

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ANTE
CARGAS DE VIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA
EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS MENORES EN LA CIUDAD DE
AREQUIPA”**

Tesis presentada por los bachilleres:

Morón Flores, Pierina Antuanette

Milón Zevallos, Andreé Alexis

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

MSc. Rosas Espinoza, Jorge

Arequipa – Perú

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ANTE
CARGAS DE VIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA
EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS MENORES"

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

Morón Flores, Pierina Antuanette

Milón Zevallos, Andree Alexis

Nuestro DICTAMEN es:

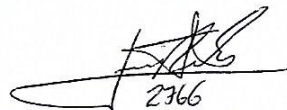
APTO PARA SUSTENTACION

OBSERVACIONES:

Arequipa, 10 de setiembre del 2019



1887



2366



DEDICATORIA

A mis padres, Nalda y Robert, por darme siempre los impulsos necesarios para forjar mi propio camino, por guiar mis pasos y creer en mí cada día de mi vida, por no dejarme caer en momentos difíciles, por demostrarme que todo esfuerzo tiene su recompensa.

A mi hermano, Jassir, por ser la persona que alegra mis días y quien me da la fuerza para ser mejor persona sabiendo que debo ser un ejemplo para él.

A mi tío Milard, mi angelito en el cielo, por creer en mí desde niña y siempre destacar mis virtudes y talentos, por enseñarme que debemos aprovechar el tiempo al máximo para cumplir nuestras metas porque nunca sabemos cuándo nos iremos para no volver.

Pierina Antuanette Morón Flores

A mis padres, Rosario y Hugo, por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes incluido este. Me formaron con normas y algunas libertades, pero al final siempre me motivaron para alcanzar mis anhelos y sobretodo, nunca dejaron de creer en mí.

A mis hermanos, Alexandra, Rosa y Víctor, por su compañía en esta larga etapa y por permitirme aprender de sus aciertos y desaciertos.

André Alexis Milón Zevallos

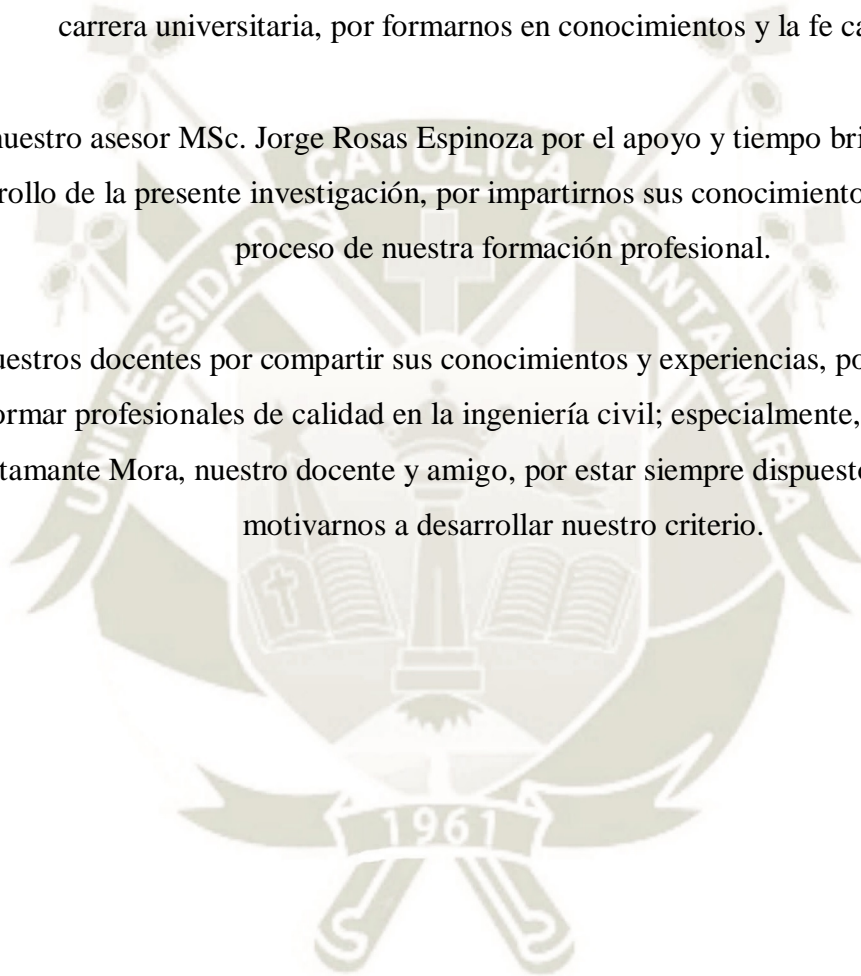
AGRADECIMIENTOS

A las municipalidades distritales de Yanahuara, Cayma, José Luis Bustamante y Rivero y Hunter, por brindarnos los expedientes técnicos de estructuras metálicas de cobertura ubicadas dentro de sus respectivas jurisdicciones.

A la Universidad Católica de Santa María por albergarnos durante los cinco años de carrera universitaria, por formarnos en conocimientos y la fe católica.

A nuestro asesor MSc. Jorge Rosas Espinoza por el apoyo y tiempo brindados para el desarrollo de la presente investigación, por impartirnos sus conocimientos durante todo el proceso de nuestra formación profesional.

A nuestros docentes por compartir sus conocimientos y experiencias, por su empeño en formar profesionales de calidad en la ingeniería civil; especialmente, al Ing. Boris Bustamante Mora, nuestro docente y amigo, por estar siempre dispuesto a ayudarnos y motivarnos a desarrollar nuestro criterio.



A Dios y la Virgen de la Merced por darme la fortaleza y sabiduría para sobrellevar todos los obstáculos y dificultades que se presentaron en el desarrollo de esta etapa, por ser siempre una luz en la oscuridad.

A mis padres por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, siempre esforzándose por brindarme lo mejor de ellos en todos los aspectos y acompañarme en la obtención de todos mis logros.

A mi hermano por contenerme siempre que estuve a punto de caer, por la fortaleza impartida mediante su cariño.

Pierina Antuanette Morón Flores

A mis padres por brindarme la oportunidad de desarrollar mis capacidades a través del estudio en una casa universitaria de calidad, por todas las muestras de cariño y preocupación que fueron un aporte para el logro de mis objetivos.

A mis sobrinos Aldahana, Luzhanya, Fabriccio, Matheo y Fabiana, por darme la oportunidad de demostrarles que, a pesar de las adversidades, se puede lograr las metas trazadas con esfuerzo, dedicación, perseverancia, ímpetu, y la preservación de los valores.

André Alexis Milón Zevallos

RESUMEN

En la ciudad de Arequipa, se han registrado daños por colapso de estructuras metálicas ocasionados por un evento meteorológico poco considerado en la concepción de dichas estructuras, el viento. Se tienen registros de velocidades de viento usuales, menores que las consideradas por la Norma E.020 “Cargas”; además, se han presentado eventos anómalos con datos de velocidades mayores que los promedio, los cuales ocasionaron destrucción de varias estructuras construidas con acero; sin embargo, las velocidades en mención también resultaron menores que las de diseño, lo que puede evidenciar las posibles deficiencias en el análisis y diseño que se cometen por los especialistas y encargados al momento de la realización de esos proyectos.

Por tal motivo, se requiere realizar el presente estudio enfocado en estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores por su habitualidad de uso por la población arequipeña en sus actividades de recreación.

A través de las Oficinas de Obras Públicas de las Municipalidades Distritales de Yanahuara, Cayma, Sachaca y José Luis Bustamante y Rivero, se obtuvieron los expedientes técnicos de coberturas metálicas de los espacios recreativos en alusión, para, posteriormente, inspeccionar planos y memorias de cálculo de las estructuras metálicas. Se tomó la determinación de realizar visitas a dichos lugares, para terminar de recabar la información necesaria como fotografías y posibles detalles constructivos no especificados en sus expedientes.

Una vez obtenida toda la información, se realizó clasificaciones de las coberturas obtenidas, la primera basada, únicamente, en inspecciones visuales y los criterios de los realizadores de este estudio, tomando en cuenta todas sus características físicas entre la que destacamos la composición de las columnas de soporte; luego, se procedió al modelamiento de las estructuras basado en los planos estructurales, respetando todos los detalles y tomando consideraciones ideales de conexiones y fabricación de los elementos que las componen, aplicando presiones de viento calculadas bajo los parámetros establecidos por la Norma E.020 “Cargas”, la cual fue revisada y comparada con otras normativas extranjeras con el fin de descubrir sus deficiencias y omisiones.

Después del análisis elástico, se pudo observar el real comportamiento de los elementos estructurales de acuerdo a la distribución de las presiones de viento, logrando una segunda clasificación según dichos indicadores.

Se efectuó un análisis no lineal de las estructuras modeladas, para lo cual fue necesario un profundo estudio de las técnicas y características necesarias para su realización, tomando la decisión de la utilización de la técnica Pushover, para la cual se propuso ciertas modificaciones que permitan su aplicación con patrones de carga de viento, aprovechando sus similitudes con las cargas sísmica y, las características no lineales del acero estructural A36, que conforma la totalidad de las coberturas analizadas.

Para el análisis inelástico, se insertaron rótulas plásticas a través de la obtención de diagramas Fuerza-Desplazamiento y Momento-Curvatura en elementos que trabajan bajo fuerzas axiales puras y, combinación de axiales y momentos flectores (columnas), respectivamente. Cabe resaltar, que se tomó en cuenta la diferencia de performance de los elementos traccionados y comprimidos, destacando la gran importancia de las longitudes efectivas en elementos sometidos a compresión.

Tras un seguimiento paso a paso de la rotulación de los elementos, se descubrieron los mecanismos de falla de este tipo de estructuras en análisis, pudiendo obtener sus velocidades reales de falla y observar el comportamiento completamente diferente entre cada una de ellas que reveló el gran error que cometen algunos proyectistas al copiar ciertos planteamientos estructurales para la materialización de esta clase de infraestructura.

Como se mencionó previamente, los elementos a compresión deben tener un tratamiento especial, para lo cual se realizaron tablas de diseño como propuesta para mejorar su comportamiento y retrasar la ocurrencia de falla, mostrando longitudes de colocación entre tramos, según los diámetros comerciales de acero estructural A36.

Finalmente, se realizó la propuesta de metodología de análisis de estructuras metálicas de cobertura con todos los parámetros y consideraciones obtenidos de la presente investigación, proporcionando procedimientos y recomendaciones de análisis que mejorarán el comportamiento y buscará disminuir su vulnerabilidad en la ciudad de Arequipa, logrando así nuestros objetivos propuestos al inicio de este estudio.

Palabras clave:

Estructuras metálicas, análisis no lineal “Pushover”, fuerza de viento, velocidad de viento, mecanismo de falla, relación de esbeltez

ABSTRACT

In Arequipa city, it has been registered damage with the collapse of metal frameworks caused by a meteorological event, the wind, that it has been little considered in the conception of those structures. There are records of unusual winds velocities lower than the ones considered by E.020 “Cargas” Regulation; furthermore, there have been unusual events data with higher velocities than the average ones, which have cost the destruction of a lot of frameworks made of steel: however, the velocities mentioned before were also lower than the original design, which could evidence potential deficiencies in the analysis and design that specialists and people in charge made at the moment those projects are made.

That is why, we want to make this study focused on metal frameworks coverage in sports infrastructures regularly less used by the Arequipenian population in their recreation activities.

Through the offices of Obras Públicas de las Municipalidades Distritales de Yanahuara, Cayma, Sachaca y Jose Luis Bustamante y Rivero, metal coverages technical files of recreative spaces, in allusion were acquired to examine and study the plans and the calculation memory of the metal frameworks at a later stage. The determination of visiting those places was taken, to get all the necessary information such as photos and construction details without specifying in their files.

Once the information was acquired, coverages acquired were classified, the first one only based in visual inspections and the developers standards, taking physical characteristics into account among we would like to highlight the supporting columns composition; then we proceed modeling the frameworks based on the structural plans, respecting all the details and considering ideals of connection and manufacture of the elements that make them up, using calculated wind pressures according to the required parameters on E.020 “Cargas” Regulation, which was checked y contrasted with other foreign regulations to discover deficiencies and omissions.

After the elastic analysis. The real structural elements behavior was observed according to the wind pressures distribution, getting another second classification according to these indicators.

A non-linear analysis of modeled structures was made, it was necessary a deep study of techniques and necessary characteristics to develop it, making the decision of the use of the Pushover technique, for which certain modifications were proposed that allow its application

with wind load patterns, taking advantage of its similarities with seismic loads and, the non-linear characteristics of the A36 structural steel, which makes up the entire coverage analyzed.

For the inelastic analysis we inserted plastic hinges using force-displacement and moment-curvature diagrams in elements working under pure axial forces and axial and bending moments (columns) combination. We must also highlight the performance difference of the traction and compressed elements, highlighting the effective lengths importance in elements subjected to compression.

The failure mechanism of these kind of structures in analysis were discovered after a step by step follow up of the elements sign making. So the real failure velocities could be obtained and the behavior, totally different, between them was observed so it was revealed the big mistake some developers make copying some structural approaches for these kind of infrastructures materialization.

As mentioned previously, the compression elements should have a special treatment, which design tables were made as a proposal to improve its behavior and delay failures, also showing placement lengths between frames, according to the commercial diameters of structural Steel A36.

Finally, we made the methodology proposal of analysis for coverage metal framework with all the parameters and considerations obtained in the present investigation, providing procedures and analysis recommendations which will improve the behavior and seek to reduce its vulnerability in Arequipa, achieving this way our goals suggested at the beginning of this study.

Keywords:

Metallic structures, non-linear "Pushover" analysis, wind force, wind speed, fault mechanism, slenderness ratio.

ÍNDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT.....	viii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.2. Antecedentes de investigación.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	3
1.4. Justificación	4
1.5. Campo de Estudio	4
1.6. Organización de la investigación	6
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA.....	9
2.1. Origen del viento.....	9
2.2. Características del viento.....	9
2.3. Clasificación de los vientos	10
2.3.1. <i>Vientos permanentes</i>	10
2.3.2. <i>Vientos periódicos</i>	10
2.3.3. <i>Vientos locales</i>	10
2.4. Caracterización del viento en Arequipa	11
CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS ANTE CARGAS DE VIENTO	14
3.1. Análisis de la norma vigente E.020 “Cargas”.....	14
3.1.1. <i>Clasificación de las edificaciones</i>	14
3.1.2. <i>Velocidad de diseño</i>	15
3.1.3. <i>Carga exterior de viento</i>	16
3.1.4. <i>Carga interior de viento</i>	18

3.2.	Comparación con normativas extranjeras.....	18
3.2.1.	<i>Métodos de análisis</i>	18
3.2.2.	<i>Velocidad básica del viento</i>	20
3.3.	ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures	22

CAPÍTULO 4. EL ACERO Y SU COMPORTAMIENTO COMO MATERIAL

ESTRUCTURAL 23

4.1.	Ventajas y desventajas del acero como material estructural	23
4.2.	Determinación de las propiedades físicas del acero.....	24
4.2.1.	<i>Límite elástico</i>	28
4.2.2.	<i>Módulo de elasticidad</i>	28
4.2.3.	<i>Esfuerzo de fluencia (fy)</i>	29
4.2.4.	<i>Modulo tangente (et)</i>	29
4.2.5.	<i>Módulo de endurecimiento por deformación (est)</i>	29
4.2.6.	<i>Ductilidad</i>	29
4.2.7.	<i>Módulo de Poisson (μ)</i>	29
4.2.8.	<i>Módulo de elasticidad por cortante (G)</i>	30
4.3.	Comportamiento de miembros de acero bajo cargas a compresión.....	30
4.4.	Comportamiento de miembros de acero bajo cargas combinadas de flexión y axial	32
4.5.	Consideración de pandeo torsional o flexo torsional	33

CAPÍTULO 5. UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE PUSHOVER PARA EL ANÁLISIS ANTE CARGAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA 34

5.1.	Introducción al análisis no lineal	34
5.2.	Análisis estático no lineal (Análisis Pushover).....	35
5.3.	Validación del análisis pushover en modelos computarizados.....	36
5.3.1.	<i>Comparación del análisis modal y pushover</i>	37
5.4.	Propuesta de modificación de la técnica Pushover para su aplicación con patrones de carga de viento en estructuras metálicas	56
5.5.	Respuesta del acero estructural según su comportamiento no lineal	58
5.5.1.	<i>Modelo bilineal</i>	58
5.5.2.	<i>Modelo trilineal</i>	58
5.5.3.	<i>Modelo elastoplástico con endurecimiento curvo</i>	59

5.6. Relaciones fuerza- desplazamiento y momento-curvatura en elementos estructurales	
61	
5.6.1. <i>Relación fuerza- desplazamiento</i>	61
5.6.2. <i>Relación momento - curvatura</i>	66
5.7. Procedimiento para la obtención de la curva de capacidad y determinación del colapso de las estructuras mediante la utilización de la técnica pushover	70
CAPITULO 6. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE COBERTURAS METÁLICAS SELECCIONADAS	85
6.1. Descripción de los modelos en análisis	85
6.2. Consideraciones tomadas para el análisis de los modelos en estudio	87
6.3. Procedimiento de análisis de estructuras metálicas de cobertura	93
6.3.1. <i>Procedimiento de análisis de la estructura metálica del Parque N°1 Urb. 2 de mayo (José Luis Bustamante y Rivero)</i>	93
6.3.2. <i>Procedimiento de Análisis de la estructura metálica I.E. Jorge Basadre Gronhman I (José Luis Bustamante y Rivero)</i>	105
CAPÍTULO 7. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	121
CAPÍTULO 8. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS ANTE CARGAS DE VIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS MENORES	123
CAPITULO 9. ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA DE COBERTURA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN LA INVESTIGACIÓN.....	137
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	165
Conclusiones.....	165
Recomendaciones	167
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	169
ANEXOS.....	172
Anexo 01. Encuestas realizadas.....	172
Anexo 02. Datos y Modelamiento de las estructuras metálicas analizadas	182
Anexo 03. Tablas propuestas para el diseño a compresión.....	194
Anexo 04. Especificaciones Técnicas: Aceros Arequipa	213

Anexo 05. Plano estructural de estructura metálica de cobertura “Las Casuarinas” –
Yanahuara, según la metodología propuesta..... 214



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura metálica de cobertura en infraestructura deportiva menor.	5
Figura 2. Elevación de una estructura metálica de cobertura. [Fuente: Elaboración propia]	6
Figura 3. Formación del viento. [Fuente: (WordPress.com, s.f.)]	9
Figura 4. Mapa de velocidades del viento (m/s) en la región de Arequipa. [Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2008)]	13
Figura 5. Mapa Eólico del Perú. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]	16
Figura 6. Probeta sometida a ensayo a tracción. [Fuente: (Tomás, 2002)]	25
Figura 7. Formación de las líneas de Chernoy – Luders. [Fuente: (Universidad Nacional del Nordeste, 2004)]	27
Figura 8. Estricción del acero. [Fuente: (Universidad Nacional del Nordeste, 2004)]	28
Figura 9. Descripción gráfica de la técnica pushover. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)].....	35
Figura 10. Descripción gráfica de la curva de capacidad de una estructura. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)].....	36
Figura 11. Pórtico a analizar (medidas en metros). [Fuente: Elaboración propia]	37
Figura 12. Modelo del pórtico a analizar. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	38
Figura 13. Inserción de datos del diagrama momento curvatura de las vigas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	38
Figura 14. Inserción de datos del diagrama momento curvatura de las columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	39
Figura 15. Sistema Idealizado de masas. [Fuente: Elaboración propia]	41
Figura 16. Representación de la distribución de masa por nivel. [Fuente: Elaboración propia]	41
Figura 17. Grados de libertad del modelo en análisis. [Fuente: Elaboración propia]	42
Figura 18. Coeficientes de rigidez de elementos sometidos a flexión. [Fuente: (Chopra, 2014)]	43
Figura 19. Aplicación de patrón de cargas y colocación de rótulas plásticas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	47
Figura 20. Momentos flectores de la estructura generados por el patrón de cargas correspondiente al modo fundamental, obtenidos en un análisis elástico. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	48

Figura 21. Patrón de cargas amplificado para la obtención de rotulación de la columna central. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	49
Figura 22. Momentos flectores generados por acción del patrón de cargas amplificado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	49
Figura 23. Momento flector generado en la columna por acción del patrón de cargas amplificado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	50
Figura 24. Desplazamiento en el punto de control generado por la amplificación del patrón de cargas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	50
Figura 25. Liberación de resistencia a momentos flectores en la parte inferior de la columna. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	51
Figura 26. Aplicación de patrón de cargas con las consideraciones de cambio de rigidez de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	51
Figura 27. Segunda amplificación del patrón de cargas para la obtención de rótulas plásticas en las siguientes dos columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	52
Figura 28. Cambio de rigidez en la estructura por segunda vez. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	53
Figura 29. Momentos flectores tras la formación de rotulas en vigas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	53
Figura 30. Mecanismos de falla obtenidos mediante análisis no lineal computarizado y análisis elástico paso a paso. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	54
Figura 31. Obtención de la curva de capacidad mediante el método de la rigidez secante. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)]	55
Figura 32. Representación de Modelo Bilineal del acero. [Fuente: (Bustamante Mora, 2015)]	58
Figura 33. Representación de Modelo Trilineal del acero. [Fuente: (Bustamante Mora, 2015)]	58
Figura 34. Representación de Modelo elastoplástico con endurecimiento curvo. [Fuente: (Bustamante Mora, 2015)].....	59
Figura 35. Sección típica de elementos en estructuras metálicas. [Fuente: Elaboración propia]	62
Figura 36. Definición de las propiedades del acero estructural A36. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”].....	63
Figura 37. Sección de elemento designado como columna. [Fuente: Elaboración propia]	66

Figura 38. Dibujo computacional de la sección a analizar [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”].....	67
Figura 39. Definición de datos para la elaboración del diagrama momento – curvatura del elemento [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”].....	68
Figura 40. Modelamiento computacional de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	70
Figura 41. Nombre de los elementos que forman parte de una estructura metálica de cobertura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	71
Figura 42. Secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia]	71
Figura 43. Definición de la sección de las columnas de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	72
Figura 44. Definición de la sección de las bridas superior e inferior de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	72
Figura 45. Definición de la sección de los arriostres de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	73
Figura 46. Definición de la sección de diagonales de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	73
Figura 47. Definición de secciones de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	74
Figura 48. Definición de los casos de cargas para el análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	75
Figura 49. Formato para la definición de rótulas plásticas. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)].....	76
Figura 50. Inserción de datos del diagrama fuerza desplazamiento de las bridas sometidas a fuerzas de tracción. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	77
Figura 51. Inserción de datos del diagrama fuerza desplazamiento de las bridas sometidas a fuerzas de compresión. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	77
Figura 52. Inserción de datos del diagrama momento curvatura de las columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	78
Figura 53. Asignación de rótulas plásticas a todos los elementos de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	78
Figura 54. Definición del caso de cargas para el análisis Pushover. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	79

Figura 55. Aparición de rótulas plásticas en los elementos en el seguimiento paso a paso del análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	81
Figura 56. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	82
Figura 57. Aparición de momentos flectores en elementos de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	82
Figura 58. Eliminación de elementos de la brida superior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	83
Figura 59. Incremento de momentos flectores en las columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	83
Figura 60. Comportamiento bidireccional de la lona para la repartición de la componente vertical de la carga de viento. [Fuente: Elaboración propia].....	88
Figura 61. Descomposición de la fuerza de viento según su aplicación en la lona. [Fuente: Elaboración propia].....	88
Figura 62. Detalle de enganche de la lona a los apoyos laterales. [Fuente: Elaboración propia].....	89
Figura 63. Comportamiento unidireccional de la lona para la repartición de la componente horizontal de la carga de viento. (Fuente: Elaboración propia).....	89
Figura 64. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos externos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	90
Figura 65. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos internos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	90
Figura 66. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en arriostres [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	91
Figura 67. Modelamiento computacional de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	94
Figura 68. Definición de secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	94
Figura 69. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	95
Figura 70. Asignación de cargas debido a la fuerza de viento en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	95
Figura 71. Comportamiento de elementos ante carga a presión. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	96

Figura 72. Comportamiento de elementos ante carga a succión. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	96
Figura 73. Fuerza axial (Tnf.) máxima a tracción de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	97
Figura 74. Fuerza axial (Tnf.) máxima a tracción en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	98
Figura 75. Valor máximo de momento flector (Tnf.m) en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	98
Figura 76. Asignación de rótulas plásticas a todos los elementos de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	99
Figura 77. Aparición de rótulas plásticas en los elementos en el seguimiento paso a paso del análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	100
Figura 78. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	100
Figura 79. Aparición de momentos flectores en elementos de la brida superior y diagonales. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	101
Figura 80. Eliminación de elementos de la brida superior y diagonales que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	102
Figura 81. Aparición de momentos flectores en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	102
Figura 82. Modelamiento computacional de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	106
Figura 83. Definición de secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	106
Figura 84. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en bridas y cargas en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	107
Figura 85. Fuerza axial (Tnf.) máxima a tracción de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	107
Figura 86. Fuerza axial (Tnf.) máxima a tracción en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	108
Figura 87. Valor máximo de momento flector (Tnf.m) en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	108
Figura 88. Asignación de rótulas plásticas a todos los elementos de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	109

Figura 89. Aparición de rótulas plásticas en los elementos en el seguimiento paso a paso del análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	110
Figura 90. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	110
Figura 91. Aparición de momentos flectores en elementos de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	111
Figura 92. Eliminación de elementos de la brida superior y diagonales que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	111
Figura 93. Aparición de momentos flectores en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	112
Figura 94. Fuerza axial (Tnf) debido a efectos de presión del viento. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	115
Figura 95. Fuerza axial (Tnf) debido a efectos de succión del viento. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	115
Figura 96. Comportamiento de las caras de la estructura metálica ante la acción del viento. [Fuente: Elaboración propia].....	123
Figura 97. Velocidad del viento en Arequipa según el mapa eólico del Perú. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)].....	123
Figura 98. Comportamiento de las caras de la estructura metálica ante la acción del viento. [Fuente: Elaboración propia].....	138
Figura 99. Definición de secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	140
Figura 100. Comportamiento de la lona para la repartición de cargas de viento según sus componentes. [Fuente: Elaboración propia].....	141
Figura 101. Descomposición de la fuerza de viento según su aplicación en la lona. [Fuente: Elaboración propia].....	141
Figura 102. Repartición de cargas de la fuerza de viento en la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	142
Figura 103. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos internos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	142
Figura 104. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos externos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	143
Figura 105. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en arriostres. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	143

Figura 106. Envolvente de cargas en la estructura a utilizar para el diseño de elementos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	145
Figura 107. Fuerzas a tracción y compresión en brida inferior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	146
Figura 108. Fuerzas a tracción y compresión en brida superior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	146
Figura 109. Fuerzas a tracción en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	147
Figura 110. Fuerzas a compresión en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	147
Figura 111. Fuerzas a tracción y compresión en columna más cargada. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	148
Figura 112. Distribución de diagonales en armaduras principales. [Fuente: Elaboración propia]	151
Figura 113. Modelamiento computarizado de estructura en análisis con elementos predimensionados. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	154
Figura 114. Planteamiento estructural del proyecto en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	154
Figura 115. Aplicación de cargas a la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	155
Figura 116. Aplicación de cargas en pórticos internos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	155
Figura 117. Aplicación de cargas en pórticos externos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	156
Figura 118. Aplicación de cargas en arriostres de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”].....	156
Figura 119. Verificación de fuerzas a tracción y compresión en brida superior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	156
Figura 120. Verificación de fuerzas a tracción y compresión en brida inferior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	157
Figura 121. Verificación de fuerzas a tracción en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	157
Figura 122. Verificación de fuerzas a compresión en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	157

Figura 123. Verificación de fuerzas a tracción y compresión en la columna más cargada. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 158

Figura 124. Definición de rótulas plásticas de elementos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 159

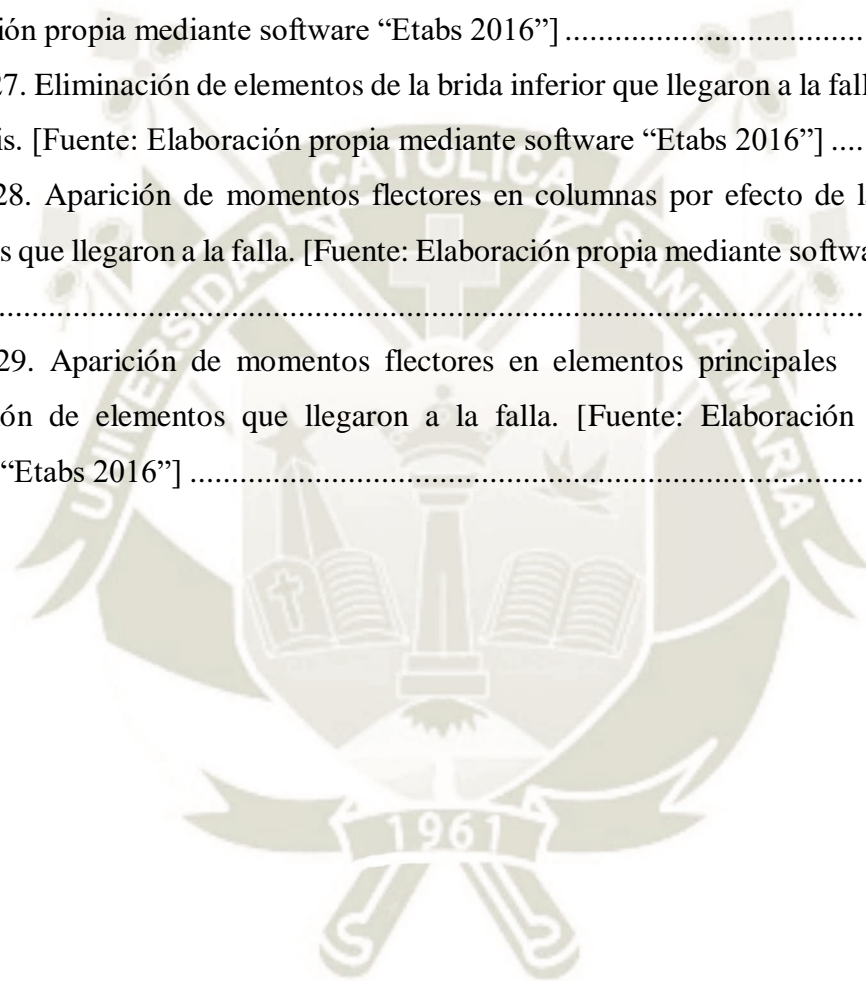
Figura 125. Asignación de rótulas plásticas en elementos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 160

Figura 126. Aparición progresiva de rótulas plásticas en la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 160

Figura 127. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla en la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 161

Figura 128. Aparición de momentos flectores en columnas por efecto de la eliminación de elementos que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 161

Figura 129. Aparición de momentos flectores en elementos principales por efecto de la eliminación de elementos que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”] 162



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores de forma para el cálculo de la carga exterior de viento. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]	17
Tabla 2. Factores de forma para el cálculo de la carga interior de viento. [Fuente. (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]	18
Tabla 3. Resumen comparativo de variables para el cálculo de acciones de viento entre normas vigentes de diferentes países. [Fuente: Elaboración propia]	21
Tabla 4. Ventajas del acero como material estructural. [Fuente. (McCorman, 2013)]	23
Tabla 5. Desventajas del acero como material estructural. [Fuente: (McCorman, 2013)]	24
Tabla 6. Resultados obtenidos del análisis modal computarizado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	40
Tabla 7. Distribución de masa por nivel. [Fuente: Elaboración propia]	42
Tabla 8. Comparación de análisis modal manual y computacional. [Fuente: Elaboración Propia]	46
Tabla 9. Datos obtenidos del diagrama esfuerzo – deformación del acero A36. [Fuente: Elaboración propia]	64
Tabla 10. Datos obtenidos del diagrama fuerza – desplazamiento de la sección típica presentada. [Fuente: Elaboración propia]	65
Tabla 11. Datos del diagrama momento – curvatura del elemento. [Fuente: Elaboración propia]	69
Tabla 12. Listado de estructuras metálicas de cobertura en análisis. [Fuente: Elaboración propia]	85
Tabla 13. Primera clasificación de las estructuras metálicas de cobertura según su tipo de columna. [Fuente: Elaboración propia]	86
Tabla 14. Clasificación de las estructuras metálicas de cobertura en análisis según el comportamiento de columnas. [Fuente: Elaboración propia]	92
Tabla 15. Factor de escala para la obtención de la velocidad de falla. [Fuente: Elaboración propia]	103
Tabla 16. Factor de escala para la obtención de la velocidad de falla. [Fuente: Elaboración propia]	113
Tabla 17. Resistencia de elementos a compresión según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	120

Tabla 18. Velocidad de falla de las estructuras metálicas analizadas. [Fuente: Elaboración propia]	121
Tabla 19. Factores de forma según el caso de ángulo de inclinación. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]......	125
Tabla 20. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=1.8 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	127
Tabla 21. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=2 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	129
Tabla 22. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=2.5 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	131
Tabla 23. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=3 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	133
Tabla 24. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular cuadrada según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	135
Tabla 25. Fuerzas internas de los elementos a diseñar. [Fuente: Elaboración propia]	145
Tabla 26. Resistencia a compresión de elementos de secciones comerciales según longitudes de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	150
Tabla 27. Elección de elemento para columnas según resistencia y longitud. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	153
Tabla 28. Factor de escala para la obtención de la velocidad de falla de la estructura en análisis [Fuente: Elaboración propia]	163

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Velocidad promedio del viento (Km/h) en los últimos 10 años.....	11
Gráfico 2. Velocidad promedio del viento en el mes de Junio en los últimos 10 años.....	12
Gráfico 3. Velocidad promedio del viento en el mes de Julio en los últimos 10 años.....	12
Gráfico 4. Velocidad promedio del viento en el mes de Agosto en los últimos 10 años.	13
Gráfico 5. Diagrama típico del esfuerzo – deformación del acero. [Fuente: (Vinnakota, 2006)]	25
Gráfico 6. Tramo inicial de la curva esfuerzo – deformación. [Fuente: (Vinnakota, 2006)] ..	26
Gráfico 7. Clasificación de elementos a compresión de acuerdo a su relación de esbeltez. . [Fuente: (McCorman, 2013)].....	31
Gráfico 8. Diagramas momento curvatura a utilizar en el ejemplo. [Fuente: Elaboración propia]	37
Gráfico 9. Curva de capacidad de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]	47
Gráfico 10. Curva de capacidad de análisis elástico paso a paso. [Fuente: Elaboración propia]	54
Gráfico 11. Curva de capacidad de la estructura mediante análisis elástico paso a paso y método de rigidez secante [Fuente: Elaboración propia].....	55
Gráfico 12. Comparación de curvas de capacidad según método de análisis. [Fuente: Elaboración propia].....	56
Gráfico 13. Curva esfuerzo – deformación del acero estructural A36. [Fuente: Elaboración propia]	61
Gráfico 14. Diagrama esfuerzo – deformación del acero A36. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”].....	64
Gráfico 15. Diagrama fuerza – desplazamiento de la sección típica presentada. [Fuente: Elaboración propia].....	65
Gráfico 16. Diagrama momento – curvatura del elemento. [Fuente: Elaboración propia]	69
Gráfico 17. Curva de Capacidad de la estructura ejemplificada [Fuente: Elaboración propia]	80
Gráfico 18. Curva de Capacidad de la estructura ejemplificada N° 1 [Fuente: Elaboración propia]	103
Gráfico 19. Curva de Capacidad de la estructura ejemplificada N° 2 [Fuente: Elaboración propia]	113

Gráfico 20. Porcentaje de estructuras metálicas con determinada velocidad de falla. [Fuente: Elaboración propia]	122
Gráfico 21. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=1.8 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	128
Gráfico 22. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=1.8 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	130
Gráfico 23. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=2.5 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	132
Gráfico 24. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=3 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	134
Gráfico 25. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular cuadrada según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]	136
Gráfico 26. Elección de sección comercial para diagonales según resistencia y longitud. [Fuente: Elaboración propia]	152



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

Uno de los fenómenos naturales que afectan considerablemente a las estructuras metálicas en nuestro país son las fuertes ráfagas de viento; sin embargo, el efecto que produce este fenómeno es poco considerado en el análisis y diseño de dichas estructuras.

Recientemente, en la ciudad de Arequipa, se produjeron daños de variada magnitud debido a este evento meteorológico con velocidades menores a las de diseño, resaltando la destrucción de la estructura metálica de un letrero y el rasgado de lona del techo del ingreso de tripulantes del Aeropuerto Alfredo Rodríguez Ballón ocurrida en el año 2013. (Perú21, 2013) Asimismo, en el 2015, las instalaciones del Club Internacional Arequipa se vieron afectadas colapsando en su totalidad las coberturas del complejo de vóley y, parcialmente, las de las canchas de frontón y fulbito (El Búho, 2015).

A pesar de las consecuencias de esos eventos, no hubo un incremento de la preocupación por la calidad de este tipo de estructuras lo que se ve reflejado en la escasez de investigaciones realizadas en el Perú, a diferencia de las realizadas en otros países.

Como un paso importante, se decidió iniciar la presente investigación que, según su enfoque, puede dar alcances para la solución del problema que será desarrollado más ampliamente a continuación.

1.1. Problema de investigación

Desde hace algunos años, en la ciudad de Arequipa, han sucedido eventos meteorológicos representados por fuertes ráfagas de viento, los cuales produjeron daños parciales y totales en infraestructuras deportivas menores como losas multidisciplinarias (fulbito, vóley, básquet, entre otros). Esto aumenta la incertidumbre sobre el adecuado comportamiento de las estructuras metálicas que forman parte de los espacios recreacionales anteriormente mencionados; probablemente, dicho problema se deba a la limitada metodología y consideraciones para el análisis por cargas de viento que plantea la Norma E.020 “Cargas”, además de la poca existencia de especialización en técnicas para el diseño de las estructuras en mención.

Asimismo, cabe resaltar que no se realizó ninguna investigación profunda de los efectos ocasionados por el viento en estas estructuras en la ciudad de Arequipa, evidenciando la poca importancia dada por los especialistas a este fenómeno.

La irresolución de este problema mantiene la constante preocupación y sensación de inseguridad de los usuarios ante la posible ocurrencia del colapso de la infraestructura del espacio ocupado, lo que traería consigo pérdidas humanas y materiales.

Es necesaria la realización de estudios referentes a este tema, ya que la continua utilización de la existente metodología básica y limitada de análisis por cargas de viento, seguramente, seguirá manteniendo el estado de vulnerabilidad en el que se encuentran las infraestructuras deportivas en la ciudad de Arequipa.

1.2. Antecedentes de investigación

En el 2005, los ingenieros José Luis Gómez, Giuliana Papalardo y María del Carmen Gareca de la Universidad de Córdoba, Argentina se presentaron en el VIII Congreso Latinoamericano de Patología de la Construcción y en el X de Calidad en la Construcción con la investigación sobre el Colapso de estructuras causadas por la acción del viento, desde la óptica de la nueva norma argentina, el cual trata sobre el análisis de las cargas de viento sobre tres estructuras con manifestaciones importantes de patología estructural, que se estudiaron con el Reglamento CIRSOC 102 edición de 1984. En esa oportunidad fueron evaluadas las acciones con el Reglamento Argentino de Acción del viento sobre Construcciones 2001. Finalmente se realizó una comparación de las velocidades básicas y presión dinámica de diseño puntualizando las diferencias de procedimientos entre ambos reglamentos.

Este estudio muestra la importancia de las consideraciones brindadas por las normativas existentes en los diferentes países, en ese caso la Norma Argentina, la cual ha tenido modificaciones analizadas en la investigación en mención, y nos sirve como conocimiento general para tomarla en cuenta en comparativa tanto con otras normas como con la Norma Peruana E.020 “Cargas” y los factores que inciden en el análisis de las estructuras a estudiar (Gómez, Papalardo, & Gareca, 2005).

Argentina 2007, Gustavo C. Balbastro y Victorio E. Sonzogni realizaron una investigación llamada “Colapso de estructuras de galpones durante tormentas severas” en la cual analizaban las fallas y posibles causas del colapso tanto en la zona rural como urbana de galpones de planta rectangular con techo de directriz curva formada por arcos de celosía cuya sección transversal está conformada por cuatro barras de sección circular, vinculadas entre sí con diagonales dobladas en zigzag, durante tormentas severas. La obtención de la velocidad del viento ocurrida durante la tormenta, se realizó de manera indirecta mediante la estimación de la fuerza de volteo necesaria para volcar un pequeño autobús, el cuál fue desestabilizado por la

fuerza del viento. La velocidad obtenida fue menor que la de diseño, por lo que se determinó que las fallas que sufrieron los galpones se debió, principalmente, a la falta de participación de profesionales en el diseño y construcción de dichas estructuras debido a que personas no capacitadas repitieron y adaptaron planteamientos estructurales, secciones de elementos y detalles constructivos sin demostrar justificaciones racionales basadas en el conocimiento; cabe resaltar también la falta de supervisión y control de las autoridades ante este problema (Balbastro & Sonzogni, 2008).

Todos los desaciertos demostrados en la mencionada investigación, nos brindan indicios de aquellos que, probablemente, ocurren en nuestro país y, más específicamente, en la ciudad de Arequipa.

A nivel mundial, existen investigaciones sobre estructuras metálicas sometidas a fuerzas de viento realizadas con pruebas con túneles de viento, cuyas hipótesis, consideraciones y conclusiones no significan un aporte sustancial a tomar en cuenta en la presente investigación que será desarrollada bajo la óptica de la norma peruana vigente, la cual no desarrolla este tipo de análisis experimental.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Proponer una metodología adecuada para el análisis y diseño ante cargas de viento de estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores en la ciudad de Arequipa.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar la identificación de los tipos de estructuras metálicas de cobertura existentes en infraestructuras deportivas menores en la ciudad de Arequipa.
- Analizar la Norma Peruana E.020 “Cargas” y compararla con normativas extranjeras.
- Identificar y determinar las variables de las cuales depende el comportamiento de estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores sometidas a cargas de viento.
- Obtener el mecanismo de falla de las estructuras metálicas ante cargas de viento.

- Determinar la velocidad del viento con la que las estructuras metálicas llegan al colapso.
- Proponer valores de longitudes no arriostradas “ L_{na} ” de elementos estructurales para mejorar su comportamiento bajo cargas axiales netamente a compresión para las secciones comerciales en nuestra ciudad.

1.4. Justificación

El presente proyecto de investigación busca proponer una metodología de análisis que conlleve a un adecuado comportamiento de estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores, específicamente en losas multidisciplinares (fulbito, vóley, básquet, entre otros) de la ciudad de Arequipa, reduciendo así las limitaciones que presenta la Norma E.020 “Cargas”.

El objetivo de esta propuesta es disminuir la probabilidad de colapso de las infraestructuras deportivas referidas, beneficiando a las personas que ocupen dichos espacios a través de la preservación de su integridad y seguridad.

1.5. Campo de Estudio

Las infraestructuras deportivas pueden definirse como espacios o áreas deportivas destinadas a la práctica de actividades deportivas y/o recreativas que, de acuerdo a sus características físicas puedan estar cubiertas o al descubierto, utilizando un entorno construido o adaptado dotado de equipamiento deportivo. Incluyen tanto las áreas donde se realizan las actividades deportivas como los diferentes espacios complementarios (vestuarios, servicios higiénicos, primeros auxilios, almacenes de material deportivo, gradas, etc.) (Fundación Wikimedia Inc., 2019)

Para realización de esta investigación se tomará la siguiente clasificación tomada como referencia de una ordenanza municipal.

- Infraestructuras deportivas y/o recreativas menores

Son espacios públicos deportivos y/o recreativos acondicionados para la práctica de disciplinas deportivas específicas, las cuales se sub clasifican en:

- Losa deportiva simple: Área pública con pavimento de concreto y equipamiento para la práctica de una disciplina deportiva que permita el desarrollo de la misma.

- Losa deportiva múltiple: Área pública con pavimento de concreto y equipamiento para la práctica de dos o más disciplinas deportivas que permita el desarrollo de las mismas.
- Infraestructuras deportivas y/o recreativas mayores
 - Complejos deportivos
 - Campos de fútbol.
 (Concejo Municipal del Distrito de Ate, 2016).

Según esta clasificación, el campo de estudio será determinado como estructuras metálicas que conforman las coberturas de infraestructuras deportivas y/o recreativas menores, como se muestra en las siguientes figuras.



Figura 1. Estructura metálica de cobertura en infraestructura deportiva menor.

[Fuente: Elaboración propia]



Figura 2. Elevación de una estructura metálica de cobertura. [Fuente: Elaboración propia]

1.6. Organización de la investigación

A continuación, se presenta una breve descripción de cada capítulo desarrollado en la presente investigación.

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN E INFORMACIÓN GENERAL

En el presente capítulo se describe la problemática existente en nuestra ciudad con respecto al comportamiento de las estructuras metálicas que sirven como coberturas en losas deportivas menores. Se presentan el objetivo general, objetivos específicos, antecedentes, justificación, hipótesis que conllevaran al desarrollo correcto de la investigación y el campo de estudio al que está enfocada.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

Se brindará información sobre el evento meteorológico causante de la problemática descrita en el capítulo previo para conocimiento general y datos específicos relevantes para la elaboración del estudio de estructuras metálicas de cobertura, como valores de velocidades medias y su ocurrencia máxima según los meses del año, así también se rescata la ocurrencia de anomalías donde los valores exceden los promedio y resultan fuera de las estadísticas, los cuales han sido y podrían ser causantes de daños materiales y humanos en la ciudad de Arequipa.

CAPÍTULO 3: ESTADO ACTUAL DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS ANTE CARGAS DE VIENTO

Se realizará una revisión de la Norma Peruana E.020 “Cargas” vigente y útil para el análisis a llevar a cabo en esta investigación, para lo cual, se considerará también una comparación con normativas extranjeras, las cuales, pueden dar mayores alcances de las consideraciones y parámetros a tomar según la realidad de cada país teniendo en cuenta su conocimiento avanzado y las experiencias logradas con respuestas de estructuras sobre las que el viento tiende a actuar, que puede contribuir a proponer mejoras en procedimientos de análisis y disminución de la vulnerabilidad ante las cargas generadas por el evento mencionado.

CAPÍTULO 4: EL ACERO Y SU COMPORTAMIENTO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

Se determinarán las ventajas y desventajas del acero, material que conforma la totalidad de estructuras en análisis del presente estudio; asimismo, las propiedades físicas determinadas del ensayo a tracción que se le realiza a una probeta de este acero, cabe resaltar la suma importancia de la correcta elaboración del diagrama Esfuerzo-Deformación, reconociendo sus puntos de inflexión y las zonas según el comportamiento del material; puesto que, a través de este, se obtienen las propiedades mencionadas y descritas en el capítulo en alusión, además, de su utilización en el análisis.

Se hará una diferenciación del comportamiento del material sometido a ciertas cargas puras como la compresión, donde se distingue los tipos de pandeo que puedan producirse o, cargas combinadas, como flexo compresión, flexo tracción y flexo torsión.

CAPÍTULO 5: UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE PUSHOVER PARA EL ANÁLISIS ANTE CARGAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA

Se analizarán los conceptos básicos y herramientas necesarias para poder realizar el análisis no lineal de los modelos propuestos; también, se presentará una de las partes más importantes de la investigación, la propuesta de modificación de la técnica Pushover para su aplicación con patrones de carga de viento, además del procedimiento para la determinación del colapso de las estructuras en estudio mediante algunos ejemplos prácticos.

CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE COBERTURAS METÁLICAS SELECCIONADAS

Se propondrán los modelos estructurales de las coberturas metálicas seleccionadas, describiendo características y consideraciones más incidentes en su análisis, también, se realizará un paso a paso del procedimiento a seguir para analizarlas adecuadamente, tomando en cuenta los parámetros anteriormente mencionados. Asimismo, se obtendrán valores reales de velocidad de falla de dichas estructuras y propuesta de valores de longitudes para el diseño de elementos a compresión axial para mejorar su comportamiento y evitar su falla prematura.

CAPÍTULO 7: PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Con la obtención de los valores de velocidad real de falla, se analizarán estos resultados para poder observar su fluctuación en función a diferentes variables propias de cada cobertura; con las longitudes entre arriostres para el diseño de elementos a compresión, se determinará su aplicación en el procedimiento de diseño.

CAPÍTULO 8: PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO ANTE CARGAS DE VIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS MENORES

Analizados los resultados se realizará la propuesta final de la investigación, acompañada de procedimientos y recomendaciones de análisis que mejorarán el comportamiento y, probablemente, disminuirán la vulnerabilidad de las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores en la ciudad de Arequipa.

CAPÍTULO 9: ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA DE COBERTURA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN LA INVESTIGACIÓN

Se aplicará la metodología propuesta de análisis y diseño a una cobertura real, comprobando la mejoría en su comportamiento y su capacidad de resistencia de cargas generadas por la velocidad de diseño.

CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN DEL VIENTO EN LA CIUDAD DE AREQUIPA

2.1. Origen del viento

El viento es causado en su mayoría por la energía entregada por el sol a la tierra, la cual calienta la superficie del planeta, con mayor intensidad en el ecuador, lo que produce el ascenso del aire. Este aire en ascenso produce un área de baja presión en la superficie donde el aire más frío, al ser más denso, desciende, en consecuencia, se genera la circulación de masas de aire causando el fenómeno llamado viento. Además, la inercia y la fuerza centrífuga causadas por la rotación y traslación del planeta influyen en este fenómeno.

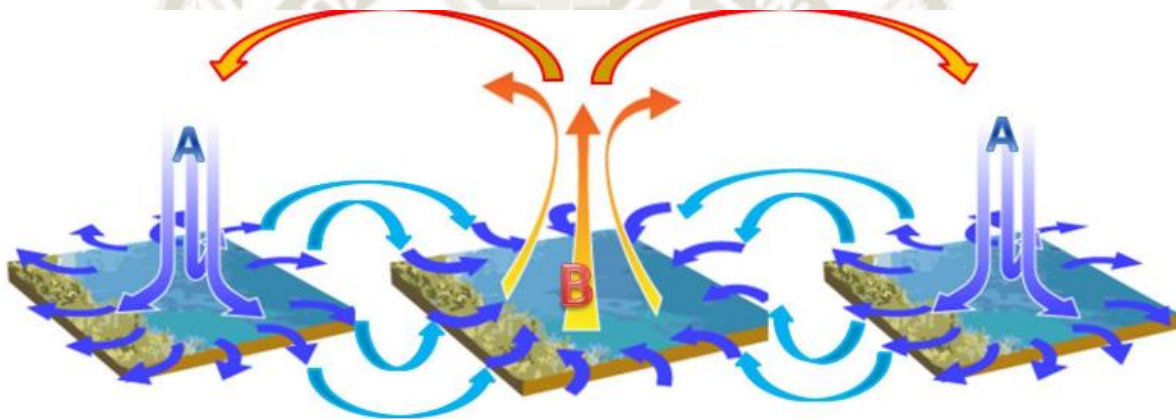


Figura 3. Formación del viento. [Fuente: (WordPress.com, s.f.)]

2.2. Características del viento

El viento es un fenómeno estocástico que fluctúa aleatoriamente en el tiempo y espacio. En un intervalo de tiempo determinado, el viento puede ser considerado como la combinación de un valor medio, el cual se obtiene a partir de un promedio de valores de velocidad medidos, y un valor fluctuante que se debe a una característica de los fluidos llamada turbulencia que puede estar determinada por la rugosidad del terreno y/o variaciones de temperatura.

Existen efectos locales que intervienen en la formación del viento, los más significativos son:

- Terreno: Las características topográficas producen una aceleración del viento lo que incrementa la energía disponible para ser utilizada; sin embargo, esto produce también turbulencias que, generalmente, no ocurren en terrenos planos.

- Costa: Durante el día sufre calentamiento más rápidamente que el mar, lo que ocasiona que el aire se eleve sobre la tierra y a su vez que sea aspirado desde el mar, este efecto se conoce como brisa marina; durante la noche el efecto se invierte ya que la tierra se enfría de una manera más rápida que el mar.

Es importante mencionar que la velocidad del viento varía con la altura, es decir, a mayor altura la velocidad del viento es mayor y a la vez la potencia producida, debido a que está sujeta a un equilibrio por fuerzas de Coriolis y de presión.

La energía disponible del viento es determinada por tres componentes: la velocidad, la dirección del viento y en menor grado la densidad del aire (Coriolis Energy Ltd, 2018).

2.3. Clasificación de los vientos

2.3.1. Vientos permanentes

Sucedan como consecuencia del movimiento de rotación terrestre. Estos vientos circulan ocupando grandes extensiones de la superficie de la Tierra, donde se caracterizan por mantener su constante dirección y facilitar así el transporte de gran cantidad de energía calórica. Los vientos más conocidos y significativos influyentes en el clima y las actividades humanas son los vientos alisios y los vientos del oeste

2.3.2. Vientos periódicos

Son aquellos en los que su dirección no permanece constante, sino que cambia de acuerdo a las estaciones del año, aunque a veces también pueden cambiar dependiendo el momento del día, y les da la característica de periodicidad. Los vientos periódicos incluyen: Brisa marina, monzones, brisa del valle, brisa de montaña, masas de aire, ciclones y anticiclones.

2.3.3. Vientos locales

Son producidos por las diferencias locales de presión y temperatura, se limitan a niveles más bajos de la tropósfera. Algunos ejemplos son: Lavabo, Fohn, Chinook, Mistral y Siroco, entre otros.

2.4. Caracterización del viento en Arequipa

La velocidad promedio del viento en Arequipa no tiene mucha variabilidad durante el año, respetando un rango de entre 9 km/h y 12 km/h, presentando los máximos valores en los meses de Junio, Julio y Agosto (WeatherOnline, 2019). Los valores mostrados representan las velocidades promedio de los últimos 10 años, sin incluir las presentadas en eventos anómalos ocurridos durante estos, que según lo registrado por SENAMHI (SENAMHI, 2019) , llegaron a alcanzar aproximadamente los 60 km/h.

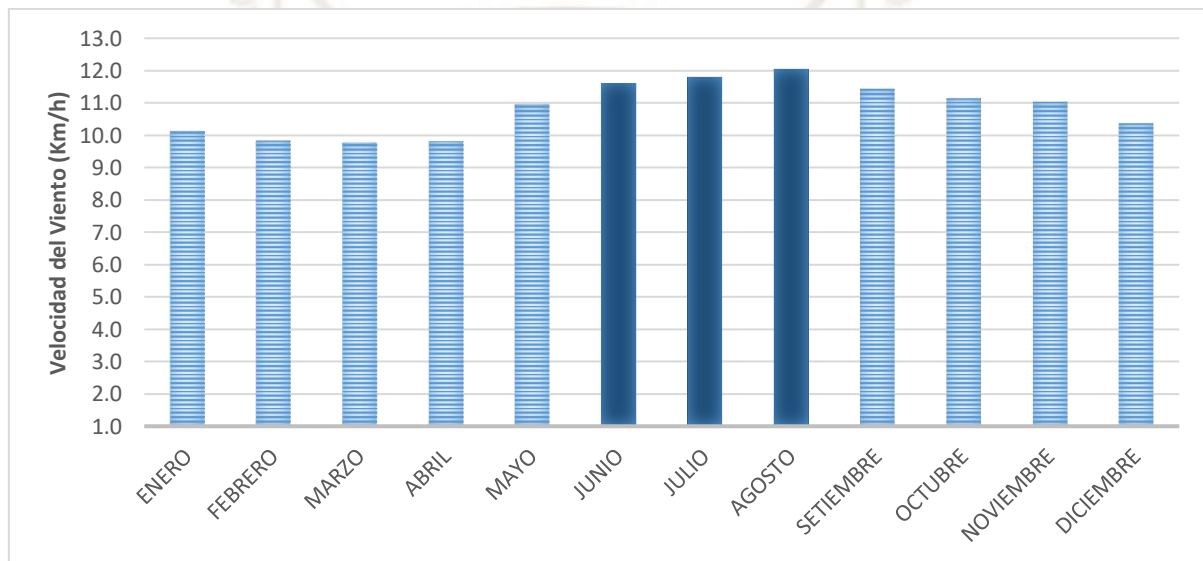


Gráfico 1. Velocidad promedio del viento (Km/h) en los últimos 10 años.

[Fuente: Elaboración propia]

Las siguientes gráficas representan lo anteriormente mencionado, mostrando las velocidades promedio de los años 2010 al 2019, de los meses junio, julio y agosto, respectivamente.

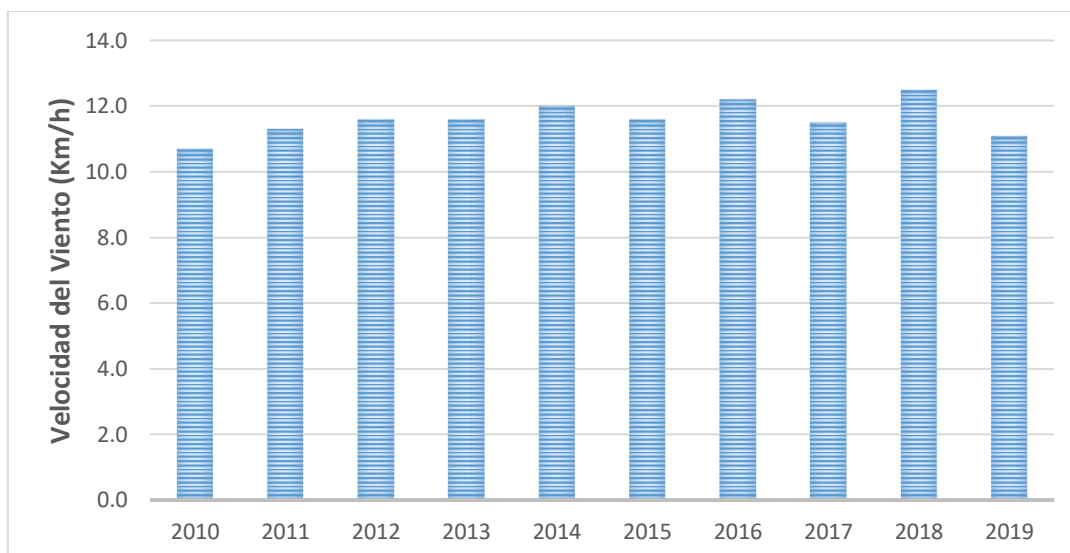


Gráfico 2. Velocidad promedio del viento en el mes de junio en los últimos 10 años.

[Fuente: Elaboración propia]

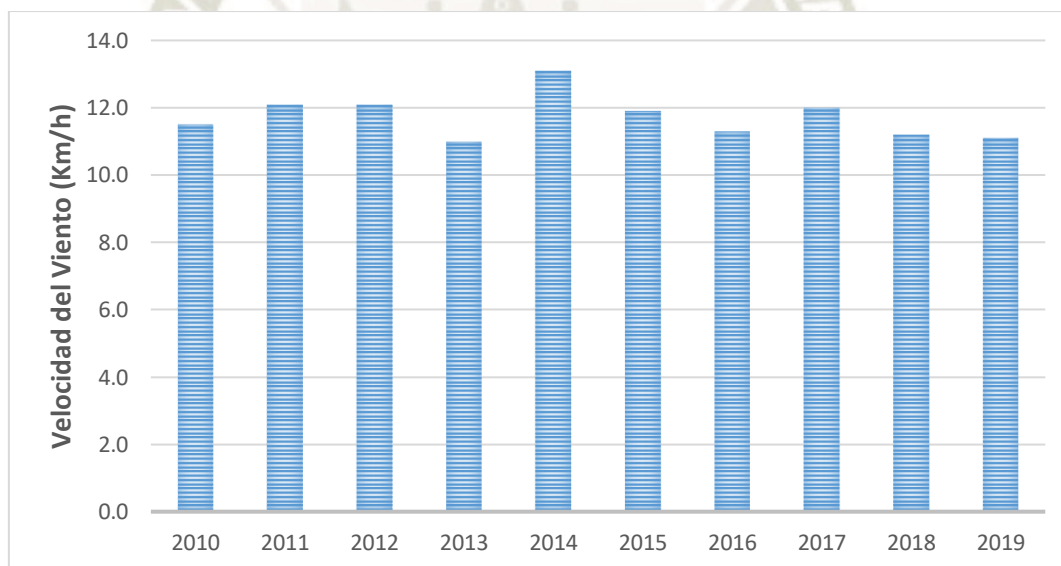


Gráfico 3. Velocidad promedio del viento en el mes de julio en los últimos 10 años.

[Fuente: Elaboración propia]

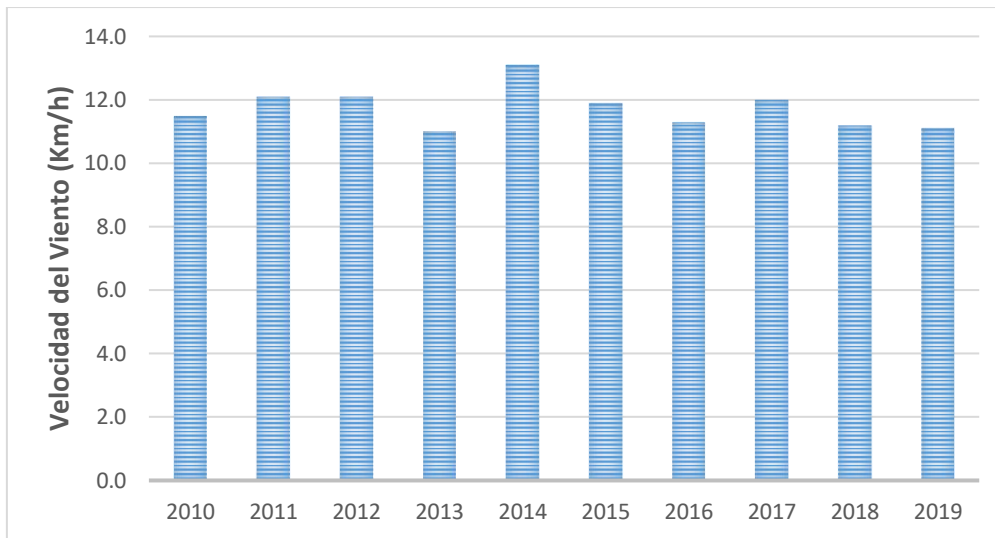


Gráfico 4. Velocidad promedio del viento en el mes de agosto en los últimos 10 años.

[Fuente: Elaboración propia]

Finalmente, mostramos un mapa de velocidades de vientos según su ocurrencia en toda la región.

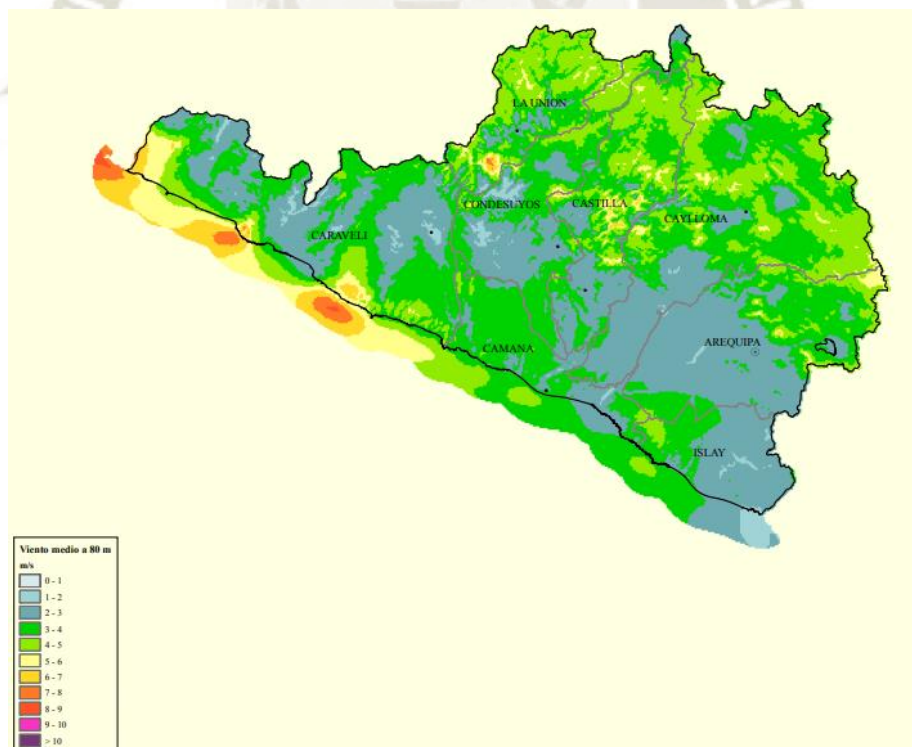


Figura 4. Mapa de velocidades del viento (m/s) en la región de Arequipa. [Fuente: (Ministerio de Energía y Minas, 2008)]

CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DEL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS ANTE CARGAS DE VIENTO

3.1. Análisis de la norma vigente E.020 “Cargas”

La Norma Técnica Peruana E.020 “Cargas” ha sido concebida bajo la filosofía que describe que las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su Norma de diseño específica.

La presente investigación está enfocada directamente al análisis bajo la acción de cargas de viento que se presentan; por lo tanto, según lo que indica la norma, las estructuras, los elementos de cierre y los componentes exteriores de todas las edificaciones expuestas a la acción del viento, serán diseñados para resistir las cargas (presiones y succiones) exteriores e interiores debidas al viento, suponiendo que éste actúa en dos direcciones horizontales perpendiculares entre sí.

3.1.1. Clasificación de las edificaciones

Para fines de análisis y diseño por cargas de viento y, de acuerdo con la naturaleza de los principales efectos que éste puede ocasionar en ellas, las estructuras se clasifican en tres tipos:

“Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).” (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)

En esta clasificación se encuentran las estructuras poco influenciadas por el viento, como edificios de pequeña altura y estructuras que no sufran variación en su cubierta al contacto con el viento para las cuales no se tomaran en cuenta los efectos dinámicos en su análisis.

“Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.” (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)

La Norma considera en esta clasificación a las estructuras sensibles a las ráfagas de viento, como anuncios, edificios con gran esbeltez y tanques elevados. También obliga a afectar a las

presiones y succiones halladas para el tipo 1 por un factor de 1.2 que corresponde a la intervención de efectos dinámicos.

“Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.”
(Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)

Se consideran las estructuras con problemas aerodinámicos como chimeneas, domos, naves industriales, etc. El análisis de presiones y succiones no tiene un método obligatorio determinado, por lo que la norma permite utilizar métodos reconocidos por la ingeniería cuyo sustento sea válido asegurando un correcto comportamiento de las estructuras.

La norma no es muy específica en la clasificación de tipos de edificaciones, permitiendo ubicar a estas en más de un tipo al reunir las características mencionadas, como es el caso de las estructuras metálicas a analizar en esta investigación que, según encuestas realizadas, se podrían clasificar en los Tipos 2 y 3.

3.1.2. Velocidad de diseño

Para determinar la velocidad de diseño se debe tomar los valores indicados en el mapa eólico proporcionado en el Anexo 02 de la Norma E0.20 “Cargas” o de mediciones confiables en la zona en cuestión con sustento necesario para adoptarse en estructuras con altura máxima de 10 metros; sin embargo, el valor nunca podrá ser menos de 75 km/h.

Para estructuras con mayor altura, se considera la siguiente expresión:

$$V_h = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

Donde:

V_h: velocidad de diseño en la altura h en Km/h

V: velocidad referencial de diseño hasta 10 m de altura en Km/h

h: altura sobre el terreno en metros

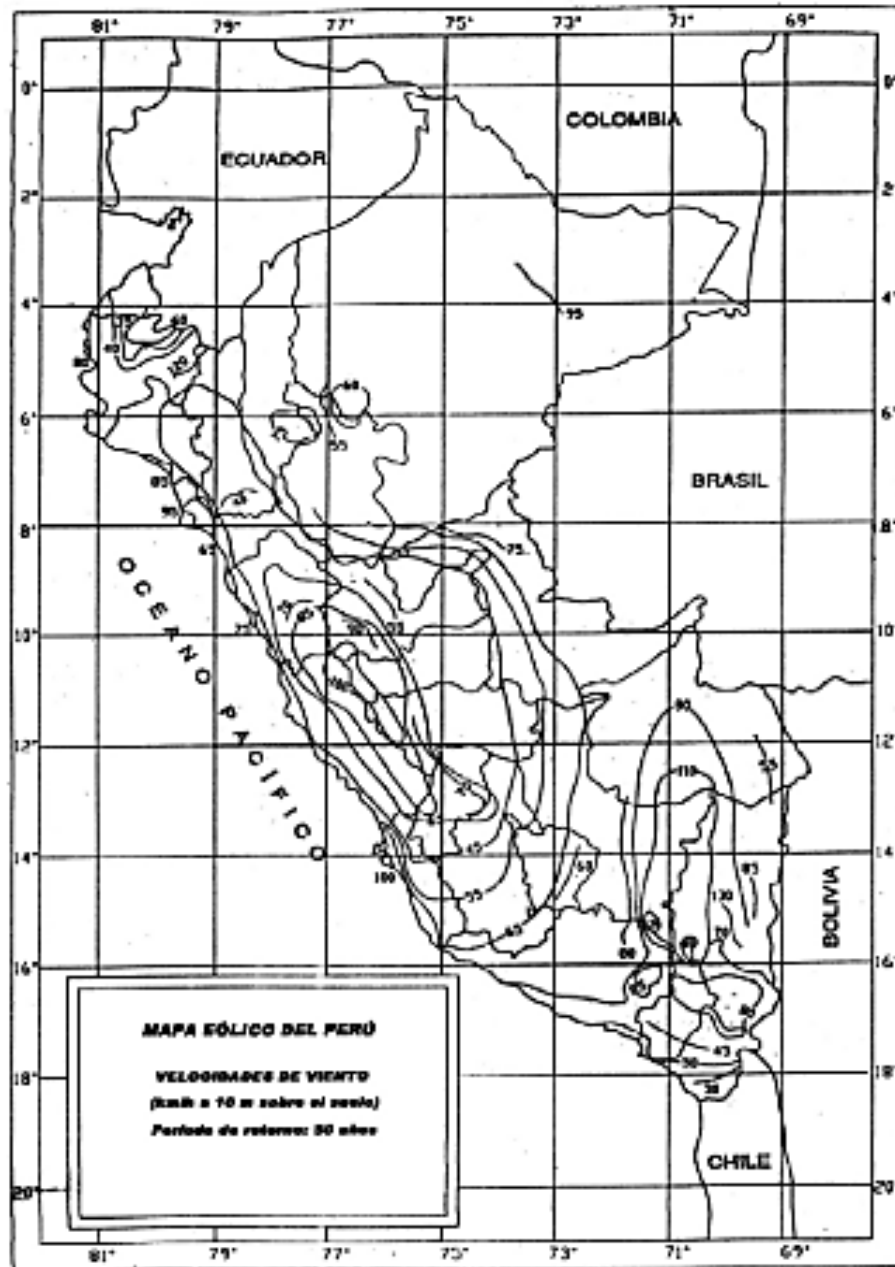


Figura 5. Mapa Eólico del Perú. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]

En la ciudad de Arequipa se considera una velocidad de 85 km/h y las estructuras que forman parte del campo de estudio de esta investigación presentan alturas hasta los 10 metros; por lo tanto; la velocidad mencionada será la considerada para el cálculo de cargas de viento.

3.1.3. Carga exterior de viento

La carga exterior sobre la estructura considerada como presiones o succiones que son ejercidas se supondrá estáticas y perpendiculares a la superficie sobre la cual actúan.

Para el cálculo de dichas cargas sobre las superficies expuestas tanto a barlovento como a sotavento, se toma la siguiente expresión:

$$P_h = 0.005CV_h^2$$

Donde:

Ph: presión o succión del viento a una altura h en Kg/m²

C: factor de forma adimensional indicado en la Tabla

Vh: velocidad de diseño en Km/h a la altura h

Tabla 1. Factores de forma para el cálculo de la carga exterior de viento. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	±0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3	-0.6
	-0.7	
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7	-0.6
	-0.3	
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curvas) paralelas a la dirección del viento	-0.7	-0.7

La tabla anterior muestra los valores dados por la norma para la consideración de factores de forma en el cálculo de presiones de viento actuantes en las estructuras, se debe tomar en cuenta su dirección (presión o succión) determinados por los signos positivo o negativo y, si la superficie sobre la que actúan se encuentra a barlovento o sotavento.

3.1.4. Carga interior de viento

Para diseñar elementos de cierre (paneles de vidrio, coberturas, alfeizares y elementos de cerramiento), incluyendo fijaciones y anclajes, se añadirá cargas interiores a las cargas exteriores, su valor será calculado tomando los factores de forma según sea el caso de análisis como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2. Factores de forma para el cálculo de la carga interior de viento. [Fuente. (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]

ABERTURAS		
Uniforme en lados a barlovento y sotavento	Principales en lado a barlovento	Principales en lado a sotavento o en los costados
± 0.8	+0.8	-0.6

Según criterio propio, la sustentación para considerar carga interior en el análisis de estructuras no es clara, ya que no especifica en cuales de éstas sí actúa realmente este tipo de carga, si debe ser considerada en la totalidad de análisis a realizar o qué excepciones de deban tener en cuenta. (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)

3.2. Comparación con normativas extranjeras

Se realizará una comparación entre la Norma Técnica Peruana E020 “Cargas”, la Norma Mexicana “Normas Técnicas Complementarias para diseño por viento”, Norma Argentina CIRSOC 102 “Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones” y la Norma Chilena Nch 432 “Diseño Estructural – Cargas de Viento”. También se dará una pequeña explicación de los motivos por los cuáles no será considerada la Norma Americana “ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” para la comparación realizada en esta investigación.

3.2.1. Métodos de análisis

Norma técnica peruana E020 “Cargas”

No desarrolla métodos para el análisis de estructuras sometidas a fuerzas de viento, por lo que, los especialistas toman un método estático.

Norma mexicana “Normas Técnicas Complementarias para diseño por viento”

Esta norma considera tres métodos de análisis según algunas características presentadas en las estructuras en cuestión.

- Método Estático para estructuras poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos de viento.
- Método Simplificado para estructuras con alturas de hasta 15 metros, cuya planta sea rectangular o formada por una combinación de rectángulos, de modo que la relación entre su altura y la dimensión menor en planta sea menor que 4.
- Estudio en túnel de viento para estructuras de formas geométricas inusuales y con características que las hagan particularmente sensibles a los efectos de viento.

(Gobierno de México, 2008)

Norma argentina CIRSOC 102 “Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones”

Admite tres métodos de análisis según algunas características presentadas en las estructuras, como se detalla a continuación:

- Método 1 – Procedimiento Simplificado para estructuras cerradas con diafragmas simples, pendientes de coberturas menores de 10° , altura máxima de 10 metros, forma regular, sin presencia de juntas y no consideración de efectos topográficos.
- Método 2 – Procedimiento Analítico para estructuras de forma regular, no deben presentar inestabilidad por flameo, desprendimientos ni permitir cargas transversales de viento.
- Método 3 – Procedimiento del túnel de viento para estructuras flexibles y que puedan someterse a efectos de ráfagas en resonancia con vibraciones en dirección del viento. Asimismo, puede reemplazar los métodos 1 y 2 para el análisis de cualquier tipo de estructura.

(Ministerio de Planificación Federal, 2005)

Norma chilena Nch 432 “Diseño Estructural – Cargas de Viento”

Esta normativa también permite tres métodos de cálculo para el correspondiente análisis de estructuras:

- Método Simplificado para estructuras con diafragma simple, altura máxima de 18.3 metros, cerrada, forma regular, simetría transversal frecuencia fundamental mayor de 1 Hz., no presentan desprendimientos de vórtices, no sujetas a cargas de torsión.

- Método Analítico para estructuras de forma regular, no deben presentar inestabilidad por oscilaciones, desprendimientos por vórtice, ubicación en la que no se deba considerar la canalización de sacudidas por obstrucciones a barlovento.
- Método túnel de viento para estructuras que reúnan las mismas que para el método 2, es un método que puede ser utilizado en el análisis de todas las estructuras bajo efectos de viento.

(Instituto Nacional de Normalización, 2010)

3.2.2. Velocidad básica del viento

Norma técnica peruana E020 “Cargas”

La velocidad de diseño es brindada por un mapa eólico, el cual fue elaborado con registros obtenidos por SENAMHI. Estos registros se tomaron a 10 metros de altura sobre el suelo, además tienen un periodo de retorno de 50 años (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006).

Norma mexicana “Normas Técnicas Complementarias para diseño por viento”

La velocidad también es brindada por un mapa de velocidad de vientos ocurridos a 10 metros de altura, incluyen efectos asociados con ráfagas cuyos valores de velocidad fueron tomados en intervalos de 3 segundos, y considera la posibilidad de la ocurrencia de vientos debidos a huracanes en zonas costeras.

Se brindan velocidades según la importancia de las construcciones y la zonificación eólica, considerando tres periodos de retorno (Gobierno de México, 2008).

Norma argentina CIRSOC 102 “Reglamento Argentino de acción del viento sobre las construcciones”

La velocidad básica es brindada por un mapa eólico de isotacas, con datos tomados a 10 metros de altura considerando ráfagas con intervalos de 3 segundos. Además, la norma proporciona una tabla con valores de velocidad básica de ciudades importantes de Argentina (Ministerio de Planificación Federal, 2005).

Norma chilena Nch 432 “Diseño Estructural – Cargas de Viento”

La velocidad básica es proporcionada a través de una tabla con valores de información climática de estaciones principales medidos a 10 metros de altura en campo abierto y

considerando ráfagas con intervalos de 3 segundos. También se proporciona una tabla de valores para zonas de Chile.

Se presenta un cuadro comparativo entre las normas mencionadas en el que se resumen las variables que influyen en el cálculo de las acciones del viento.

Tabla 3. Resumen comparativo de variables para el cálculo de acciones de viento entre normas vigentes de diferentes países. [Fuente: Elaboración propia]

Ítem	Norma Peruana	Norma Mexicana	Norma Argentina	Norma Chilena
Dirección del Análisis	Viento actuante en dos direcciones perpendiculares	Viento actuante en dos direcciones perpendiculares	Cargas aplicadas en dirección normal a las superficies	Cargas aplicadas en dirección normal a las superficies
Clasificación de Estructuras	Clasificación en 3 tipos dependiendo de su sensibilidad al viento	Clasificación en 4 tipos según su sensibilidad al viento	Cerradas, parcialmente cerradas, parcialmente abiertas o abiertas	Según su importancia
Métodos de análisis	No especifica	Presenta 3 métodos: estático, simplificado y túnel de viento	Presenta 3 métodos: estático, analítico y túnel de viento	Presenta 3 métodos: estático, simplificado y túnel de viento
Velocidad básica del viento	Mapa eólico de isotacas con registros sobre los 10 metros sobre la superficie con 50 años de periodo de retorno	Mapa eólico de isotacas considerando importancia de edificación y zonificación eólica	Mapa eólico de isotacas elaborado mediante métodos estadísticos	Tablas basadas en información climática
Efectos dinámicos	Factor adimensional de 1.2	Considera fórmulas específicas y admite métodos con sustento ingenieril	Fórmulas con diversos factores relacionados a la ubicación de la estructura	Fórmulas con diversos factores relacionados a la ubicación de la estructura y propiedades dinámicas de la estructura
Factor de rugosidad	No considera	Según tipo de terreno	No considera	Presenta 3 tipos según su ubicación y distancias a barlovento

Factor de topografía	No considera	Se presenta cinco casos	Ligado a la rugosidad del terreno	Según tablas
Factor de forma	Factores de forma "C" para presión y succión a barlovento y sotavento	Llamado coeficiente local de presión "Cp" para presión y succión a barlovento y sotavento	Factores de forma según relaciones geométricas	No presenta

3.3. ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

La norma “ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” determina todos los parámetros relacionados a las cargas con las que se deben diseñar las estructuras en Estados Unidos. Esta normativa reúne la mayor cantidad de características para realizar un correcto análisis y diseño de la totalidad de estructuras y está basada en gran cantidad de investigaciones y experiencias realizadas por especialistas.

La norma incluye consideraciones en zonas con ocurrencia de huracanes, con parámetros mucho más estrictos y conservadores, volviendo a los proyectos mucho más resistentes y de mayor envergadura.

Lamentablemente, nuestra realidad difiere mucho de la realidad norteamericana, por tal motivo, no se realiza la comparación de la norma ASCE 7 con la Norma Peruana E.020, ya que se considera que se podrían tomar factores que, difícilmente, podrían aplicarse en la práctica; sin embargo, se realizó la comparación con normativas como la mexicana, argentina y chilena que, a diferencia de la nuestra, incluye los criterios más significantes de la norma americana como, por ejemplo, los métodos de análisis (American Society of Civil Engineers, ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2016).

CAPÍTULO 4. EL ACERO Y SU COMPORTAMIENTO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

La performance de una estructura es influenciada por los materiales utilizados en su construcción; por eso, es importante el conocimiento de sus propiedades y su comportamiento, para esta investigación, es el acero.

El acero es un material muy versátil, por su aplicación en edificios, puentes y diversas estructuras; además por sus ventajas como su gran resistencia, ductilidad, tenacidad, poco peso y otras que se describirán a continuación.

4.1. Ventajas y desventajas del acero como material estructural

Se presenta las siguientes tablas en las que se destacan las ventajas y desventajas más representativas del acero como material estructural.

Tabla 4. Ventajas del acero como material estructural. [Fuente. (McCorman, 2013)]

VENTAJAS	
Alta Resistencia	El bajo peso de estructuras viene dado por la alta resistencia por unidad de peso del acero; es beneficioso para lograr grandes luces en puentes, edificios altos y estructuras que presenten deficiencias en su cimentación.
Durabilidad	Las estructuras de acero, con el debido mantenimiento, durarán indefinidamente.
Uniformidad	Las propiedades del acero no varían notoriamente con el paso del tiempo a comparación de la estructuras de concreto armado.
Elasticidad	El acero sigue la Ley de Hooke hasta esfuerzos elevados, gracias a esto, su comportamiento se asemeja más a las hipótesis teóricas de diseño que otros materiales. Además, en comparación con valores obtenidos de estructuras de concreto armado, el cálculo de momentos de inercia de una estructura de acero es preciso.
Tenacidad	Poseen resistencia y ductilidad, es decir, un miembro de acero es capaz de resistir grandes fuerzas cuando presentan grandes deformaciones. Esto permite ser doblado, cortado, taladrarlo y martillarlos sin presentar daños durante su formación y montaje. La tenacidad puede ser también definida como la capacidad de absorción de grandes cantidades de energía.
Ampliación de estructuras	Las estructuras construidas con acero pueden ser ampliadas sin complejidad con adición de nuevos miembros y hasta crujeas completas.

Otras propiedades	Permite unión de miembros mediante tornillos, remaches y soldadura. Prefabricación de miembros Rapidez en el montaje Capacidad de laminación en diversas formas y tamaños Resistencia a fatiga Reúso y reciclado del material.
--------------------------	---

Tabla 5. Desventajas del acero como material estructural. [Fuente: (McCorman, 2013)]

DESVENTAJAS	
Fatiga	Cuando el elemento de acero estará sometido a inversiones del sentido de los esfuerzos o cambios de magnitud de esfuerzos de tensión, reduce su resistencia.
Fractura frágil	Las cargas que generan fatiga y las bajas temperaturas pueden producir la pérdida de ductilidad y conllevar a una falla frágil en lugares de concentración de esfuerzos.
Susceptibilidad al pandeo	El peligro de pandeo se genera en elementos largos y esbeltos sometidos a compresión. Para evitar el pandeo, en columnas, se debe rigidizar la sección para lo cual se utiliza mucho material lo que resulta poco económico.
Costo de mantenimiento	El acero debe pintarse regularmente para evitar la corrosión ocasionada por su exposición al aire y al agua. Muchas veces, para eliminar este costo, se utilizan aceros intemperizados.
Costo de protección contra el fuego	El acero conduce, excelentemente, el calor, pudiendo ocasionar que otros materiales se incendien; por tanto, se debe proteger con aislantes o colocar rociadores de agua para cumplir con las normas de seguridad.

4.2. Determinación de las propiedades físicas del acero

Para la determinación de la mayoría de propiedades del acero se realizan pruebas de laboratorio en perfiles de acero y probetas. Entre las que se destaca la prueba o ensayo a tracción.

La prueba a tracción se utiliza para determinar la resistencia, ductilidad, rigidez y tenacidad del material. Una probeta de acero se sujeta en una máquina de prueba y se somete a fuerzas de tracción en forma axial hasta la fractura. El procedimiento inicia sometiendo la probeta a la máquina de manera que se reduce el área de su sección transversal a la mitad de su longitud para localizar la zona de fractura. Luego se marca dos puntos en el sentido longitudinal

llamados puntos de calibración, la distancia entre estos es denominada longitud calibrada. Finalmente, se coloca la probeta en la máquina y se le aplica la fuerza de tracción. Los resultados se registran en curvas de esfuerzo-deformación, ambos términos serán definidos a continuación.

- Esfuerzo: Es llamado también esfuerzo nominal, es definido como la carga entre el área de la sección transversal inicial de la probeta.
- Deformación: Llamada también deformación nominal, es definida como el alargamiento de la probeta en la longitud calibrada.

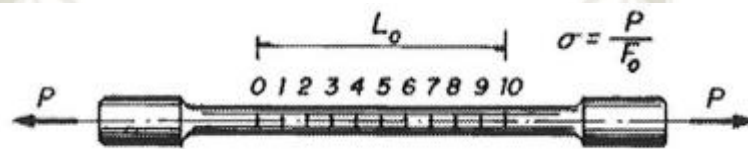


Figura 6. Probeta sometida a ensayo a tracción. [Fuente: (Tomás, 2002)]

Los diagramas de esfuerzo deformación presentan cuatro etapas típicas de comportamiento: elástico, plástico, endurecimiento por deformación y estricción que culmina con la fractura de la probeta.

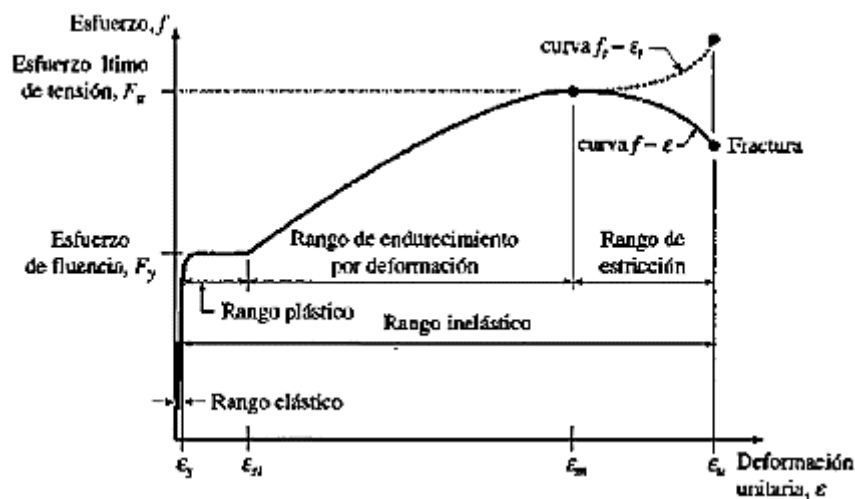


Gráfico 5. Diagrama típico del esfuerzo – deformación del acero. [Fuente: (Vinnakota, 2006)]

Se puede observar con claridad la linealidad de la curva hasta un nivel de esfuerzo, que corresponde al límite de proporcionalidad, lo que significa que el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación y el material se rige a la ley de Hooke. El nivel de fluencia se

alcanza con un esfuerzo ligeramente mayor, a este nivel hay un aumento sustancial de la deformación sin un aumento correspondiente de esfuerzo; se puede reconocer en el diagrama por una meseta larga y plana, llamada meseta de fluencia. Después de esta etapa, el diagrama empieza a tener una elevación que requiere un esfuerzo adicional para que se produzca una deformación, esto es conocido como endurecimiento por deformación, este efecto disminuye con el incremento de la deformación, en consecuencia el diagrama esfuerzo-deformación alcanza un valor de esfuerzo máximo, conocido como resistencia a la tracción o resistencia última y se puede obtener dividiendo la carga máxima aplicada entre el área de la sección transversal inicial; después de esto el alargamiento prosigue presentando disminución de la carga hasta la rotura de la probeta.

La estricción es la disminución visible del diámetro de la probeta y el estiramiento notable de su longitud; este proceso continúa hasta que, repentinamente, se rompe en la sección reducida.

La deformación de fractura (ϵ_u) es aquella a la cual falla la muestra. La deformación ocurrida antes del punto de fluencia se conoce como deformación elástica (ϵ_y). Aquella sufrida entre el punto de fluencia y el inicio del endurecimiento por deformación es la deformación plástica (ϵ_{st}) y puede equivaler entre 6 y 15 veces la deformación elástica (Vinnakota, 2006).

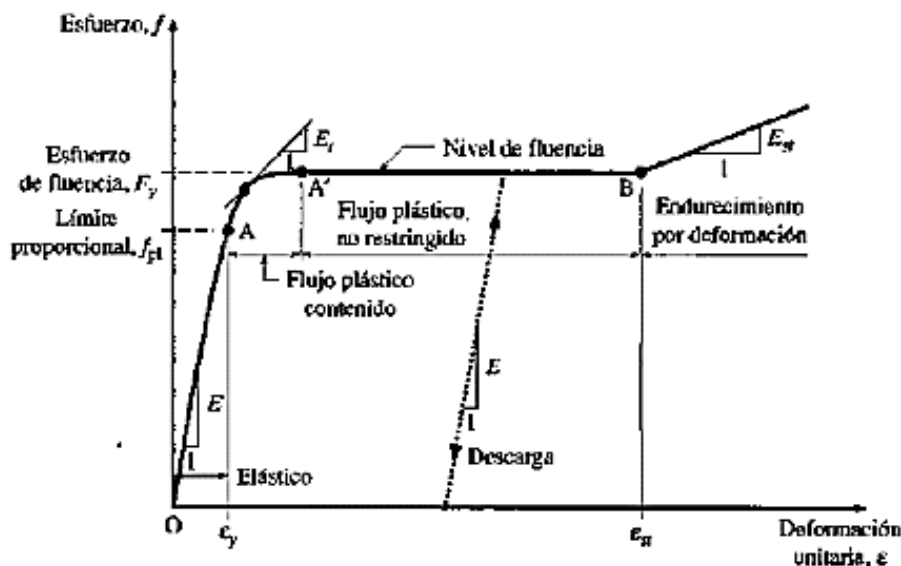


Gráfico 6. Tramo inicial de la curva esfuerzo – deformación. [Fuente: (Vinnakota, 2006)]

Se describirá el comportamiento del acero a través de las etapas que atraviesa durante el ensayo y su correspondiente formación del diagrama esfuerzo-deformación:

Rango elástico. Es delimitado por el límite de elasticidad, hasta donde el material se comporta elásticamente, siguiendo la Ley de Hooke. En la práctica, es tomado cuando se llega a una deformación de 0.001 % luego de la descarga.

Este rango tiene dos zonas: la primera donde se cumple la Ley de Hooke en su totalidad y llega hasta el límite de proporcionalidad. La segunda donde no hay proporcionalidad entre las cargas y las deformaciones; sin embargo, se sigue considerando elástico.

Como se mencionó anteriormente, los límites de elasticidad y proporcionalidad difieren muy poco.

Rango elasto plástico. Cuando el esfuerzo supera el límite elástico, se producen deformaciones permanentes, por lo tanto, el material no recupera sus dimensiones iniciales. Mientras va aumentando el esfuerzo, la gráfica corresponde a una función en la que va disminuyendo su valor de tangente, volviéndose plana en el tramo final, en el último punto de este rango se da lugar al esfuerzo de fluencia.

Rango plástico. Cuando se supera el límite de fluencia, el acero se encuentra fluyendo donde ocurre un incremento de deformaciones y no de esfuerzos, éstos oscilan entre los límites de fluencia inferior y superior. De acuerdo a estudios, en la fluencia se presentan deslizamientos relativos de cristales del acero, los que consecuentemente generan las “líneas de Chernov-Luders” formadas a 45° del eje longitudinal.

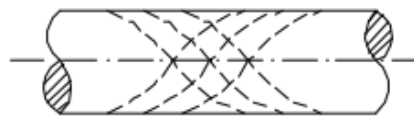


Figura 7. Formación de las líneas de Chernov – Luders. [Fuente: (Universidad Nacional del Nordeste, 2004)]

Rango de Endurecimiento y Estricción. Luego del deslizamiento de cristales, éstos tienden a acomodarse, ya que después de la fluencia se produce un re endurecimiento generando incremento de capacidad al soporte de esfuerzos mayores; a su vez, las deformaciones son muy grandes.

El esfuerzo sigue incrementando hasta el esfuerzo de rotura, donde cae abruptamente hasta que se produce la deformación de rotura, donde también se produce la rotura real y física del material.

La probeta puede seguir soportando esfuerzos, entrando al rango de estricción; este fenómeno se manifiesta con la reducción de la sección transversal de la pieza (Universidad Nacional del Nordeste, 2004).



Figura 8. Estricción del acero. [Fuente: (Universidad Nacional del Nordeste, 2004)]

4.2.1. Límite elástico

Cuando se inicia la carga y se aplica una pequeña fuerza a la probeta, los enlaces entre los átomos se dilatan y la probeta se estira; si se elimina la fuerza, los enlaces recuperan su longitud original y en consecuencia la muestra su tamaño y forma iniciales. Si se incrementa la magnitud de la fuerza, el fenómeno mencionado seguirá ocurriendo mientras el material se comporte elásticamente. En algún momento se llegará a un esfuerzo que produzca deslizamiento plástico y genere una deformación permanente del material. Cuando se elimina la fuerza, la parte elástica de la deformación se recupera, pero el alargamiento por deslizamiento permanece, esto es conocido como deformación permanente, el nivel de esfuerzo que le corresponde es denominando límite elástico del material. Usualmente se considera que el límite proporcional y el límite elástico ocurren en el mismo punto de la curva, ya que es difícil distinguirlos.

4.2.2. Módulo de elasticidad

Conocido también como módulo de Young, es la pendiente del diagrama esfuerzo deformación en la parte elástica, es decir, la razón entre el incremento del esfuerzo y la variación de deformación unitaria, se considera una medida de la rigidez del material en el rango elástico.

Los valores de módulo de elasticidad son válidos tanto para tracción como para compresión, lo que significa que es independiente del esfuerzo mientras no exceda el límite elástico.

Este módulo difícilmente varía y permanece constante para todos los aceros con carbono, se toma un valor de 29 000 Ksi para cálculos de diseño que equivale aproximadamente a 2 000 000 Kg/cm².

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\text{esfuerzo}}{\text{deformación unitaria}}$$

4.2.3. Esfuerzo de fluencia (f_y)

Es el esfuerzo alcanzado en el punto de fluencia sin causar deformaciones plásticas.

4.2.4. Módulo tangente (e_t)

La pendiente de una tangente sobre cualquier punto de la curva esfuerzo-deformación se llama módulo tangente y representa la rigidez en el rango inelástico.

4.2.5. Módulo de endurecimiento por deformación (e_{st})

La pendiente de la curva esfuerzo-deformación en la zona de endurecimiento por deformación se define como módulo de endurecimiento por deformación, presenta su valor más alto al comienzo del endurecimiento por deformación y es muy variable.

4.2.6. Ductilidad

Es la capacidad de un material a ser sometido a grandes deformaciones sin quebrarse, una forma de medir la ductilidad es mediante el porcentaje de elongación de la longitud calibrada de la muestra en la prueba a tracción. Se puede calcular multiplicando por cien la variación de la longitud calibrada, dividida entre la longitud calibrada inicial.

La alta ductilidad del acero permite el diseño estructural utilizando algunas hipótesis simplificadas, pero no completamente correctas para su buen comportamiento, esto debido a redistribuciones de esfuerzos gracias a la ductilidad, una desventaja de esto es que al sobrecargar la estructura se generan grandes deflexiones, evidenciando una falla. La reducción de ductilidad puede generar fracturas frágiles o por fatiga.

4.2.7. Módulo de Poisson (μ)

Cuando una barra se alarga por tracción axial, simultáneamente, se genera reducción de dimensiones transversales. Para esfuerzos que se encuentren debajo del límite proporcional, el

factor de las deformaciones unitarias en las direcciones transversal y longitudinal es una constante conocido como módulo de Poisson.

Para el acero tiene un valor de alrededor 0.3 en el rango elástico y 0.5 en el rango plástico.

4.2.8. Módulo de elasticidad por cortante (G)

Conocido como módulo de rigidez, es la razón entre el esfuerzo cortante y la deformación unitaria cortante en el límite elástico. Para cálculos de diseño para todos los aceros estructurales se toma un valor de 11 200 Ksi (Vinnakota, 2006).

4.3. Comportamiento de miembros de acero bajo cargas a compresión

Los miembros de gran longitud cargados axialmente a compresión fallan por flexión lateral repentina o pandeo, cada miembro posee una carga crítica que, cuando es alcanzada, falla por pandeo, aunque la carga axial no genere un esfuerzo unitario promedio que alcance el valor del esfuerzo de fluencia del material. Estos elementos largos se pandean elásticamente y su correspondiente esfuerzo de pandeo queda debajo del límite de proporcionalidad. Los miembros de longitud intermedia pueden fallar por pandeo, pero durante este, algunas de sus fibras llegan al esfuerzo de fluencia y se dice que su comportamiento es inelástico.

Para tener un conocimiento amplio del comportamiento de miembros de acero bajo cargas a compresión, es necesario tener claras las variables de las cuales depende. Una de estas son las restricciones en los extremos que, mientras más apreciables sean, se logrará una mayor capacidad de soportar cargas. La longitud efectiva es la distancia entre puntos de inflexión, en la cual se introduce un factor por el que se multiplica a la longitud de la columna para expresar el efecto de las restricciones en los extremos. Mientras menor sea la longitud efectiva, mayor será su capacidad de carga debido a la disminución de peligro de pandeo.

Para determinar la resistencia de elementos a compresión es importante conocer el esfuerzo crítico (F_{cr}) que produce el pandeo, este recibe la influencia de la relación de esbeltez efectiva (KL/r) del elemento con la que se puede calcular la relación límite ancho espesor (λ_c), la que permite determinar si el elemento se pandeará en el intervalo elástico o inelástico.

La siguiente figura describe lo mencionado.

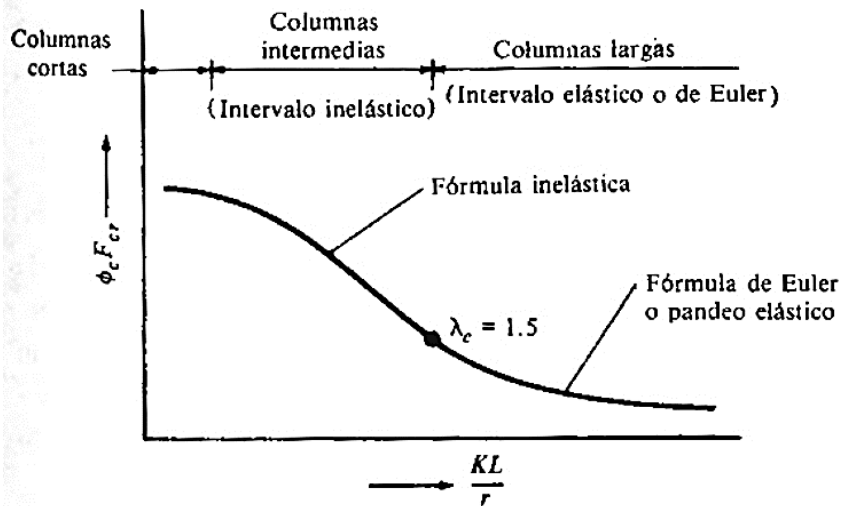


Gráfico 7. Clasificación de elementos a compresión de acuerdo a su relación de esbeltez.
[Fuente: (McCormac, 2013)]

Las siguientes ecuaciones determinan la curva de la figura anterior.

$$\lambda_c = \frac{KL}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}}$$

$$F_{cr} = (0.658\lambda_c^2) F_y \text{ para } \lambda_c \leq 1.5$$

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2}\right) F_y \text{ para } \lambda_c > 1.5$$

Los miembros a compresión deben cumplir, de preferencia con relaciones de esbeltez menores a 200.

A pesar que las propiedades mecánicas del acero son válidas tanto para elementos a tracción como a compresión, su comportamiento difiere, principalmente, por la ocurrencia de pandeo en los elementos comprimidos. Mientras para los elementos a tracción, la resistencia está determinada prácticamente por la sección y el esfuerzo de fluencia del material; para los elementos a compresión, intervienen otras variables entre las que destacamos la longitud y los soportes que van a determinar su real comportamiento.

4.4. Comportamiento de miembros de acero bajo cargas combinadas de flexión y axial

La combinación de esfuerzos por flexión y carga axial en miembros estructurales es mucho más común de lo que se cree, probablemente, esto se deba a la poca posibilidad de colocar y centrar exactamente las cargas axiales sobre los elementos en mención, además de sus defectos de fábrica.

Los momentos flexionantes en miembros a tracción no son tan peligrosos, debido a que esta fuerza reduce las deflexiones laterales; en cambio, en los miembros a compresión la fuerza las incrementa. Las deflexiones laterales producen incrementos de momentos y esto a su vez mayores deflexiones laterales, produciéndose un ciclo de dependencia.

Este comportamiento puede describirse mediante las siguientes formulas

$$\text{Si } \frac{P_u}{\phi_t P_n} > 0.2$$

$$\frac{P_u}{\phi_t P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

$$\text{Si } \frac{P_u}{\phi_t P_n} < 0.2$$

$$\frac{P_u}{2\phi_t P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1$$

En estas ecuaciones se describen los términos P_u y M_u son las resistencias requeridas por tracción y por flexión, P_n y M_n son las resistencias nominales por tracción y por flexión, ϕ_t y ϕ_b son factores de resistencia.

Se usan estas mismas ecuaciones para miembros sujetos a flexo tracción como a flexo compresión; sin embargo, algunos términos se modifican. Tal es el caso de P_u y P_n se refieren a fuerzas de compresión y no a fuerzas de tracción, $\phi_t = 0.9$ para tracción axial, $\phi_c = 0.85$ para compresión axial y $\phi_b = 0.9$ para flexión.

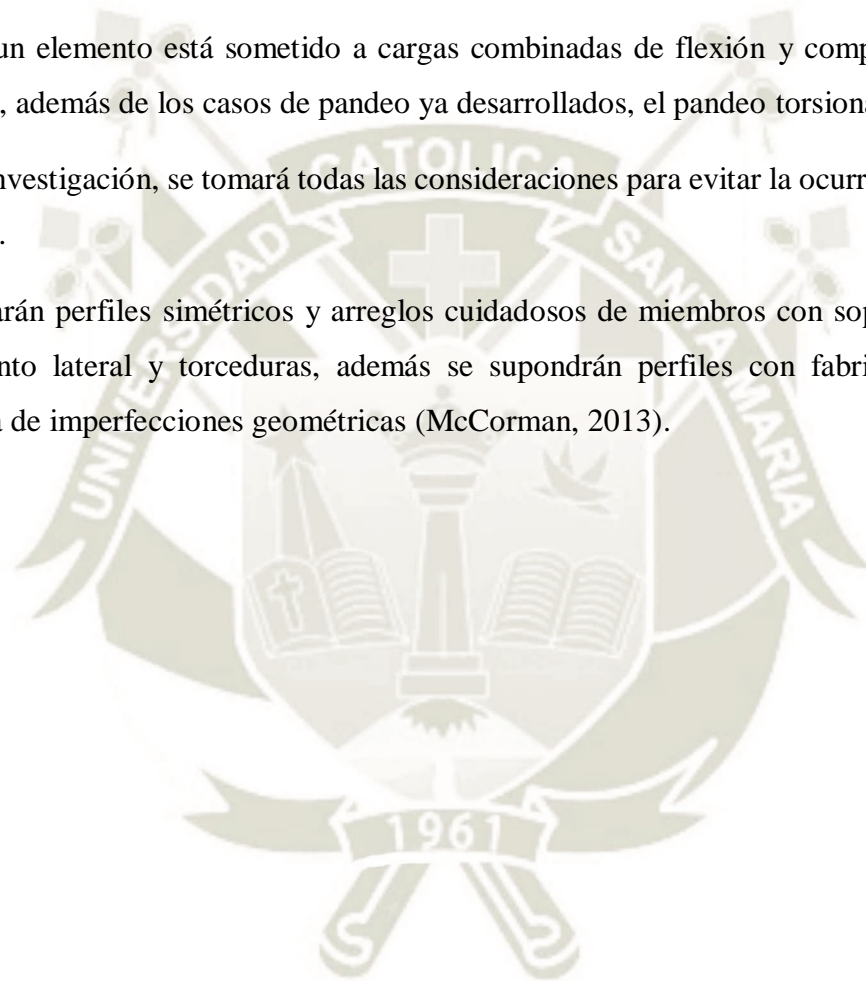
Como se explicó con anterioridad, los momentos flexionantes son más críticos cuando se aplican en elementos que ya soportan cargas axiales a compresión, disminuyendo drásticamente su capacidad de resistencia de dichas cargas combinadas, esta es una consideración sumamente importante en el proceso de análisis y diseño de los elementos estructurales.

4.5. Consideración de pandeo torsional o flexo torsional

Cuando un elemento está sometido a cargas combinadas de flexión y compresión, se puede presentar, además de los casos de pandeo ya desarrollados, el pandeo torsionante.

En esta investigación, se tomará todas las consideraciones para evitar la ocurrencia de este tipo de efecto.

Se utilizarán perfiles simétricos y arreglos cuidadosos de miembros con soportes que eviten movimiento lateral y torceduras, además se supondrán perfiles con fabricación ideal sin presencia de imperfecciones geométricas (McCorman, 2013).



CAPÍTULO 5. UTILIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE PUSHOVER PARA EL ANÁLISIS ANTE CARGAS DE VIENTO EN ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA

5.1. Introducción al análisis no lineal

El análisis no lineal es una técnica que tiene por objetivo obtener respuestas estructurales de la manera más realista, para esto se toma en cuenta el comportamiento de los materiales y de la estructura.

Los métodos inelásticos de análisis demuestran cómo trabajan realmente las edificaciones de modo que se puede identificar los modos de falla y evaluar el potencial de colapso paulatino. El uso de procedimiento para diseño y análisis es un intento de ayuda para que los ingenieros entiendan mejor cómo las estructuras pueden comportarse cuando son sometidos a grandes eventos sísmicos, donde se asume que la capacidad elástica de la estructura será excedida. El diseño de estructuras que, bajo cargas dinámicas se mantienen en el rango elástico, es un criterio poco realista y a la vez generaría altos costos.

Existen diversos métodos de análisis; sin embargo, en esta investigación se comentará sobre dos de los métodos que generalmente son utilizados para el análisis no lineal; análisis dinámico no lineal (Tiempo – Historia) y análisis estático no lineal (Pushover).

El análisis dinámico no lineal es un método altamente sofisticado que permite simular de manera más realista el comportamiento de las estructuras; por lo cual, es utilizado para estructuras de mayor importancia. Para la realización de este tipo de análisis, es necesario el uso de registros sísmicos que son aplicados a la estructura; sin embargo, optar por este análisis para esta investigación, demandaría el uso de dichos registros, para este caso, registros dinámicos del viento. Se tiene la incerteza de su existencia y, en caso de existir, su dificultad de obtención exigiría una mayor intervención de tiempo en el desarrollo de la investigación.

Ante lo anteriormente mencionado, este método no será utilizado por su complejidad y poca practicidad, ya que esta investigación está enfocada en estructuras cuya simplicidad no lo demanda.

Por lo contrario, se optará por realizar el análisis estático no lineal que, debido a su mayor practicidad y uso, es un medio más coherente para el logro de los objetivos de esta investigación.

5.2. Análisis estático no lineal (Análisis Pushover)

Es considerado un método intermedio entre el análisis elástico lineal y el dinámico no lineal.

El análisis estático no lineal de carga incremental llamado Pushover es una técnica práctica para encontrar la respuesta de una estructura, significando un método mejorado en comparación con el análisis tradicional que se basa en la teoría lineal.

Consiste en aplicar un patrón de cargas lateral que se incrementa en la misma dirección hasta llevar a la edificación a su rango plástico o hasta su colapso, mientras se produce el incremento de cargas se debe ir controlando el cortante basal y el desplazamiento del punto de control que, usualmente, es el centro de masas del último nivel. Además, permite identificar los elementos que primero sufren la plastificación y luego trazar la curva de capacidad de la estructura obtenidos a partir de los cortantes basales y los desplazamientos, esta gráfica define la respuesta esperada de la estructura.

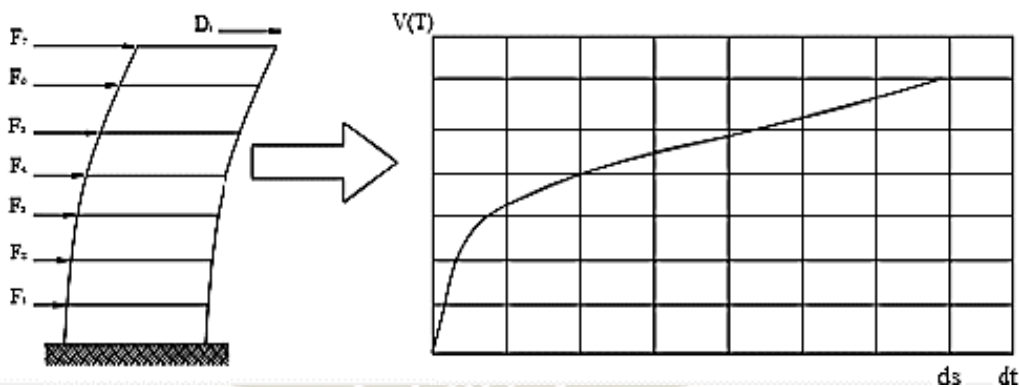


Figura 9. Descripción gráfica de la técnica pushover. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)]

La rigidez inicial de la estructura es determinada por la pendiente inicial de la curva de capacidad en la cual podemos observar que, a medida que el desplazamiento aumenta, la rigidez disminuye; en consecuencia, la capacidad de la estructura en soportar fuerzas.

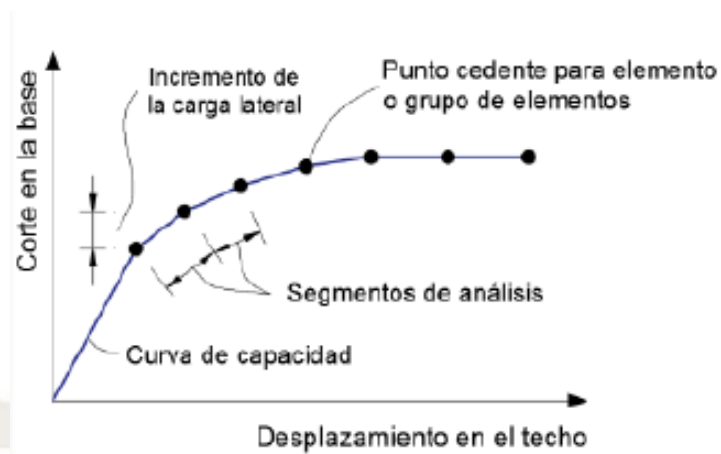


Figura 10. Descripción gráfica de la curva de capacidad de una estructura. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)]

Es importante que, en los modelos de las estructuras, sometidos a este análisis, se incluyan las propiedades no lineales de los materiales. Esto se realiza asignando rótulas plásticas a los elementos estructurales de acuerdo a su comportamiento, las rótulas indican cuáles son sus capacidades de fluencia y última mediante curvaturas, rotaciones y desplazamientos. Dichas rótulas van apareciendo en cada incremento evidenciando los mecanismos de falla que pueden llevar finalmente al colapso de la estructura.

5.3. Validación del análisis pushover en modelos computarizados

Para la realización de esta investigación, es importante la utilización de la técnica pushover, por practicidad esta técnica se realizará mediante el uso de análisis computarizados, ante esto, es muy importante tener la confiabilidad de los resultados que se puedan obtener, para esto se realizará la validación de un modelo simple que no presenta las características de los modelos de la investigación ya que, para esos modelos, se pretende realizar modificaciones en la técnica, sin modificar sus principios. Es decir, se hará la validación de un modelo cumpliendo con las características y conceptos establecidos para un análisis pushover ante fuerzas sísmicas.

Para este propósito se considera un pórtico simple de 3 niveles compuesto por tres columnas de 60x20 cm y vigas de 25x50 cm en todos los niveles. Se muestra el pórtico a analizar en la siguiente figura.

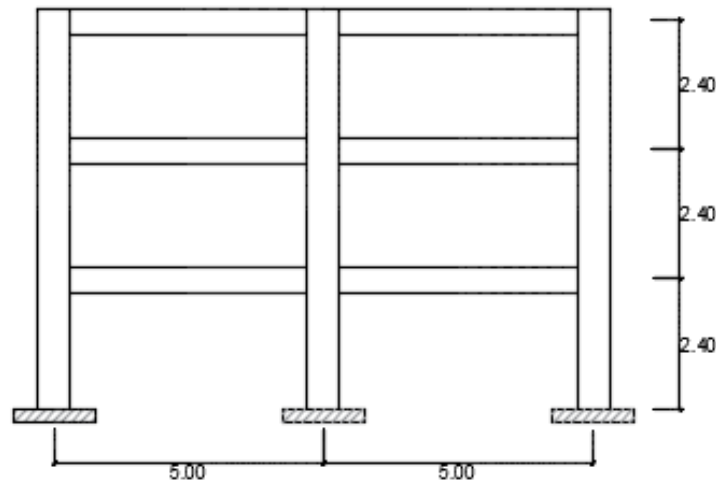


Figura 11. Pórtico a analizar (medidas en metros). [Fuente: Elaboración propia]

Se realizará el análisis modal y el análisis pushover en el Software “Etabs 2016”, con los resultados obtenidos se realizará una comparación con cálculos manuales para el análisis modal y con un análisis paso a paso para el análisis pushover.

5.3.1. Comparación del análisis modal y pushover

Se debe realizar el análisis no lineal del modelo, para esto, se necesitan de diagramas momento-curvatura de los elementos que conforman este modelo, es decir, tanto para columnas y vigas. Para hacer práctico este análisis, se considera diagramas de momento-curvatura irreales, en los cuales al llegar a la fluencia reflejará su capacidad máxima. Representando así en la siguiente figura lo mencionado.

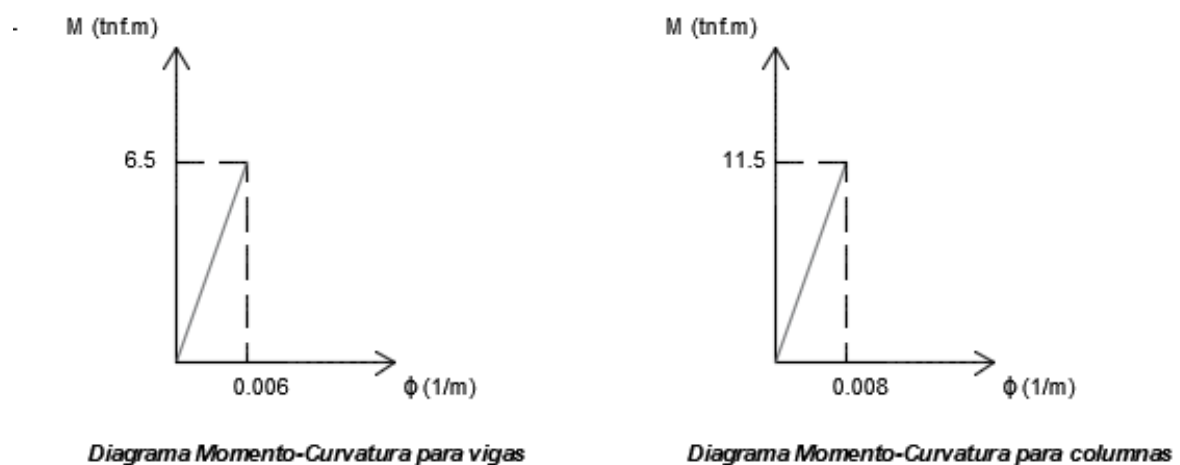


Gráfico 8. Diagramas momento curvatura a utilizar en el ejemplo. [Fuente: Elaboración propia]

Estos diagramas no reflejan cómo se comportarán los elementos en la realidad, indicando que cuando lleguen a la fluencia no tendrán capacidad de desplazarse; sin embargo, por ser un ejemplo académico, el análisis se realizará de esta forma, ya que el concepto de desarrollar el análisis pushover no cambia.

El pórtico a analizar se muestra en la siguiente figura.

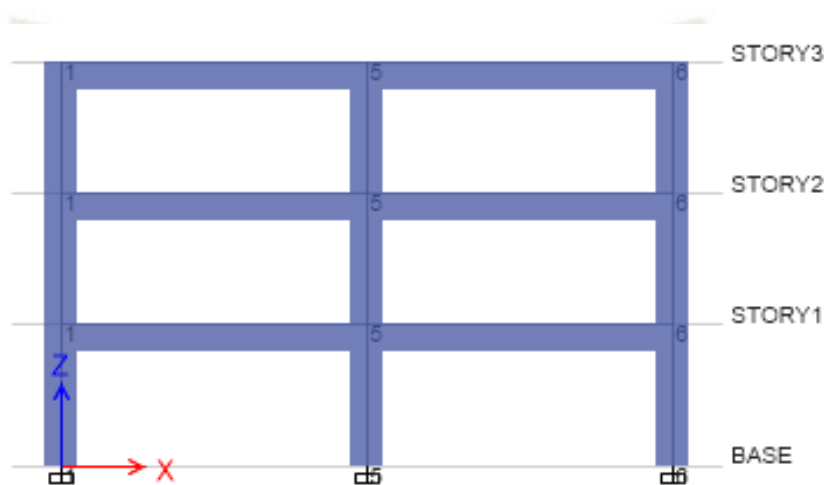


Figura 12. Modelo del pórtico a analizar. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se procede a definir las rótulas plásticas “Hinges” para cada elemento, las cuales serán conformados por valores de los diagramas momento – curvatura anteriormente mostrados.

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	0	-0.006
D-	-6.5	0
C-	-6.5	0
B-	-6.5	0
A	0	0
B	6.5	0
C	6.5	0
D	6.5	0
E	0	0.006

El gráfico de momento-curvatura muestra una curva que comienza en el origen (0,0), se mueve hacia abajo a la izquierda hasta el punto D- (-6.5, 0), luego hacia arriba a la izquierda hasta el punto E- (0, -0.006), luego hacia arriba a la derecha hasta el punto E (0, 0.006), y finalmente hacia abajo a la derecha hasta el punto D (6.5, 0). El gráfico también muestra una línea horizontal en M=0 y una línea vertical en C=0. Se indica que el modelo es simétrico.

Figura 13. Inserción de datos del diagrama momento curvatura de las vigas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

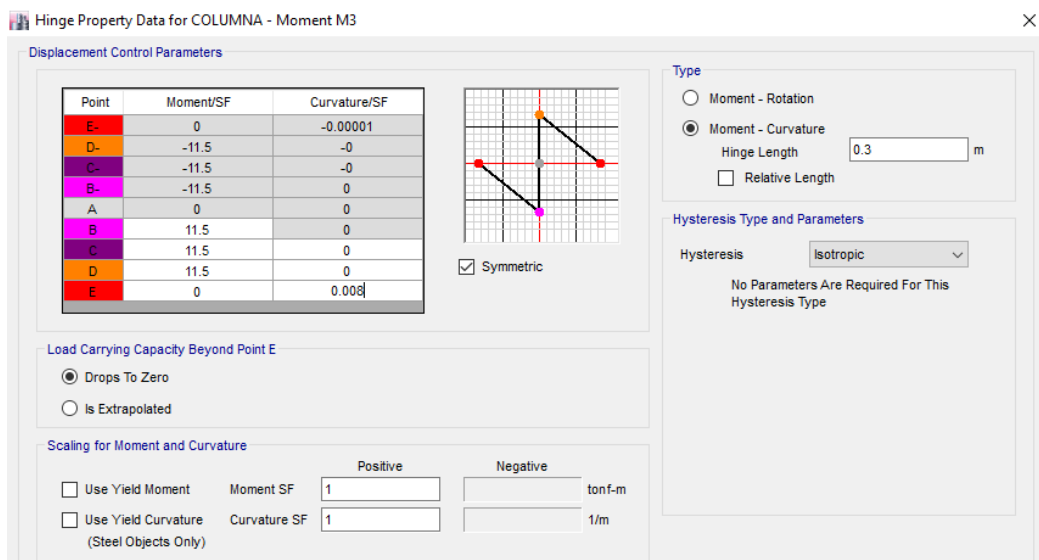


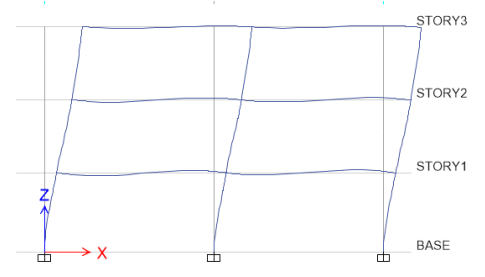
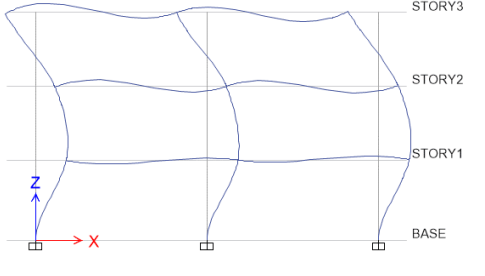
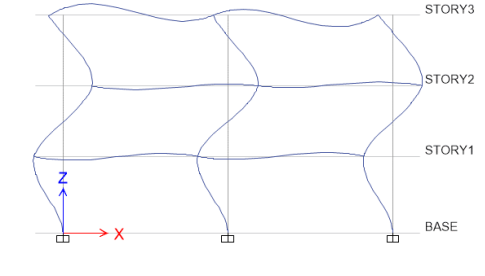
Figura 14. Inserción de datos del diagrama momento curvatura de las columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se puede observar en las figuras previas que, se define por defecto un valor de cero a la curvatura del punto “B”, esto se debe a que el software considera a la curvatura de fluencia despreciable en comparación de la curvatura última. Además, se debe considerar una longitud equivalente de rótula para convertir el diagrama de momento – curvatura a un diagrama de momento – rotación que es con el que el software trabaja. Esta longitud se tomará como la mitad del peralte de los elementos (Paulay & Priestley, 1992).

Es importante realizar un análisis dinámico con el fin de determinar si existen modos de vibración altos que aporten mayor masa a la respuesta final de la estructura que, por lo general, es el primer modo de vibración al cual se denomina modo fundamental.

Después de un análisis modal se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 6. Resultados obtenidos del análisis modal computarizado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

<p>1er Modo de Vibración</p> <p>T = 0.138 seg</p> <p>Porcentaje de participación de masa: 85.15%</p>	
<p>2do Modo de Vibración</p> <p>T = 0.041 seg</p> <p>Porcentaje de participación de masa: 12.07%</p>	
<p>3er Modo de Vibración</p> <p>T = 0.022 seg</p> <p>Porcentaje de participación de masa: 2.78%</p>	

Para confirmar que estos valores sean correctos, se procede a realizar el mismo análisis manualmente, es por eso que será necesario conocer las propiedades de los materiales intervinientes.

- Peso específico del concreto: 2.4 Tnf/m³
- Módulo de Elasticidad del concreto: 2173706.512 Tnf/m²
- Resistencia del concreto: 210 kgf/cm²

Se debe considerar una rigidez axial infinita para todos los elementos, asumiendo la condición de diafragma rígido (vigas).

Seguidamente se debe calcular la masa (m) correspondiente a cada nivel, para esto se considera a la estructura como un sistema idealizado donde la masa se concentra en la parte superior de cada nivel.

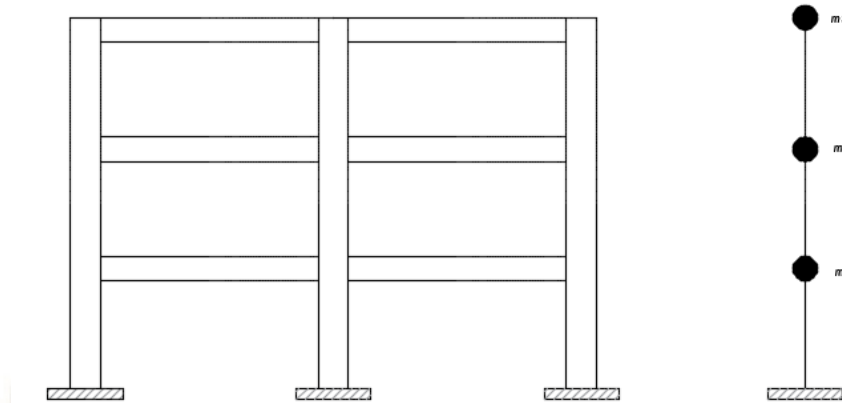


Figura 15. Sistema Idealizado de masas. [Fuente: Elaboración propia]

El peso correspondiente a cada nivel fue calculado siguiendo el siguiente criterio respecto a su peso tributario.

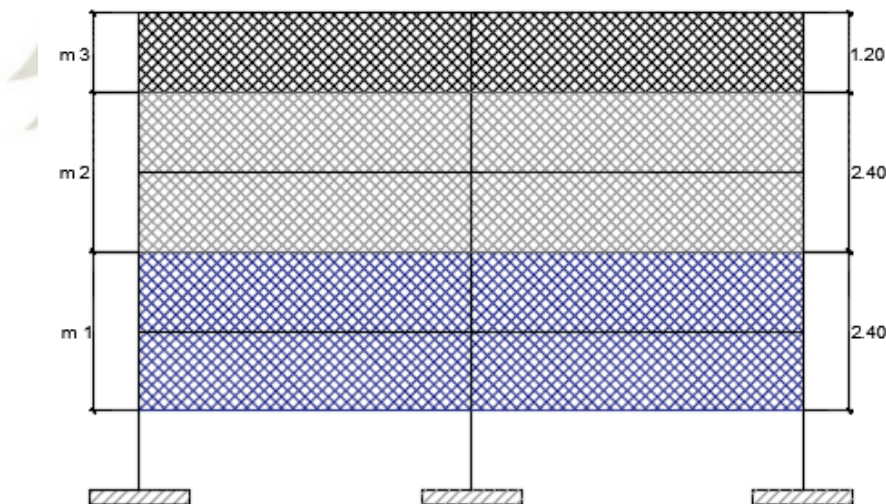


Figura 16. Representación de la distribución de masa por nivel. [Fuente: Elaboración propia]

Se considera que:

$$m_i = \frac{W_i}{g}$$

Donde:

m_i : Masa del nivel i (Tnf.s²/m)

W_i : Peso del nivel i (Tnf)

g : Aceleración de la gravedad (9.81 m/s²)

Tabla 7. Distribución de masa por nivel. [Fuente: Elaboración propia]

	Pesos según software (Tnf)	Pesos calculados (Tnf)	Masa (Tnf.s ² /m)
1° Nivel	5.074	5.074	0.517
2° Nivel	5.074	5.074	0.517
3° Nivel	4.037	4.037	0.412
Total	14.185	14.185	

Para llevar a cabo el análisis modal de la estructura, se define los grados de libertad que esta tendrá. Definiendo así un grado de libertad traslacional y tres rotacionales por nivel, como se muestra en la siguiente figura.

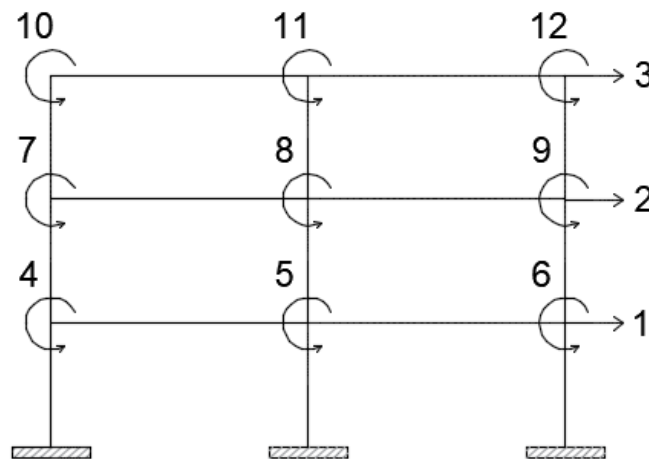


Figura 17. Grados de libertad del modelo en análisis. [Fuente: Elaboración propia]

Debido a que la masa se concentró en la parte superior de cada nivel, solo los grados de libertad traslacionales poseerán masa. Asignando así el valor de cero al resto de grados de libertad (del 4 al 12).

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix} 0.517 & 0 & 0 \\ 0 & 0.517 & 0 \\ 0 & 0 & 0.412 \end{bmatrix} \text{ Tnf.s}^2/\text{m}$$

Para calcular la matriz de rigidez se utilizó los siguientes coeficientes de rigidez para un elemento a flexión. (Chopra, 2014)

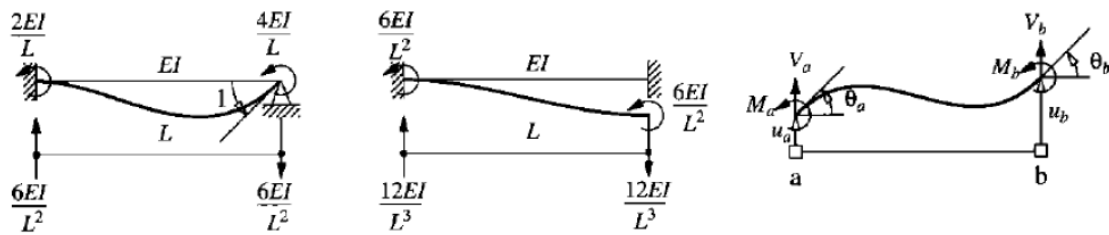


Figura 18. Coeficientes de rigidez de elementos sometidos a flexión. [Fuente: (Chopra, 2014)]

Para simplificar el cálculo de esta matriz, se hace uso de la condensación estática, que se utiliza para eliminar aquellos grados de libertad de una estructura a los que se les haya asignado como masa el valor de cero; sin embargo, estos sis estarán presentes en un análisis estático. (Chopra, 2014)

Ante esto se aplica la siguiente formula:

$$\hat{\mathbf{k}}_{tt} = \mathbf{k}_{tt} - \mathbf{k}_{Ot}^T \mathbf{k}_{00}^{-1} \mathbf{k}_{Ot}$$

$$k = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} & k_{17} & k_{18} & k_{19} & k_{110} & k_{111} & k_{112} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} & k_{27} & k_{28} & k_{29} & k_{210} & k_{211} & k_{212} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} & k_{37} & k_{38} & k_{39} & k_{310} & k_{311} & k_{312} \\ \hline k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} & k_{47} & k_{48} & k_{49} & k_{410} & k_{411} & k_{412} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} & k_{57} & k_{58} & k_{59} & k_{510} & k_{511} & k_{512} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} & k_{67} & k_{68} & k_{69} & k_{610} & k_{611} & k_{612} \\ k_{71} & k_{72} & k_{73} & k_{74} & k_{75} & k_{76} & k_{77} & k_{78} & k_{79} & k_{710} & k_{711} & k_{712} \\ k_{81} & k_{82} & k_{83} & k_{84} & k_{85} & k_{86} & k_{87} & k_{88} & k_{89} & k_{810} & k_{811} & k_{812} \\ k_{91} & k_{92} & k_{93} & k_{94} & k_{95} & k_{96} & k_{97} & k_{98} & k_{99} & k_{910} & k_{911} & k_{912} \\ k_{101} & k_{102} & k_{103} & k_{104} & k_{105} & k_{106} & k_{107} & k_{108} & k_{109} & k_{1010} & k_{1011} & k_{1012} \\ k_{111} & k_{112} & k_{113} & k_{114} & k_{115} & k_{116} & k_{117} & k_{118} & k_{119} & k_{1110} & k_{1111} & k_{1112} \\ k_{121} & k_{122} & k_{123} & k_{124} & k_{125} & k_{126} & k_{127} & k_{128} & k_{129} & k_{1210} & k_{1211} & k_{1212} \end{bmatrix}$$

$$k = \begin{bmatrix} k_{tt} & k_{t0} \\ k_{Ot} & k_{00} \end{bmatrix}$$

En esta ocasión la estructura presenta 12 grados de libertad, lo que conlleva a tener una matriz de rigidez de 12 x 12; sin embargo, al condensar la matriz de rigidez se obtendrá una de 3 x 3 ya que son 3 los grados de libertad que presentan masa.

La estructura presenta la siguiente matriz de rigidez calculada:

$$\begin{bmatrix}
 121466.821 & -68013.141 & 0 & -1103.834 & -9746.634 & -1103.834 & -8324.411 & -6631.199 & -8324.411 & 0 & 0 & 0 \\
 -68013.141 & 137934.743 & -68013.141 & 8324.411 & 6631.199 & 8324.411 & 0 & 0 & 0 & -8324.411 & -6631.199 & -8324.411 \\
 0 & -68013.141 & 68013.141 & 0 & 0 & 0 & 8324.411 & 6631.199 & 8324.411 & 8324.411 & 6631.199 & 8324.411 \\
 -1103.834 & 8324.411 & 0 & 29135.643 & 2045.789 & 0 & 6631.199 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -9746.634 & 6631.199 & 0 & 2045.789 & 210324.524 & 2045.789 & 0 & 52274.963 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1103.834 & 8324.411 & 0 & 0 & 2045.789 & 29135.643 & 0 & 0 & 6631.199 & 0 & 0 & 0 \\
 -8324.411 & 0 & 8324.411 & 6631.199 & 0 & 0 & 30245.932 & 2045.789 & 0 & 6631.199 & 0 & 0 \\
 -6631.199 & 0 & 6631.199 & 0 & 52274.963 & 0 & 2045.789 & 217352.543 & 2045.789 & 0 & 52274.963 & 0 \\
 -8324.411 & 0 & 8324.411 & 0 & 0 & 6631.199 & 0 & 2045.789 & 30245.932 & 0 & 0 & 6631.199 \\
 0 & -8324.411 & 8324.411 & 0 & 0 & 0 & 6631.199 & 0 & 0 & 18043.623 & 2045.789 & 0 \\
 0 & -6631.199 & 6631.199 & 0 & 0 & 0 & 0 & 52274.963 & 0 & 2045.789 & 1125534.723 & 2045.789 \\
 0 & -8324.411 & 8324.411 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6631.199 & 0 & 2045.789 & 18043.623
 \end{bmatrix}$$

Al condensar dicha matriz se obtiene la siguiente:

$$k_{tt} = \begin{bmatrix} 95045.845 & -59201.831 & 15203.499 \\ -59201.831 & 67324.698 & -27389.601 \\ 15203.499 & -27389.601 & 15432.567 \end{bmatrix} \text{ tnf/m}$$

Ya calculadas las matrices de masa y rigidez, se puede hallar los modos de vibración, periodos y el porcentaje de participación de masa siguiendo los siguientes pasos.

Se debe partir de la ecuación que define la vibración libre de sistemas de varios grados de libertad

$$[M][\ddot{u}] + [k][u] = [0]$$

Donde:

$[M]$: Matriz de masas de la estructura.

$[k]$: Matriz de rigideces de la estructura.

$[u]$: Matriz de desplazamientos de la estructura.

$[\ddot{u}]$: Matriz de aceleraciones de la estructura.

Sabiendo que:

Desplazamiento: $[u(t)] = [\phi_n]\{\text{sen}(w_n t)\}$

Velocidad: $[\dot{u}(t)] = [\phi_n]\{w \cos(w_n t)\}$

Aceleración: $[\ddot{u}(t)] = [\phi_n]\{-w_n^2\}\{\text{sen}(w_n t)\}$

Al reemplazar en la ecuación de movimiento, se obtiene lo siguiente:

$$[M][\phi_n]\{-w_n^2\}\{\text{sen}(w_n t)\} + [k][\phi_n]\{\text{sen}(w_n t)\} = [0]$$

$[\phi_n]$ (Modos de vibración) Representa la forma de vibrar de la estructura, la cual no varía con el tiempo.

La solución se establece cuando

$$\{[k] - w_n^2[M]\}[\phi_n] \text{sen}(w_n t) = 0$$

Entonces

$$\{[k] - w_n^2[M]\}[\phi_n] = 0$$

La ecuación algebraica anterior es conocida como el “problema del autovalor o eigenvalor” y una sus soluciones es la siguiente:

$$[k] [\phi_n] = w_n^2 [M] [\phi_n]$$

$$[M]^{-1} [k] [\phi_n] = w_n^2 [\phi_n]$$

Donde las raíces de w_n^2 determinan las frecuencias naturales de acuerdo al número de modos de vibración que se calculen, que en esta ocasión serán 3. Al dar solución a esta ecuación, los resultados obtenidos son:

$$w_{n1}^2 = 89520.22133 \text{ (rad/s)}^2 \qquad w_{n1} = 299.1993003 \text{ rad/s}$$

$$w_{n2}^2 = 2043.290596 \text{ (rad/s)}^2 \qquad w_{n2} = 45.20277199 \text{ rad/s}$$

$$w_{n3}^2 = 25955.56713 \text{ (rad/s)}^2 \qquad w_{n3} = 161.1073156 \text{ rad/s}$$

La frecuencia menor corresponderá al primer modo de vibración, a su vez la mayor corresponderá al tercer modo de vibración. Para obtener los periodos de vibración, se hará uso de la ecuación $T = \frac{2\pi}{w_n}$ y para conocer los diferentes modos de vibración se necesitará reemplazar las frecuencias angulares en la ecuación solución autovalor o eigenvalor.

Seguidamente se presenta los resultados obtenidos manualmente y los resultados extraídos del software “Etabs 2016”.

Tabla 8. Comparación de análisis modal manual y computacional. [Fuente: Elaboración Propia]

N° Modo	Valores calculados Manualmente			Valores Extraídos del Software		
	T (s)	$[\phi_n]$	Participación de masa (%)	T (s)	$[\phi_n]$	Participación de masa (%)
1° Modo	0.139	$\begin{bmatrix} 0.27 \\ 0.68 \\ 1 \end{bmatrix}$	84.27%	0.138	$\begin{bmatrix} 0.28 \\ 0.69 \\ 1 \end{bmatrix}$	85.15%
2° Modo	0.039	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0.69 \\ -0.99 \end{bmatrix}$	12.72%	0.041	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0.71 \\ -0.96 \end{bmatrix}$	12.07%
3° Modo	0.021	$\begin{bmatrix} -1 \\ 0.82 \\ -0.33 \end{bmatrix}$	3.01%	0.022	$\begin{bmatrix} -1 \\ 0.88 \\ -0.39 \end{bmatrix}$	2.78%

Ahora se realiza el análisis estático no lineal del modelo. Para la realización de este análisis se define el caso de carga no lineal que considera que la descarga de la estructura será dada mediante

la rigidez secante de ésta. Las rótulas plásticas fueron definidas en los extremos de cada elemento a una distancia del 5% y el 95% de su longitud.

El patrón de cargas utilizado fue el que corresponde al primer modo de vibración:

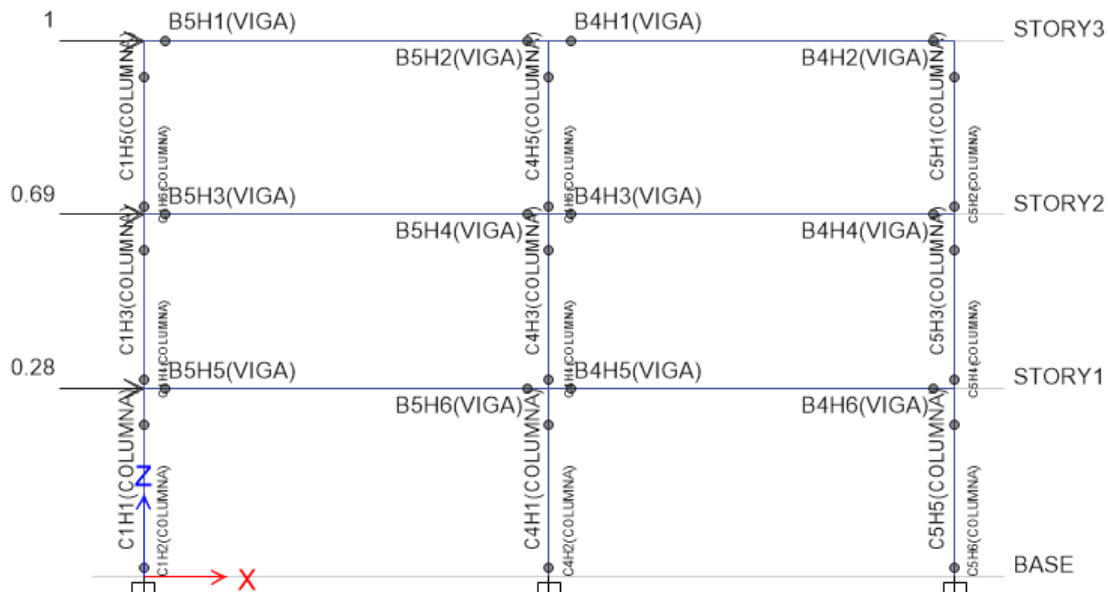


Figura 19. Aplicación de patrón de cargas y colocación de rótulas plásticas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Obteniendo así la curva de capacidad de le estructura:

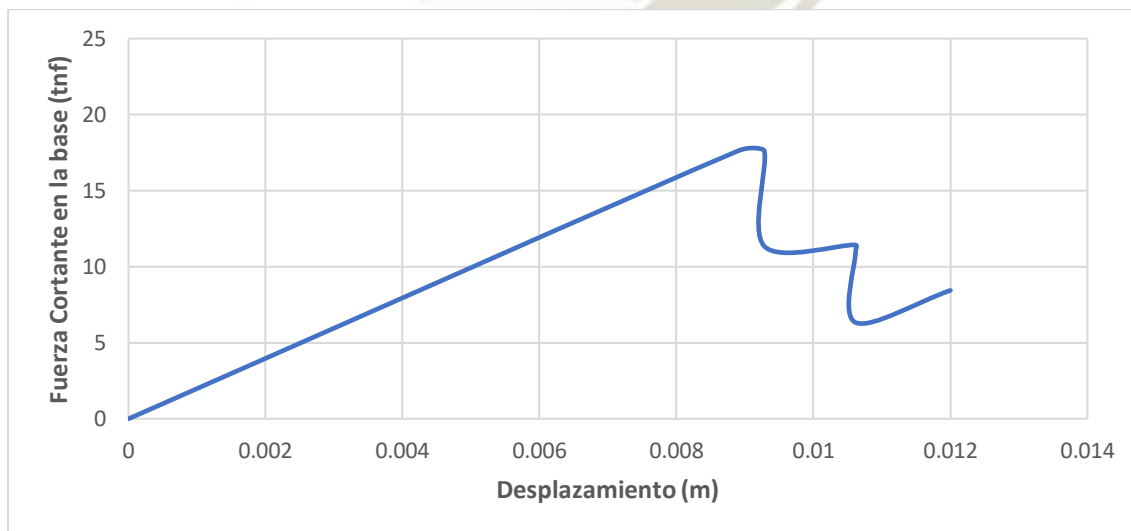


Gráfico 9. Curva de capacidad de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Para poder validar los resultados extraídos por el software, se realizará el paso a paso del análisis elástico con el fin de obtener una curva de capacidad similar a la obtenida anteriormente.

Se seguirá el siguiente procedimiento:

- Primero, se debe aplicar el patrón de cargas correspondiente al primer modo de vibración. Obteniendo así los siguientes diagramas de momentos flectores en los elementos.

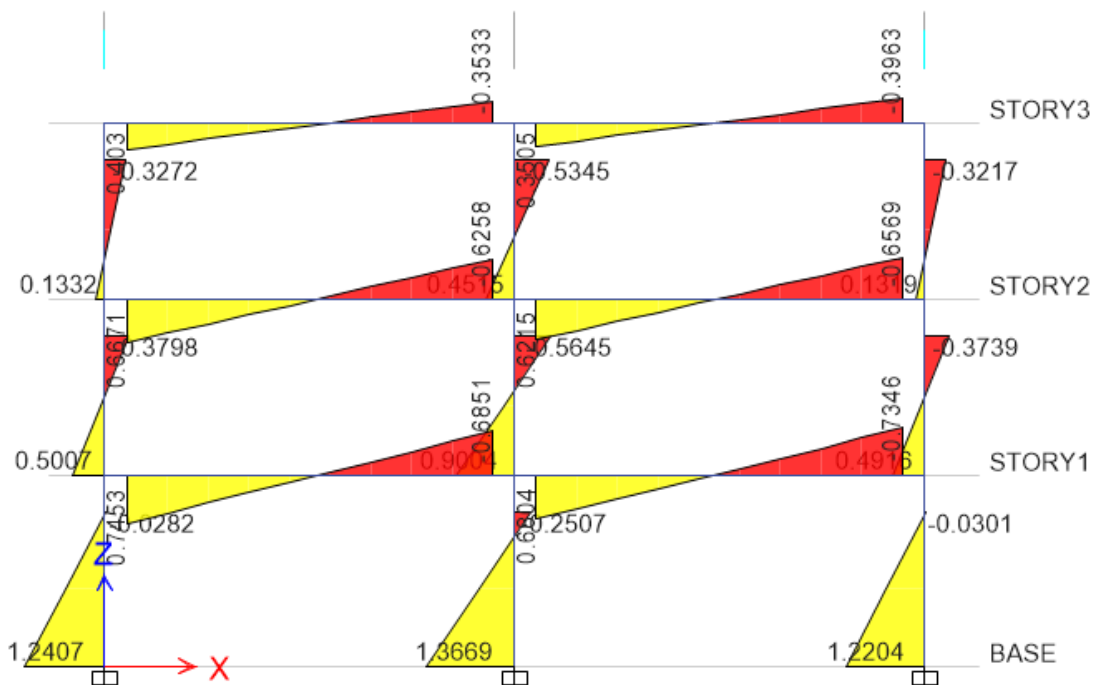


Figura 20. Momentos flectores de la estructura generados por el patrón de cargas correspondiente al modo fundamental, obtenidos en un análisis elástico. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

- Se debe determinar cuáles son los elementos próximos a plastificarse, para esto se divide el momento actuante entre el momento de fluencia del elemento. El valor o valores más altos de esta división corresponderá a los elementos próximos a plastificarse, teniendo en cuenta que el momento debe ser tomado a la misma distancia que se colocó la rótula plástica es decir a 5% de su longitud. Dicho esto, podemos determinar que el elemento próximo a plastificarse es la columna central en su base. El valor del momento actuante al 5% de la longitud del elemento es 1.2668 Tnf.m, entonces $1.2668/11.5$ da como resultado 0.1102. Ahora se debe amplificar el patrón de cargas por el inverso del valor anteriormente calculado, es decir $1/0.1102 = 9.078$. Dando así nuevos valores para el patrón de cargas.

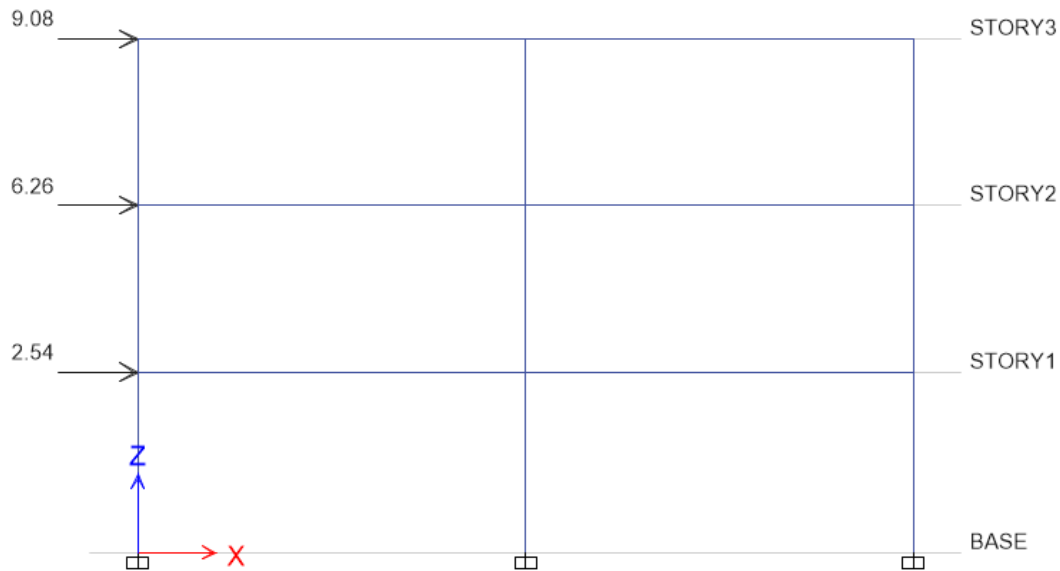


Figura 21. Patrón de cargas amplificado para la obtención de rotulación de la columna central.
[Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Con estas nuevas fuerzas obtendremos el momento flector que actúa a 5% de la longitud del elemento, es decir a $0.05 \times 2.4 \text{ m} = 0.12 \text{ m}$.

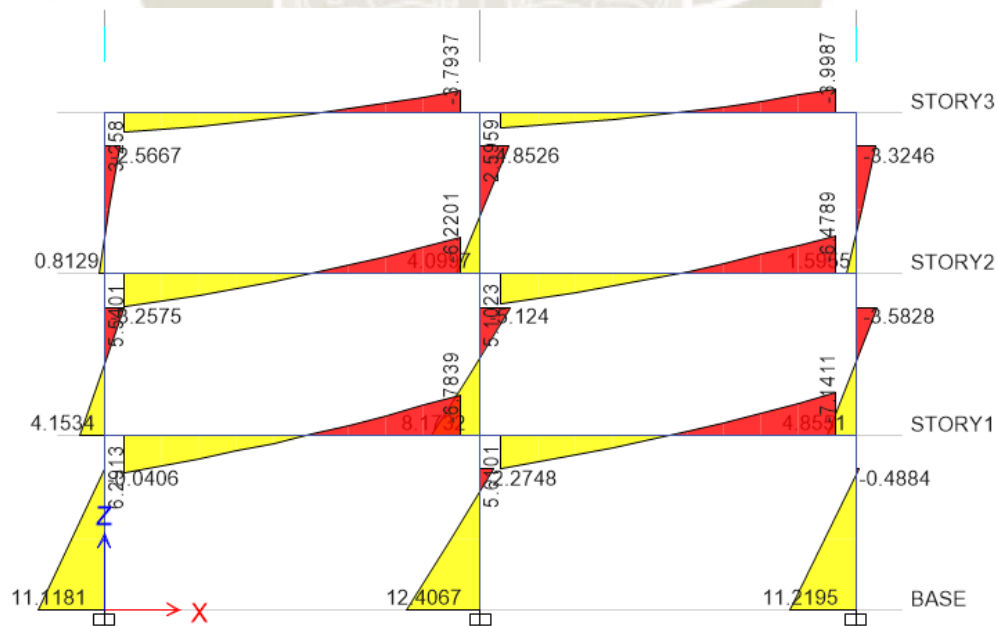


Figura 22. Momentos flectores generados por acción del patrón de cargas amplificado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

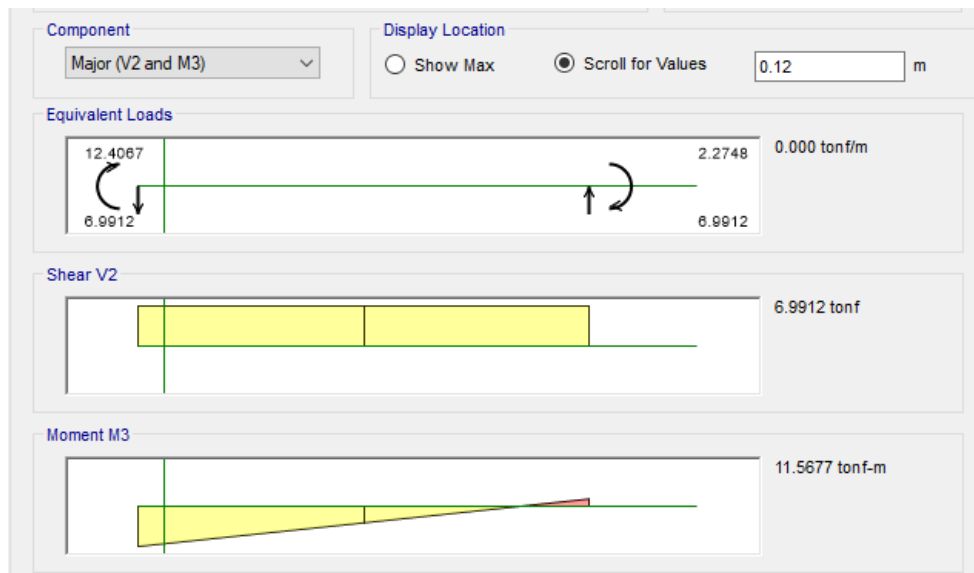


Figura 23. Momento flector generado en la columna por acción del patrón de cargas amplificado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Cuando un elemento se llega a plastificar, se obtiene el primer punto de la curva de capacidad, al cual corresponde un valor de cortante en la base de 17.88 Tnf. Y un desplazamiento en el último nivel de 0.00959 m.

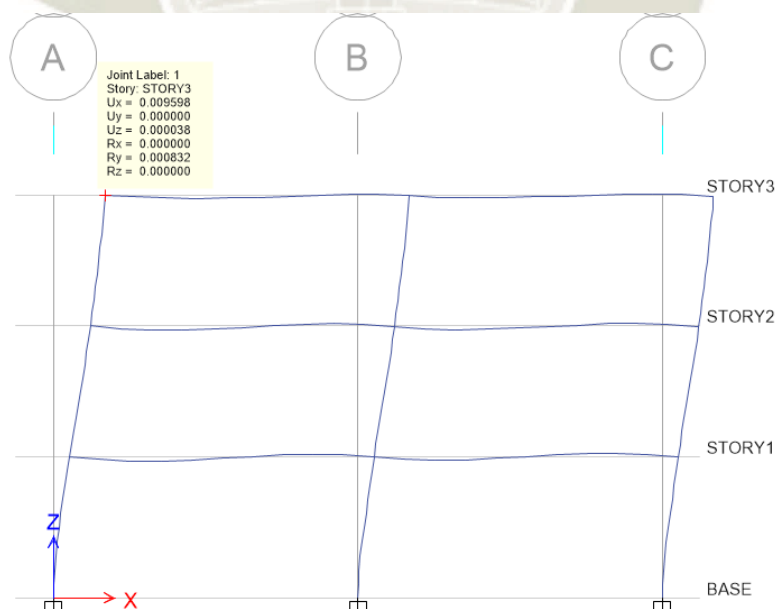


Figura 24. Desplazamiento en el punto de control generado por la amplificación del patrón de cargas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

- Para continuar con el análisis se debe liberar de resistencia a momento flector en la base de la columna, debido a que el diagrama de momento - curvatura describe que todo elemento será descargado cuando llegue a la fluencia. Todo esto implica a su vez un cambio de rigidez en la estructura.

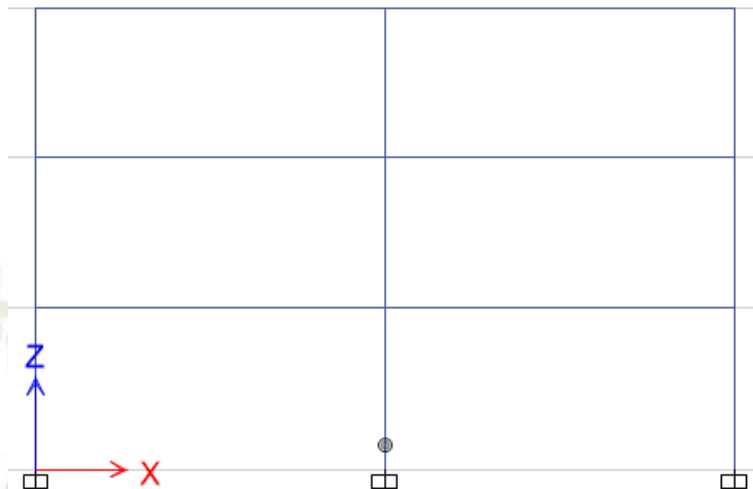


Figura 25. Liberación de resistencia a momentos flectores en la parte inferior de la columna.
[Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

- Se debe tener claro que el análisis no lineal en el programa fue definido utilizando la rigidez secante de la estructura, se inicia nuevamente el análisis elástico con el patrón de fuerzas correspondiente al primer modo de vibración.



Figura 26. Aplicación de patrón de cargas con las consideraciones de cambio de rigidez de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Debido a este patrón de cargas y las nuevas condiciones del pórtico, se obtiene el valor de 1.97 Tnf para la fuerza cortante en la base y un desplazamiento de 0.001206 m, obteniendo así el segundo punto de la curva de capacidad.

- Ahora se debe repetir los 2 primeros pasos, se observa que los siguientes elementos en plastificarse son las columnas de los extremos, llegando a la fluencia al mismo tiempo. Para realizar esto se debe amplificar el patrón de cargas por el valor de 7.769.

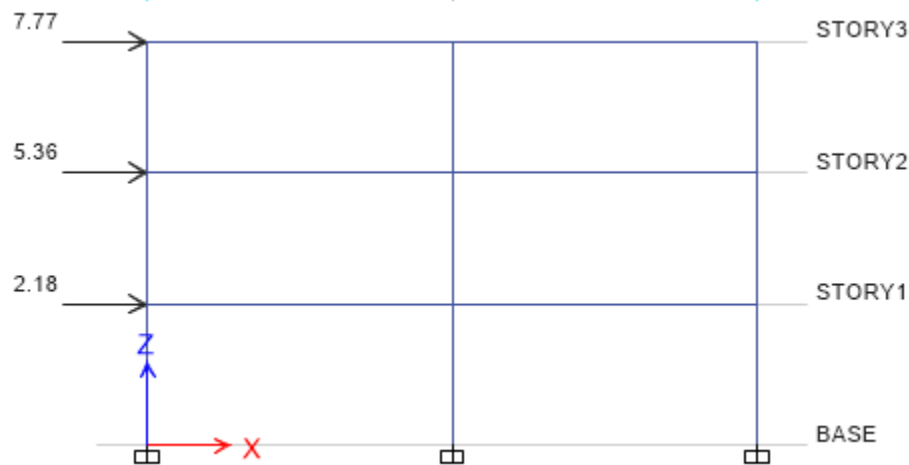


Figura 27. Segunda amplificación del patrón de cargas para la obtención de rótulas plásticas en las siguientes dos columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Ante esto se obtiene un nuevo punto de la curva de capacidad que corresponde a una cortante basal de 15.31 Tnf y un desplazamiento de 0.009311 m.

- Como se observa, ya se obtuvieron rótulas en la base de los elementos verticales, pudiendo concluir en que la estructura presenta un porcentaje considerable de daño. Se puede continuar con el análisis, pero los valores que se obtengan pueden no reflejar el comportamiento real de la estructura, ya que al fluir las tres columnas la estructura está cerca de la inestabilidad; sin embargo, se continúa con el análisis hasta llevar a la fluencia a alguna viga. Iniciamos nuevamente el análisis con las 3 columnas liberadas de resistencia a momentos flectores en su base.

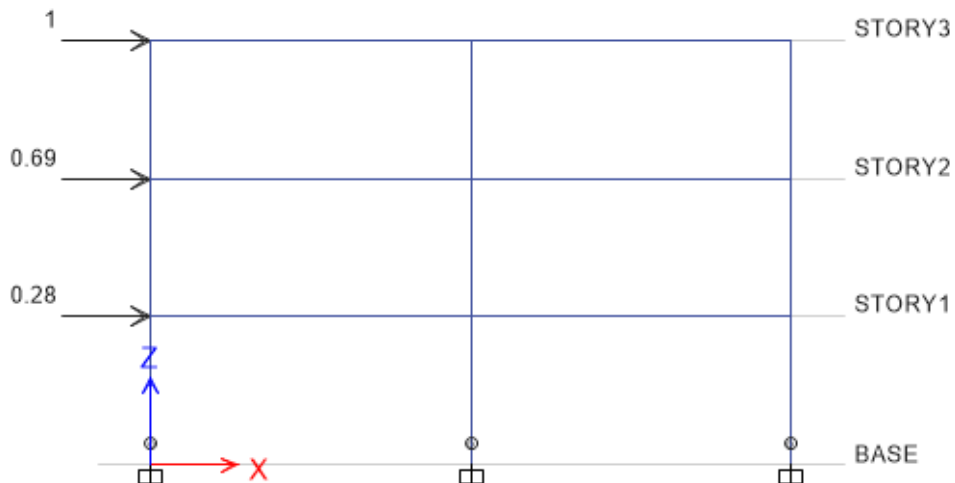


Figura 28. Cambio de rigidez en la estructura por segunda vez. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Obteniendo así un punto más de la curva de capacidad, con valores de 1.97 Tnf para la cortante basal y 0.002191 m para el desplazamiento.

- Se amplifica nuevamente el patrón de cargas y se nota que las siguientes rótulas se dan en los extremos externos de las vigas del primer nivel.

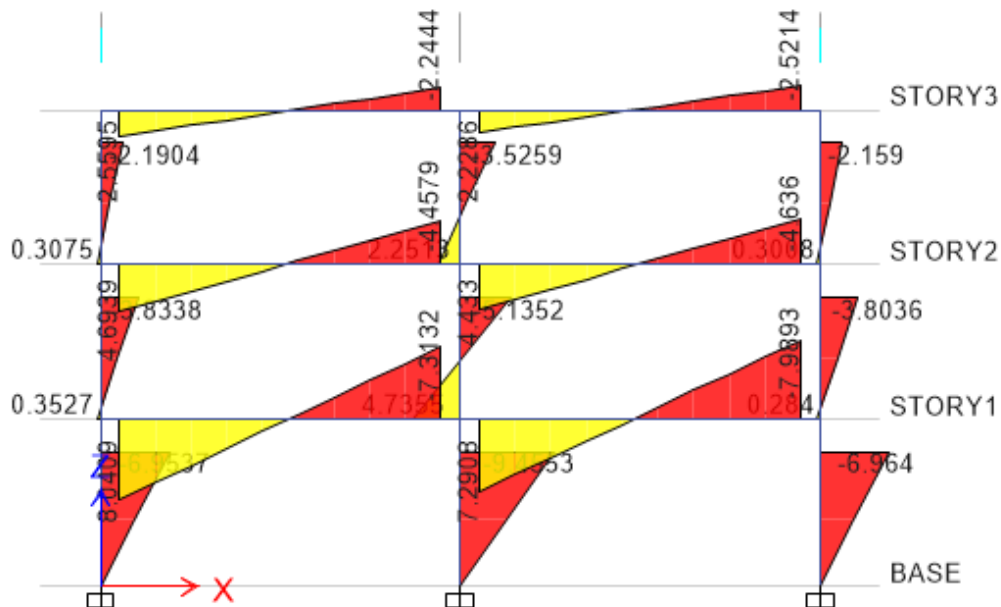


Figura 29. Momentos flectores tras la formación de rotulas en vigas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Se obtiene así el último punto de la curva de capacidad con valores de 11.13 Tnf para la cortante basal y 0.012329 m para el desplazamiento.

Los mecanismos de falla que presenta el análisis no lineal y el análisis elástico paso a paso se muestran en la siguiente figura.

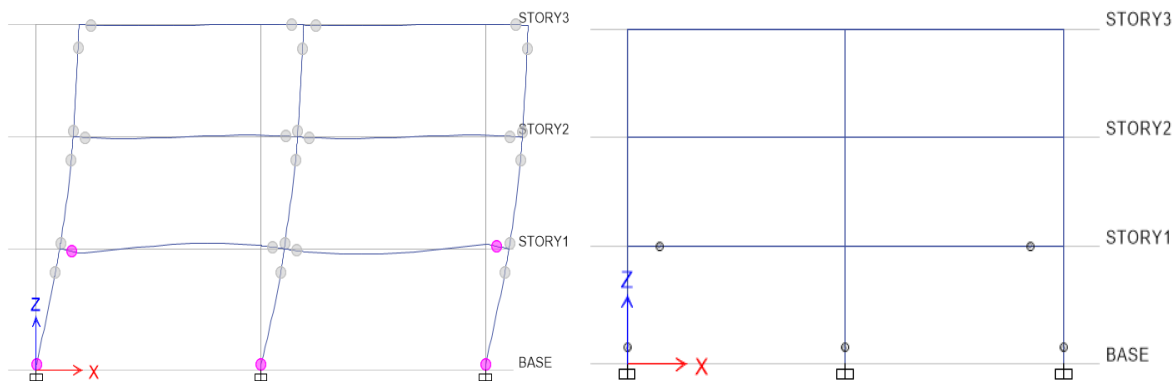


Figura 30. Mecanismos de falla obtenidos mediante análisis no lineal computarizado y análisis elástico paso a paso. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se presenta la curva de capacidad correspondiente al análisis elástico paso a paso.

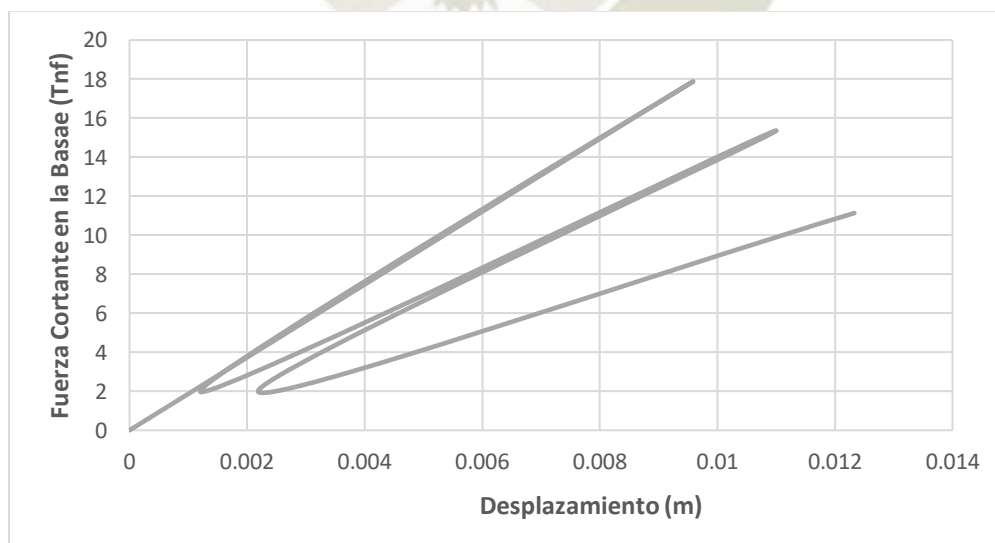


Gráfico 10. Curva de capacidad de análisis elástico paso a paso. [Fuente: Elaboración propia]

Se observa que esta curva de capacidad no presenta similitud a la curva de capacidad obtenida del análisis no lineal mediante el software; sin embargo, debido al uso del método de la rigidez secante es que se debe tomar los picos de cada cambio de rigidez que hubo en la estructura. (California Seismic Safety Commission, 1996)

Dicho método es ilustrado para su mayor entendimiento en la siguiente figura.

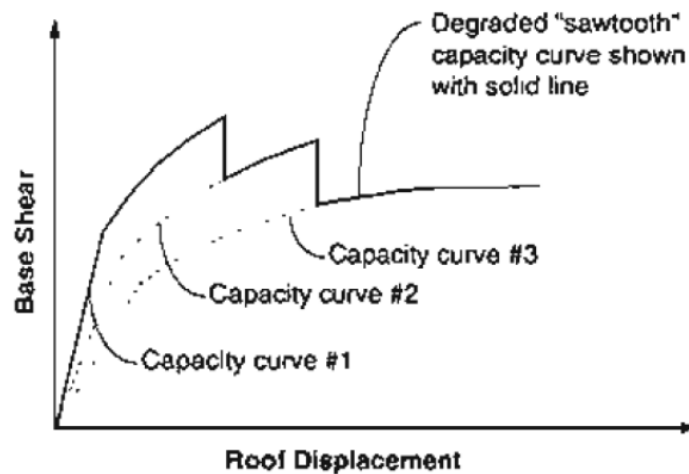


Figura 31. Obtención de la curva de capacidad mediante el método de la rigidez secante. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)]

Según este método se dará forma a la curva de capacidad obtenida de un análisis elástico paso a paso.

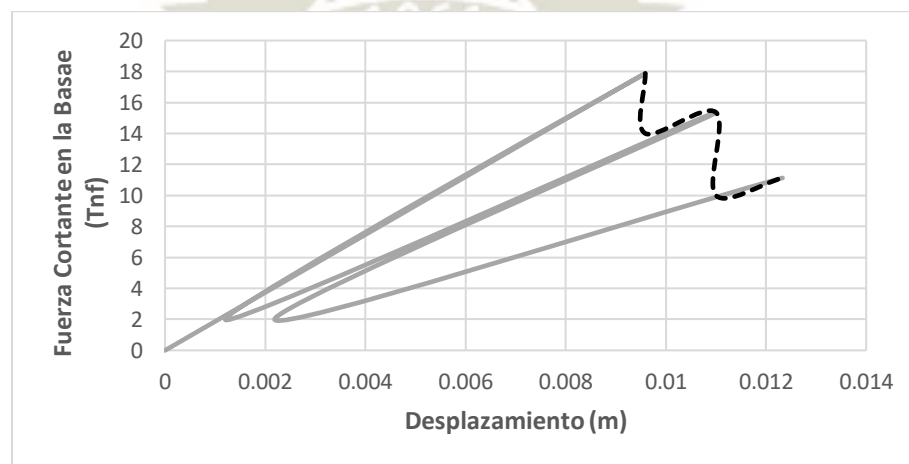


Gráfico 11. Curva de capacidad de la estructura mediante análisis elástico paso a paso y método de rigidez secante [Fuente: Elaboración propia]

Finalmente, se comparan las curvas de capacidad obtenidas y ante la semejanza de estas, se da como válidos los resultados obtenidos mediante un modelo computarizado (Bustamante Mora, 2015).

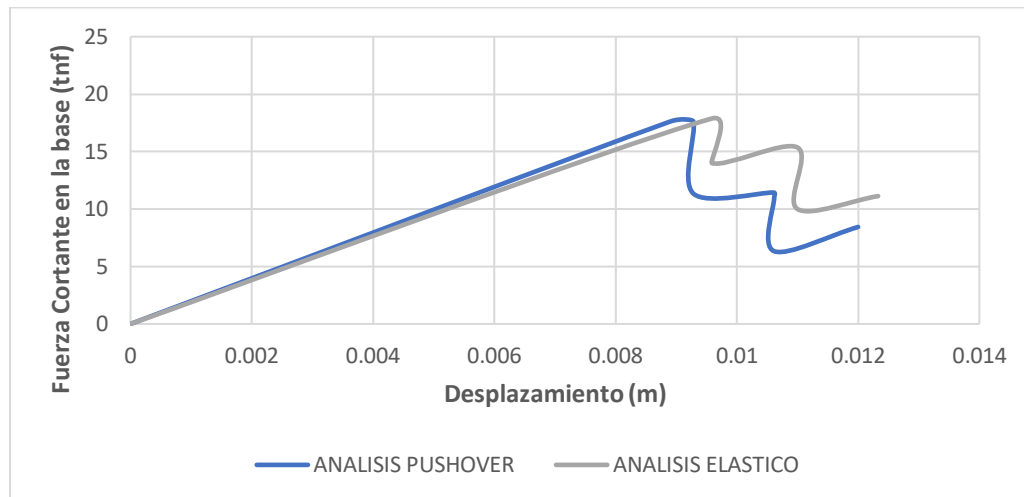


Gráfico 12. Comparación de curvas de capacidad según método de análisis. [Fuente: Elaboración propia]

5.4. Propuesta de modificación de la técnica Pushover para su aplicación con patrones de carga de viento en estructuras metálicas

Ya conociendo los fundamentos del Análisis Pushover descritos anteriormente, para esta investigación, se realizarán modificaciones para poder utilizarlo en estructuras metálicas sometidas a cargas de viento, esto basado en la aplicación de patrones de carga.

Las estructuras elegidas para realizar esta investigación presentan características que las hacen susceptibles a las fuerzas generadas por el viento, las cuales las podrían hacer llegar a la falla con mayor probabilidad que por las de una actividad sísmica.

La modificación radica en la aplicación del patrón de cargas representado por la distribución de presiones del viento, en comparación con el método original que considera el modo fundamental de vibración de la estructura para la distribución de dicho patrón, ya que este modo de vibración representa la forma del movimiento de la estructura sometida a cargas sísmicas

El patrón de cargas seguirá una dirección gravitacional, la misma que la distribución de presiones del viento, para la cual se consideran efectos de succión y presión como resultado de inspecciones visuales que han sido respaldadas por encuestas realizadas a especialistas en el diseño de estructuras metálicas.

La evaluación de la no linealidad de los elementos estructurales se realizará mediante el uso de rotulas plásticas, las cuales representan su comportamiento lineal y no lineal. Dichas rótulas serán aplicadas en todos los miembros cuya falla pueda desencadenar el colapso de la estructura.

En la elaboración de la curva de capacidad de estructuras sometidas a cargas sísmicas, se toma en consideración la elección del punto de control, lugar donde se produce el mayor desplazamiento lateral, el cual, se encuentra en el centro de masa del último nivel de la edificación; en cambio, para el análisis de las estructuras metálicas de cobertura estará ubicado en la parte central del pórtico que recibe mayor carga de viento, el desplazamiento máximo será medido en la dirección de la gravedad debido a que las fuerzas que lo producen siguen la misma.

Determinar el punto de desempeño de una estructura ante una demanda sísmica es muy importante en busca de conocer el nivel de daño que estas pueden sufrir. Existen diversos métodos para la determinación de dicho punto; sin embargo, se tomará el descrito por el ATC-40 llamado “Método del Espectro de Capacidad” para usarlo como referencia en esta investigación. La principal solicitud de este método es la de tener en un gráfico de la curva de capacidad y el espectro de demanda, las cuales tendrán que ser intersectadas, para esto ambas gráficas deben ser compatibles en unidades. El fin de este proceso es determinar el desplazamiento máximo de la estructura ante solicitudes sísmicas.

En esta investigación, no se determinará el punto de desempeño, ya que, según lo anteriormente mencionado, necesitaríamos de un espectro de demanda el cual deberá ser construido en base a factores relacionados con el viento, esto complicaría el desarrollo de la misma. Es por esto que se presentará la curva de capacidad de las estructuras, más no se utilizarán para la determinación de su nivel de daño.

En cambio, se utilizará el análisis pushover para determinar el mecanismo de falla que presenta cada una de las estructuras analizadas hasta llegar al colapso. Para su mayor entendimiento la determinación de colapso será sustentada más adelante.

5.5. Respuesta del acero estructural según su comportamiento no lineal

El comportamiento del acero estructural se encuentra representado por su curva esfuerzo deformación, la cual puede ser elaborada mediante diversos modelos que serán desarrollados a continuación.

5.5.1. Modelo bilineal

Llamado también modelo Elastoplástico Perfecto, considera la resistencia hasta el límite de fluencia, lo que significa que ignora las resistencias superiores a este punto, así como el incremento de esfuerzo a causa del endurecimiento por deformación.

Este modelo no es adecuado para emplear en la evaluación de desempeño sísmico, puesto que no evalúa correctamente los esfuerzos producidos pasando el límite de fluencia.

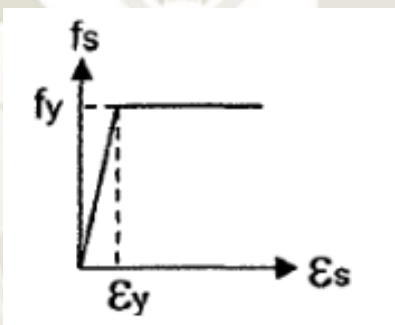


Figura 32. Representación de Modelo Bilineal del acero. [Fuente: (Bustamante Mora, 2015)]

5.5.2. Modelo trilineal

Es empleado para aceros que presentan endurecimiento y por lo tanto pueden ser sometidos a mayores esfuerzos que los de fluencia.

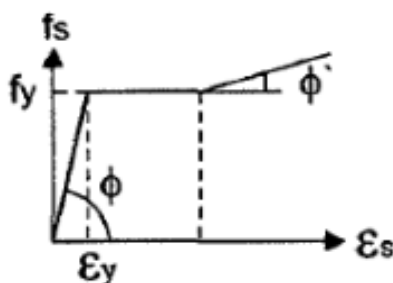


Figura 33. Representación de Modelo Trilineal del acero. [Fuente: (Bustamante Mora, 2015)]

5.5.3. Modelo elastoplástico con endurecimiento curvo

El rango elástico y el de fluencia son representados por líneas rectas y el de endurecimiento por una parábola de segundo o tercer grado. Este modelo es de uso poco frecuente a pesar de que es el que representa de mejor forma el comportamiento del acero.

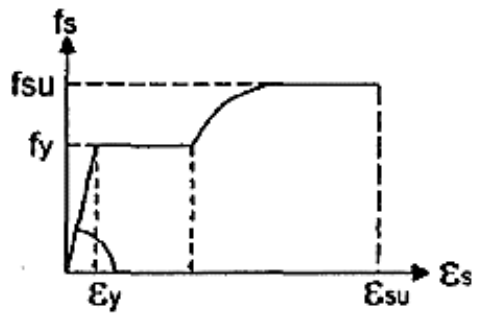


Figura 34. Representación de Modelo elastoplástico con endurecimiento curvo. [Fuente: (Bustamante Mora, 2015)]

El modelo a utilizar en la presente investigación será el Elastoplástico con endurecimiento curvo, la gráfica de esfuerzo – deformación será construida en base al modelo propuesto por Mander y Andrade Loureiro Pipa el cual se formula con las siguientes ecuaciones (Mander, Priestley, & Park, 1988):

- Zona Elástica: $0 \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_y$

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y$$

- Zona de Fluencia: $\varepsilon_y \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}$

$$f_s = f_y$$

- Zona de Endurecimiento : $\varepsilon_{sh} \leq \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}$

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)^P$$

Donde:

f_y : Esfuerzo de fluencia nominal en el acero.

f_{su} : Esfuerzo último.

ϵ_s : Deformación unitaria del acero.

ϵ_{su} : Deformación unitaria última.

ϵ_{sh} : Deformación unitaria en la cual se inicia la zona de endurecimiento por deformación.

Para poder realizar el cálculo de las ecuaciones anteriores se añade la teoría de Andrade Loureiro Pipa quien propuso las siguientes fórmulas en función del esfuerzo de fluencia del acero expresado en unidades de MPa.

$$\epsilon_{sh}(\%) = 5.93 - 0.00776f_y$$

$$\epsilon_{su}(\%) = 23.8 - 0.0244f_y$$

$$E_{sh} = 6.32f_y - 225$$

$$P = E_{sh} \left(\frac{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}}{f_{su} - f_y} \right)$$

Los valores a utilizar para la elaboración de la curva Esfuerzo – Deformación del acero estructural A 36, material utilizado en la construcción de las estructuras metálicas a analizar en la presente investigación son:

$$f_y = 36 \text{ ksi} \cong 2530 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_u = 58 \text{ ksi} \cong 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_s = 0.0013$$

$$\epsilon_{sh} = 0.0400$$

$$\epsilon_{su} = 0.1770$$

Se da como resultado la siguiente gráfica, que será utilizada en la presente investigación.

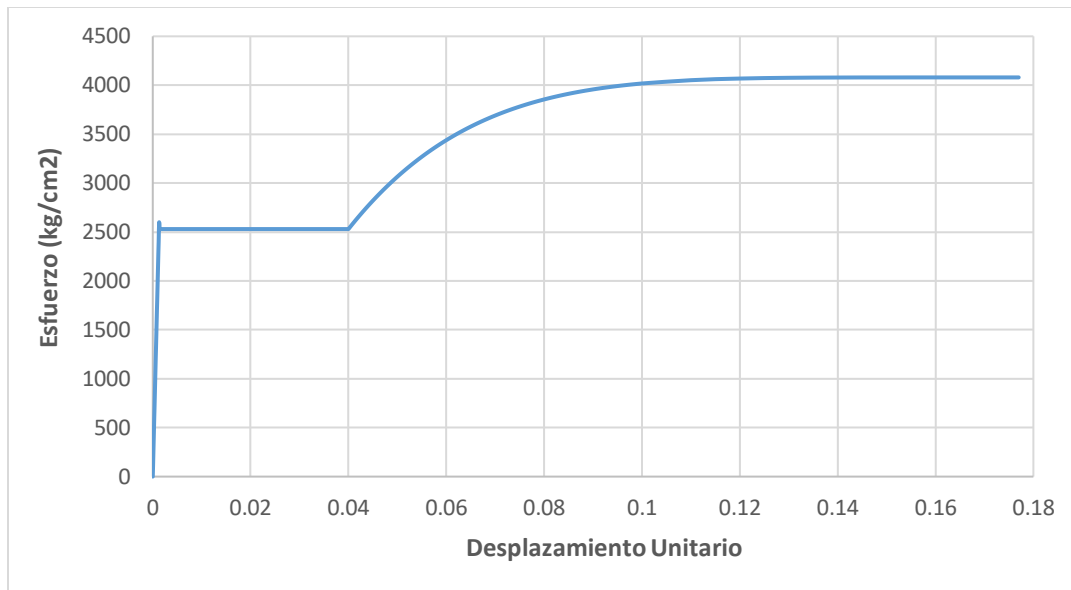


Gráfico 13. Curva esfuerzo – deformación del acero estructural A36. [Fuente: Elaboración propia]

Esta gráfica a su vez puede ser realizada utilizando como medio el Software “Xtract”, debido a que este trabaja en forma conjunta con los modelos anteriormente mencionados como es el modelo de Mander (Bustamante Mora, 2015).

5.6. Relaciones fuerza- desplazamiento y momento-curvatura en elementos estructurales

Para realizar el análisis estático no lineal, será necesario conocer las relaciones de Fuerza-Desplazamiento para el caso de elementos que trabajen a fuerza axial como lo son las barras que conforman las armaduras, y relaciones Momento-Curvatura para el caso de flexión y flexo compresión en elementos verticales, como por ejemplo las columnas; para su mayor practicidad las gráficas de estas relaciones también serán elaboradas mediante el Software “Xtract”.

Ambas relaciones servirán para la conformación de rotulas plásticas, este procedimiento será explicado con mayor detenimiento más adelante.

5.6.1. Relación fuerza- desplazamiento

El diagrama esfuerzo-deformación es una representación gráfica del comportamiento del acero, la cual brinda datos de resistencia y ductilidad para propósitos de análisis y diseño.

Este tema ya fue desarrollado en la sección anterior, en la presente se explicará su uso para la obtención de la relación fuerza-desplazamiento.

La relación fuerza-desplazamiento indica las fuerzas y desplazamientos que puede soportar una sección, de acuerdo a sus características geométricas expresadas en área y longitud. La obtención de la fuerza es a partir del esfuerzo del acero, el cual es multiplicado por el área neta de la sección; de manera similar, el desplazamiento es obtenido mediante el producto de la deformación del acero y la longitud del elemento analizado.

La elaboración de la gráfica de dicha relación será explicada tomando en cuenta una sección típica presente en las estructuras metálicas a analizar, mostrada en el siguiente ejemplo:



Figura 35. Sección típica de elementos en estructuras metálicas. [Fuente: Elaboración propia]

Este elemento es el que conforma la brida superior de la armadura principal de una de las estructuras metálicas analizadas.

$$L = 3.60 \text{ m}$$

$$A = 1.626 \text{ in}^2 = 0.00105 \text{ m}^2$$

Como se mencionó anteriormente, la obtención de la curva Esfuerzo-Deformación se realizará mediante la utilización del programa “Xtract” siguiendo los siguientes pasos.

Se debe definir las propiedades del material utilizado, en este caso acero estructural A36, como se muestra en la figura.

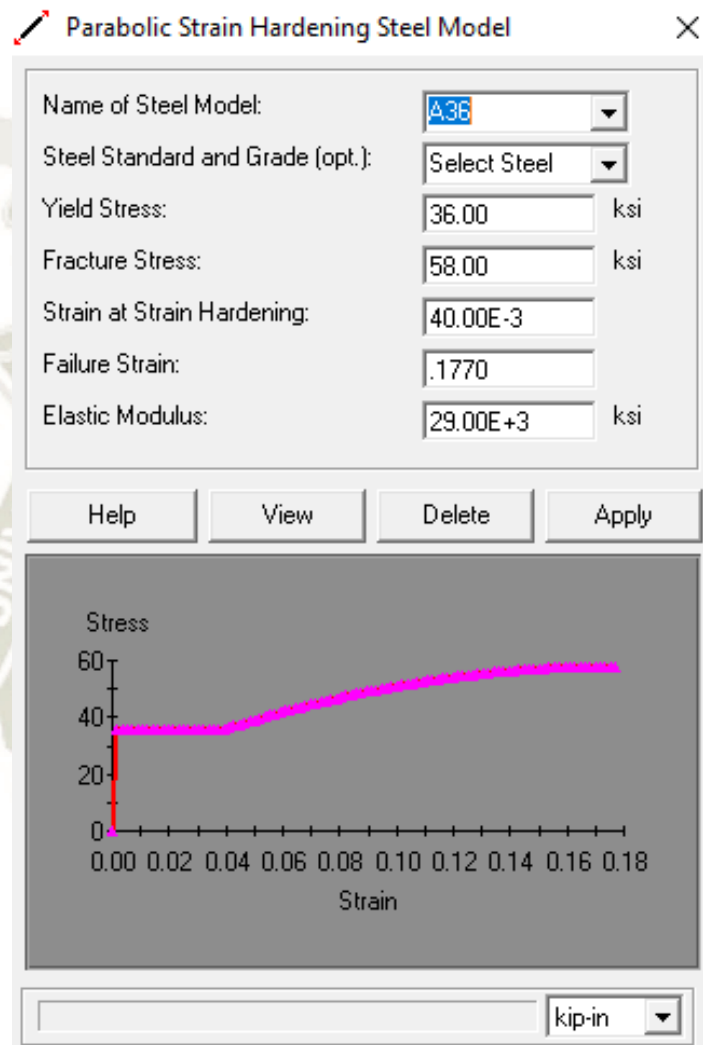


Figura 36 .Definición de las propiedades del acero estructural A36. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Xtract"]

El programa hace uso de las propiedades establecidas para obtener el diagrama de esfuerzo-deformación; a la vez, permite extraer los valores del diagrama mediante tablas.

Tabla 9. Datos obtenidos del diagrama esfuerzo – deformación del acero A36. [Fuente: Elaboración propia]

DEFORMACIÓN UNITARIA	ESFUERZO (Ksi)
0.000	0.000
0.000	7.200
0.000	14.480
0.001	21.620
0.001	28.800
0.001	35.920
0.001	36.000
0.002	36.000
0.002	36.000
0.002	36.000
0.003	36.000
0.017	36.000
0.030	36.000
0.041	36.440
0.037	36.000
0.046	38.000
0.055	40.490
0.064	43.000
0.073	45.220
0.081	47.140
0.090	49.150
0.098	50.700
0.108	52.390
0.116	53.560
0.125	54.850
0.133	55.730
0.143	56.660
0.151	57.180
0.159	57.600
0.169	57.920
0.179	58.000

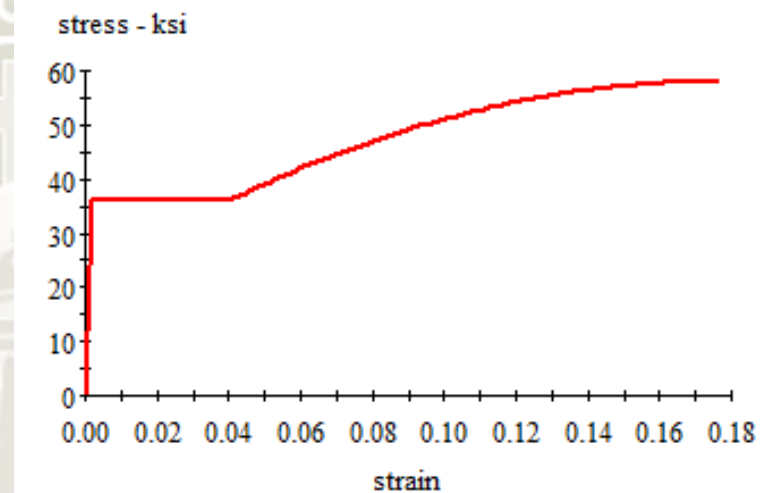


Gráfico 14. Diagrama esfuerzo – deformación del acero A36. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”]

La gráfica previa será la base para la obtención de la curva fuerza-desplazamiento, la cual será realizada con el procedimiento anteriormente explicado. Para efectos de esta investigación, las unidades a utilizar serán la tonelada (Tnf) y el metro (m). Cabe resaltar que, en muchos casos, se tendrá que realizar conversión de unidades, ya que el programa “Xtract” trabaja con unidades del Sistema Inglés.

Mostrando así los resultados obtenidos:

Tabla 10. Datos obtenidos del diagrama fuerza – desplazamiento de la sección típica presentada. [Fuente: Elaboración propia]

DESPLAZAMIENTO (m)	FUERZA (Tnf)
0.000	0.000
0.001	5.310
0.002	10.679
0.003	15.945
0.004	21.240
0.004	26.491
0.005	26.550
0.006	26.550
0.007	26.550
0.009	26.550
0.011	26.550
0.061	26.550
0.109	26.550
0.149	26.875
0.135	26.550
0.167	28.025
0.197	29.861
0.230	31.713
0.261	33.350
0.291	34.766
0.324	36.248
0.353	37.391
0.388	38.638
0.416	39.501
0.451	40.452
0.479	41.101
0.516	41.787
0.542	42.170
0.571	42.480
0.607	42.716
0.644	42.775

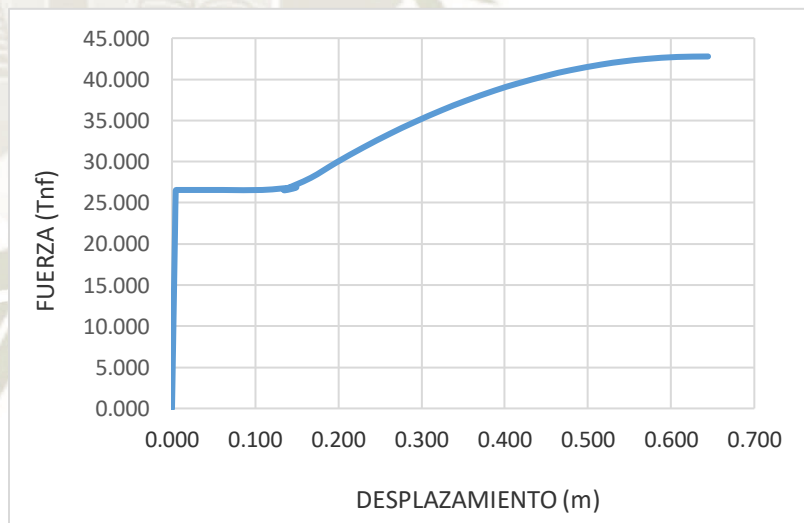


Gráfico 15. Diagrama fuerza – desplazamiento de la sección típica presentada. [Fuente: Elaboración propia]

Anteriormente, se mencionó que la conformación de la curva Fuerza – Desplazamiento se realizará a partir de la curva Esfuerzo – Deformación que será la misma para todos los elementos conformados de acero estructural A 36, y de las propiedades geométricas como lo son el área de la sección y la longitud del elemento. Cabe resaltar entonces, que la curva Fuerza – Desplazamiento será diferente para cada elemento, cuya variación depende de las propiedades geométricas ya descritas.

5.6.2. Relación momento - curvatura

El diagrama momento curvatura, es una representación gráfica de la capacidad de rotación por unidad de longitud de un elemento sometido a momentos flectores. Éste diagrama es útil para la definición de las propiedades de rótulas plásticas de elementos que trabajan bajo efectos simultáneos de axial y momento flector, por ejemplo, algunas columnas de las estructuras a analizar.

La elaboración de la gráfica de dicha relación será explicada tomando en cuenta la sección de las columnas de la estructura metálica mostrada como ejemplo anteriormente.



$$D_n = 8 \text{ in}$$

$$e = 4.5 \text{ mm}$$

Figura 37. Sección de elemento designado como columna. [Fuente: Elaboración propia]

De igual manera la obtención de la gráfica Momento-Curvatura se realizará mediante la utilización del programa “Xtract”. Como se muestra a continuación.

Con las propiedades del material ya definidas anteriormente, se debe dibujar la sección en la interfaz del programa.

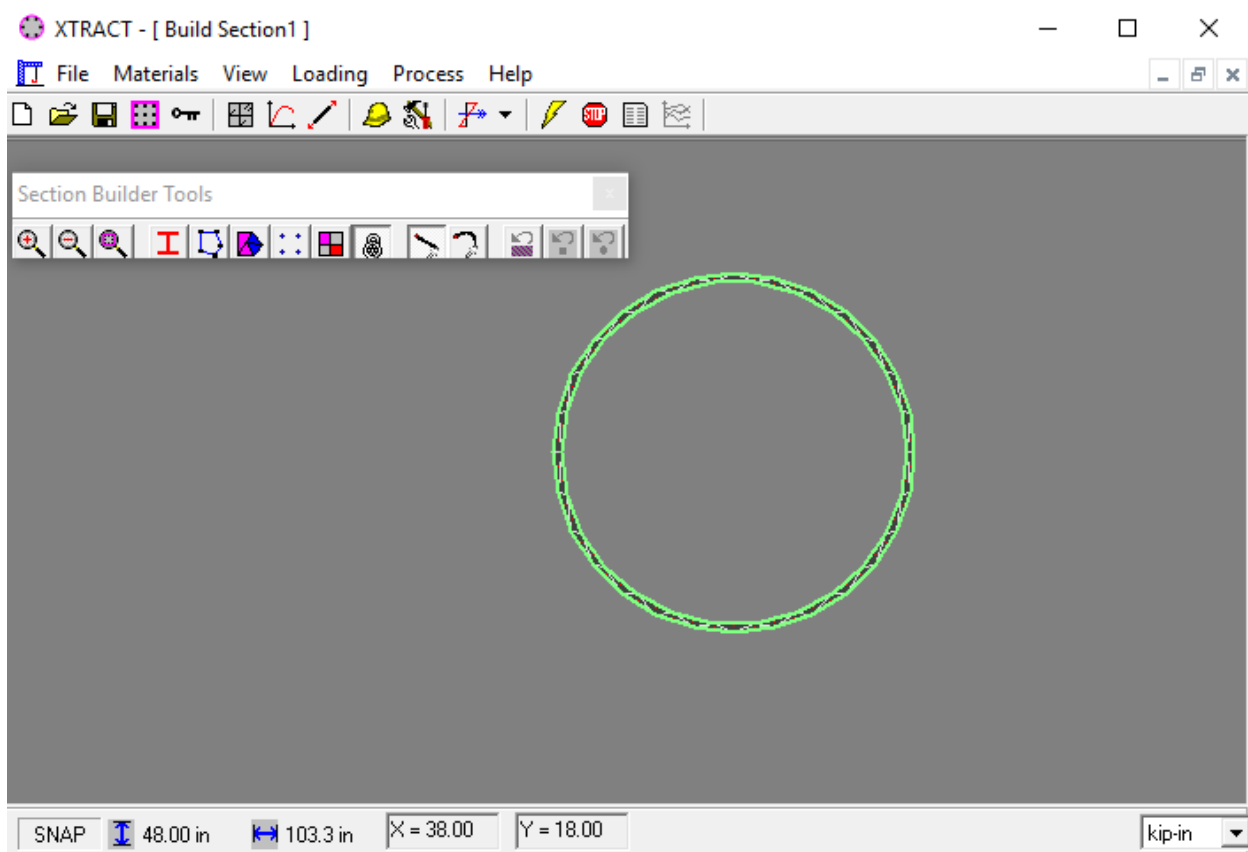


Figura 38. Dibujo computacional de la sección a analizar [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”]

Luego se debe determinar la dirección del análisis, esto dependerá de la dirección en la que el viento actúe. Es decir, si el viento actúa en dirección “X”, se deberá seleccionar la opción de momento alrededor del eje “Y” y, análogamente, si es el caso en el que el viento actúe en la dirección “Y”, se tendrá que seleccionar la opción de momento alrededor del eje “X”.

Es importante tomar esta consideración cuando el elemento presenta una sección asimétrica; sin embargo, en la mayoría de estructuras analizadas la sección del elemento es simétrica, es decir, que el momento alrededor del eje “X” y del eje “Y” tendrán el mismo valor. De igual manera,

deberá ser importante colocar el valor de la carga axial a la que el elemento trabaja ya que la presencia de esta ayudará a describir con mayor exactitud el comportamiento de dicho elemento, que será representado en la gráfica Momento – Curvatura.

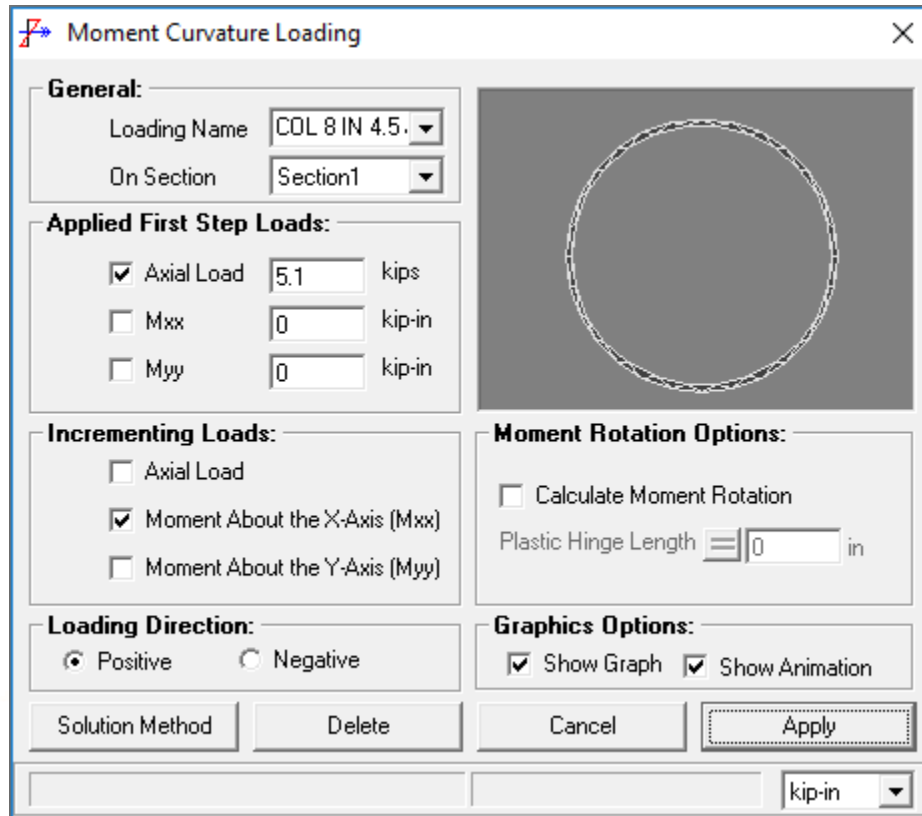


Figura 39. Definición de datos para la elaboración del diagrama momento – curvatura del elemento [Fuente: Elaboración propia mediante software “Xtract”]

Finalmente, se obtiene el diagrama de momento-curvatura y la extracción de los valores que lo conforman, teniendo en cuenta que se hizo conversión de unidades debido a que el programa trabaja en unidades del Sistema Inglés, ya anteriormente mencionado.

Tabla 11. Datos del diagrama momento – curvatura del elemento. [Fuente: Elaboración propia]

CURVATURA (1/m)	MOMENTO (Tnf.m)
0.000	0.000
0.002	0.682
0.005	1.364
0.007	2.046
0.010	2.727
0.012	3.409
0.015	3.835
0.017	4.030
0.019	4.150
0.022	4.223
0.024	4.275
0.107	4.482
0.189	4.485
0.272	4.484
0.355	4.480
0.437	4.526
0.520	4.677
0.602	4.869
0.685	5.069
0.768	5.263
0.850	5.452
0.933	5.633
1.015	5.803
1.098	5.961
1.181	6.107
1.263	6.241
1.346	6.362
1.428	6.472
1.511	6.569
1.594	6.652
1.676	6.722

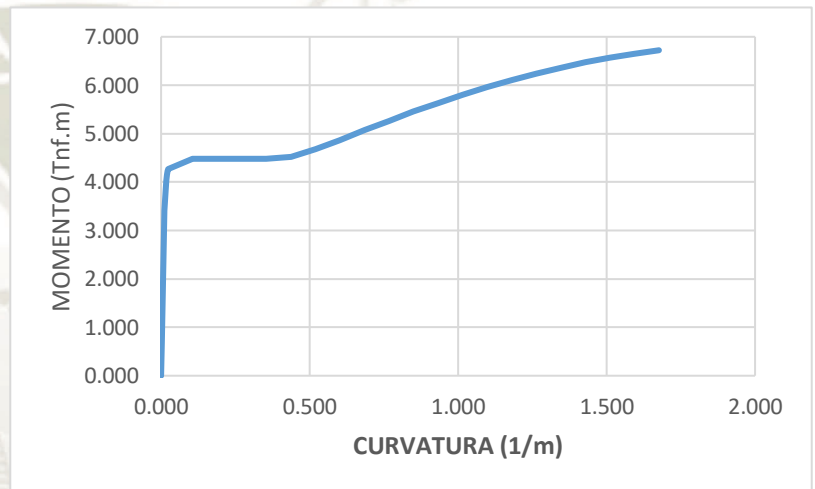


Gráfico 16. Diagrama momento – curvatura del elemento.
[Fuente: Elaboración propia]

5.7. Procedimiento para la obtención de la curva de capacidad y determinación del colapso de las estructuras mediante la utilización de la técnica pushover

Como mencionamos anteriormente, el Software utilizado para el modelamiento y análisis de estructuras metálicas ante cargas de viento será “ETABS 2016”. Se presentará como ejemplo la estructura metálica de cobertura anteriormente mostrada.

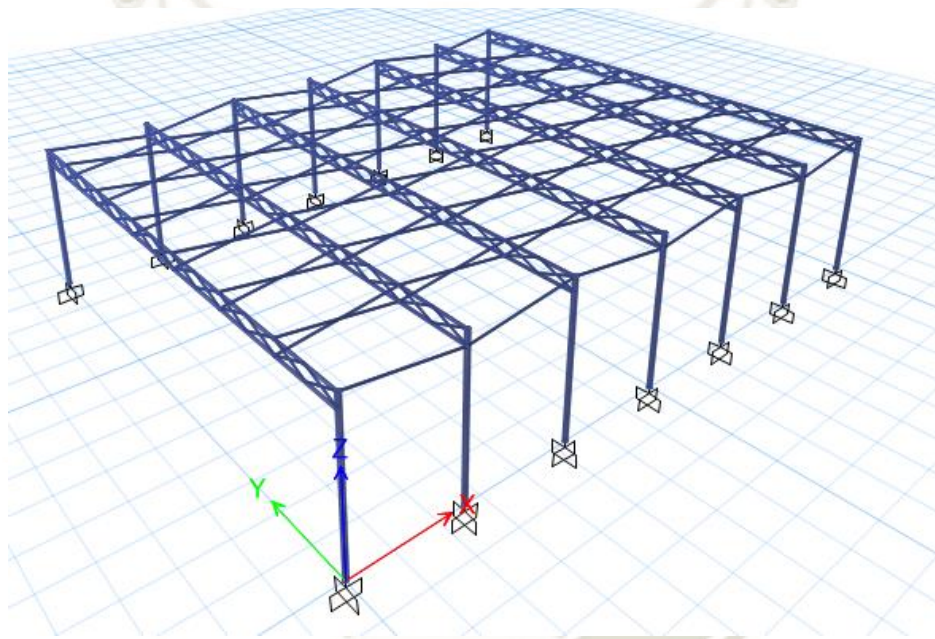


Figura 40. Modelamiento computacional de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Las coberturas a analizar seguirán el diseño especificado en sus respectivos expedientes técnicos, los cuales fueron obtenidos mediante recopilaciones de las municipalidades de diversos distritos de la ciudad de Arequipa.

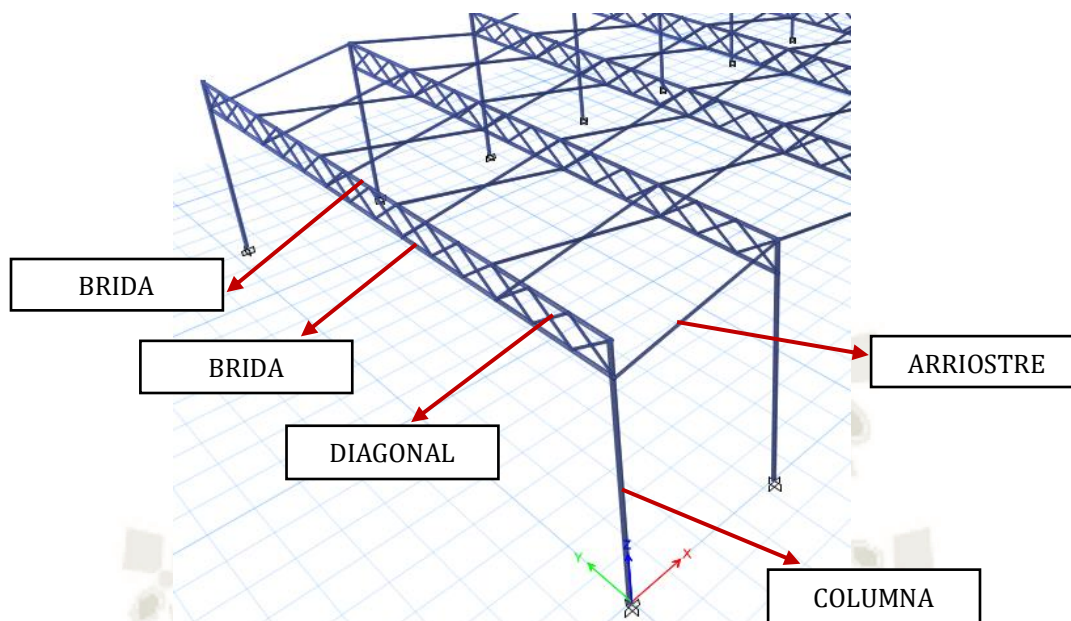


Figura 41. Nombre de los elementos que forman parte de una estructura metálica de cobertura.
[Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Las secciones serán mostradas según su denominación de acuerdo a la figura previa.

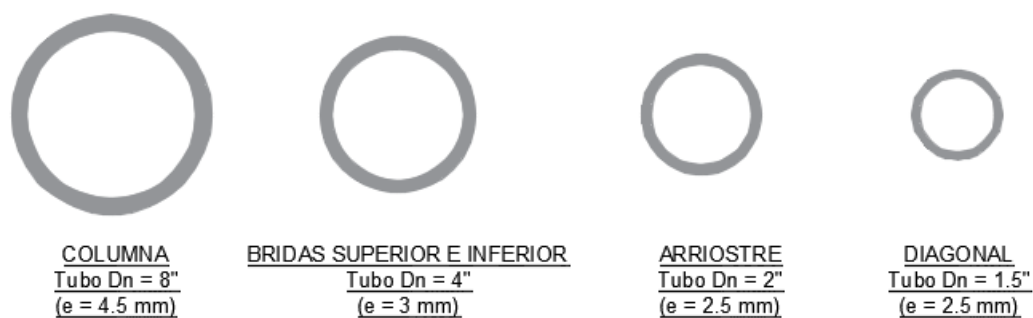


Figura 42. Secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia]

En primer lugar, definimos las propiedades del material:

- Acero Estructural A-36 con comportamiento no lineal ($f_y = 2530 \text{ kgf/cm}^2$).

Se procede a definir las secciones de los elementos

- Columnas:

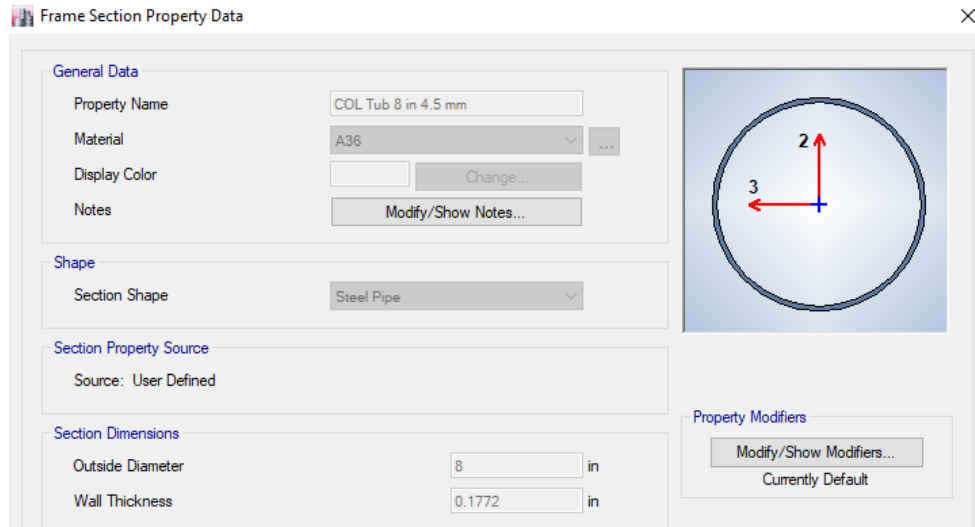


Figura 43. Definición de la sección de las columnas de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

- Bridas Superior e Inferior:

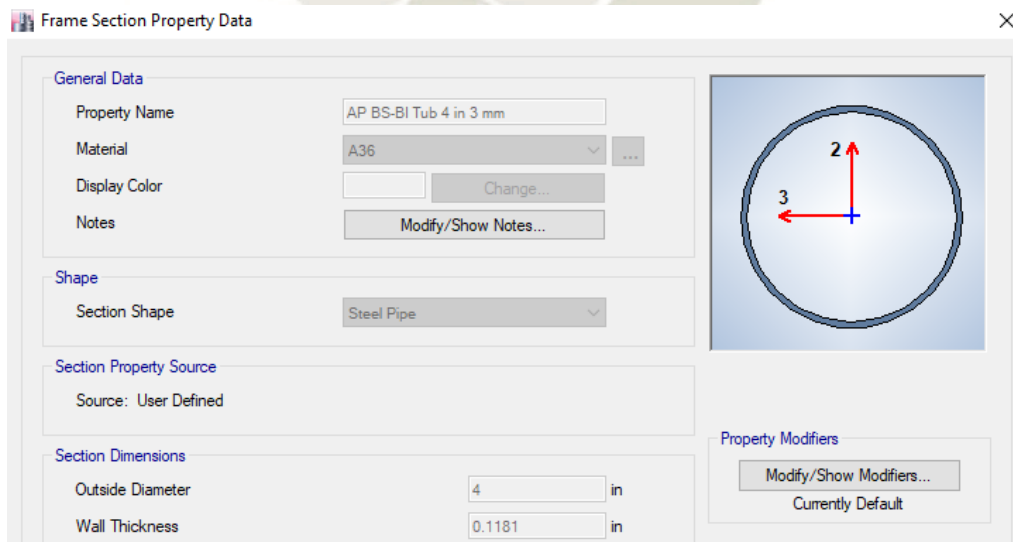


Figura 44. Definición de la sección de las bridas superior e inferior de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

- Arriostre:

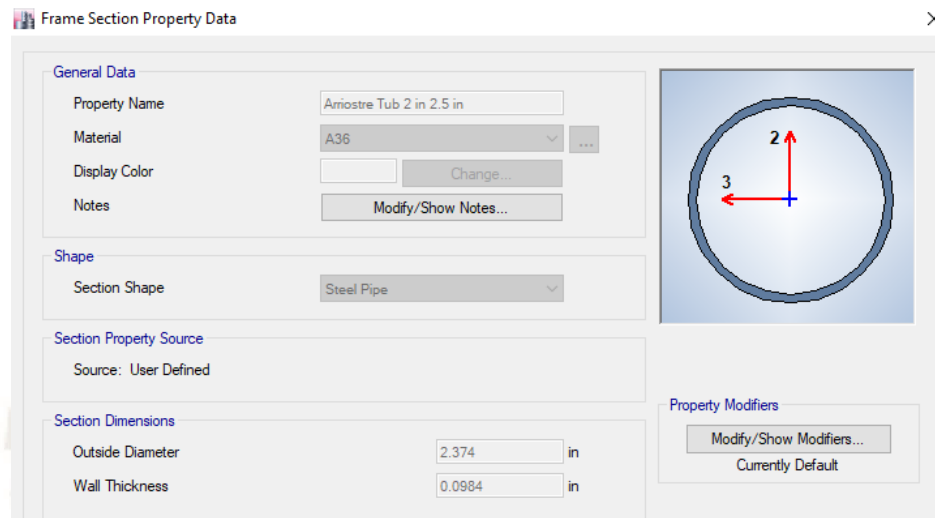


Figura 45. Definición de la sección de los arriostres de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

- Diagonal:

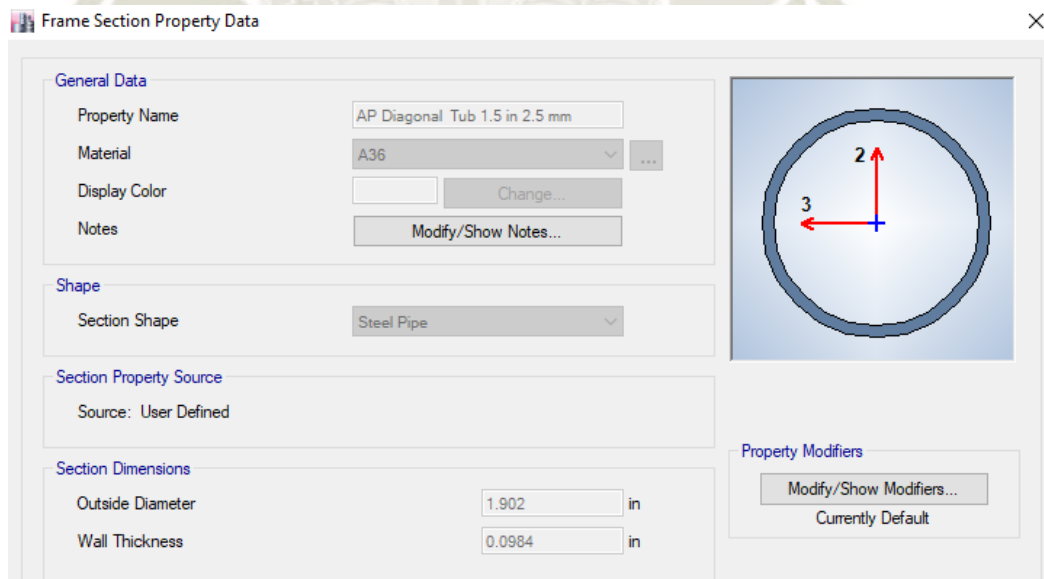


Figura 46. Definición de la sección de diagonales de la estructura metálica. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Después de haber definido tanto el material y las secciones de los elementos que conformaran las estructuras metálicas, procedemos a realizar el modelamiento.

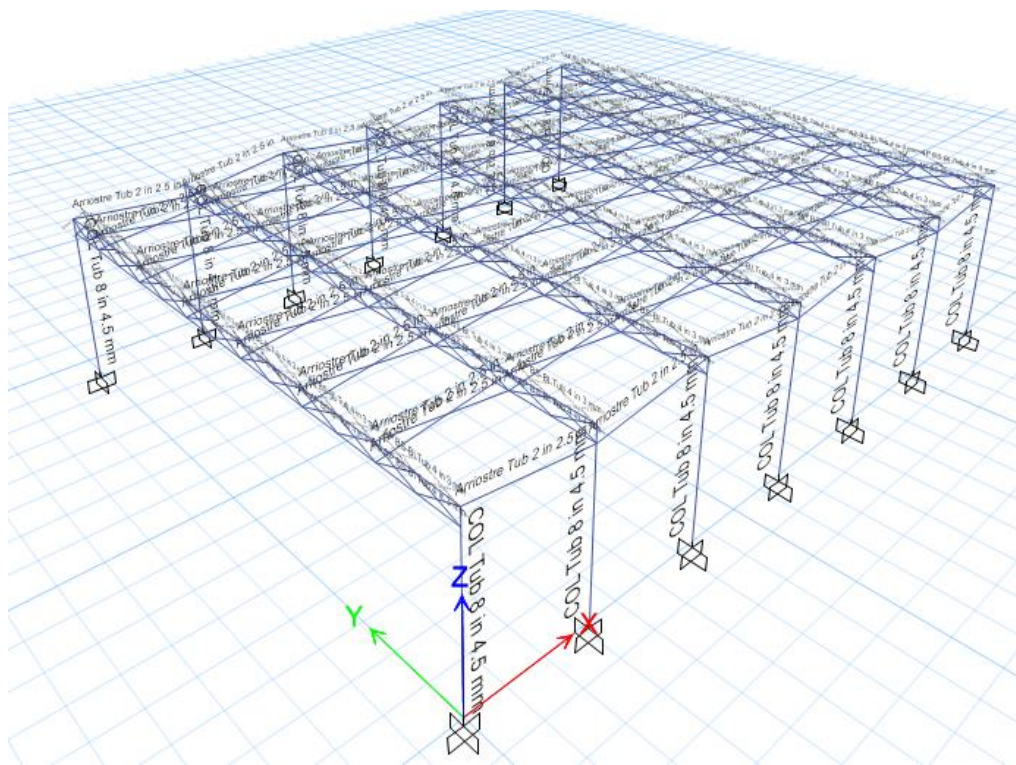


Figura 47. Definición de secciones de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Luego, para el desarrollo del análisis no lineal se debe definir un patrón de cargas, el cual proviene de la distribución de la presión de viento. Esta presión se considerará estática, la cual se ejerce directa y perpendicularmente a cada paño de lona; para esta investigación, se realizará una distribución de cargas de forma manual, que será explicado en el siguiente capítulo.

Denominaremos “PUSHX” o “PUSHY” al patrón de cargas según sea el caso.

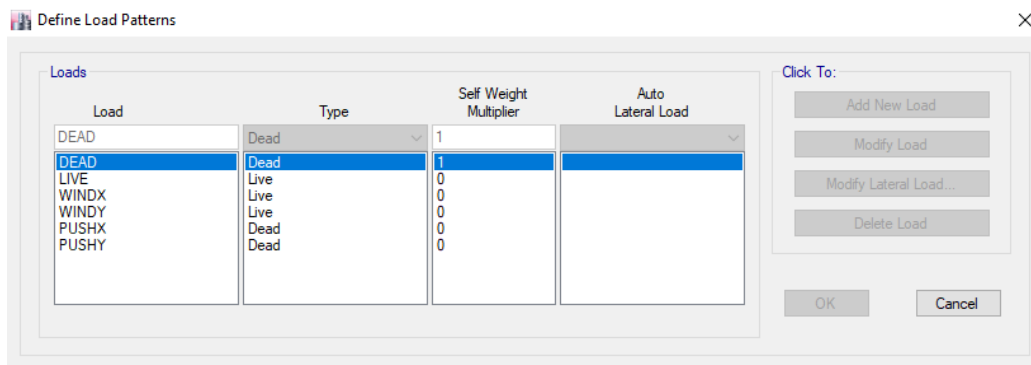


Figura 48. Definición de los casos de cargas para el análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

El modelamiento del comportamiento no lineal de los elementos se verá representado mediante la inserción de las rótulas plásticas con datos extraídos de los diagramas Fuerza-Desplazamiento y Momento-Curvatura.

La definición de las rótulas plásticas de los elementos que trabajen bajo cargas axiales, a tracción o a compresión, presentará diferencias en las fuerzas y desplazamientos que estos puedan resistir. Estas diferencias se originan debido a que los elementos sujetos a compresión axial se acortarán en la dirección de la carga, si ésta incrementa hasta que el elemento se pandee, el acortamiento terminará y se producirá flexión lateral y/o torsión en dirección perpendicular a su eje longitudinal; la resistencia y el tipo de falla de dichos elementos dependen, principalmente, de su longitud efectiva, lo cual se puede ver reflejado en sus relaciones de esbeltez. En síntesis, los miembros sometidos a compresión, tendrán menor resistencia a cargas que aquellos que se encuentren trabajando a tracción.

Para elementos que trabajen a flexión y/o flexo compresión, la definición de propiedades de rótulas requieren la introducción de datos del diagrama momento-rotación; sin embargo, por su practicidad se eligió el uso del Software “Xtract” mediante el cual se obtiene directamente la relación momento-curvatura que, junto a la determinación de una longitud de rótula, puede ser transformado en momento-rotación, cumpliendo así con lo requerido por el programa “ETABS 2016”.

La longitud de rótula será determinada según la teoría de Paulay y Priestley, quienes en base a investigaciones indicaron que corresponde al 50 % del peralte de la sección (Paulay & Priestley, 1992). En la presente investigación se usará esta teoría.

Además, para poder introducir dichas rótulas al software anteriormente mencionado, deberán seguir un formato, el cual se presenta a continuación.

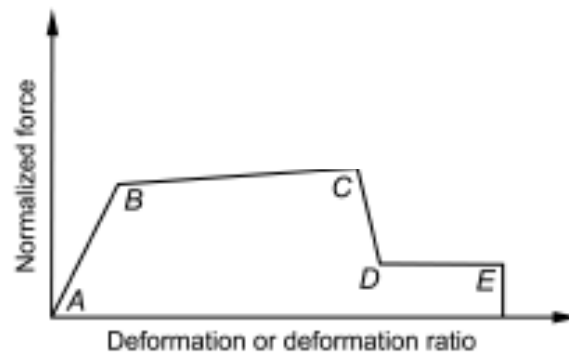


Figura 49. Formato para la definición de rótulas plásticas. [Fuente: (California Seismic Safety Commission, 1996)]

Este formato se utilizará para las relaciones Fuerza-Desplazamiento (elementos que trabajen bajo carga axial a tracción) y Momento-Curvatura, ya que el tramo AB representa la respuesta lineal o elástica de la sección, en cambio los tramos BC y CD representan la respuesta inelástica. El tramo DE describe su resistencia residual el cual no será considerado en esta investigación. La inserción de datos al software se hará tomando los puntos que brinden la resistencia a la fluencia y la resistencia última de la sección, con sus respectivos desplazamientos o en su defecto sus curvaturas.

Para la relación Fuerza-Desplazamiento para elementos sujetos a fuerzas axiales de compresión, únicamente se tomará la resistencia que el elemento, debido a su sección y longitud efectiva, presente y su correspondiente desplazamiento, esto debido a las diferencias de comportamiento en relación con los elementos que trabajan a tracción lo cual ya fue detallado en el Capítulo 4.

Se presenta, a continuación, la definición de una rótula plástica de un elemento de la brida superior e inferior que trabaja bajo carga axial, a tracción y compresión, respectivamente.

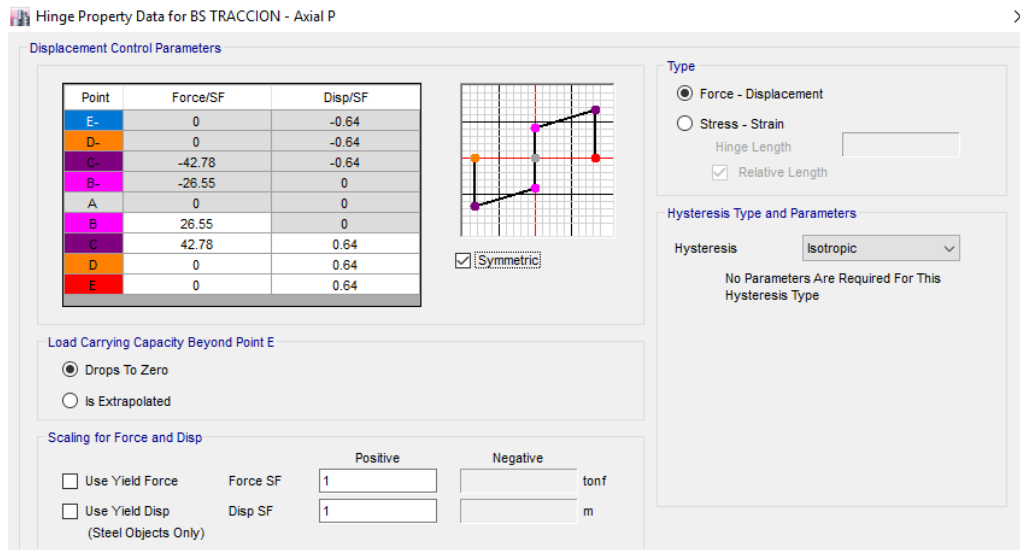


Figura 50. Inserción de datos del diagrama fuerza desplazamiento de las bridas sometidas a fuerzas de tracción. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

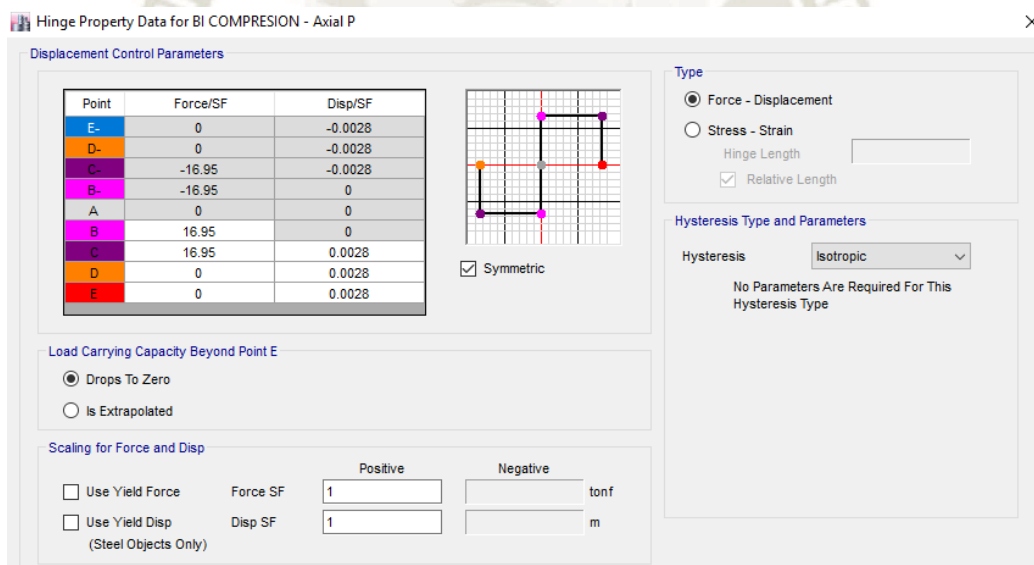


Figura 51. Inserción de datos del diagrama fuerza desplazamiento de las bridas sometidas a fuerzas de compresión. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Asimismo, presentamos un ejemplo de definición de rotula plástica que trabaja a fuerzas combinadas de axial y flexión como es las columnas de esta estructura.

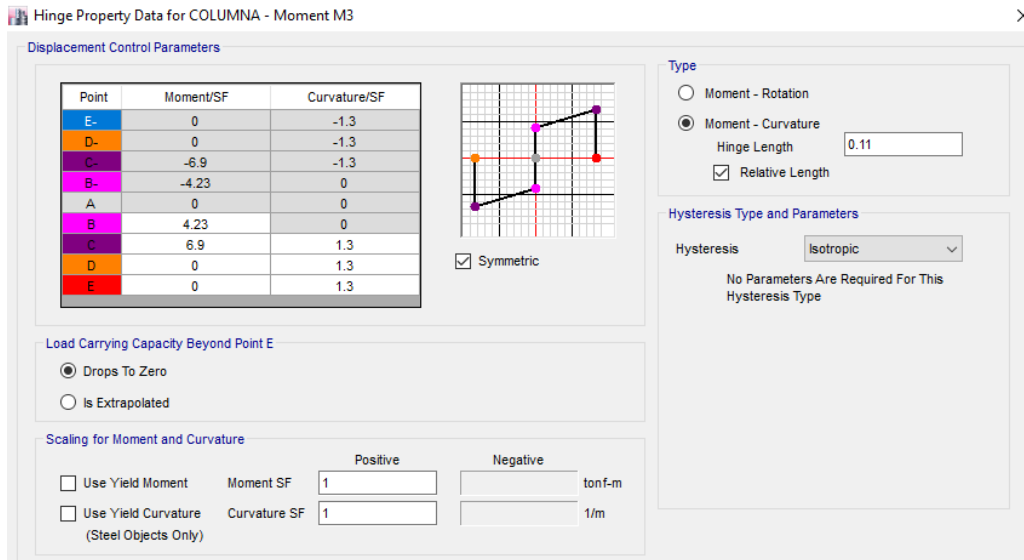


Figura 52. Inserción de datos del diagrama momento curvatura de las columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Una vez definidas todas las rótulas plásticas serán asignadas a cada elemento, según la zona de concentración de esfuerzos mayores, para elementos que trabajan a fuerza axial bastará con colocar una rótula a la mitad de su longitud, para elementos que trabajan a cargas combinadas se colocará en sus extremos.

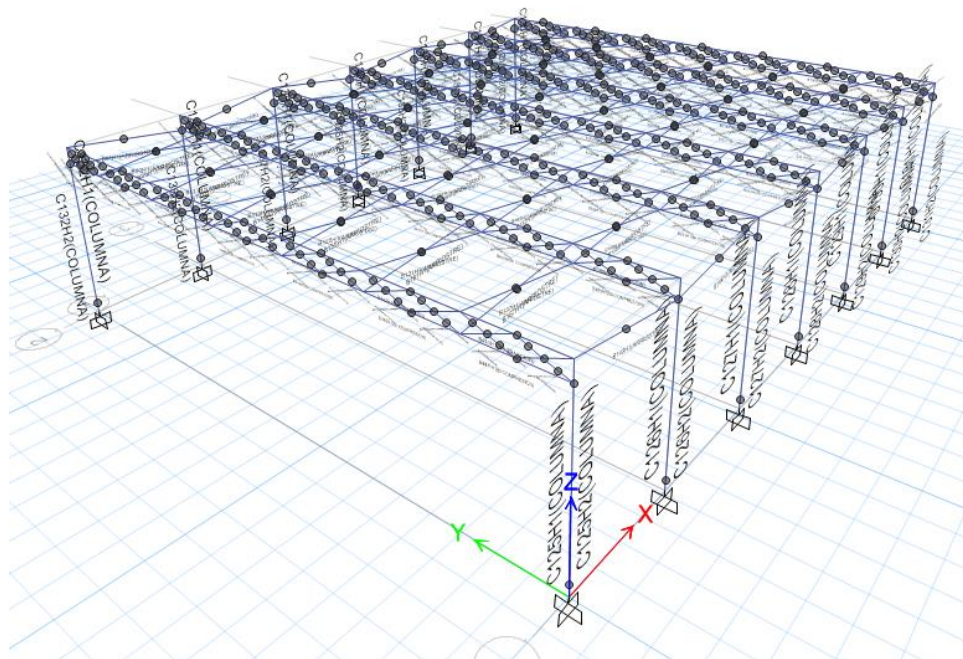


Figura 53. Asignación de rótulas plásticas a todos los elementos de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Finalmente, se define el caso de carga que corresponde al Pushover, empleando como punto de control el de mayor desplazamiento vertical del pórtico más cargado.

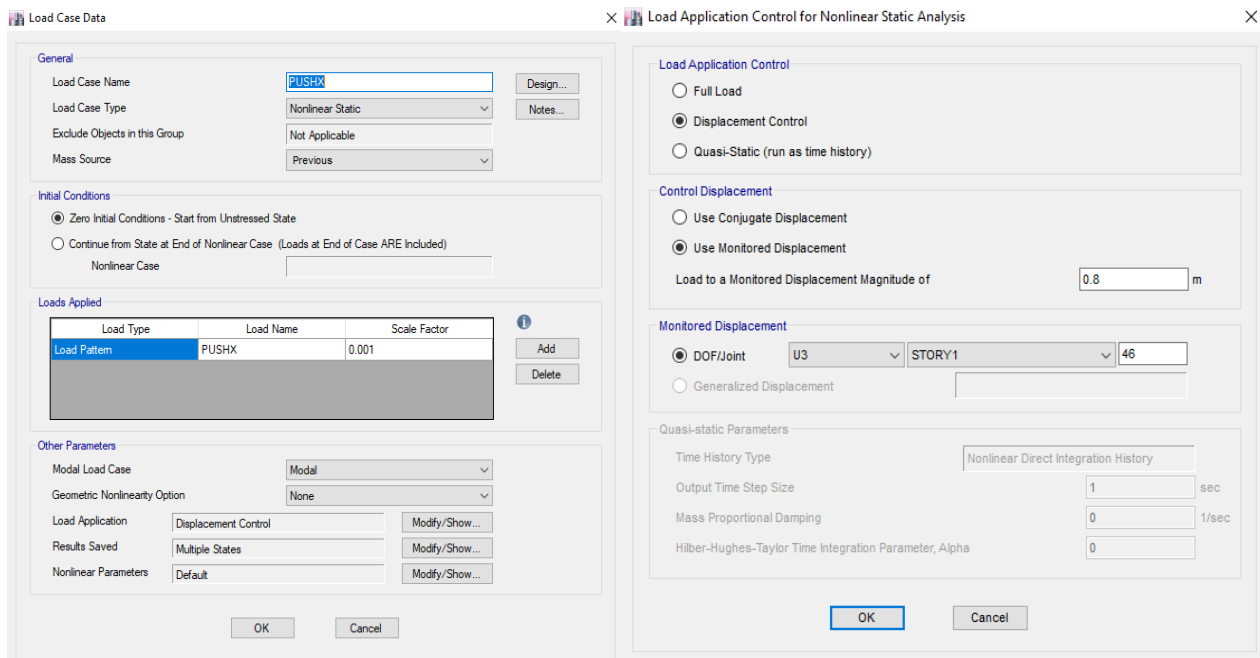


Figura 54. Definición del caso de cargas para el análisis Pushover. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

No se tomará en cuenta la curva de capacidad brindada por el Software, ya que no es compatible con los parámetros intervinientes en el presente estudio; en consecuencia, se procederá al cálculo manual de la curva de capacidad ya anteriormente descrito, con valores de fuerza y desplazamiento por cada “Step” de análisis.

Se presenta la curva de capacidad de la estructura metálica tomada como ejemplo para el análisis en la dirección “x”.

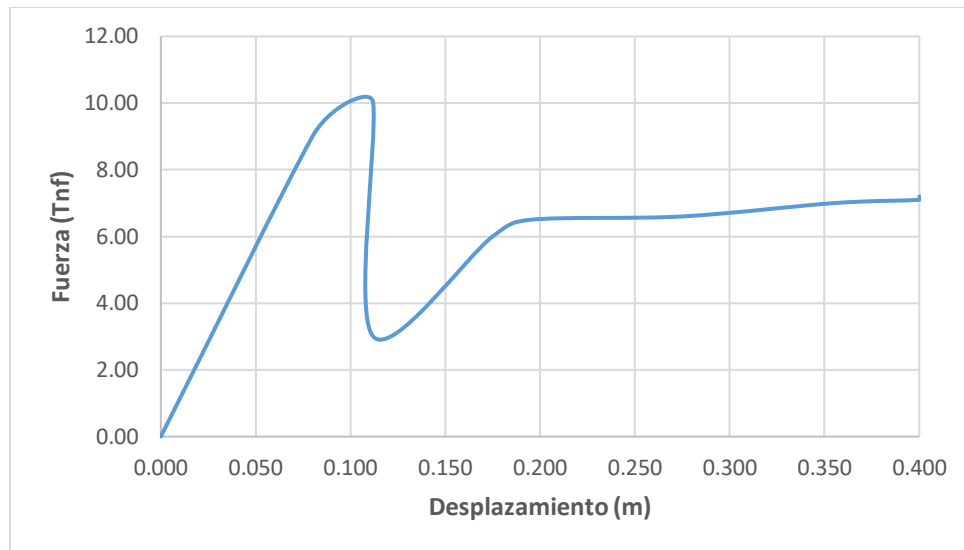
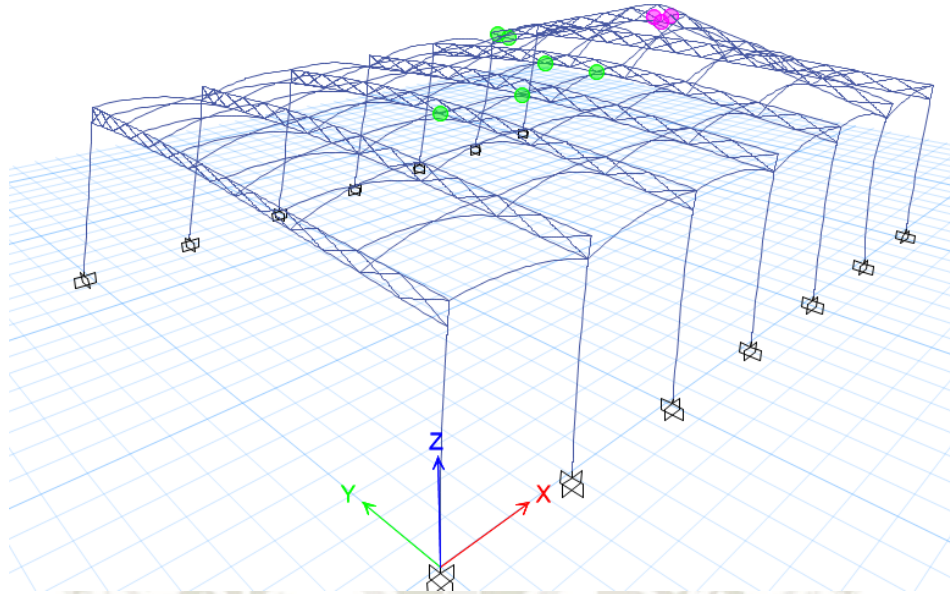


Gráfico 17. Curva de Capacidad de la estructura ejemplificada [Fuente: Elaboración propia]

La curva de capacidad es una representación gráfica de la respuesta de una estructura y para poder estimar el punto de desempeño (demanda máxima que tendrá la estructura ante determinado fenómeno). Esta es útil cuando se realiza el análisis Pushover para cargas sísmicas con su correspondiente análisis por desempeño, pero, en esta investigación, solo se utilizará para cargas estáticas de viento, siendo de poca utilidad en la determinación del comportamiento de las estructuras en estudio.

Para la determinación del colapso de las estructuras metálicas, se realizó un seguimiento del paso a paso (steps), tomando en cuenta la aparición de rótulas en los elementos, se consideró necesario realizar la verificación de las fuerzas y/o desplazamientos últimos de cada rótula, los cuales debieran ser superados en el análisis para concluir que el elemento, realmente, llegue a su punto de falla.



*Figura 55. Aparición de rótulas plásticas en los elementos en el seguimiento paso a paso del análisis.
[Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]*

Después de esta verificación, en un modelo de análisis elástico, se procede a eliminar los elementos rotulados, con el objetivo de apreciar los efectos que ocasiona la ausencia de dichos elementos, pues dejará de comportarse como una armadura para pasar a tener performance de viga.

Estos efectos son representados por momentos flectores que aparecen en el elemento de la brida contraria a la sufrió la eliminación del elemento, es decir, que de acuerdo al análisis pushover, se determinó que, por ejemplo, un elemento de la brida inferior de la armadura que trabaja bajo fuerzas axiales a compresión, falla, al ser eliminado produce la aparición de un momento flector en el elemento de la brida superior simétrico al mencionado. Lo que significa que la armadura deja de trabajar netamente como tal y se podría afirmar que trabaja como una viga en base a fuerzas axiales y momentos flectores. Las siguientes figuras ilustran lo anteriormente mencionado.



Figura 56. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

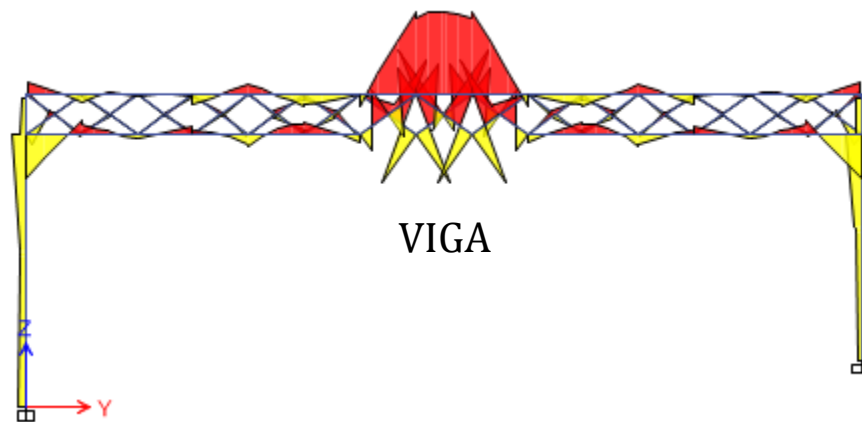


Figura 57. Aparición de momentos flectores en elementos de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Al existir este momento flector se deberá comprobar si excede la capacidad que puede brindar el elemento, esto se hará midiendo o calculando la resistencia a flexo tracción y flexo compresión, las cuales fueron desarrolladas en el Capítulo 4. Si el elemento no es capaz de resistir esta demanda, entonces se determinará que llegó a la falla.

De igual manera, este elemento será eliminado, para una vez más someter al modelo a un análisis elástico con la finalidad de descubrir los efectos que ocasiona. En esta ocasión, se presenta un incremento de momentos flectores y fuerzas axiales en las columnas, esto se debe a que el pórtico

fue dividido en dos partes, como si fueran dos vigas en volado. Asimismo, se calculará la resistencia de las columnas ante estas nuevas e incrementadas fuerzas y momentos, midiendo su resistencia a flexo tracción y flexo compresión. Basta que una de ellas no tenga la capacidad de soportar estas cargas para determinar que la estructura metálica de cobertura ha colapsado.

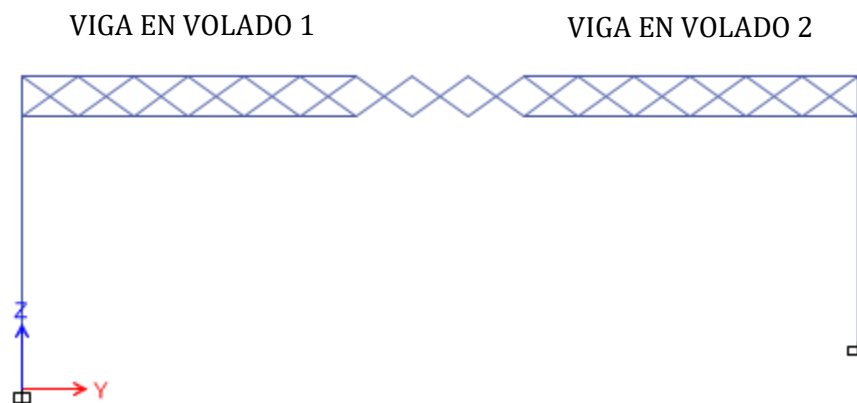


Figura 58. Eliminación de elementos de la brida superior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

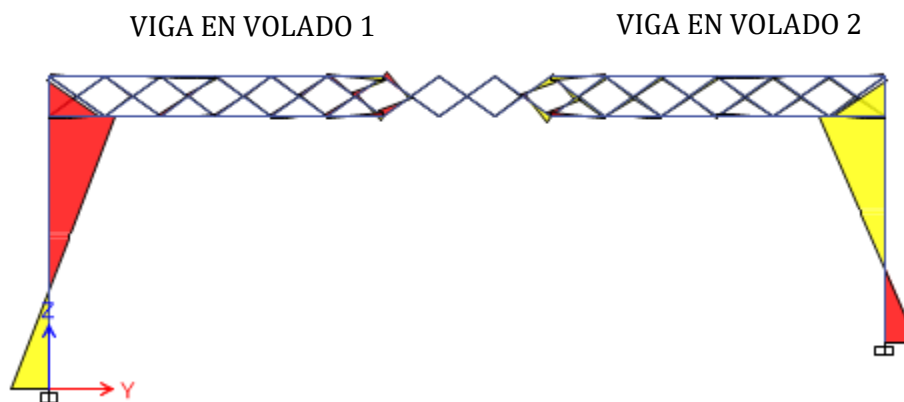


Figura 59. Incremento de momentos flectores en las columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Es así como se determina un punto muy importante en esta investigación, los elementos de la brida de la armadura que trabajen a compresión son los más propensos a fallar, esto debido a las largas longitudes o en su defecto a sus insuficientes áreas en las secciones.

La falla de este elemento se puede describir como el punto desencadenante de un posible colapso de la estructura metálica, el cual se verificará como se describió párrafos atrás.

Esta es la manera de determinación del mecanismo de falla de las estructuras metálicas de cobertura en análisis.



CAPITULO 6. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE COBERTURAS METÁLICAS SELECCIONADAS

6.1. Descripción de los modelos en análisis

Se analizarán 24 estructuras metálicas, su modelamiento será realizado en base a planos estructurales de expedientes técnicos recopilados de las municipalidades de diversos distritos de la ciudad de Arequipa; estos modelos contienen las principales tipologías de las estructuras metálicas de cobertura existentes en nuestro medio, las cuales serán mencionadas en la siguiente tabla:

Tabla 12. Listado de estructuras metálicas de cobertura en análisis. [Fuente: Elaboración propia]

DISTRITO	NOMBRE DE COBERTURA
Yanahuara	Cooperativa Abogados
	Urb. Juan XXIII
	Miguel Angel Bounaroti
	Regina Mundy
	Urb. Las Casuarinas
José Luis Bustamante y Rivero	Parque N°1 Urb. 2 de Mayo
	I.E. Jorge Basadre Gronhman I
	I.E. Jorge Basadre Gronhman II
	Complejo Deportivo Tasahuayo
	Urb. La Cantuta
	Losa Deportiva 3 de Octubre
	Urb. Amauta
	Urb. La Florida
Cayma	Jose Olaya
	Parque Dean Valdivia
	Urb. El Rosario
	20 de Enero
	1ro de Junio
	Villa Continental
Hunter	13 de Agosto
	Pampas del Cusco
UNSA	Ing. Mecánica
	Agronomía
	Ing. Pesquera

La primera clasificación se realiza en base a inspección visual de características físicas y geométricas, destacando la composición de las columnas de apoyo.

Tabla 13. Primera clasificación de las estructuras metálicas de cobertura según su tipo de columna.
[Fuente: Elaboración propia]

TIPO DE COLUMNA	DISTRITO	NOMBRE DE COBERTURA
TUBO CIRCULAR O RECTANGULAR	Yanahuara	Cooperativa Abogados
		Urb. Juan XXIII
		Miguel Angel Bounaroti
		Regina Mundy
		Urb. Las Casuarinas
	José Luis Bustamante y Rivero	Parque N°1 Urb. 2 de Mayo
		Losa Deportiva 3 de Octubre
	Cayma	Urb. El Rosario
		1ro de Junio
		José Olaya
	Hunter	Villa Continental
		13 de Agosto
	COMPUESTA	José Luis Bustamante y Rivero
I.E. Jorge Basadre Gronhman I		
I.E. Jorge Basadre Gronhman II		
Complejo Deportivo Tasahuayo		
Urb. La Cantuta		
Urb. Amauta		
Urb. La Florida		
Parque Dean Valdivia		
UNSA		20 de Enero
		Ing. Mecánica
		Agronomía
		Ing. Pesquera

Resulta necesario aclarar que las coberturas de la UNSA aún no han sido construidas.

6.2. Consideraciones tomadas para el análisis de los modelos en estudio

El modelamiento de las estructuras metálicas se realizó en base de los planos estructurales obtenidos, considerando las secciones, dimensiones y materiales utilizados, para así plasmarlo correctamente en el programa “ETABS 2016”.

Para tener una mejor visión de los criterios a tomar para el análisis de este tipo de estructuras, se hicieron encuestas a especialistas donde, finalmente, se rescataron las respuestas más coincidentes que, junto al criterio propio, serán aplicados en el análisis de cada cobertura.

En primer lugar, siguiendo las respuestas de las encuestas y la Norma E.020, se determinó la presión ejercida en las coberturas con todos los parámetros necesarios y de acuerdo a su actuación a presión y succión en la elección de los factores de forma, el valor final de la presión toma en cuenta los efectos dinámicos según la clasificación dada, multiplicándolo por un factor de 1.2.

La aplicación de presiones externas se realizará en los tramos entre pórticos de acuerdo a la influencia del viento, esto es a barlovento o sotavento, influyente también en la elección de factores de forma.

En esta investigación, no se tomará en cuenta la presión interna por considerar a las estructuras en estudio como abiertas, donde permite el libre paso del viento sin ejercer una presión interna considerable e influyente en los elementos estructurales.

La repartición de cargas se hizo de forma manual directamente a los elementos de apoyo de cada tramo de lona, bajo el concepto de losa bidireccional, es decir, la presión ejercida en la lona se repartirá en forma de cargas distribuidas a los elementos que conforman cada paño de lona (brida superior y/o inferior, arriostre). La siguiente figura ilustra lo mencionado.

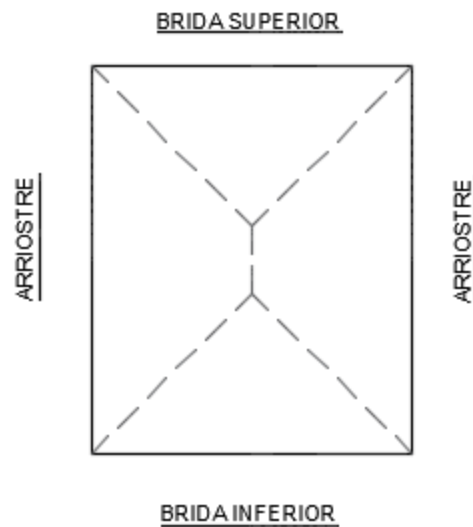


Figura 60. Comportamiento bidireccional de la lona para la repartición de la componente vertical de la carga de viento. [Fuente: Elaboración propia]

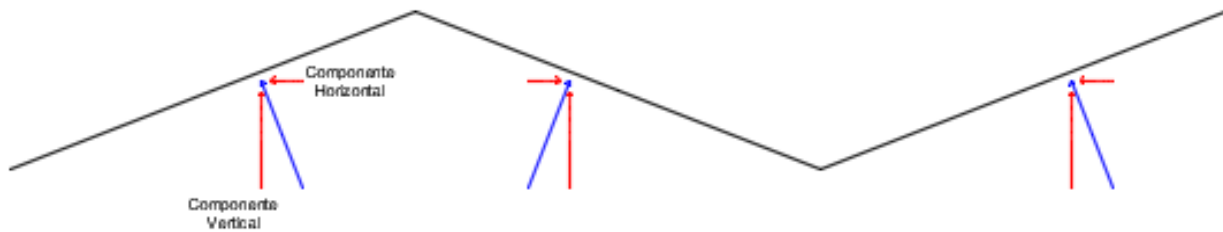


Figura 61. Descomposición de la fuerza de viento según su aplicación en la lona. [Fuente: Elaboración propia]

Además, la presión debe ser repartida según sus componentes horizontal y vertical, como se muestra en la figura anterior (Figura 61). La componente vertical se reparte hacia los cuatro lados de la lona, es decir, hacia las armaduras y los arriostres que la soportan (Figura 60); sin embargo, la componente horizontal sólo se repartirá hacia las armaduras debido a que el soporte entre la lona y el arriostre es en forma de anillos sin restricción al movimiento, impidiendo así la transmisión de presión hacia dicho elemento estructural; por lo tanto, la distribución de la componente de presión en mención se realizará con el concepto de losa unidireccional (Figuras 62 y 63).

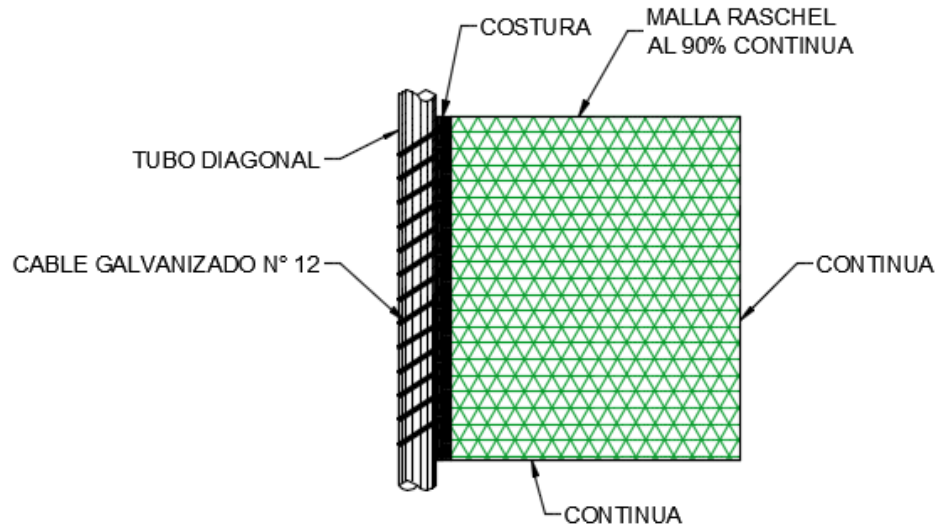


Figura 62. Detalle de enganche de la lona a los apoyos laterales. [Fuente: Elaboración propia]

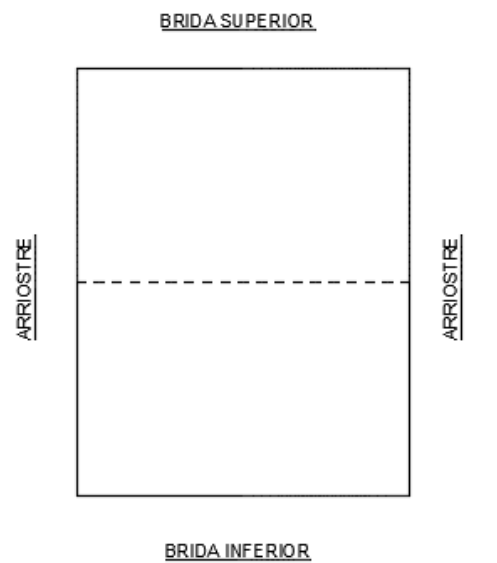


Figura 63. Comportamiento unidireccional de la lona para la repartición de la componente horizontal de la carga de viento. (Fuente: Elaboración propia)

Las cargas distribuidas verticales en las armaduras externas tendrán un valor correspondiente a la repartición mencionada en los párrafos anteriores; en cambio, en las armaduras centrales o comunes para dos tramos de lona, existirá un valor doble de cargas, lo cual quedará mostrado en las siguientes figuras.

Para los arriostres, se considera el valor total de la repartición según el criterio de losa bidireccional.

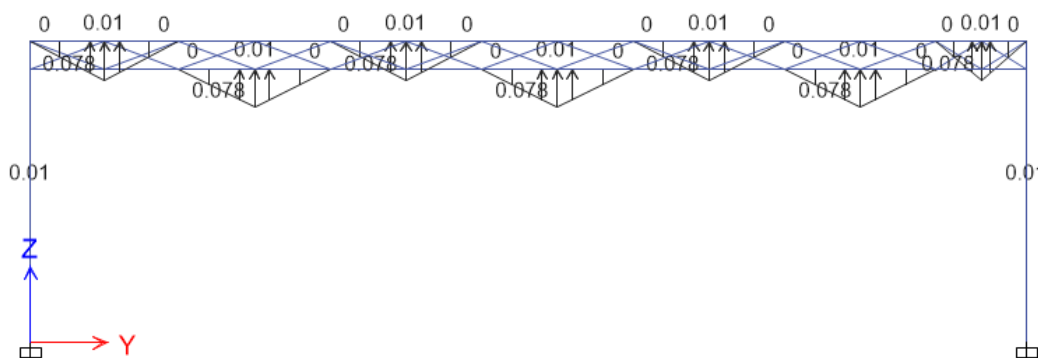


Figura 64. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos externos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

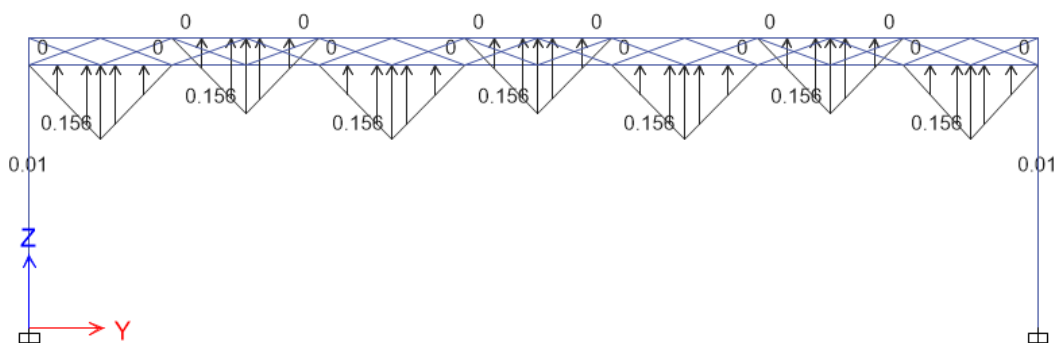


Figura 65. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos internos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

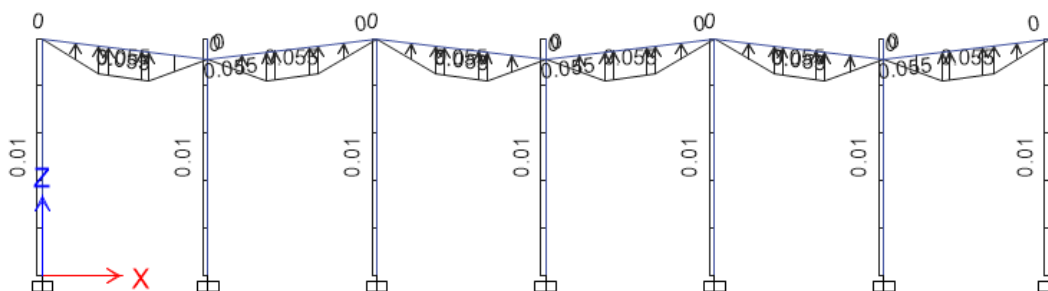


Figura 66. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en arriostres
[Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Las cargas distribuidas horizontales sólo serán consideradas en las armaduras externas, ya que en las internas existen en direcciones opuestas entre tramos de lona, en consecuencia, se anulan y toman un valor de cero.

Este análisis elástico fue realizado para las direcciones “x” y “y”, donde se descubrió que los resultados para ambos son similares, esto debido a la acción del viento directamente sobre las lonas, generando una repartición muy similar, excluyendo las cargas ejercidas sobre las columnas que sí difieren según la dirección de análisis, donde radica la pequeña diferencia en los resultados que no se considera muy significativo.

Con los resultados obtenidos, es posible determinar qué elementos trabajan bajo fuerzas axiales a tracción o compresión con el objetivo de, posteriormente, insertar sus respectivas rótulas plásticas y, realizar una segunda clasificación de acuerdo a la forma de trabajo de las estructuras, enfocado, mayormente, en las columnas.

Estos elementos de soporte que presentan secciones simples conformadas por tubos circulares o rectangulares con área total no muy grande, trabajan bajo fuerzas axiales, lo que produce que los mayores esfuerzos se concentren en la cobertura superior; sin embargo, las columnas compuestas por más de un tubo en arreglo de armadura, trabajan a cargas combinadas de axial y flexión, soportando los mayores esfuerzos; en consecuencia, la cobertura superior tendrá que soportar esfuerzos mucho menores.

La clasificación según el comportamiento de columnas, se presenta enseguida:

Tabla 14. Clasificación de las estructuras metálicas de cobertura en análisis según el comportamiento de columnas. [Fuente: Elaboración propia]

FUERZA DE TRABAJO PREDOMINANTE	DISTRITO	NOMBRE DE COBERTURA
AXIAL	Yanahuara	Cooperativa Abogados
		Urb. Juan XXIII
		Miguel Angel Bounaroti
		Regina Mundy
		Urb. Las Casuarinas
	José Luis Bustamante y Rivero	Parque N°1 Urb. 2 de Mayo
		Losa Deportiva 3 de Octubre
	Cayma	Urb. El Rosario
		1ro de Junio
		José Olaya
Villa Continental		
AXIAL Y FLEXIÓN	José Luis Bustamante y Rivero	I.E. Jorge Basadre Gronhman I
		I.E. Jorge Basadre Gronhman II
		Complejo Deportivo Tasahuayo
		Urb. La Cantuta
		Urb. Amauta
		Urb. La Florida
		Parque Dean Valdivia
	Cayma	20 de Enero
		13 de Agosto
	Hunter	Pampas del Cusco
		Ing. Mecánica
	UNSA	Agronomía
		Ing. Pesquera

Teniendo el completo conocimiento del comportamiento de los elementos estructurales, se describirá el procedimiento de tipos de estructuras de acuerdo a la fuerza de trabajo predominante, buscado confirmar que el mecanismo de falla planteado sea el válido para todos estos.

6.3. Procedimiento de análisis de estructuras metálicas de cobertura

Las estructuras metálicas de cobertura a tomar como ejemplo son:

- Parque N°1 Urb. 2 de mayo (José Luis Bustamante y Rivero)
- I.E. Jorge Basadre Gronhman I (José Luis Bustamante y Rivero)

6.3.1. Procedimiento de análisis de la estructura metálica del Parque N°1 Urb. 2 de mayo (José Luis Bustamante y Rivero)

Se realiza el modelamiento de la estructura metálica tomando las consideraciones ya mencionadas con anterioridad.

Las secciones de sus elementos son las siguientes:

- Brida superior (Armadura principal): Tubo Circular $D_n=2.5$ in, $e=2.5$ mm
- Brida inferior (Armadura principal): Tubo Circular $D_n=2.5$ in, $e=2.5$ mm
- Diagonales (Armadura principal): Tubo Circular $D_n=2.5$ in, $e=2.5$ mm
- Brida superior (Armadura secundaria): Tubo Circular $D_n=2.5$ in, $e=2.5$ mm
- Brida inferior (Armadura secundaria): Tubo Circular $D_n=2.5$ in, $e=2.5$ mm
- Diagonales (Armadura secundaria): Tubo Circular $D_n=1.25$ in, $e=2.5$ mm
- Arriostre: Tubo Circular $D_n=2.5$ in, $e=2.5$ mm
- Columnas: Tubo Circular $D_n=4$ in, $e=3$ mm

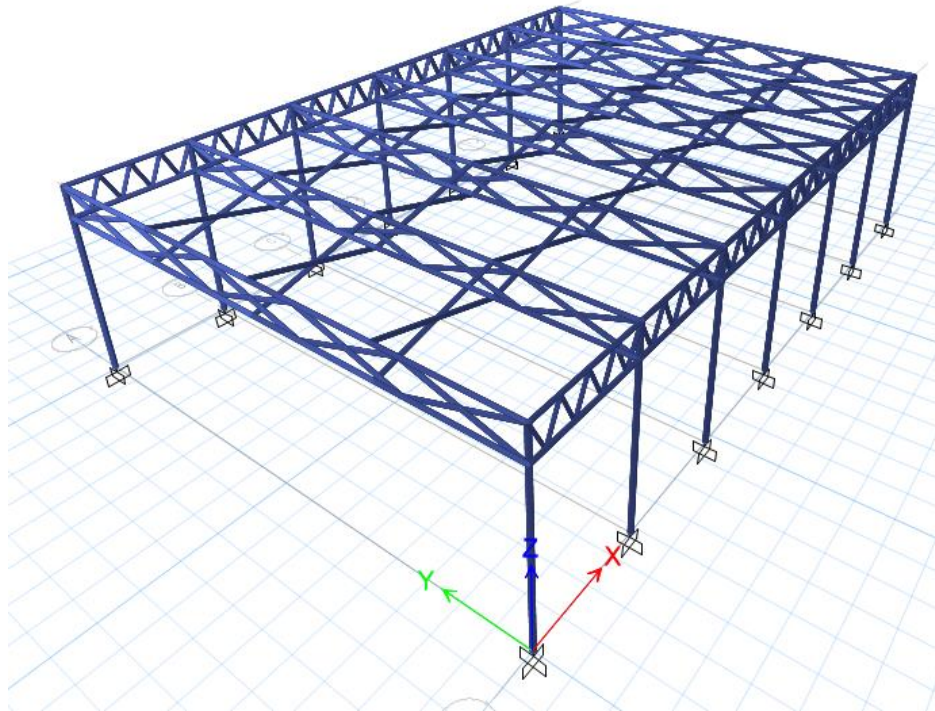


Figura 67. Modelamiento computacional de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

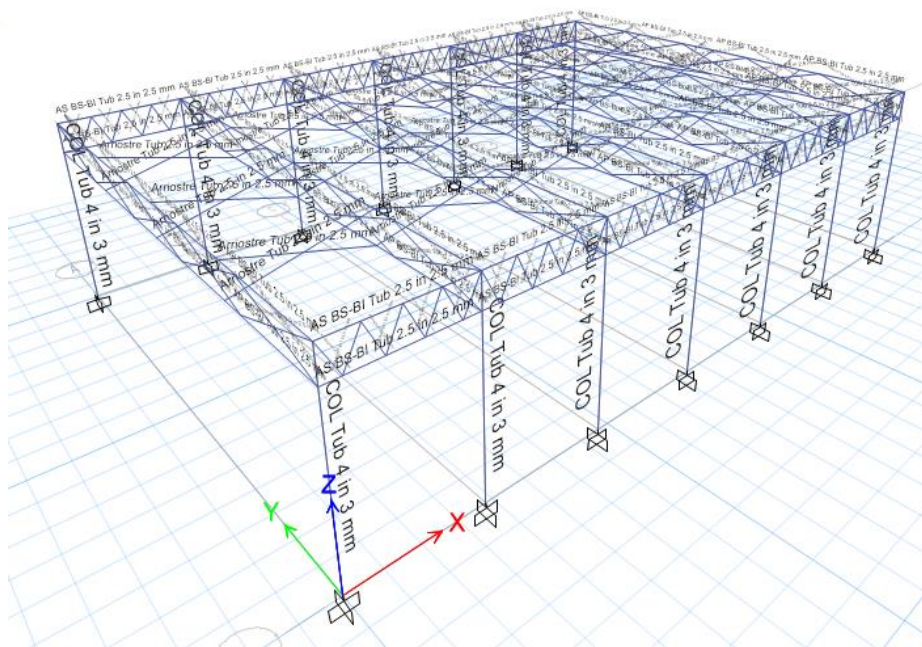


Figura 68. Definición de secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

La aplicación de cargas se realizará de acuerdo a una distribución de presiones según lo explicado.

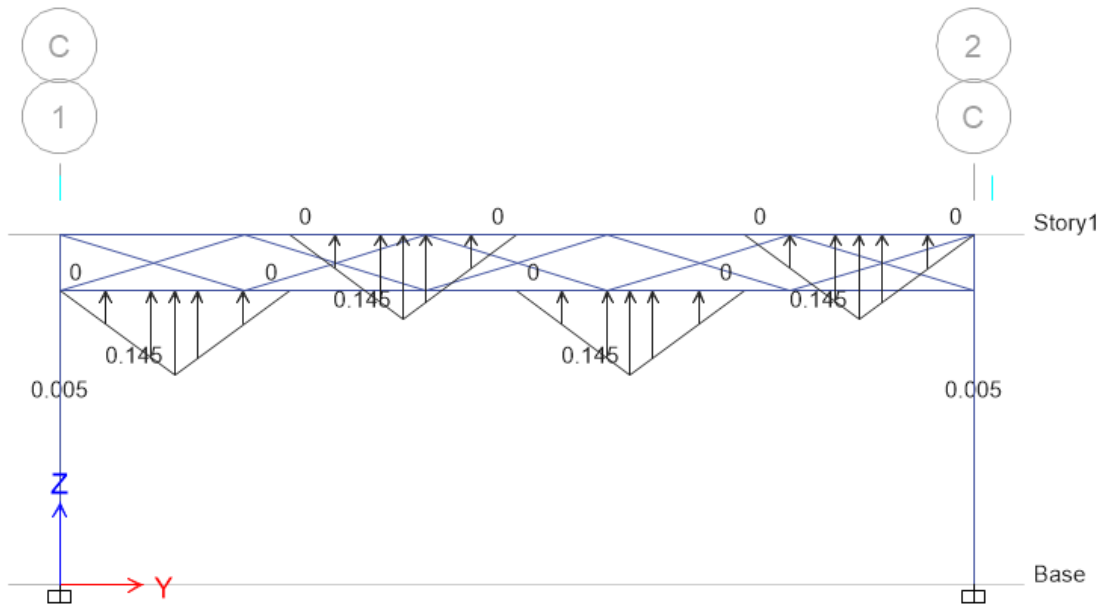


Figura 69. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

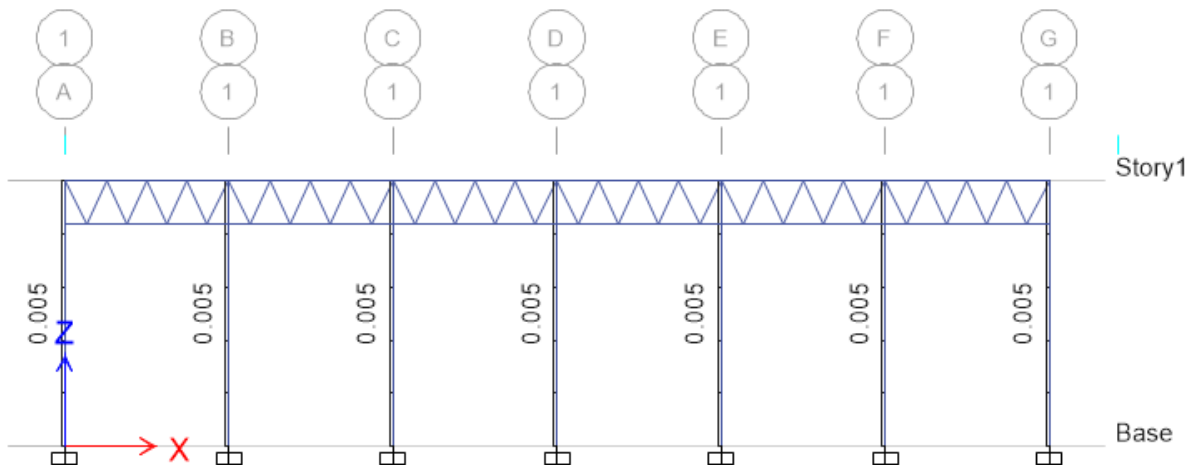


Figura 70. Asignación de cargas debido a la fuerza de viento en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Si el análisis considera las cargas a presión, las bridas superiores trabajan a compresión y las inferiores a tracción, las diagonales se comportan de acuerdo a su ubicación y las columnas, en este caso, a cargas de compresión.

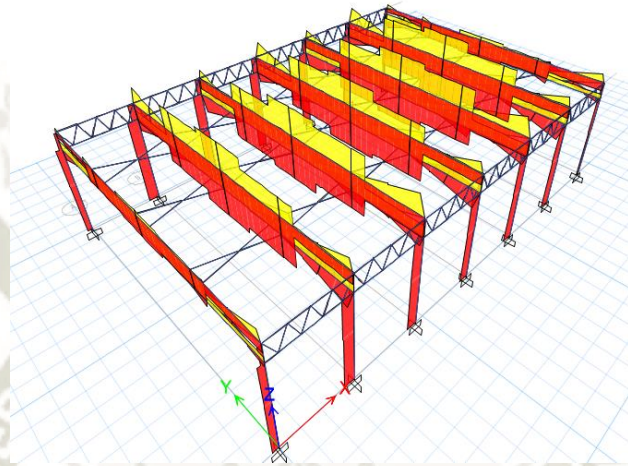


Figura 71. Comportamiento de elementos ante carga a presión. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

En cambio, si el análisis considera las cargas a succión, las bridas superiores trabajan a tracción y las inferiores a compresión, las diagonales también se comportan de acuerdo a su ubicación y las columnas a cargas de tracción.

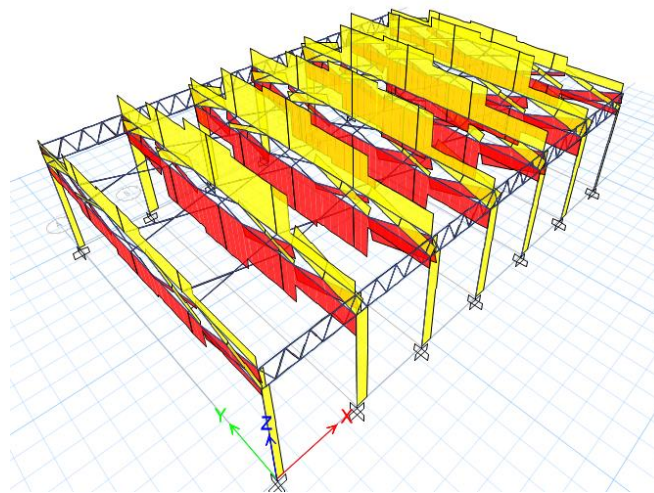


Figura 72. Comportamiento de elementos ante carga a succión. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Los resultados del análisis elástico muestran la forma de trabajo de elementos estructurales, este tipo de estructura metálica presenta mayores esfuerzos en la cobertura superior, debido a la poca rigidez de sus columnas que tienen secciones simples de tubos con áreas pequeñas.

La siguiente figura muestra la diferencia de axiales entre la cobertura superior y las columnas.

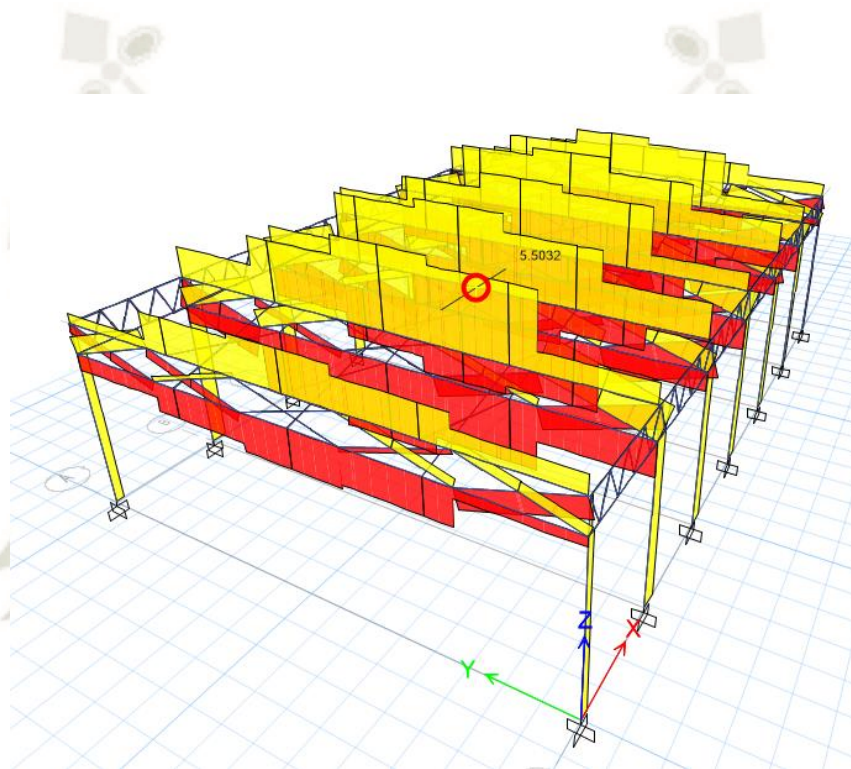


Figura 73. Fuerza axial (T_{nf}) máxima a tracción de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

En este tipo de estructuras metálicas de cobertura, las columnas presentan valores de axial mucho más grandes que los momentos flectores, por lo que se considera que dichos elementos trabajarán netamente a cargas axiales. Esto será ilustrado con las siguientes figuras.

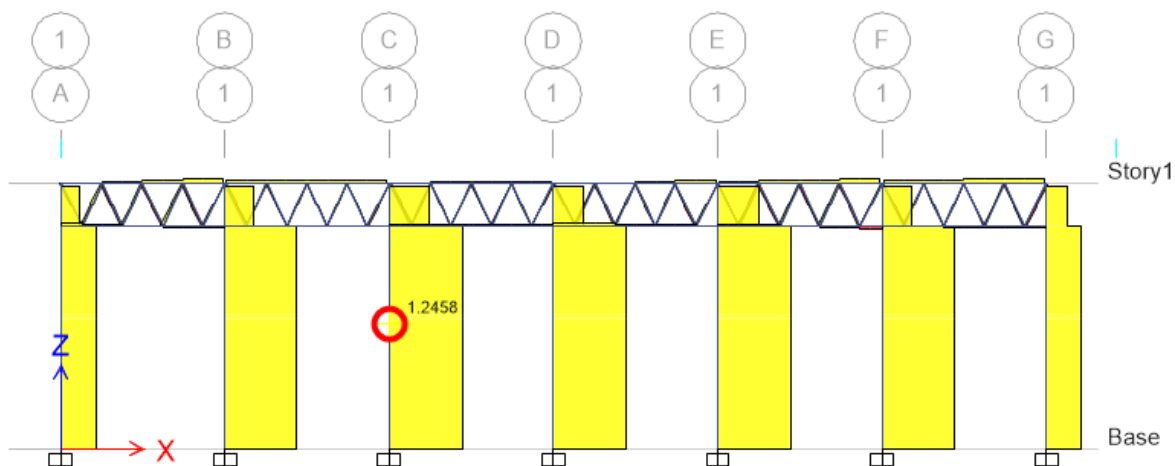


Figura 74. Fuerza axial (T_{nf}) máxima a tracción en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

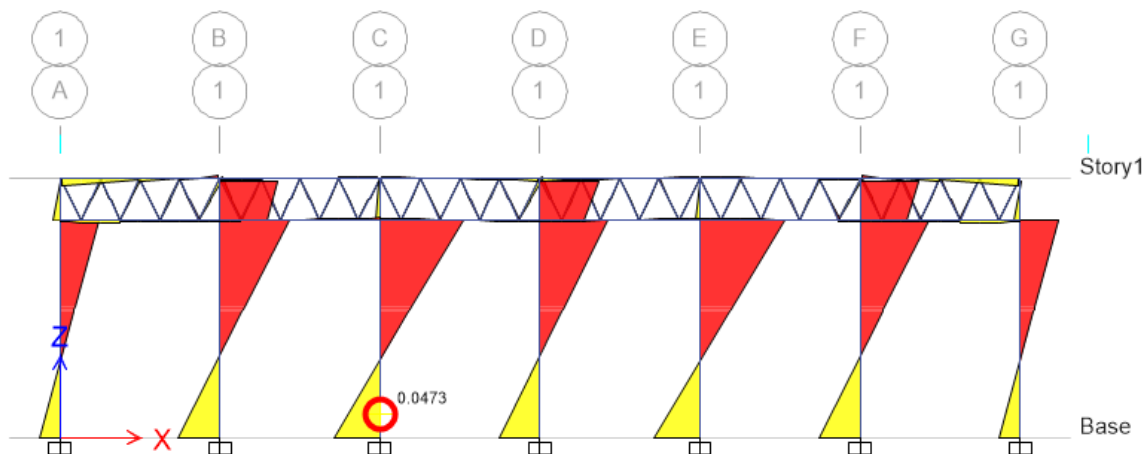


Figura 75. Valor máximo de momento flector ($T_{nf.m}$) en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Después, se debe realizar el análisis no lineal cuyo primer paso es la definición e inserción de rótulas plásticas de acuerdo al comportamiento ya determinado en el análisis elástico siguiendo los pasos ya definidos en el capítulo anterior. En estas estructuras, todos los elementos trabajarán sometidos a fuerzas axiales por lo que les corresponde diagramas de Fuerza-Desplazamiento siguiendo los pasos ya descritos para su elaboración y utilización en la definición de sus rótulas. Éstas deberán ser aplicadas a cada elemento.

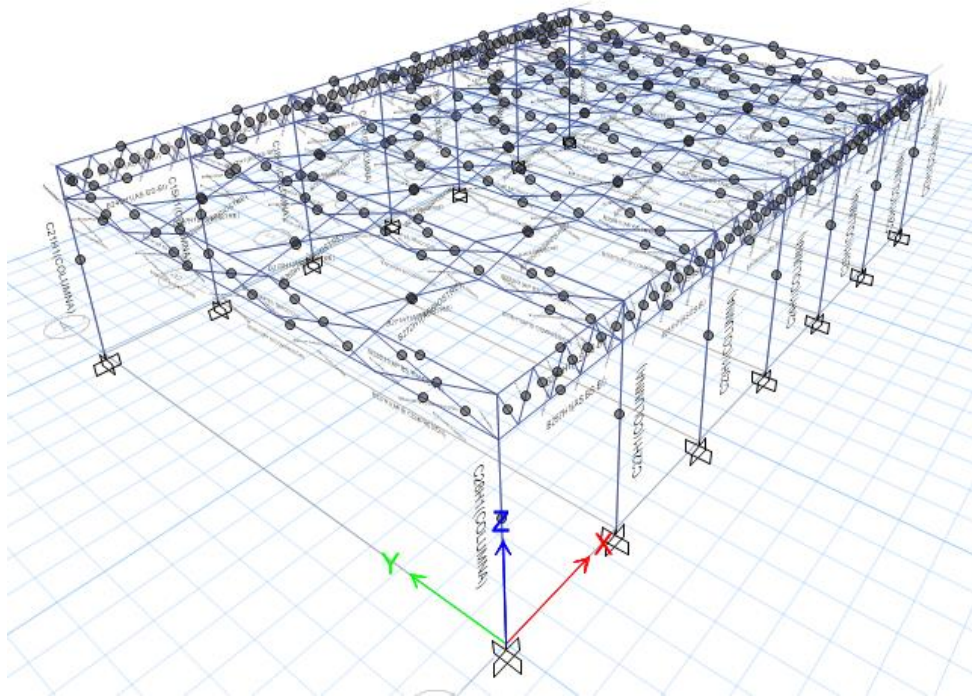


Figura 76. Asignación de rótulas plásticas a todos los elementos de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se debe hacer un seguimiento del paso a paso del análisis Pushover, donde se muestra las rotulaciones secuenciales, donde uno o varios de los elementos de la brida que trabaja a compresión falla y desencadena el colapso total de la estructura metálica, confirmando así el mecanismo de falla descubierto.

Se seguirá el procedimiento para la determinación del colapso de la estructura metálica como ya anteriormente se explicó y se mostrará la curva de capacidad de esta estructura.

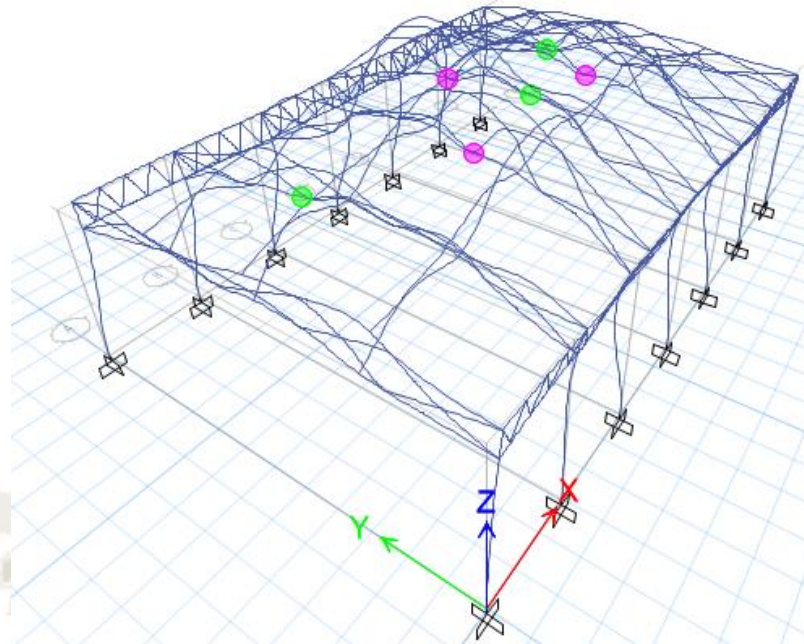


Figura 77. Aparición de rótulas plásticas en los elementos en el seguimiento paso a paso del análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

En este ejemplo, el primer elemento en presentar rotulación es el central de la brida inferior para el análisis con fuerzas a succión; por lo tanto, en el modelo elástico será el primero en eliminarse para evaluar las repercusiones de su ausencia en el resto de la cobertura.

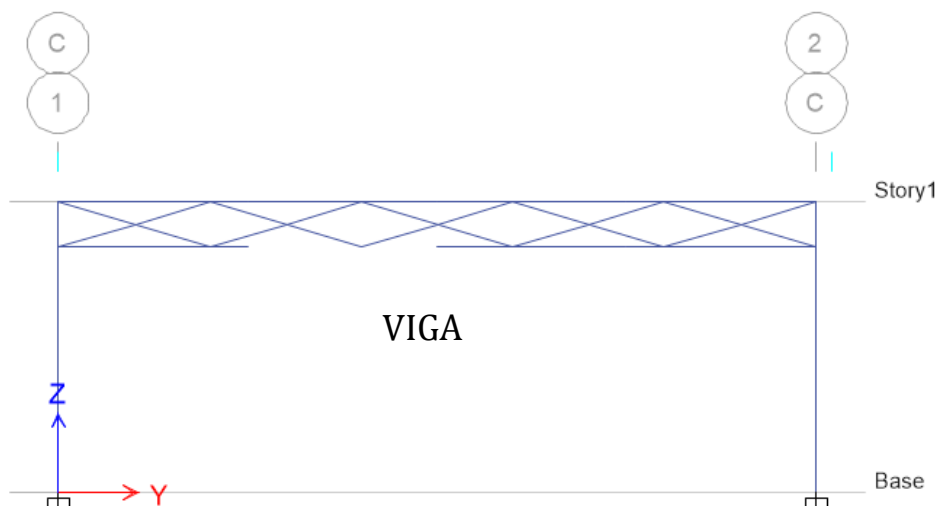


Figura 78. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se puede determinar que los elementos de la brida contraria y las diagonales, asumen momentos no considerados en su diseño previo y no son compatibles con el comportamiento supuesto para este tipo de elementos, puesto que no poseen la resistencia necesaria para soportar estos momentos flectores cuyos valores rodean 1 tnf.m.

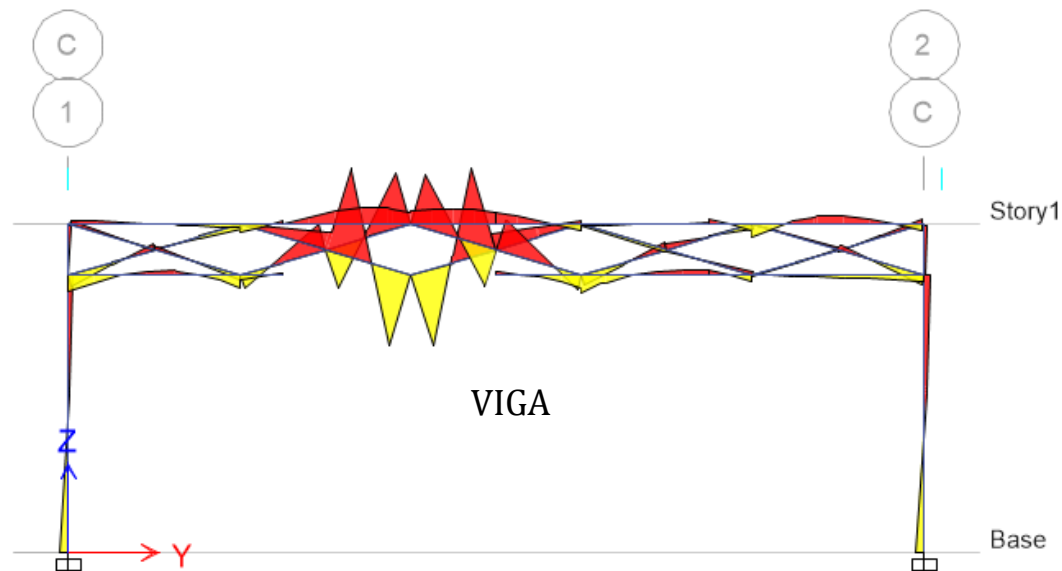


Figura 79. Aparición de momentos flectores en elementos de la brida superior y diagonales. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Debido a su falta de resistencia, estos elementos llegan a la falla y debe ser eliminados también en un modelo elástico.

En consecuencia, el pórtico es convertido en dos volados, lo que genera un incremento de fuerzas y momentos en los demás elementos, se calcula la resistencia de las columnas a cargas combinadas de axial y flexión, es decir, flexo compresión o flexo tracción, dependiendo de la dirección de análisis del viento, presión o succión, respectivamente. En ninguno de los casos, son resistidos por las secciones dispuestas para estas columnas, conllevando al colapso total de la estructura.

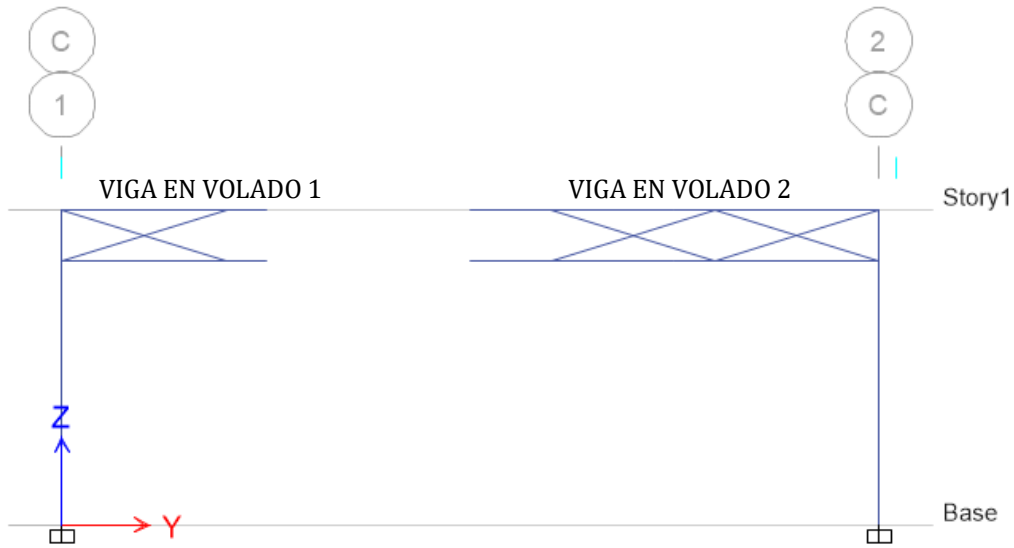


Figura 80. Eliminación de elementos de la brida superior y diagonales que llegaron a la falla.
[Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

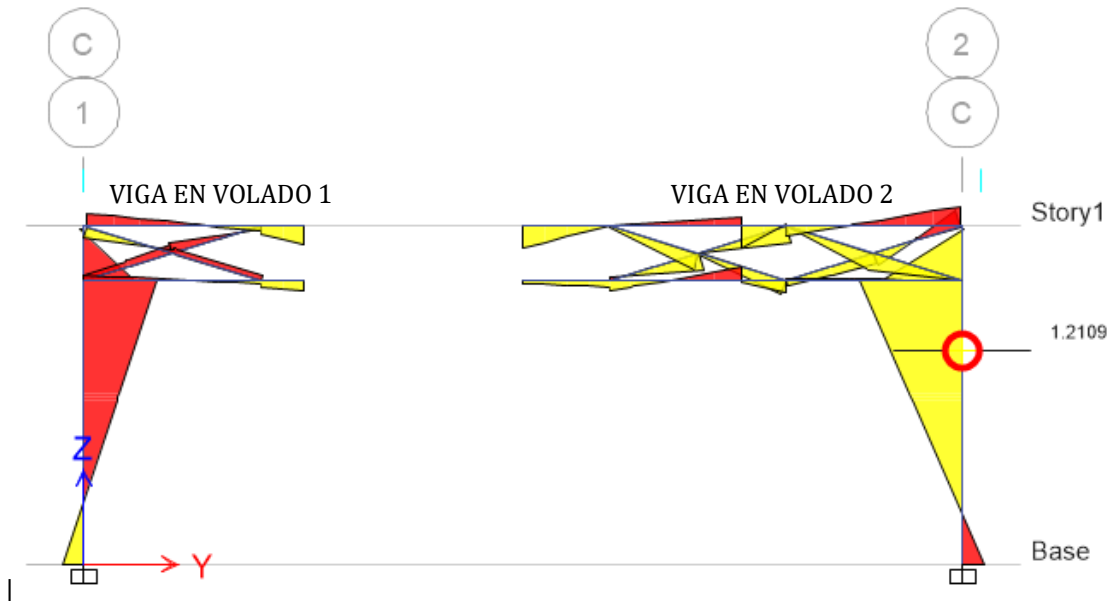


Figura 81. Aparición de momentos flectores en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Se presenta la curva de capacidad de la estructura, debemos tener en cuenta que no presenta mucha variación entre la que se genera del análisis en dirección “x” y la de la dirección “y”, lo que ya se había mencionado en capítulos previos.

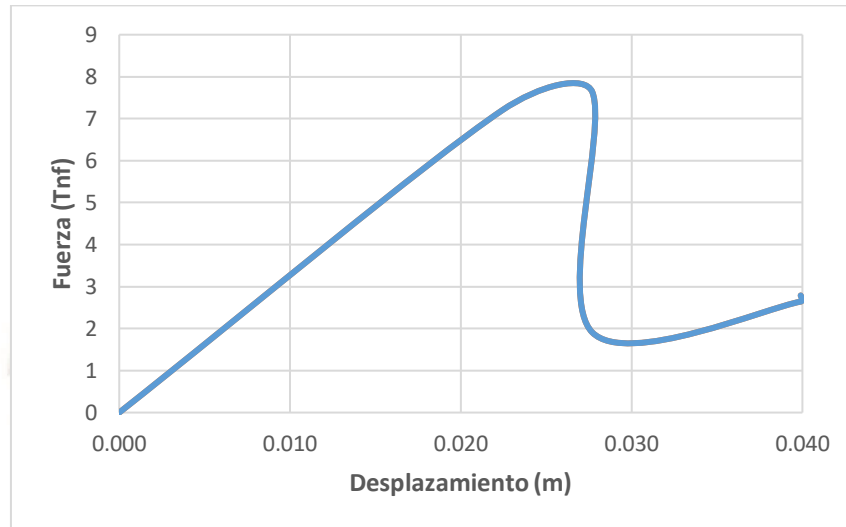


Gráfico 18. Curva de Capacidad de la estructura ejemplificada N° 1 [Fuente: Elaboración propia]

La obtención de las velocidades de falla se efectuará mediante la extracción de las fuerzas últimas de todos los elementos que presentan rotulación que, según lo descubierto, trabajan a compresión y han desencadenado el colapso de la estructura; luego, se deberá extraer también las fuerzas que actúan en el análisis elástico en los mismos elementos. Para obtener un factor de escala, se deberá realizar una división entre ambos valores de fuerzas.

Tabla 15. Factor de escala para la obtención de la velocidad de falla. [Fuente: Elaboración propia]

COBERTURA	Step de Falla	Pórtico	Resistencia a Compresión (Tnf)	Fuerza Axial (A. Elástico) (Tnf)	Factor de Escala
2 DE MAYO - JLBR	5	C	2.38	5.5	0.43
		D		5.33	0.45
		E		5.5	0.43

Este factor se aplicará a la presión inicial para la velocidad de diseño (85 km/h) que, mediante una amplificación del 20 % considera los efectos dinámicos; así se obtendrá otro valor de presión de falla, seguidamente, con un proceso inverso, se halla el valor de la velocidad de falla de la estructura.

A continuación, se muestran los cálculos correspondientes.

- La presión del viento para una velocidad de 85 km/h será calculada según la siguiente ecuación.

$$P_h = 0.005 c V_h^2$$

Donde $c = 0.7$ (factor de forma)

- Debido a la clasificación de la estructura, se amplificará dicha presión en un 20%.

$$P = 1.2 P_h$$

- En esta ocasión el valor de la presión a utilizar para el análisis será de:

$$P = 30.3456 \text{ kgf/m}^2$$

- Se procede a multiplicar el factor calculado con la presión.

$$P_{falla} = 0.43 \times P$$

$$P_{falla} = 0.43(30.3456)$$

$$P_{falla} = 13.1313 \text{ kgf/m}^2$$

- Con esta presión denominada de falla, se realiza el proceso inverso para el cálculo de la velocidad.

$$P_{falla} = (1.2) 0.005 c V_{falla}^2$$

$$\frac{P_{falla}}{(1.2)(0.005)(0.7)} = V_{falla}^2$$

$$\sqrt{\frac{P_{falla}}{(1.2)(0.005)(0.7)}} = V_{falla}$$

$$\sqrt{\frac{13.1313}{(1.2)(0.005)(0.7)}} = V_{falla}$$

$$V_{falla} = 55.92 \text{ Km/h}$$

Con este resultado, podemos concluir que este tipo de estructuras colapsarán con velocidades menores que la de diseño (85 km/h), propuesta por la Norma E.020 “Cargas”, evidenciando y confirmando su deficiente comportamiento ante las cargas que se presentan.

6.3.2. Procedimiento de Análisis de la estructura metálica I.E. Jorge Basadre Gronhman I (José Luis Bustamante y Rivero)

Se realiza el modelamiento de la estructura metálica tomando las consideraciones ya mencionadas con anterioridad.

Las secciones de sus elementos son las siguientes:

- Brida superior (Armadura principal): Tubo Circular Dn=4 in, e=4 mm
- Brida inferior (Armadura principal): Tubo Circular Dn=4 in, e=4 mm
- Diagonales (Armadura principal): Tubo Circular Dn=2.5 in, e=3 mm
- Brida superior (Armadura secundaria): Tubo Circular Dn=3 in, e=3 mm
- Brida inferior (Armadura secundaria): Tubo Circular Dn=3 in, e=3 mm
- Diagonales (Armadura secundaria): Tubo Circular Dn=1.5 in, e=2.5 mm
- Arriostre: Tubo Circular Dn=4 in, e=3 mm
- Columnas: 4 Ángulos 4 in x 4in x ¼ in

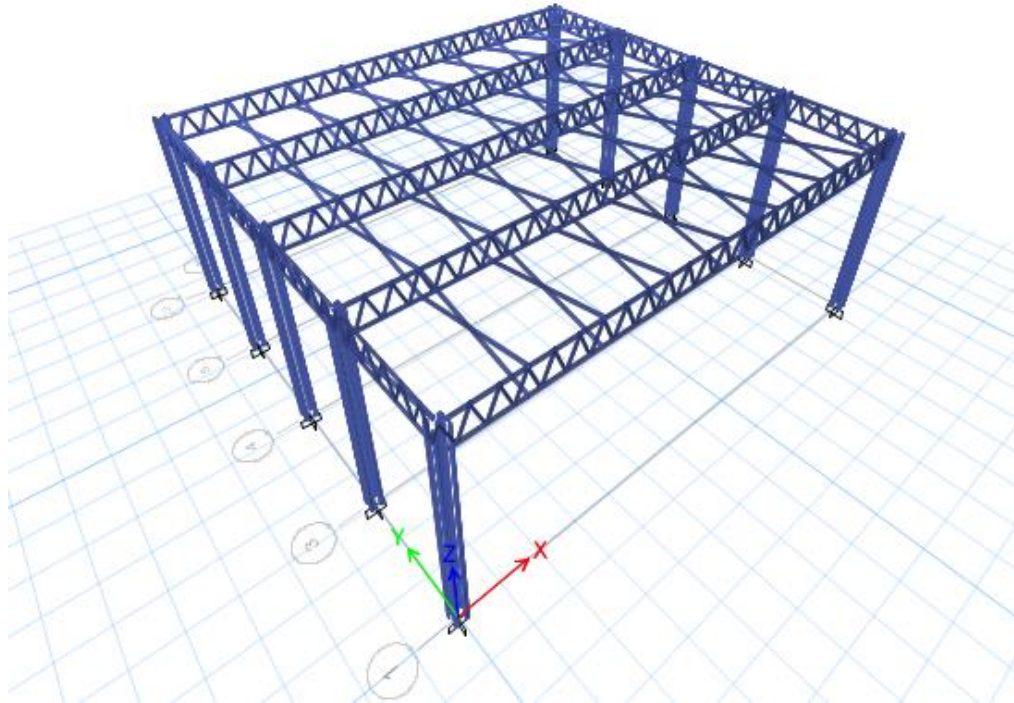


Figura 82. Modelamiento computacional de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

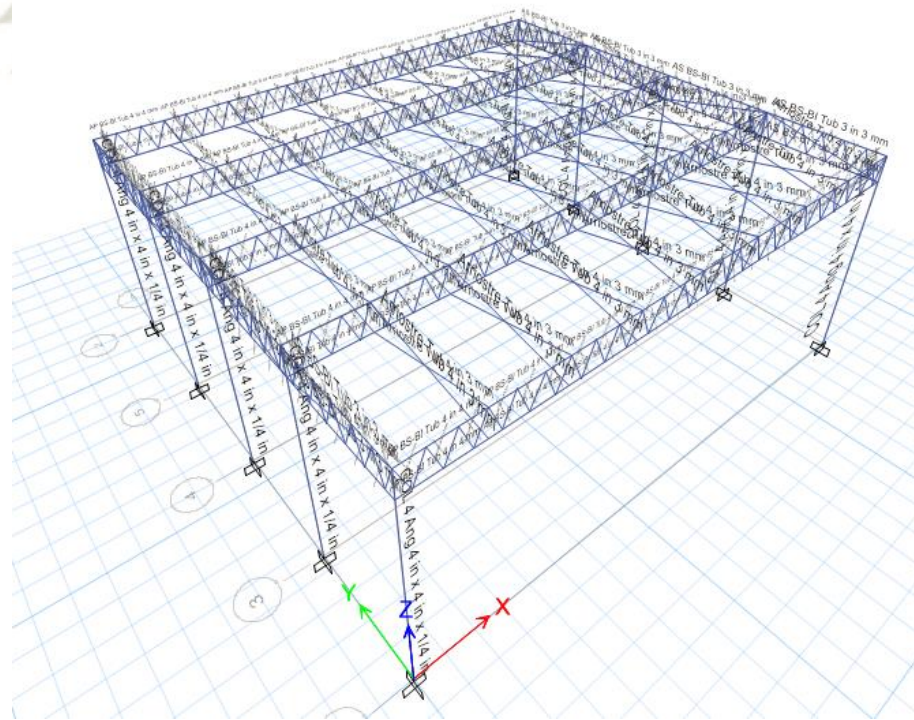


Figura 83. Definición de secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

La aplicación de cargas se realizará de acuerdo a una distribución de presiones según lo explicado.

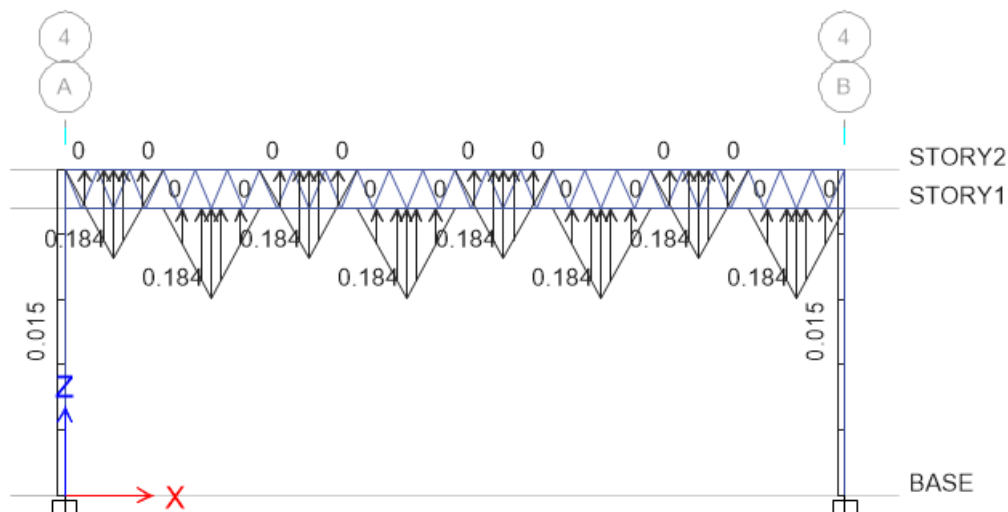


Figura 84. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en bridas y cargas en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Los resultados del análisis elástico muestran la forma de trabajo de elementos estructurales, este tipo de estructura metálica presenta mayores esfuerzos en las columnas con secciones compuestas en arreglo de armadura formada por 4 ángulos, generando que las armaduras que sirven de cobertura presenten esfuerzos mucho menores, como se muestra a continuación.

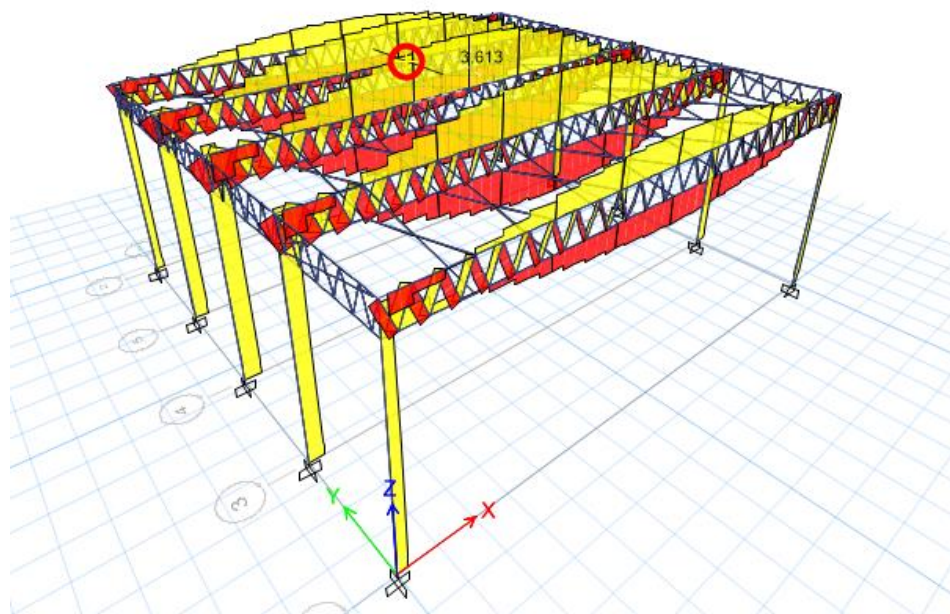


Figura 85. Fuerza axial (Tnf.) máxima a tracción de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

En este tipo de estructuras metálicas de cobertura, las columnas presentan valores de momentos flectores mayores que las fuerzas axiales, por lo que se considera que dichos elementos trabajarán bajo la combinación de dichas cargas. Esto será ilustrado con las siguientes figuras.

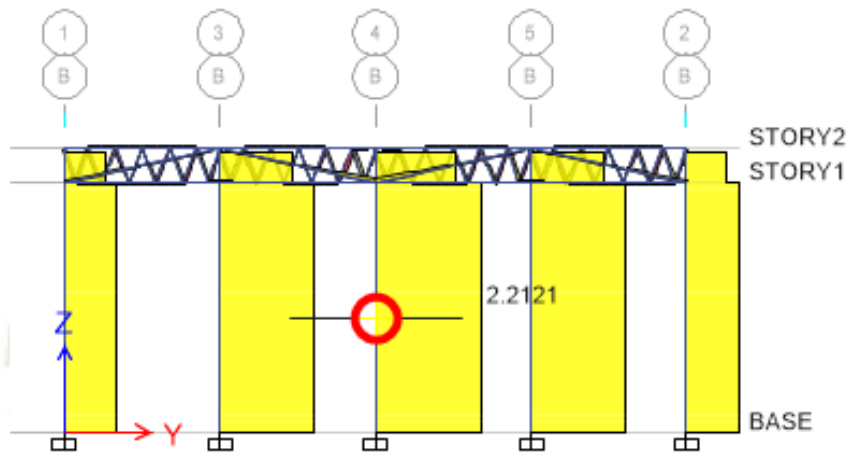


Figura 86. Fuerza axial (T_{nf}) máxima a tracción en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

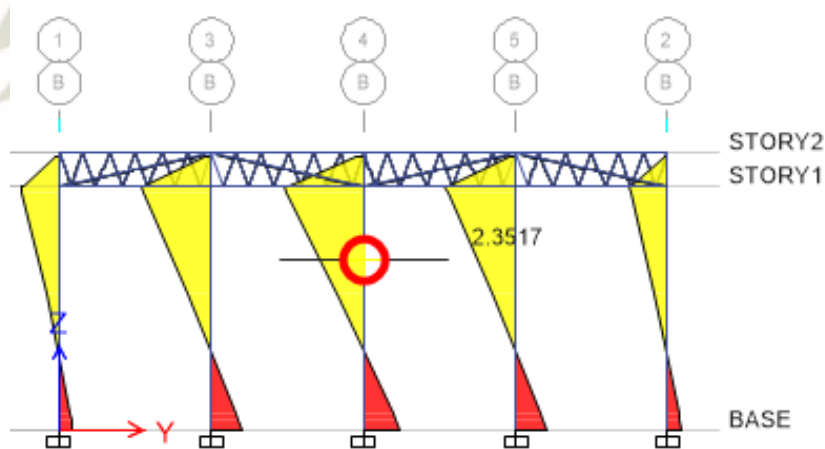


Figura 87. Valor máximo de momento flector ($T_{nf.m}$) en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Después, se debe realizar el análisis no lineal cuyo primer paso es la definición e inserción de rótulas plásticas de acuerdo al comportamiento determinado en el análisis elástico siguiendo los pasos ya definidos en el capítulo anterior. En estas estructuras, algunos elementos trabajarán sometidos a fuerzas axiales por lo que les corresponde diagramas de Fuerza-Desplazamiento siguiendo los pasos ya descritos para su elaboración y utilización en la definición de sus rótulas,

otros elementos, específicamente las columnas, trabajarán a efectos combinados de axial y flexión, correspondiéndoles diagramas de Momento-Curvatura siguiendo también los pasos ya descritos para su elaboración y utilización en la definición de sus rótulas.

Éstas deberán ser aplicadas a cada elemento.

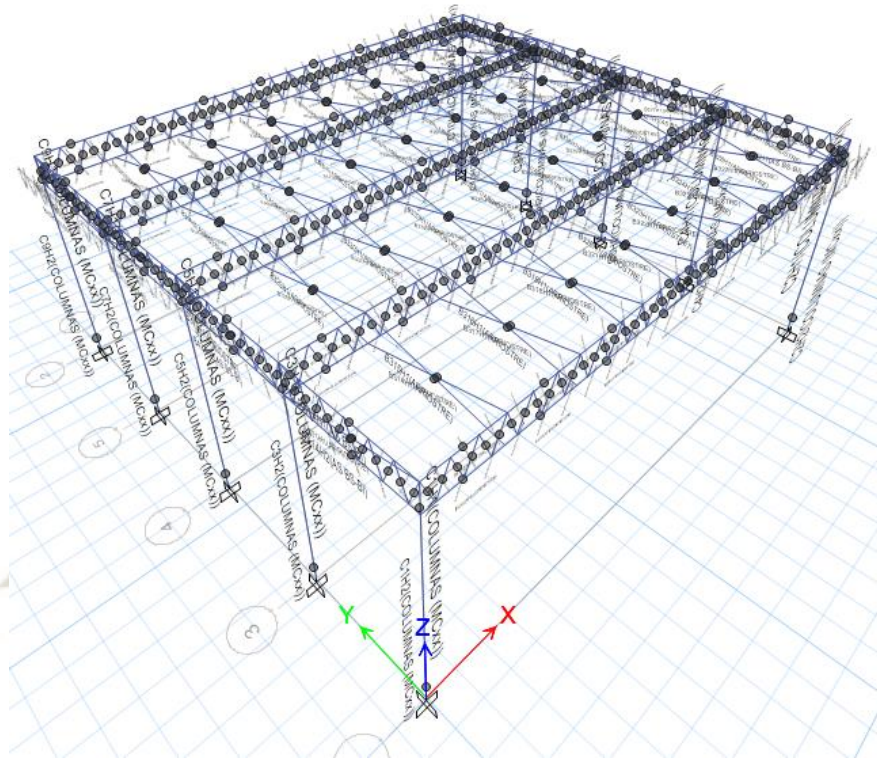


Figura 88. Asignación de rótulas plásticas a todos los elementos de la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Se debe hacer un seguimiento del paso a paso del análisis Pushover, donde se muestra las rotulaciones secuenciales, donde uno o varios de los elementos de la brida que trabaja a compresión falla y desencadena el colapso total de la estructura metálica, confirmando así el mecanismo de falla descubierto.

Se seguirá el procedimiento para la determinación del colapso de la estructura metálica como ya anteriormente se explicó y se mostrará la curva de capacidad de esta estructura.

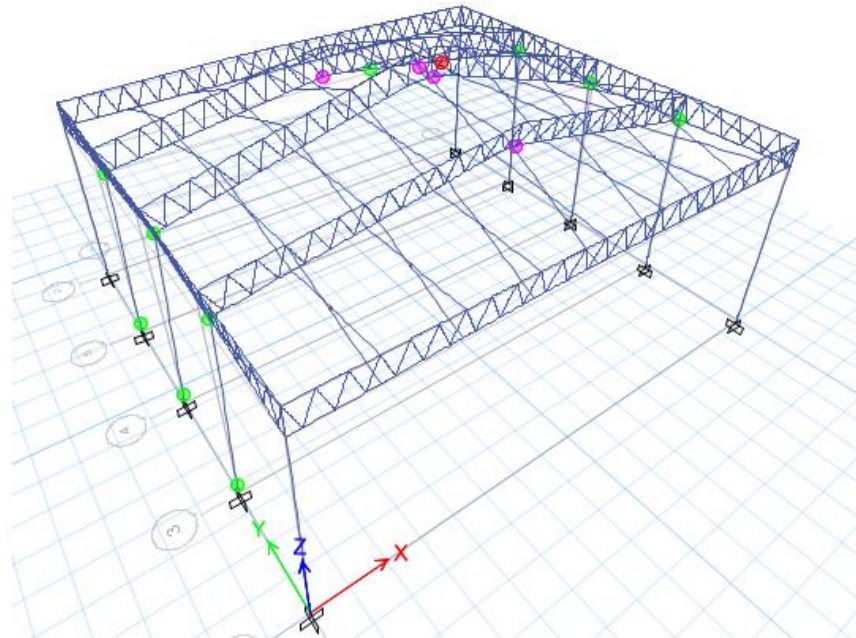


Figura 89. Aparición de rótulas plásticas en los elementos en el seguimiento paso a paso del análisis.
[Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

En este ejemplo, el primer elemento en presentar rotulación es el central de la brida inferior para el análisis con fuerzas a succión; por lo tanto, en el modelo elástico será el primero en eliminarse para evaluar las repercusiones de su ausencia en el resto de la cobertura. Debe aclararse que, aunque aparezcan rótulas de fluencia en las columnas, sus solicitaciones de fuerzas no llegan hasta la falla, por lo que se considera que el elemento no ha fallado.

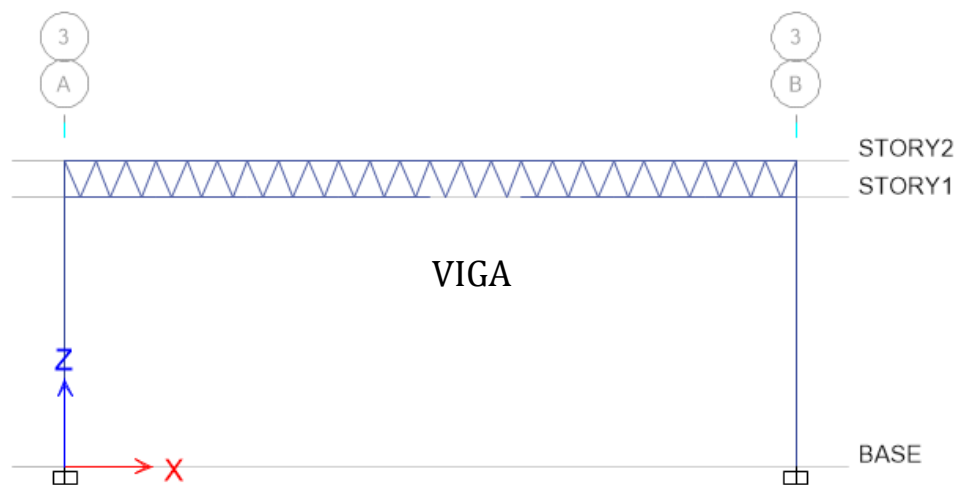


Figura 90. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se puede determinar que los elementos de la brida contraria y las diagonales, asumen momentos no considerados en su diseño previo y no son compatibles con el comportamiento supuesto para este tipo de elementos, puesto que no poseen la resistencia necesaria para soportar estos momentos flectores cuyos valores rodean las 0.5 tnf.m.

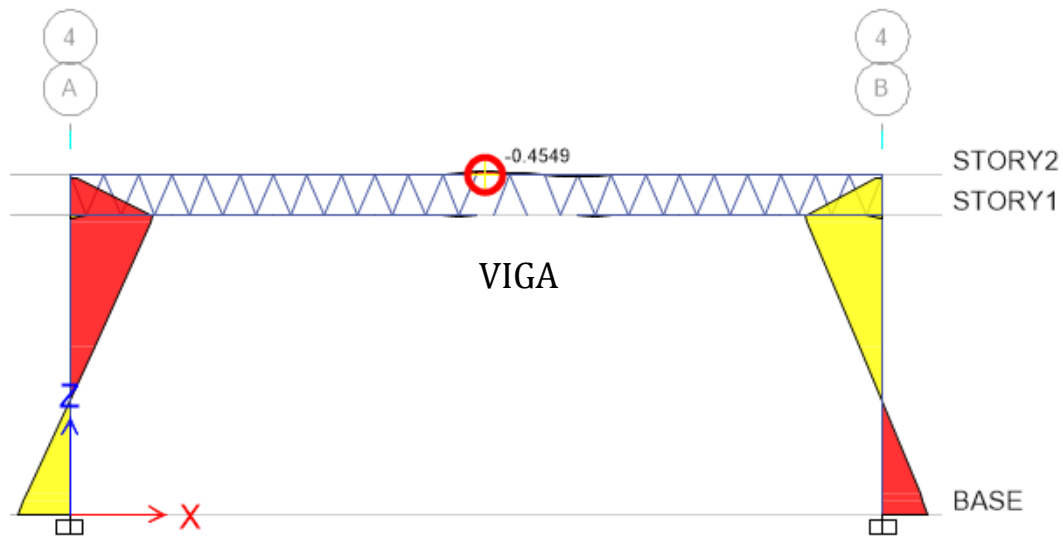


Figura 91. Aparición de momentos flectores en elementos de la brida superior. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Debido a su falta de resistencia, estos elementos llegan a la falla y debe ser eliminados también en un modelo elástico.



Figura 92. Eliminación de elementos de la brida superior y diagonales que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

En consecuencia, el pórtico es convertido en dos vigas en volado, lo que genera un incremento de fuerzas y momentos en los demás elementos, se calcula la resistencia de las columnas a cargas combinadas de axial y flexión, es decir, flexo compresión o flexo tracción, dependiendo de la dirección de análisis del viento, presión o succión, respectivamente.

Se nota claramente el cambio de comportamiento en las columnas, donde los momentos se incrementan en más de 7 tnf.m que sumadas a las 2 tnf.m, presentes antes de las fallas de elementos, se llega hasta más de 9 tnf.m; sin embargo, las secciones dispuestas para estos elementos de apoyo sí son capaces de soportarlos, por ello, el mecanismo de falla consiste en la falla simultánea de varios elementos a compresión de las bridas, conllevando así al colapso total de la estructura.

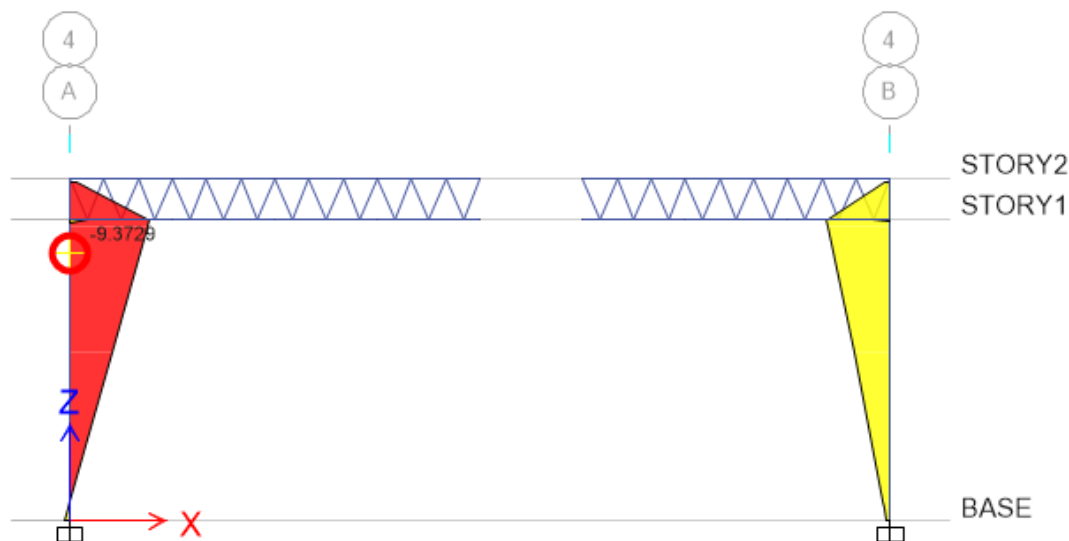


Figura 93. Aparición de momentos flectores en columnas. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Se presenta la curva de capacidad de la estructura, debemos tener en cuenta que no presenta mucha variación entre la que se genera del análisis en dirección "x" y la de la dirección "y", lo que ya se había mencionado en capítulos previos.

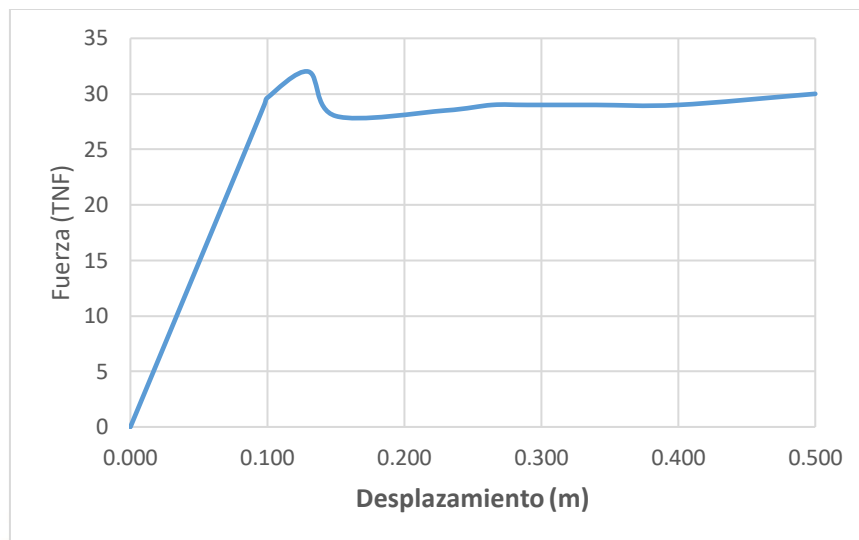


Gráfico 19. Curva de Capacidad de la estructura ejemplificada N° 2 [Fuente: Elaboración propia]

La obtención de las velocidades de falla se efectuará mediante la extracción de las fuerzas últimas de todos los elementos que presentan rotulación que, según lo descubierto, trabajan a compresión y han desencadenado el colapso de la estructura; luego, se deberá extraer también las fuerzas que actúan en el análisis elástico en los mismos elementos. Para obtener un factor de escala, se deberá realizar una división entre ambos valores de fuerzas.

Tabla 16. Factor de escala para la obtención de la velocidad de falla. [Fuente: Elaboración propia]

COBERTURA	Step de Falla	Pórtico	Resistencia a Compresión (tnf)	Fuerza Axial (A. Elástico) (tnf)	Factor de Escala
JORGE BASADRE - JLBR	18	3	25.54	6.46	3.95
		4		7.27	3.51
		5		6.46	3.95

Este factor se aplicará a la presión inicial para la velocidad de diseño (85 km/h) que, mediante una amplificación del 20 % considera los efectos dinámicos; así se obtendrá otro valor de presión de falla, seguidamente, con un proceso inverso, se halla el valor de la velocidad de falla de la estructura.

A continuación, se muestran los cálculos correspondientes.

- La presión del viento para una velocidad de 85 km/h será calculada según la siguiente ecuación.

$$P_h = 0.005 c V_h^2$$

Donde $c = 0.7$ (factor de forma)

- Debido a la clasificación de la estructura, se amplificará dicha presión en un 20%.

$$P = 1.2 P_h$$

- En esta ocasión el valor de la presión a utilizar para el análisis será de:

$$P = 30.3456 \text{ kgf/m}^2$$

- Se procede a multiplicar el factor calculado con la presión.

$$P_{falla} = 3.51 \times P$$

$$P_{falla} = 3.51(30.3456)$$

$$P_{falla} = \mathbf{106.606 \text{ kgf/m}^2}$$

- Con esta presión denominada de falla, se realiza el proceso inverso para el cálculo de la velocidad.

$$P_{falla} = (1.2) 0.005 c V_{falla}^2$$

$$\frac{P_{falla}}{(1.2)(0.005)(0.7)} = V_{falla}^2$$

$$\sqrt{\frac{P_{falla}}{(1.2)(0.005)(0.7)}} = V_{falla}$$

$$\sqrt{\frac{106.606}{(1.2)(0.005)(0.7)}} = V_{falla}$$

$$V_{falla} = \mathbf{159.32 \text{ Km/h}}$$

Con el valor de velocidad de falla obtenido, se determina que este tipo de estructuras soportan velocidades mayores que la de diseño (85 km/h), lo que significa que se han utilizado secciones mayores que las requeridas.

En ambos tipos de estructuras, se descubrió que una brida puede trabajar a flexión y a compresión dependiendo del sentido de actuación del viento, es decir, a presión o succión, lo que significa la presencia de los mismos valores de solicitaciones de resistencia para ambos efectos.

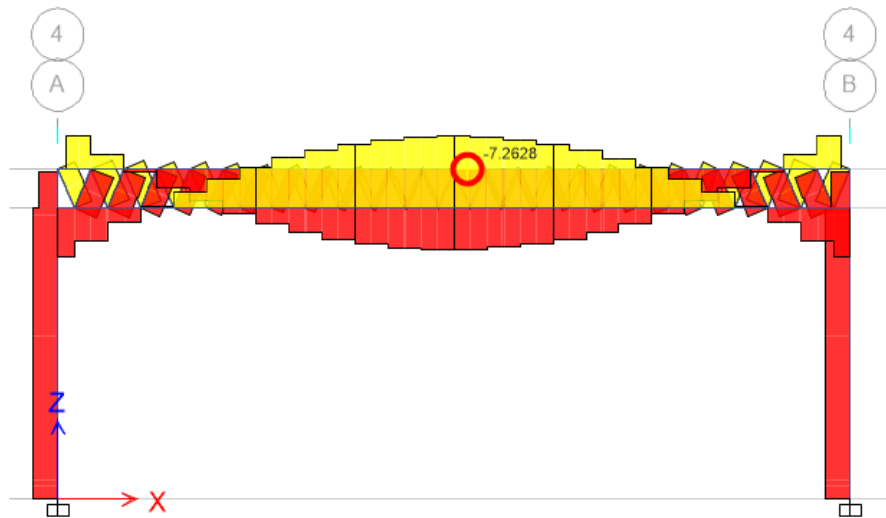


Figura 94. Fuerza axial (T_{nf}) debido a efectos de presión del viento. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

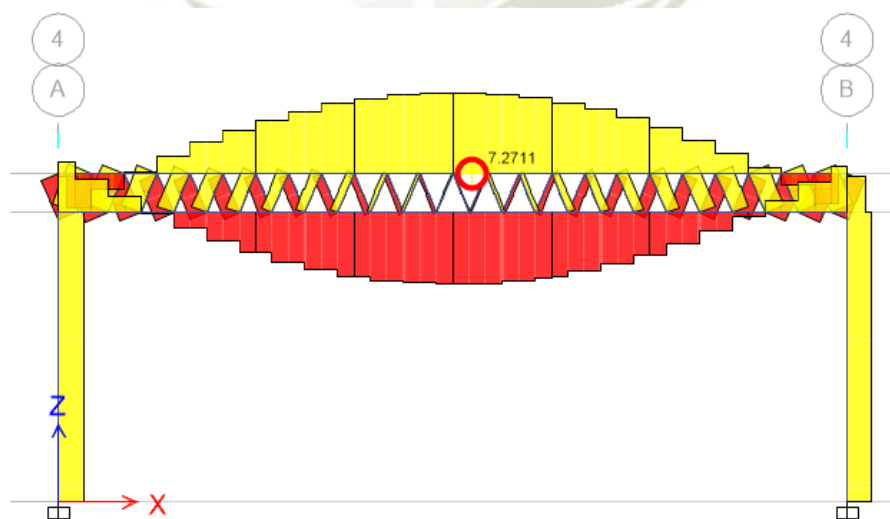


Figura 95. Fuerza axial (T_{nf}) debido a efectos de succión del viento. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

De acuerdo a lo mostrado y cómo se mencionó con anterioridad, el comportamiento de elementos a compresión es definido por variables adicionales a las de esfuerzo de fluencia del material y su sección, esto debido a la ocurrencia de pandeo según su longitud y condiciones de apoyo. Esto quiere decir que, mientras el elemento tenga mayor longitud será más propenso al pandeo y su resistencia a cargas se verá reducida; de la misma manera, las columnas con restricción leve en sus extremos no serán capaces de soportar cargas elevadas en comparación con aquellas que tengan gran restricción en sus apoyos. En el concepto de longitud efectiva, intervienen ambos factores mencionado (McCorman, 2013).

Para realizar la propuesta de longitud de colocación de elementos a compresión en la cobertura, se tomará un factor de longitud efectiva con un valor de 1 ($k=1$) en todos los casos, por considerar el caso más crítico y el de mayor ocurrencia en la realidad.

Se dará un ejemplo de la realización de la propuesta según secciones comerciales y longitudes comunes en la construcción.

- Material a utilizar: Acero Estructural A36
 - Esfuerzo de fluencia $F_y=2530 \text{ kgf/cm}^2$
 - Módulo de Elasticidad $E=2000000 \text{ kgf/cm}^2$
- Condición de apoyo: $K=1$
- Sección comercial: Tubo Circular $D_n=2.5 \text{ in}$ $e=3\text{mm}$
- Área nominal: $A_n = 1.023 \text{ in}^2 = 6.597 \text{ cm}^2$
- Cálculo del radio de giro: Se realiza mediante las siguientes fórmulas

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_n}}$$

$$I = \frac{D_{ext}^4 - d_{int}^4}{64} * \pi$$

Donde:

r: radio de giro de la sección

I: inercia de la sección

An: Área nominal de la sección

Dext: Diámetro externo de la sección

Dint: Diámetro interno de la sección

$$I = \frac{2.874^4 - 2.638^4}{64} * \pi = 0.973 \text{ in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{0.973}{1.023}} = 0.975 \text{ in} = 2.477 \text{ cm} = 0.02477 \text{ m}$$

Para efectos de apreciar las diferencias de resistencia se tomarán como ejemplo dos longitudes de colocación como ejemplos.

Caso A: Longitud=1 m

Caso B: Longitud=5.5 m

1. Cálculo de longitud efectiva: Se realiza mediante la siguiente fórmula

$$Le = K * L$$

Caso A:

$$Le_1 = 1 * 1 = 1m$$

Caso B:

$$Le_2 = 1 * 5.5 = 5.5m$$

2. Para calcular la resistencia de la sección, primero se debe determinar si el elemento entrará en pandeo elástico o inelástico, se debe realizar con las siguientes fórmulas:

$$\text{Si } \frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \text{Pandeo Inelástico}$$

$$\text{Si } \frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow \text{Pandeo Elástico}$$

Para acero estructural A36

$$4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{2000000}{2530}} = 132.427$$

Caso A:

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 1}{0.02477} = 40.3714$$

$$40.3714 < 132.427 \rightarrow \textit{Pandeo Inelástico}$$

Caso B:

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 * 5.5}{0.02477} = 222.043$$

$$222.043 > 132.427 \rightarrow \textit{Pandeo Elástico}$$

3. Cálculo del esfuerzo de Euler, necesario para la obtención de la resistencia de la sección.

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

Caso A:

$$F_e = \frac{\pi^2 * 2000000}{(40.3714)^2} = 12111.059 \text{ kgf/cm}^2$$

Caso B:

$$F_e = \frac{\pi^2 * 2000000}{(222.043)^2} = 400.365 \text{ kgf/cm}^2$$

4. Cálculo de esfuerzo de la sección según el pandeo ocurrido.

- Pandeo Inelástico

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y$$

Caso A:

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{2530}{12111.059} \right] 2530 = 2318.184 \text{ kgf/cm}^2$$

- Pandeo Elástico

$$F_{cr} = 0.877 F_e$$

Caso B:

$$F_{cr} = 0.877 * 400.365 = 351.120 \text{ kgf/cm}^2$$

5. Finalmente, para el cálculo de la resistencia se debe multiplicar el esfuerzo obtenido por el área de la sección transversal del elemento.

$$F = F_{cr} * A_n$$

Caso A:

$$F = 2318.184 * 6.597 = 15293.06 \text{ kgf} = 15.29 \text{ tnf}$$

Caso B:

$$F = 351.120 * 6.597 = 2316.34 \text{ kgf} = 2.32 \text{ tnf}$$

Se puede apreciar la gran diferencia en la capacidad de resistencia de un elemento del mismo material y misma sección, pero con longitudes distintas, rescatando la gran importancia que tiene esta variable en el comportamiento de elementos a compresión.

Se presenta la tabla completa con las resistencias a compresión de la sección de acuerdo a diversas longitudes de colocación.

Tabla 17. Resistencia de elementos a compresión según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

L(m)	KL/r	Fe (kgf/cm²)	Fcr (kgf/cm²)	F (tnf)
0.25	10.092	193800.181	2516.214	16.60
0.5	20.184	48450.045	2475.304	16.33
0.75	30.277	21533.353	2408.593	15.89
1	40.369	12112.511	2318.208	15.29
1.25	50.461	7752.007	2206.965	14.56
1.5	60.553	5383.338	2078.224	13.71
1.75	70.646	3955.106	1935.724	12.77
2	80.738	3028.128	1783.398	11.77
2.25	90.830	2392.595	1625.202	10.72
2.5	100.922	1938.002	1464.941	9.66
2.75	111.015	1601.654	1306.132	8.62
3	121.107	1345.835	1151.882	7.60
3.25	131.199	1146.747	1004.808	6.63
3.5	141.291	988.776	867.157	5.72
3.75	151.384	861.334	755.390	4.98
4	161.476	757.032	663.917	4.38
4.25	171.568	670.589	588.106	3.88
4.5	181.660	598.149	524.576	3.46
4.75	191.753	536.843	470.811	3.11
5	201.845	484.500	424.907	2.80
5.25	211.937	439.456	385.403	2.54
5.5	222.029	400.414	351.163	2.32
5.75	232.122	366.352	321.291	2.12
6	242.214	336.459	295.074	1.95

Este procedimiento se realizará para cada sección comercial de tubos circulares y rectangulares de acero estructural A36, los brindados en catálogos de Aceros Arequipa.

CAPÍTULO 7. PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

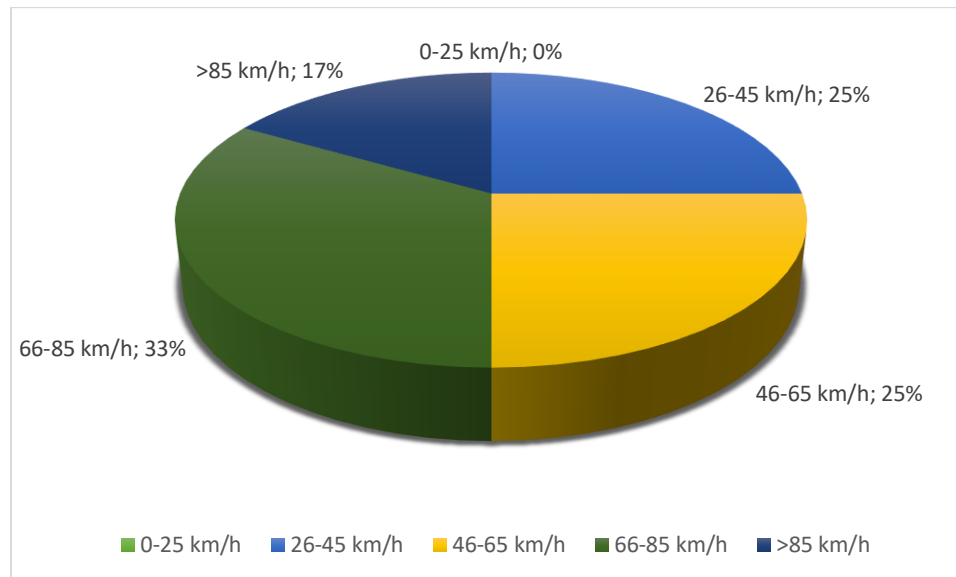
En ese capítulo se presentará todos los resultados obtenidos después del análisis realizado a cada cobertura.

En primer lugar, se presenta la tabla de velocidades con las que, de acuerdo al estudio realizado, fallan cada una de las estructuras metálicas existiendo mucha variabilidad en los resultados

Tabla 18. Velocidad de falla de las estructuras metálicas analizadas. [Fuente: Elaboración propia]

DISTRITO	NOMBRE DE COBERTURA	% RESISTENCIA	VELOCIDAD DE FALLA (Km/h)
Yanahuara	Cooperativa Abogados	81	76.7
	Urb. Juan XXIII	134	98.5
	Miguel Angel Bounaroti	59	65.2
	Regina Mundy	43	56.0
	Urb. Las Casuarinas	55	63.0
José Luis Bustamante y Rivero	Parque N°1 Urb. 2 de Mayo	43	56.0
	Losa Deportiva 3 de Octubre	40	53.5
Cayma	Urb. El Rosario	62	67.1
	1ro de Junio	36	50.7
	José Olaya	27	44.4
	Villa Continental	19	34.9
José Luis Bustamante y Rivero	I.E. Jorge Basadre Gronhman I	351	159.3
	I.E. Jorge Basadre Gronhman II	78	75.2
	Complejo Deportivo Tasahuayo	46	57.7
	Urb. La Cantuta	19	34.0
	Urb. Amauta	74	72.9
	Urb. La Florida	20	37.7
Cayma	Parque Dean Valdivia	10	27.1
	20 de Enero	16	34.2
Hunter	13 de Agosto	95	82.0
	Pampas del Cusco	64	68.2
UNSA	Ing. Mecánica	135	98.9
	Agronomía	134	98.5
	Ing. Pesquera	83	77.4

Con los resultados obtenidos, se agruparon las coberturas según la velocidad con la que deberían fallar bajo solicitudes de presiones de viento.



Se obtuvo que de las 24 coberturas sólo 4 estarían diseñadas para soportar la velocidad de diseño dispuesta por la norma E.020 “Cargas” representando el 17% del total de estructuras analizadas; en cambio, los 20 restantes colapsarían ante solicitudes menores. En el gráfico anterior se muestran los resultados obtenidos en porcentajes por rangos de velocidades de falla.

Se intentó agrupar a las coberturas, buscando variables comunes entre ellas que pudieran dar resultados similares, se buscó similitud de áreas, cantidad de pórticos, distancia entre pórticos, cantidad de paños de lona, distribución de elementos en las coberturas, axiales máximas resultantes en las coberturas, relaciones de esbeltez; sin embargo, no se encontró que alguna de esas características determinen un comportamiento común, con lo que se determina que cada estructura metálica de cobertura presenta un comportamiento único dependiente de la combinación particular de las variables descritas.

CAPÍTULO 8. PROPUESTA DE METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS ANTE CARGAS DE VIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS MENORES

La propuesta de metodología para el análisis ante cargas de viento se realiza en base a las respuestas de encuestas realizadas a especialistas estructurales y los resultados obtenidos del estudio realizado en la presente investigación, donde se probaron todas las variables posibles hasta lograr el mejor comportamiento de las estructuras mencionadas.

- 1) La Norma E.020 “Cargas” brinda una clasificación general de estructuras según los efectos del viento sobre éstas; sin embargo, no es específica, por lo tanto, se propone que este tipo de estructuras metálicas sean clasificadas como tipo II debido a que son sensibles a los efectos dinámicos del viento y se deberá considerar un factor de 1.2 para el cálculo de las presiones de viento actuantes.
- 2) La velocidad de diseño se deberá tomar del mapa eólico dispuesto por la Norma E.020 que, para nuestra ciudad, está estipulada como 85 km/h, siendo este un valor conservador al momento de realizar el diseño.

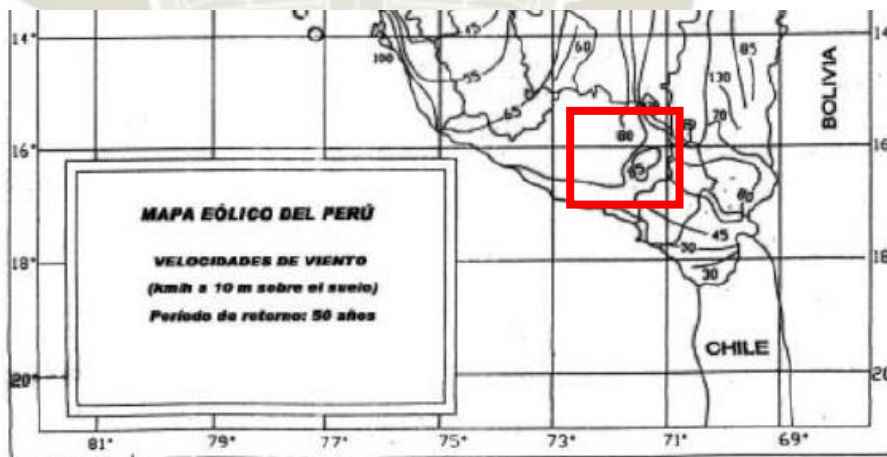


Figura 96. Velocidad del viento en Arequipa según el mapa eólico del Perú. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]

Si las edificaciones a analizar superan los 10 m de altura, se utilizará la siguiente fórmula para el cálculo de la velocidad de diseño.

$$V_h = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

Donde:

V_h: velocidad de diseño en la altura h en Km/h

V: velocidad referencial de diseño hasta 10 m de altura en Km/h

h: altura sobre el terreno en metros

3) La carga exterior de viento seguirá la formula siguiente:

$$Ph = 0.005CV_h^2$$

Donde:

Ph: presión o succión del viento a una altura h (kgf/m²)

C: factor de forma adimensional

V_h: velocidad de diseño a la altura h (km/h)

4) Las consideraciones a tomar en cuenta para la elección del factor de forma son las siguientes:

- Determinar el ángulo de inclinación del paño de lona, en estas estructuras se han encontrado valores menores de 15°.
- Según inspecciones visuales, se determinó la ocurrencia de fuerzas de presión y succión alternadas, por eso, se debe realizar análisis independientes de cada dirección del viento, para observar su implicancia en la estructura sin duplicar los efectos ya que esto provocaría sobredimensionamiento de elementos.
- La aplicación del viento en estas estructuras, se debe hacer mediante la diferenciación de las caras que trabajan a barlovento y a sotavento consideradas como se muestra en la siguiente figura.

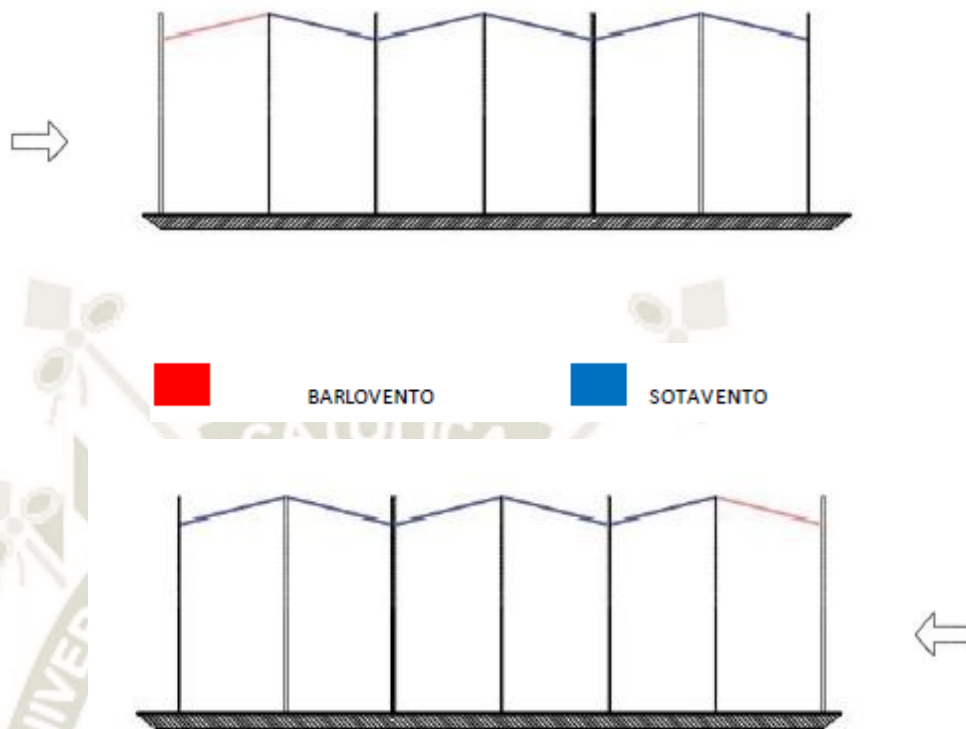


Figura 97. Comportamiento de las caras de la estructura metálica ante la acción del viento. [Fuente: Elaboración propia]

Tabla 19. Factores de forma según el caso de ángulo de inclinación. [Fuente: (Ministerio de Vivienda, Norma E.020, 2006)]

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 -0.7	-0.6

- Utilizando para barlovento el factor de -0.7 como valor crítico, pudiendo uniformizar ese valor para toda la cobertura y hacer más práctico el análisis, demostrando que el valor de -0.6 que deberían tomar los paños internos no presentan mucha diferencia en las presiones generadas y en sus consecuentes fuerzas axiales internas.

- 5) La carga interior de viento para este tipo de estructuras, debe ser despreciada debido a que se encuentra abierta en su totalidad, el viento discurre libremente sin que se presente aplicación de cargas en sus caras internas. En la cobertura se podría considerar la incidencia de carga interior, pero duplicaría el valor de las fuerzas como si ocurriesen simultáneamente, lo cual no es verídico.
- 6) Tras la obtención del mecanismo de falla, se tiene claro que la falla de los elementos en la brida a compresión es el punto desencadenante del colapso total de la estructura; por ello, se ha buscado proponer una mejora en el diseño de estos elementos a través de longitudes de colocación entre arriostres que aseguren su correcto comportamiento y puedan resistir la velocidad de diseño.

Mediante las siguientes tablas se puede elegir directamente un elemento según la longitud a la que se desea colocar y que soporte la fuerza solicitada a compresión, de modo que no se necesita realizar un procedimiento de diseño paso a paso sino una selección directa de los elementos a utilizar, reduciendo el tiempo y dándole practicidad al proceso empleado para el diseño de las estructuras.

Estas tablas serán desarrolladas posteriormente en anexos, mostrando las relaciones de esbeltez logradas a diferentes longitudes, con el objetivo de realizar una mejor elección del elemento a utilizar sin exceder los valores de KL/r recomendados.

Tabla 20. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular ($e=1.8\text{ mm}$) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

	Resistencia a la Compresión Tubos Circulares (Tnf)			
Sección Comercial	espesor $e=1.8\text{ mm}$			
	Dn=1"	Dn=1.25"	Dn=1.5"	Dn=2"
L(m)				
0.25	4.40	5.69	6.57	8.30
0.5	4.06	5.41	6.33	8.11
0.75	3.55	4.99	5.95	7.80
1	2.95	4.45	5.46	7.38
1.25	2.31	3.84	4.88	6.88
1.5	1.72	3.20	4.26	6.31
1.75	1.26	2.59	3.63	5.70
2	0.97	2.02	3.01	5.07
2.25		1.60	2.43	4.44
2.5		1.29	1.97	3.82
2.75		1.07	1.63	3.24
3			1.37	2.72
3.25			1.17	2.32
3.5				2.00
3.75				1.74
4				1.53

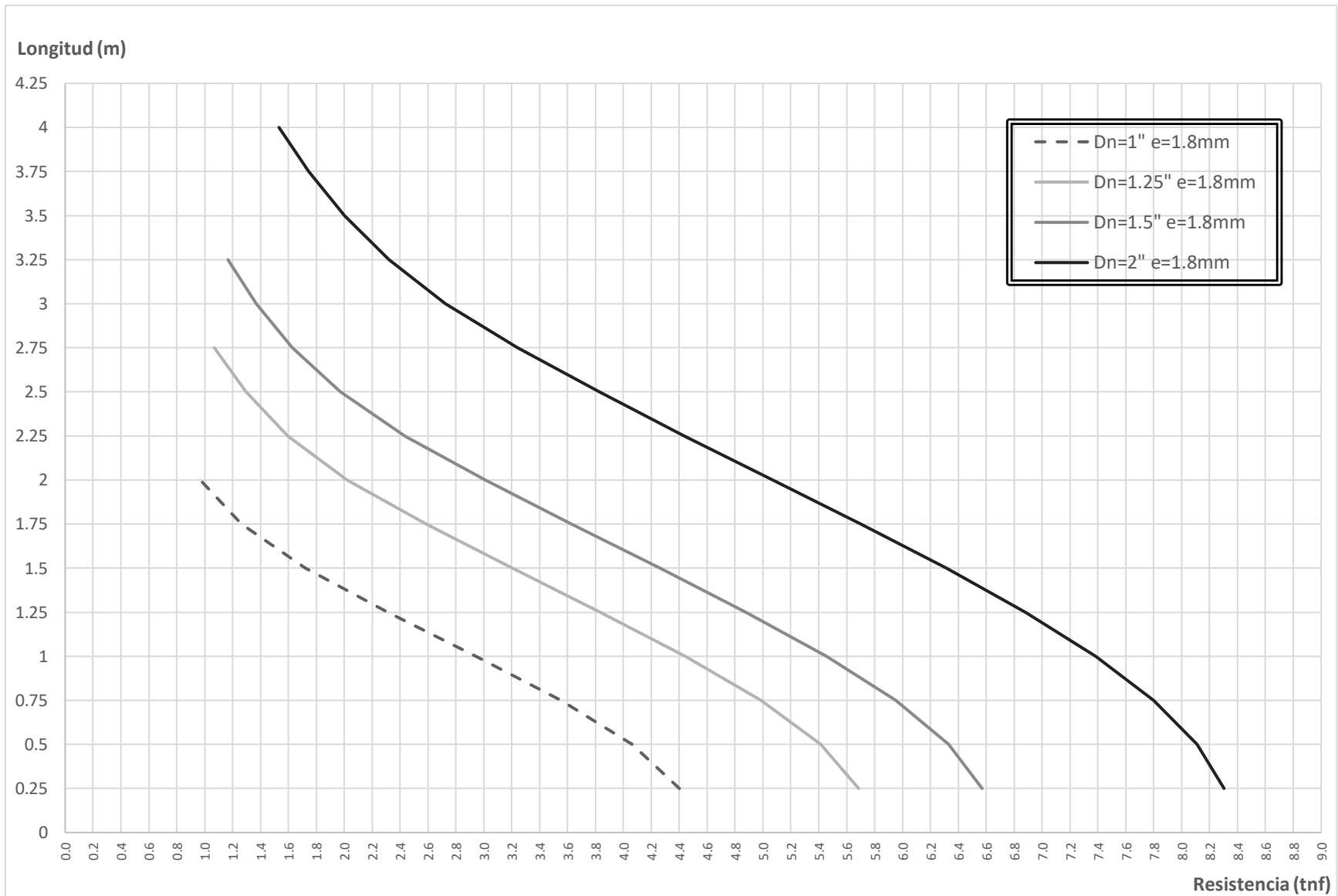


Gráfico 21. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular ($e=1.8$ mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Tabla 21. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular ($e=2$ mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Sección Comercial	Resistencia a la Compresión Tubos Circulares (tnf)						
	espesor $e=2$ mm						
	Dn=1"	Dn=1.25"	Dn=1.5"	Dn=2"	Dn=2.5"	Dn=3"	Dn=4"
L(m)							
0.25	4.86	6.29	7.27	9.19	11.23	13.77	17.81
0.5	4.48	5.98	7.00	8.98	11.05	13.62	17.70
0.75	3.91	5.51	6.58	8.63	10.76	13.38	17.51
1	3.24	4.90	6.03	8.17	10.37	13.05	17.25
1.25	2.54	4.22	5.39	7.61	9.88	12.64	16.93
1.5	1.88	3.52	4.69	6.98	9.32	12.16	16.54
1.75	1.38	2.84	3.99	6.30	8.70	11.61	16.09
2	1.06	2.21	3.31	5.60	8.03	11.01	15.58
2.25		1.75	2.67	4.89	7.34	10.36	15.03
2.5		1.42	2.16	4.21	6.63	9.69	14.43
2.75		1.17	1.79	3.57	5.93	8.99	13.80
3			1.50	3.00	5.25	8.29	13.14
3.25			1.28	2.55	4.60	7.58	12.46
3.5				2.20	3.98	6.89	11.77
3.75				1.92	3.46	6.21	11.06
4				1.69	3.04	5.57	10.36
4.25					2.70	4.94	9.66
4.5					2.41	4.41	8.96
4.75					2.16	3.96	8.29
5					1.95	3.57	7.63
5.25						3.24	6.99
5.5						2.95	6.37
5.75						2.70	5.83
6						2.48	5.35

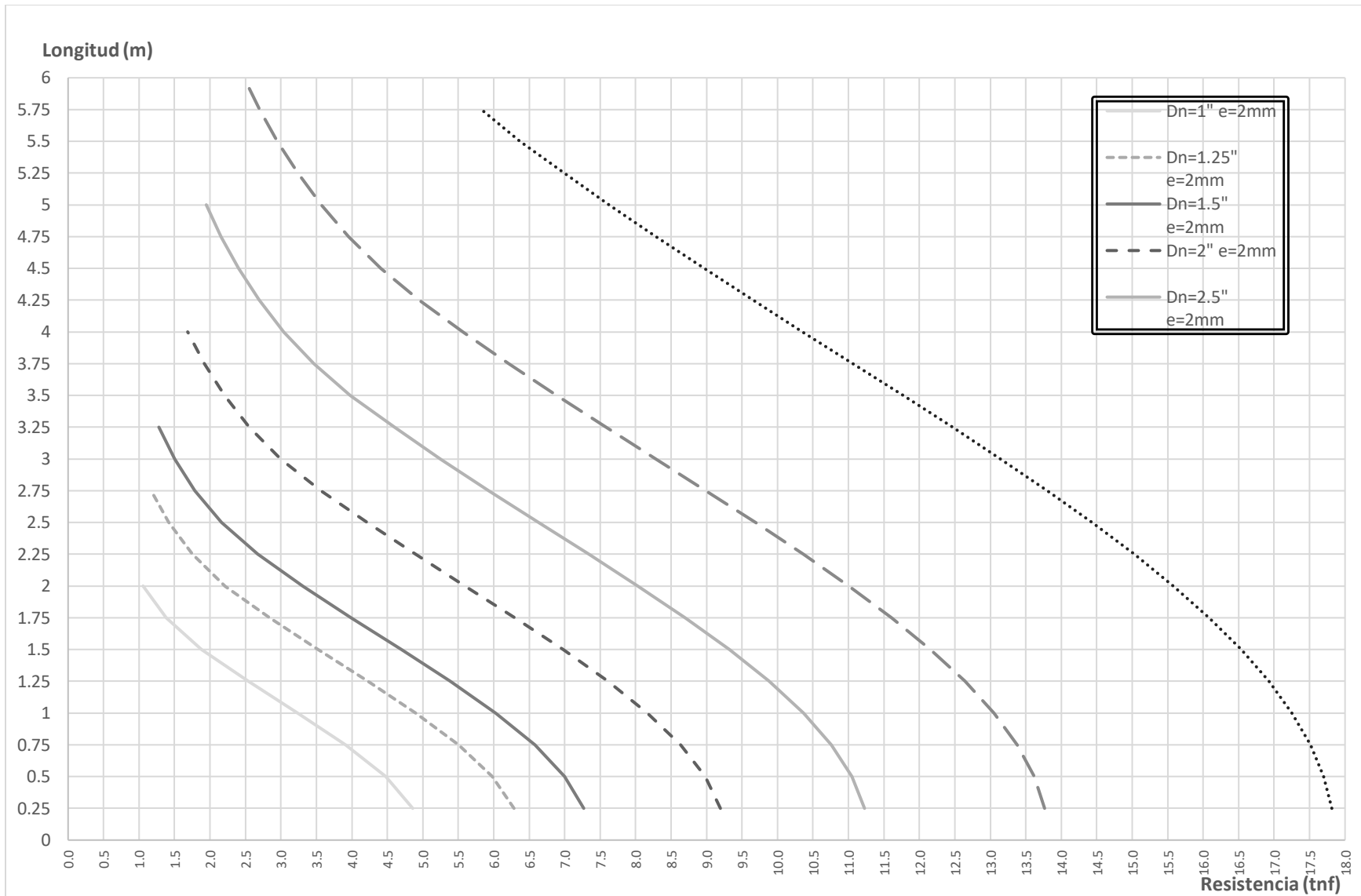


Gráfico 22. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular ($e=1.8\text{ mm}$) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Tabla 22. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular ($e=2.5$ mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Sección Comercial	Resistencia a la Compresión Tubos Circulares (tnf)						
	espesor $e=2.5$ mm						
	Dn=1"	Dn=1.25"	Dn=1.5"	Dn=2"	Dn=2.5"	Dn=3"	Dn=4"
L(m)							
0.25	5.97	7.76	8.99	11.39	13.93	17.11	22.17
0.5	5.49	7.37	8.65	11.12	13.71	16.92	22.03
0.75	4.78	6.77	8.11	10.69	13.35	16.62	21.79
1	3.93	6.01	7.42	10.10	12.85	16.21	21.47
1.25	3.06	5.16	6.62	9.40	12.24	15.69	21.06
1.5	2.24	4.29	5.75	8.61	11.54	15.09	20.56
1.75	1.65	3.44	4.87	7.76	10.76	14.40	20.00
2	1.26	2.67	4.02	6.88	9.92	13.64	19.37
2.25		2.11	3.23	6.00	9.05	12.84	18.67
2.5		1.71	2.62	5.15	8.17	11.99	17.93
2.75		1.41	2.17	4.35	7.30	11.12	17.14
3			1.82	3.65	6.45	10.24	16.31
3.25			1.55	3.11	5.63	9.36	15.46
3.5				2.68	4.87	8.49	14.59
3.75				2.34	4.24	7.65	13.71
4				2.05	3.73	6.85	12.83
4.25					3.30	6.07	11.95
4.5					2.94	5.42	11.09
4.75					2.64	4.86	10.24
5					2.39	4.39	9.42
5.25						3.98	8.62
5.5						3.63	7.85
5.75						3.32	7.19
6						3.05	6.60

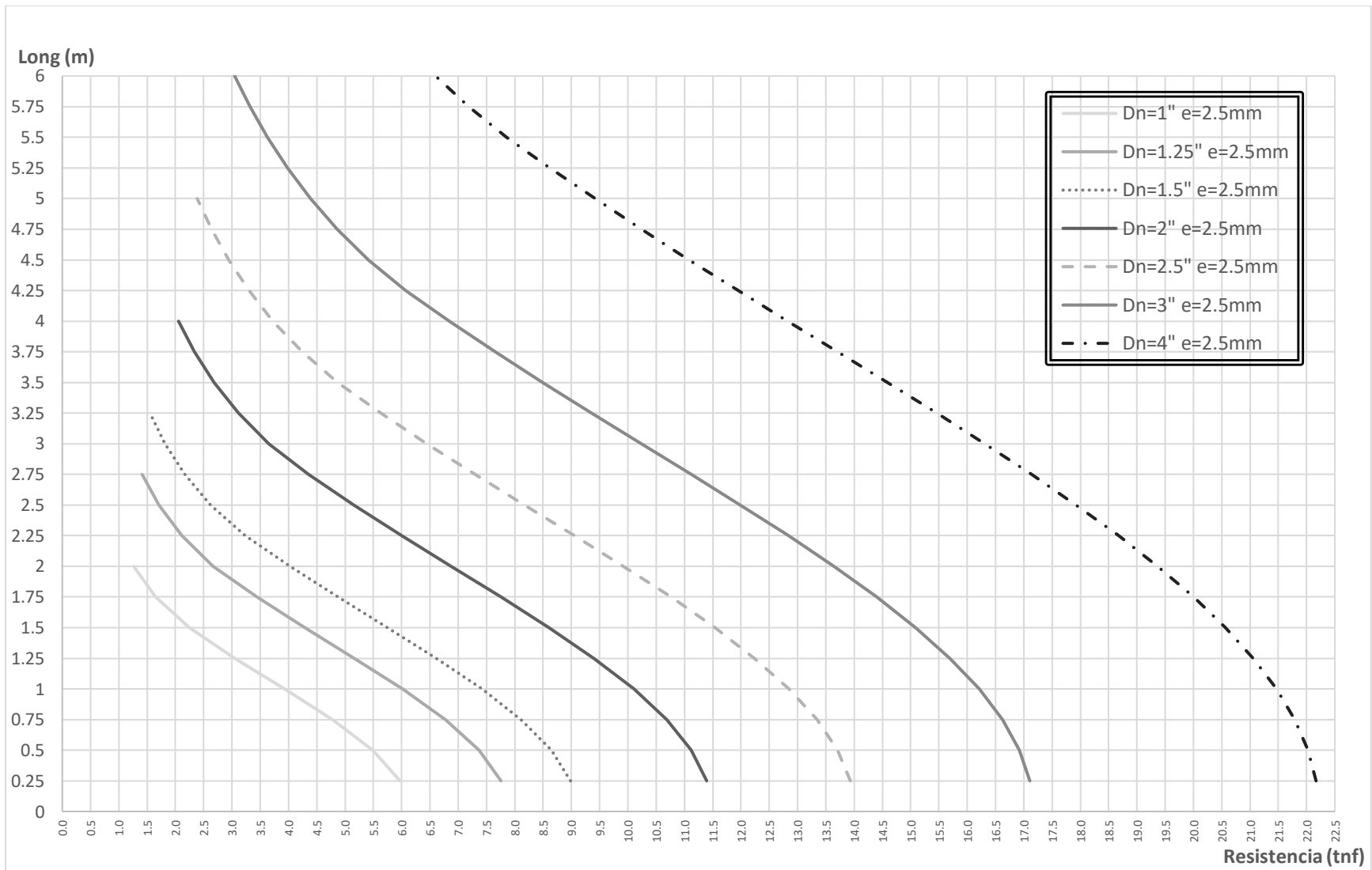


Gráfico 23. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=2.5 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Tabla 23. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular ($e=3$ mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Sección Comercial	Resistencia a la Compresión Tubos Circulares (tnf)						
	espesor $e=3$ mm						
	Dn=1"	Dn=1.25"	Dn=1.5"	Dn=2"	Dn=2.5"	Dn=3"	Dn=4"
L(m)							
0.25	7.12	9.19	10.66	13.55	16.60	20.41	26.48
0.5	6.76	8.72	10.25	13.22	16.33	20.19	26.31
0.75	6.20	8.00	9.61	12.70	15.89	19.82	26.03
1	5.49	7.08	8.77	11.99	15.29	19.33	25.64
1.25	4.70	6.06	7.80	11.15	14.56	18.71	25.14
1.5	3.88	5.00	6.76	10.19	13.71	17.97	24.55
1.75	3.10	3.99	5.71	9.17	12.77	17.14	23.87
2	2.40	3.09	4.70	8.11	11.77	16.24	23.11
2.25	1.89	2.44	3.76	7.06	10.72	15.26	22.27
2.5	1.53	1.98	3.05	6.05	9.66	14.25	21.38
2.75	1.27	1.63	2.52	5.09	8.62	13.20	20.43
3			2.12	4.27	7.60	12.14	19.43
3.25				3.64	6.63	11.09	18.41
3.5				3.14	5.72	10.05	17.37
3.75				2.74	4.98	9.05	16.31
4				2.40	4.38	8.09	15.25
4.25					3.88	7.17	14.20
4.5					3.46	6.39	13.17
4.75					3.11	5.74	12.15
5						5.18	11.17
5.25						4.70	10.21
5.5						4.28	9.30
5.75						3.91	8.51
6						3.60	7.82
6.25							7.20
6.5							6.66
6.75							6.18
7							5.74
7.25							5.35
7.5							5.00
7.75							4.68
8							4.40

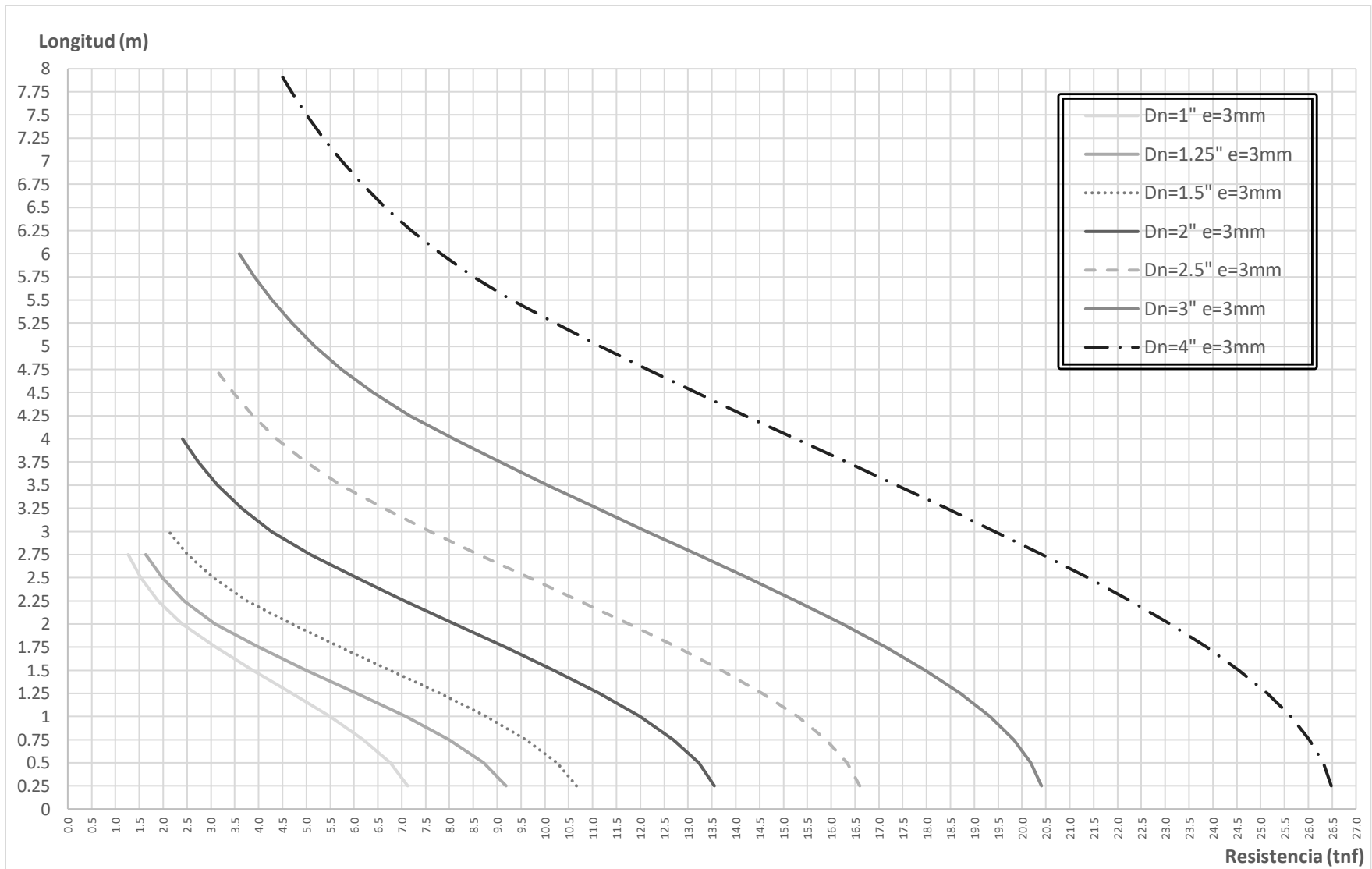


Gráfico 24. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular circular (e=3 mm) según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Tabla 24. Resistencia de elementos a compresión de sección tubular cuadrada según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Resistencia a la Compresión Tubos Cuadrados (tnf)											
Sección Comercial	50 x 50			75 x 75			100 x 100				
	e=2 mm	e=2.5 mm	e=3 mm	e=2 mm	e=2.5 mm	e=3 mm	e=2 mm	e=2.5 mm	e=3 mm	e=4 mm	e=6 mm
L(m)											
0.25	1.00	1.25	1.50	1.51	1.88	2.26	2.02	2.52	3.02	4.02	6.02
0.5	0.98	1.22	1.46	1.49	1.86	2.24	2.00	2.50	3.00	4.00	5.99
0.75	0.94	1.17	1.40	1.47	1.83	2.20	1.98	2.48	2.97	3.96	5.93
1	0.89	1.11	1.32	1.43	1.79	2.14	1.96	2.44	2.93	3.90	5.84
1.25	0.82	1.03	1.23	1.38	1.73	2.07	1.92	2.40	2.88	3.83	5.74
1.5	0.75	0.94	1.13	1.33	1.66	1.99	1.88	2.35	2.81	3.75	5.61
1.75	0.68	0.85	1.01	1.27	1.59	1.90	1.83	2.29	2.74	3.65	5.46
2	0.60	0.75	0.90	1.20	1.50	1.80	1.78	2.22	2.66	3.54	5.30
2.25	0.52	0.65	0.78	1.13	1.41	1.69	1.72	2.14	2.57	3.42	5.12
2.5	0.45	0.56	0.67	1.06	1.32	1.58	1.65	2.06	2.47	3.29	4.92
2.75	0.38	0.47	0.56	0.98	1.22	1.47	1.58	1.98	2.37	3.15	4.72
3	0.32	0.39	0.47	0.90	1.13	1.35	1.51	1.89	2.26	3.01	4.50
3.25	0.27	0.34	0.40	0.82	1.03	1.23	1.44	1.79	2.15	2.86	4.28
3.5	0.23	0.29	0.35	0.75	0.93	1.12	1.36	1.70	2.04	2.71	4.05
3.75	0.20	0.25	0.30	0.67	0.84	1.01	1.28	1.60	1.92	2.55	3.82
4	0.18	0.22	0.27	0.60	0.75	0.90	1.20	1.50	1.80	2.40	3.58
4.25				0.53	0.67	0.80	1.13	1.41	1.69	2.24	3.35
4.5				0.48	0.60	0.71	1.05	1.31	1.57	2.09	3.12
4.75				0.43	0.53	0.64	0.97	1.22	1.46	1.94	2.89
5				0.39	0.48	0.58	0.90	1.12	1.35	1.79	2.67
5.25				0.35	0.44	0.52	0.83	1.03	1.24	1.65	2.46
5.5				0.32	0.40	0.48	0.76	0.95	1.13	1.51	2.25
5.75				0.29	0.36	0.44	0.69	0.87	1.04	1.38	2.06
6				0.27	0.33	0.40	0.64	0.80	0.95	1.27	1.89

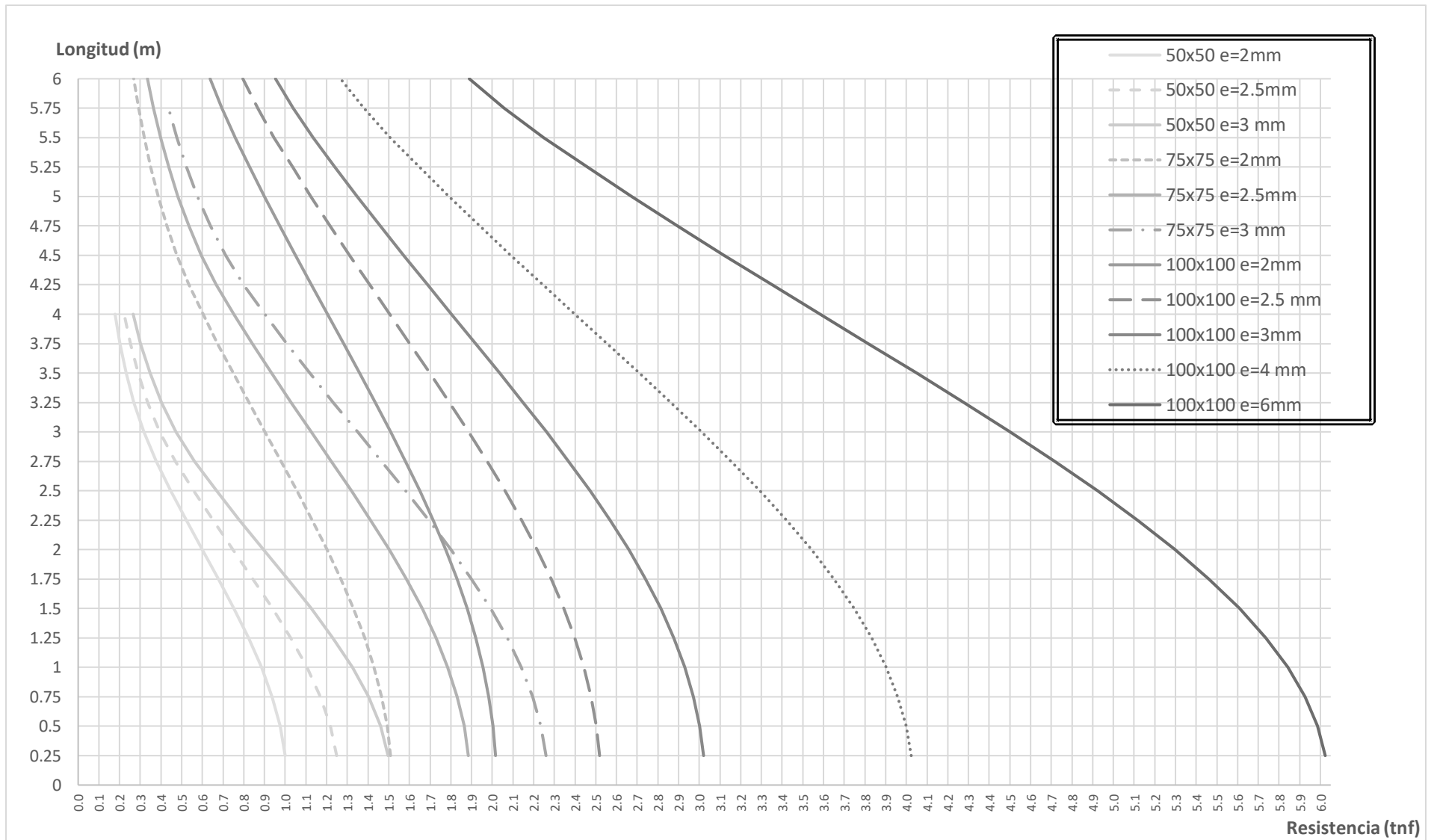


Gráfico 25. Nomograma de resistencia de elementos a compresión de sección tubular cuadrada según su longitud de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

CAPITULO 9. ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA DE COBERTURA UTILIZANDO LA METODOLOGÍA PROPUESTA EN LA INVESTIGACIÓN

La metodología propuesta será aplicada a una estructura metálica de cobertura con el objetivo de demostrar la mejoría en el comportamiento y logrando que resista, por lo menos, las presiones generadas por la velocidad de diseño.

La estructura metálica de cobertura elegida para la aplicación de la metodología propuesta es “Las Casuarinas” del distrito de Yanahuara, la cual, con el diseño dado en su Expediente Técnico y sometido a un análisis estructural, presenta una velocidad de falla de 63 km/h.

9.1. Procedimiento de aplicación de metodología

Según las disposiciones dadas por la Norma E.020 “Cargas” y el criterio propio, esta estructura es clasificada como Tipo II; por los tanto, se considerará un factor de 1.2 para el cálculo de las presiones de viento actuantes.

La velocidad de diseño se toma del mapa eólico dispuesto por la Norma E.020 que, para nuestra ciudad, está estipulada como 85 km/h, siendo este un valor conservador al momento de realizar el diseño.

La carga exterior de viento seguirá la formula siguiente:

$$Ph = 0.005CV_h^2$$

Donde:

Ph: presión o succión del viento a una altura h (kgf/m²)

C: factor de forma adimensional

Vh: velocidad de diseño a la altura h (km/h)

Las consideraciones a tomar en cuenta para la elección del factor de forma son las siguientes:

- Determinar el ángulo de inclinación del paño de lona, en estas estructuras se han encontrado valores menores de 15° , en la cobertura de ejemplo, según la arquitectura, el ángulo a considerar es de 10.67°
- Se consideran fuerzas de presión y succión alternadas, por eso, en este ejemplo se realizará el análisis con ocurrencia de fuerzas a succión.
- La aplicación del viento en estas estructuras, se hace mediante la diferenciación de las caras que trabajan a barlovento y a sotavento consideradas como se muestra en la siguiente figura.

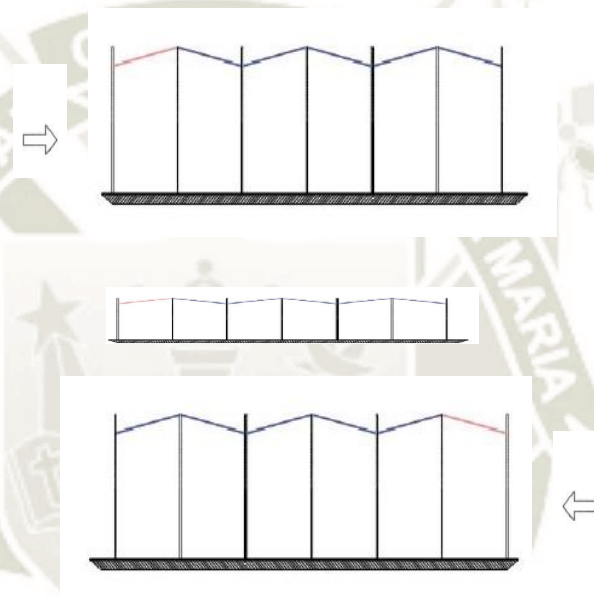


Figura 98. Comportamiento de las caras de la estructura metálica ante la acción del viento.
[Fuente: Elaboración propia]

- Se utiliza el valor crítico de **-0.7**, aplicando ese valor para toda la cobertura y logrando practicidad en el análisis.
- La carga interior de viento para este tipo de estructuras, será despreciada debido a que se encuentra abierta en su totalidad, el viento discurre libremente sin que se presente aplicación de cargas en sus caras internas.

Con todas estas consideraciones, se calcula la carga exterior de viento.

$$Ph = 0.005CV_h^2$$

Donde:

Ph: presión o succión del viento a una altura h (kgf/m²)

C: factor de forma adimensional

Vh: velocidad de diseño a la altura h (km/h)

Datos:

h: 8 m

C: 0.7

Vh: 85 km/h

$$Ph = 0.005 \times 0.7 \times 85^2$$

$$Ph = 25.288 \frac{kgf}{cm^2} = 0.0253 \text{ tnf}/m^2$$

Multiplicamos este valor por el factor de efectos dinámicos (1.2).

$$Ph = 0.0253 \times 1.2 = \mathbf{0.0303 \text{ tnf}/m^2}$$

Para realizar el modelamiento de la estructura, tomamos el plano estructural brindado por la Municipalidad de Yanahuara en su correspondiente Expediente Técnico, respetando las características geométricas brindadas, esto con el único de obtener fuerzas que nos permitan realizar un predimensionamiento real.

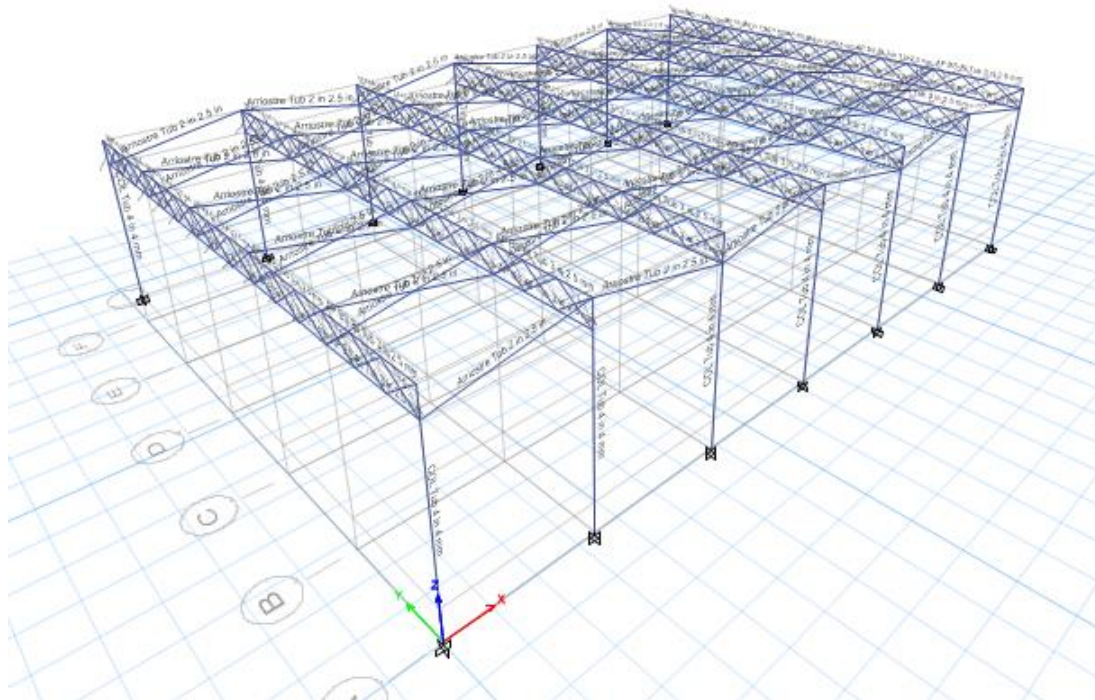


Figura 99. Definición de secciones de elementos de la estructura en ejemplo. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

A este modelo se aplicará las fuerzas generadas por carga muerta, carga viva, carga de sismo y de viento, y serán repartidas manualmente a los lados de apoyo de los paños de lona, como sigue:

- Carga Muerta: Peso propio de la estructura
- Carga Viva: 0.03 tnf/m^2
- Carga Sismo: Espectro de sismo
- Carga de Viento: Como se explica a continuación.

La carga externa será repartida según sus componentes horizontal y vertical. La componente vertical se reparte hacia los cuatro lados de la lona, es decir, hacia las armaduras y los arriostres que la soportan; sin embargo, la componente horizontal sólo se repartirá hacia las armaduras.

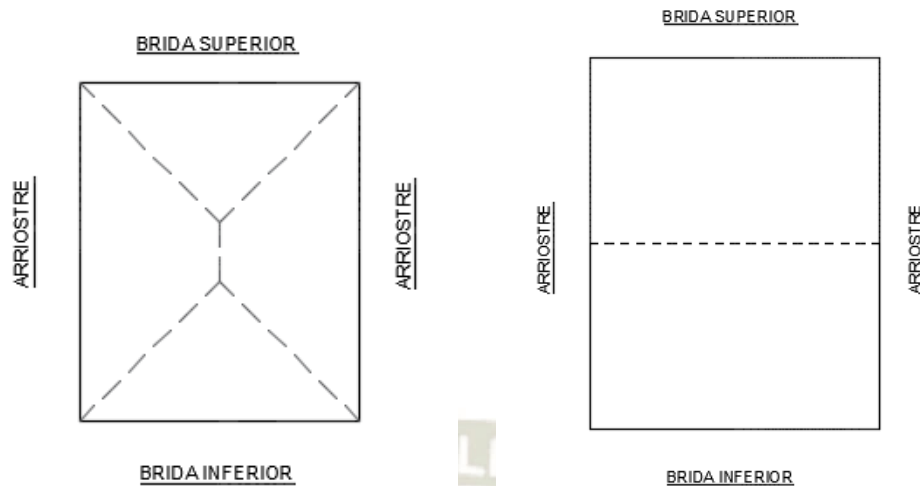


Figura 100. Comportamiento de la lona para la repartición de cargas de viento según sus componentes. [Fuente: Elaboración propia]

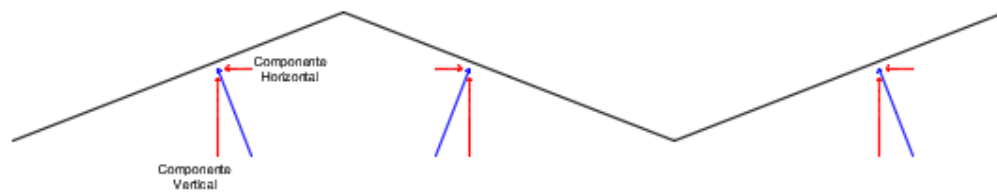


Figura 101. Descomposición de la fuerza de viento según su aplicación en la lona. [Fuente: Elaboración propia]

En las armaduras centrales o comunes para dos tramos de lona, tendrán un valor doble de carga en relación de las cargas distribuidas verticales en las armaduras externas.

Para los arriostres, se considera el valor total de la repartición según el criterio de losa bidireccional.

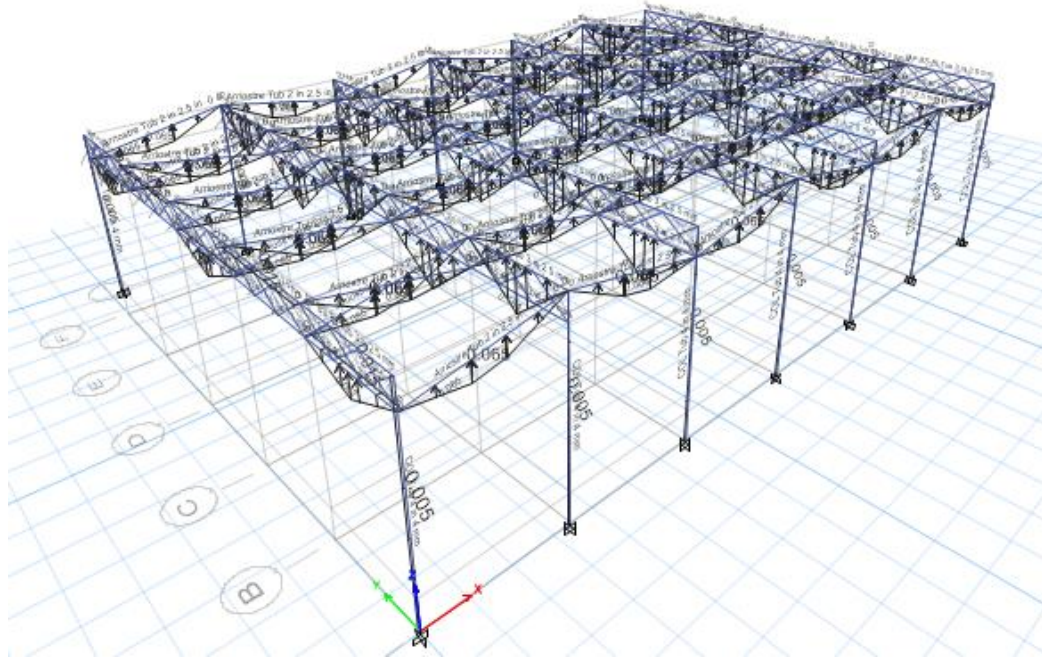


Figura 102. Repartición de cargas de la fuerza de viento en la estructura. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

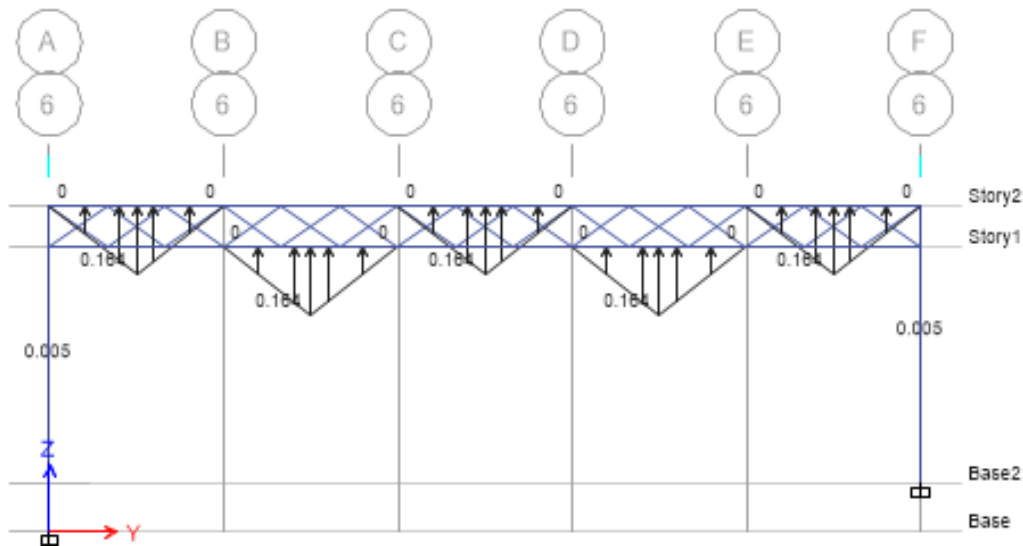


Figura 103. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos internos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

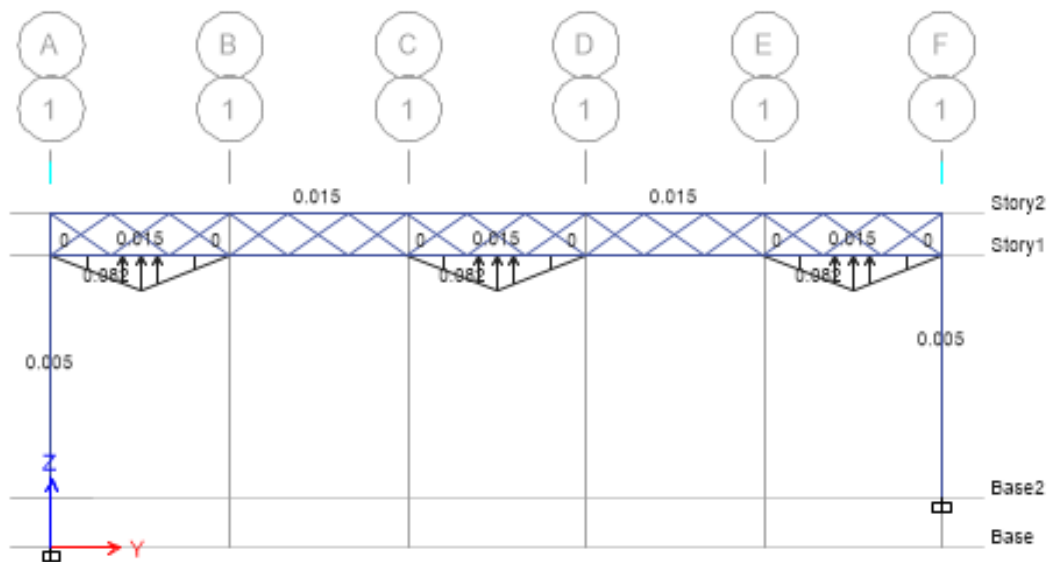


Figura 104. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en pórticos externos. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

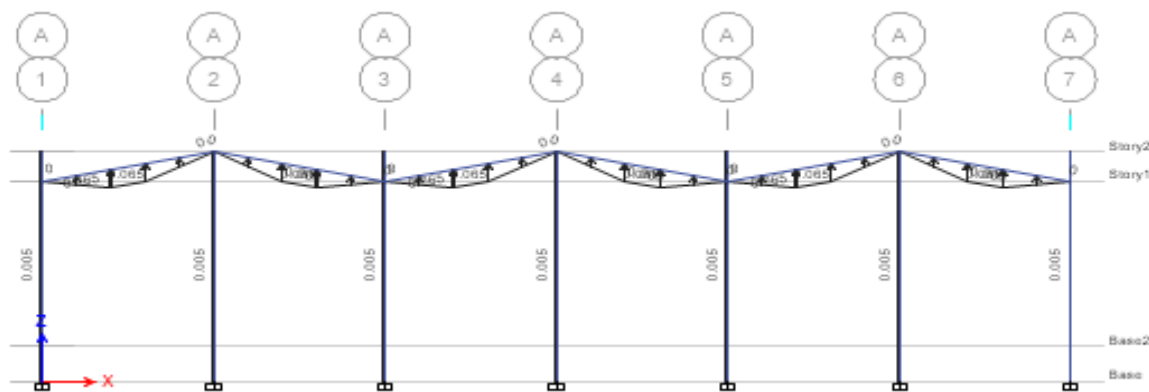


Figura 105. Repartición de cargas de la componente vertical de la fuerza de viento en arriostres. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Las cargas distribuidas horizontales sólo serán consideradas en las armaduras externas, ya que en las internas existen en direcciones opuestas entre tramos de lona, en consecuencia, se anulan y toman un valor de cero.

Se considerarán las siguientes combinaciones de carga:

- $1.4D$
- $1.2D + 1,6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $1.2D + 1,6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0.5L \text{ ó } 0.8W)$
- $1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $1.2D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2S$

Donde

D: Carga muerta debido al peso propio de los elementos y los efectos permanentes sobre la estructura.

L: Carga viva debida al mobiliario y ocupantes

Lr: Carga viva de azoteas

W: Carga de viento

S: Carga de nieve

E: Carga de sismo de acuerdo a la Norma E.030 Diseño Sismoresistente

R: Carga por lluvia o granizo

Se realiza un análisis elástico para las direcciones “x” y “y”, con lo que es posible determinar qué elementos trabajan bajo fuerzas axiales a tracción o compresión y los valores de cargas internas correspondientes a la envolvente de cargas, que serán utilizadas para el predimensionamiento real de la estructura

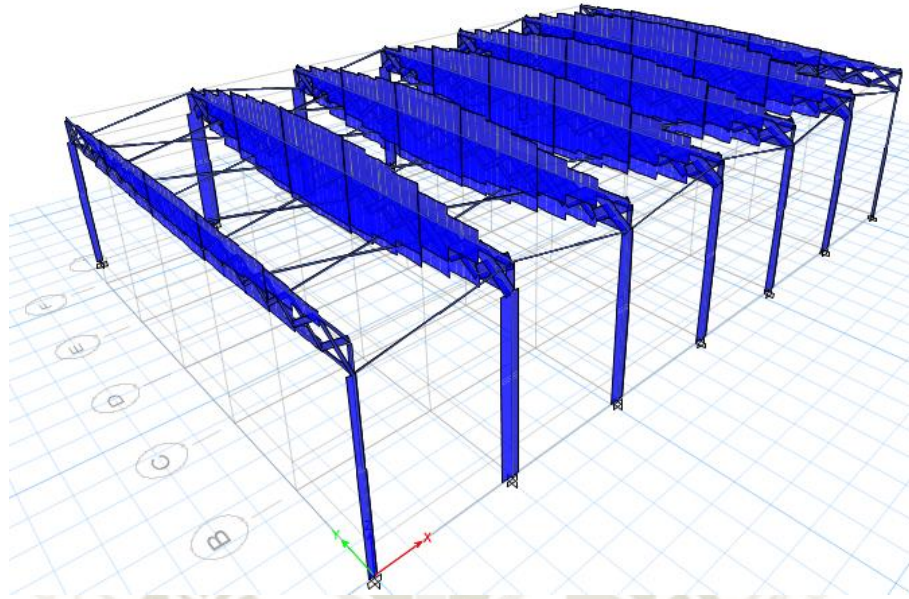


Figura 106. Envolvente de cargas en la estructura a utilizar para el diseño de elementos.
[Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

El pórtico más cargado nos brinda las cargas axiales máximas tanto a compresión como a tracción en las bridas principales y en las diagonales.

Tabla 25. Fuerzas internas de los elementos a diseñar. [Fuente: Elaboración propia]

Elemento	Fuerzas Internas (tnf)	
	Tracción	Compresión
Bridas	19.47	19.35
Diagonales	2.67	3.05
Columnas	2.43	3.87

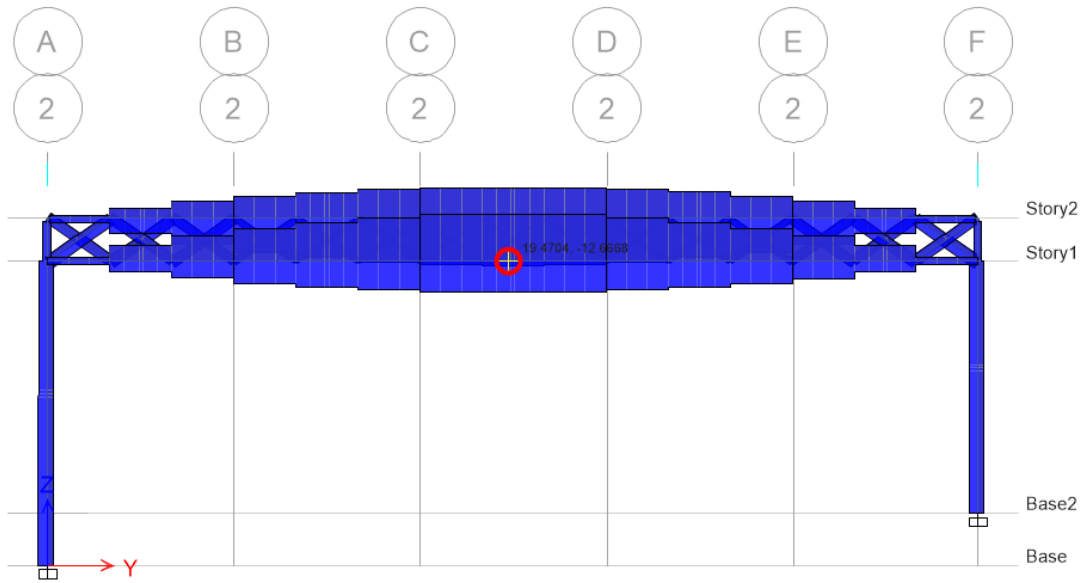


Figura 107. Fuerzas a tracción y compresión en brida inferior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

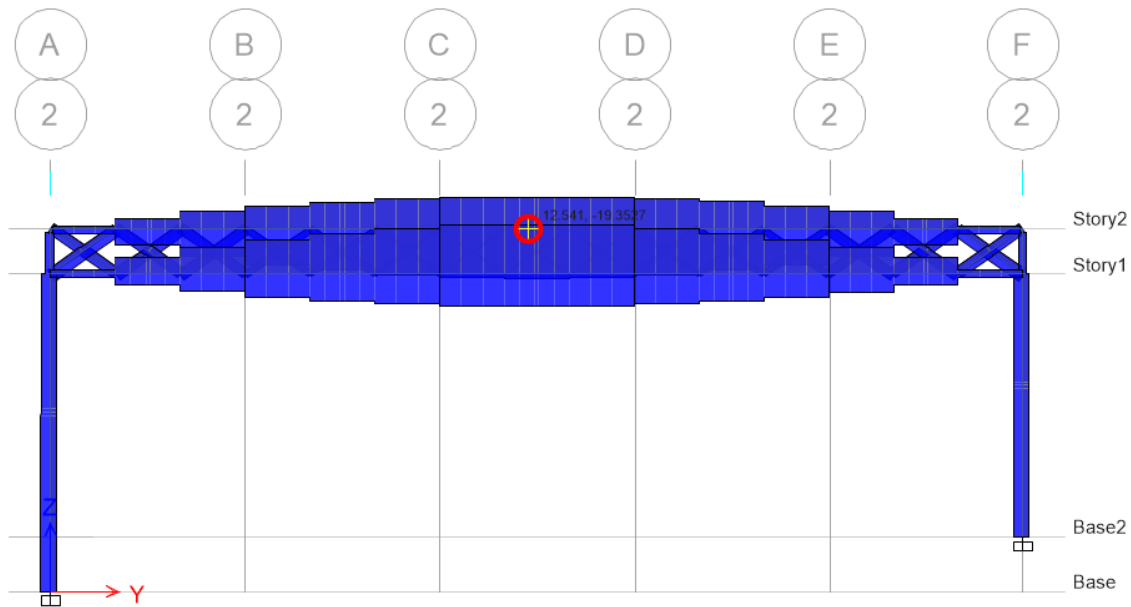


Figura 108. Fuerzas a tracción y compresión en brida superior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

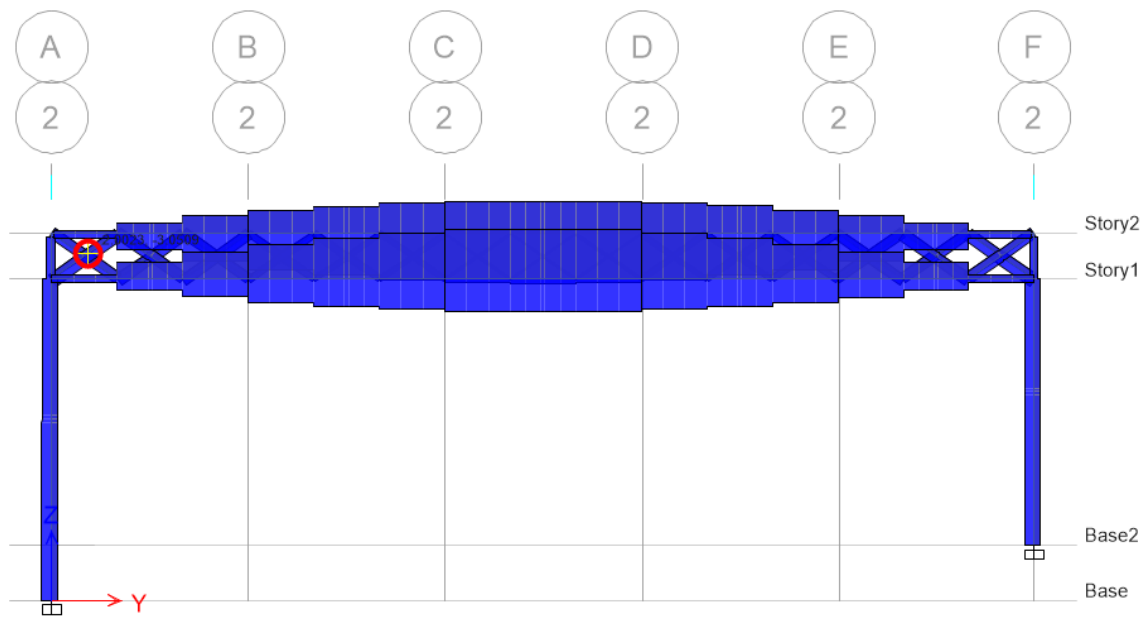


Figura 109. Fuerzas a tracción en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

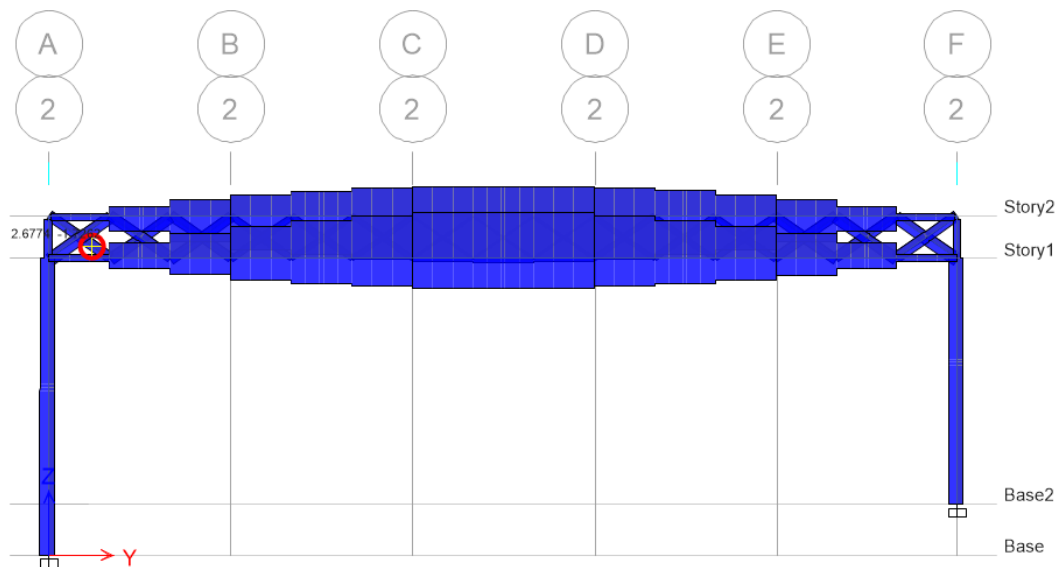


Figura 110. Fuerzas a compresión en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

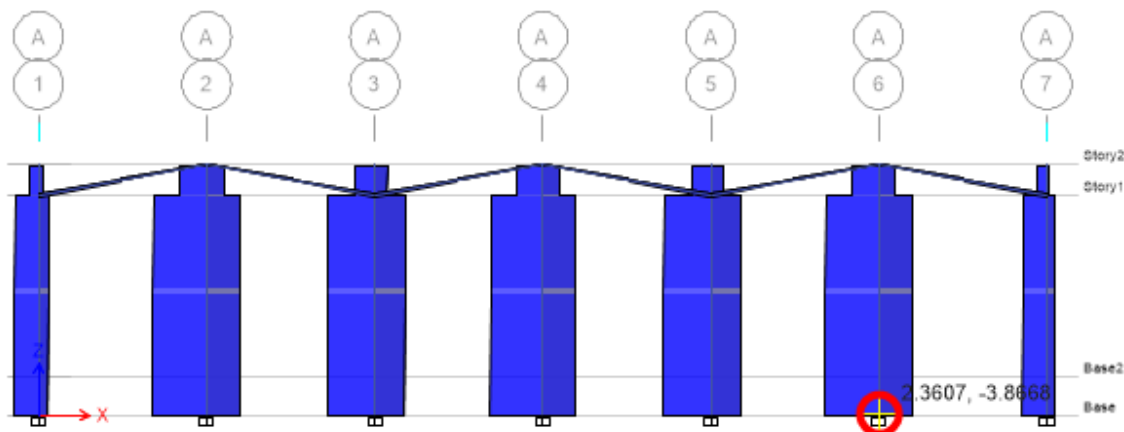


Figura 111. Fuerzas a tracción y compresión en columna más cargada. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Como se explicó anteriormente, en la totalidad de estructuras analizadas en esta investigación, los efectos de presión o succión cuando ocurren, generan fuerzas de tracción y compresión en el mismo elemento alternadamente, cuyos valores son bastante similares; por lo tanto, el diseño se realizará con el mayor valor, buscando que sea soportado tanto a tracción como a compresión, para eso se hará uso de las tablas propuestas.

Se debe empezar el proceso de diseño con el correspondiente a tracción, como sigue:

- Brida Superior e Inferior

Datos:

- Fuerza (Pn): 19.47 tnf = 1947 kgf
- Esfuerzo de Fluencia del Acero A36 (Fy): 2530 kgf/cm²
- Φ_t : 0.9

Calculamos el área gruesa requerida para soportar la fuerza solicitada, mediante la siguiente fórmula:

$$A_g = \frac{P_n}{F_y \times \Phi_t}$$

$$A_g \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{19470}{2530 \times 0.9}$$

$$A_g = 8.55 \text{ cm}^2$$

Se debe elegir una sección de acero A36 comercial que cumpla con esa área mínima.

El **Tubo Circular Dn=4" e=2.5 mm** tiene un área aproximada de **8.78 cm²**, siendo la sección que más se asemeja a lo requerido por diseño a tracción.

○ Diagonales

Datos:

- Fuerza (Pn): 3.05 tnf = 3050 kgf
- Esfuerzo de Fluencia del Acero A36 (Fy): 2530 kgf/cm²
- Φt: 0.9

Calculamos el área gruesa requerida para soportar la fuerza solicitada, mediante la siguiente fórmula:

$$A_g = \frac{P_n}{F_y \times \Phi_t}$$

$$A_g \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{3050}{2530 \times 0.9}$$

$$A_g = 1.34 \text{ cm}^2$$

Se debe elegir una sección de acero A36 comercial que cumpla con esa área mínima.

El **Tubo Circular Dn=1" e=2.5 mm** tiene un área aproximada de **2.42 cm²**, siendo la sección que más se asemeja a lo requerido por diseño a tracción.

○ Columnas

Datos:

- Fuerza (Pn): 3.87 tnf = 3870 kgf
- Esfuerzo de Fluencia del Acero A36 (Fy): 2530 kgf/cm²
- Φt: 0.9

Calculamos el área gruesa requerida para soportar la fuerza solicitada, mediante la siguiente fórmula:

$$Ag = \frac{Pn}{Fy \times \Phi t}$$

$$Ag (cm^2) = \frac{3870}{2530 \times 0.9}$$

$$Ag = 1.70 cm^2$$

Con estas secciones, pasaremos a realizar el diseño por compresión de los elementos, haciendo uso de las tablas propuestas, las cuales nos brindan longitudes a las cuales dichas secciones pueden cumplir con la solicitud a compresión.

Tabla 26. Resistencia a compresión de elementos de secciones comerciales según longitudes de colocación. [Fuente: Elaboración propia]

Sección Comercial	Resistencia a la Compresión Tubos Circulares (tnf)						
	espesor e=2.5 mm						
	Dn=1"	Dn=1.25"	Dn=1.5"	Dn=2"	Dn=2.5"	Dn=3"	Dn=4"
L(m)							
0.25	5.97	7.76	8.99	11.39	13.93	17.11	22.17
0.5	5.49	7.37	8.65	11.12	13.71	16.92	22.03
0.75	4.78	6.77	8.11	10.69	13.35	16.62	21.79
1	3.93	6.01	7.42	10.10	12.85	16.21	21.47
1.25	3.06	5.16	6.62	9.40	12.24	15.69	21.06
1.5	2.24	4.29	5.75	8.61	11.54	15.09	20.56
1.75	1.65	3.44	4.87	7.76	10.76	14.40	20.00
2	1.26	2.67	4.02	6.88	9.92	13.64	19.47
2.25		2.11	3.23	6.00	9.05	12.84	18.67
2.5		1.71	2.62	5.15	8.17	11.99	17.93
2.75		1.41	2.17	4.35	7.30	11.12	17.14
3			1.82	3.65	6.45	10.24	16.31
3.25			1.55	3.11	5.63	9.36	15.46
3.5				2.68	4.87	8.49	14.59
3.75				2.34	4.24	7.65	13.71
4				2.05	3.73	6.85	12.83
4.25					3.30	6.07	11.95
4.5					2.94	5.42	11.09
4.75					2.64	4.86	10.24
5					2.39	4.39	9.42
5.25						3.98	8.62
5.5						3.63	7.85
5.75						3.32	7.19
6						3.05	6.60

Según la Tabla anterior, las bridas tendrán una sección de Tubo Circular $D_n=4''$ $e=2.5$ mm que deberá ser colocada a longitudes máximas de 2 metros, para que sean útiles tanto a tracción como a compresión.

Las diagonales deberían ser de una sección de Tubo Circular $D_n=1''$ $e=2.5$ mm colocados a longitudes máximas de 1.25 metros; sin embargo, como podemos observar en la siguiente figura, no es posible considerar esa longitud, la cual debe ser de 1.42 metros para cumplir con la configuración estructural, por eso, utilizaremos los nomogramas propuestos para seleccionar otra sección que pueda ser útil.

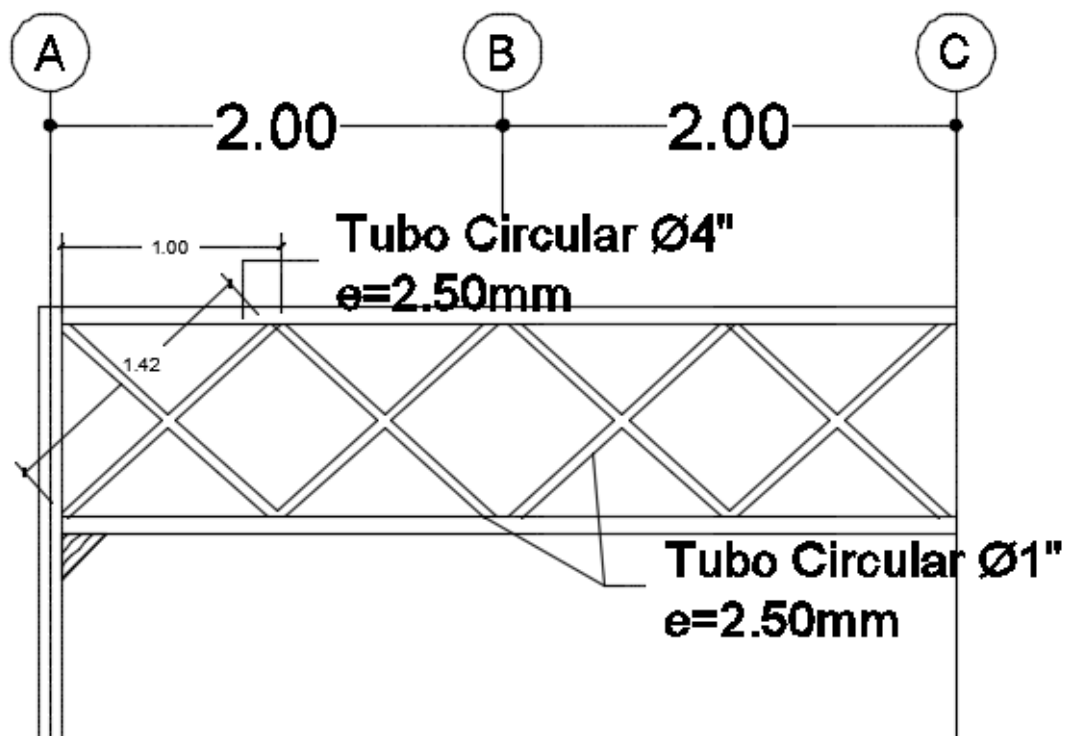


Figura 112. Distribución de diagonales en armaduras principales. [Fuente: Elaboración propia]

Se requiere una sección que resista por lo menos 3.05 tnf y colocados a longitudes máximas de 1.42 metros. Estos serán los parámetros que buscaremos en el Nomograma para determinar la sección a utilizar.

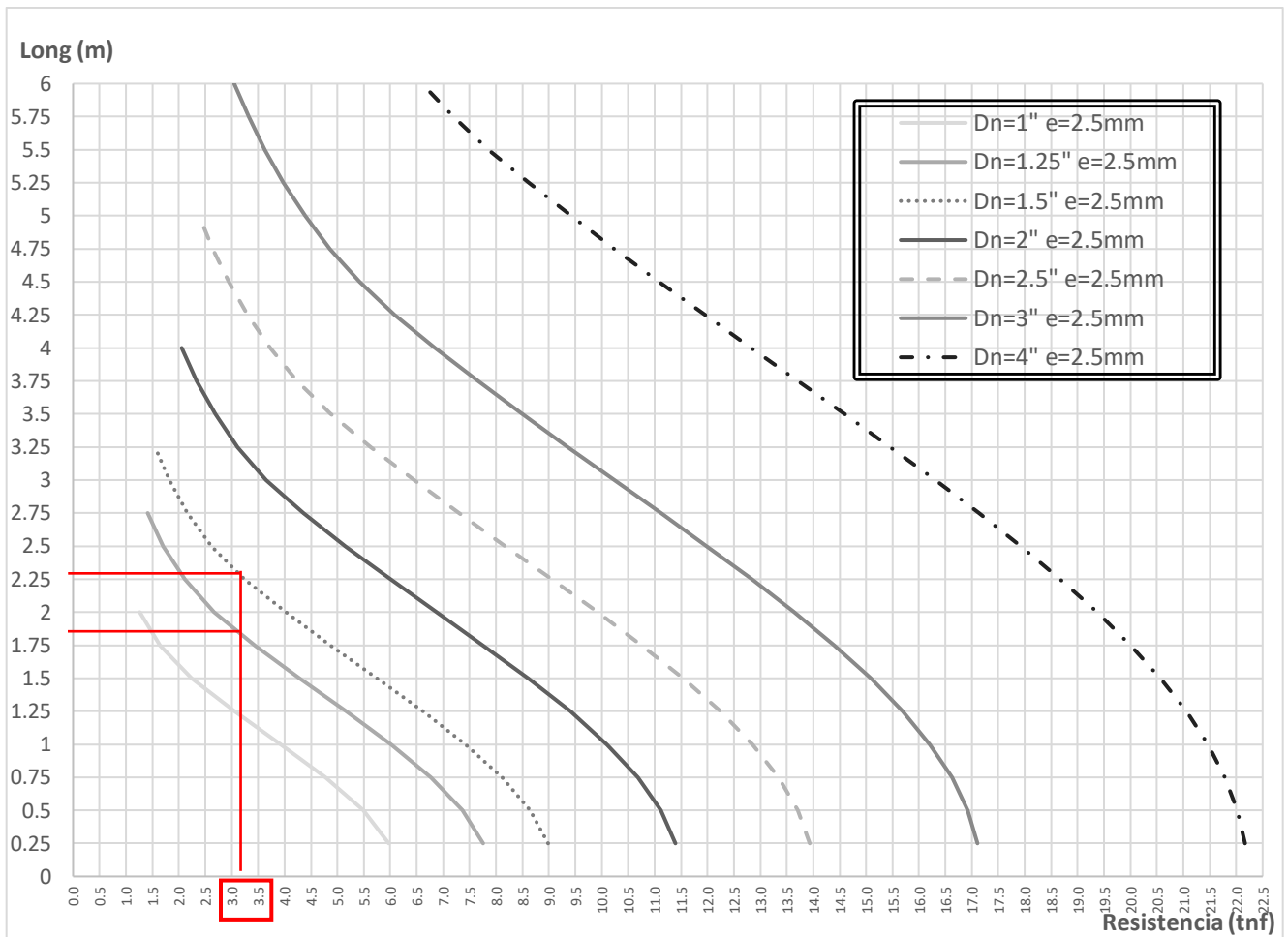


Gráfico 26. Elección de sección comercial para diagonales según resistencia y longitud. [Fuente: Elaboración propia]

Como se puede observar, las secciones de Tubo Circular Dn=1.25" e=2.5mm y Dn=1.5" e=2.5mm, cumplen con las solicitudes con longitudes de colocación de 1.75 m aproximadamente y 2.25 m, respectivamente.

La sección elegida es: Tubo Circular Dn=1.25" e=2.5mm por resultar más económica.

Para realizar la elección del elemento a colocar en las columnas, se deben tomar dos parámetros, la resistencia y la altura de 8 metros que ya viene dada por arquitectura.

Tabla 27. Elección de elemento para columnas según resistencia y longitud. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Sección Comercial	Resistencia a la Compresión Tubos Circulares (tnf)						
	espesor e=3 mm						
L(m)	Dn=1"	Dn=1.25"	Dn=1.5"	Dn=2"	Dn=2.5"	Dn=3"	Dn=4"
0.25	7.12	9.19	10.66	13.55	16.60	20.41	26.48
0.5	6.76	8.72	10.25	13.22	16.33	20.19	26.31
0.75	6.20	8.00	9.61	12.70	15.89	19.82	26.03
1	5.49	7.08	8.77	11.99	15.29	19.33	25.64
1.25	4.70	6.06	7.80	11.15	14.56	18.71	25.14
1.5	3.88	5.00	6.76	10.19	13.71	17.97	24.55
1.75	3.10	3.99	5.71	9.17	12.77	17.14	23.87
2	2.40	3.09	4.70	8.11	11.77	16.24	23.11
2.25	1.89	2.44	3.76	7.06	10.72	15.26	22.27
2.5	1.53	1.98	3.05	6.05	9.66	14.25	21.38
2.75	1.27	1.63	2.52	5.09	8.62	13.20	20.43
3			2.12	4.27	7.60	12.14	19.43
3.25				3.64	6.63	11.09	18.41
3.5				3.14	5.72	10.05	17.37
3.75				2.74	4.98	9.05	16.31
4				2.40	4.38	8.09	15.25
4.25					3.88	7.17	14.20
4.5					3.46	6.39	13.17
4.75					3.11	5.74	12.15
5						5.18	11.17
5.25						4.70	10.21
5.5						4.28	9.30
5.75						3.91	8.51
6						3.60	7.82
6.25							7.20
6.5							6.66
6.75							6.18
7							5.74
7.25							5.35
7.5							5.00
7.75							4.68
8							4.40

Podemos observar que la única sección que cumple con lo requerida es la de **Tubo Circular Dn=4" e=3 mm**

Con estas nuevas secciones seleccionadas, se debe realizar un nuevo modelamiento.

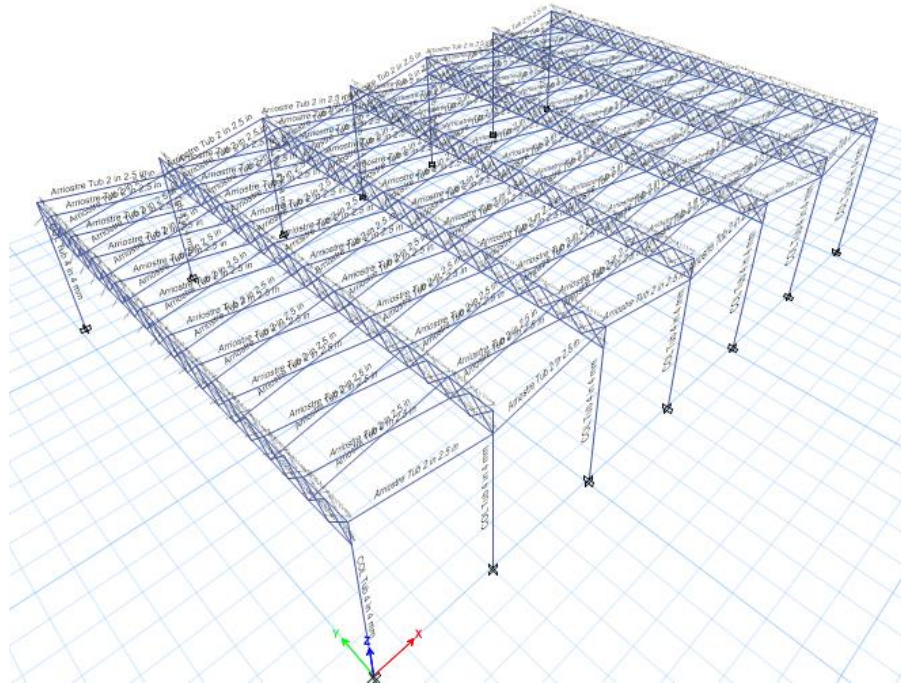


Figura 113. Modelamiento computarizado de estructura en análisis con elementos predimensionados. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

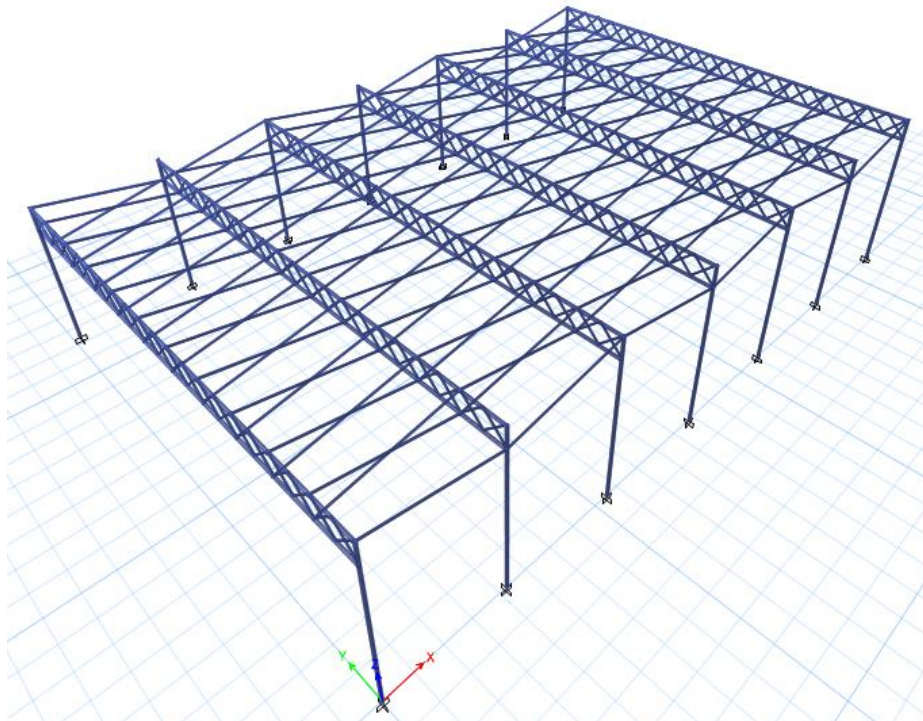


Figura 114. Planteamiento estructural del proyecto en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se aplican las cargas con el mismo criterio de repartición, pero respetando las nuevas longitudes entre arriostres de las bridas y las diagonales.

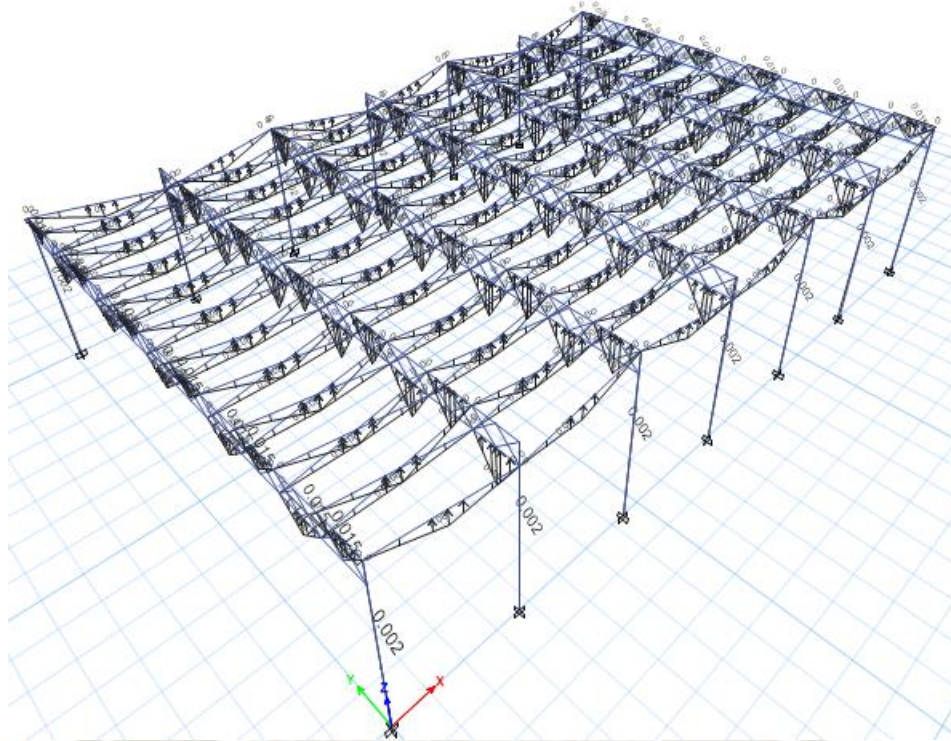


Figura 115. Aplicación de cargas a la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

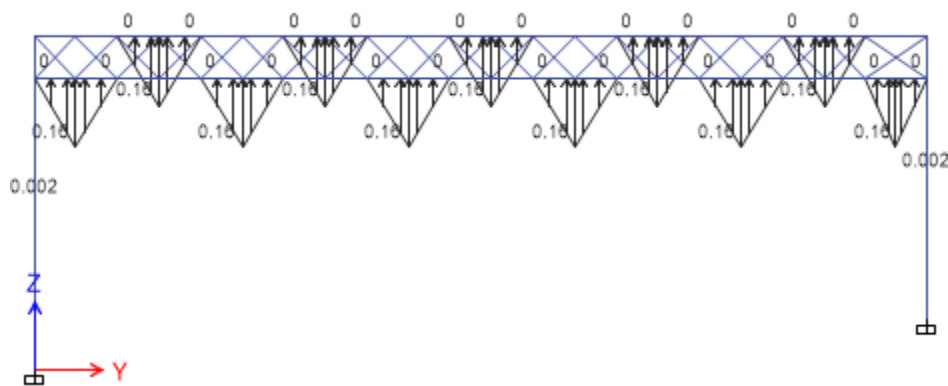


Figura 116. Aplicación de cargas en pórticos internos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

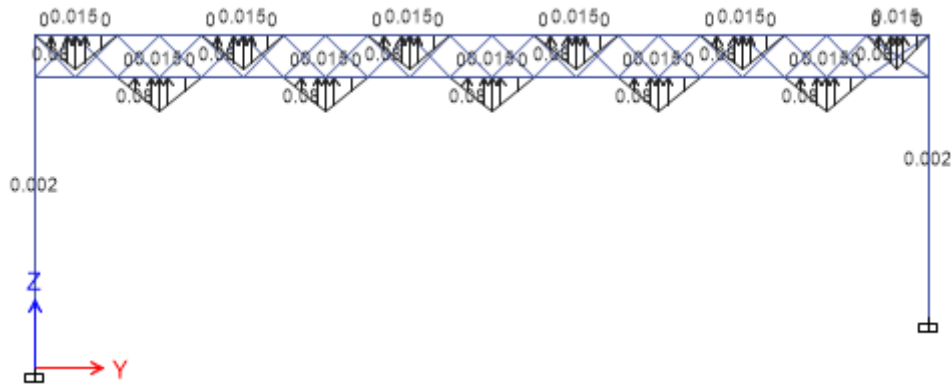


Figura 117. Aplicación de cargas en pórticos externos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]



Figura 118. Aplicación de cargas en arriostres de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Se procede a verificar las fuerzas de los elementos, para comprobar que no excedan los valores tomados para el diseño previo.

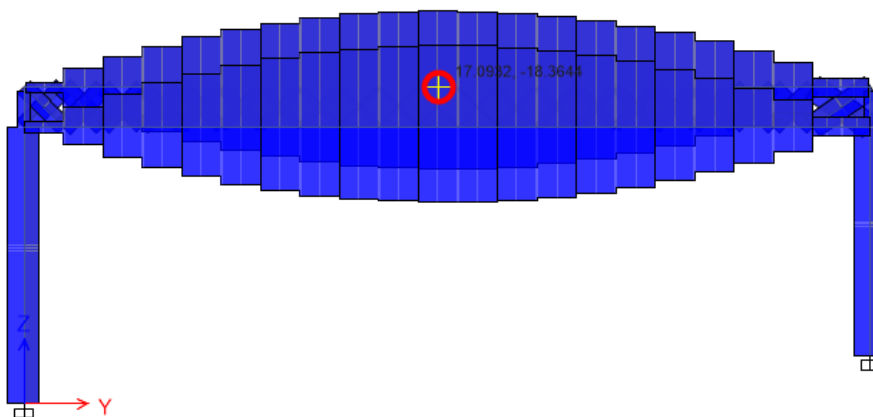


Figura 119. Verificación de fuerzas a tracción y compresión en brida superior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

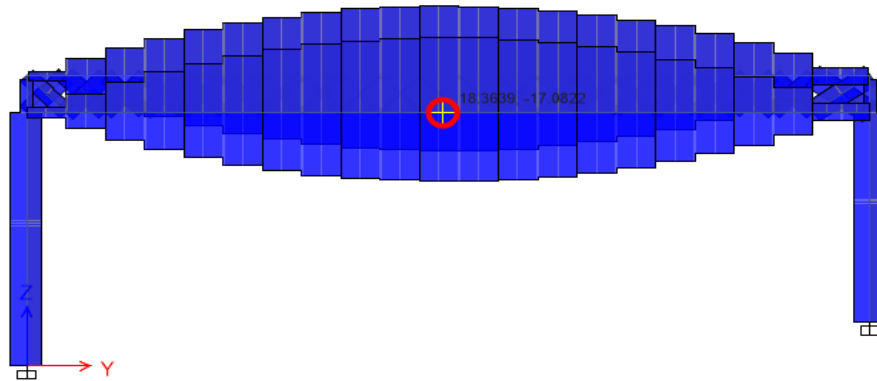


Figura 120. Verificación de fuerzas a tracción y compresión en brida inferior del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

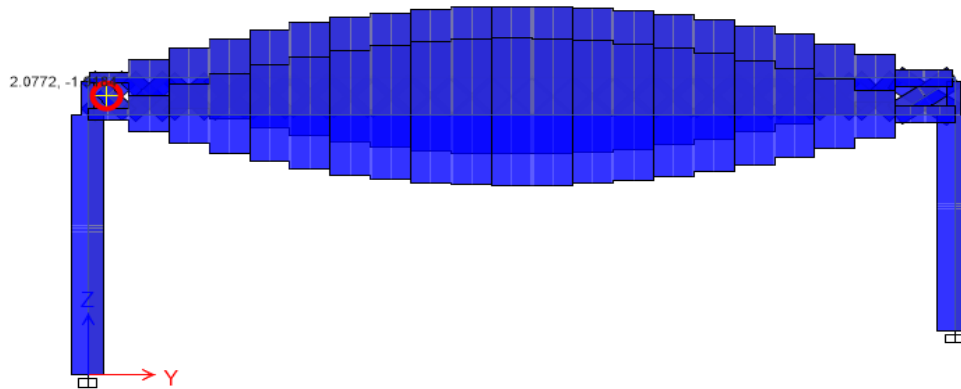


Figura 121. Verificación de fuerzas a tracción en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

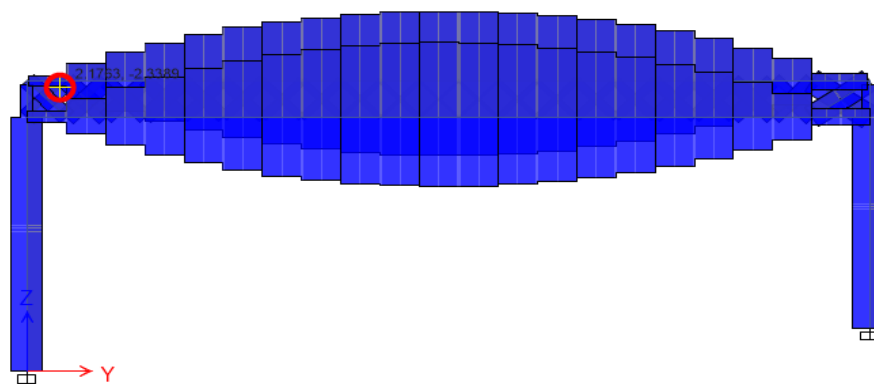
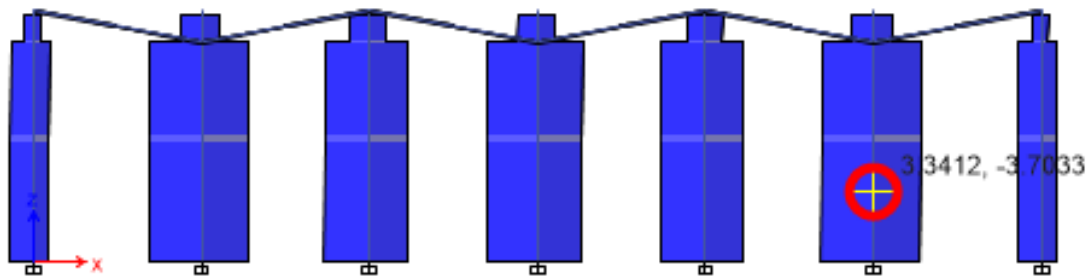


Figura 122. Verificación de fuerzas a compresión en diagonal del pórtico más cargado. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]



*Figura 123. Verificación de fuerzas a tracción y compresión en la columna más cargada.
[Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]*

Las fuerzas obtenidas son similares a las usadas para el diseño de los elementos; por lo tanto, se determina que el proceso de diseño está concluido; sin embargo, se debe continuar con el análisis para la determinación de la velocidad de falla real de la estructura y demostrar que será capaz de resistir, por lo menos, la velocidad de diseño (85 km/h).

Para realizar el análisis con la técnica Pushover, se deben construir los diagramas Fuerza-Desplazamiento, para esta estructura, cuya totalidad de elementos trabajan sometidos a cargas axiales puras.

Es importante identificar aquellos elementos que trabajan a tracción y aquellos que lo hacen a compresión para la correcta definición e introducción de sus rótulas. Cabe resaltar que el análisis no lineal se realizará con patrones de carga de viento según lo explicado en capítulos anteriores.

Se asignan las rótulas a cada elemento.

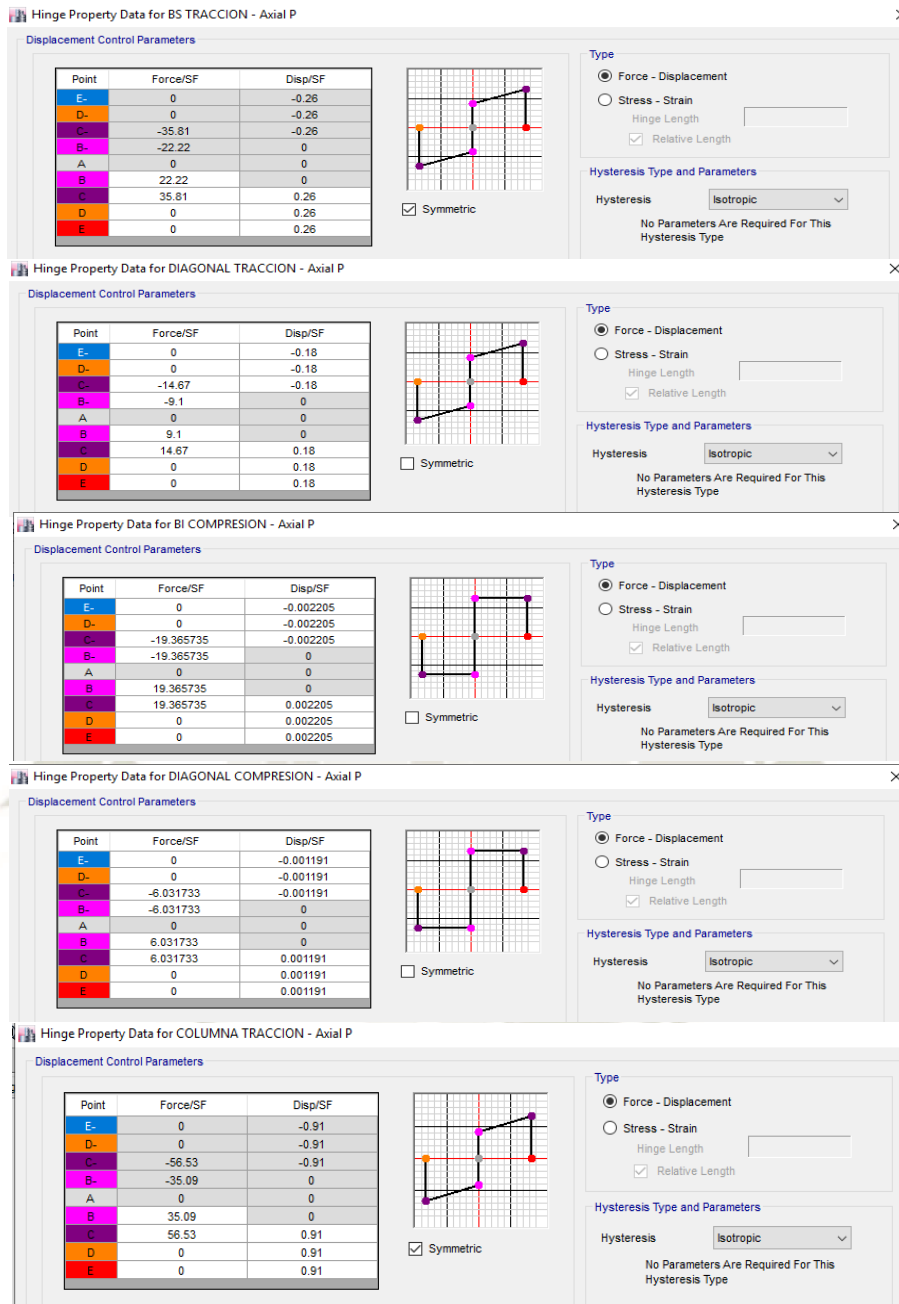


Figura 124. Definición de rótulas plásticas de elementos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

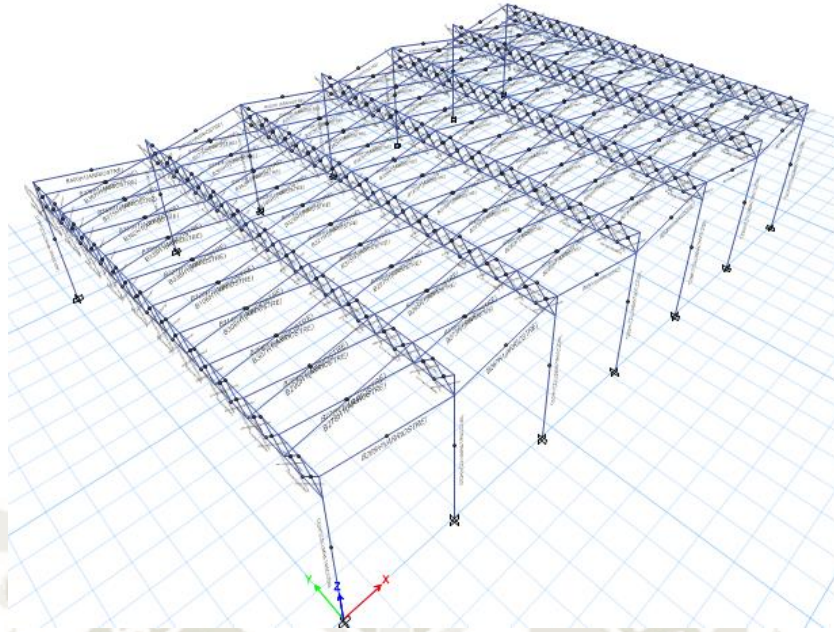


Figura 125. Asignación de rótulas plásticas en elementos de la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

Se realiza el seguimiento paso a paso del análisis Pushover, verificando la aparición de rótulas en los elementos y comprobando el mecanismo de falla.

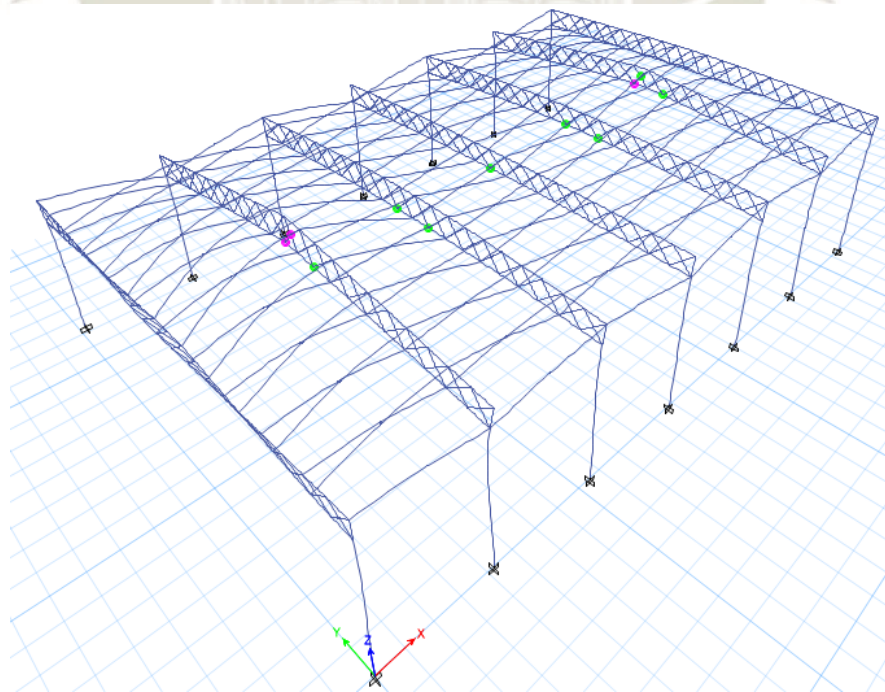


Figura 126. Aparición progresiva de rótulas plásticas en la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

En un modelo elástico, se eliminan los elementos rotulados para observar los efectos que causa su ausencia.

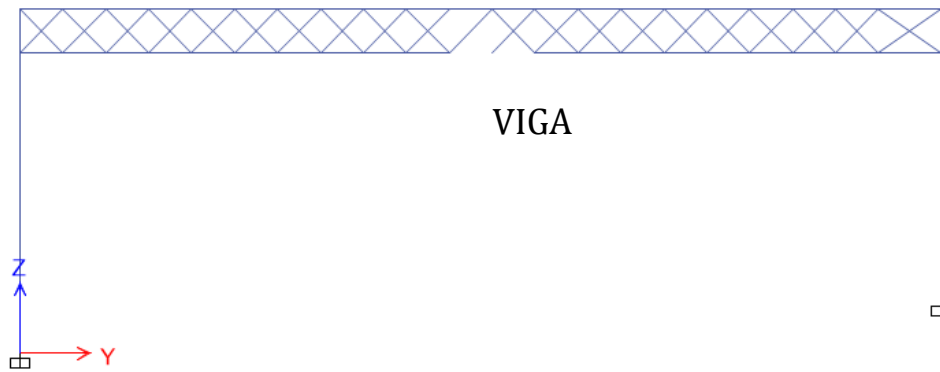


Figura 127. Eliminación de elementos de la brida inferior que llegaron a la falla en la estructura en análisis. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

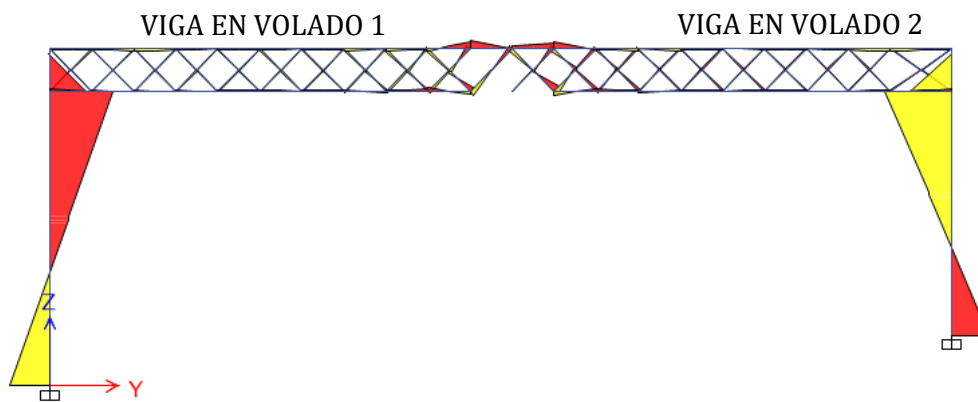


Figura 128. Aparición de momentos flectores en columnas por efecto de la eliminación de elementos que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software “Etabs 2016”]

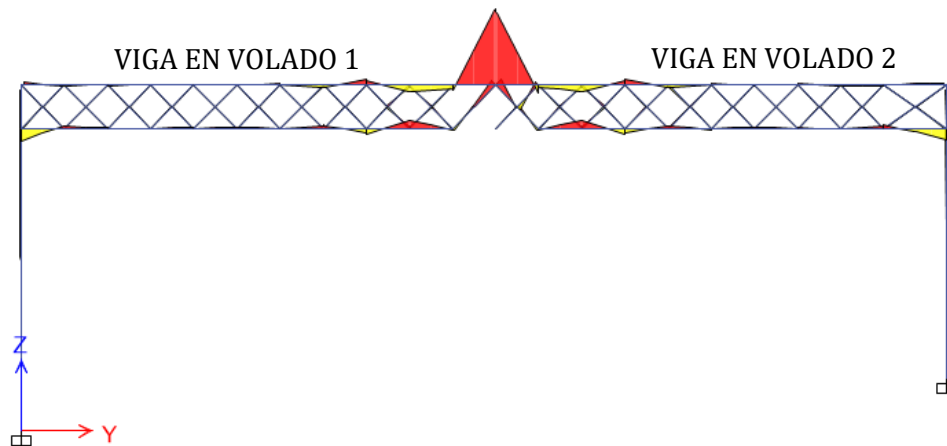


Figura 129. Aparición de momentos flectores en elementos principales por efecto de la eliminación de elementos que llegaron a la falla. [Fuente: Elaboración propia mediante software "Etabs 2016"]

Ocurre la aparición de momentos flectores tanto en las bridas contrarias como en las columnas, obligándolas a trabajar bajo efectos combinados de axial y flexión; estos elementos no se encuentran preparados para dichas solicitaciones, llegando a la falla.

Como se puede observar, el mecanismo de falla es el ya, anteriormente, obtenido; lo que demuestra el comportamiento característico de este tipo de estructuras.

Finalmente, es necesario obtener la velocidad de falla real de la estructura, siguiendo los siguientes pasos:

- Se extraen las fuerzas últimas de todos los elementos que presentan rotulación que, según lo descubierto, trabajan a compresión y han desencadenado el colapso de la estructura; luego, se extraen también las fuerzas que actúan en el análisis elástico en los mismos elementos. Para obtener un factor de escala, se realiza una división entre ambos valores de fuerzas.

Tabla 28. Factor de escala para la obtención de la velocidad de falla de la estructura en análisis
[Fuente: Elaboración propia]

COBERTURA	Step de Falla	Pórtico	Resistencia a Compresión (tnf)	Fuerza Axial (A. Elástico) (tnf)	Factor de Escala
Las Casuarinas - Yanahuara	06	B	16.82	14.82	1.14
		F		14.83	1.14

- El valor de la presión utilizada para el análisis fue de:

$$P = 30.34 \text{ kgf/m}^2$$

- Se procede a multiplicar el factor calculado con la presión.

$$P_{falla} = 1.14 \times P$$

$$P_{falla} = 1.14(30.34)$$

$$P_{falla} = 34.42 \text{ kgf/m}^2$$

- Con esta presión denominada de falla, se realiza el proceso inverso para el cálculo de la velocidad.

$$P_{falla} = (1.2) 0.005 c V_{falla}^2$$

$$\frac{P_{falla}}{(1.2)(0.005)(0.7)} = V_{falla}^2$$

$$\sqrt{\frac{P_{falla}}{(1.2)(0.005)(0.7)}} = V_{falla}$$

$$\sqrt{\frac{34.42}{(1.2)(0.005)(0.7)}} = V_{falla}$$

$$V_{falla} = 90.52 \text{ Km/h}$$

Con este resultado, podemos concluir que la propuesta realizada en esta investigación mejora el comportamiento de las estructuras, logrando la resistencia de la velocidad de diseño y, para este ejemplo, de un 6.10 % adicional.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se verificó que la metodología propuesta conlleva a resultados aceptables cumpliendo la norma y reduciendo de manera considerable el tiempo de diseño, lo que la convierte en una alternativa atractiva para los proyectistas de nuestra localidad.
- Se identificaron los tipos de estructuras metálicas de cobertura existentes en infraestructuras deportivas menores en la ciudad de Arequipa según sus características, donde se destaca el tipo de columna de soporte que poseen y determina su comportamiento.
- Se analizó la Norma E.020 “Cargas”, realizando una comparación con normativas extranjeras con lo que se pudo identificar las omisiones, aciertos y desaciertos que poseen.
- Se identificó que la composición de las columnas es la variable que determina el comportamiento general de estructuras metálicas de cobertura; con lo que, de acuerdo a un análisis elástico, se concluye que las estructuras con columnas de secciones simples con secciones transversales pequeñas, generan mayores esfuerzos en la cobertura superior y que todos los elementos trabajarán sometidos únicamente a cargas axiales; en cambio, en aquellas estructuras con columnas simples con secciones transversales mayores y columnas compuestas en arreglo de armadura, estos elementos de apoyo vertical atraen los mayores esfuerzos, logrando que la cobertura superior trabaje con esfuerzos menores. En este último caso, las columnas sufren los efectos combinados de fuerzas axiales y momentos flectores, lo cual debe ser considerado tanto en su análisis como en su diseño.
- Este concepto debe utilizarse al momento de la concepción de la estructura para aprovechar sus características de acuerdo al comportamiento que se convenga lograr.

- El punto desencadenante del colapso de una estructura metálica de cobertura, es la falla de un elemento a compresión de las bridas de las armaduras principales, que produce la aparición de momentos flectores no considerados en el diseño de elementos de la brida contraria, alterando así su comportamiento y volviéndola más susceptible a los efectos eólicos.
- Con el conocimiento del mecanismo de falla, se determinaron las velocidades de falla reales que, en el 83% de las estructuras, resultaron menores que las velocidades de diseño (85 km/h), dejando en evidencia la vulnerabilidad de este tipo de proyectos.
- Las longitudes de colocación de elementos a compresión y sus secciones, son determinantes en su comportamiento, por lo que se realizó la propuesta en base a secciones comerciales de tablas de diseño.
- La propuesta de modificación de la técnica Pushover con patrones de carga de viento, resultó útil para al análisis de estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores, dando resultados que permitieron conocer el comportamiento más real de los proyectos en mención.
- La investigación fue realizada enfocada en estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores, pero se sospecha que puede ser válida en estructuras metálicas utilizadas en otro tipo de infraestructura siempre y cuando no presenten características aerodinámicas especiales
- Los proyectos relacionados con este tipo de estructuras, no son tomados con la responsabilidad necesaria, dejándolos en manos de personas no especializadas en la rama estructural, esto se evidencia con la copia de planos y memorias de cálculo que, según lo revisado, no consideran los datos y características propios de cada proyecto.

Recomendaciones

- Debido al poco sustento sólido del factor de 1.2 que representan los efectos dinámicos en nuestra norma, se recomienda la inclusión de otros de métodos de análisis para este tipo de estructuras, por ejemplo, análisis dinámico que incluya variables que determinen las características del lugar como factores de exposición y propiedades dinámicas de la estructura como su amortiguamiento, que reflejen la real incidencia del viento como se plantea en normas extranjeras; asimismo, análisis con túnel de viento que permita observar y determinar el real comportamiento de este y sus efectos medidos en modelos a escala.
- Se recomienda un diseño cuidadoso de columnas que soporten cargas combinadas de axial y flexión, especialmente, en la ocurrencia de flexo compresión, ya que los momentos flexionantes son más críticos cuando se aplican en elementos que ya soportan cargas axiales a compresión, disminuyendo drásticamente su capacidad de resistencia de dichas cargas combinadas y aumentando las deflexiones laterales de la estructura.
- Para evitar la ocurrencia de pandeo flexotorsional en columnas, se deben utilizar perfiles simétricos y arreglos cuidadosos de miembros con soportes que eviten movimiento lateral y torceduras, tanto en las suposiciones de diseño como en el procedimiento constructivo, además, se recomienda la utilización de perfiles de empresas confiables que posean certificados de calidad que garanticen la menor cantidad de imperfecciones en los elementos.
- Para el diseño de los elementos principales en las coberturas, se recomienda realizar un predimensionamiento según la solicitud a tracción, mediante el cual se puede obtener una sección a utilizar con la que podemos ingresar a las tablas propuestas de diseño a compresión, eligiendo la longitud a la cual se deben colocar para lograr la resistencia requerida. De esta manera, la sección es útil para trabajar sometida a

tracción cuando el viento llegue en una dirección (presión o succión) y a compresión cuando llegue en sentido contrario (succión o presión).

- Se debe verificar las relaciones de esbeltez KL/r de los elementos a compresión al momento de realizar su elección en el procedimiento de diseño de las estructuras.
- Se recomienda realizar un estudio para la implementación de la propuesta dada en esta investigación, para poder lograr su inclusión en normas que rijan un correcto y completo método de análisis y diseño de estructuras metálicas de cobertura, eliminando las deficiencias que permiten que los proyectistas tomen decisiones según sus criterios, los cuales pueden ser muy variados conllevando a cometer errores y desaciertos.
- Se recomienda realizar este tipo de investigación para estructuras metálicas en naves industriales, ya que es un tipo de infraestructura bastante común en nuestro medio.
- Se recomienda complementar esta investigación con un estudio de túnel de viento donde se puedan apreciar los efectos del viento en modelos a escala de estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores en la ciudad de Arequipa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Society of Civil Engineers. (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. USA: FEMA 356.

American Society of Civil Engineers. (2016). ASCE 7: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Estados Unidos.

Balbastro, G., & Sonzogni, V. (16 de enero de 2008). Colapso de estructuras de galpones durante tormentas severas. Argentina: Universidad Tecnológica Nacional, Universidad Nacional del Litoral.

Bustamante Mora, B. (2015). Análisis del factor de reducción sísmica, efectos en el desempeño sísmico y propuesta de valores refinados para edificios duales de 5 a 8 niveles en la ciudad de Arequipa. Arequipa: Repositorio Tesis UCSM.

California Seismic Safety Commission. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. California: ATC 40.

Cházaro Rosario, C., & Alvarez Valadez, O. (s.f.). Elección del tipo de acero para estructuras. México: Gerdau Corsa.

Chopra, A. (2014). Dinámica de Estructuras. México: PEARSON EDUCACIÓN.

Comisión Nacional de Cultura física y deporte. (s.f.). Catálogo de tipología de instalaciones deportivas. México: Secretaría de Educación Pública.

Concejo Municipal del Distrito de Ate. (27 de julio de 2016). Ordenanza sobre el uso, funcionamiento y administración de la infraestructura de las instalaciones deportivas y/o recreativas. Ate, Lima, Perú: Diario Oficial El Peruano.

Coriolis Energy Ltd. (2018). Coriolis Energy. Obtenido de http://www.coriolis-energy.com/wind_energy/wind.html?fbclid=IwAR0EB1ewddkZv5O5Zr5TvL43_NWxe8Oh37tHFQvEUPaSmcR3u9vp8tYU1IA

Fuentes Villeda, M. (2014). Diseño y análisis económico de una estructura sometida a los efectos del viento. Ciudad de México, México: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gobierno de México. (2008). Normas Técnicas Complementarias para diseño por viento. México.
- Gómez Ccollana, J. F. (2018). Revisión de la norma peruana y normas internacionales sobre edificios esbeltos de concreto armado por solicitaciones de viento. Lima, Perú.
- Gómez, J. L., Papalardo, L. A., & Gareca, C. d. (2005). Colapso de estructuras causadas por la acción del viento, desde la óptica de la nueva norma argentina. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Instituto Nacional de Normalización. (2010). NCh432-2010. Diseño Estructural- Cargas de viento. Chile.
- Judd, J. (2018). Windstorm Resilience of a 10-Story Steel Frame Office Building. Monte Carlo.
- Kumar, M. (s.f.). Behavior of Confined Concrete. CIE525.
- Mander, J., Priestley, M., & Park, R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. ASCE.
- Martínez, P., & Azuaga, M. (1997). Medición del módulo de elasticidad de Young. UBA.
- McCorman, J. C. (2013). Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD. México: Alfaomega Grupo Editor.
- Ministerio de Energía y Minas. (noviembre de 2008). Atlas Eólico del Perú. Lima, Perú: República del Perú.
- Ministerio de Planificación Federal, I. P. (Julio de 2005). Reglamento CIRSOC 102. Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones. Argentina: INTI.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). Norma E.020. Cargas. Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). Norma E.090. Estructuras Metálicas. Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Park, R., & Paulay, T. (1988). Estructuras de Concreto Reforzado. México: LIMUSA.

Paulay, T., & Priestley, M. (1992). Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.

SENAMHI. (2019). Obtenido de SENAMHI:
https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=arequipa&p=tusne&fbclid=IwAR3XuX4_vgVycJSQOIwtgPVK1w36E5eCysMcXCe9FGb5rVUjvtZp7ftxvaY

Tomás, A. (2002). Comportamiento de los Aceros Estructurales. Dpto. Ing, Civil - UPCT.

Universidad Nacional Autónoma de México. (s.f.). Propiedades de los materiales en secciones de concreto reforzado.

Universidad Nacional del Nordeste. (2004). Introducción a la Resistencia de Materiales. Argentina.

Vinnakota, S. (2006). Estructuras de acero: comportamiento y LRFD. México: McGraw-Hill Interamericana.

WeatherOnline. (2019). Obtenido de WeatherOnline:
<https://www.woespana.es/weather/maps/city?WMO=84752&CONT=samk&LAND=PR&ART=WST&LEVEL=162&MOD=tab&fbclid=IwAR0IIX3Le9AzqQ0HTISi2tp7Ouk2G8g9jBo2hCfCI0y2IgSDJ-f8lbW4H1A>

WordPress.com. (s.f.). Proapocalipsishoy. Obtenido de El viento:
https://proapocalipsishoy.com/2017/04/04/1-1-5-el-viento/?fbclid=IwAR1Bht0Sj7IW04Jxd9Ip2HzXPfIUnLTT6T2B_DC4KWq0S0cSEtUrXaj7eB8

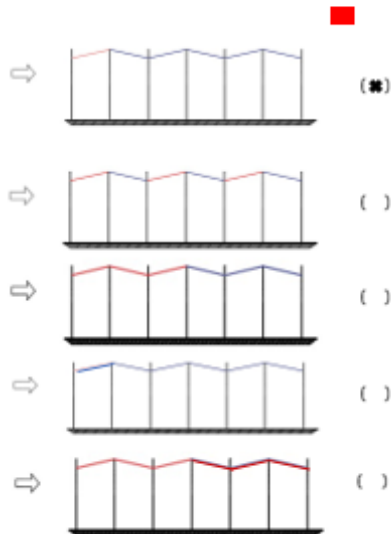
ANEXOS

Anexo 01. Encuestas realizadas

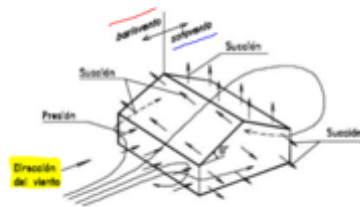
ENCUESTA N°1:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?



SI NO



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SI NO

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfézares y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR
CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE
CIERRE (C)

ABERTURAS		
Uniforme en lado a barlovento y sotavento	Principales en lado a barlovento	Principales en lado a sotavento o en los costados
+0.2	+0.8	-0.8

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

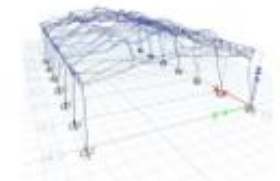
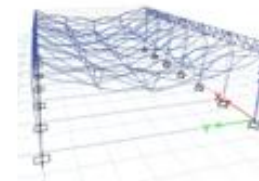
SI NO

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión

Ambas

Succión



4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SI NO

Comentario:

- Existen muchas que han fallado, sin haberse presentado grandes ráfagas de viento.

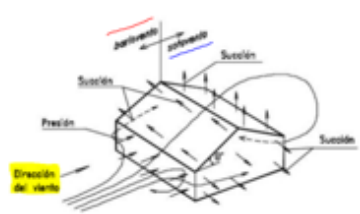
ENCUESTA N° 2:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las curvas de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?

INFLUENTE SORVENTO

()
 ()
 ()
 ()
 ()



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ NO

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfileres y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE CIERRE (C)

ABERTURAS		
Uniforme en lado a barlovento y sotavento	Principales en lado a barlovento	Principales en lado a sotavento o en los costados
0,8	+0,8	-0,6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

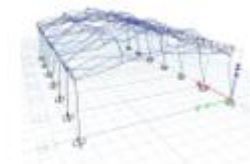
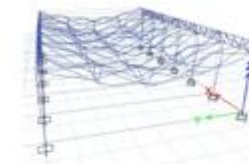
SÍ NO

1. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión ()

Ambas ()

Succión ()



2. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0,20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

()

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

()

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

3. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ NO

Comentario:

- Los problemas me parecen que son debido al proceso constructivo y, directamente, de soldadura.
- El viento actúa de una manera dinámica y no uniformemente distribuida, lo que genera que algunos elementos se afecten más que otros.

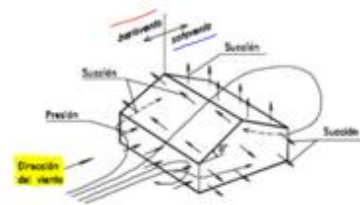
ENCUESTA N° 3:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?

■ succión ■ soplado

() () () (☘) ()



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ (☘) NO ()

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO
 Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfileres y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

**TABLA 5
 FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE CIERRE (C)**

ABERTURAS		
Uniforme en todo o barlovento y sotavento	Principal en todo o barlovento	Principal en todo o sotavento o en los costados
+0.5	+0.8	-0.6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

SÍ (☘) NO ()

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión () Ambas (☘) Succión ()

4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

- () Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).
- (☘) Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1.2.
- () Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ () NO (☘)

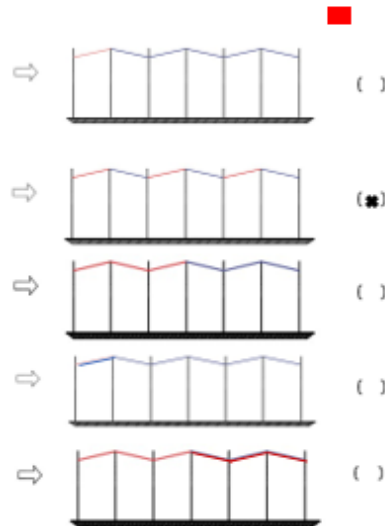
Comentario:

Las estructuras que fueron diseñadas por un ingeniero civil especialista, probablemente, tengan un buen comportamiento, pero un problema aparte es que estas estructuras, en su mayoría, no son diseñadas por un especialista, sino que son copiadas de proyectos existentes que tampoco fueron diseñados por un ingeniero.

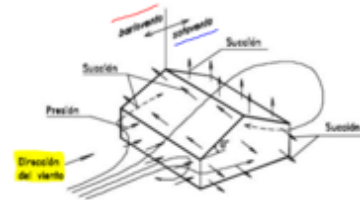
ENCUESTA N° 4:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?



■ succión ■ presión



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SI (■) NO ()

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfileres y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

**TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR
CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE
CIERRE (C)**

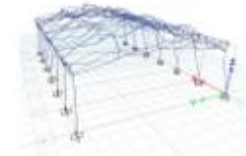
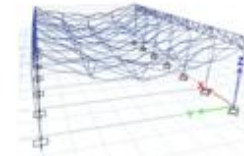
ABERTURAS		
Uniforme en todo a barlovento y sotavento	Principales en todo a barlovento	Principales en todo a sotavento o en los costados
+0.5	+0.8	-0.6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

SI () NO (■)

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión () Ambas (■) Succión ()



4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

()

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

(■)

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas cóncavas. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SI () NO (■)

Comentario:

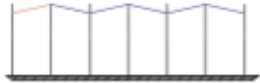
- Debería existir un alcance mayor en la norma, para aplicar de una manera correcta, las cargas de viento ante la gran variedad geométrica de las diferentes estructuras metálicas.
- La norma deja mucho al criterio del proyectista, que no siempre puede tomar la mejor decisión y, basado en eso, el análisis no sería el más óptimo.

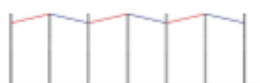
ENCUESTA N° 5:

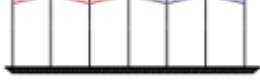
ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

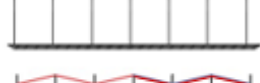
1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?


■ succión ■ soplado

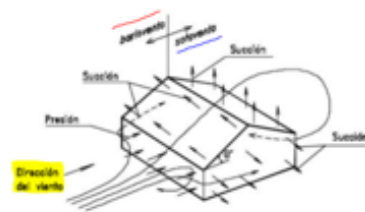
⇨ 
()

⇨ 
(■)

⇨ 
()

⇨ 
()

⇨ 
()



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ () NO (■)

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.6. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cerramiento, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alféizares y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

**TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR
CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE
CERRIE (C)**

ABERTURAS		
Uniforme en todos a barbanteo y soplado	Principales en todo a barbanteo	Principales en todo a soplado o en los costados
±0.3	+0.8	-0.6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

SÍ () NO (■)

1. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión () Ambas (■) Succión (■)



2. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltas y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

()

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y araucos y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1.2.

(■)

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

3. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ () NO (■)

Comentario:

- La norma peruana no incluye métodos de análisis que simulen de una manera más real el comportamiento de las estructuras en mención; por lo tanto, deja en incertidumbre muchas variables intervinientes que, finalmente, da como consecuencia que los ingenieros tomen sus propios criterios que, no siempre, pueden ser los correctos.
- Se debería verificar que este tipo de proyectos sean tomados con responsabilidad desde su concepción, para no poner en riesgo a los usuarios.

ENCUESTA N° 6:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?

■ succión ■ soplamiento

Dirección del viento

2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SI () NO (■)

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.6. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfileres y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

**TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR
CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE
CIERRE (C)**

ABERTURAS		
Uniforme en todo o barlovento y sotavento	Principales en todo a barlovento	Principales en todo a sotavento o en los costados
+0.3	+0.8	-0.6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

SI () NO (■)

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión () Ambas (■) Succión (■)



4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

()

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1.2.

(■)

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SI () NO (■)

Comentario:

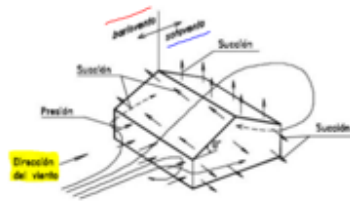
- La norma peruana no incluye métodos de análisis que simulen de una manera más real el comportamiento de las estructuras en mención; por lo tanto, deja en incertidumbre muchas variables intervencientes que, finalmente, da como consecuencia que los ingenieros tomen sus propios criterios que, no siempre, pueden ser los correctos.
- Se debería verificar que este tipo de proyectos sean tomados con responsabilidad desde su concepción, para no poner en riesgo a los usuarios.

ENCUESTA N° 7:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?

■ SUCCIÓN () ■ PRESIÓN ()



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ () NO (■)

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfileres y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

**TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR
CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE
CIERRE (C)**

ABERTURAS		
Uniforme en todo el barlovento y sotavento	Principal en todo el barlovento	Principal en todo el sotavento o en los costados
+0.3	+0.8	-0.6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

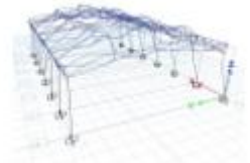
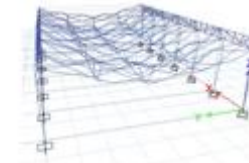
SÍ () NO (■)

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión ()

Ambas (■)

Succión ()



4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

(■)

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

()

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ () NO (■)

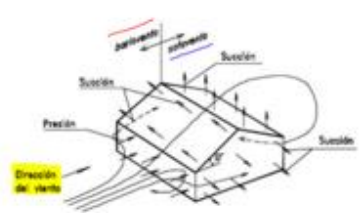
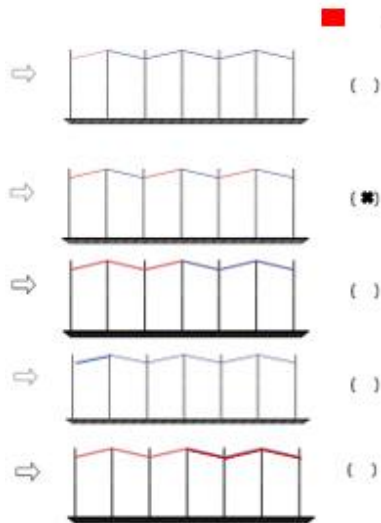
Comentario:

- Se deberían considerar efectos dinámicos del viento en el análisis de estructuras mediante procedimientos basados en ingeniería y que muestren un sustento lógico, no sólo representarlos como un factor tal como hace la norma peruana.

ENCUESTA N° 8:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ () NO (*)

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfileres y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5.

TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE CIERRE (C)

ABERTURAS		
Uniforme en todo el alfilerado y alfilerado	Principal en todo el alfilerado	Principal en todo el alfilerado o en los costados
+0.3	+0.8	-0.6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

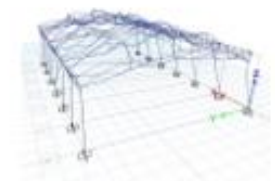
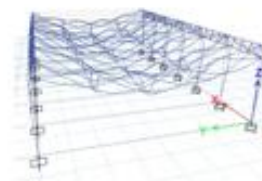
SÍ () NO ()

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión ()

Ambas (*)

Succión ()



4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltez y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

(*)

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

()

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, arrietas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ (*) NO ()

Comentario:

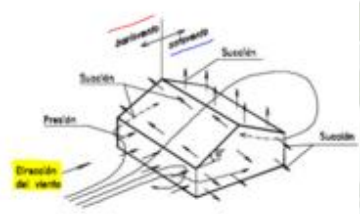
A pesar de la poca información brindada para el análisis de las estructuras en cuestión, considero que los procedimientos son correctos ya que consideran los factores más importantes en ese proceso.

ENCUESTA N° 9:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?

succión
 presión



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ () NO (##)

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfézares y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5.

TABLA 5. FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE CIERRE (C)

ABERTURAS		
Uniforme en todo a barlovento y sotavento	Principales en todo a barlovento	Principales en todo a sotavento o en las costadas
+0.3	+0.8	-0.8

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

SÍ () NO ()

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

Presión ()
 Ambas (##)
 Succión ()

4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltas y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

(##)

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y arbores y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

()

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ () NO (##)

Comentario:

Se requiere de especialización en la utilización de otros métodos de análisis, así como inversión en investigación que nos permita indagar más allá en el comportamiento del viento que causa más incertidumbre asimismo en los efectos que causa en las estructuras que sería posible con estudios de túnel de viento, como se hace en otros países.

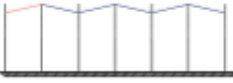
ENCUESTA N° 10:

ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS METÁLICAS DE COBERTURA EN INFRAESTRUCTURAS DEPORTIVAS

1. ¿Cómo consideraría usted, en un caso real, el comportamiento de las caras de las estructuras metálicas de cobertura ante la acción del viento propuesta en los siguientes ejemplos?

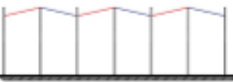
■ **absorvivo** ■ **isotvivo**

⇓




(*)

⇓



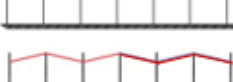
()

⇓



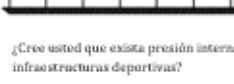
()

⇓

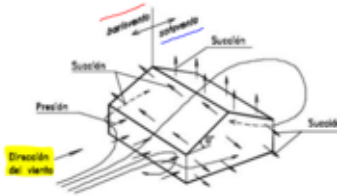


()

⇓



()



2. ¿Cree usted que exista presión interna ejercida por el viento en estas estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?

SÍ () NO (*)

- De existir dicha presión, de la siguiente tabla brindada por la Norma "E020" Cargas, señale el valor de factor de forma que considera usted apropiado utilizar en las estructuras a analizar.

12.5. CARGA INTERIOR DE VIENTO

Para el diseño de los elementos de cierre, incluyendo sus fijaciones y anclajes, que limitan en cualquier dirección el nivel que se analiza, tales como paneles de vidrio, coberturas, alfézares y elementos de cerramiento, se adicionará a las cargas exteriores calculadas según el Artículo 12 (12.4), las cargas interiores (presiones y succiones) calculadas con los factores de forma para presión interior de la Tabla 5

**TABLA 5
FACTORES DE FORMA PARA DETERMINAR
CARGAS ADICIONALES EN ELEMENTOS DE
CIERRE (C)**

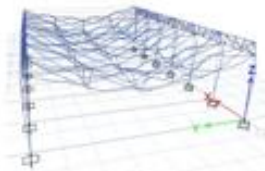
ABERTURAS		
Uniforme en todo a barlovento y sotavento	Principales en todo a barlovento	Principales en todo a sotavento o en las costadas
+0,3	+0,8	-0,6

- Si su respuesta anterior fue afirmativa, ¿consideraría usted que se ejerce en la misma dirección que la presión exterior?

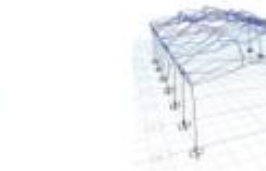
SÍ () NO ()

3. ¿Qué efecto cree usted que ejerce la acción del viento en las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas?


Presión ()



Ambas (*)



Succión ()



4. Según su apreciación, ¿cuál sería la clasificación de este tipo de estructuras según la Norma E0.20 "Cargas"?

()

Tipo 1. Edificaciones poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento, tales como edificios de poca altura o esbeltas y edificaciones cerradas con cobertura capaz de soportar las cargas sin variar su geometría. Para este tipo de edificaciones se aplicará lo dispuesto en los Artículos 12 (12.3) y 12 (12.4).

(*)

Tipo 2. Edificaciones cuya esbeltez las hace sensibles a las ráfagas, tales como tanques elevados y anuncios y en general estructuras con una dimensión corta en la dirección del viento. Para este tipo de edificaciones la carga exterior especificada en el Artículo 12 (12.4) se multiplicará por 1,2.

()

Tipo 3. Edificaciones que representan problemas aerodinámicos especiales tales como domos, arcos, antenas, chimeneas esbeltas y cubiertas colgantes. Para este tipo de edificaciones las presiones de diseño se determinarán a partir de procedimientos de análisis reconocidos en ingeniería, pero no serán menores que las especificadas para el Tipo 1.

5. ¿Considera que las estructuras metálicas de cobertura en infraestructuras deportivas menores de nuestra localidad se encuentran correctamente diseñadas para soportar cargas críticas de viento, brindando así la seguridad para salvaguardar la integridad de los pobladores que hacen uso de estas instalaciones?

SÍ () NO (*)

Comentario:

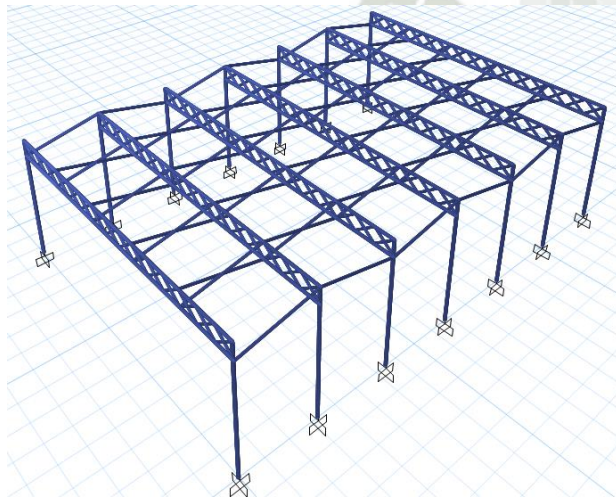
No hubo comentario.

Anexo 02. Datos y Modelamiento de las estructuras

metálicas analizadas

Nombre de estructura metálica de cobertura:
“Cooperativa Abogados”

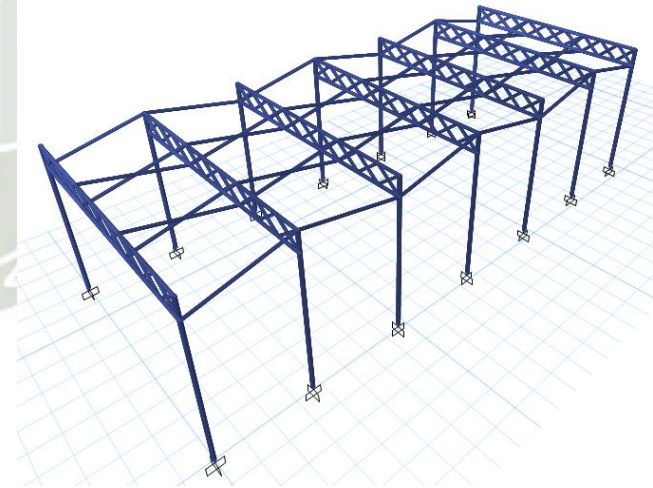
- Ubicación: **Yanahuara**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.72°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**



- Velocidad de falla (km/h): **76.7**

Nombre de estructura metálica de cobertura: **“Urb. Juan XXIII”**

- Ubicación: **Yanahuara**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.72°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

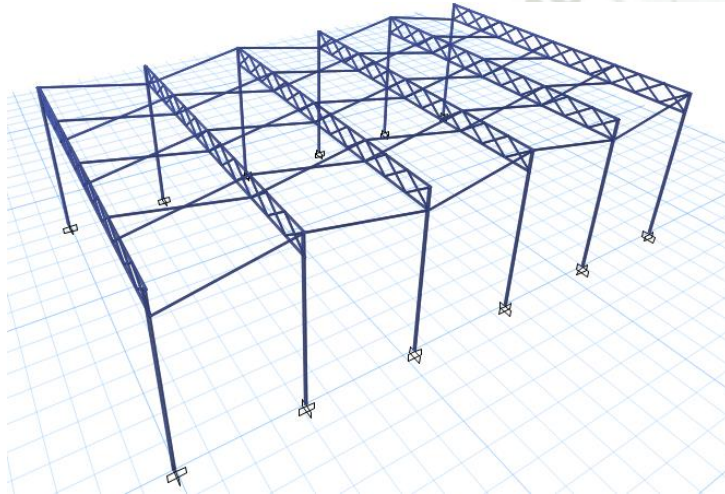


- Velocidad de falla (km/h): **98.5**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Miguel

Ángel Bounaroti”

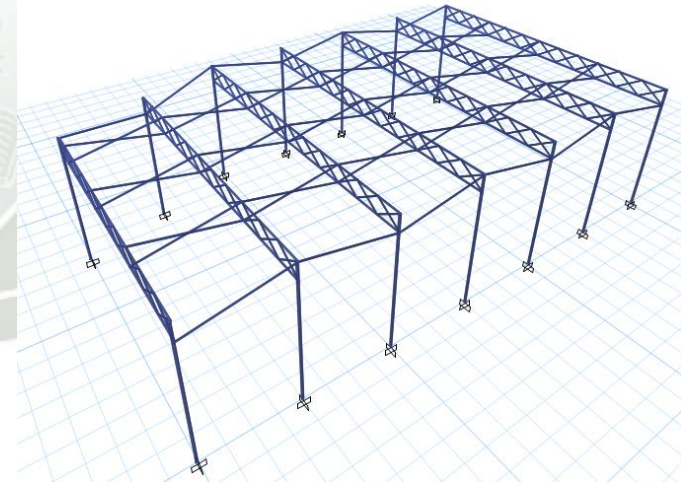
- Ubicación: **Yanahuara**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **10.89°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**



- Velocidad de falla (km/h): **65.2**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Regina
Mundy”

- Ubicación: **Yanahuara**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **11.3°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

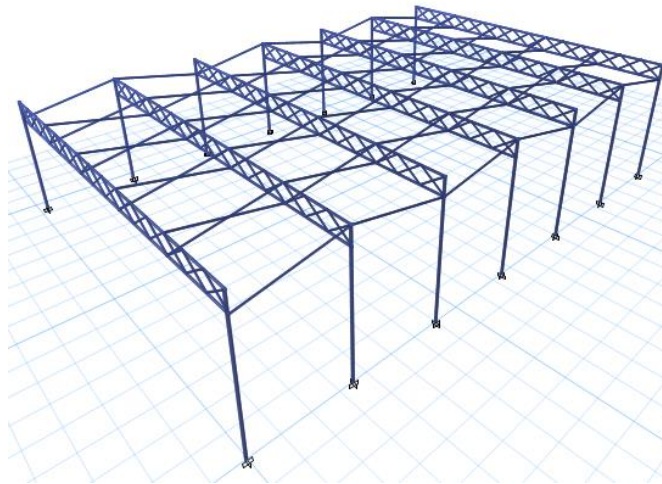


- Velocidad de falla (km/h): **56.0**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Urb.

Las Casuarinas”

- Ubicación: **Yanahuara**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **10.57°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

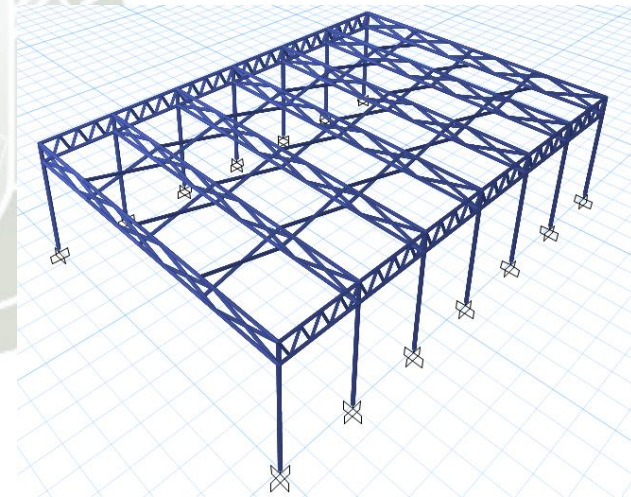


- Velocidad de falla (km/h): **63.0**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Parque

N°1 Urb. 2 de mayo”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **7.55**
- Ángulo de inclinación de lona: **14.41°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

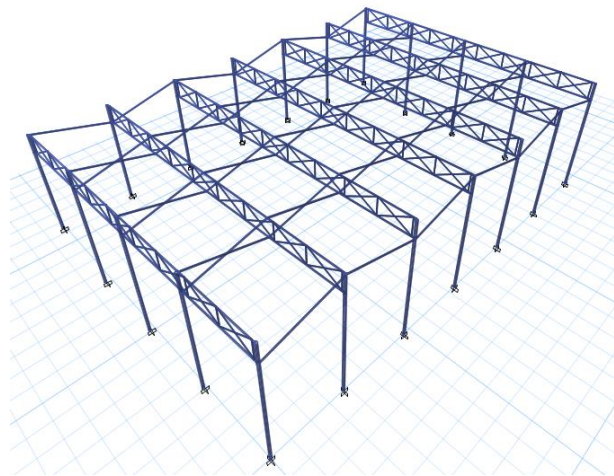


- Velocidad de falla (km/h): **56.0**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Losa

Deportiva 3 de octubre”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **8.2**
- Ángulo de inclinación de lona: **14.38°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simples con elementos de tubo circular**

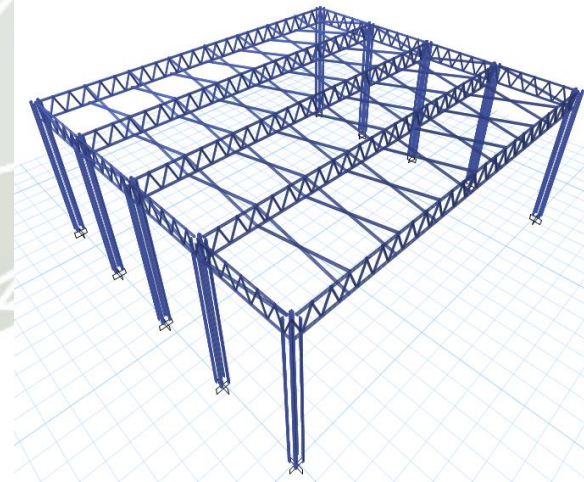


- Velocidad de falla (km/h): **53.5**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “I.E.

Jorge Basadre Gronhman I”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **10**
- Ángulo de inclinación de lona: **11.31°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con cuatro ángulos**

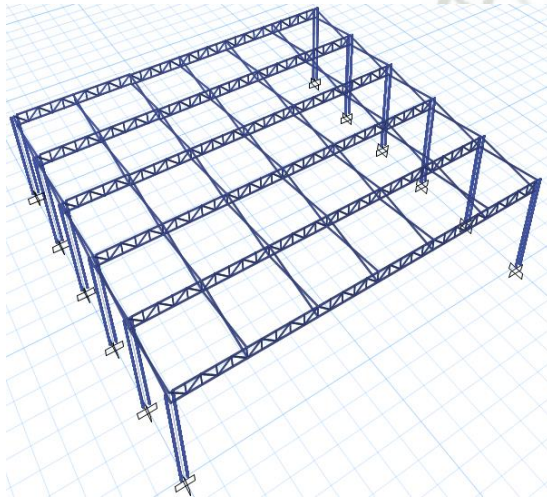


- Velocidad de falla (km/h): **159.3**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “I.E.

Jorge Basadre Gronhman II”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.72°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**

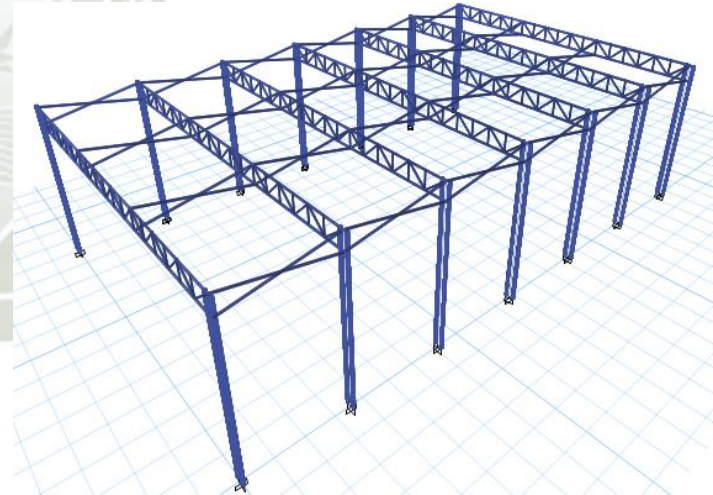


- Velocidad de falla (km/h): **75.2**

Nombre de estructura metálica de cobertura:

“Complejo Deportivo Tasahuayo”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **8.3**
- Ángulo de inclinación de lona: **10.62°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**

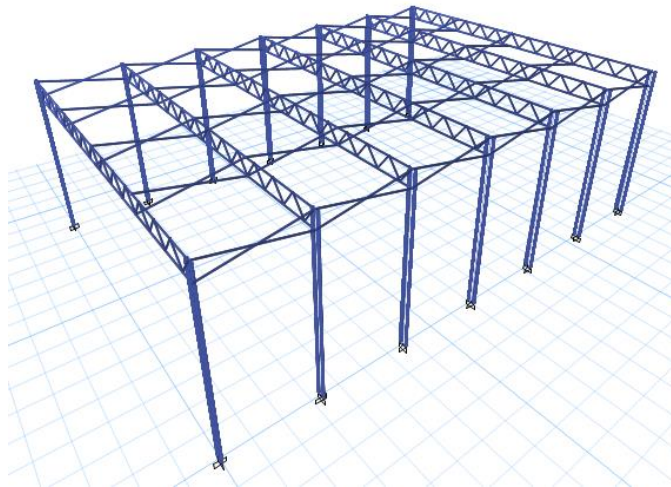


- Velocidad de falla (km/h): **57.7**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Urb. La

Cantuta”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **10**
- Ángulo de inclinación de lona: **10.68°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**

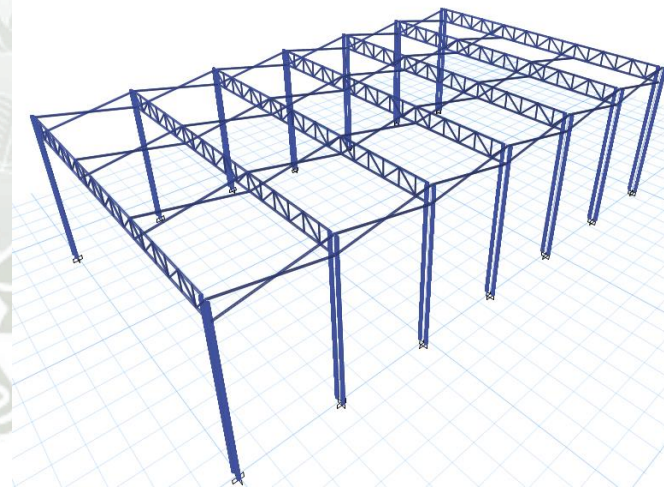


- Velocidad de falla (km/h): **34.0**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Urb.

Amauta”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **8.2**
- Ángulo de inclinación de lona: **10.62°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**

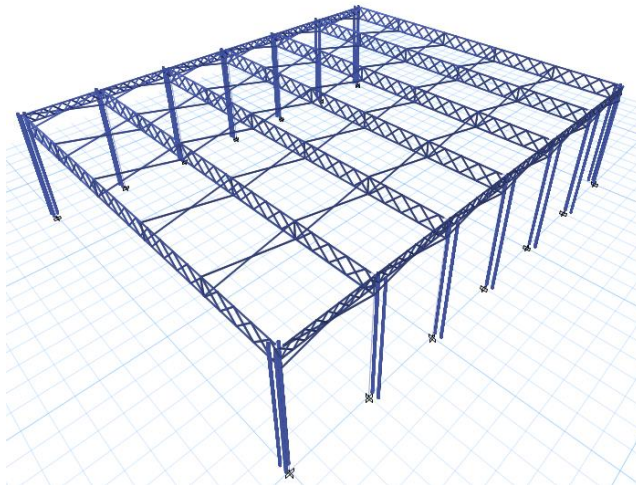


- Velocidad de falla (km/h): **72.9**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Urb. La

Florida”

- Ubicación: **José Luis Bustamante y Rivero**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.41°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**

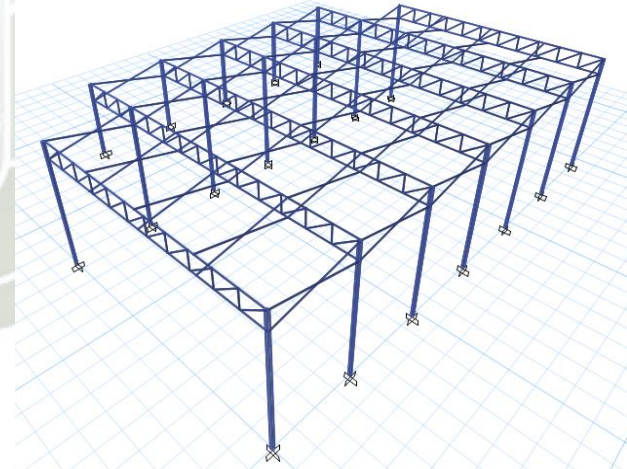


- Velocidad de falla (km/h): **37.7**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Urb. El

Rosario”

- Ubicación: **Cayma**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.97°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo cuadrado**
 -

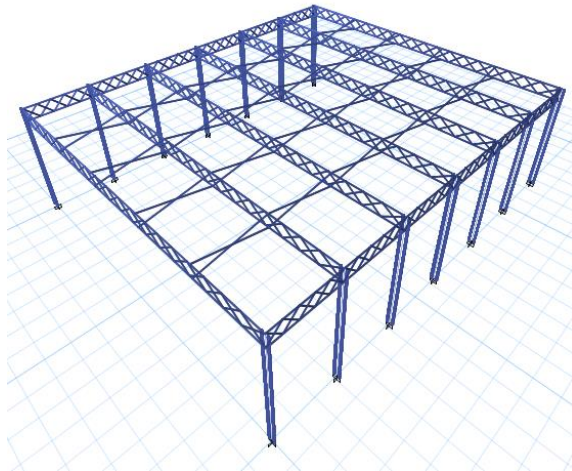


- Velocidad de falla (km/h): **67.1**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Iro de

Junio”

- Ubicación: **Cayma**
- Altura (m): **7.7**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.35°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

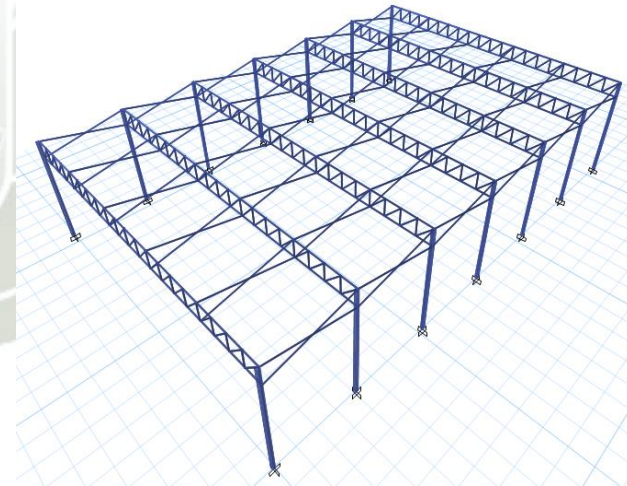


- Velocidad de falla (km/h): **50.7**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “José

Olava”

- Ubicación: **Cayma**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **12.38°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**
 -

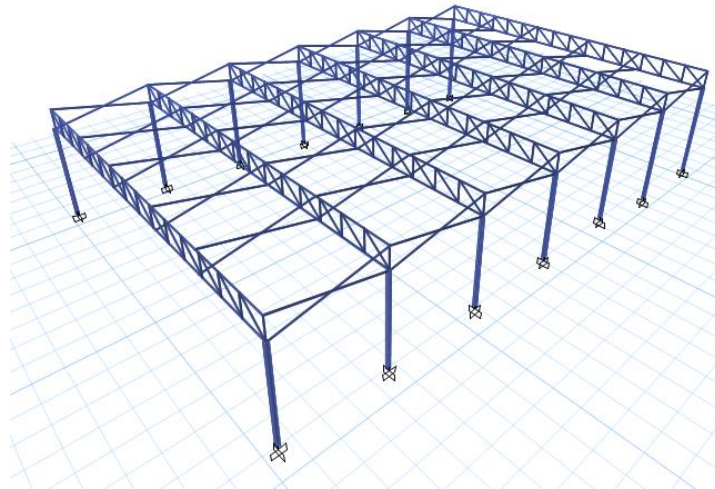


- Velocidad de falla (km/h): **44.4**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Villa

Continental”

- Ubicación: **Cayma**
- Altura (m): **8.70**
- Ángulo de inclinación de lona: **11.89°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simples con elementos de tubo cuadrado**

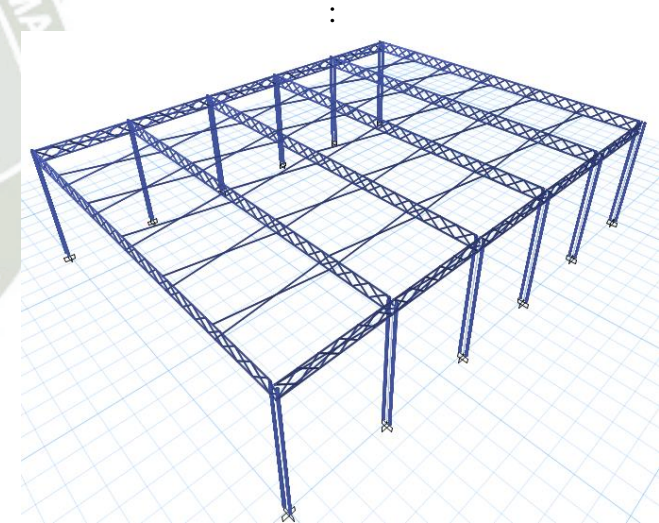


- Velocidad de falla (km/h): **34.9**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Parque

Dean Valdivia”

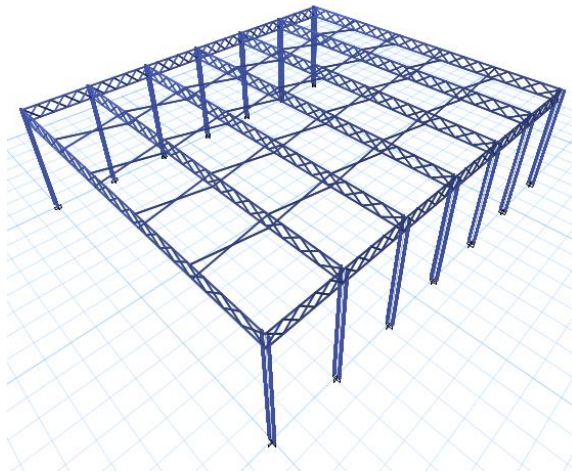
- Ubicación: **Cayma**
- Altura (m): **8**
- Ángulo de inclinación de lona: **7.60°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**



- Velocidad de falla (km/h): **27.1**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “20 de enero”

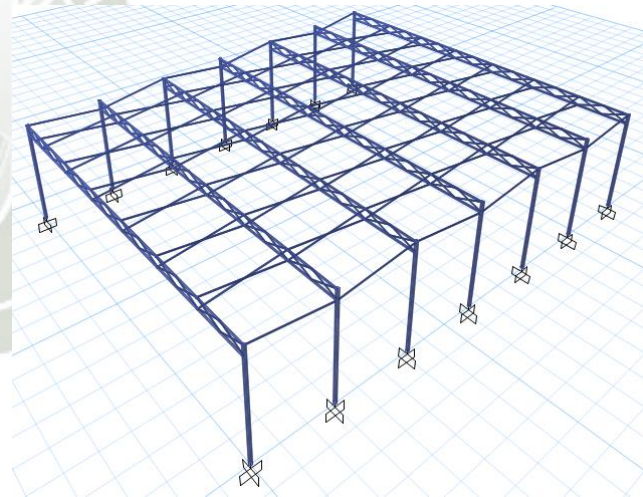
- Ubicación: **Cayma**
- Altura (m): **9**
- Ángulo de inclinación de lona: **11.3°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con elementos de tubo circular**



- Velocidad de falla (km/h): **34.2**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “13 de agosto”

- Ubicación: **Hunter**
- Altura (m): **7.15**
- Ángulo de inclinación de lona: **7.24°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

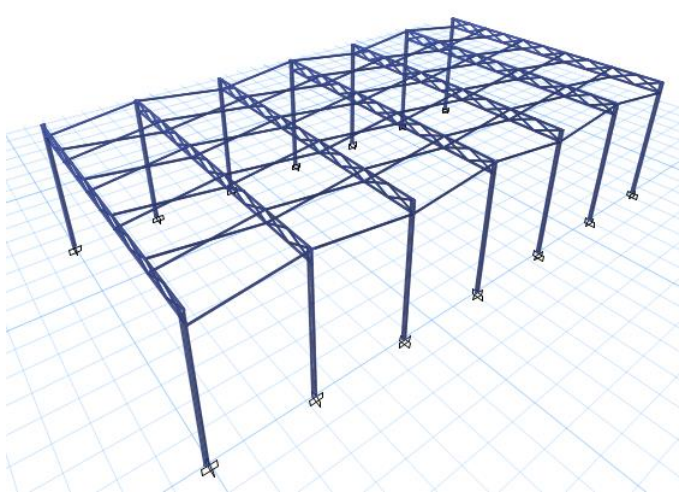


- Velocidad de falla (km/h): **82.0**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Pampas

del Cusco”

- Ubicación: **Hunter**
- Altura (m): **7.65**
- Ángulo de inclinación de lona: **7.19°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo circular**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Simple con elementos de tubo circular**

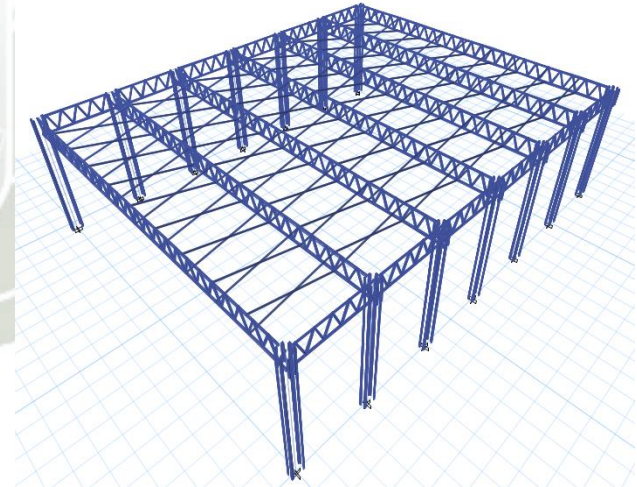


- Velocidad de falla (km/h): **68.2**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Ing.

Mecánica”

- Ubicación: **UNSA**
- Altura (m): **10**
- Ángulo de inclinación de lona: **13.60°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo cuadrado**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con cuatro ángulos**

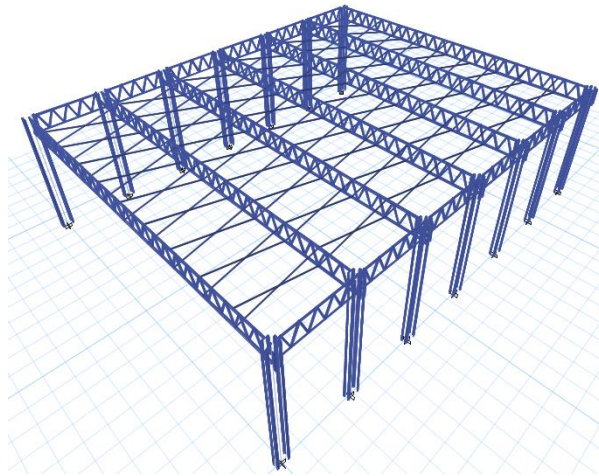


- Velocidad de falla (km/h): **98.9**

Nombre de estructura metálica de cobertura:

“Agronomía”

- Ubicación: UNSA
- Altura (m): **10**
- Ángulo de inclinación de lona: **13.60°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo cuadrado**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con cuatro ángulos**

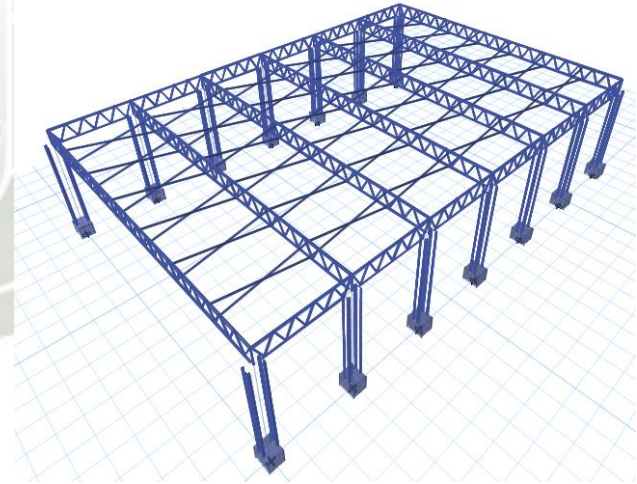


- Velocidad de falla (km/h): **98.5**

Nombre de estructura metálica de cobertura: “Ing.

Pesquera”

- Ubicación: UNSA
- Altura (m): **10**
- Ángulo de inclinación de lona: **13.60°**
- Configuración estructural:
 - Armaduras: **Elementos de tubo cuadrado**
 - Arriostres: **Elementos de tubo circular**
 - Columnas: **Compuesta en armadura con cuatro ángulos**



- Velocidad de falla (km/h): **77.4**

Anexo 03. Tablas propuestas para el diseño a compresión

*TUBO CIRCULAR e=1.8 mm
Dn=1 in*

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	22.34	39549.44	2463.16	4.40
0.5	44.68	9887.36	2273.04	4.06
0.75	67.02	4394.38	1988.23	3.55
1	89.36	2471.84	1648.43	2.95
1.25	111.70	1581.98	1295.44	2.31
1.5	134.04	1098.60	963.47	1.72
1.75	156.38	807.13	707.85	1.26
2	178.72	617.96	541.95	0.97
2.25	201.07	488.26	428.21	0.77
2.5	223.41	395.49	346.85	0.62
2.75	245.75	326.85	286.65	0.51
3	268.09	274.65	240.87	0.43
3.25	290.43	234.02	205.24	0.37
3.5	312.77	201.78	176.96	0.32
3.75	335.11	175.78	154.15	0.28
4	357.45	154.49	135.49	0.24
4.25	379.79	136.85	120.02	0.21
4.5	402.13	122.07	107.05	0.19
4.75	424.47	109.56	96.08	0.17
5	446.81	98.87	86.71	0.15
5.25	469.15	89.68	78.65	0.14
5.5	491.49	81.71	71.66	0.13
5.75	513.83	74.76	65.57	0.12
6	536.17	68.66	60.22	0.11

Dn=1.25 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	17.49	64563.22	2488.84	5.69
0.5	34.97	16140.81	2369.34	5.41
0.75	52.46	7173.69	2182.79	4.99
1	69.94	4035.20	1946.04	4.45
1.25	87.43	2582.53	1678.97	3.84
1.5	104.91	1793.42	1401.81	3.20
1.75	122.40	1317.62	1132.64	2.59
2	139.88	1008.80	884.72	2.02
2.25	157.37	797.08	699.04	1.60
2.5	174.85	645.63	566.22	1.29
2.75	192.34	533.58	467.95	1.07
3	209.82	448.36	393.21	0.90
3.25	227.31	382.03	335.04	0.77
3.5	244.79	329.40	288.89	0.66
3.75	262.28	286.95	251.65	0.57
4	279.76	252.20	221.18	0.51
4.25	297.25	223.40	195.92	0.45
4.5	314.73	199.27	174.76	0.40
4.75	332.22	178.85	156.85	0.36
5	349.71	161.41	141.55	0.32
5.25	367.19	146.40	128.39	0.29
5.5	384.68	133.40	116.99	0.27
5.75	402.16	122.05	107.04	0.24
6	419.65	112.09	98.30	0.22

Dn=1.5 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	15.20	85490.60	2498.86	6.57
0.5	30.39	21372.65	2407.70	6.33
0.75	45.59	9498.96	2263.11	5.95
1	60.78	5343.16	2075.15	5.46
1.25	75.98	3419.62	1856.25	4.88
1.5	91.17	2374.74	1619.80	4.26
1.75	106.37	1744.71	1378.89	3.63
2	121.56	1335.79	1145.09	3.01
2.25	136.76	1055.44	925.62	2.43
2.5	151.95	854.91	749.75	1.97
2.75	167.15	706.53	619.63	1.63
3	182.34	593.68	520.66	1.37
3.25	197.54	505.86	443.64	1.17
3.5	212.73	436.18	382.53	1.01
3.75	227.93	379.96	333.22	0.88
4	243.12	333.95	292.87	0.77
4.25	258.32	295.82	259.43	0.68
4.5	273.51	263.86	231.41	0.61
4.75	288.71	236.82	207.69	0.55
5	303.90	213.73	187.44	0.49
5.25	319.10	193.86	170.01	0.45
5.5	334.29	176.63	154.91	0.41
5.75	349.49	161.61	141.73	0.37
6	364.68	148.42	130.17	0.34

Dn=2 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	12.08	135233.42	2510.27	8.30
0.5	24.16	33808.36	2451.98	8.11
0.75	36.24	15025.94	2357.84	7.80
1	48.33	8452.09	2232.08	7.38
1.25	60.41	5409.34	2080.19	6.88
1.5	72.49	3756.48	1908.51	6.31
1.75	84.57	2759.87	1723.80	5.70
2	96.65	2113.02	1532.77	5.07
2.25	108.73	1669.55	1341.73	4.44
2.5	120.82	1352.33	1156.25	3.82
2.75	132.90	1117.63	980.16	3.24
3	144.98	939.12	823.61	2.72
3.25	157.06	800.20	701.77	2.32
3.5	169.14	689.97	605.10	2.00
3.75	181.22	601.04	527.11	1.74
4	193.30	528.26	463.28	1.53
4.25	205.39	467.94	410.38	1.36
4.5	217.47	417.39	366.05	1.21
4.75	229.55	374.61	328.53	1.09
5	241.63	338.08	296.50	0.98
5.25	253.71	306.65	268.93	0.89
5.5	265.79	279.41	245.04	0.81
5.75	277.88	255.64	224.20	0.74
6	289.96	234.78	205.90	0.68

TUBO CIRCULAR $e=2\text{ mm}$

$D_n=1\text{ in}$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	22.47	39082.01	2462.37	4.86
0.5	44.95	9770.50	2270.13	4.48
0.75	67.42	4342.45	1982.51	3.91
1	89.90	2442.63	1640.00	3.24
1.25	112.37	1563.28	1285.11	2.54
1.5	134.84	1085.61	952.08	1.88
1.75	157.32	797.59	699.49	1.38
2	179.79	610.66	535.55	1.06
2.25	202.26	482.49	423.15	0.83
2.5	224.74	390.82	342.75	0.68
2.75	247.21	322.99	283.26	0.56
3	269.69	271.40	238.02	0.47
3.25	292.16	231.25	202.81	0.40
3.5	314.63	199.40	174.87	0.35
3.75	337.11	173.70	152.33	0.30
4	359.58	152.66	133.89	0.26
4.25	382.05	135.23	118.60	0.23
4.5	404.53	120.62	105.79	0.21
4.75	427.00	108.26	94.94	0.19
5	449.48	97.71	85.69	0.17
5.25	471.95	88.62	77.72	0.15
5.5	494.42	80.75	70.82	0.14
5.75	516.90	73.88	64.79	0.13
6	539.37	67.85	59.51	0.12

$D_n=1.25\text{ in}$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	17.57	63956.83	2488.46	6.29
0.5	35.14	15989.21	2367.87	5.98
0.75	52.70	7106.31	2179.74	5.51
1	70.27	3997.30	1941.20	4.90
1.25	87.84	2558.27	1672.46	4.22
1.5	105.41	1776.58	1393.99	3.52
1.75	122.98	1305.24	1124.04	2.84
2	140.54	999.33	876.41	2.21
2.25	158.11	789.59	692.47	1.75
2.5	175.68	639.57	560.90	1.42
2.75	193.25	528.57	463.55	1.17
3	210.82	444.14	389.51	0.98
3.25	228.38	378.44	331.89	0.84
3.5	245.95	326.31	286.17	0.72
3.75	263.52	284.25	249.29	0.63
4	281.09	249.83	219.10	0.55
4.25	298.66	221.30	194.08	0.49
4.5	316.22	197.40	173.12	0.44
4.75	333.79	177.17	155.37	0.39
5	351.36	159.89	140.23	0.35
5.25	368.93	145.03	127.19	0.32
5.5	386.50	132.14	115.89	0.29
5.75	404.06	120.90	106.03	0.27
6	421.63	111.04	97.38	0.25

Dn=1.5 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	15.26	84787.89	2498.60	7.27
0.5	30.52	21196.97	2406.71	7.00
0.75	45.77	9420.88	2261.02	6.58
1	61.03	5299.24	2071.75	6.03
1.25	76.29	3391.52	1851.49	5.39
1.5	91.55	2355.22	1613.83	4.69
1.75	106.81	1730.37	1371.97	3.99
2	122.06	1324.81	1137.59	3.31
2.25	137.32	1046.76	918.01	2.67
2.5	152.58	847.88	743.59	2.16
2.75	167.84	700.73	614.54	1.79
3	183.10	588.80	516.38	1.50
3.25	198.35	501.70	439.99	1.28
3.5	213.61	432.59	379.38	1.10
3.75	228.87	376.84	330.48	0.96
4	244.13	331.20	290.46	0.84
4.25	259.39	293.38	257.30	0.75
4.5	274.64	261.69	229.50	0.67
4.75	289.90	234.87	205.98	0.60
5	305.16	211.97	185.90	0.54
5.25	320.42	192.26	168.61	0.49
5.5	335.68	175.18	153.63	0.45
5.75	350.93	160.28	140.57	0.41
6	366.19	147.20	129.10	0.38

Dn=2 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	12.12	134341.21	2510.14	9.19
0.5	24.24	33585.30	2451.47	8.98
0.75	36.36	14926.80	2356.74	8.63
1	48.49	8396.33	2230.22	8.17
1.25	60.61	5373.65	2077.49	7.61
1.5	72.73	3731.70	1904.94	6.98
1.75	84.85	2741.66	1719.41	6.30
2	96.97	2099.08	1527.67	5.60
2.25	109.09	1658.53	1336.09	4.89
2.5	121.22	1343.41	1150.25	4.21
2.75	133.34	1110.26	973.70	3.57
3	145.46	932.93	818.18	3.00
3.25	157.58	794.92	697.14	2.55
3.5	169.70	685.41	601.11	2.20
3.75	181.82	597.07	523.63	1.92
4	193.95	524.77	460.22	1.69
4.25	206.07	464.85	407.67	1.49
4.5	218.19	414.63	363.63	1.33
4.75	230.31	372.14	326.36	1.20
5	242.43	335.85	294.54	1.08
5.25	254.55	304.63	267.16	0.98
5.5	266.68	277.56	243.42	0.89
5.75	278.80	253.95	222.72	0.82
6	290.92	233.23	204.54	0.75

Dn=2.5 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	9.96	199169.22	2516.58	11.23
0.5	19.91	49792.31	2476.76	11.05
0.75	29.87	22129.91	2411.79	10.76
1	39.82	12448.08	2323.68	10.37
1.25	49.78	7966.77	2215.11	9.88
1.5	59.73	5532.48	2089.27	9.32
1.75	69.69	4064.68	1949.75	8.70
2	79.64	3112.02	1800.29	8.03
2.25	89.60	2458.88	1644.71	7.34
2.5	99.55	1991.69	1486.68	6.63
2.75	109.51	1646.03	1329.62	5.93
3	119.46	1383.12	1176.58	5.25
3.25	129.42	1178.52	1030.13	4.60
3.5	139.37	1016.17	891.18	3.98
3.75	149.33	885.20	776.32	3.46
4	159.28	778.00	682.31	3.04
4.25	169.24	689.17	604.40	2.70
4.5	179.20	614.72	539.11	2.41
4.75	189.15	551.72	483.85	2.16
5	199.11	497.92	436.68	1.95
5.25	209.06	451.63	396.08	1.77
5.5	219.02	411.51	360.89	1.61
5.75	228.97	376.50	330.19	1.47
6	238.93	345.78	303.25	1.35

Dn=3 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	8.13	298283.53	2521.03	13.77
0.5	16.27	74570.88	2494.33	13.62
0.75	24.40	33142.61	2450.44	13.38
1	32.54	18642.72	2390.30	13.05
1.25	40.67	11931.34	2315.13	12.64
1.5	48.81	8285.65	2226.47	12.16
1.75	56.94	6087.42	2126.05	11.61
2	65.08	4660.68	2015.80	11.01
2.25	73.21	3682.51	1897.74	10.36
2.5	81.35	2982.84	1773.95	9.69
2.75	89.48	2465.15	1646.51	8.99
3	97.62	2071.41	1517.41	8.29
3.25	105.75	1764.99	1388.54	7.58
3.5	113.89	1521.85	1261.63	6.89
3.75	122.02	1325.70	1138.20	6.21
4	130.16	1165.17	1019.59	5.57
4.25	138.29	1032.12	905.17	4.94
4.5	146.43	920.63	807.39	4.41
4.75	154.56	826.27	724.64	3.96
5	162.70	745.71	653.99	3.57
5.25	170.83	676.38	593.19	3.24
5.5	178.97	616.29	540.48	2.95
5.75	187.10	563.86	494.51	2.70
6	195.24	517.85	454.16	2.48

Dn=4 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.30	498031.69	2524.63	17.81
0.5	12.59	124507.92	2508.57	17.70
0.75	18.89	55336.85	2482.05	17.51
1	25.18	31126.98	2445.38	17.25
1.25	31.48	19921.27	2399.03	16.93
1.5	37.77	13834.21	2343.57	16.54
1.75	44.07	10163.91	2279.68	16.09
2	50.36	7781.75	2208.12	15.58
2.25	56.66	6148.54	2129.73	15.03
2.5	62.96	4980.32	2045.40	14.43
2.75	69.25	4115.96	1956.08	13.80
3	75.55	3458.55	1862.73	13.14
3.25	81.84	2946.93	1766.30	12.46
3.5	88.14	2540.98	1667.75	11.77
3.75	94.43	2213.47	1568.02	11.06
4	100.73	1945.44	1468.00	10.36
4.25	107.03	1723.29	1368.53	9.66
4.5	113.32	1537.13	1270.38	8.96
4.75	119.62	1379.59	1174.27	8.29
5	125.91	1245.08	1080.83	7.63
5.25	132.21	1129.32	990.59	6.99
5.5	138.50	1028.99	902.43	6.37
5.75	144.80	941.46	825.66	5.83
6	151.09	864.64	758.29	5.35

TUBO CIRCULAR e=2.5 mm

Dn=1 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	22.81	37941.10	2460.36	5.97
0.5	45.62	9485.28	2262.75	5.49
0.75	68.43	4215.68	1968.02	4.78
1	91.24	2371.32	1618.76	3.93
1.25	114.05	1517.64	1259.19	3.06
1.5	136.86	1053.92	924.29	2.24
1.75	159.66	774.31	679.07	1.65
2	182.47	592.83	519.91	1.26
2.25	205.28	468.41	410.79	1.00
2.5	228.09	379.41	332.74	0.81
2.75	250.90	313.56	274.99	0.67
3	273.71	263.48	231.07	0.56
3.25	296.52	224.50	196.89	0.48
3.5	319.33	193.58	169.77	0.41
3.75	342.14	168.63	147.89	0.36
4	364.95	148.21	129.98	0.32
4.25	387.76	131.28	115.14	0.28
4.5	410.57	117.10	102.70	0.25
4.75	433.37	105.10	92.17	0.22
5	456.18	94.85	83.19	0.20
5.25	478.99	86.03	75.45	0.18
5.5	501.80	78.39	68.75	0.17
5.75	524.61	71.72	62.90	0.15
6	547.42	65.87	57.77	0.14

Dn=1.25 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	17.78	62468.51	2487.47	7.76
0.5	35.55	15617.13	2364.14	7.37
0.75	53.33	6940.95	2172.02	6.77
1	71.10	3904.28	1928.99	6.01
1.25	88.88	2498.74	1656.05	5.16
1.5	106.66	1735.24	1374.33	4.29
1.75	124.43	1274.87	1102.52	3.44
2	142.21	976.07	856.01	2.67
2.25	159.98	771.22	676.36	2.11
2.5	177.76	624.69	547.85	1.71
2.75	195.54	516.27	452.77	1.41
3	213.31	433.81	380.45	1.19
3.25	231.09	369.64	324.17	1.01
3.5	248.86	318.72	279.51	0.87
3.75	266.64	277.64	243.49	0.76
4	284.42	244.02	214.00	0.67
4.25	302.19	216.15	189.57	0.59
4.5	319.97	192.80	169.09	0.53
4.75	337.74	173.04	151.76	0.47
5	355.52	156.17	136.96	0.43
5.25	373.30	141.65	124.23	0.39
5.5	391.07	129.07	113.19	0.35
5.75	408.85	118.09	103.56	0.32
6	426.62	108.45	95.11	0.30

Dn= 1.5 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	15.42	83058.74	2497.95	8.99
0.5	30.83	20764.69	2404.21	8.65
0.75	46.25	9228.75	2255.74	8.11
1	61.66	5191.17	2063.15	7.42
1.25	77.08	3322.35	1839.49	6.62
1.5	92.50	2307.19	1598.79	5.75
1.75	107.91	1695.08	1354.60	4.87
2	123.33	1297.79	1118.82	4.02
2.25	138.74	1025.42	899.29	3.23
2.5	154.16	830.59	728.43	2.62
2.75	169.58	686.44	602.00	2.17
3	184.99	576.80	505.85	1.82
3.25	200.41	491.47	431.02	1.55
3.5	215.82	423.77	371.65	1.34
3.75	231.24	369.15	323.74	1.16
4	246.66	324.45	284.54	1.02
4.25	262.07	287.40	252.05	0.91
4.5	277.49	256.35	224.82	0.81
4.75	292.90	230.08	201.78	0.73
5	308.32	207.65	182.11	0.66
5.25	323.74	188.34	165.18	0.59
5.5	339.15	171.61	150.50	0.54
5.75	354.57	157.01	137.70	0.50
6	369.98	144.20	126.46	0.45

Dn=2 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm²)	F (tnf)
0.25	12.22	132138.33	2509.81	11.39
0.5	24.44	33034.58	2450.19	11.12
0.75	36.67	14682.04	2353.95	10.69
1	48.89	8258.65	2225.54	10.10
1.25	61.11	5285.53	2070.67	9.40
1.5	73.33	3670.51	1895.95	8.61
1.75	85.56	2696.70	1708.37	7.76
2	97.78	2064.66	1514.88	6.88
2.25	110.00	1631.34	1321.94	6.00
2.5	122.22	1321.38	1135.23	5.15
2.75	134.44	1092.05	957.73	4.35
3	146.67	917.63	804.76	3.65
3.25	158.89	781.88	685.71	3.11
3.5	171.11	674.18	591.25	2.68
3.75	183.33	587.28	515.05	2.34
4	195.56	516.17	452.68	2.05
4.25	207.78	457.23	400.99	1.82
4.5	220.00	407.83	357.67	1.62
4.75	232.22	366.03	321.01	1.46
5	244.44	330.35	289.71	1.32
5.25	256.67	299.63	262.78	1.19
5.5	268.89	273.01	239.43	1.09
5.75	281.11	249.79	219.06	0.99
6	293.33	229.41	201.19	0.91

Dn=2.5 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm²)	F (tnf)
0.25	10.02	196464.97	2516.40	13.93
0.5	20.05	49116.24	2476.04	13.71
0.75	30.07	21829.44	2410.20	13.35
1	40.09	12279.06	2320.96	12.85
1.25	50.12	7858.60	2211.06	12.24
1.5	60.14	5457.36	2083.78	11.54
1.75	70.16	4009.49	1942.77	10.76
2	80.19	3069.77	1791.88	9.92
2.25	90.21	2425.49	1634.99	9.05
2.5	100.24	1964.65	1475.84	8.17
2.75	110.26	1623.68	1317.90	7.30
3	120.28	1364.34	1164.24	6.45
3.25	130.31	1162.51	1017.47	5.63
3.5	140.33	1002.37	879.08	4.87
3.75	150.35	873.18	765.78	4.24
4	160.38	767.44	673.05	3.73
4.25	170.40	679.81	596.19	3.30
4.5	180.42	606.37	531.79	2.94
4.75	190.45	544.22	477.28	2.64
5	200.47	491.16	430.75	2.39
5.25	210.49	445.50	390.70	2.16
5.5	220.52	405.92	355.99	1.97
5.75	230.54	371.39	325.71	1.80
6	240.57	341.09	299.13	1.66

Dn=3 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	8.18	294951.58	2520.93	17.11
0.5	16.36	73737.90	2493.93	16.92
0.75	24.54	32772.40	2449.56	16.62
1	32.72	18434.47	2388.76	16.21
1.25	40.90	11798.06	2312.81	15.69
1.5	49.08	8193.10	2223.26	15.09
1.75	57.26	6019.42	2121.87	14.40
2	65.45	4608.62	2010.63	13.64
2.25	73.63	3641.38	1891.58	12.84
2.5	81.81	2949.52	1766.85	11.99
2.75	89.99	2437.62	1638.54	11.12
3	98.17	2048.27	1508.68	10.24
3.25	106.35	1745.28	1379.16	9.36
3.5	114.53	1504.86	1251.75	8.49
3.75	122.71	1310.90	1127.98	7.65
4	130.89	1152.15	1009.17	6.85
4.25	139.07	1020.59	895.06	6.07
4.5	147.25	910.34	798.37	5.42
4.75	155.43	817.04	716.54	4.86
5	163.61	737.38	646.68	4.39
5.25	171.79	668.82	586.56	3.98
5.5	179.98	609.40	534.45	3.63
5.75	188.16	557.56	488.98	3.32
6	196.34	512.07	449.08	3.05

Dn=4 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.32	493697.00	2524.58	22.17
0.5	12.65	123424.25	2508.39	22.03
0.75	18.97	54855.22	2481.63	21.79
1	25.29	30856.06	2444.65	21.47
1.25	31.62	19747.88	2397.91	21.06
1.5	37.94	13713.81	2341.99	20.56
1.75	44.26	10075.45	2277.59	20.00
2	50.59	7714.02	2205.48	19.37
2.25	56.91	6095.02	2126.51	18.67
2.5	63.23	4936.97	2041.59	17.93
2.75	69.55	4080.14	1951.67	17.14
3	75.88	3428.45	1857.73	16.31
3.25	82.20	2921.28	1760.73	15.46
3.5	88.52	2518.86	1661.66	14.59
3.75	94.85	2194.21	1561.45	13.71
4	101.17	1928.50	1461.00	12.83
4.25	107.49	1708.29	1361.17	11.95
4.5	113.82	1523.76	1262.72	11.09
4.75	120.14	1367.58	1166.38	10.24
5	126.46	1234.24	1072.78	9.42
5.25	132.79	1119.49	981.80	8.62
5.5	139.11	1020.04	894.57	7.85
5.75	145.43	933.26	818.47	7.19
6	151.76	857.11	751.69	6.60

TUBO CIRCULAR $e=3mm$

$D_n=1$ in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	17.99	61019.65	2486.47	7.12
0.5	35.97	15254.91	2360.33	6.76
0.75	53.96	6779.96	2164.16	6.20
1	71.94	3813.73	1916.61	5.49
1.25	89.93	2440.79	1639.47	4.70
1.5	107.91	1694.99	1354.56	3.88
1.75	125.90	1245.30	1080.99	3.10
2	143.89	953.43	836.16	2.40
2.25	161.87	753.33	660.67	1.89
2.5	179.86	610.20	535.14	1.53
2.75	197.84	504.29	442.27	1.27
3	215.83	423.75	371.63	1.06
3.25	233.82	361.06	316.65	0.91
3.5	251.80	311.32	273.03	0.78
3.75	269.79	271.20	237.84	0.68
4	287.77	238.36	209.04	0.60
4.25	305.76	211.14	185.17	0.53
4.5	323.74	188.33	165.17	0.47
4.75	341.73	169.03	148.24	0.42
5	359.72	152.55	133.79	0.38
5.25	377.70	138.37	121.35	0.35
5.5	395.69	126.07	110.57	0.32
5.75	413.67	115.35	101.16	0.29
6	431.66	105.94	92.91	0.27

$D_n=1.25$ in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	17.99	61019.65	2486.47	9.19
0.5	35.97	15254.91	2360.33	8.72
0.75	53.96	6779.96	2164.16	8.00
1	71.94	3813.73	1916.61	7.08
1.25	89.93	2440.79	1639.47	6.06
1.5	107.91	1694.99	1354.56	5.00
1.75	125.90	1245.30	1080.99	3.99
2	143.89	953.43	836.16	3.09
2.25	161.87	753.33	660.67	2.44
2.5	179.86	610.20	535.14	1.98
2.75	197.84	504.29	442.27	1.63
3	215.83	423.75	371.63	1.37
3.25	233.82	361.06	316.65	1.17
3.5	251.80	311.32	273.03	1.01
3.75	269.79	271.20	237.84	0.88
4	287.77	238.36	209.04	0.77
4.25	305.76	211.14	185.17	0.68
4.5	323.74	188.33	165.17	0.61
4.75	341.73	169.03	148.24	0.55
5	359.72	152.55	133.79	0.49
5.25	377.70	138.37	121.35	0.45
5.5	395.69	126.07	110.57	0.41
5.75	413.67	115.35	101.16	0.37
6	431.66	105.94	92.91	0.34

Dn=1.5 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	15.58	81369.06	2497.29	10.66
0.5	31.15	20342.27	2401.67	10.25
0.75	46.73	9041.01	2250.37	9.61
1	62.30	5085.57	2054.43	8.77
1.25	77.88	3254.76	1827.36	7.80
1.5	93.45	2260.25	1583.63	6.76
1.75	109.03	1660.59	1337.14	5.71
2	124.60	1271.39	1100.02	4.70
2.25	140.18	1004.56	881.00	3.76
2.5	155.75	813.69	713.61	3.05
2.75	171.33	672.47	589.76	2.52
3	186.90	565.06	495.56	2.12
3.25	202.48	481.47	422.25	1.80
3.5	218.05	415.15	364.09	1.55
3.75	233.63	361.64	317.16	1.35
4	249.20	317.85	278.75	1.19
4.25	264.78	281.55	246.92	1.05
4.5	280.35	251.14	220.25	0.94
4.75	295.93	225.40	197.67	0.84
5	311.51	203.42	178.40	0.76
5.25	327.08	184.51	161.82	0.69
5.5	342.66	168.12	147.44	0.63
5.75	358.23	153.82	134.90	0.58
6	373.81	141.27	123.89	0.53

Dn=2 in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	12.32	129974.91	2509.47	13.55
0.5	24.65	32493.73	2448.88	13.22
0.75	36.97	14441.66	2351.13	12.70
1	49.29	8123.43	2220.79	11.99
1.25	61.62	5199.00	2063.78	11.15
1.5	73.94	3610.41	1886.87	10.19
1.75	86.26	2652.55	1697.24	9.17
2	98.59	2030.86	1502.00	8.11
2.25	110.91	1604.63	1307.73	7.06
2.5	123.24	1299.75	1120.19	6.05
2.75	135.56	1074.17	942.05	5.09
3	147.88	902.60	791.58	4.27
3.25	160.21	769.08	674.49	3.64
3.5	172.53	663.14	581.57	3.14
3.75	184.85	577.67	506.61	2.74
4	197.18	507.71	445.27	2.40
4.25	209.50	449.74	394.42	2.13
4.5	221.82	401.16	351.81	1.90
4.75	234.15	360.04	315.76	1.71
5	246.47	324.94	284.97	1.54
5.25	258.79	294.73	258.48	1.40
5.5	271.12	268.54	235.51	1.27
5.75	283.44	245.70	215.48	1.16
6	295.76	225.65	197.90	1.07

Dn=2.5 in

L(m)	KL/r	Fe (kgf/cm ²)	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	10.09	193800.18	2516.21	16.60
0.5	20.18	48450.05	2475.30	16.33
0.75	30.28	21533.35	2408.59	15.89
1	40.37	12112.51	2318.21	15.29
1.25	50.46	7752.01	2206.96	14.56
1.5	60.55	5383.34	2078.22	13.71
1.75	70.65	3955.11	1935.72	12.77
2	80.74	3028.13	1783.40	11.77
2.25	90.83	2392.59	1625.20	10.72
2.5	100.92	1938.00	1464.94	9.66
2.75	111.01	1601.65	1306.13	8.62
3	121.11	1345.83	1151.88	7.60
3.25	131.20	1146.75	1004.81	6.63
3.5	141.29	988.78	867.16	5.72
3.75	151.38	861.33	755.39	4.98
4	161.48	757.03	663.92	4.38
4.25	171.57	670.59	588.11	3.88
4.5	181.66	598.15	524.58	3.46
4.75	191.75	536.84	470.81	3.11
5	201.84	484.50	424.91	2.80
5.25	211.94	439.46	385.40	2.54
5.5	222.03	400.41	351.16	2.32
5.75	232.12	366.35	321.29	2.12
6	242.21	336.46	295.07	1.95

Dn=3in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	8.23	291659.09	2520.83	20.41
0.5	16.45	72914.77	2493.52	20.19
0.75	24.68	32406.57	2448.66	19.82
1	32.91	18228.69	2387.22	19.33
1.25	41.13	11666.36	2310.47	18.71
1.5	49.36	8101.64	2220.01	17.97
1.75	57.59	5952.23	2117.66	17.14
2	65.81	4557.17	2005.42	16.24
2.25	74.04	3600.73	1885.38	15.26
2.5	82.27	2916.59	1759.71	14.25
2.75	90.49	2410.41	1630.53	13.20
3	98.72	2025.41	1499.90	12.14
3.25	106.95	1725.79	1369.75	11.09
3.5	115.17	1488.06	1241.85	10.05
3.75	123.40	1296.26	1117.74	9.05
4	131.63	1139.29	998.76	8.09
4.25	139.85	1009.20	885.07	7.17
4.5	148.08	900.18	789.46	6.39
4.75	156.31	807.92	708.55	5.74
5	164.53	729.15	639.46	5.18
5.25	172.76	661.36	580.01	4.70
5.5	180.99	602.60	528.48	4.28
5.75	189.21	551.34	483.53	3.91
6	197.44	506.35	444.07	3.60

$D_n=4$ in

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.35	489401.76	2524.53	26.48
0.5	12.70	122350.44	2508.20	26.31
0.75	19.05	54377.97	2481.21	26.03
1	25.40	30587.61	2443.91	25.64
1.25	31.75	19576.07	2396.78	25.14
1.5	38.11	13594.49	2340.41	24.55
1.75	44.46	9987.79	2275.49	23.87
2	50.81	7646.90	2202.83	23.11
2.25	57.16	6042.00	2123.27	22.27
2.5	63.51	4894.02	2037.75	21.38
2.75	69.86	4044.64	1947.23	20.43
3	76.21	3398.62	1852.70	19.43
3.25	82.56	2895.87	1755.14	18.41
3.5	88.91	2496.95	1655.54	17.37
3.75	95.26	2175.12	1554.85	16.31
4	101.61	1911.73	1453.98	15.25
4.25	107.96	1693.43	1353.78	14.20
4.5	114.32	1510.50	1255.04	13.17
4.75	120.67	1355.68	1158.49	12.15
5	127.02	1223.50	1064.74	11.17
5.25	133.37	1109.75	973.25	10.21
5.5	139.72	1011.16	886.79	9.30
5.75	146.07	925.15	811.35	8.51
6	152.42	849.66	745.15	7.82
6.25	158.77	783.04	686.73	7.20
6.5	165.12	723.97	634.92	6.66
6.75	171.47	671.33	588.76	6.18
7	177.82	624.24	547.46	5.74
7.25	184.17	581.93	510.35	5.35
7.5	190.53	543.78	476.89	5.00
7.75	196.88	509.26	446.62	4.68
8	203.23	477.93	419.15	4.40

TUBO CUADRADO
50 x 50 mm
e=2 mm

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	12.30	130546.18	2509.56	1.00
0.5	24.59	32636.54	2449.23	0.98
0.75	36.89	14505.13	2351.88	0.94
1	49.19	8159.14	2222.06	0.89
1.25	61.48	5221.85	2065.62	0.82
1.5	73.78	3626.28	1889.29	0.75
1.75	86.08	2664.21	1700.21	0.68
2	98.37	2039.78	1505.43	0.60
2.25	110.67	1611.68	1311.52	0.52
2.5	122.97	1305.46	1124.19	0.45
2.75	135.26	1078.89	946.19	0.38
3	147.56	906.57	795.06	0.32
3.25	159.85	772.46	677.45	0.27
3.5	172.15	666.05	584.13	0.23
3.75	184.45	580.21	508.84	0.20
4	196.74	509.95	447.22	0.18
4.25	209.04	451.72	396.16	0.16
4.5	221.34	402.92	353.36	0.14
4.75	233.63	361.62	317.14	0.13
5	245.93	326.37	286.22	0.11
5.25	258.23	296.02	259.61	0.10
5.5	270.52	269.72	236.55	0.09
5.75	282.82	246.78	216.43	0.09
6	295.12	226.64	198.77	0.08

e=2.5mm

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	12.31	130285.36	2509.52	1.25
0.5	24.62	32571.34	2449.07	1.22
0.75	36.93	14476.15	2351.54	1.17
1	49.24	8142.83	2221.48	1.11
1.25	61.54	5211.41	2064.78	1.03
1.5	73.85	3619.04	1888.19	0.94
1.75	86.16	2658.88	1698.86	0.85
2	98.47	2035.71	1503.87	0.75
2.25	110.78	1608.46	1309.79	0.65
2.5	123.09	1302.85	1122.37	0.56
2.75	135.40	1076.74	944.30	0.47
3	147.71	904.76	793.47	0.39
3.25	160.01	770.92	676.10	0.34
3.5	172.32	664.72	582.96	0.29
3.75	184.63	579.05	507.82	0.25
4	196.94	508.93	446.33	0.22
4.25	209.25	450.81	395.36	0.20
4.5	221.56	402.12	352.66	0.18
4.75	233.87	360.90	316.51	0.16
5	246.18	325.71	285.65	0.14
5.25	258.49	295.43	259.09	0.13
5.5	270.79	269.18	236.07	0.12
5.75	283.10	246.29	215.99	0.11
6	295.41	226.19	198.37	0.10

$e=3mm$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	12.32	130025.06	2509.48	1.50
0.5	24.64	32506.27	2448.91	1.46
0.75	36.96	14447.23	2351.19	1.40
1	49.28	8126.57	2220.90	1.32
1.25	61.61	5201.00	2063.94	1.23
1.5	73.93	3611.81	1887.08	1.13
1.75	86.25	2653.57	1697.51	1.01
2	98.57	2031.64	1502.30	0.90
2.25	110.89	1605.25	1308.07	0.78
2.5	123.21	1300.25	1120.54	0.67
2.75	135.53	1074.59	942.41	0.56
3	147.85	902.95	791.89	0.47
3.25	160.17	769.38	674.75	0.40
3.5	172.50	663.39	581.80	0.35
3.75	184.82	577.89	506.81	0.30
4	197.14	507.91	445.44	0.27
4.25	209.46	449.91	394.57	0.24
4.5	221.78	401.31	351.95	0.21
4.75	234.10	360.18	315.88	0.19
5	246.42	325.06	285.08	0.17
5.25	258.74	294.84	258.58	0.15
5.5	271.07	268.65	235.60	0.14
5.75	283.39	245.79	215.56	0.13
6	295.71	225.74	197.97	0.12

TUBO CUADRADO

75x75mm

e=2mm

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	8.19	294513.21	2520.92	1.51
0.5	16.37	73628.30	2493.87	1.49
0.75	24.56	32723.69	2449.44	1.47
1	32.75	18407.08	2388.56	1.43
1.25	40.93	11780.53	2312.50	1.38
1.5	49.12	8180.92	2222.83	1.33
1.75	57.31	6010.47	2121.32	1.27
2	65.49	4601.77	2009.94	1.20
2.25	73.68	3635.97	1890.76	1.13
2.5	81.87	2945.13	1765.91	1.06
2.75	90.05	2433.99	1637.48	0.98
3	98.24	2045.23	1507.51	0.90
3.25	106.43	1742.68	1377.92	0.82
3.5	114.61	1502.62	1250.44	0.75
3.75	122.80	1308.95	1126.62	0.67
4	130.99	1150.44	1007.79	0.60
4.25	139.18	1019.08	893.73	0.53
4.5	147.36	908.99	797.19	0.48
4.75	155.55	815.83	715.48	0.43
5	163.74	736.28	645.72	0.39
5.25	171.92	667.83	585.69	0.35
5.5	180.11	608.50	533.65	0.32
5.75	188.30	556.74	488.26	0.29
6	196.48	511.31	448.42	0.27

$e=2.5mm$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	8.19	294120.79	2520.91	1.88
0.5	16.38	73530.20	2493.83	1.86
0.75	24.58	32680.09	2449.33	1.83
1	32.77	18382.55	2388.38	1.79
1.25	40.96	11764.83	2312.23	1.73
1.5	49.15	8170.02	2222.44	1.66
1.75	57.35	6002.47	2120.82	1.59
2	65.54	4595.64	2009.32	1.50
2.25	73.73	3631.12	1890.03	1.41
2.5	81.92	2941.21	1765.06	1.32
2.75	90.11	2430.75	1636.53	1.22
3	98.31	2042.51	1506.47	1.13
3.25	106.50	1740.36	1376.80	1.03
3.5	114.69	1500.62	1249.26	0.93
3.75	122.88	1307.20	1125.41	0.84
4	131.08	1148.91	1006.56	0.75
4.25	139.27	1017.72	892.54	0.67
4.5	147.46	907.78	796.12	0.60
4.75	155.65	814.74	714.53	0.53
5	163.84	735.30	644.86	0.48
5.25	172.04	666.94	584.91	0.44
5.5	180.23	607.69	532.94	0.40
5.75	188.42	555.99	487.61	0.36
6	196.61	510.63	447.82	0.33

$e=3mm$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	8.20	293728.90	2520.90	2.26
0.5	16.40	73432.23	2493.78	2.24
0.75	24.59	32636.54	2449.23	2.20
1	32.79	18358.06	2388.19	2.14
1.25	40.99	11749.16	2311.95	2.07
1.5	49.19	8159.14	2222.06	1.99
1.75	57.38	5994.47	2120.32	1.90
2	65.58	4589.51	2008.71	1.80
2.25	73.78	3626.28	1889.29	1.69
2.5	81.98	2937.29	1764.21	1.58
2.75	90.17	2427.51	1635.58	1.47
3	98.37	2039.78	1505.43	1.35
3.25	106.57	1738.04	1375.68	1.23
3.5	114.77	1498.62	1248.09	1.12
3.75	122.97	1305.46	1124.19	1.01
4	131.16	1147.38	1005.32	0.90
4.25	139.36	1016.36	891.35	0.80
4.5	147.56	906.57	795.06	0.71
4.75	155.76	813.65	713.57	0.64
5	163.95	734.32	644.00	0.58
5.25	172.15	666.05	584.13	0.52
5.5	180.35	606.88	532.23	0.48
5.75	188.55	555.25	486.96	0.44
6	196.74	509.95	447.22	0.40

TUBO CUADRADO
100x100
e=2mm

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.14	524277.60	2524.90	2.02
0.5	12.27	131069.40	2509.64	2.00
0.75	18.41	58253.07	2484.42	1.98
1	24.54	32767.35	2449.55	1.96
1.25	30.68	20971.10	2405.42	1.92
1.5	36.82	14563.27	2352.57	1.88
1.75	42.95	10699.54	2291.60	1.83
2	49.09	8191.84	2223.21	1.78
2.25	55.22	6472.56	2148.17	1.72
2.5	61.36	5242.78	2067.29	1.65
2.75	67.50	4332.87	1981.44	1.58
3	73.63	3640.82	1891.50	1.51
3.25	79.77	3102.23	1798.36	1.44
3.5	85.90	2674.89	1702.91	1.36
3.75	92.04	2330.12	1606.03	1.28
4	98.18	2047.96	1508.55	1.20
4.25	104.31	1814.11	1411.28	1.13
4.5	110.45	1618.14	1314.96	1.05
4.75	116.58	1452.29	1220.27	0.97
5	122.72	1310.69	1127.84	0.90
5.25	128.86	1188.84	1038.20	0.83
5.5	134.99	1083.22	949.98	0.76
5.75	141.13	991.07	869.17	0.69
6	147.26	910.20	798.25	0.64

e=2.5 mm

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.14	523753.59	2524.89	2.52
0.5	12.28	130938.40	2509.62	2.50
0.75	18.42	58194.84	2484.38	2.48
1	24.56	32734.60	2449.47	2.44
1.25	30.70	20950.14	2405.30	2.40
1.5	36.83	14548.71	2352.40	2.35
1.75	42.97	10688.85	2291.37	2.29
2	49.11	8183.65	2222.92	2.22
2.25	55.25	6466.09	2147.82	2.14
2.5	61.39	5237.54	2066.88	2.06
2.75	67.53	4328.54	1980.96	1.98
3	73.67	3637.18	1890.95	1.89
3.25	79.81	3099.13	1797.74	1.79
3.5	85.95	2672.21	1702.24	1.70
3.75	92.09	2327.79	1605.30	1.60
4	98.22	2045.91	1507.77	1.50
4.25	104.36	1812.30	1410.46	1.41
4.5	110.50	1616.52	1314.10	1.31
4.75	116.64	1450.84	1219.38	1.22
5	122.78	1309.38	1126.93	1.12
5.25	128.92	1187.65	1037.28	1.03
5.5	135.06	1082.14	949.03	0.95
5.75	141.20	990.08	868.30	0.87
6	147.34	909.29	797.45	0.80

$e=3mm$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.14	523230.10	2524.88	3.02
0.5	12.28	130807.53	2509.60	3.00
0.75	18.43	58136.68	2484.33	2.97
1	24.57	32701.88	2449.39	2.93
1.25	30.71	20929.20	2405.18	2.88
1.5	36.85	14534.17	2352.22	2.81
1.75	42.99	10678.17	2291.14	2.74
2	49.14	8175.47	2222.64	2.66
2.25	55.28	6459.63	2147.47	2.57
2.5	61.42	5232.30	2066.46	2.47
2.75	67.56	4324.22	1980.47	2.37
3	73.71	3633.54	1890.40	2.26
3.25	79.85	3096.04	1797.13	2.15
3.5	85.99	2669.54	1701.56	2.04
3.75	92.13	2325.47	1604.57	1.92
4	98.27	2043.87	1506.99	1.80
4.25	104.42	1810.48	1409.63	1.69
4.5	110.56	1614.91	1313.24	1.57
4.75	116.70	1449.39	1218.49	1.46
5	122.84	1308.08	1126.01	1.35
5.25	128.98	1186.46	1036.35	1.24
5.5	135.13	1081.05	948.08	1.13
5.75	141.27	989.09	867.43	1.04
6	147.41	908.39	796.65	0.95

$e=4mm$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.15	522184.71	2524.87	4.02
0.5	12.30	130546.18	2509.56	4.00
0.75	18.44	58020.52	2484.24	3.96
1	24.59	32636.54	2449.23	3.90
1.25	30.74	20887.39	2404.93	3.83
1.5	36.89	14505.13	2351.88	3.75
1.75	43.04	10656.83	2290.69	3.65
2	49.19	8159.14	2222.06	3.54
2.25	55.33	6446.72	2146.76	3.42
2.5	61.48	5221.85	2065.62	3.29
2.75	67.63	4315.58	1979.50	3.15
3	73.78	3626.28	1889.29	3.01
3.25	79.93	3089.85	1795.90	2.86
3.5	86.08	2664.21	1700.21	2.71
3.75	92.22	2320.82	1603.11	2.55
4	98.37	2039.78	1505.43	2.40
4.25	104.52	1806.87	1407.98	2.24
4.5	110.67	1611.68	1311.52	2.09
4.75	116.82	1446.50	1216.71	1.94
5	122.97	1305.46	1124.19	1.79
5.25	129.11	1184.09	1034.50	1.65
5.5	135.26	1078.89	946.19	1.51
5.75	141.41	987.12	865.70	1.38
6	147.56	906.57	795.06	1.27

$e=4.5\text{ mm}$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.15	521662.81	2524.87	4.52
0.5	12.30	130415.70	2509.54	4.50
0.75	18.45	57962.53	2484.20	4.45
1	24.61	32603.93	2449.15	4.39
1.25	30.76	20866.51	2404.81	4.31
1.5	36.91	14490.63	2351.71	4.21
1.75	43.06	10646.18	2290.46	4.10
2	49.21	8150.98	2221.77	3.98
2.25	55.36	6440.28	2146.41	3.85
2.5	61.51	5216.63	2065.20	3.70
2.75	67.66	4311.26	1979.02	3.55
3	73.82	3622.66	1888.74	3.38
3.25	79.97	3086.76	1795.28	3.22
3.5	86.12	2661.54	1699.54	3.05
3.75	92.27	2318.50	1602.38	2.87
4	98.42	2037.75	1504.65	2.70
4.25	104.57	1805.06	1407.16	2.52
4.5	110.72	1610.07	1310.65	2.35
4.75	116.88	1445.05	1215.82	2.18
5	123.03	1304.16	1123.28	2.01
5.25	129.18	1182.91	1033.58	1.85
5.5	135.33	1077.82	945.24	1.69
5.75	141.48	986.13	864.84	1.55
6	147.63	905.66	794.27	1.42

$e=6\text{ mm}$

L(m)	KL/r	Fe	Fcr (kgf/cm ²)	F (tnf)
0.25	6.16	520100.25	2524.85	6.02
0.5	12.32	130025.06	2509.48	5.99
0.75	18.48	57788.92	2484.06	5.93
1	24.64	32506.27	2448.91	5.84
1.25	30.80	20804.01	2404.44	5.74
1.5	36.96	14447.23	2351.19	5.61
1.75	43.12	10614.29	2289.78	5.46
2	49.28	8126.57	2220.90	5.30
2.25	55.45	6420.99	2145.35	5.12
2.5	61.61	5201.00	2063.94	4.92
2.75	67.77	4298.35	1977.56	4.72
3	73.93	3611.81	1887.08	4.50
3.25	80.09	3077.52	1793.43	4.28
3.5	86.25	2653.57	1697.51	4.05
3.75	92.41	2311.56	1600.18	3.82
4	98.57	2031.64	1502.30	3.58
4.25	104.73	1799.65	1404.68	3.35
4.5	110.89	1605.25	1308.07	3.12
4.75	117.05	1440.72	1213.15	2.89
5	123.21	1300.25	1120.54	2.67
5.25	129.37	1179.37	1030.80	2.46
5.5	135.53	1074.59	942.41	2.25
5.75	141.69	983.18	862.25	2.06
6	147.85	902.95	791.89	1.89

Anexo 04. Especificaciones Técnicas: Aceros Arequipa

Tubo LAC ASTM A500 PARA ESTRUCTURAS

DENOMINACIÓN:

TNM RED ND A500, TNM RED OD A500, TGM RED ND A500,
TGM RED OD A500, TNM CUA A500, TNM REC A500, TGM CUA A500,
TGM REC A500.

DESCRIPCIÓN:

Tubo fabricado con acero al carbono laminado en caliente (LAC), utilizando el sistema de soldadura por resistencia eléctrica por inducción de alta frecuencia longitudinal (ERW). Las secciones de fabricación son redondas, cuadradas y rectangulares.

USOS:

Diversas estructuras livianas y pesadas, carrocerías, tijerales, postes, etc.

NORMAS TÉCNICAS DE FABRICACIÓN:

Las dimensiones, pesos y espesores se fabrican según la norma ASTM A500 – A y B.

PRESENTACIÓN:

- 1.- Longitud
 - :- Redondos: 6.40 m y 6 m.
 - :- Cuadrados y rectangulares: 6 m.
 - :- Otras longitudes a pedido.
- 2.- Acabado de extremos: Refrentado (plano), limpios de rebordes.
- 3.- Recubrimiento
 - :- Negro.
 - :- Galvanizado.
 - (mínimo de 120 gr/m²).

DIMENSIONES Y PESOS NOMINALES en Kg/m:

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
REDONDO NOMINAL	1/2"	21,3	0,866	0,952	1,159					
	3/4"	26,7	1,105	1,218	1,432					
	1"	33,4	1,403	1,549	1,905	2,248				
	1 1/4"	42,2	1,793	1,983	2,448	2,990				
	1 1/2"	48,3	2,064	2,284	2,824	3,351				
	2"	60,3	2,597	2,876	3,564	4,239				
	2 1/2"	73,0		3,502	4,347	5,179				
	3"	88,9		4,285	5,327	6,355				
	4"	114,3		5,539	6,832	8,234				
CUAD L.E.	-	25x25	1,061		1,460					
	-	30x30	1,300		1,700					
	-	40x40	1,770		2,244		3,320			
	-	50x50	2,250		3,122	3,872	4,316			
	-	2"	50,8		3,122	3,872	4,316			
	-	75x75			4,500	5,560	6,810			
-	100x100			6,165	7,675	9,174	12,133	13,584	16,980	

■ Negro y Galvanizado

DESIGNACIÓN NOMINAL	DIMENSIÓN EXTERIOR (mm)	ESPEORES (mm)								
		1.5	1.8	2	2.5	3	4	4.5	6	
RECT L.E.	-	20x40	1,354		1,700					
	-	25x50	1,690		2,261					
	-	40x60	2,260		3,033	3,600	4,290			
	-	40x80	2,710		3,660	4,390	5,190			
	-	50x75					5,423			
	-	50x100			4,500	5,560	6,600	8,590		
-	50x150			6,165	7,676	9,174	11,730			

■ Negro y Galvanizado

PROPIEDADES MECÁNICAS (ASTM A500/A500M GRADOS A y B)

SECCIÓN	GRADO	LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
REDONDO	A	230	310
CUADRADO Y RECTANGULAR	A	270	310
	B	315	400

MATERIA PRIMA:

Acero laminado en caliente calidad estructural.

TOLERANCIAS DIMENSIONALES

(Referidas a los valores nominales):

Espesor : + / - 10%
Longitud : +12.7 / -6.4 mm

Sección:

1.- Redondo:

DIÁMETRO NOMINAL (pulg)	TOLERANCIA DIMENSIONAL + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.5 %
Mayores 2"	0.75 %

2.- Cuadrados y Rectangulares:

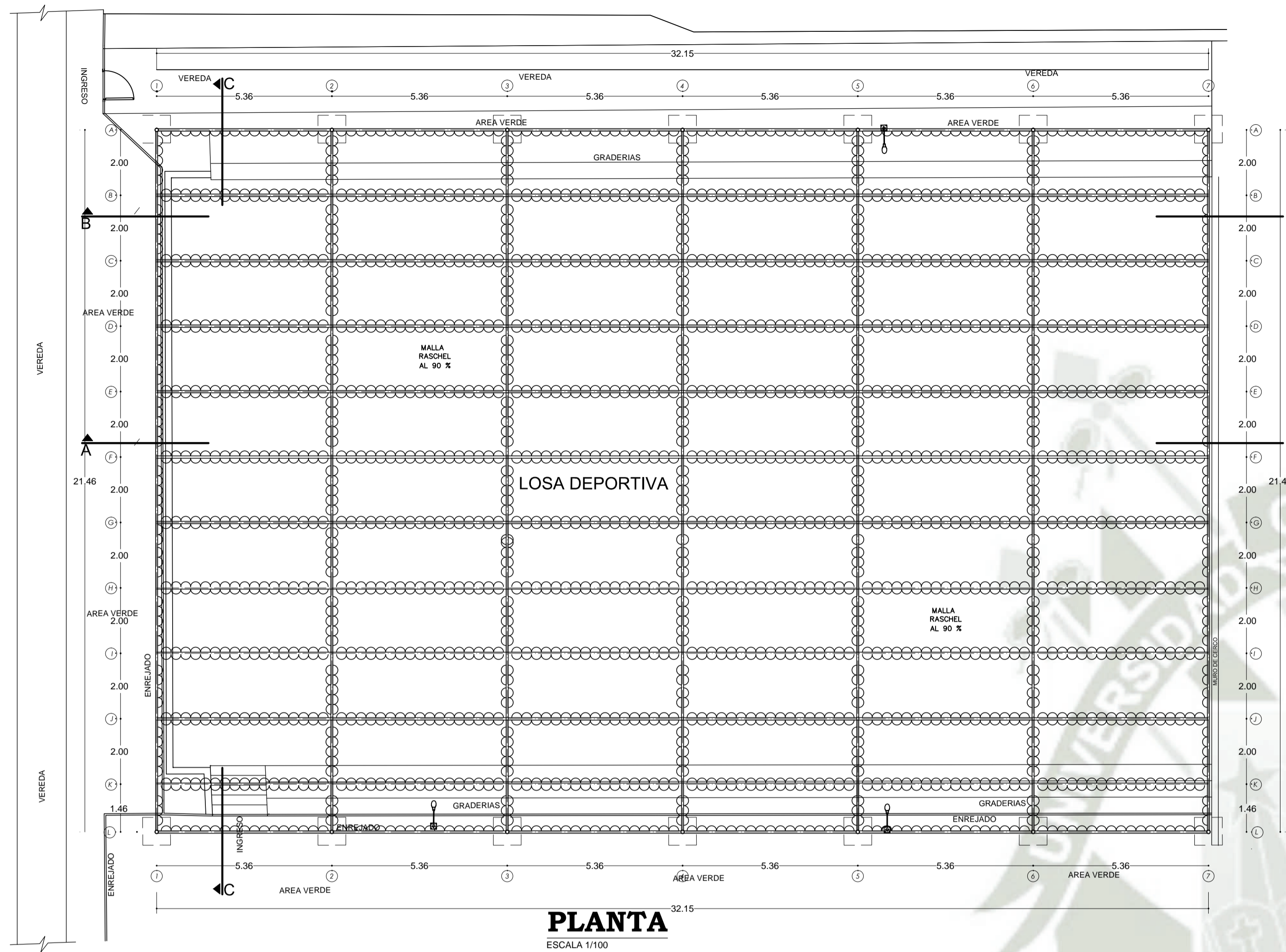
LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores 1 1/2" incl.	0.020
2 1/2" a 3 1/2" incl.	0.025
3 1/2" a 4 incl.	0.030

3.- Cuadrados y Rectangulares:

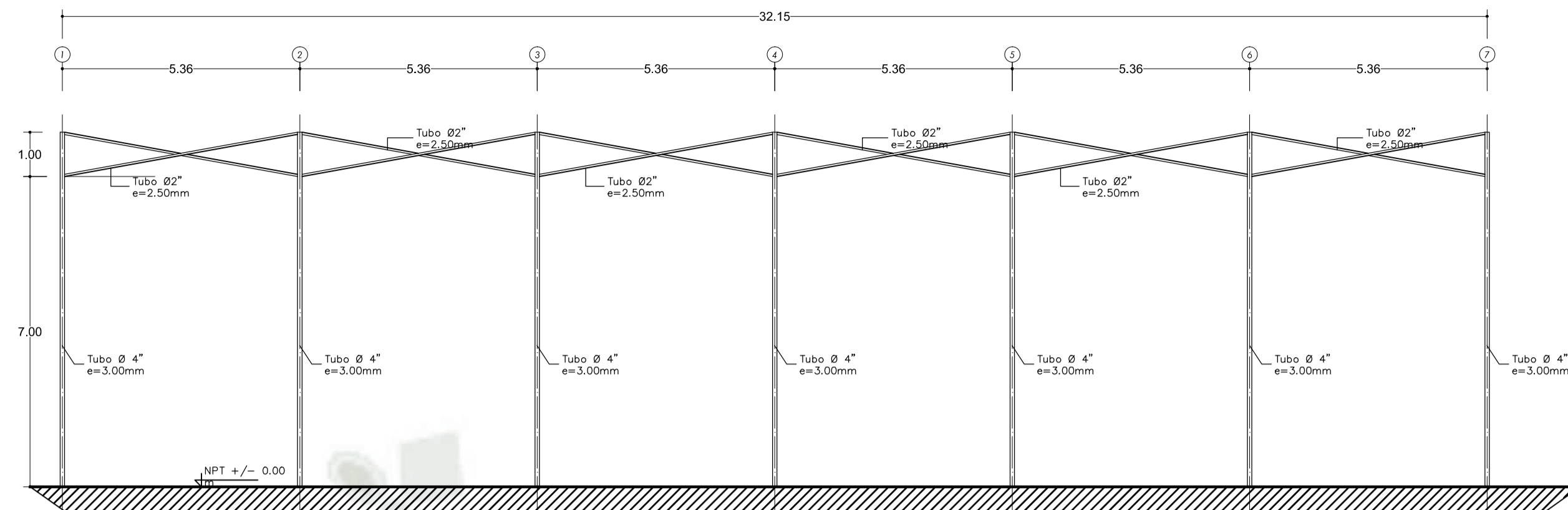
LADO EXTERIOR DEL TUBO (pulg)	VARIACIÓN MÁXIMA + / - (pulg)
Menores a 63.5 incl.	0.51
63.5 a 88.9 incl.	0.64
88.9 a 139.7 incl.	0.76
Mayores a 139.7	0.01 veces el largo de la dimensión plana

**Anexo 05. Plano estructural de estructura metálica de cobertura “Las Casuarinas” –
Yanahuara, según la metodología propuesta**

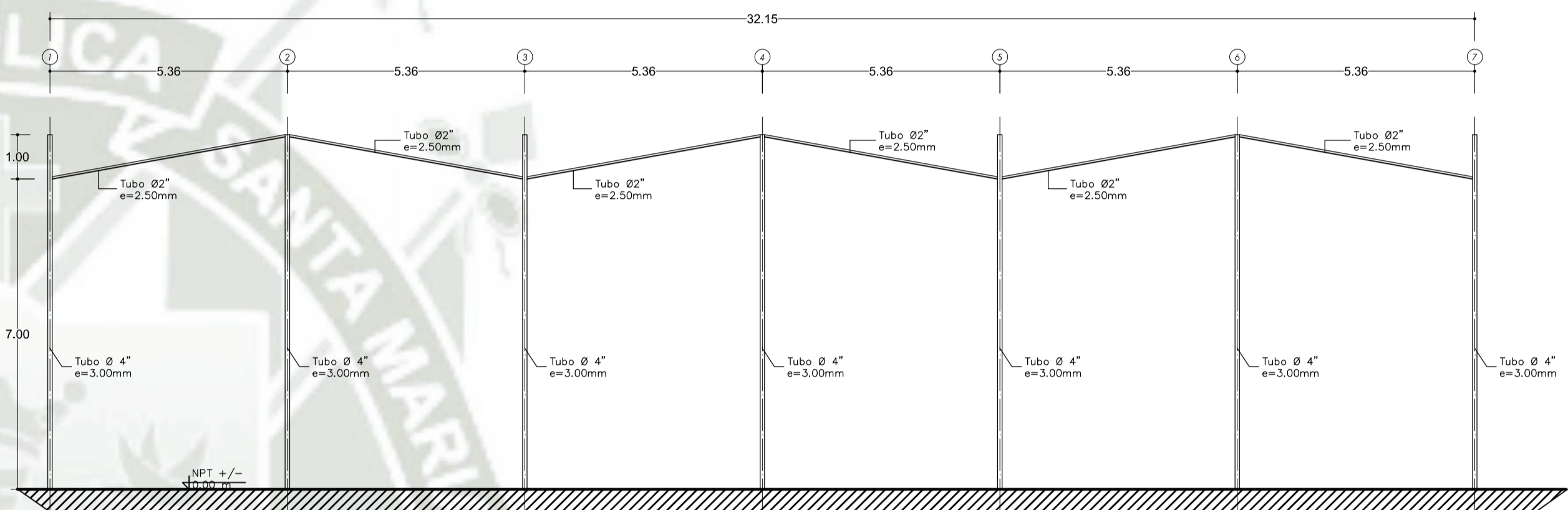




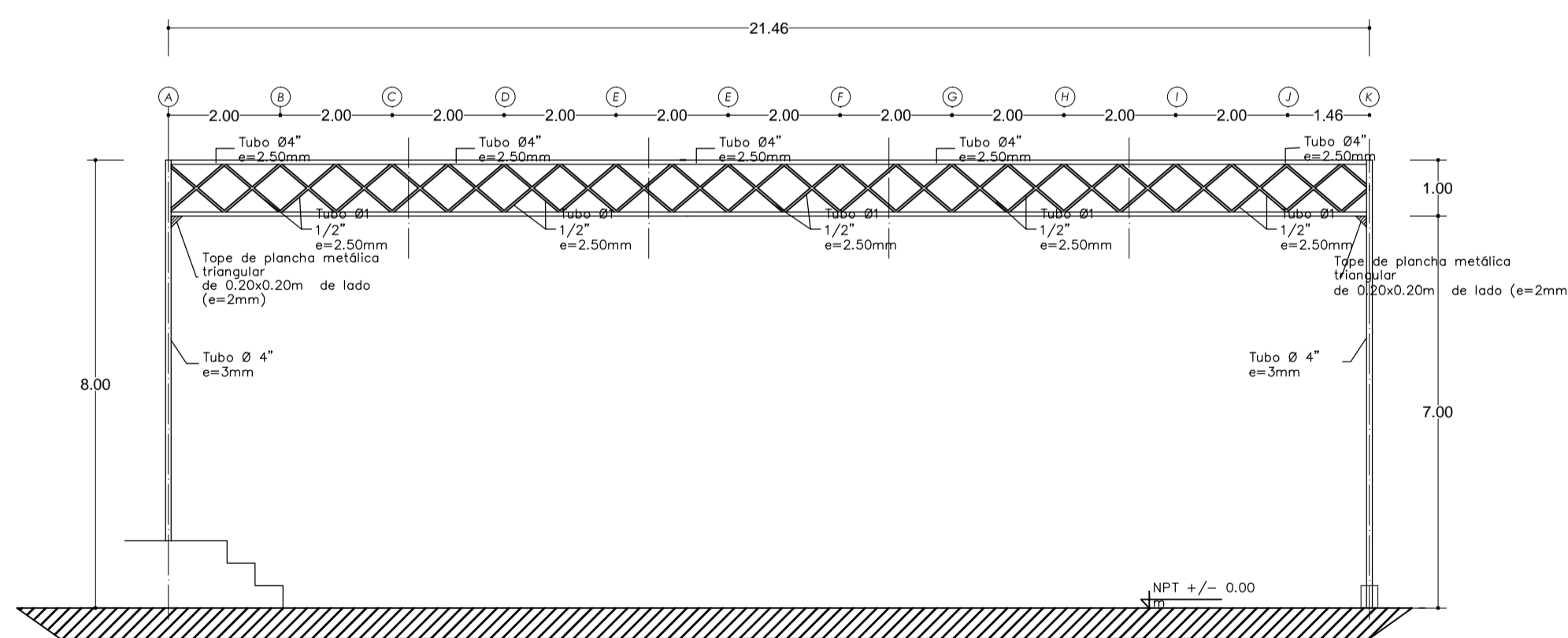
PLANTA
ESCALA 1/100



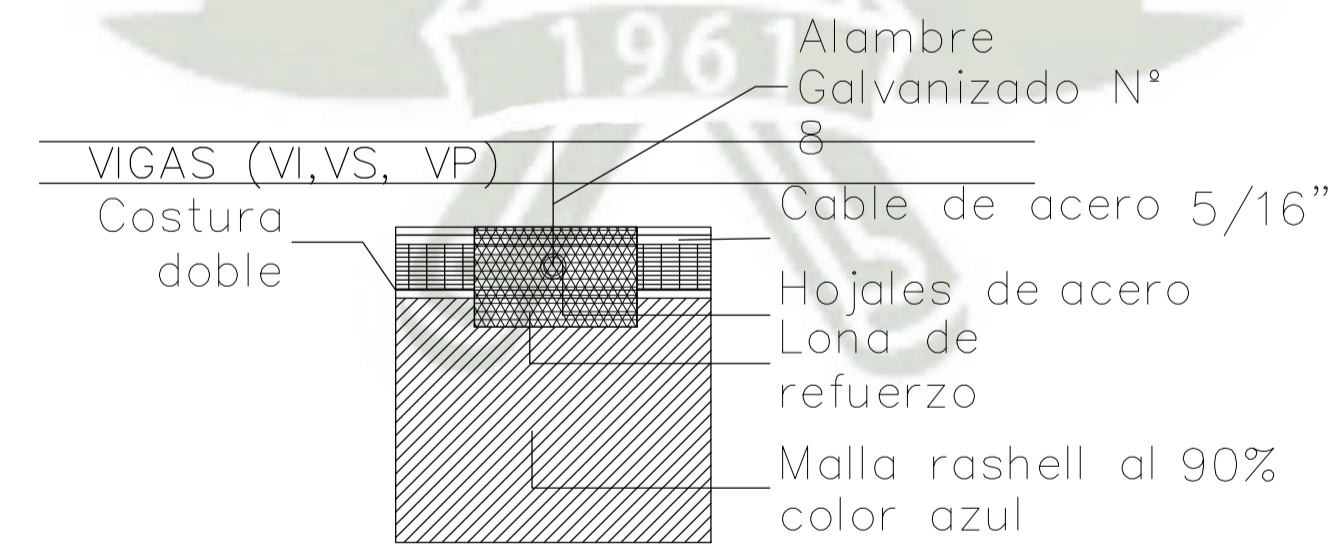
CORTE LONGITUDINAL A-A
ESCALA 1/100



CORTE LONGITUDINAL B-B
ESCALA 1/100

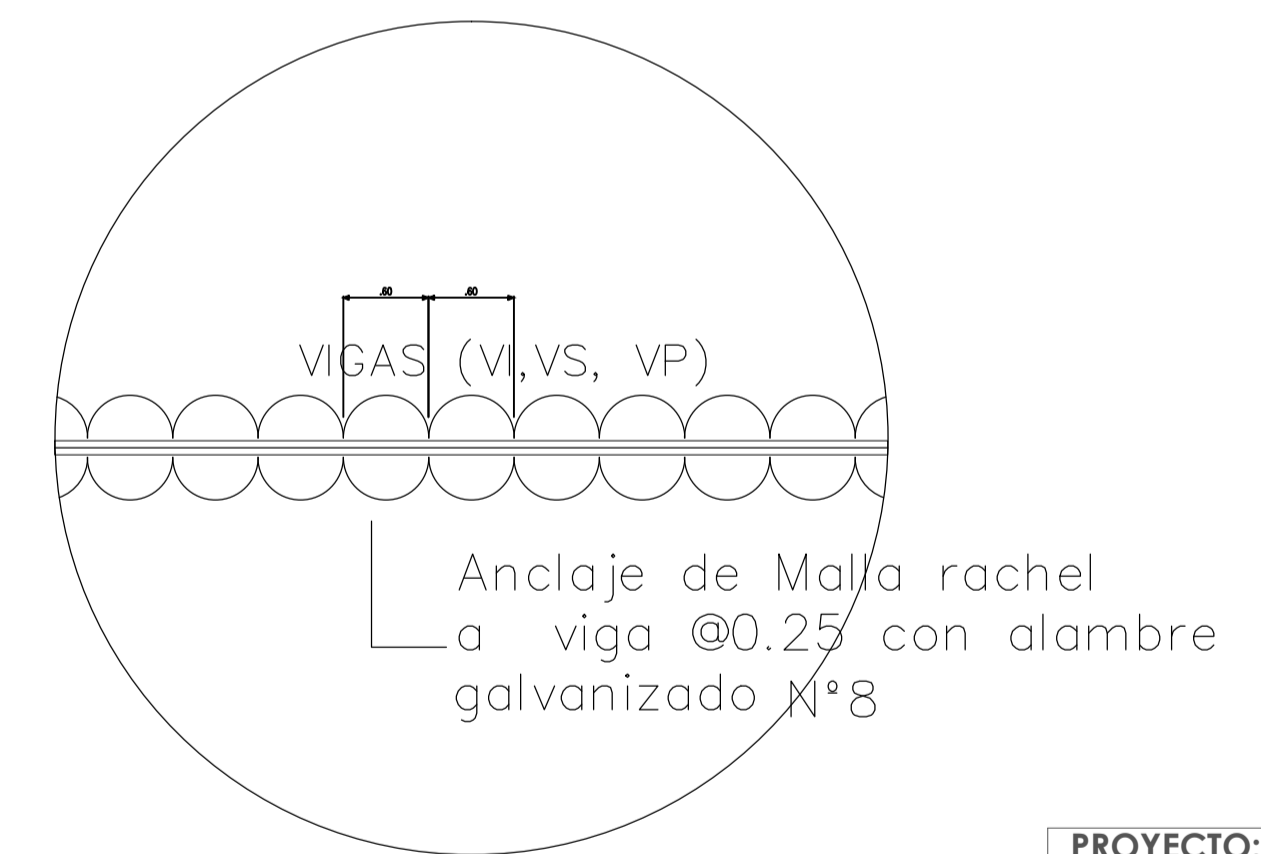


**CORTE Y-Y
VIGA PRINCIPAL (VP)**
ESCALA 1/100



LOS OJALES ESTARAN DISTANCIADO A CADA 0.25 M

**DETALLE EN SISTEMA
DE SUJECION DE MALLAS**



PROYECTO:
ESTRUCTURA METÁLICA DE
COBERTURA DE LA LOSA
DEPORTIVA "LAS
CASUARINAS"-YANAHUARA

PLANO:
ESTRUCTURA METÁLICA Y DETALLES

ESCALA:
INDICADA
(RESTO 1:25)

FECHA:
SEPTIEMBRE 2019

LÁMINA:

E-01