	2.6	-14.3	-109.9
106	19	-668.2	312.3	114.2	-1.0	-23.9	22	349	72	-668.2	312.3	114.5	-1.0	-24.7	83	-0.3	0.0	0.9
-10	21	-612.3	334.1	-404.0	-3.0	86.4	19	-40	80	-612.3	334.1	-402.7	-8.2	152.5	78	-1.3	5.2	-66.1
11	21	-612.3	334.1	-444.4	-2.6	-73.3	23	41	80	-612.3	334.1	-443.5	2.8	-8.3	82	-0.9	-5.4	-65.0
105	21	-612.3	334.1	-90.6	7.4	170.2	22	350	80	-612.3	334.1	-90.8	7.5	171.2	83	0.3	-0.1	-1.0
108	21	-612.3	334.1	71.3	-0.7	-10.5	24	351	80	-612.3	334.1	71.6	-0.7	-10.4	90	-0.4	0.0	-0.1
-52	22	-596.7	291.9	-794.5	-3.3	87.4	20	-204	83	-596.7	291.9	-795.5	-13.5	207.4	81	0.9	10.2	-120.1
53	22	-596.7	291.9	-694.5	-3.6	-98.9	24	205	83	-596.7	291.9	-695.2	5.7	18.1	85	0.7	-9.4	-116.9
129	42	-24.7	398.8	-27.7	1.6	63.4	44	371	162	-24.7	398.8	-31.2	1.6	64.9	166	3.5	0.0	-1.4
-63	43	0.0	399.0	-76.1	11.6	-46.2	42	-246	165	0.0	399.0	-72.2	10.9	-37.9	164	-3.9	0.7	-8.3
-64	43	0.0	399.0	-76.1	-12.3	45.9	45	246	164	-10.1	399.0	-72.2	10.5	70.6	165	-3.9	-22.8	-24.7
-21	44	0.0	444.0	-913.6	16.0	-127.2	41	-82	166	0.0	444.0	-915.6	13.9	-117.6	163	1.9	2.1	-9.6
-22	44	0.0	444.0	-912.8	-16.7	127.2	46	82	163	-10.4	444.0	-915.6	13.4	24.3	166	2.8	-30.1	102.9
128	44	0.0	444.0	24.1	0.0	-0.4	43	372	166	0.0	444.0	23.2	0.0	-0.3	165	0.9	0.0	-0.1
127	45	24.7	398.8	-29.3	-1.7	-69.2	44	373	169	24.7	398.8	-31.7	-1.7	-68.6	166	2.4	0.0	-0.6

Fuente: Elaboración Propia

4.2.6 Comparación Modelo 3MS con 3MD

Tabla 85

Reacciones horizontales modelo 3MS con 3MD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RX_s(Kg)	RX_d(Kg)	ΔX (Kg)	%
Horizontal	4	10	0.00	0.00	0.00	-
Horizontal	-	-	0.00	0.00	0.00	-

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86

Reacciones verticales modelo 3MS con 3MD

Dirección	GDL_s	GDL_d	RZ_s(Kgf)	RZ_d(Kgf)	ΔY	%
Vertical	5	11	859.596	859.601	0.00	-0.0006%
Vertical	254	980	859.596	859.601	0.00	-0.0006%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 87

Desplazamientos nodales horizontales (UX) modelo 3MS con 3MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UX_s(cm)	UX_d(cm)	ΔX	%
1	1	-1128.85	34.54	0.994917	0.9959	-0.000989	-0.0994%
2	4	-1100.00	0.0	0.000000	0	0.000000	-
21	80	-612.32	334.09	8.868565	8.8788	-0.010249	-0.1156%
22	83	-596.67	291.89	7.991457	8.0006	-0.009158	-0.1146%
43	165	0.00	398.95	9.998894	10.013	-0.014108	-0.1411%
44	166	0.00	443.95	9.998826	10.013	-0.014156	-0.1416%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 88

Desplazamientos nodales verticales (UZ) modelo 3MS con 3MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	UZ_s(cm)	UZ_d(cm)	ΔUZ (cm)	%
1	1	-1128.85	34.54	0.827745	0.8286	-0.000824	-0.0995%
2	4	-1100.00	0.00	0.00	0.00	0.000000	-
21	80	-612.32	334.09	-12.8848	-12.90	0.012613	-0.0979%
22	83	-596.67	291.89	-13.2086	-13.22	0.013016	-0.0985%
43	165	0.00	398.95	-19.6994	-19.72	0.016781	-0.0852%
44	166	0.00	443.95	-19.6987	-19.72	0.017262	-0.0876%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 89

Rotaciones nodales (RY) modelo 3MS con 3MD

N_s	N_d	X(cm)	Z(cm)	RY_s(rad)	RY_d(rad)	ΔRY	%
1	1	-1128.85	34.54	-0.02893	-0.029	0.000018	-0.0627%
2	4	-1100	0	-0.02891	-0.029	0.000016	-0.0567%
21	80	-612.32	334.09	-0.02095	-0.021	0.000011	-0.0523%
22	83	-596.67	291.89	-0.02103	-0.021	0.000033	-0.1555%
43	165	0	398.95	1.6E-06	4E-07	0.000001	74.6995%
44	166	0	443.95	1.79E-06	7E-07	0.000001	59.5286%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 90

Porcentajes de incidencias en las fuerzas internas modelo 3MS con 3MD

Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	Be	i	Xi(cm)	Zi(cm)	P1i(Kg)	V2i(Kg)	M3i (Kg-cm)	j	ΔP1 (Kg)	ΔV2 (Kg)	ΔM3 (Kg-cm)
1	1	-1128.9	34.5	-761.3	-26.2	-894.4	3	1	1	-1128.9	34.5	-756.9	-18.5	-829.8	2	-4.4	-7.7	-64.5
85	1	-1128.9	34.5	-641.0	40.0	933.1	2	329	1	-1128.9	34.5	-641.4	37.1	870.4	4	0.4	2.9	62.6
88	1	-1128.9	34.5	956.7	-0.6	-38.7	4	331	1	-1128.9	34.5	954.3	-0.5	-40.6	12	2.4	-0.1	1.9
43	2	-1100.0	0.0	-509.4	-25.9	-895.6	4	165	4	-1100.0	0.0	-512.6	-19.1	-829.6	6	3.1	-6.8	-65.9
106	19	-668.2	312.3	697.1	0.0	310.2	22	349	72	-668.2	312.3	698.4	0.1	310.8	83	-1.3	-0.1	-0.6
-10	21	-612.3	334.1	-6856.3	-14.1	1517.6	19	-40	80	-612.3	334.1	-6853.9	-100.7	2622.7	78	-2.4	86.7	-1105.1
11	21	-612.3	334.1	-7328.3	-13.2	781.8	23	41	80	-612.3	334.1	-7325.9	77.9	1907.7	82	-2.4	-91.1	-1125.9
105	21	-612.3	334.1	-192.5	18.8	399.7	22	350	80	-612.3	334.1	-192.6	18.4	384.5	83	0.2	0.4	15.2
108	21	-612.3	334.1	605.8	0.1	336.1	24	351	80	-612.3	334.1	606.0	0.0	330.6	90	-0.2	0.1	5.5
-52	22	-596.7	291.9	6128.9	-5.5	1277.4	20	-204	83	-596.7	291.9	6125.7	75.9	252.8	81	3.2	-81.4	1024.5
53	22	-596.7	291.9	6711.0	-4.7	1070.4	24	205	83	-596.7	291.9	6708.4	-91.9	39.7	85	2.7	87.2	1030.6
129	42	-24.7	398.8	18.5	1.2	320.0	44	371	162	-24.7	398.8	11.1	-3.0	176.6	166	7.4	4.2	143.4
-63	43	0.0	399.0	9745.0	-6.6	1757.9	42	-246	165	0.0	399.0	9745.3	19.6	1656.3	164	-0.2	-26.2	101.6
-64	43	0.0	399.0	9745.0	5.9	-1758.2	45	246	164	-10.1	399.0	9745.3	19.2	1852.8	165	-0.2	-13.3	-3611.1
-21	44	0.0	444.0	-9753.0	-13.5	1844.3	41	-82	166	0.0	444.0	-9753.2	-29.7	1853.9	163	0.2	16.3	-9.7
128	44	0.0	444.0	106.8	0.0	-0.4	43	372	166	0.0	444.0	40.6	0.0	-0.3	165	66.2	0.0	-0.1
-22	44	0.0	444.0	-9752.1	12.8	-1844.2	46	82	163	-10.4	444.0	-9753.2	-30.2	1542.7	166	1.1	43.0	-3386.9
127	45	24.7	398.8	16.9	-1.3	-325.7	44	373	169	24.7	398.8	10.7	3.0	-180.4	166	6.2	-4.3	-145.4

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentan las tablas resúmenes de las reacciones, desplazamientos y fuerzas internas para su interpretación.

Tabla 91

Porcentaje de influencia de la curvatura en las reacciones

Grado	Modelo	Dirección	Simple (kg)	Detallado (kg)	Diferencia (kg)	%
Grado 01	1FS-1FD	Horizontal	639.36	639.11	0.26	0.0399%
		Vertical	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%
	1MS-1MD	Horizontal	0.00	0.00	0.00	-
		Vertical	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%
Grado 02	2FS-2FD	Horizontal	840.63	840.33	0.30	0.0357%
		Vertical	899.61	898.70	0.91	0.1013%
	2MS-2MD	Horizontal	0.00	0.00	0.00	-
		Vertical	899.61	898.70	0.91	0.1013%
Grado 03	3FS-3FD	Horizontal	1004.62	1004.17	0.45	0.0451%
		Vertical	859.60	859.60	0.00	-0.0006%
	3MS-3MD	Horizontal	0.00	0.00	0.00	-
		Vertical	859.60	859.60	0.00	-0.0006%

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior, tabla 91, en la columna de diferencia se presentan variaciones de reacciones dispersas, y no podemos afirmar una correlación directa proporcional a la curvatura, sin embargo, la influencia de la curvatura en las reacciones queda demostrada. Cabe resaltar que dicha influencia, para los casos estudiados sólo llegan al 0.1% la cual consideramos prescindible.

Tabla 92

Porcentaje de influencia de la curvatura en los desplazamientos

Grado	Modelo	Dirección	Simple (cm)	Detallado (cm)	Diferencia (cm)	%
Grado 01	1FS-1FD	máximo en X	-0.1124	-0.1136	0.0011	-1.01%
		máximo en Z	-0.3758	-0.3781	0.0023	-0.61%
	1MS-1MD	máximo en X	16.6064	16.6543	-0.0479	-0.29%
		máximo en Z	-20.4360	-20.4891	0.0531	-0.26%
Grado 02	2FS-2FD	máximo en X	-0.0664	-0.0675	0.0011	-1.64%
		máximo en Z	-0.3241	-0.3257	0.0017	-0.51%
	2MS-2MD	máximo en X	12.7723	12.8046	-0.0323	-0.25%
		máximo en Z	-20.4575	-20.5034	0.0459	-0.22%
Grado 03	3FS-3FD	máximo en X	-0.0354	-0.0359	0.0005	-1.47%
		máximo en Z	-0.3433	-0.3447	0.0013	-0.39%
	3MS-3MD	máximo en X	9.9989	10.0130	-0.0141	-0.14%
		máximo en Z	-19.6994	-19.7162	0.0168	-0.09%

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior, tabla 92 en la columna de diferencia se en los que respecta a los desplazamientos en la dirección Z, se presenta un decremento a medida que la curvatura de la cercha baja con un comportamiento similar para ambos condiciones de contorno, mientras que en los desplazamientos horizontales se presentan valores dispersos, sin embargo, la influencia de la curvatura en los desplazamientos queda demostrada. Cabe resaltar que dicha influencia en los desplazamientos llega a alcanzar el 1.5% lo cual junto a los

factores de amplificaciones y tolerancias impuestas por las normas podrían alcanzar variaciones considerables y perceptibles a simple vista.

Tabla 93
Porcentaje de influencia de la curvatura en las fuerzas internas

Grado	Modelo	Dirección	Simple	Detallado	Diferencia	%
Grado 01	1FS-1FD	P (kg)	-1221.95	-1226.90	4.96	-0.41%
		V (kg)	6.92	25.60	-18.68	-270.13%
		M (kg-cm)	150.01	300.61	-150.59	-100.39%
	1MS-1MD	P (kg)	-198.21	-199.28	1.07	-0.54%
		V (kg)	-17.32	-13.17	-4.15	23.97%
		M (kg-cm)	-598.56	-559.61	-38.94	6.51%
Grado 02	2FS-2FD	P (kg)	-1260.75	-1265.45	4.69	-0.37%
		V (kg)	5.23	22.05	-16.82	-321.71%
		M (kg-cm)	97.37	236.01	-138.64	-142.39%
	2MS-2MD	P (kg)	89.43	89.59	-0.16	-0.18%
		V (kg)	-22.62	-22.64	0.02	-0.10%
		M (kg-cm)	-752.78	-747.51	-5.28	0.70%
Grado 03	3FS-3FD	P (kg)	-1311.14	-1313.75	2.61	-0.20%
		V (kg)	-3.99	10.36	-14.35	359.95%
		M (kg-cm)	-228.40	-118.45	-109.95	48.14%
	3MS-3MD	P (kg)	-509.41	-512.56	3.15	-0.62%
		V (kg)	-25.90	-19.12	-6.78	26.18%
		M (kg-cm)	-895.56	-829.62	-65.94	7.36%

Fuente: Elaboración Propia

En esta tabla, tabla 93, en la columna de diferencia para todos los diferentes tipos de fuerzas se presentan valores dispersos y no podemos afirmar una correlación directa proporcional, pero queda demostrado la influencia de la curvatura de los elementos en las fuerzas internas. Cabe resaltar que dicha influencia en las axiales sólo llega al 0.5% de modelo simple, mientras que las cortantes y flectores ascienden hasta el 360%, es pertinente resaltar que estos valores acarrearán esfuerzos ínfimos comparados a los de la resistencia del acero.

4.3 Contrastación de Hipótesis

4.3.1 Hipótesis General

HG: La influencia de las curvaturas de elementos en el comportamiento estático de estructura reticular, no es proporcional directa.

Al revisar los resultados de las tablas: 91 al 93 se puede apreciar en las respectivas columnas las variaciones y por tanto influencia de la curvatura en el comportamiento estático de estructura reticular de acero.

Sin embargo, los resultados demuestran que no existe una influencia directa proporcional por tanto se acepta la hipótesis general, cabe resaltar que sólo se acepta en el sentido de su forma de influencia mas no en la influencia que ejerce en dicho comportamiento.

4.3.2 Hipótesis Específica 01

Hi1: Las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos se encuentran entre 0.05 - 0.1 y $1/2 - 1/10$ en estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.

Al revisar los resultados de las tablas 54, se presentan resultados tanto de curvatura como de rebajamiento dentro de los rangos hipotetizados, por lo tanto, se *acepta* la hipótesis específica 01.

4.3.3 Hipótesis Específica 02

Hi2: Las variaciones de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos no son proporcionales directamente a la curvatura de los elementos estructurales de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.

Se acepta la hipótesis específica 02, visto que las reacciones (en ambas direcciones), los desplazamientos en la dirección X, las fuerzas internas (axial, cortante y momento), presentan valores dispersos y no tienen una proporcionalidad directa a diferencia.

V DISCUSIÓN

1. Después de analizar los distintos resultados, aceptamos la hipótesis general que establece que **“La influencia de las curvaturas de elementos en el comportamiento estático de estructura reticular, no es proporcional directa”**.

Los resultados hallados en la presente investigación guardan relación con lo que presenta (López 2003) en su tabla 7.50 en los cuales se puede observar una disminución no directa proporcional de la resistencia junto a la disminución de la curvatura.

2. Para la hipótesis específica 01, **‘las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos se encuentran entre 0.05 - 0.1 y 1/2 - 1/10 en estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020’**. Los resultados hallados, plasmados en la sección de resultados, quedan dentro del rango de la hipótesis, por lo tanto, se acepta la hipótesis específica 01.

Tabla 94

Resultados correspondientes al objetivo específico 1(Dim.: Curvatura y rebajamiento)

Modelo	Luz Cercha (m)	Flecha Cercha (m)	Radio Cercha (m)	Curvatura Cercha	Rebajamiento Cercha	Luz Elemento (cm)	Flecha Elemento (cm)	Rebajamiento Elemento
1FS	22	6.35	13.21	0.0757	0.29	59.9948	0.003406	0.000057
1FD								
1MS								
1MD								
2FS	22	5.35	15.27	0.0655	0.24	59.9961	0.002947	0.000049
2FD								
2MS								
2MD								
3FS	22	4.45	17.61	0.0568	0.20	59.9971	0.002556	0.000043
3FD								
3MS								
3MD								

En la tabla se aprecia por las filas todos los modelos analíticos mientras que en las columnas las propiedades referentes al objetivo específico 01, en la columna quinta y sexta se puede apreciar los objetivos alcanzados.

Fuente: Elaboración Propia

Para la hipótesis específica 01 ambos autores hipotetizan sus investigaciones desde un enfoque diferente (González Meza 2016) desde un enfoque cualitativo, mientras que (López 2003) enfoque su hipótesis

en aspectos diferentes del estudio de arcos incluyendo el estudio de arcos parabólicos, cabe resaltar que realiza el estudio de cargas críticas de pandeo en una extensión mayor de curvatura tanto superior e inferior.

3. Para la hipótesis específica 02, **‘Las variaciones de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos no son directamente proporcionales a la curvatura de los elementos estructurales de acero, Andahuaylas, Perú, 2020’**. Los resultados hallados, plasmados las tablas 91, 92 y 93 en la sección de resultados demuestran que para las distintas dimensiones tienen un comportamiento disperso, a excepción de los desplazamientos en especial el vertical.

Para la hipótesis específica 02, los distintos investigadores tanto (González Meza 2016) como (López 2003) abordan y estructuran su investigación de distinta forma. (González Meza 2016) aborda el estudio de las estructuras de retícula triangular, desde un enfoque cualitativo y sin embargo resalta las bondades del sistema y su forma básica triangular además de versatilidad. Mientras que (López 2003) su investigación desde un enfoque cuantitativo y realiza el estudio de arcos de círculo con diferentes rebajamientos además de arcos de parábola de segundo grado con diferentes grados de rebajamientos e incluye es estudio de arcos con condiciones de apoyo empotrados.

Tabla 95
Porcentaje de influencia de la curvatura en las reacciones

Grado	Modelo	Dirección	Simple (kg)	Detallado (kg)	Diferencia (kg)	%
Grado 01	1FS-1FD	Horizontal	639.36	639.11	0.26	0.0399%
		Vertical	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%
	1MS-1MD	Horizontal	0.00	0.00	0.00	-
		Vertical	942.72	942.73	-0.01	-0.0010%
Grado 02	2FS-2FD	Horizontal	840.63	840.33	0.30	0.0357%
		Vertical	899.61	898.70	0.91	0.1013%
	2MS-2MD	Horizontal	0.00	0.00	0.00	-
		Vertical	899.61	898.70	0.91	0.1013%
Grado 03	3FS-3FD	Horizontal	1004.62	1004.17	0.45	0.0451%
		Vertical	859.60	859.60	0.00	-0.0006%
	3MS-3MD	Horizontal	0.00	0.00	0.00	-
		Vertical	859.60	859.60	0.00	-0.0006%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 96
Porcentaje de influencia de la curvatura en los desplazamientos

Grado	Modelo	Dirección	Simple (cm)	Detallado (cm)	Diferencia (cm)	%
Grado 01	1FS-1FD	máximo en X	-0.1124	-0.1136	0.0011	-1.01%
		máximo en Z	-0.3758	-0.3781	0.0023	-0.61%
	1MS-1MD	máximo en X	16.6064	16.6543	-0.0479	-0.29%
		máximo en Z	-20.4360	-20.4891	0.0531	-0.26%
Grado 02	2FS-2FD	máximo en X	-0.0664	-0.0675	0.0011	-1.64%
		máximo en Z	-0.3241	-0.3257	0.0017	-0.51%
	2MS-2MD	máximo en X	12.7723	12.8046	-0.0323	-0.25%
		máximo en Z	-20.4575	-20.5034	0.0459	-0.22%
Grado 03	3FS-3FD	máximo en X	-0.0354	-0.0359	0.0005	-1.47%
		máximo en Z	-0.3433	-0.3447	0.0013	-0.39%
	3MS-3MD	máximo en X	9.9989	10.0130	-0.0141	-0.14%
		máximo en Z	-19.6994	-19.7162	0.0168	-0.09%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 97
Porcentaje de influencia de la curvatura en las fuerzas internas

Grado	Modelo	Dirección	Simple	Detallado	Diferencia	%
Grado 01	1FS-1FD	P (kg)	-1221.95	-1226.90	4.96	-0.41%
		V (kg)	6.92	25.60	-18.68	-270.13%
		M (kg-cm)	150.01	300.61	-150.59	-100.39%
	1MS-1MD	P (kg)	-198.21	-199.28	1.07	-0.54%
		V (kg)	-17.32	-13.17	-4.15	23.97%
		M (kg-cm)	-598.56	-559.61	-38.94	6.51%
Grado 02	2FS-2FD	P (kg)	-1260.75	-1265.45	4.69	-0.37%
		V (kg)	5.23	22.05	-16.82	-321.71%
		M (kg-cm)	97.37	236.01	-138.64	-142.39%
	2MS-2MD	P (kg)	89.43	89.59	-0.16	-0.18%
		V (kg)	-22.62	-22.64	0.02	-0.10%
		M (kg-cm)	-752.78	-747.51	-5.28	0.70%
Grado 03	3FS-3FD	P (kg)	-1311.14	-1313.75	2.61	-0.20%
		V (kg)	-3.99	10.36	-14.35	359.95%
		M (kg-cm)	-228.40	-118.45	-109.95	48.14%
	3MS-3MD	P (kg)	-509.41	-512.56	3.15	-0.62%
		V (kg)	-25.90	-19.12	-6.78	26.18%
		M (kg-cm)	-895.56	-829.62	-65.94	7.36%

Fuente: Elaboración Propia

- La relevancia de la presente investigación en el contexto técnico-científico es porque aporta hitos de referencia para la idealización de modelos analíticos con elementos curvados, es decir aporta una referencia para la consideración o desconsideración de la curvatura de los elementos en modelos analíticos estructurales. Mientras que en el contexto social es relevante, en casos comunes, provee referencias objetivas para limitar las deformaciones dentro de los rangos normativos, y en casos extremos previene fallas en estructuras con curvaturas y rebajamientos críticos.

VI CONCLUSIONES

1. Objetivo general, **“Determinar la influencia de las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular acero”**, se concluye que, para los grados de curvatura analizados, la influencia de las curvaturas de elementos en el comportamiento estático de estructura reticular, 2020 no es proporcional directa, sin embargo los desplazamientos si lo son, mientras que en el resto de características como reacciones, fuerzas internas están relacionadas con variables como curvatura, tanto de la cercha como del elemento, rebajamiento de la cercha y el elemento, así como la flecha del elemento, así como la ubicación del elemento como parte integrante del sistema estructural.
2. Objetivo específico 01, **“Determinar las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020”**, las curvaturas de los modelos son: 0.29, .24 y 0.2 para los grados 1, 2 y 3, respectivamente.
3. Objetivo específico 02, **“Calcular las variaciones de los reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020”**, las variaciones de las reacciones, desplazamientos, y fuerzas internas no son directamente proporcionales a la curvatura, sin embargo, la influencia de la curvatura en el comportamiento estático queda demostrada, consideramos que los desplazamientos verticales son relevantes ya que son proporcionales a la curvatura. Además, que se debe tener en cuenta a la hora de calcular las deflexiones en una estructura similar al modelo tipológico estudiado.

VII RECOMENDACIONES

1. Los resultados y conclusiones se ven limitadas a la tipología, así como también a las dimensiones de largo ancho máximas, con mayor interés en los rebajamientos de los elementos, ya que ellos están íntimamente relacionados con las deformaciones en la dirección vertical.
2. Se recomienda analizar estructuras con mayores rebajamientos de arco de elementos, ya que los analizados demostraron tener una incidencia ínfima en la mayoría de las características, según nuestra consideración despreciable, a excepción del desplazamiento vertical.
3. En estructuras con elementos curvados de mayores rebajamientos, donde su influencia en las fuerzas internas sea considerable, se recomienda rastrear dicha influencia hasta determinar el factor con mayor incidencia en las fuerzas para su correcto diseño, es decir con los nuevos esfuerzos encontrados y con los límites normativos.

REFERENCIAS

- ANDREAUS, U., SPAGNUOLO, M., LEKSZYCKI, T. y EUGSTER, S.R., 2018. A Ritz approach for the static analysis of planar pantographic structures modeled with nonlinear Euler–Bernoulli beams. *Continuum Mechanics and Thermodynamics*, vol. 30, no. 5, pp. 1103-1123. ISSN 09351175. DOI 10.1007/s00161-018-0665-3.
- BLANCO, L., ANTONIO, C., JOS, H. y GARC, M., 2014. *Análisis estático de estructuras por el método matricial*. S.l.: s.n. ISBN 9788497474481.
- BUENO, J.R. y LORIGGIO, D.D., 2016. Influence of the flexibility of beams and slabs in static response and dynamic properties. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, vol. 9, no. 6, pp. 842-855. ISSN 1983-4195. DOI 10.1590/s1983-41952016000600003.
- CAMPOS CULQUI, J.J., 2018. "ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA, EN EL DISTRITO DE PILLCO MARCA - HUÁNUCO". S.l.: s.n.
- CARRASCO ANGULO, C.A., 2011. Metodología Para El Análisis Estático Y Dinámico De Estructuras Metálicas Aplicando El Método De Los Elementos Finitos. , pp. 1-101.
- CASADO, E. abajo y DELGADO SÁNCHEZ, J.M., 2015. Geometría del arco carpanel. , pp. 17-25.
- CASTRIOTTO, C.M., CELANI, G. y SILVA, F.T. da, 2020. Estruturas recíprocas: revisão sistemática da literatura e identificação de pontos críticos para projeto e produção. *Ambiente Construído*, vol. 20, no. 4, pp. 387-405. ISSN 1415-8876. DOI 10.1590/s1678-86212020000400479.
- CORTÉS, E., 2016. Geometría del equilibrio de estructuras en arco. *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 2, no. 2, pp. 15. ISSN 1870-9095.
- CRUZ ROVIRA, C.A., FIGUEROA CATALAN, P.R. y HERNANDEZ CASTILLO, C.L., 2017. Estructuración, Análisis Y Diseño Estructural De Elementos De Techo Con Perfiles Metálicos Utilizando El Método LRFD. , pp. 1-446.
- DÍAZ DÍAZ, A., CASTAÑEDA BALDERAS, R., DOMÍNGUEZ ALVARADO, A.F. y MARTÍNEZ MORFÍN, C.I., 2020. Soluciones de Ecuaciones Diferenciales por Elemento Finito (SEDEF). *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. 21, no. 1, pp. 1-11. ISSN 14057743. DOI 10.22201/fi.25940732e.2020.21n1.002.
- DONG, L., 2020. Mechanical responses of snap-fit Ti-6Al-4V warren-truss lattice structures. *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 173, no. November 2019, pp. 105460. ISSN 00207403. DOI 10.1016/j.ijmecsci.2020.105460.
- ENGEL, H., 1979. *Sistemas-de-Estructuras.pdf*. S.l.: s.n. ISBN 8472140059.
- ESTRADA-CINGUALBRES, R. y PÉREZ-RODRÍGUEZ, R., 2016. las tensiones residuales en la fatiga de uniones soldadas FEM Evaluation of the influence of residual stresses in welded joints fatigue Métodos y Materiales. , vol. 19, no. 1, pp. 40-48.
- GARCÍA ARRIBAS, C. y PÉREZ, A., 1986. Problemas resueltos. *Epsilon: Revista de la Sociedad Andaluza de Educación Matemática «Thales»*, no. 6, pp. 91-99. ISSN 1131-9321.
- GONZÁLEZ MEZA, E., 2016. *Estructuras de retícula triangular: transformaciones constructivas de las edificaciones* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: http://oa.upm.es/42929/1/EDWIN_GONZALEZ_MEZA_01.pdf.

- GUTIÉRREZ, R., STEMPNIEWSKI, L. y FLEMING, W., 2018. Modelling steel-concrete interaction using the extended finite element method. *Obras y proyectos*, no. 24, pp. 6-12. ISSN 0718-2813. DOI 10.4067/s0718-28132018000200006.
- HECHAVARRÍA, R., LÓPEZ, G., PAZMIÑO, F. y UREÑA, M., 2017. Cálculo numérico de las propiedades térmicas efectivas de un compuesto por elementos finitos Numerical calculation of the effective thermal properties of a composite by finite elements. *Ingenius*, no. 18, pp. 14-20.
- HERNANDEZ SAMPIERI, R., 2014. *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*. S.l.: s.n. ISBN 9781456223960.
- I, R.F., I, G.D.J.L., ARTURO, C. y II, M., 2019. Evaluation of Methods to Calculate Dynamic Load Coefficients Evaluación de métodos para el cálculo de coeficientes de cargas dinámicas. , vol. 28, no. 4, pp. 28-39.
- JOS, F., TUTOR, P.T., CONTINUOS, M. y ESCUELA, E., 2016. Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería Civil Comportamiento a pandeo de puentes arco. ,
- JOSÉ LOZADA, 2014. Investigación Aplicada : Definición , Propiedad Intelectual e Industria. *Cienciaamérica* [en línea], vol. 1, no. 3, pp. 34-39. Disponible en: <http://www.uti.edu.ec/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>.
- JUÁREZ, G. y TENORIO, M., 2017. Beam-Column Finite Element With Embedded Discontinuities for Modelling Damage in Reinforced. *Revista de Ingeniería Sísmica*, vol. 65, no. 96, pp. 39-65.
- LÓPEZ, P.J.A., 2003. *Modelo de elementos finitos para el cálculo de arcos. Validación en estructuras agroindustriales de acero*. S.l.: s.n.
- MALAKHALTSEV, M., [sin fecha]. *Cálculo Vectorial*. S.l.: s.n. ISBN 9786075190280.
- MÁRCIO AGOSTINI, B., BRUNO MÁRCIO AGOSTINI PROFESSOR, al, SOUSA DA ROCHA FREITAS, M., AZOUBEL DA MOTA SILVEIRA, R. y REGINA DIAS DA SILVA PROFESSOR-ADJUNTO, A., 2018. Structural reliability analysis of steel plane frames with semi-rigid connections Civil Engineering Engenharia Civil. , vol. 71, no. 3, pp. 333. DOI 10.1590/0370-44672017710044.
- MARINELLI, F., WEISS, B.A., BERLI, M.E. y DI PAOLO, J., 2018. Módulos elásticos equivalentes para predicción de deformaciones en articulaciones. *Ingenius*, no. 20, pp. 70-82. ISSN 1390-650X. DOI 10.17163/ings.n20.2018.07.
- MARTINELLI, L.B. y ALVES, E.C., 2020. Optimization of geometrically nonlinear truss structures under dynamic loading. *Revista Escola de Minas*, vol. 73, no. 3, pp. 293-301. ISSN 03704467. DOI 10.1590/0370-44672019730105.
- OSUNA, CARRANZA, J.M., 2013. IMPLEMENTACIÓN EN MATLAB DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS PARA ESTRUCTURAS CON LOS ELEMENTOS FINITOS PARA ESTRUCTURAS CON NO LINEALIDAD GEOMÉTRICA. ,
- PRIMERO, G.N., 2011. Utilización de matrices dispersas en el Método de los Elementos Finitos. *Ingeniería e Investigación*, vol. 0, no. 27, pp. 18-37. ISSN 0120-5609.
- PYDAH, A. y SABALE, A., 2017. Static analysis of bi-directional functionally graded curved beams. *Composite Structures*, vol. 160, pp. 867-876. ISSN 02638223. DOI 10.1016/j.compstruct.2016.10.120.

- RICARDO, O. y SILVEIRA, M., 2001. Formulações de elementos finitos curvos para análise de arcos. ,
- ROY CHOWDHURY, S. y REDDY, J.N., 2019. Geometrically exact micropolar Timoshenko beam and its application in modelling sandwich beams made of architected lattice core. *Composite Structures*, vol. 226, no. May, pp. 111228. ISSN 02638223. DOI 10.1016/j.compstruct.2019.111228.
- SAMARTIN QUIROGA, A., 1982. *CALCULO CONVENCIONAL DE ESTRUCTURAS. TEORIA ESTRUCTURAS RETICULADAS*. S.l.: s.n.
- SAVIRA, F. y SUHARSONO, Y., 2013. ANALISIS DE ESTABILIDAD DE ARCOS BAJO PRESION UNIFORME MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS. *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 01, no. 01, pp. 1689-1699. ISSN 1098-6596.
- SILVA, A.R. y RODRIGUES, T.A., 2019. Optimized dimensioning of steel-concrete composite beams. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, vol. 12, no. 6, pp. 1428-1453. ISSN 1983-4195. DOI 10.1590/s1983-41952019000600012.
- STOYKOV, S., 2018. Buckling analysis of geometrically nonlinear curved beams. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 340, pp. 653-663. ISSN 03770427. DOI 10.1016/j.cam.2017.08.028.
- TORRES, J. y CAMINOS, I.D.E., 1989. Arcos. Funicularidad. , pp. 58-73.
- TRINDADE, L.G.C., FERNANDES, G.R. y BERTOLINO JÚNIOR, R., 2017. Análise estrutural de vigas mistas treliçadas do tipo steel-joist warren modificada. *Revista Materia*, vol. 22, no. 3. ISSN 15177076. DOI 10.1590/S1517-707620170003.0205.
- TUMIALAN, J.I., 2016. Modelado y diseño de un arco parabólico de 45m de luz mediante el método de elementos finitos. ,
- UR RAHMAN, N. y ALAM, M.N., 2018. Finite element modelling to assess the effect of position and size of the piezoelectric layer of a hybrid beam. *Latin American Journal of Solids and Structures*, vol. 15, no. 3, pp. 1-17. ISSN 16797825. DOI 10.1590/1679-78253959.
- VIADER MUÑOZ, A., 2016. El Efecto de la sobrecarga Movil en los arcos empotrados. ,
- WIKIPEDIA, [sin fecha]. Elemento estructural. [en línea]. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Elemento_estructural.
- WILSON, E., 2004. *Análisis Estático y Dinámico de Estructuras*. S.l.: s.n. ISBN 0000000000.

ANEXOS

7.1 Matriz de Consistencia

Análisis de influencia de curvaturas de elementos para el comportamiento estático de estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020				
PROBLEMA PRINCIPAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cuánto influyen las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020?	Determinar la influencia de las curvaturas en el comportamiento estático de estructura reticular de acero.	HG: La influencia de las curvaturas de elementos en el comportamiento estático de estructura reticular, no es proporcional directa.	VI: Curvaturas de elementos. VD: Comportamiento estático	Tipo de investigación: Investigación aplicada. Nivel de investigación: Exploratoria y Correlacional. Método de la investigación: Deductivo – descriptivo – analítico. Diseño de la investigación: No experimental, de corte transversal Población: Estructuras reticulares de acero con elementos estructurales en arco en la zona urbana del valle del Chumbao, un número de 35 unidades. Muestra: El tipo de muestra es dirigida o no probabilística, debido a que la intención de la investigación es determinar la influencia de los elementos estructurales en arco en el comportamiento estático de estructura reticular de acero, es conveniente seleccionar muestras con tres grados de curvatura: alta, media y una baja, número de 3 unidades.
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS		
¿Cuáles son las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020?	Determinar las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.	Hi1: Las curvaturas y rebajamientos de las cerchas y elementos se encuentran entre 0.05 - 0.1 y 1/2 - 1/10 en estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.		
¿Cuáles son variaciones de las reacciones, desplazamientos nodales y esfuerzos internos de estructura reticular de acero, Andahuaylas Perú, 2020??	Calcular las variaciones de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos de estructura reticular de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.	Hi2: Las variaciones de las reacciones, desplazamientos y esfuerzos internos no son proporcionales directamente a la curvatura de los elementos estructurales de acero, Andahuaylas, Perú, 2020.		

7.2 Matriz de Operacionalización de Variables

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
VI: Curvaturas de elementos	Cual quiera de los elementos estructurales conformantes de una estructura reticular que describa forma curva de arco circular.	Número de elementos con directriz de arco con sus respectivas curvaturas.	curvatura	1/Radio	1/cm
			rebajamiento	Flecha/Luz	Número
VD: Comportamiento estático	Respuesta de una estructura resistente frente a cargas estáticas. Que se evalúan con el análisis estructural estático con el objeto de determinar esfuerzos internos y desplazamientos nodales.	La magnitud de esfuerzos internos, reacciones, desplazamientos nodales ante las solicitaciones impuestas.	Reacciones	Reacción en el eje X	Kgf
				Reacción en el eje Z	Kgf
			Desplazamientos	Desplazamiento en el eje X	cm
				Desplazamiento en el eje Z	cm
			Fuerzas internas	Fuerzas axiales	Kgf
Fuerzas cortantes	Kgf				
	Momentos flexionantes	Kgf*cm			

7.3 Fichas de Validación

CARTA DE PRESENTACION

Señor:

Presente:

Asunto: **VALIDACION DE INSTRUMENTOS A TRAVES DE JUICIO DE EXPERTOS**

Nos es grato comunicarme con usted para expresarle nuestro saludo y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiantes de la **Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil** de la prestigiosa **Universidad Cesar Vallejo**, en la sede de Callao; requerimos validar los instrumentos con los cuales se recogerá la información necesaria para poder desarrollar mi investigación para obtener el **Título de Ingeniero Civil es: “Análisis de influencia de curvaturas de elementos para el comportamiento estático de estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020”**; y siendo imprescindible contar con la aprobación de profesionales especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a su persona, ante su connotada experiencia en relación a la carrera de Ingeniería Civil.

El expediente de validación, que le estoy haciendo llegar contiene lo siguiente:

- **Carta de presentación**
- **Definiciones conceptuales de las variables y unión de las dimensiones con los instrumentos**
- **Certificado de validez de contenido de los instrumentos**

Sin más que añadir con mucho respeto, nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atte:



Firma

Orosco Huayana Marco Antonio

Dni: 76661133



Firma

Leguia Valverde Stephen Ronald

Dni: 44337110

INSTRUMENTO DE MEDICION: SCRIPT RETBI

```
% RETICULADOS PLANOS CON CARGAS PARALELAS
clc % Limpia la ventana de comandos "Command Window"
clear % Limpia la ventana de trabajo "Workspace"
disp(...)
'-----PROGRAMA RETBI INICIALIZADO-----
-----')
disp(...)
'-----
-----')
disp(...)
'NOTA: Los datos de carga y geometría deben estar en un archivo de
excel y toda en-'
disp(...)
'trada de texto de estar encerrada por comillas y el nombre de los
archivos excel de-'
disp('be incluir .xlsx')
disp...
('-----
-----')
% FASE 01:LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS
disp('FASE 01: LECTURA Y CÁLCULO DE DATOS PRIMARIOS')
disp...
('-----
-----')
%% 1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas.
disp('1.0-ENTRADA DE DATOS PRIMARIOS')
file1=input(' Ingrese el nombre del archivo de datos=');
sheet1=input(' Ahora ingrese el nombre de la hoja =');
PFM=xlsread(file1,sheet1,'A2:I1000');% Lectura de datos fisico-
mecánicos
[~,ID]=xlsread(file1,sheet1,'J2:J1000');% Lectura de grupo de
elemento.

disp(' 1.1-Lectura de datos de geometría y propiedades mecánicas -
PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento
CXe=(PFM(:,2)+PFM(:,4))/2; % Vector de coordenada X del centro del
elemento.
CZe=(PFM(:,3)+PFM(:,5))/2; % Vector de coordenada Z del centro del
elemento.
Lex=PFM(:,4)-PFM(:,2); % Vector de distancia longitudinal en X.
Lez=PFM(:,5)-PFM(:,3); % Vector de distancia vertical en Z.
Le=(Lex.^2+Lez.^2).^(1/2); % Vector de longitud del elemento.
Theta=atan2d(Lez,Lex); % Vector de ángulo de inclinación
Pe=PFM(:,9).*Le; % Vector de peso del elemento.

disp(' 1.2-Cálculo de propiedades primarios de elemento - PROCESADO
CON ÉXITO!')

%% 1.3-Matriz de transformación
n=(PFM(:,4)-PFM(:,2))./Le;
u=(PFM(:,5)-PFM(:,3))./Le;
t0=zeros(3);
for i=1:length(PFM(:,1))
```

```

        te=[n(i,1) -u(i,1) 0;u(i,1) n(i,1) 0;0 0 1];
        T(:, :, i)=[te t0;t0 te];
end

disp(' 1.3-Matriz de transformación - PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 1.4-Cálculo de propiedades primarias del nodo
Nn=unique([round(PFM(:,2),2) round(PFM(:,3),2); round(PFM(:,4),2)
round(PFM(:,5),2)], 'rows'); % Matriz de puntos singulares.
V_GDL=(1:length(Nn)*3)';
Pn=(1:length(Nn(:,1)))' Nn ];
GDL=reshape(V_GDL,3,length(Nn))';

% Cálculo de asignación de GDL para elemento.
[i,j]=ismember(round(PFM(:,2:3),2), round(Pn(:,2:3),2), 'rows');
[k,l]=ismember(round(PFM(:,4:5),2), round(Pn(:,2:3),2), 'rows');
GDLe=[GDL(j,:) GDL(l,:)];
Ne=[j l];

disp('Cantidad de grupos, elementos, nodos y GDL encontrados:')
CCG=[length(unique(ID)) length(PFM(:,1)) length(Pn) max(max(GDLe))]
Grupos=unique(ID) '

disp(' 1.4-Cálculo de propiedades primarios del nodo - PROCESADO CON
ÉXITO!')

%% 1.5-Gráfico de la estructura

% Datos geometricos de la estructura
X=[PFM(:,2) PFM(:,4)]'; % Coordenadas X de los vectores
Y=[PFM(:,3) PFM(:,5)]'; % Coordenadas Y de los vectores
% Dimensión de la estructura
if (max(max(Y))-min(min(Y)))==0;
    z=10;
else;
    z=max(max(Y))-min(min(Y));
end;
if max(max(X))-min(min(X))==0;
    x=10;
else;
    x=max(max(X))-min(min(X));
end;
% Gráfica de la estructura con nodos etiquetados
subplot(2,2,1);
Fig1=figure(1);
plot(X,Y,'.-'); % gráfica de los vectores
Yij=[min(min(Y))-0.05*z max(max(Y))+0.05*z]; % rango de las coordenadas
Y
Xij=[min(min(X))-0.05*x max(max(X))+0.05*x]; % rango de las coordenadas
X
axis([Xij Yij]); % delimitación del espacio de gráfico
title(['sheet1 ' - Vista frontal-Nodos etiquetados']);
xlabel('cm');
ylabel('cm');
grid on
Nnod=1:length(Pn(:,1));
t1=text(Pn(:,2),Pn(:,3)-0.005*z,num2str(Nnod),'FontSize',5.5); %
etiquetado de Nodos

```

```

% Gráfica de la estructura con elementos etiquetados
%subplot(2,2,2);
Fig2=figure(2);
plot(X,Y,'.-'); % gráfica de los vectores
Yij=[min(min(Y))-.05*z max(max(Y))+.05*z]; % rango de las coordenadas
Y
Xij=[min(min(X))-.05*x max(max(X))+.05*x]; % rango de las coordenadas
X
axis([Xij Yij]); % delimitación del espacio de gráfico
title([sheet1 ' - Vista frontal-Elementos etiquetados']);
xlabel('cm');
ylabel('cm');
grid on
t2=text(CXe,CZe-
.005*z,num2str(PFM(:,1)),'FontSize',5.5,'HorizontalAlignment','right'
); % etiquetado de Nodos

disp(' 1.5-Gráfico de la estructura - PROCESADO CON ÉXITO!')

disp...
('-----
-----')

%% 2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos)
% FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNAICÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES
disp('FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNAICÓN DE CARGAS Y RESTRICCIONES')
disp...
('-----
-----')
disp(' ASIGNACIÓN DE RESTRICCIONES')
disp(' Ingrese punto y dirección a restringir (U1:Hor=1,U3:Ver=2,
R2:RotY=3)')
Nap0=input('=');
for i=1:length(Nap0(:,1));
    if Nap0(i,2)==1
        Nap(i,1:2)=[Nap0(i,1)*3-2 0];
    elseif Nap0(i,2)==2;
        Nap(i,1:2)=[Nap0(i,1)*3-1 0];
    elseif Nap0(i,2)==3;
        Nap(i,1:2)=[Nap0(i,1)*3 0];
    else
        disp('Error, verifique los datos y/o formato de entrada de
variable')
    end
end
disp(' Se muestran las GDL restringidos')
Nap
a=Nap(:,1);
b=V_GDL ; % Vector de grado de libertad con desplazamiento
restringido.
b(a,:)=[]; % Vector de grados de libertad con desplazamientos libres.

disp(' 2.1-Asignación de Restricciones (Apoyos) - PROCESADO CON
ÉXITO!')

%% 2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio
% Vector de fuerzas de empotramiento en SCL
for i=1:length(PFM(:,1))

```

```

Ni=PFM(i,9)*sind(Theta(i,1))*Le(i,1)*.5;
Vi=PFM(i,9)*cosd(Theta(i,1))*Le(i,1)*.5;
Mi=PFM(i,9)*((Le(i,1)*cosd(Theta(i,1)))^2)/12;
sppe(:, :, i)=[Ni; Vi; Mi; Ni; Vi; -Mi];
end
sppe;
% Vector de fuerzas de empotramiento en SCG
for i=1:length(PFM(:,1));
    SPPe(:, :, i)=T(:, :, i)*sppe(:, :, i);

end
% Vector de Delta de fuerzas de empotramiento
DeltaSPP(:, 1, length(PFM(:,1)))=zeros(length(Pn(:,1))*3,1);
for i=1:length(PFM(:,1));
    DeltaSPP(GDLe(i, :)', 1, i)=SPPe(:, :, i);
end
DeltaSPP;
SPP=zeros(length(Pn(:,1))*3,1);
for i=1:length(PFM(:,1));
    SPP=SPP+DeltaSPP(:, 1, i); % matriz de fuerzas de empotramiento

end

disp(' 2.2-Cálculo del vector de fuerzas debido al peso propio -
PROCESADO')
disp(' CON ÉXITO!')

%% 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al peso
propio

% MECÁNICA DE LA SECCIÓN.-Comienza con la creación del vector de
fuerzas seguido
% de la apertura de diálogo de entrada 'Mentrada' abriendo las
% siguientes cuatro alternativas cada una con un bloque de
estructura if.
% -Al seleccionar la alternativa 0(ninguno) se ejecuta sólo primera
% condición que le indica al computador saltar esta sección. Mientras
que
% los siguientes sí ejecutan los bucles if anidados.
% -Al seleccionar la alternativa 1(Tabla de excel) se ejecuta el
primer y
% tercer bloque de if anidado.
% -Al seleccionar la alternativa 2(Manual Matlab) se ejecuta el
segundo y
% tercer bloque if anidado.
% -Al seleccionar la alternativa 3(Ambos) se ejecuta los tres bloques
if.
% -De ingresar cualquier otro valor diferente a las alternativas
imprimira
% un mensaje de error.
CE=zeros(length(V_GDL),1); % Creación del vector de Fuerzas
Mentrada=input...
(' Ingrese el método de entrada carga: Ninguno=0,Excel=1, Matlab=2
o Ambos=3:');
if Mentrada==0
else
    if xor(Mentrada==1,Mentrada==3); % Primer bloque if - inicio
        sheet2=input(' Ingrese nombre de hoja de datos de
carga=');

```

```

        carga=xlsread(file1,sheet2,'A2:D100');% Lectura de datos
fisico-mecánicos
        Numero_de_cargas_puntuales=length(carga(:,1))
        SEN=input('    Ingrese la dirección de la carga, horiz=1,
vert=2 :');
        % búsqueda de puntos y atribución de carga, la línea devuelve
para el
        % el vector i devuelve verdadero o falso.
        % el vector j devuelve los índices cuando i es verdadero
        [i,j]=ismember(vpa(carga(:,2:3)),vpa(Pn(:,2:3)),'rows');
        cargal=GDL(j,SEN);
        CEinterno=CE;
        CEinterno(cargal)=carga(:,4);
    end % Primer bloque if - final

    if xor(Mentrada==2,Mentrada==3); % Segundo bloque if - inicio
        CPexterno=input('    Ingrese GDL y fuerza =')
        if CPexterno~=0;
            CEexterno(CPexterno(:,1))=CPexterno(:,2);
        else
            CEexterno=CE;
        end
    end % Segundo bloque if - final

    if Mentrada==1; % Tercer bloque if - inicio
        CE=CEinterno;
    elseif Mentrada==2;
        CE=CEexterno;
    elseif Mentrada==3;
        CE=CEinterno+CEexterno;
    else
        disp('    Error!:Seleccione una de las siguientes opciones:0,
1, 2 o 3')
    end % Tercer bloque if - final
end
disp(' 2.3-Selección de nodos y asignación de cargas diferentes al
peso propio - PROCE-')
disp(' -SADO CON ÉXITO!')

disp...
('-----
-----')
% FASE 03: PROCESAMIENTO Y CÁLCULO DE RESULTADOS
disp('FASE 02: CÁLCULO Y ASIGNACIÓN DE CARGAS Y RESTRINCCIONES')
disp...
('-----
-----')
disp('3.0-PROCESAMIENTO Y CÁLCULO INTERNO DE RESULTADOS (Ver script
en lenguaje matlab)')
%% 3.1-Cálculo de las matrices de rigidez

disp(' 3.1-Cálculo de las matrices de rigidez - PROCESANDO CON
ÉXITO!')

% 3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL
for i=1:length(PFM(:,1))
    k1=PFM(i,6)*PFM(i,7)/Le(i,1);
    k2=12*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1)^3;
    k3=6*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1)^2;

```

```

k4=4*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1);
k5=2*PFM(i,6)*PFM(i,8)/Le(i,1);
ke(:, :, i)=[ k1  0  0 -k1  0  0;...
              0  k2  k3  0 -k2  k3;...
              0  k3  k4  0 -k3  k5;...
              -k1 0  0  k1  0  0;...
              0 -k2 -k3  0  k2 -k3;...
              0  k3  k5  0 -k3  k4];

end

disp(' 3.1.2-Matriz de rigidez de elemento en SCL - PROCESADO CON
ÉXITO!')

% 3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG
for i=1:length(PFM(:,1))
    Ke(:, :, i)=T(:, :, i)*ke(:, :, i)*T(:, :, i)';
end

disp(' 3.1.3-Matriz de rigidez de elemento en SCG - PROCESADO CON
ÉXITO!')

% 3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura
%Cálculo del delta de la matriz de rigidez de elementos
for i=1:length(PFM(:,1))
    DeltaK(GDLe(i, :), GDLe(i, :), i)=Ke(:, :, i);
end
DeltaK;
% Suma de Delta de la Matriz de rigidez del elemento
K=zeros(length(Pn(:,1))*3);
for i=1:length(PFM(:,1))
    K=K+DeltaK(:, :, i); % matriz de rigidez global
end

disp(' 3.1.4-Cálculo de la Matriz de rigidez de la estructura -
PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 3.2-Subdivisión de la matriz global
K_aa=K(a,a); % porción de matriz de rigides de GDL
restringidos(conocidos)
K_ab=K(a,b);
K_ba=K(b,a);
K_bb=K(b,b); % porción matriz de rigides de GDL libres(desconocidos)

disp(' 3.2-Subdivisión de la matriz global - PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 3.3-Cálculo del vector desplazamientos
D=zeros(length(Pn(:,1))*3,1); % Creación del vector desplazamiento.
Db=K_bb\ (CE(b)-SPP(b)); % Desplazamientos calculados en nodos libres.
D(b)=Db; % Vector de desplazamientos D.
UX=D(GDL(:,1)); % Vector de desplazamiento en la dirección X(m).
UZ=D(GDL(:,2)); % Vector de desplazamiento en la dirección Z(m).
RY=D(GDL(:,3)); % Vector de giro en la dirección Z(rad).

disp(' 3.3-Cálculo del vector desplazamientos - PROCESADO CON
ÉXITO!')

%% 3.4-Cálculo del vector fuerzas
F=zeros(length(Pn(:,1))*3,1); % Creación del vector fuerzas.

```

```

F_a=K_ab*Db+SPP(a); % Fuerzas calculadas(Reacciones)
F_b=K_bb*Db;
F(a)=F_a; % Inserción de fuerzas conocidas en el vector de fuerzas
(F)
F(b)=F_b;
FFX=F(GDL(:,1));
FFZ=F(GDL(:,2),1);
FMY=F(GDL(:,3),1);
% Datos impresos
disp('      Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección
X:Horizontal=')
DUX=[max(UX) min(UX)]
disp('      Desplazamiento máximo y mínimo en la dirección
Z:Vertical=')
DUZ=[max(UZ) min(UZ)]
RRY=[max(RY) min(RY)];

disp('  3.4-Cálculo del vector fuerzas - PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 3.5-Gráfica de estado deformado
% Datos geométricos de la estructura
Xd=[PFM(:,2)+1*D(GDLe(:,1)) PFM(:,4)+1*D(GDLe(:,4))]; % Coordenadas
X de los vectores
Yd=[PFM(:,3)+1*D(GDLe(:,2)) PFM(:,5)+1*D(GDLe(:,5))]; % Coordenadas
Y de los vectores
if Mentrada~=1
    Fig3=figure(3);
    %subplot(2,2,3);
    plot(X,Y,'b:',Xd,Yd,'k.-'); % gráfica de los vectores
else
    Fig3=figure(3);
    %subplot(2,2,3);
    plot(X,Y,'b:',Xd,Yd,'k.-'); % gráfica de los vectores
end

Yijd=[min(min(Yd))-0.05*z max(max(Yd))+0.05*z]; % rango de las
coordenadas Y
Xijd=[min(min(Xd))-0.05*x max(max(Xd))+0.05*x]; % rango de las
coordenadas X
axis([Xijd Yijd]); % delimitación del espacio de gráfico
title(['sheet1 ' - Vista frontal + Cargas/Vista frontal deformada']);
xlabel('cm');
ylabel('cm');
grid on
disp('  3.5-Gráfica de estado deformado - PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento
for i=1:length(PFM(:,1))
    De(1:6,1,i)=D(GDLe(i,:));
    Esf=[-1; -1;-1; 1; 1; 1];
    Fint(i,1:6)=ke(:, :, i)*T(:, :, i)'*De(:, :, i).*Esf+sppe(:, :, i).*Esf;
end
Pli=Fint(:,1); % Vector de fuerza cortante en el nodo inicial.
Plj=Fint(:,4); % Vector de fuerza cortante en el nodo final.
V2i=Fint(:,2); % Vector de fuerza cortante en el nodo inicial.
V2j=Fint(:,5); % Vector de fuerza cortante en el nodo final.
M3i=Fint(:,3); % Vector de momento flector en el nodo inicial.
M3j=Fint(:,6); % Vector de momento flector en el nodo final.

```

```

disp(' 3.6-Cálculo de los esfuerzos internos en cada elemento -
PROCESADO CON ÉXITO!')

disp...
('-----
-----')
% FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS
disp('FASE 04: EXPORTACIÓN DE RESULTADOS')
disp...
('-----
-----')
%% 4.1-Recolección de datos y resultados
% Matriz general de entradas-proceso-salidas de nodos
Reac=[a F_a]; % Matriz de reacción en cada grado de libertad.
MEn=[Pn(:,1) Pn(:,2) Pn(:,3) FFX FFZ FMY UX UZ RY ]; % Resumen de
desplazamientos.
% Matriz general de entradas-procesos-salidas de Elementos
MEe_0=[PFM(:,1) PFM(:,2) PFM(:,3) PFM(:,4) PFM(:,5) PFM(:,6) PFM(:,7)
PFM(:,8) PFM(:,9) CXe CZe Lex Lez Le Pe];
MEe_1=[PFM(:,1) Ne(:,1) PFM(:,2) PFM(:,3) P1i V2i M3i Ne(:,2)
PFM(:,4) PFM(:,5) P1j V2j M3j ]; % Resumen de fuerzas i.

disp(' 4.1-Recolección de datos y resultados - PROCESADO CON ÉXITO!')

%% 4.2-Exportando resultados
file2=input(' Ingrese el nombre para la denominación del archivo
=');
sheet3=sheet1;
%Datos reacciones
T1={'GDL' 'Reacción'};
xlswrite(file2,T1, strcat(sheet3, '-R'), 'A1');
xlswrite(file2,Reac, strcat(sheet3, '-R'), 'A2');

%Datos fuerzas
T2={'Nodo' 'X' 'Z' 'FX' 'FZ' 'MY' 'UX' 'UZ' 'RY'};
xlswrite(file2,T2, strcat(sheet3, '-F.N'), 'A1');
xlswrite(file2,MEn, strcat(sheet3, '-F.N'), 'A2');

%Datos esfuerzos internos
T3={'Gr' 'Be' 'i' 'Xi' 'Zi' 'P1i' 'V2i' 'M3i'...
'j' 'Xj' 'Zj' 'P1j' 'V2j' 'M3j' };
xlswrite(file2,T3, strcat(sheet3, '-F.E'), 'A1');
xlswrite(file2,MEe_1, strcat(sheet3, '-F.E'), 'B2');
xlswrite(file2,ID, strcat(sheet3, '-F.E'), 'A2');

disp(' 4.2-Exportando resultados - PROCESADO CON ÉXITO!')
disp...
('-----
-----')
disp('!CONCLUSIÓN EXITOSA!')
disp...
('-----END-----
-----')

```

7.4 Ficha de Validación de instrumentos y Resumen

FICHA DE VALIDACIÓN						
TÍTULO:			AUTOR:			
"Análisis de influencia de curvaturas de elementos para el comportamiento estático de estructuras reticulares de acero, Andahuaylas, Perú, 2020"			Bach. Oroscó Huayana Marco Antonio Bach. Leguía Valverde Stephen Ronald			
VARIABLES EMPLEADAS	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	VALIDEZ DEL JUICIO DE EXPERTOS		
				INGENIERO N°1	INGENIERO N°2	INGENIERO N°3
Curvatura de Elementos	Curvatura	1 / Radio de curvatura	1) Observación Directa para el R	0.838	0.873	0.893
	Rebajamiento	Flecha/Luz	2) Observación Directa del Rebaj	0.863	0.868	0.858
Comportamiento Estático	Esfuerzos Internos	Fuerzas Axiales	3) Script RETBI para Fuerzas Axial	0.928	0.883	0.843
		Fuerzas Cortantes	4) Script RETBI para Fuerzas Cortan	0.873	0.858	0.853
		Momentos Flexionantes	5) Script RETBI para Momentos Flex	0.863	0.848	0.868
	Reacciones	Reacción en X	6) Script RETBI para Reaccion X	0.838	0.873	0.868
		Reacción en Z	7) Script RETBI para Reaccion Z	0.868	0.868	0.853
		Desplazamiento en X	8) Script RETBI para desplaza X	0.873	0.863	0.848
		Desplazamiento en Z	9) Script RETBI para desplaza Z	0.873	0.868	0.878
INTERPRETACIÓN DEL VALOR DE LA VALIDEZ (Según Oseda, 2012)			Sumatoria	7.817	7.802	7.762
Valor de la validez obtenida		Interpretación				
0.53 a menos		Validez nula	Sumatoria / (n° de instrumentos)	0.868556	0.866889	0.862444
0.54 a 0.59		Validez baja				
0.60 a 0.65		Válida	Promedio de la validez obtenida	0.865963		
0.66 a 0.71		Muy válida				
0.72 a 0.99		Excelente validez				
1.00		Validez perfecta				


 Edgar Cruz Merma
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 344177
 Ingeniero N°1


 EFRAÍN HURTADO ANAMPA
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 93523
 Ingeniero N°2


 Oscar M. Cuchilla Zevallos
 INGENIERO CIVIL
 CIP-126196

RESUMEN DE EVALUACION DE LOS INSTRUMENTOS, SEGUN DIMENSIONES E INDICADORES																														
Dimensiones	Curvatura			Rebajamiento			Reacciones						Desplazamientos						Fuerzas internas											
Indicadores	1) Observación Directa de Curvatura			2) Observación Directa de Rebajamiento			6) Script RETBI Para Reaccion X			7) Script RETBI Para reacciones en Z			8) Script RETBI Para desplazamientos en X			9) Script RETBI Para desplazamientos en Z			3) Script RETBI para Fuerzas Axiales			4) Script RETBI Para Fuerzas Cortantes			5) Script RETBI para Momentos Flexionantes					
Instrumento	Observación Directa						Script RETBI																							
Escala	1/cm			numero			Kgf			Kgf			cm			cm			Kgf			Kgf			kgf*cm					
Indicadores de evaluacion de instrumento	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3	Ing 1	Ing 2	Ing 3			
Objetividad	17	19	19	17	17	18	16	18	17	16	19	18	18	18	16	18	18	18	18	18	19	19	16	17	17	17	18	16	18	
Claridad	18	18	18	17	19	19	18	18	17	18	19	19	18	16	18	18	18	19	19	19	16	17	17	18	18	17	18	18	17	18
Pertinencia	16	18	18	18	18	18	16	16	19	18	18	18	18	19	18	18	18	18	19	19	36	19	17	18	19	19	19	17	18	
Actualidad	17	18	18	19	19	19	18	18	18	19	19	16	18	18	16	19	18	18	17	19	17	18	17	19	19	17	18	18	18	
Intencionalidad	19	18	18	19	18	19	19	18	18	19	17	17	17	19	18	19	17	17	16	18	19	18	18	17	17	19	19	17	19	
Coherencia	17	19	19	18	18	17	17	19	19	18	17	16	18	19	18	17	17	18	16	19	18	19	19	17	16	19	19	19		
Consistencia	18	17	17	19	17	17	17	19	19	19	19	18	19	19	16	17	19	19	17	19	18	19	19	18	18	17	18	18		
Suficiencia	18	18	18	18	19	16	17	17	19	19	18	18	18	17	19	19	19	18	18	18	19	19	18	17	18	18	19	19		
Organización	17	19	19	18	18	18	18	17	18	18	18	19	18	18	19	18	18	18	18	18	19	18	18	18	19	19	17	18		
Metodología	18	18	18	17	18	18	19	19	18	17	17	19	19	18	19	19	18	19	18	17	17	19	17	18	18	18	18	18		
CVCtc Promedio	0.838	0.873	0.893	0.863	0.868	0.858	0.838	0.873	0.868	0.868	0.868	0.853	0.873	0.863	0.848	0.873	0.868	0.878	0.928	0.883	0.843	0.873	0.858	0.853	0.863	0.848	0.868			

Ingeniero 1	Ing Efrain Edgar Cruz Merma
Ingeniero 2	Ing Efrain Hurtado Anampa
Ingeniero 3	Ing Oscar M Cuchula Zevallos



Efrain Edgar Cruz Merma
INGENIERO CIVIL
CIP N° 344177
Ingeniero N° 1

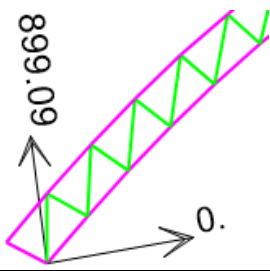
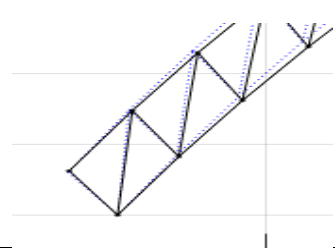
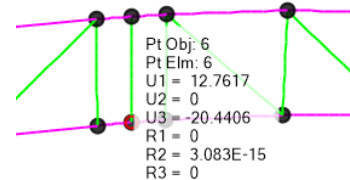
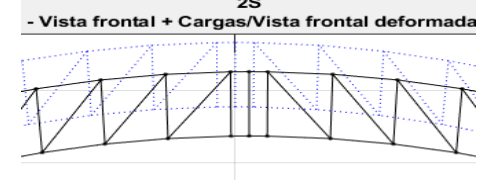


EFRAIN HURTADO ANAMPA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 93523
Ingeniero N° 2



Oscar M Cuchula Zevallos
INGENIERO CIVIL
CIP-126198
Ingeniero N° 3

7.5 Confiabilidad del instrumento mediante comparativa con SAP2000

CONFIABILIDAD DEL INSTRUMENTO RETBI		
Comparación de resultados modelos 2MS		
Componente	RESULTADOS SAP2000	RESULTADOS RETBI
		
RX(kg)	0	0
RZ(kg)	899.09	899.61
	 <p> Pt Obj: 6 Pt Elm: 6 U1 = 12.7617 U2 = 0 U3 = -20.4406 R1 = 0 R2 = 3.083E-15 R3 = 0 </p>	 <p> 2S - Vista frontal + Cargas/Vista frontal deformada </p>
DX(cm)	12.76	12.77
DZ(cm)	-20.44	-20.45
Observación:		
<p>El software SAP2000, es uno de los productos de la compañía CSI, compañía de software de ingeniería estructural y sísmica fundada en 1975. El software de análisis estructural y diseño que CSI produce incluye SAP2000, CSiBridge, ETABS, SAFE, PERFORM-3D y CSiCOL. Mientras que el programa denominado RETBI, con código sobre la plataforma de Matlab, de nuestra autoría.</p> <p>En la comparación se aprecia una diferencia, en las reacciones hasta una diferencia de 0.05% en la componente vertical, mientras que en la horizontal una diferencia de 0%, mientras que en los desplazamientos, las diferencias son alrededor de también 0.05%, cabe resaltar que dichas diferencias se deben al número de decimales considerados en los parámetros de entrada, como características físico-mecánicas.</p> <p>Por lo tanto podemos concluir que los resultados obtenidos por el programa de nuestra autoría proporciona resultados válidos y confiables, el primero por que los resultados son muy similares a software internacionales y el segundo por que al ser un programa numérico mientras se ingresen los mismos parámetros arrojará siempre el mismo resultado.</p>		