

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE: INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Análisis de coberturas metálicas tipo parabólicas para determinar su comportamiento estructural bajo cargas de viento, granizo y acción sísmica, mediante parámetros establecidos para la comunidad de Concacha y Saywite, 2024

Asesor:

MSc. Saavedra Ore, Danilo

Autor:

Vargas Villcas, Cristhian

Para optar el Título Profesional de: Ingeniero Civil

Abancay – Apurímac – Perú

2025



Universidad Tecnológica de los Andes



Transformando vidas
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 094

En la ciudad de Abancay, a los veintitrés días del mes de diciembre del 2025, siendo las 8:30 am horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Directoral N° 1077-2025- EPIC-FI-UTEA-SA de fecha 18 de diciembre del 2025, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería:

Presidente :	Mag. Huanca Astoquilloca, Luis
Dictaminante :	Ph. D. Vasquez Ramirez, Abbon Alex
Replicante :	Dr. Alarcón Camacho, Erick

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

Análisis de coberturas metálicas tipo parabólicas para determinar su comportamiento estructural bajo cargas de viento, granizo y acción sísmica, mediante parámetros establecidos para la comunidad de Concacha y Saywite, 2024

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br: Vargas Villcas, Cristhian

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad
(Unanimidad o Mayoría) (*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachiller (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Vargas Villcas, Cristhian	Aprobado

Siendo las 10:30am horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mag. Huanca Astoquilloca, Luis

Dictaminante: Ph. D. Vasquez Ramirez, Abbon Alex

Replicante: Dr. Alarcón Camacho, Erick

Abancay 06 de enero del 2026

Se expide, la presente conforme al Libro de Actas de Sustentación de Tesis, consignado en los folios N° 302

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
Ciudad Universitaria Av. Perú N° 700, Abancay, Central Telefónica 051 (083) 3215592
Filial Cusco, Av. Grau N° 516, Teléfono (084) 251565
Filial Andahuaylas, Av. Juan Antonio Treles N° 513 Teléfono (083) 421752
www.utea.edu.pe

(*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprobaban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprobaban; Art. 18 RGGAT.
(**) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y RGGAT.




12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 11%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Metadatos

Datos del autor		
Apellidos y nombres	:	Vargas Villcas, Cristhian
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	76655231
URL ORCID	:	https://orcid.org/0009-0009-9865-5737
Datos del asesor		
Apellidos y nombres	:	Saavedra Ore, Danilo
Tipo de documento de identidad	:	DNI
Numero de documento de identidad	:	72846839
URL ORCID	:	https://orcid.org/0000-0002-1757-9616
Datos de la investigación		
Facultad	:	Ingeniería
Escuela profesional	:	Ingeniería civil
Línea de investigación	:	Gestión de la Infraestructura para el Desarrollo Sostenible
Rango de años en q se realizó la investigación	:	9 meses
Fuente de financiamiento	:	Autofinanciado
Porcentaje de similitud	:	12%
URL OCDE	:	https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01

Dedicatoria

A mis padres, y hermanos que son el pilar y motivación emocional, es a ellos a quienes dedico este trabajo, es por ellos y para ellos todo el esfuerzo y dedicación.

Agradecimientos

Agradezco profundamente a los docentes de la universidad tecnológica de los andes, quienes me otorgaron conocimientos de valor invaluable, para el campo profesional, mis más sinceras gracias a los compañeros de escuela que crecieron y culminaron conmigo, por el apoyo y la compañía durante mi etapa universitaria, un agradecimiento especial para el MSc. Danilo Saavedra Ore y el MSc. Ángel Maldonado Mendivil, por el aporte y guía en mi trabajo.

Resumen

La presente tesis desarrolla el análisis estructural de coberturas metálicas tipo parabólicas destinadas a losas deportivas, con el objetivo de analizar su comportamiento estructural frente a cargas de viento, granizo y acción sísmica, conforme a las condiciones climáticas y geográficas de las comunidades altoandinas de Concacha y Saywite (3536 msnm). La tesis adopta un enfoque cuantitativo, de tipo no experimental y diseño transversal, aplicando el método LRFD a través del software SAP2000, bajo los lineamientos de las normas técnicas peruanas (E.020, E.030, E090) y la especificación AISC-LRFD. Se analizaron tres muestras estructurales distintas (M01, M02 y M03), evaluando derivas, flechas máximas, desplazamientos y comportamiento dinámico.

Los resultados revelaron un comportamiento variable entre las muestras. La muestra M01 presentó deformaciones significativas, con derivas superiores al límite permitido ($XX = 0.0178$) y desplazamientos por viento de hasta 33.8 cm, superando ampliamente la flecha admisible ($L/180$). La muestra M02 mostró valores intermedios, con desplazamientos por viento de 7.8 cm y una deriva de $XX = 0.0058$, cercana al límite normativo. En contraste, la muestra M03 evidenció un comportamiento estructural más estable, con flechas y derivas dentro de lo permisible, aunque con un periodo estructural elevado ($T = 6.6263$ s), indicando una estructura más flexible. En la presente tesis también se plantean mejoras en la cobertura M02 con la adición de cables tensores de 1/2" que mejoran el desempeño en elementos críticos y deformaciones, de igual manera en la M03 con el aumento de elementos diagonales en puntos críticos de la edificación.

Palabras clave. Estructural, viento, granizo, sismo, desplazamientos.

Abstract

This thesis develops a structural analysis of parabolic metal roofs intended for sports slabs, with the objective of evaluating their structural behavior under wind loads, hail and seismic action, according to the climatic and geographical conditions of the high Andean communities of Concacha and Saywite (3536 msnm). The research adopts a quantitative, non-experimental approach and cross-sectional design, applying the LRFD method through SAP2000 software, under the guidelines of Peruvian technical standards (E.020, E.030, E090) and the AISC-LRFD specification. Three different structural samples (M01, M02 and M03) were analyzed, evaluating drifts, maximum deflections, displacements and dynamic behavior.

The results revealed variable behavior among the samples. Sample M01 presented significant deformations, with drifts greater than the allowable limit ($XX = 0.0178$) and wind displacements of up to 33.8 cm, far exceeding the allowable deflection ($L/180$). Sample M02 showed intermediate values, with wind displacements of 7.8 cm and a drift of $XX = 0.0058$, close to the regulatory limit. In contrast, sample M03 showed more stable structural behavior, with deflections and drifts within the allowable limits, although with a high structural period ($T = 6.6263$ s), indicating a more flexible structure. This thesis also proposes improvements to the M02 roof with the addition of 1/2" tension cables that improve performance in critical elements and deformations. The same applies to M03 with the increase in diagonal elements at critical points of the building.

Keywords: Structural, wind, hail, earthquake, displacement,.

Índice general

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice general	ix
Índice de figuras	xii
Índice de tablas	xvii
Índice de anexos	xviii
I. Introducción	20
II. Planteamiento del problema	21
2.1. Descripción y formulación del problema	21
2.1.1. Problema General	23
2.1.2. Problemas específicos	23
2.2. Objetivos	23
2.2.1. Objetivo general	23
2.2.2. Objetivos específicos	23
2.3. Justificación e importancia	23
2.4. Hipótesis	24
2.4.1. Hipótesis general	24
2.4.2. Hipótesis específicas	25

2.5.	Variables	25
III.	Marco teórico	26
3.1.	Antecedentes	26
3.2.	Bases teóricas	31
3.2.1.	Comportamiento estructural	31
3.2.2.	Cargas externas	34
3.3.	Definición de términos	45
3.3.1.	Análisis estructural	45
3.3.2.	Método LRFD	45
3.3.3.	Modos de fallo	46
3.3.4.	Análisis estático y dinámico	46
3.3.5.	Aceros	46
3.3.6.	Acero A36	47
3.3.7.	Acero A53	48
3.3.8.	Elasticidad y Plasticidad	49
3.3.9.	Cargas	50
3.3.10.	Cargas Vivas	50
3.3.11.	Cargas Muertas	50
3.3.12.	Cargas de Sismo	50
3.3.13.	Métodos de diseño AISC	51
3.3.14.	SAP2000	51
3.3.15.	Factor de carga	51
IV.	Metodología	52
4.1.	Tipo y nivel de investigación.	52
4.2.	Ámbito temporal y espacial	52

4.3. Población y muestra	54
4.3. Análisis de datos	71
4.4. Consideraciones éticas	71
V. Resultados y discusión.	72
5.1. Resultados	72
5.1.1. Verificación estructural de elementos metálicos M01	72
5.1.2. Verificación estructural de elementos metálicos M02	88
5.1.3. Verificación estructural de elementos metálicos M03	107
5.1.4. Resultados para los objetivos general y específicos	127
5.2. Discusiones	148
VI. Conclusiones	152
VII. Recomendaciones.	154
VIII. Referencias	156
IX. Anexos	163

Índice de figuras

Figura 1 Estacion meteorologica en Abancay - Curahuasi	35
Figura 2 Velocidad promedio del viento en Saywite - Curahuasi	36
Figura 3 Precipitaciones en Saywite - Curahuasi.....	37
Figura 4 Gráfico de estándares climatológicas	38
Figura 5 Modelo matemático para cargas de granizo	41
Figura 6 Zonas sísmicas del Perú.....	43
Figura 7 Referencia de ubicación google maps	53
Figura 8 Cobertura colapsada en San Luis – Saywite (M01).....	54
Figura 9 Cobertura en Concacha IES Víctor Acosta Ríos (M02).....	56
Figura 10 Cobertura de IE.Qori Wayna - Concacha (M03).....	58
Figura 11 Secciones de elementos frame M01.	63
Figura 12. Secciones de elementos frame M02	63
Figura 13 Secciones de elementos frame M03	64
Figura 14 Configuración de tipo de acero y dimensiones de elemento	64
Figura 15 Definición de patrones de carga	65
Figura 16 Configuración de combinaciones de carga	65
Figura 17 Configuración para el espectro sismico M01	66
Figura 18 Configuración para el espectro sismico M02	67
Figura 19 Configuración para el espectro sísmico M02	68
Figura 20 Introducción de carga viva en toda la cubierta para M01, M02, M03.....	69
Figura 21 Introducción de carga de granizo en la cumbre de la cubierta M01,M02,M03. 69	
Figura 22 Cargas de viento en posición de presión y succión. M01,M02,M03.....	70
Figura 23 Cargas de viento distribuidas en senos y cosenos con ejes locales de la cubierta, referente a M1,M02,M03.	70

Figura 24 Verificación de resistencia en elementos de M01 bajo cargas de viento nieve y acción sísmica.....	72
Figura 25 Configuración de normas 360-16 metodo LRFD, M01	72
Figura 26 Verificación de brida superior a compresión M01	73
Figura 27 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) BA3, M01.....	74
Figura 28 Detalles de verificación en elemento BA3, M01	75
Figura 29 Verificación de brida inferior a tracción 155, M01.	76
Figura 30 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de brida inferior,155, M01.	77
Figura 31 Detalles de verificación en elemento 155, M01.....	78
Figura 32 Verificación de montantes 225, M01.....	79
Figura 33 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de montante 225, M01..	80
Figura 34 Detalles de verificación en elemento 225, M01.....	81
Figura 35 Verificación de diagonales B79, M01.	82
Figura 36 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento diagonal B79, M01.	83
Figura 37 Detalles de verificación en elemento B79, M01.....	84
Figura 38 Verificación de columnas M01	85
Figura 39 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) en columna ADC, M01.	86
Figura 40 Detalles de verificación en elemento ADC, M02	87
Figura 41 Verificación de resistencia en elementos de M02 bajo cargas de viento.....	88
Figura 42 Configuración de normas 360-16 metodo LRFD	88
Figura 43 Verificación de brida superior, M02.....	89
Figura 44 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) Bsup40, M02	90
Figura 45 Detalles de verificación en elemento Bsup40, M02	91
Figura 46 Verificación de brida inferior a tracción M02	92

Figura 47 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de brida inferior 255, M02	93
Figura 48 Detalles de verificación en elemento 255, M02.	94
Figura 49 Verificación de montantes M02.....	96
Figura 50 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de montante 4, M02.....	97
Figura 51 Detalles de verificación en elemento 4,M02.	98
Figura 52 Verificación de diagonales M02.....	99
Figura 53 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento diagonal22, M02.....	100
Figura 54 Detalles de verificación en elemento 47, M02	101
Figura 55 Verificación de columnas M02.....	102
Figura 56 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) en columna 4, M02.....	103
Figura 57 Detalles de verificación en elemento “columna 2”, M02	104
Figura 58 Verificación de elementos M02 con cables tensores.	105
Figura 59 Control de flecha bajo cargas de servicio en M02 con cables tensores de 1/2”.	105
Figura 60 Verificación de resistencia en elementos de M03 bajo cargas de viento nieve y accion sismica	107
Figura 61 Configuración de normas 360-16 metodo LRFD	107
Figura 62 Verificación de brida superior a compresión M03	108
Figura 63 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) M03.	109
Figura 64 Detalles de verificación en elemento 1B9, M03.....	110
Figura 65 Verificación de brida inferior a tracción M03	111
Figura 66 Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de brida inferior 13, M03	112
Figura 67 Detalles de verificación en elemento , M03.	113

Figura 68	Verificación de montantes M03	114
Figura 69	Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de montante 332, M03	115
Figura 70	Detalles de verificación en elemento montante 332, M03	116
Figura 71	Verificación de diagonales 2A1, M03.	117
Figura 72	Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento diagonal 2A1, M03	118
Figura 73	Detalles de verificación en elemento 2A1, M03	119
Figura 74	Verificación de columnas M02	120
Figura 75	Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) en columna 2177, M03	121
Figura 76	Detalles de verificación en elemento columna 6, M03	122
Figura 77	Verificación de cables tensores M03	123
Figura 78	Análisis de cables tipo boa	123
Figura 79	Detalles de verificación cable tipo boa, M03	124
Figura 80	Verificación de elementos M03 con aumento de diagonales	125
Figura 81	Control de flecha bajo cargas de servicio en M03 con diagonalesS.	125
Figura 82	Verificación de zonas frágiles en el modelo M03 con aumento de diagonales.	126
Figura 83	Control de derivas en eje x - M01	128
Figura 84	Control de derivas en eje y - M01	129
Figura 85	Control de flecha bajo cargas de servicio M01	129
Figura 86	Control de derivas en eje x - M02	131
Figura 87	Control de derivas en eje y - M02	131
Figura 88	Control de flecha bajo cargas de servicio M02	132
Figura 89	Control de derivas en eje x - M03	133
Figura 90	Control de derivas en eje y - M03	133
Figura 91	Control de flecha bajo cargas de servicio M03	134

Figura 92 Deformaciones por acciones de viento V1- M01.	135
Figura 93 Deformaciones por acciones de viento V2-M01	135
Figura 94 Deformaciones por acciones de granizo M01	136
Figura 95 Deformaciones por acciones de sismo M01	136
Figura 96. Deformación modal 01 - M01	137
Figura 97 Deformaciones por acciones de viento V1- M02	137
Figura 98 Deformaciones por acciones de viento V2 - M02	138
Figura 99 Deformaciones por acciones de granizo M02	138
Figura 100 Deformaciones por acciones de sismo M02	139
Figura 101 Deformación modal 01 - M02	140
Figura 102 Deformación modal 02 - M02	140
Figura 103 Deformaciones por acciones de viento M03	141
Figura 104 Deformaciones por acciones de granizo M03	142
Figura 105 Deformaciones por acciones de sismo M03	142
Figura 106 Deformación modal 01 - M03	143

Índice de tablas

Tabla 1	Factores de forma interna (Cint).....	39
Tabla 2	Factores de forma externa (Cex)	40
Tabla 3	Acero A36	47
Tabla 4	Acero A500	48
Tabla 5	Acero A53	49
Tabla 6	Comparación de resultados en M02 con y sin cables tipo boa.....	106
Tabla 7	Comparación de resultados en M03 con y sin inclusión de diagonales	126

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia	163
Anexo 2 Operacionalizacion de variables.....	164
Anexo 3 Mapa eólico del Perú.....	166
Anexo 4 Cálculo de valores de carga para M01	166
Anexo 5 Cálculo de valores de carga para M02	167
Anexo 6 Cálculo de valores de carga para M03	168
Anexo 7 elementos críticos en toda la edificación M01	169
Anexo 8 Elementos críticos de toda la edificación M02	170
Anexo 9 Columna critica de toda la edificación M02	170
Anexo 10 Diagonal critica de toda la edificación M02	171
Anexo 11 Brida inferior crítica de toda la edificacion M03	172
Anexo 12 Cable tensor crítico de toda la edificación M03.....	172
Anexo 13 Montante crítica de toda la edificación M03.....	173
Anexo 14 Diagonal critica de toda la edificación M03	173
Anexo 15 Columna critica de toda la edificación M03	174
Anexo 16 Cálculo de placa de anclaje M01.....	175
Anexo 17 Cálculo de placa de anclaje M02.....	176
Anexo 18 Cálculo de placa de anclaje M03.....	177
Anexo 19 Desplome de techo en Antilla distrito de Sabaino - Antabamba.....	178
Anexo 20 Desplome de techo en Abancay-colegio MAJESA.....	178
Anexo 21 Colapso de estructura del techo en losa deportiva de Saywite.....	179
Anexo 22 Techo deportivo en IE. Inmaculada en riesgo de colapso	179
Anexo 23 Desplome de cobertura causada por acumulación de granizo y ventiscas M01.....	180

Anexo 24 Ubicación de muestras M02 y M03.....	180
Anexo 25 Replanteamiento de medidas en M01	181
Anexo 26 Equipo topcon ES105 para medición de muestras	181
Anexo 27 Toma de medidas en M03.....	182
Anexo 28 Toma de medidas en M03.....	182

I. Introducción

Las cargas de viento y granizo representan un reto significativo para el comportamiento estructural de coberturas metálicas en zonas altoandinas del Perú, un ejemplo claro son las comunidades de Concacha y Saywite en el distrito de Curahuasi, ya que estas zonas presentan temporadas con incidencia de granizo y vientos fuertes, especialmente entre los meses de agosto y noviembre.

La ocurrencia de colapsos estructurales ya registrados en años anteriores en las comunidades aledañas, resalta la importancia de evaluar y diseñar coberturas metálicas que sean resistentes y funcionales frente a estas condiciones adversas.

En este contexto, la presente tesis, tuvo el objetivo de analizar el comportamiento estructural de coberturas metálicas tipo parabólicas, sometidas a cargas de viento, granizo y acción sísmica en las cubiertas de los centros educativos de Concacha y Saywite, del distrito de Curahuasi. Para ello, se utilizó el software Sap2000 versión de evaluación, con un análisis estático lineal, bajo los lineamientos de la normativa ANSI/AISC y el RNE, con el fin de garantizar la seguridad y el desempeño de las coberturas en losas deportivas de dichas comunidades.

El trabajo adoptó un enfoque cuantitativo, de tipo básico y no experimental, empleando el método inductivo y un nivel descriptivo. La tesis se estructuró en nueve capítulos, que incluyen: la caracterización del problema, los objetivos de investigación, la justificación y la hipótesis; así como un marco teórico robusto que abarca antecedentes, fundamentos normativos y conceptos técnicos clave relacionados con el diseño y dimensionamiento de coberturas metálicas para zonas altoandinas.

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

Numerosos estudios del National Institute of Standards and Technology (NIST, 2018) analizan el fallo progresivo de sistemas de techo metálicos, donde se identificaron la falta de continuidad en las conexiones y la insuficiente resistencia a la succión del viento, a su vez, se identificaron problemas comunes como diseños obsoletos según normas antiguas, falta de consideración de acumulaciones en zonas con incidencia de nieve, y en algunos casos, detalles en conexión débiles. Según Chopra (2012), en *Dynamics of Structures*, las estructuras deben resistir presiones generadas por vientos tanto turbulentos como no turbulentos, los cuales pueden inducir vibraciones oscilatorias y fallas por fatiga si no se consideran adecuadamente en el diseño. El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2018) establece en la Norma Técnica E.030 que es obligatorio considerar las cargas sísmicas, de viento y de granizo en el diseño de edificaciones ubicadas en zonas de la sierra peruana con antecedentes de dichos eventos. Aunque el impacto del granizo ha sido menos estudiado que el del viento y el sismo, puede provocar pandeo local en cubiertas si estas no están correctamente reforzadas. Por ello, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2021) incluye el granizo como una amenaza climática en sus mapas de riesgos.

En los últimos años, se han reportado diversos incidentes de colapso en coberturas metálicas causados por cargas de granizo y fuertes vientos en distintas regiones del Perú. Reportajes difundidos en redes sociales por Curahuasi en Redes (2023) informaron sobre el desplome total de la cobertura metálica en la institución educativa de Saywite, producto de la acumulación de granizo. Del mismo modo, Titanka (2021) reportó el colapso de una estructura de techo metálico en un campo deportivo ubicado en el distrito de Antilla, provincia de Antabamba, donde un menor estuvo a punto de perder la vida a causa de los intensos vientos que azotaban la zona. Asimismo, el noticiero abanquino Gaceta al Aire (2018) informó sobre

la caída del techo metálico de la institución de nivel primario MAJESA, en la ciudad de Abancay, también como consecuencia de fuertes vientos registrados en el lugar.

Si bien el viento es uno de los fenómenos meteorológicos que afectan directamente a estructuras de este tipo, realizar cálculos estructurales considerando factores de carga específicos se vuelve indispensable. Morón y Milón (2019) señalaron que, en años recientes, la ciudad de Arequipa ha experimentado eventos meteorológicos con corrientes de aire inusuales, los cuales provocaron fallas en infraestructuras deportivas. Su investigación identificó anomalías en los patrones de viento, con velocidades que, si bien no superaban los límites establecidos por la normativa peruana, excedían los promedios históricos registrados, lo que podría indicar deficiencias en el análisis y diseño estructural por parte de los profesionales involucrados. Estos resultados plantean dudas sobre el cumplimiento de los lineamientos establecidos por la normativa vigente.

Lo mencionado permite concluir que las fallas en cubiertas metálicas pueden deberse tanto a condiciones meteorológicas anómalas como a una deficiente estructuración del proyecto. La necesidad de garantizar la seguridad de estas estructuras es crucial, no solo en la región de Apurímac, sino en todas aquellas expuestas a eventos naturales extremos. Se ha observado que las cubiertas de losas deportivas alcanzan alturas considerables, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a cargas de viento y granizo. Además, su presencia en espacios públicos como parques, escuelas y canchas deportivas que aumenta el riesgo para la vida humana en caso de colapso. Lo mencionado motivo la presente tesis donde la problemática evidenciada por las fallas y colapsos estructurales registrados en la región, particularmente en los centros poblados de Concacha y Saywite, hacen que sea necesario analizar las condiciones estructurales de coberturas y el impacto de fenómenos meteorológicos como viento, granizo y acciones sísmicas.

2.1.1. Problema General

¿Por qué en el análisis de coberturas metálicas tipo parabólicas de las comunidades de Concacha y Saywite 2024, se obtiene como resultado, un desempeño deficiente en el comportamiento estructural bajo cargas de viento, granizo y acción sísmica?

2.1.2. Problemas específicos

¿Cuánta incidencia tiene el viento, granizo y sismo por el cual el comportamiento estructural tenga bajo desempeño en coberturas metálicas de losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024?

¿Cuál es el nivel de desempeño del comportamiento estructural de las coberturas metálicas tipo parabólicas en losas deportivas de las comunidades de Concacha y Saywite 2024 al ser sometidas a cargas de viento, granizo y acción sísmica?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

) Analizar el comportamiento estructural bajo cargas de viento, granizo y acciones sísmicas, en coberturas metálicas tipo parabólicas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.

2.2.2. Objetivos específicos

) Evaluar la incidencia del viento, granizo y sismo mediante el análisis estructural de las coberturas metálicas de losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.

) Evaluar el nivel de desempeño del comportamiento estructural de las coberturas metálicas tipo parabólicas de losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024, al ser sometidas a cargas de viento, granizo y acción sísmica.

2.3. Justificación e importancia

justificación

Actualmente no existen estudios locales que evalúen comportamiento estructural frente a la acción simultánea o combinada de cargas dinámicas como sismos, presiones de viento y acumulación de granizo, especialmente en comunidades altoandinas como Concacha y Saywite. La ausencia de este tipo de investigaciones provoca que los diseñadores, ingenieros o constructores rurales recurran a modelos generalistas o inaplicables, lo que conlleva consecuencias estructurales como pandeo de techos, desprendimientos o colapsos parciales, afectando la seguridad de los pobladores y la funcionalidad de los espacios construidos. El reciente colapso de estructuras en esta zona resalta la urgencia de identificar deficiencias y proponer mejoras en el diseño y la construcción desde un enfoque técnico, esta tesis se justifica al aplicar normativas internacionales, como la ANSI/AISC 360-16, que permiten evaluar el desempeño estructural bajo condiciones reales. Además, el uso de herramientas avanzadas como el software sap2000 asegura simulaciones confiables que respaldan decisiones técnicas y preventivas.

Importancia

La importancia de este estudio radicó en su impacto social, ya que estas coberturas suelen estar ubicadas en espacios educativos y comunitarios. Su estabilidad afecta directamente la seguridad de los usuarios, principalmente niños, jóvenes y adultos, reconociendo los riesgos de accidente por colapso de estructuras metálicas. Además, este análisis fomenta el desarrollo sostenible al promover diseños más eficientes. Las recomendaciones técnicas derivadas del estudio no solo fortalecerán la resiliencia estructural en Concacha y Saywite, sino que también servirán como modelo de alerta en otras comunidades con condiciones similares, contribuyendo a la prevención de futuros colapsos.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

) El Comportamiento estructural de coberturas metálicas tipo parabólicas tienen un

desempeño deficiente por inadecuada estructuración bajo cargas de viento, granizo y acción sísmica, en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

-) El comportamiento estructural presenta bajo desempeño debido a la incidencia de cargas de viento, granizo y sismo, en las coberturas metálicas de las losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.
-) Se cuentan con bajo nivel de desempeño del comportamiento estructural de las coberturas metálicas tipo parabólicas de losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024 al ser sometidas a cargas de viento, granizo y acción sísmica.

2.5. Variables

Variable independiente

Cargas externas (viento, granizo y acción sísmica)

Es independiente porque son parámetros de entrada, al variar estas cargas, se modificará la respuesta estructural, pero ellas mismas no cambian en función de esa respuesta. En el contexto del análisis estructural, la variable independiente corresponde a las acciones externas o solicitaciones que afectan a la estructura, determinadas por condiciones ambientales y fenómenos naturales.

Variable dependiente

Comportamiento estructural

Esta es la variable dependiente porque el valor resulta de la acción o modificación de la variable independiente, esta variable depende directamente de la magnitud y dirección de las cargas de viento, granizo y acción sísmica y se entiende como la respuesta mecánica global y local de la estructura frente a las acciones aplicadas, analizada a través de parámetros como desplazamientos máximos, deformaciones unitarias, tensiones internas, reacciones y demás.

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

Velásquez (2018), desarrolló un estudio aplicado orientado al diseño estructural de una cubierta metálica tipo parabólica destinada a una cancha comunitaria en Yaculoma, a una altitud de 2940 msnm. La investigación, de enfoque cuantitativo y aplicada, utilizó modelado estructural mediante el software ETABS, con base en los lineamientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015). El análisis incluyó diversas combinaciones de carga: carga viva de 60 kg/m², carga de viento estimada en 90 kg/m², y una carga combinada por granizo y ceniza volcánica de 50 kg/m². Además, la carga sísmica fue evaluada a través del método del cortante basal, obteniendo un valor aproximado de 12.4 kN. El sistema estructural propuesto consistió en un pórtico reticulado de forma parabólica, fabricado con acero A36 conformado en frío, logrando resultados favorables con desplazamientos inferiores a 1.25 cm, reacciones menores a 30 kN y márgenes de seguridad adecuados en los elementos estructurales. El proyecto también abarcó el diseño de cimentaciones y un sistema de anclaje completo. La propuesta demostró ser técnica y económicamente viable para comunidades rurales andinas, lo que convierte a este trabajo en un antecedente técnico directamente relacionado con el presente estudio.

Moreta (2024), desarrolló un proyecto técnico en la Universidad Técnica de Ambato enfocado en el diseño de una cubierta metálica de forma parabólica para proteger las canchas deportivas de la Unidad Educativa Bolívar. Este trabajo, de carácter práctico y con enfoque cuantitativo, aplicó herramientas especializadas como SAP2000 y siguió normas estructurales reconocidas a nivel nacional e internacional, como la NEC 2015, AISC 360-16, y ACI 318-14. La propuesta incluyó un análisis completo de cargas de viento, peso propio, granizo y actividad sísmica, utilizando para ello el método de elementos finitos. Entre los resultados destacados se identificaron desplazamientos máximos de 2.7 cm, un período de vibración estructural de 0.61

segundos y reacciones en los apoyos que alcanzaron los 38.6 kN, todos dentro de los rangos permitidos por la normativa. El estudio también contempló aspectos técnicos como el diseño de cimentaciones, uniones soldadas, placas base, así como la elaboración de planos, presupuesto y cronograma de ejecución. La elección de una geometría parabólica permitió una distribución eficiente de las cargas estructurales, adaptándose muy bien a las condiciones ambientales propias de zonas altoandinas.

Lozano (2019), en la Universidad Nacional de Trujillo presenta el diseño estructural de un techo parabólico metálico para el coliseo polideportivo ACUDESI. De tipo aplicada y cuantitativa, utilizó el método LRFD y el software SAP2000 para analizar cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas según la normativa E.030. Se obtuvieron resultados clave como reacciones máximas en apoyos de 33.1 kN, desplazamientos de hasta 1.4 cm y esfuerzos axiales en los arcos de ± 60 kN, lo que demuestra un comportamiento estructural estable y eficiente. Se seleccionaron perfiles angulares a tracción y tubos estructurales cuadrados para compresión, y se desarrollaron conexiones, arriostres y placas base. Finalmente, el diseño fue validado por su viabilidad técnica, económica y constructiva, posicionándose como una solución ideal para infraestructura deportiva en zonas sísmicas como Trujillo.

Amador et al. (2022), realizaron un estudio que comparó los valores de presión del viento establecidos por la normativa europea (Eurocódigo EN 1991-1-4) con los obtenidos mediante simulaciones por dinámica computacional de fluidos (CFD) y ensayos en túnel de viento, aplicados a cubiertas de naves industriales. Los resultados evidenciaron diferencias importantes: mientras que en las zonas centrales de los techos la normativa tiende a subestimar las presiones negativas hasta en un 25 %, en los bordes y esquinas las sobreestima ligeramente, con márgenes de entre 10 % y 15 %. En algunos puntos críticos se registraron presiones de succión de hasta -2.8, valor que no es captado con precisión por los métodos normativos convencionales. Aunque el estudio no aborda directamente las deformaciones estructurales, sí

resalta la importancia de considerar herramientas más avanzadas como el CFD para lograr diseños más seguros y ajustados a la realidad, sobre todo en regiones donde las condiciones de viento pueden representar un factor crítico.

Delgado et al. (2019), llevaron a cabo un artículo en el que compararon cómo actúa el viento sobre cubiertas planas y a dos aguas, utilizando tanto los métodos tradicionales del reglamento colombiano NSR-10 como simulaciones avanzadas con dinámica computacional de fluidos (CFD). A lo largo del análisis, observaron diferencias importantes entre ambos enfoques, especialmente en áreas críticas como las esquinas y bordes de los techos, donde las simulaciones mostraron presiones pico de hasta -2.8 kPa. Mientras tanto, en las zonas centrales, el método simplificado de la norma tendía a quedarse corto, subestimando las presiones negativas hasta en un 25 %, y en los bordes solía excederse entre un 10 % y 15 %. Aunque no se analizaron directamente las deformaciones estructurales, el estudio dejó claro que, en ciertos casos, es necesario complementar los cálculos normativos con herramientas más precisas como CFD, sobre todo cuando se trata de estructuras sensibles al viento.

Tineo (2022), en su investigación, comparó los desplazamientos laterales ejercidos por la acción del viento y del sismo en una nave industrial ubicada en la ciudad de Huamanga. Para el diseño y cálculo estructural se utilizaron los softwares SAP2000 y SAFE, basándose en normas internacionales como la AISC 360-16 y en normas peruanas como la E.020 para cargas, la E.030 para diseño sísmico y la E.060 para concreto armado. Los resultados de la investigación indicaron que los desplazamientos laterales producidos por el viento fueron mayores que los generados por el sismo, por lo que las fuerzas de viento se consideraron como el factor más crítico en el diseño estructural. En particular, la deriva elástica obtenida fue de 62.3 % para viento y 21.5 % para sismo.

Peralta (2023), realizó el análisis estructural de una cobertura metálica en la losa deportiva de la I.E. “Francisco Bolognesi Cervantes”, ubicada en Jaén, Cajamarca. Su

investigación tuvo un enfoque cualitativo y demostró el cumplimiento de las exigencias estructurales de la edificación. En su trabajo, el autor consideró factores de forma de ± 0.8 y -0.5 , y obtuvo valores de deriva de entrepiso de 0.0069 , los cuales están por debajo del límite de 0.010 exigido por la normativa. Esto evidenció que la edificación analizada garantiza la rigidez y estabilidad necesarias para la seguridad de los usuarios.

Huanqui (2022), presentó un trabajo realizando el análisis para cargas de gravedad, sismo y vientos en el diseño de una nave industrial en la ciudad de Lima, apoyándose con las bases legales del RNE, AISCN360-16 y E.090. Para este diseño se definieron cuatro efectos de las cargas de viento, usando coeficientes que señala la norma E.020 y combinando las cargas muertas y vivas para obtener los diagramas de momentos últimos, fuerzas de corte en el diseño por resistencia (LRFD) en sus conclusiones menciona que los tijerales fueron gobernados por la combinación de cargas últimas gravitacional ($1.2CM+1.6CV$), a su vez concluye mencionando que las cargas del viento son gobernadas en dirección longitudinal X, y en lado transversal Y por cargas de sismo.

Salas (2023), desarrolló un estudio en la Universidad Católica de Santa María en el que comparó dos tipos de estructuras metálicas: una de tipo parabólico y otra de alma llena, ambas diseñadas para cubrir un área de 2000 metros cuadrados en una empresa ladrillera en Arequipa. El objetivo fue evaluar cuál ofrecía un mejor desempeño estructural y económico frente a cargas como viento, sismo y peso propio. Utilizando herramientas como SAP2000 e IDEA Statica, y basándose en normas como la AISC 360 y el reglamento nacional E.030, el autor identificó que la estructura parabólica, aunque presentó un desplazamiento máximo ligeramente mayor (2.35 cm frente a 1.82 cm en el modelo de alma llena), ofrecía ventajas importantes en términos de peso y consumo de acero. De hecho, permitió una reducción del costo de materiales de hasta un 12.4% , sin comprometer la seguridad ni la funcionalidad del diseño.

Masciotti (2022), llevó a cabo el diseño estructural de una cubierta metálica parabólica destinada a proteger la losa deportiva ubicada en la zona de Cruz de Ate, en Lima. Este trabajo fue desarrollado en la Universidad Peruana Los Andes y se enfocó en brindar una solución técnica segura y funcional para espacios deportivos urbanos, aplicando las normas estructurales peruanas vigentes, como la E.020 (cargas), E.030 (sismo), E.050 (suelos) y E.090 (estructuras metálicas). Para la evaluación estructural se consideraron distintos escenarios de carga, como el peso propio de la estructura, la carga viva, la acción del viento y la actividad sísmica. Entre los resultados obtenidos destaca que el desplazamiento vertical máximo registrado fue de aproximadamente 2.52 cm, valor que se encuentra dentro de lo permitido por la normativa, lo que indica un comportamiento estructural estable. Asimismo, las reacciones en los apoyos llegaron a los 41.3 kN, sin que se presentaran deformaciones excesivas ni condiciones de pandeo.

Martínez (2020), realizó el diseño de una nave industrial concebida como almacén, considerando las condiciones de las zonas altoandinas del Perú, como la acción del viento y los sismos. Su investigación, de enfoque aplicado y descriptivo, fue desarrollada en la Universidad César Vallejo. Además, se identificó como un estudio de tipo aplicado que utilizó modelado estructural mediante el software SolidWorks. El autor propuso el uso de perfiles tubulares de acero y verificó su comportamiento frente a diversas cargas, aplicando normas nacionales. El diseño estructural arrojó un desplazamiento máximo de 12.4 mm, con tensiones y factores de seguridad que demostraron un rendimiento estructural estable y confiable.

Torres y Cieza (2018), en su investigación no experimental de tipo transversal, aplicaron el método LRFD en el análisis de estructuras con cobertura metálica, evaluando las cargas vivas, permanentes, de viento y sísmicas en distintos tipos de techos metálicos. Utilizaron una metodología no experimental, lo que implicó la recolección de datos en una losa multideportiva cuya muestra compartía características representativas de la población general.

El análisis fue realizado mediante el software SAP2000, obteniendo como resultado una deformación de derivas máxima en la dirección XX de 0.00532, valor que se encuentra por debajo del límite establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Los autores concluyen que SAP2000 permite verificar de manera eficiente los estándares definidos por la norma AISC-LRFD.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Comportamiento estructural

Masciotti Martínez, (2022) entiende del comportamiento estructural: como la respuesta que tiene la estructura al aplicar diferentes estados de carga. Dicho esto, lo mencionado también dependerá del tipo de estructuración ya que es la consideración que más afectara al buscar determinar el comportamiento en base a un análisis estructural. Alanoca Quenta et al, (2021) en su investigación señalan que el comportamiento estructural depende de varios factores como la estructuración, la distribución de esfuerzos, el control de deformaciones, la inercia en los cuerpos, el centro de gravedad y las propiedades del material, ya que son los factores más influyentes para tener resultados favorables como por ejemplo la ductilidad y tenacidad en el acero.

3.2.1. 1. Resistencia. Según Hibbeler (2017), la rigidez estructural es la capacidad de un sistema para resistir deformaciones cuando se le aplican cargas. Diversos factores y propiedades afectan esta rigidez, como el módulo de Young, que mide la resistencia de un material a la deformación elástica. Por ejemplo, el acero tiene un módulo de Young más alto que el caucho, lo que lo hace más rígido, ya que se deforma menos, bajo la misma carga.

a. Esfuerzos

Según Hibbeler, (2017), los esfuerzos internos en una estructura son las fuerzas que se generan dentro de sus elementos, cuando se aplican cargas externas. Estos esfuerzos son clave para comprender cómo la estructura distribuye y resiste las cargas, garantizando su estabilidad

y seguridad. Los esfuerzos internos se clasifican en tres tipos principales: compresión, tracción y corte. Estos dependen tanto de las fuerzas externas y las características del material utilizado

3.2.1.2. Estados límite del acero. Según Nathoo, (2017) los estados límite en los elementos de acero se dan cuando el elemento recibe esfuerzos por encima de lo previsto y este se llega a fallar, este estado límite verifica los estados antes de que ocurra el colapso. En otras palabras, el diseñar por estados límite es un proceso de diseño de la estructura para que esta no llegue a romperse y cumpla la función para la cual fue diseñada.

Deformación

a. Derivas

Los desplazamientos laterales relativos admisibles, conocidos como derivas, son los límites de deformación horizontal entre niveles que una estructura puede experimentar durante un sismo. En el caso de techos metálicos, la norma E.030 del RNE establece que la deriva máxima en diseños con acero no debe exceder el 0.010, para evitar daños estructurales y no estructurales importantes (MVCS, 2018).

b. Flecha

La flecha es el desplazamiento vertical que sufre una estructura como una viga o arco parabólico cuando se somete a cargas como el peso propio, el granizo o el viento. Este fenómeno se origina por la flexión normal del elemento ante cargas verticales. Se mide en proporción a la luz libre del elemento, en caso de techos es $(L/180)$. según la Norma E.020 del RNE, este control es importante para evitar hundimientos del techo que generen daños funcionales (MVCS, 2018).

c. Pandeo local y global

Según Hibbeler (2017), el pandeo local es una inestabilidad que tiene una porción pequeña de la estructura, se da cuando esta pequeña parte se deforma sin poner en riesgo necesariamente la estabilidad global de la estructura, puede suceder cuando se concentran las

cargas superando la estabilidad local de los elementos.

d. Combinaciones de carga en estructuras metálicas. La norma técnica de edificación E.090 (2020) de estructuras metálicas menciona que para la determinación de envolventes y fuerza últimas de diseño se utilizan las siguientes combinaciones:

- 1.4D
- $1.20D + 1.6L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $1.2D + 1.6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0.5L \text{ ó } 0.8W)$
- $1.2D + 1.3W + 0.5L + 0.5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R)$
- $1.2D \pm 1.0E + 0.50L + 0.2S$
- $0.9D \pm (1.3W \text{ ó } 1.0E)$

Donde:

D: Carga muerta

L: Carga viva

L_r: Carga viva de techo

W: Cargas de viento

E: Cargas sísmicas

S: Cargas de nieve

R: Cargas de lluvia o granizo

Casos de carga

Comb 1: 1.4 (PP+SCP)

Comb 2: $1.20 (PP+SCP) + 1.6CV + 0.5R$

Comb 3: $1.2 (PP+SCP) + 1.6L + 0.8W_1$

Comb 4: $1.2 (PP+SCP) + 1.6L + 0.8W_2$

Comb 5: $1.2 (PP+SCP) + 1.3W_1 + 0.5R$

Comb 6: $1.2 (PP+SCP) + 1.3W_2 + 0.5L$

Comb 7: $1.2 (PP+SCP) + 1.0 S_x + 0.3 S_y + 0.5L$

Comb 8: $1.2 (PP+SCP) + 1.0 S_y + 0.3 S_x + 0.5L$

Comb 9: $1.2 (PP+SCP) + 1.3 W_1$

Comb 10: $1.2 (PP+SCP) + 1.3 W_2$

Comb 11: $1.2 (PP+SCP) + 1.0 S_x + 0.3 S_y$

Comb 12: $1.2 (PP+SCP) + 1.0 S_y + 0.3 S_x$

D = PP + SCP Donde:

PP: Peso Propio

SCP: Sobrecarga Permanente

3.2.2. *Cargas externas*

Velásquez (2018), las cargas de viento, granizo y acción sísmica constituyen factores externos que influyen de forma directa en el diseño. Estas cargas actúan como variables independientes, ya que su origen proviene del entorno natural y su intensidad se determina mediante criterios normativos y características propias del clima afectando el comportamiento estructural.

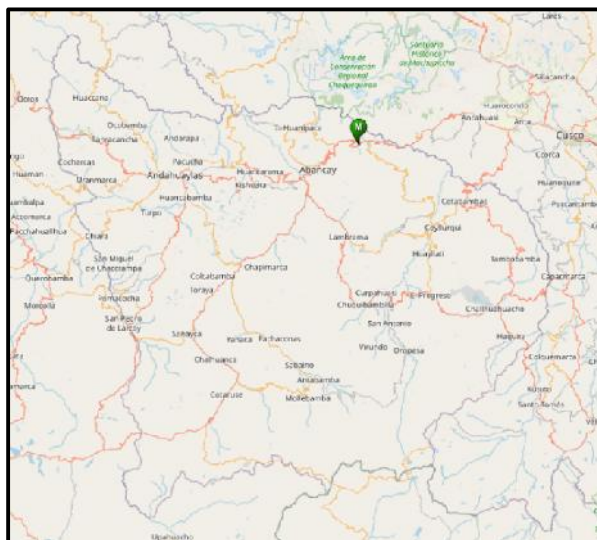
3.2.2.1. Viento. Según la Dirección General De Protección Civil (2020), los vientos son el resultado del movimiento de las masas de aire a nivel de la superficie terrestre. Este fenómeno se presenta en diversas formas y direcciones, dependiendo de las condiciones climáticas y geográficas. En general, las corrientes de aire pueden tener diferentes comportamientos: algunas ascienden hacia la atmósfera, mientras que otras descienden hacia la Tierra. Sin embargo, la mayoría de los vientos tienden a moverse de manera horizontal, desplazándose a lo largo de la superficie terrestre. Aunque no siempre es posible definir una dirección fija para los vientos en todos los casos, se suelen realizar simulaciones para analizar diferentes escenarios y así estimar su comportamiento.

a. Red de estaciones meteorológicas.

Algo muy importante que se debe mencionar del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), es que es una entidad estatal vinculada al Ministerio del Ambiente. La misión de esta es generar y difundir información confiable sobre las condiciones meteorológicas, hidrológicas y climáticas en todo el país. Entre sus actividades se encuentran la medición y análisis de variables atmosféricas y hídricas, así como la emisión de pronósticos y alertas que permiten anticipar fenómenos como vientos fuertes, granizadas, lluvias intensas o sequías. También realiza estudios de carácter climatológico a largo plazo, los cuales resultan clave para la gestión del territorio, la prevención de desastres y la adaptación frente al cambio climático. Esta información técnica es de gran valor para el sector de la ingeniería, ya que aporta datos precisos que facilitan el diseño estructural en zonas con alta exposición a riesgos naturales.

Figura 1

Estacion meteorologica en Abancay - Curahuasi



Nota. Estación meteorológica ubicada en Cuahuasi. Adaptado de datos de SENAMHI (2024).

Datos de estación: Curahuasi

) Departamento:	Apurímac
) Provincia:	Abancay
) Distrito:	Curahuasi
) Latitud:	13°33'9.4" S
) Longitud:	72°44'5.6" W
) Altitud:	2741 msnm

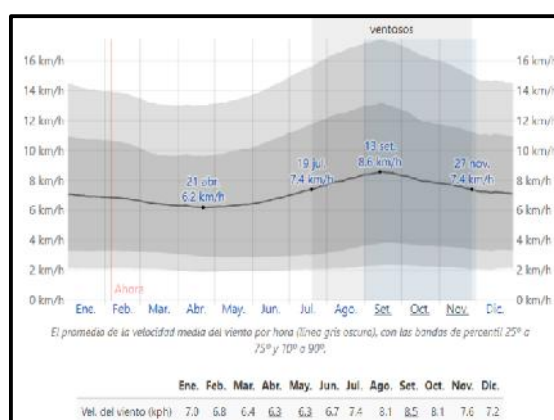
b. Climatología en Saywite - Curahuasi

Vientos en Saywite - Curahuasi

La velocidad y dirección del viento generalmente dependen de la ubicación topográfica local. En zonas como Curahuasi, estas variables presentan variaciones a lo largo del año. El período de mayor impacto del viento en esta zona dura aproximadamente cinco meses, desde julio hasta noviembre, con velocidades promedio superiores a 7.4 km/h. En septiembre, se registran promedios de hasta 8.5 km/h. (Weather Spark, 2024)

Figura 2

Velocidad promedio del viento en Saywite - Curahuasi



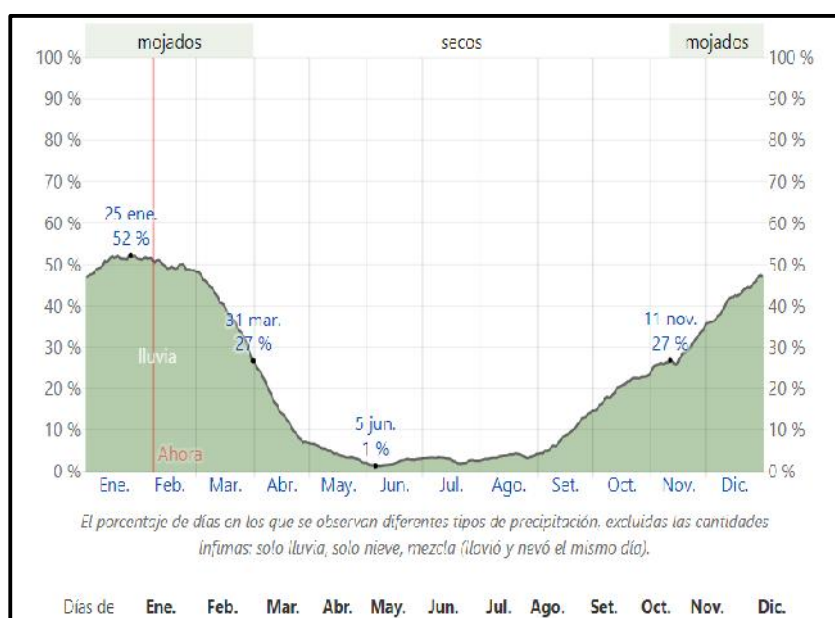
Nota. La figura muestra velocidades promedio de viento en Saywite - Curahuasi con velocidades máximas en septiembre. Fuente: Weather Spark (2024)

c. Precipitaciones en Saywite – Curahuasi

El periodo más húmedo debido a lluvias en Curahuasi dura casi 5 meses en los meses de noviembre hasta marzo con probabilidades de más del 27% de que lloverá en un determinado día, siendo así que el mes más mojado es enero, con promedios de 1 milímetro (mm) de precipitación. Esta temporada se distingue por presentar lluvias, algunas veces granizo y en otras las combinaciones de ambas. (Weather Spark, 2024)

Figura 3

Precipitaciones en Saywite - Curahuasi



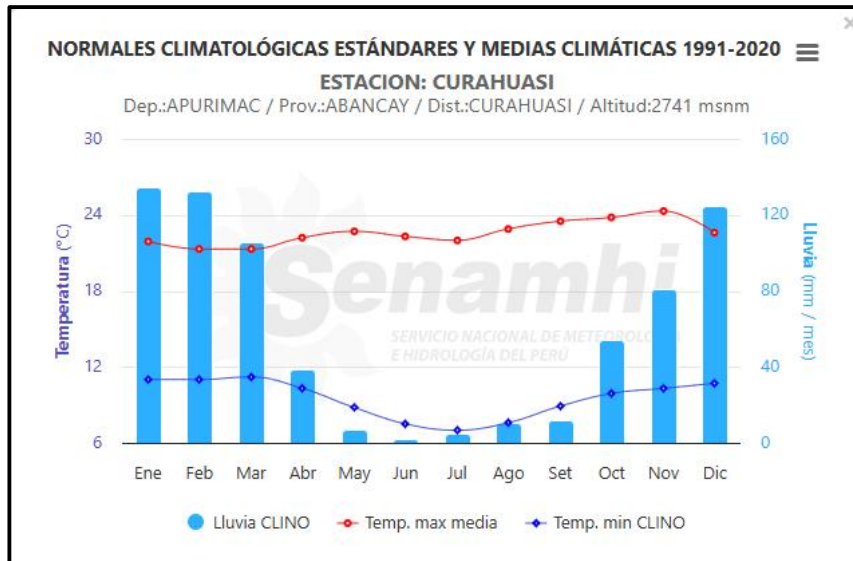
Nota. La figura muestra los porcentajes probabilísticos de precipitación en Saywite, Curahuasi. Fuente: Weather Spark (2024)

d. Normales climatológicos estándares – Curahuasi

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2024) considera a las comunidades de Curahuasi como una zona intermedia de la sierra, donde las nevadas no son frecuentes, aunque pueden presentarse en zonas de mayor altitud entre los meses de octubre y marzo.

Figura 4

Gráfico de estándares climatológicos



Nota. La figura muestra en gráfico las temporadas de más incidencia en precipitaciones climáticas de Curahuasi. Fuente: SENAMHI (2024).

e. Velocidad de diseño

Según la Norma Técnica E.020, la velocidad básica del viento que debe considerarse a una altura de 10 metros no debe ser menor de 75 km/h. Las cargas de viento calculadas pueden variar —siendo mayores o menores— dependiendo de la zona en la que se realice el análisis; sin embargo, para fines de diseño deben considerarse los valores iguales o superiores a los recomendados por la norma. La expresión matemática para determinar la velocidad del viento a una altura determinada está dada por:

$$V_h = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.2}$$

Donde:

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

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

h : es la altura sobre el terreno en metros

d. Cargas exteriores de viento

la acción que ejerce el viento se supone de manera estática y perpendicularmente al plano o superficie de cubierta. Su forma matemática está dada por:

$$P_h = 0.005(CV_h^2)$$

En el que:

P_h : presión o succión del viento a la altura h en kg/m

C : factor de forma adimensional .

V_h : velocidad de diseño a la altura h , en Km/h, definida en el Artículo 12

Tabla 1

Factores de forma interna (Cint)

Aberturas		
Uniforme en lados a barlovento y sotavento	Principales en lado barlovento	Principales en lado a sotavento o en los costados
± 0.3	+0.8	-0.6

Nota. Los valores mostrados aumentan o disminuyen el factor de forma total dependiendo a la cantidad de aberturas existentes. Fuente: (MVCS, 2018).

El artículo 24 de la normativa E.020 establece que el máximo desplazamiento lateral de una edificación debido a la fuerza del viento no debe superar el 1% de la altura total de la estructura. Este valor hace referencia a la cantidad de movimiento horizontal que una construcción puede experimentar ante las fuerzas generadas por los vientos, lo que es esencial para garantizar la estabilidad (MVCS, 2018).

Tabla 2*Factores de forma externa (C_{ex})*

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 -0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 -0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7 -0.3	-0.6
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

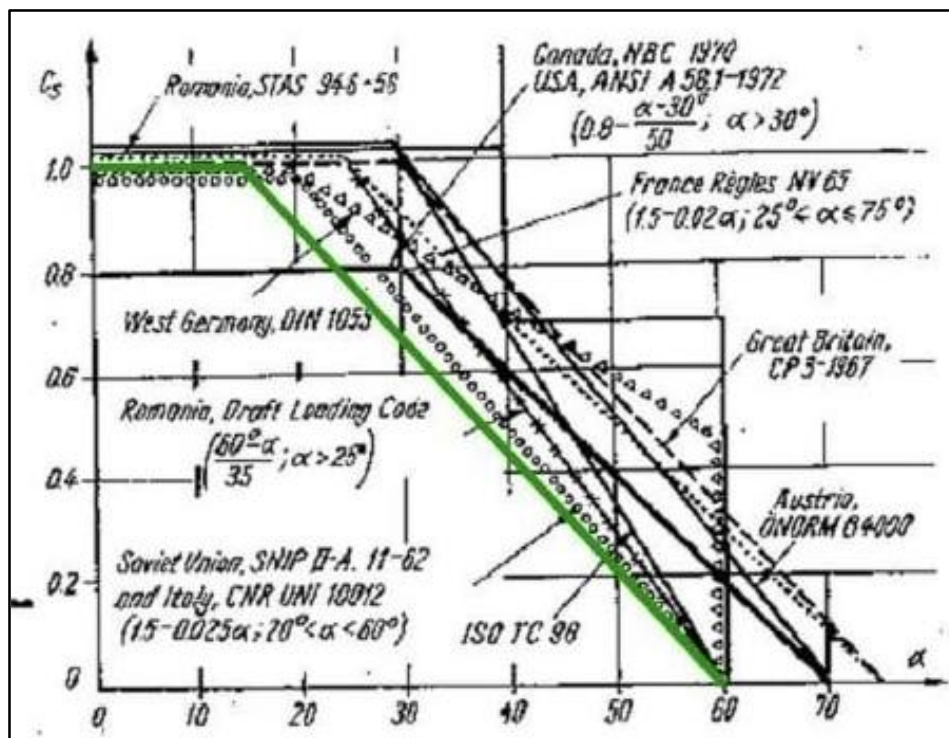
* El signo positivo indica presión y el negativo succión.

Nota. los valores mostrados se utilizarán para calcular la presión o succión del viento. Fuente: (MVCS, 2018).

3.2.2.2. Granizo. Muñoz (2020) afirma que los granos de granizo son las precipitaciones mismas, en formas irregulares de hielo. La norma E.020 (2006) menciona que se debe prestar atención a la inclinación de cubiertas en las zonas en las que se suscitan fenómenos como precipitaciones de granizo y esta puede ser considerada como carga viva debido a que solo ocurre en condiciones de clima muy desfavorable, y es por ello que deben ser diseñadas para resistir la propia estructura y a todos los elementos de cubierta que estén sometidos a la acción de cargas.

Figura 5

Modelo matemático para cargas de granizo



Nota. la figura muestra al modelo matemático para cargas de granizo. Fuente: Zambrana (2021).

Las ecuaciones que gobiernan el factor de corrección:

$$C_s = \begin{cases} 1; 0 \leq \alpha \leq 15 \\ \frac{60-\alpha}{45}; 15 < \alpha < 60 \\ 0; \alpha > 60 \end{cases}$$

Donde: C_s : factor de corrección por pendiente de cobertura

α : Angulo de cobertura (promedio en la cumbre de parábola 10°)

La aplicación para estas expresiones es la fórmula para cargas de granizo.

$$q_g = \gamma_g * e * C_s$$

q_g : Carga de granizo

γ_g : Peso específico de granizo (900 kg/m³)

e : Espesor de granizo en proyección horizontal según región (0.05m)

C_s : Factor de corrección por pendiente de cubierta

$$q_g = [900 * 0.02 * 1.00]$$

$$q_g = 18 \text{ k /m}^2$$

3.2.2.3. Sismo

Fuerza cortante de la estructura:

$$V = \frac{Z}{R} * P$$

Figura 6

Zonas sísmicas del Perú



Nota. La figura muestra el mapa sísmico del Perú, donde se proporciona el factor de zona para el cálculo de sismo estático y dinámico (MVCS, 2006).

Tipo de zona: 2: $Z=0.25$

Uso de la edificación: B (Edificación importante) : $U=1.30$

Factor de amplificación sísmica (C):

$T < T_p$ entonces $C = 2.5$

$T_p < T < T_L$ entonces $C = 2.5 \left[\frac{T_p}{T} \right]$

$$T > T_L \quad \text{entonces} \quad C = 2.5 \left[\frac{T_p + T_L}{T^2} \right]$$

T_p : 0.60 y T_L : 2.0 (**E.030**)

Por tanto:

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde

$C_T = 35$ y h_n es la altura de la edificación

El valor que toma C_T es tomada a partir de **E.030NTP cap.4.5** (diseños sismorresistentes), que se utiliza en edificios cuyos elementos resistentes a la dirección de su consideración sean (Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento).

$$M01 \rightarrow T = \frac{12.5}{35} = 0.36$$

$$M02 \rightarrow T = \frac{12}{35} = 0.34$$

$$M03 \rightarrow T = \frac{10.5}{35} = 0.30$$

El valor de T es menor a T_p : 0.60 por tanto C tendrá un valor de 2.5 para los tres casos.

Tipo de suelo

Se tomo el valor de S : 1.2 como suelo intermedio sacado de E.030NTP cap.2.4

Factor de reducción (R) = 6 (E.030)

$$V = \frac{Z}{R} * P$$

$$\frac{Z}{R} = \frac{0.2 * 2.3 * 2.5 * 1.2}{6} = 0.287$$

Factor estático X=0.287

Factor estático Y =0.287

3.3. Definición de términos

3.3.1. *Análisis estructural*

Michael Gere, (2004) describe al análisis estructural como la evaluación y cálculo del comportamiento de la estructura bajo diferentes estados de carga el objetivo de este, es asegurar que la edificación en cuestión sea segura, funcional y resistente a lo largo de su vida útil. Este análisis no solo abarca las cargas estáticas (como el peso propio y las cargas de uso), sino también las dinámicas, como las causadas por sismos o viento, determinar las fuerzas internas, momentos, deformaciones y desplazamientos en los elementos de una estructura. Este proceso también ayuda a los ingenieros con la verificación de si la estructura soportará de manera segura las fuerza a las que estarán sometida.

3.3.2. *Método LRFD*

Según Dussán et al, (2018) Es un método para diseñar estructuras muchas veces optado por países, latinos este consiste en precisar las cargas y momentos que existen en secciones más críticas de un elemento de la estructura, para ello se mayoran las cargas y se disminuyen las resistencias de diseño esto se da cuando multiplicamos por factores superiores o inferiores que la unidad es por ello que existen ventajas al usarla ya que toma los criterios en estado limite lo que proporciona márgenes de seguridad confiables en distintos estados y combinaciones de carga, para el entendimiento más adecuado de los modos de fallo, la expresión matemática con la que se describe es:

$$R_u \leq \phi R_n$$

Donde:

-) R_u : carga factorizada, que resulta de la adición de todas las cargas de servicio que resiste cada elemento.
-) R_n : resistencia nominal de los materiales
-) ϕ : Es el factor de resistencia dado por las especificaciones para cada estado límite.

3.3.3. *Modos de fallo*

Johnston (2015), en su libro *mecanica de materiales* describen los modos de fallo en estructuras, basandose en mecanismos de deformacion y colapsos debido a cargas excesivas, distribuciones inadecuadas de fuerza actuantes y la participacion de factores de fatiga y corrosion:

- Fallos por flexiones excesivas
- Fallos por pandeos en vigas parabólicas
- Fallos por fatigas y cargas cíclicas repetidas
- Fallos debido a las corrosiones en elementos de la estructura

3.3.4. *Análisis estático y dinámico*

Gere (2004), El análisis estático y el dinámico son dos enfoques utilizados para estudiar el comportamiento de una estructura bajo distintas condiciones de carga. El análisis estático se aplica cuando las cargas son constantes o cambian muy lentamente, sin considerar la variación de las cargas a lo largo del tiempo. Este análisis abarca cargas permanentes, como el peso propio de la estructura, las cargas muertas y las cargas vivas. En cambio, el análisis dinámico requiere resolver ecuaciones para comprender cómo las cargas temporales influirán en la edificación con el pasar de los años.

3.3.5. *Aceros*

Wiliian y Rethwisch (2019), el acero se compone principalmente de hierro combinado con una proporción limitada de carbono, cuyo porcentaje suele situarse entre el 0.02% y el 2.14% en masa. Además, pueden incorporarse otros elementos químicos como el manganeso, el silicio, el fósforo o el cromo, los cuales influyen directamente en sus características mecánicas y comportamiento físico. Gracias a la flexibilidad en su formulación, es posible generar diversas clases de acero, adaptadas a un amplio abanico de usos en el ámbito estructural e industrial.

Trebejo (2021), Reconoce al acero como un material de alta resistencia que son fabricados en frío y en caliente con propiedades de uniformidad, elasticidad, ductilidad y tenacidad. Los perfiles de acero pueden sustituirse con otros y es el material ideal para resistir esfuerzos de todo tipo ya que destaca por tener un comportamiento lineal elástico y una resistencia a la deformación plástica hasta la ruptura.

3.3.6. Acero A36

ASTM (2020), el acero A36 es un material estructural al carbono, regulado por la norma ASTM A36/A36M, reconocido por su bajo costo, fácil soldabilidad y buena maquinabilidad. Posee un límite elástico mínimo de 250 MPa (36 ksi) y una resistencia a la tracción entre 400 y 550 MPa, lo que lo hace adecuado para aplicaciones generales en construcción como vigas, columnas y placas base.

Tabla 3

Acero A36

Aspecto	Descripción
Nombre del material	Acero A36
Normativa	ASTM A36/A36M
Tipo	Acero estructural al carbono
Composición principal	Hierro (Fe) con bajo contenido de carbono (~0.26%), manganeso, fósforo y azufre
Límite elástico mínimo	250 MPa (36 ksi)
Resistencia a tracción	400–550 MPa (58–80 ksi)
Formas comerciales	Placas, láminas, perfiles (I, H, L, C), ocasionalmente tubos
Aplicaciones comunes	Vigas, columnas, placas base, estructuras metálicas generales

Nota. la figura muestra características importantes del tipo de acero en los modelos estudiados, por ASTM, (2020).

Acero A 500

ASTM, (2020) El acero tipo A500 es un material estructural muy utilizado en el sector de la construcción. Se fabrica principalmente en forma de perfiles tubulares huecos (conocidos como HSS), y se emplea para crear estructuras como columnas, vigas y marcos metálicos. Esta clase de acero está regulada por la norma ASTM A500, la cual establece los requisitos para tubos estructurales soldados o sin costura, de sección redonda, cuadrada o rectangular.

Tabla 4

Acero A500

Elemento	Contenido reformulado
Designación	Acero estructural A500 según especificación ASTM
Clasificación	Acero conformado en frío para secciones estructurales huecas
Constitución química	Aleación de hierro con bajo porcentaje de carbono y presencia opcional de elementos como Mn, Cu o P
Tipos o grados	Grados A, B, C y D; predominan los Grados B y C en el uso estructural
Límite elástico	Desde 230 MPa (Grado A), 315 MPa (Grado B), 345 MPa (Grado C)
Resistencia a tracción	Alcanza entre 400 y 450 MPa en resistencia a la tracción
Propiedades destacadas	Presenta excelente capacidad de soldadura, gran resistencia estructural y buena precisión dimensional
Formas disponibles	Tubos de sección hueca: circular, cuadrada y rectangular
Usos frecuentes	Ideal para columnas, pórticos metálicos, postes, barandales y estructuras arquitectónicas

Nota. La figura muestra características importantes del tipo de acero en los modelos estudiados, por ASTM, (2020)

3.3.7. Acero A53

ASTM, (2020) El acero A53 en su Grado B es una tubería de acero al carbono empleada

principalmente en el transporte de fluidos como agua, aire, vapor o gas, así como en sistemas sometidos a presión. Se fabrica tanto en versión soldada como sin costura, y destaca por su resistencia moderada, con un límite elástico de aproximadamente 240 MPa y una resistencia a la tracción cercana a 415 MPa. Aunque ocasionalmente se usa en estructuras, su aplicación más adecuada es en instalaciones mecánicas e industriales. Para proyectos estructurales más exigentes, se prefiere el acero A500, ya que proporciona mayor capacidad de carga y precisión dimensional. Este tipo de tubería está disponible en distintos tamaños y espesores, como la medida estándar de 6 pulgadas con Schedule 40.

Tabla 5

Acero A53

Característica	Detalle
Norma	ASTM A53 / A53M
Grado	B
Tipo de fabricación	Tipo S (sin costura) / Tipo E (soldado eléctricamente)
Resistencia a la fluencia (Fy)	240 MPa (35 ksi)
Resistencia a la tracción (Fu)	415 MPa (60 ksi)
Aplicaciones comunes	Tuberías industriales, líneas de servicios, sistemas contra incendios
Formato típico	Diámetros nominales (NPS) y Schedule (Sch) 10, 40, 80, etc.
Comparación estructural	Menor resistencia y tolerancia que el acero A500

Nota: La figura muestra características importantes del tipo de acero en los modelos estudiados, por ASTM, (2020)

3.3.8. Elasticidad y Plasticidad

Timoshenko y Goodier, (2019) Definen a la elasticidad como la propiedad de los

materiales a la recuperacion de su forma inicial, una vez retirada la fuerza o la carga que provoco la deformacion, este comportamiento se debe cumplir cuando las deformaciones no excedan los limites criticos, mas conocido como el limite de elasticidad en el acero que tiene un rango de deformacion relativamente amplio.

3.3.9. Cargas

Según la norma E.020 (2006), las cargas comprenden las fuerzas y otras acciones originadas por diversos factores, como el peso de los materiales de construcción empleados en la edificación, así como el peso de los ocupantes y sus pertenencias. También se consideran los efectos ambientales, como el viento, las variaciones de temperatura, la humedad y otros fenómenos del entorno que pueden afectar la estructura.

3.3.10. Cargas Vivas

según la norma E.020 (2006), Son cargas de carácter temporal, móvil o dinámico que adicionan peso a la estructura, entre ellas están el peso de personas, objetos, las cargas de viento, granizo, además menciona también que las cargas por sismo también forman parte de esta clasificación.

3.3.11. Cargas Muertas

Según Masciotti Martinez, (2022) son las cargas de carácter inamovible que permanecen durante la vida útil de la estructura, entre ellas está el propio peso de cada elemento conformante de la edificación, existen también valores que proporcionan las normativas de cada país, sin embargo, si se quiere tener valores más exactos y aproximados a la realidad observable esto requiere de un proceso de metrado de cargas. (p.46)

3.3.12. Cargas de Sismo

Las cargas sísmicas deben ser siempre tomadas en cuenta durante el proceso de diseño de estructuras. La norma E.030 (2006) está de acuerdo con que la resistencia lateral de las edificaciones son solo la fracción de la resistencia que se requiere para garantizar el

comportamiento elástico óptimo en sismos donde la estructura debe ser capaz de soportar y disipar adecuadamente la energía sísmica, pero sin comprometer su integridad, permitiendo que regrese a su estado inicial sin deformaciones permanentes.

3.3.13. Métodos de diseño AISC

ANSI/AISC, (2005) Es una organización reconocida internacionalmente en las áreas de diseño y construcción con acero, esta establece parámetros, requisitos y recomendaciones para el correcto diseño, otorga recursos, desarrolla normas, elabora estándares y capacita profesionales relacionados al área constructiva con acero.

3.3.14. SAP2000

SAP2000 es un programa muy utilizado en la ingeniería estructural, ya que permite diseñar y analizar distintos tipos de estructuras, como edificios, puentes o techos metálicos. El software se basa el método de elementos finitos para simular el comportamiento estructural ante diversas cargas, incluyendo viento, nieve, sismos y peso propio. Además, destaca por su interfaz amigable y su capacidad para correr modelados 3D, análisis estructural y diseño conforme a normativas internacionales (Computers and Structures, Inc., 2023).

3.3.15. Factor de carga

Según Hibbeler (2017), el factor de carga es un valor multiplicador que tiene en cuenta la incertidumbre en la estimación de las cargas reales y las propiedades de los materiales. Por lo tanto, proporciona un margen de seguridad adicional en el diseño estructural, garantizando que el sistema pueda resistir algunas cargas que no fuesen consideradas.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación.

Tipo de investigación

Aplicada

Muntané Relat, (2010) La investigación es también conocida como la investigación practica porque no busca entender principios fundamentales de la mecánica estructural debido a que eso ya es conocimiento básico existente. Su objetivo es determinar el comportamiento de una estructura específica cubiertas metálicas parabólicas ante amenazas específicas (viento, granizo, sismo) para un lugar específico, Concacha y Saywite, 2024 y también porque es una solución a un problema de ingeniería local.

Nivel de investigación

Descriptivo

Según Hernández y Mendoza (2018), una investigación tiene un nivel descriptivo con enfoque cuantitativo cuando se especifican características del fenómeno, a la vez se define y mide las variables, mostrando el ángulo y dimensión del problema. La presente investigación tiene entonces un nivel descriptivo en la ruta cuantitativa porque se recopila información cuantificable y medible en las muestras, a la vez se toma diversos datos meteorológicos para describir la situación del contexto estudiado.

4.2. Ámbito temporal y espacial

Temporal

La presente tesis se realizó en los meses de abril del 2024 hasta inicios de diciembre del 2024. Siendo los meses de abril hasta junio la toma de muestras en las comunidades de Concacha y Saywite, de junio hasta fines de agosto la modelación de estructuras tomadas en campo, en el mes de septiembre hasta diciembre se culminó y se procedió a la entrega del trabajo final.

Espacial

la presente tesis tuvo como lugar de estudio, las comunidades Concacha y Saywite pertenecientes al distrito de Curahuasi, de la provincia de Abancay – Apurímac. Saywite es la ubicación donde se reporta el último incidente de colapso en este tipo de estructura, siendo esta tomada como primera muestra y Concacha es la comunidad vecina donde se encuentran las muestras de las cubiertas metálicas en la IE. Víctor Acosta Ríos y la IE. Qori Wayna.

Figura 7

Referencia de ubicación google maps



Nota. La figura muestra la ubicación en lugar de estudio de las comunidades de Concacha y Saywite, situado a 3536 metros sobre el nivel del mar (msnm). Fuente: (google maps).

4.3. Población y muestra

Población

La población para esta tesis fueron 3 cubiertas metálicas en losas deportivas de los centros poblados de Concacha y Saywite, donde la cubierta M01 considerada en la tesis colapsó en el año 2023, así mismo en la comunidad vecina Concacha, se contó con dos cubiertas en dos instituciones, debido a las considerables dimensiones, se tomaron como muestra las cubiertas M02 y M03 detalladas en el siguiente ítem.

Muestra

Muestra 01 - Cobertura colapsada en San Luis – Saywite (M - 01)

Figura 8

Cobertura colapsada en San Luis – Saywite (M01)



Nota: la figura mostrada es una foto post-colapso a causa de cargas de granizo según los medios de la estructura estudiada, por Chaski, (2023)

La cubierta identificada como M-01 corresponde a una instalación que actualmente se encuentra fuera de operación desde el año 2023. En el presente trabajo se expone el análisis de dicha estructura, con base a datos recopilados durante su etapa operativa, con el propósito de

comprender su comportamiento estructural general y revisar aspectos técnicos relacionados con su diseño. Esta evaluación se desarrolla bajo el marco normativo de la LRFD (Load and Resistance Factor Design), haciendo énfasis en los capítulos que abordan el diseño de miembros sometidos a flexión y compresión, torsión y corte. El análisis tiene como finalidad identificar criterios normativos y estructurales relevantes, sin emitir en esta etapa juicios concluyentes sobre su desempeño o las causas específicas de su colapso.

Cubierta N-01. (IE. SECUNDARIA DE SAYWITE)

) Ubicación	: San Luis - Saywite
) Longitud	: 38.76 metros
) Ancho	: 36.30 metros
) Alto	: 12 metros + 0.5 metros de pedestal

Elementos y perfiles

Cercha parabólica

) Brida superior	:60x40x2mm
) Brida inferior	: 60x40x2mm
) Diagonales	:25x25x1.8mm
) Montantes	:40x40x2mm
) Correas	:60x40x2mm
) Columnas	:2(150x50x2.5mm) +1(100x50x3mm)
) Cable tensor:	: NO TIENE

Cercha de vigas de arriostre

) Brida superior	:60x40x2mm
) Brida inferior	: 60x40x2mm
) Diagonales	:25x25x2mm
) Montantes	:40x40x2mm

) Planchas de unión :0.35x0.30xe1/2”

Muestra 02 - Cobertura IES Víctor Acosta Ríos – Saywite (M - 02)

La cubierta identificada como M-02 corresponde a una edificación que hasta la fecha del el 2024 se encuentra en operación. En el presente trabajo se expone el análisis de dicha estructura, con base a datos recopilados in situ, con el propósito de comprender su comportamiento estructural general y revisar aspectos técnicos relacionados con su diseño. Esta evaluación se desarrolla bajo el marco normativo de la LRFD (Load and Resistance Factor Design), haciendo énfasis en los capítulos que abordan el diseño de miembros sometidos a flexión y compresión, torción y corte.

Figura 9

Cobertura en Concacha IES Víctor Acosta Ríos (M02)



Nota. la figura muestra la medición realizada con estación total en la institución Víctor Víctor Acosta Ríos de Concacha, algunas mediciones también fueron realizadas con cinta métrica.

Cubierta N-02 (IES. VÍCTOR ACOSTA RÍOS -CONCACHA)

- **Ubicación** : Concacha
- **Longitud** : 40 metros
- **Ancho** : 24 metros
- **Alto** : 10 metros +0.50 metros de pedestal

Elementos y perfiles**Cercha parabólica**

-) Brida superior : 100x50x2mm
-) Brida inferior : 100x50x2mm
-) Diagonales : 40x40x2mm
-) Montantes : 100x50x2mm
-) Correas : 60x40x2mm
-) Columnas : Circular 6" SCH40
-) Cable tensor: : NO

Cercha de vigas de arriostre

-) Brida superior :40x40x1.8mm
-) Brida inferior :40x40x1.8mm
-) Diagonales :40x40x1.8mm
-) Montantes :40x40x1.8mm
-) Planchas de unión :0.30x0.30xe1/2"

Muestra 03 - Cobertura IE. Qori Wayna -Concacha – Saywite (M - 03)

La cubierta identificada como M-03 corresponde a una instalación que hasta la fecha del 2024 se encuentra en operación. En el presente trabajo se expone el análisis de dicha estructura, con base a datos recopilados in situ, con el propósito de comprender su comportamiento estructural general y revisar aspectos técnicos relacionados con su diseño.

Esta evaluación se desarrolla bajo el marco normativo de la LRFD (Load and Resistance Factor Design), haciendo énfasis en los capítulos que abordan el diseño de miembros sometidos a flexión y compresión, torsión y corte.

Figura 10

Cobertura de IE. Qori Wayna - Concacha (M03)



Nota. La figura muestra al tesista con equipo de medición estación total en el lugar de estudio

Cubierta N-03 (IE. QORI WAYNA -CONCACHA)

) Ubicación	: Concacha
) Longitud	: 30 metros
) Ancho	: 22.30 metros
) Alto	: 11.5 metros + 0.5 metro de pedestal

Elementos y perfiles**Cercha parabólica**

) Brida superior	:100x50x2mm
) Brida inferior	:100x50x2mm
) Diagonales	:50x50x2mm
) Montantes	:100x50x2mm
) Correas	:60x40x2mm
) Columnas	: Circular 6" SCH40
) Cable tensor:	: Cable tensor de 3/8"

Cercha de vigas de arriostre

) Brida superior	:40x40x1.8mm
) Brida inferior	:40x40x1.8mm
) Diagonales	:25x25x1.8mm
) Montantes	:40x40x1.8mm
) Planchas de unión	: 0.30x0.30xe1/2"

Muestreo

El muestreo es de tipo no probabilístico por conveniencia por tener al ejemplar disponible, a este método también se le conoce como el método basado en sujetos disponibles, Muguira (2017). Los ejemplares en la tesis fueron 3 cubiertas de losas deportiva ubicadas en Concacha – Saywite, considerada también como muestra adicional el techo colapsado en el centro poblado vecino San Luis - Saywite.

Técnica e instrumentos

Técnicas de Recolección de Datos

La técnica que se usará para recolectar la información necesaria, será la observación, ya que posibilita la acumulación de datos para el modelado y análisis estructural de la infraestructura de la losa deportiva en estudio.

Instrumentos de recolección de datos

Estación total

La estación total es el instrumento que se usó para la medición de elementos de la estructura metálica, generalmente se usa en topografía y la construcción debido a que este, tiene integrado las funciones del teodolito para la medición de ángulos y distanciómetro para la medición de distancias, así mismo se puede establecer puntos directos para una medición de distancias en base a dos puntos, sin la necesidad de hacer un levantamiento y es este mismo método que se usó en el presente trabajo.

Wincha

La wincha de mano es un tipo de cinta métrica de acero de fácil manipulación y portable para cualquier tipo de situación en la que se requiera una medición, este instrumento consta de marcas a escala de medida con unidades centimetradas y milimétricas, para el caso del trabajo esta se utilizó para corroborar medidas en elementos de fácil acceso.

Flexómetro

También se le conoce como cinta métrica por tener un material flexible y de fácil enrollado y es también un instrumento muy utilizado en muchas áreas donde se requiera medir distancias, para el presente trabajo se utilizó para la corroboración de distancias en los elementos de la estructura.

Procedimientos.

Planificación de recolección de datos en los centros poblados Saywite y Concacha.

La planificación incluyó una cuidadosa coordinación previa a la recolección de muestras en las comunidades de Saywite y Concacha. Este proceso de organización resultó ser un componente esencial para asegurar la disponibilidad de los equipos necesarios, como la estación total, la wincha y otros instrumentos técnicos. Además, permitió garantizar la colaboración del personal de apoyo, cuyo aporte fue crucial para llevar a cabo las actividades de manera eficiente y efectiva. La planificación no solo abarcó la logística de los recursos materiales, sino que también facilitó la asignación adecuada de responsabilidades y la sincronización de las tareas, asegurando el éxito.

Utilización de instrumentos de recolección de datos

Se empleó el equipo de estación total para realizar las mediciones de precisión, utilizando dos puntos de referencia establecidos en los elementos de cobertura metálica ubicados en las comunidades de Saywite y Concacha. El objetivo principal de esta acción fue generar croquis detallados y precisos, basados en medidas reales de las cubiertas metálicas de las estructuras. Además, se utilizó un flexómetro para tomar las medidas horizontales en las secciones más bajas de las construcciones. Este proceso permitió obtener datos exactos y específicos, facilitando la creación de representaciones gráficas fieles a las dimensiones reales, lo que resultó esencial para el análisis posterior de las cubiertas y la planificación de posibles intervenciones. La combinación de estos métodos de medición proporcionó una base sólida

para la elaboración de informes técnicos y la toma de decisiones en el presente trabajo.

Validación de medidas según planos

La validación de medidas según planos es un proceso fundamental en cualquier proyecto técnico, ya que asegura que las dimensiones obtenidas en el campo coinciden con las especificaciones y referencias proporcionadas en los planos originales o de diseño. En este contexto, las mediciones realizadas con la estación total y el flexómetro en las comunidades de Saywite y Concacha fueron comparadas con los planos previos para verificar la exactitud de las cubiertas metálicas y las estructuras de las construcciones, al utilizar la estación total, se logró obtener mediciones, que fueron cruzadas con las dimensiones previstas en los planos.

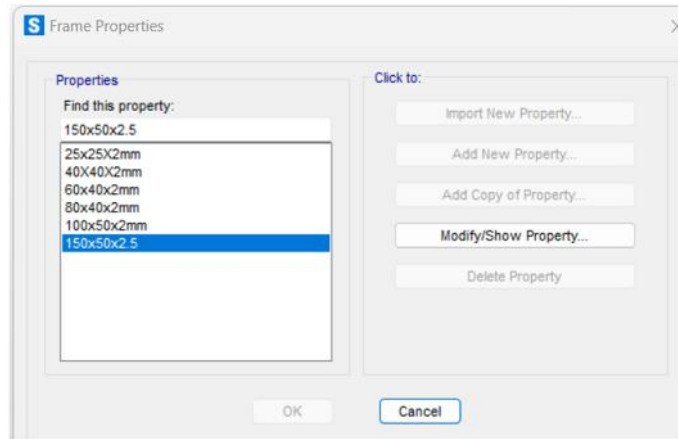
Procesamiento de datos en gabinete

El proceso incluyó la inserción y modelación detallada de los datos obtenidos en el campo en el software Sap2000, una herramienta avanzada de modelado y análisis estructural. A partir de las mediciones realizadas con la estación total y el flexómetro en las comunidades de Saywite y Concacha, se registraron las dimensiones precisas de las cubiertas metálicas y las estructuras. Estos datos fueron cuidadosamente introducidos en el sistema para crear un modelo tridimensional representativo de las condiciones. Una vez incorporados los datos, se procedió a verificar y analizar el comportamiento de las estructuras bajo diversas condiciones de carga, proporcionando una visión detallada de su resistencia y estabilidad. Este análisis es fundamental para identificar posibles debilidades o fallos en el diseño original, así como para verificar las dimensiones y configuraciones de la edificación.

Introducción de propiedades de elementos frame.

Figura 11

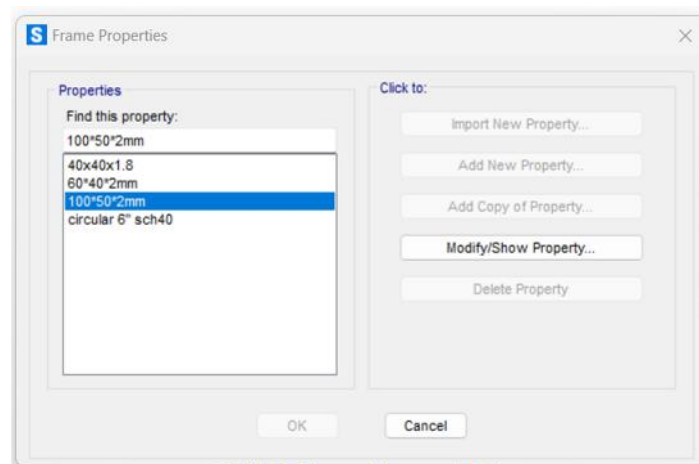
Secciones de elementos frame M01.



Nota. La figura muestra configuración básica de elementos utilizados en la edificación M01.

Figura 12.

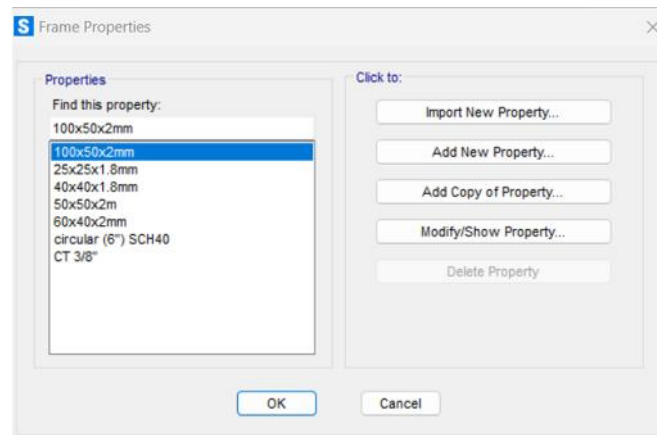
Secciones de elementos frame M02



Nota. La figura muestra configuración básica de elementos utilizados en la edificación M02.

Figura 13

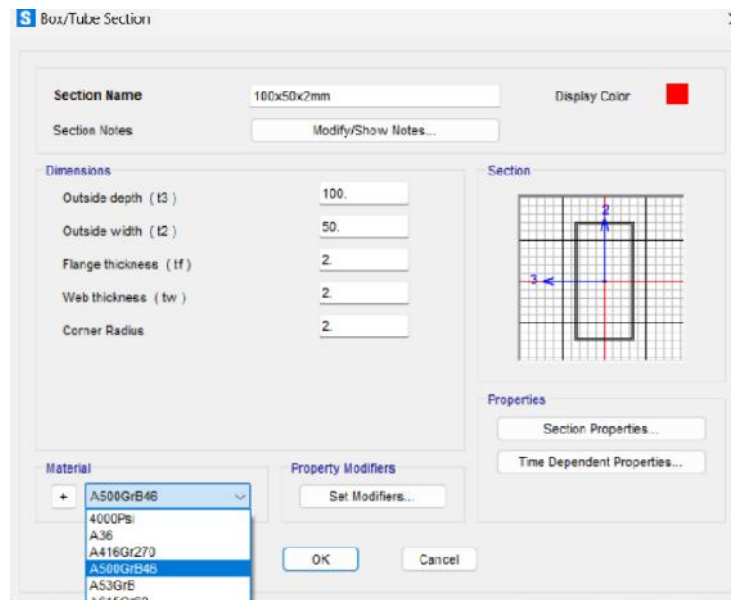
Secciones de elementos frame M03



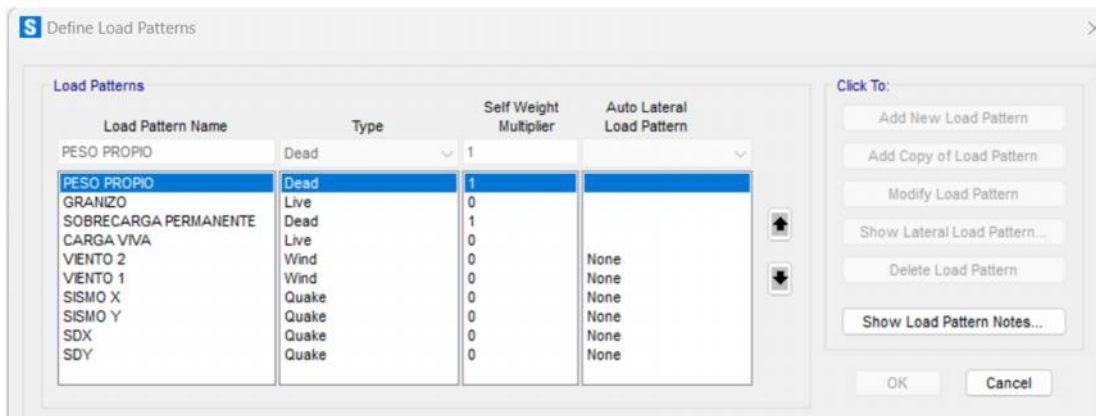
Nota. La figura muestra configuración básica de elementos utilizados en la edificación M02

Figura 14

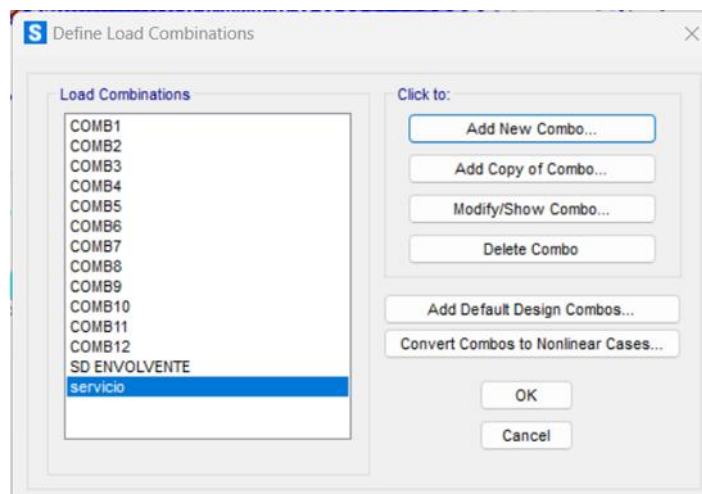
Configuración de tipo de acero y dimensiones de elemento



Nota. La figura muestra configuración secciones y tipo de acero según parametros y tipos de perfil

Figura 15*Definición de patrones de carga*

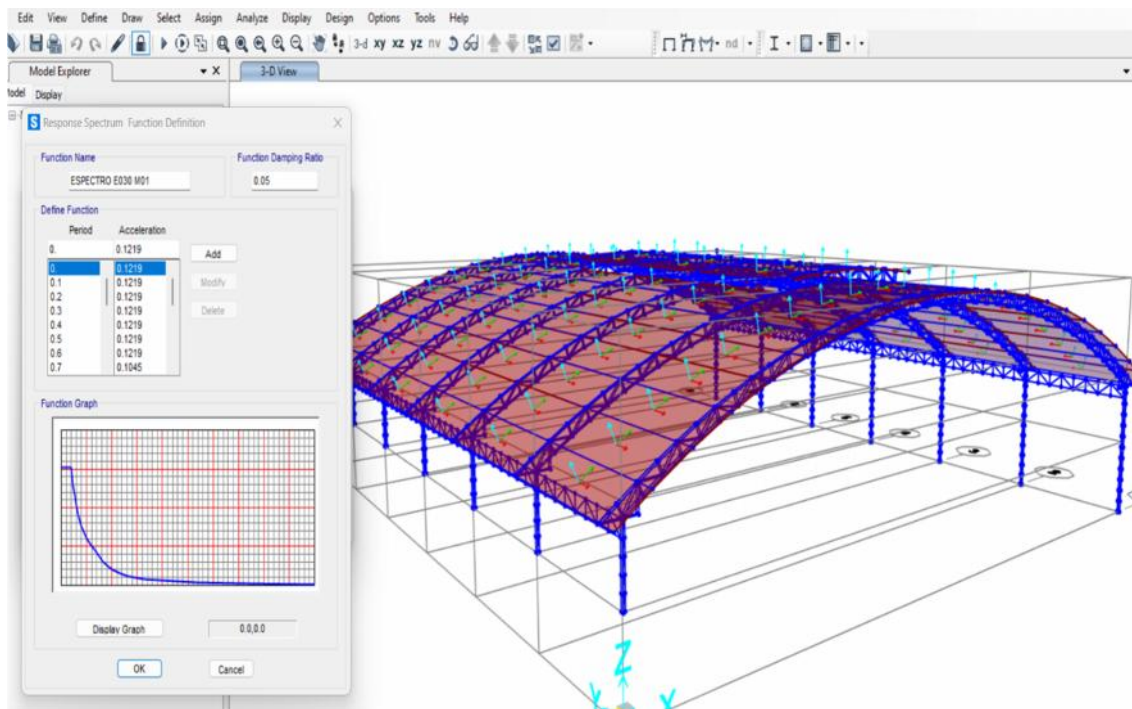
Nota. La figura muestra configuración de patrones de carga para las tres edificaciones

Figura 16*Configuración de combinaciones de carga*

Nota. La figura muestra configuración de combinaciones de carga para las tres edificaciones

Figura 17

Configuración para el espectro sísmico M01



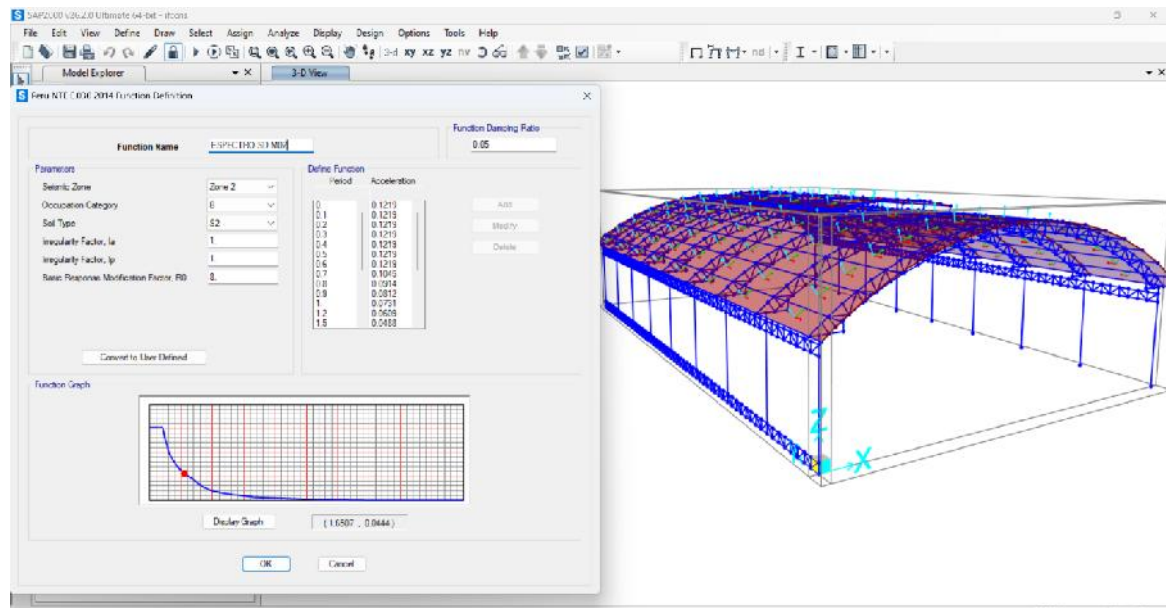
Nota. La figura muestra configuración de espectro sísmico de M01, este procedimiento es igual para las otras coberturas en el estudio.

En el espectro sísmico de M02 corresponde a una condición de alta amplificación sísmica. Se consideró una estructura regular y un sistema estructural dúctil de acero ($R = 8$). El espectro fue definido en SAP2000 mediante una función personalizada, obteniéndose una curva que presenta los máximos valores de aceleración espectral en periodos cortos.

El gráfico muestra la aceleración espectral (Y) frente al periodo estructural (X). Se observa una curva que disminuye rápidamente en la zona de periodos cortos, característica de estructuras ligeras y flexibles, como cubiertas metálicas parabólicas. Este tipo de estructuras suele tener periodos bajos (< 1 s), por lo que la parte más crítica del espectro es la inicial (zona de aceleración máxima constante).

Figura 18

Configuración para el espectro sísmico M02



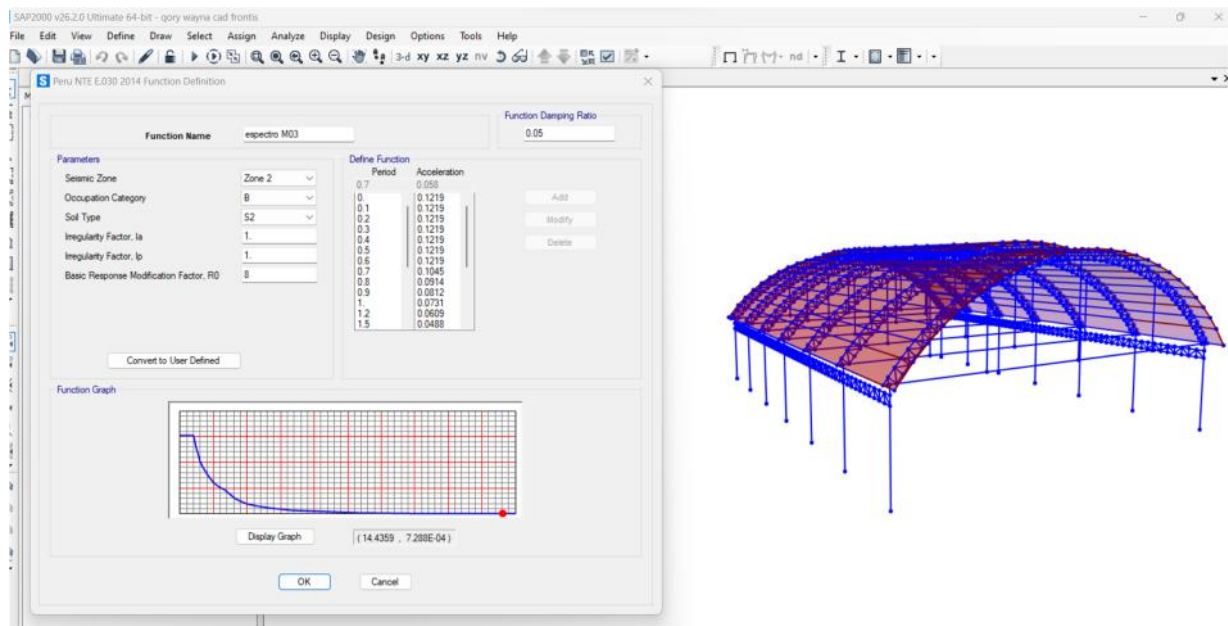
Nota. La figura muestra configuración de espectro sísmico de M02, este procedimiento es igual para las otras coberturas en el estudio.

Para el análisis sísmico de la estructura metálica de cubierta parabólica, se empleó un espectro de diseño basado en la NTP E.030-2014. Se seleccionó la Zona Sísmica 2 con suelo tipo S2, correspondiente a una condición de alta amplificación sísmica. Se consideró una estructura regular ($I_a = 1$, $I_b = 1$) y un sistema estructural dúctil de acero ($R = 8$). El espectro fue definido en SAP2000 mediante una función personalizada, obteniéndose una curva que presenta los máximos valores de aceleración espectral en periodos cortos.

Se han definido valores puntuales de aceleración espectral para periodos desde 0.0 hasta 15 segundos. Los valores de aceleración comienzan altos y decaen con el aumento del periodo. Por ejemplo, para $T = 0.1$ s, la aceleración es aproximadamente 0.1219 g. Esto indica que la estructura responde con una fuerza sísmica moderada en la zona de mayor demanda espectral.

Figura 19

Configuración para el espectro sísmico M02

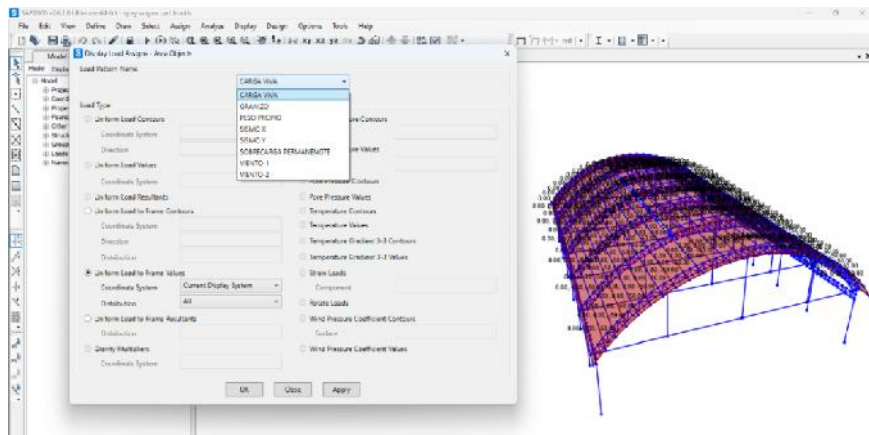


Nota. La figura muestra configuración de espectro sísmico de M03, este procedimiento es igual para las otras coberturas en el estudio.

Para el análisis sísmico de la estructura metálica M03, se empleó un espectro de diseño basado en la NTP E.030-2014. Se seleccionó la Zona Sísmica 2 con suelo tipo S1, correspondiente a una condición de alta amplificación sísmica. Se consideró una estructura regular ($I_a = 1$, $I_b = 1$) y un sistema estructural dúctil de acero ($R = 8$). El espectro fue definido en SAP2000 mediante una función personalizada, obteniéndose una curva que presenta los máximos valores de aceleración espectral en periodos cortos. Se han definido valores puntuales de aceleración espectral para periodos desde 0.0 hasta 1.5 segundos. Los valores de aceleración comienzan altos y decaen con el aumento del periodo. Por ejemplo, para $T = 0.1$ s, la aceleración es aproximadamente 0.1219 g. Esto indica que la estructura responde con una fuerza sísmica moderada en la zona de mayor demanda espectral.

Figura 20

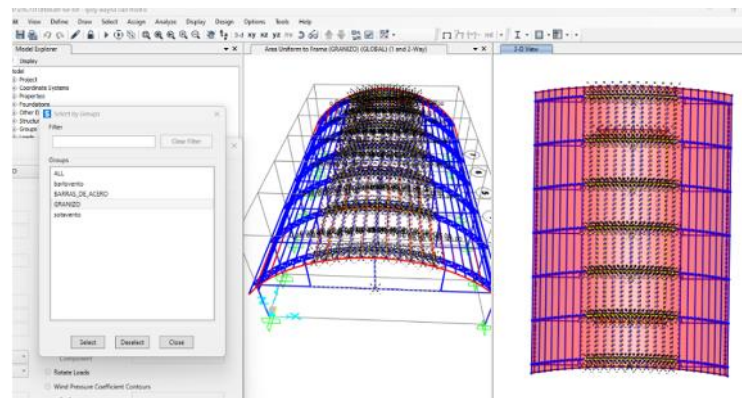
Introducción de carga viva en toda la cubierta para M01, M02, M03.



Nota. La figura muestra Introducción de carga viva en toda la cubierta con un valor de 50 kg/m^2 , según norma E020, este procedimiento es igual para las otras coberturas en el estudio.

Figura 21

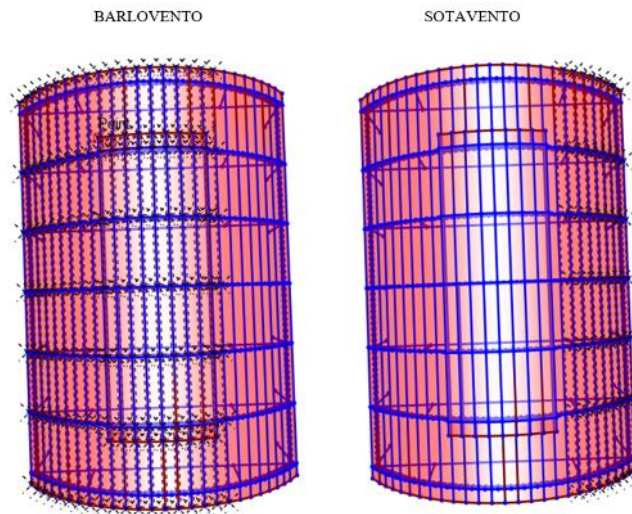
Introducción de carga de granizo en la cumbre de la cubierta M01,M02,M03.



Nota. La figura muestra Introducción de carga de granizo en la cumbre de la cubierta con un valor de 18 kg/m^2 , este procedimiento es igual para las otras coberturas en el estudio.

Figura 22

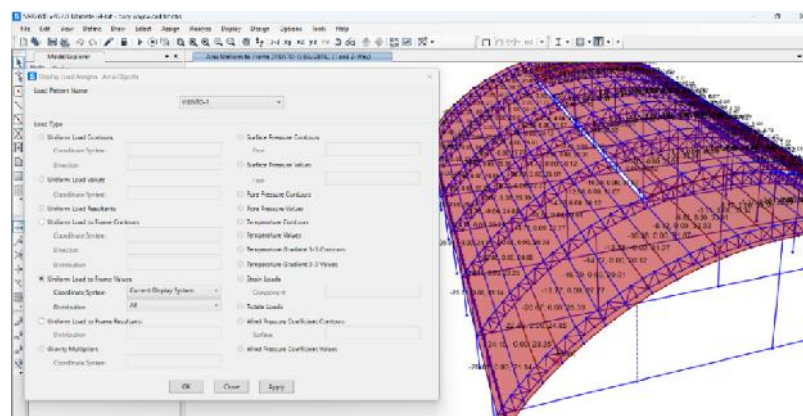
Cargas de viento en posición de presión y succión.



Nota. La figura muestra la consideración de cargas a las 2/3 partes de barlovento y 1/3 de sotavento en el diseño de las tres coberturas.

Figura 23

Cargas de viento distribuidas en senos y cosenos con ejes locales de la cubierta, referente a M1,M02,M03.



Nota. La figura muestra la distribución de cargas de viento no gravitacionales, sino más bien distribuidas en senos y cosenos a la dirección de la curvatura de la parábola.

4.3. Análisis de datos

Según planteamientos metodológicos contemporáneos, como los abordados por Choque Quispe, (2024), el análisis de datos constituye un conjunto de procedimientos estadísticos orientados a interpretar fenómenos observables dentro de una muestra o población, a fin de extraer conclusiones significativas. En este estudio, la información recolectada será organizada y representada gráficamente mediante resultados del software Sap2000, permitiendo una visualización clara y estructurada de los hallazgos. Esta representación contribuirá directamente al cumplimiento de los objetivos investigativos, facilitando el análisis comparativo y la toma de decisiones fundamentadas.

4.4. Consideraciones éticas

La investigación se elaboró con honestidad, responsabilidad y el compromiso de que las fuentes son confiables y respectivamente citadas por el respeto al conocimiento personal y la intelectualidad. la elaboración de esta, sigue los lineamientos planteados en el instructivo de investigación adecuada a la Resolución de vicerrectorado de investigación N^o 011-2024-UTEA-VRI. que proporciona la Universidad Tecnológica de los Andes, además se realiza con la finalidad de garantizar la seguridad de los usuarios y de brindar servicio profesional confiable en los centros poblados de Concacha y Saywite de la provincia de Abancay – Apurímac 2024.

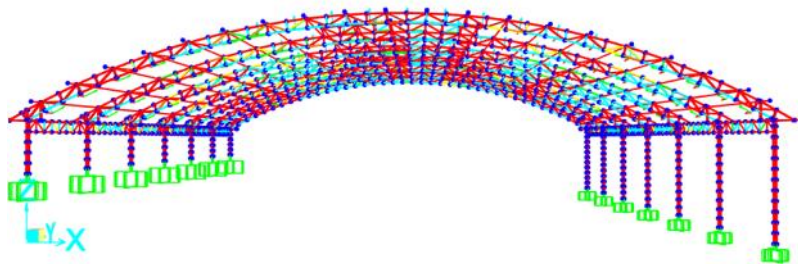
V. Resultados y discusión.

5.1. Resultados

5.1.1. Verificación estructural de elementos metálicos M01

Figura 24

Verificación de resistencia en elementos de M01 bajo cargas de viento nieve y accion sismica



Nota. La figura muestra elementos en estado crítico en el diseño bajo cargas establecidas bajo parámetros normativos.

Figura 25

Configuración de normas 360-16 metodo LRFD, M01

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-16
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	OMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1.
6 Design System Rho	1.
7 Design System Sds	0.5
8 Design System R	8.
9 Design System Omega0	3.
10 Design System Cd	5.5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0.9
16 Phi(Compression)	0.9
17 Phi(Tension-Yielding)	0.9
18 Phi(Tension-Fracture)	0.75
19 Phi(Shear)	0.9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1.
21 Phi(Torsion)	0.9
22 Ignore Seismic Code?	No

Item Description
This is either "Direct Analysis", "Effective Length", or "Limited 1st Order" indicating the analysis method used to check/design the steel members. The design module does not verify the acceptability of the selected analysis method. The user is expected to verify the acceptability of the selected method based on the decision parameters table created after design. The program sets the appropriate stiffness modification factors for the selected analysis method. The user is expected to set the appropriate notional loads.

Explanation of Color Coding for Values
Blue: Default Value
Black: Not a Default Value
Red: Value that has changed during the current session

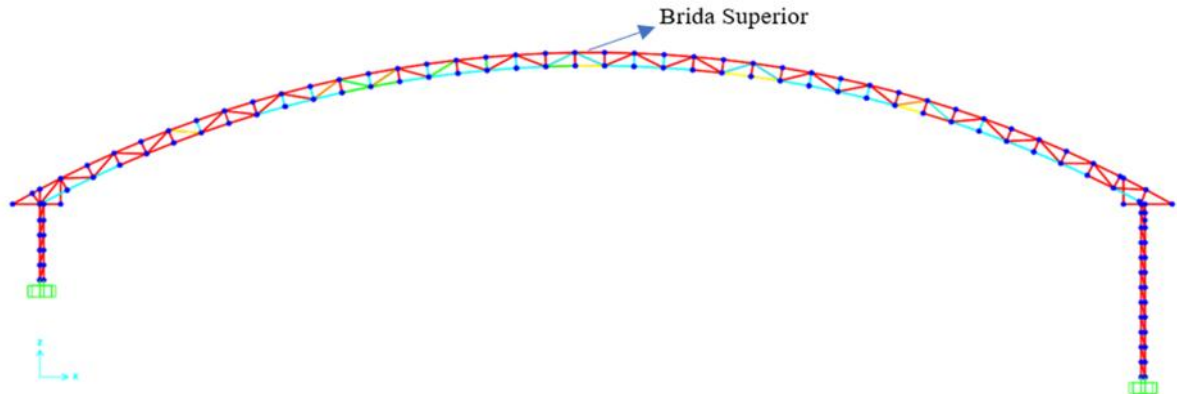
Set To Default Values: All Items, Selected Items
Reset To Previous Values: All Items, Selected Items
OK, Cancel

Nota. La figura muestra la configuración de normativa para el diseño 360-16 y método LRFD

Brida superior M01

Figura 26

Verificación de brida superior a compresión M01



Nota. La figura muestra la brida superior con elementos bajo observación estos pueden identificarse con el color rojo. Bajo parámetros ANSI/AISC 360-16 (LRFD)

Información general del elemento

-) Elemento: BA3
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.94 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 60x40x2 mm

Figura 27

Cociente de demanda-capacidad (*d/c ratio*) BA3, M01.

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	INTERACTION CHECK = AXL + B-MAJ + B-MIN	-MAJ-SHR RATIO	-MIN-SHR RATIO
COMB1	0.	3.161 (C)	= 2.238 + 0.425 + 0.255	0.052	0.041
COMB1	0.47	2.516 (C)	= 2.238 + 0.008 + 0.027	0.051	0.041
COMB1	0.94	3.188 (C)	= 2.238 + 0.4 + 0.308	0.05	0.041
COMB2	0.	3.223 (C)	= 2.278 + 0.433 + 0.259	0.053	0.041
COMB2	0.47	2.566 (C)	= 2.278 + 0.009 + 0.027	0.052	0.041
COMB2	0.94	3.25 (C)	= 2.278 + 0.408 + 0.314	0.051	0.041
COMB3	0.	3.18 (C)	= 2.253 + 0.427 + 0.255	0.052	0.04

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión axial. Esta figura muestra cómo se comporta el elemento BA3 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 3.25, lo que es excesivo. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 25% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector en el eje menor, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 28

Detalles de verificación en elemento BA3, M01

```

Units : Kgf, m, C
Frame : BA3      X Mid: 16.617      Combo: COMB2      Design Type: Brace
Length: 0.94    Y Mid: -0.075      Shape: 60x40x2mm  Frame Type: CMF
Loc : 0.94      Z Mid: 10.852      Class: Compact    Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=1.        2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaFz/Fy=1.611  AlphaFz/Fe=0.855  Tau_b=1.000E-06  EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/F Plug Welded? Yes

SDC: D              I=1.              Rho=1.              Sds=0.5
P=0.                Omega0=3.          Cd=5.5
PhiB=0.9            PhiC=0.9            PhiTY=0.9            PhiTF=0.75
PhiS=0.9            PhiS-RI=1.          PhiST=0.9

A=3.840E-04          I33=1.532E-07      r33=0.022            S33=6.438E-06      Av3=1.600E-04
J=2.024E-07          I22=1.023E-07      r22=0.016            S22=6.114E-06      Av2=2.400E-04
E=2.039E+10          Fy=32341202.3      Ry=1.196             r33=7.776E-06      Cw = Not Required
RLLF=1.              Fu=40778037.2      z22=6.856E-06

HSS Welding: ERW      Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode        K          L          F          KL/r      KL/r Limit      L/r      L/r Limit
Major (3-3)          1.         0.94       0.022      41.913     200              41.913    300
Minor (2-2)          1.         0.94       0.016      57.599     200              57.599    300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode        K          L          KL/r
K1 Major Flexure     1.         0.94       41.913
K1 Minor Flexure     1.         0.94       57.599
K2 Major Flexure     1.         0.94       41.913
K2 Minor Flexure     1.         0.94       57.599
LTB                  1.         0.94       57.599

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location      Fu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.94          -20368.697  92.27    -53.505    -198.434  103.939    62.704

PDM DEMAND/CAPACITY RATIO (H3-S)
D/C Ratio:    3.25 = 2.279 + 0.408 + 0.314 + [0.051 + 0.041 + 0.409]^2
              = (Fz/Fe) + (Mx33/Mc33) + (Mx22/Mc22) + [(Vx2/Vc2) + (Vx3/Vc3) + (Tx/Tc)]^2

```

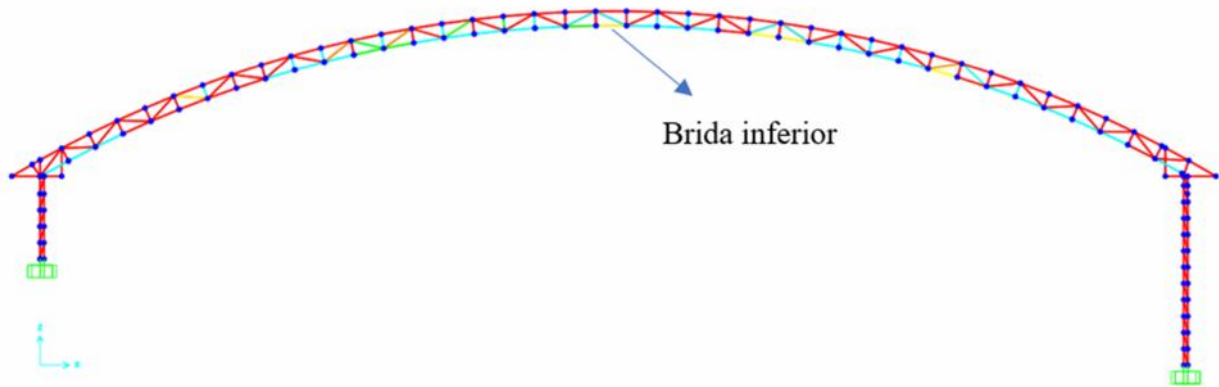
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento BA3, un refuerzo tipo rectangular de 60x40x2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 3.25, muy superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -20368.69 kgf excede ampliamente la capacidad resistente de la sección y el momento menor también supera su resistencia ($Mu_3 = 92.27 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = -53.505 \text{ kg.m}$). A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Brida inferior M01

Figura 29

Verificación de brida inferior a tracción 155, M01.



Nota. La figura muestra la brida inferior con elementos en observación este puede identificarse con el color amarillo, la revisión se dio bajo parámetros ANSI/AISC 360-16 (LRFD)

Información general del elemento

-) Elemento: 155
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.94 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 60x40x2 mm

Figura 30

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de brida inferior, 155, M01.

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB1	0.	0.656 (T)	= 0.216 + 0.065 + 0.375	0.02	0.064
COMB1	0.47	0.306 (T)	= 0.216 + 0.074 + 0.016	0.019	0.064
COMB1	0.94	0.829 (T)	= 0.216 + 0.207 + 0.407	0.018	0.064
COMB2	0.	0.668 (T)	= 0.22 + 0.066 + 0.382	0.02	0.065
COMB2	0.47	0.311 (T)	= 0.22 + 0.076 + 0.016	0.019	0.065
COMB2	0.94	0.844 (T)	= 0.22 + 0.21 + 0.414	0.018	0.065
COMB3	0.	0.66 (T)	= 0.217 + 0.066 + 0.377	0.02	0.064

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es menor que 1.0, lo que significa que la sección si cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la tracción, también se muestra cómo se comporta el elemento 155 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 0.844, que se encuentra dentro del rango. Esto quiere decir que el tubo está trabajando al 84% de su capacidad, principalmente por la fuerza de tracción y el momento flector.

Figura 31

Detalles de verificación en elemento 155, M01

```

Units : Kgf, m, C
Units Kgf, m, C

Frame : 155      X Mid: 17.57      Combo: COMB8      Design Type: Beam
Length: 0.939   Y Mid: 0.075      Shape: 60x40x2mm  Frame Type: CMF
Loc : 0.939     Z Mid: 10.425     Class: Seismic MD Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=1.        2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.092  AlphaPr/Pe=0.049  Tau_b=1.          EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D              I=1.              Rho=1.            Sds=0.5
R=9.                Omega0=3.         Cd=5.5
PhiB=0.5            PhiC=0.5          PhiTY=0.5         PhiTF=0.75
PhiS=0.5            PhiS-RI=1.        PhiST=0.5

A=3.840E-04         I33=1.932E-07     r33=0.022         S33=6.438E-06     Av3=1.600E-04
J=2.024E-07         I22=1.023E-07     r22=0.016         S22=5.114E-06     Av2=2.400E-04
E=2.039E+10         Fy=32341202.3     Ry=1.196          r33=7.776E-06     Cw = Not Required
RLLF=1.             Fu=40778037.2     z22=5.856E-06

HSS Welding: ERW      Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode        K          L          r          KL/r      KL/r Limit      L/r      L/r Limit
Major (3-3)          1.         0.939      0.022      41.874     200              41.874   300
Minor (2-2)          1.         0.939      0.016      57.546     200              57.546   300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode        K          L          KL/r
K1 Major Flexure     1.         0.939      41.874
K1 Minor Flexure     1.         0.939      57.546
K2 Major Flexure     1.         0.939      41.874
K2 Minor Flexure     1.         0.939      57.546
LTB                   1.         0.939      57.546

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB8)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
0.939         1139.841  91.913  -271.834  -104.553  478.858  -77.164

FORM DEMAND/CAPACITY RATIO (H3-6)
D/C Ratio: 2.621 = 0.102 + 0.406 + 1.555 + [0.027 + 0.19 + 0.503]^2
              = (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22) + [(Vr2/Vc2) + (Vr3/Vc3) + (Tr/Tc)]^2

```

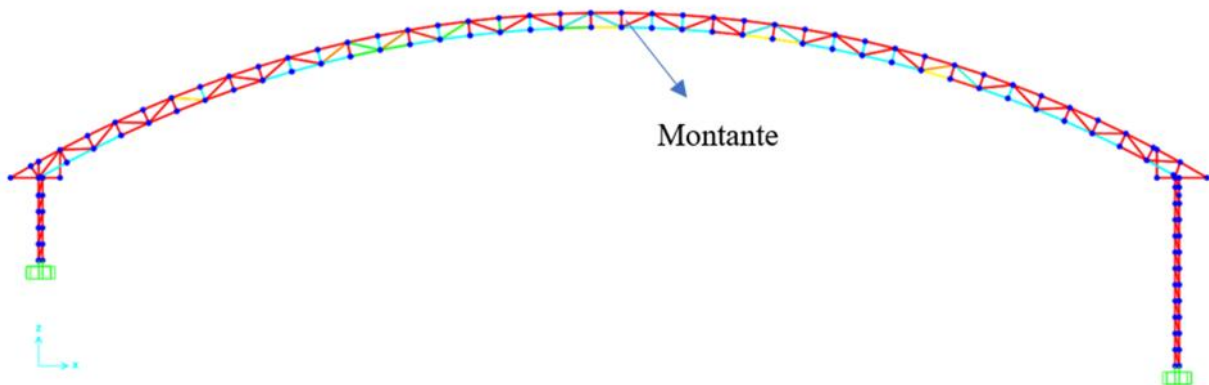
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento BA3, un refuerzo tipo rectangular de 60x40x2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 2.621, muy superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de 1139.841 kgf excede ampliamente la capacidad resistente de la sección y el momento menor también supera su resistencia ($Mu3 = 91.91 \text{ kg.m}$ vs $Mu2 = -271.83 \text{ kg.m}$). A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Montantes M01

Figura 32

Verificación de montantes 225, M01.



Nota. La figura muestra los montantes con elementos sobreesforzados este puede identificarse con el color rojo, la revisión se dio bajo parámetros ANSI/AISC 360-16 (LRFD).

Información general del elemento

-) Elemento: 225
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.44 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 40x40x2 mm

Figura 33

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de montante 225, M01.

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB1	0.	0.528 (C)	= 0.037 + 0.442 + 0.049	0.144	0.02
COMB1	0.22	0.268 (C)	= 0.037 + 0.193 + 0.039	0.144	0.02
COMB1	0.44	0.99 (C)	= 0.037 + 0.827 + 0.127	0.144	0.02
COMB2	0.	0.537 (C)	= 0.037 + 0.45 + 0.05	0.147	0.02
COMB2	0.22	0.273 (C)	= 0.037 + 0.196 + 0.039	0.147	0.02
COMB2	0.44	1.008 (C)	= 0.037 + 0.842 + 0.129	0.147	0.02
COMB3	0.	0.531 (C)	= 0.037 + 0.444 + 0.05	0.145	0.02

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento 155 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 1.008. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 0.8% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 34

Detalles de verificación en elemento 225, M01.

```

Units : Kgf, m, C
Frame : 225 X Mid: 16.154 Combo: COMB2 Design Type: Column
Length: 0.442 Y Mid: -0.075 Shape: 40X40X2mm Frame Type: OMF
Loc : 0.442 Z Mid: 10.618 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=1. 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.062 AlphaPr/Fe=0.008 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: D I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=8. Omega0=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=3.040E-04 I33=7.337E-08 r33=0.016 S33=3.668E-06 Av3=1.600E-04
J=1.097E-07 I22=7.337E-08 r22=0.016 S22=3.668E-06 Av2=1.600E-04
E=2.039E+10 Fy=32341202.3 Ry=1.196 r33=4.336E-06 Cw = Not Required
RLLF=1. Fu=40778037.2 z22=4.336E-06

HSS Welding: ERM Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode K L r KL/r KL/r Limit L/r L/r Limit
Major (3-3) 1. 0.442 0.016 28.441 200 28.441 300
Minor (2-2) 1. 0.442 0.016 28.441 200 28.441 300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode K L KL/r
K1 Major Flexure 1. 0.442 28.441
K1 Minor Flexure 1. 0.442 28.441
K2 Major Flexure 1. 0.442 28.441
K2 Minor Flexure 1. 0.442 28.441
LTB 1. 0.442 28.441

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location Fu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0.442 -625.167 -106.285 16.262 369.052 -51.066 -1.079

FORM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)
D/C Ratio: 1.008 = 0.037 + 0.942 + 0.129
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

```

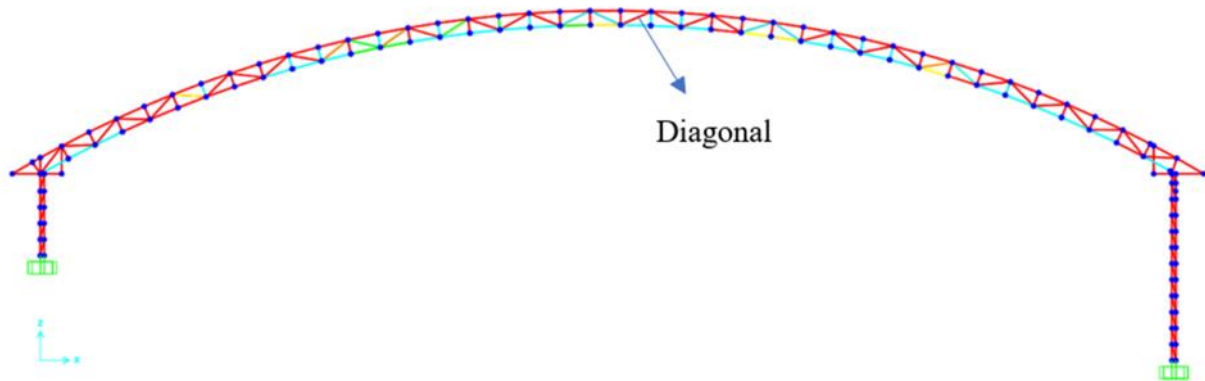
Nota. La figura muestra la sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento 225, un refuerzo tipo rectangular de 40x40x2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.008, superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de - 625.167 kgf excede la capacidad resistente de la sección y el momento también supera su resistencia ($Mu3 = -106.285 \text{ kg.m}$ vs $Mu2=16.262 \text{ kg.m}$). A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Diagonales M01

Figura 35

Verificación de diagonales B79, M01.



Nota. La figura muestra las diagonales con elementos sobre esforzados este puede identificarse con el color rojo, la revisión se dio bajo parámetros ANSI/AISC 360-16 (LRFD).

Información general del elemento

-) Elemento: B79
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 1.038 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 25X25x2 mm

Figura 36

Cociente de demanda-capacidad (*d/c ratio*) elemento diagonal B79, M01.

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	AXL + B-MAJ + B-MIN	MAJ-SHR	MIN-SHR
COMB4	0.	1.146 (C)	= 1.083 + 0.037 + 0.025	0.001	0.006
COMB4	0.52	1.19 (C)	= 1.083 + 0.044 + 0.063	0.	0.006
COMB4	1.04	1.266 (C)	= 1.083 + 0.032 + 0.152	0.001	0.006
COMB5	0.	1.001 (C)	= 0.944 + 0.033 + 0.024	0.	0.005
COMB5	0.52	1.038 (C)	= 0.944 + 0.038 + 0.056	0.	0.005
COMB5	1.04	1.107 (C)	= 0.943 + 0.028 + 0.136	0.001	0.005
COMB6	0.	0.982 (C)	= 0.93 + 0.032 + 0.021	0.	0.005

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento B79 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COM8, donde el RATIO llega a 1.266, que es excesivo. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 26% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión, que lo está sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debió ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 37

Detalles de verificación en elemento B79, M01.

Units : Kgf, m, C Units Kgf, m, C

```

Frame : B79      X Mid: 16.624      Combo: COMB4      Design Type: Brace
Length: 1.038   Y Mid: -0.075      Shape: 25x25x2mm   Frame Type: OMF
Loc  : 1.038   Z Mid: 10.631      Class: Compact     Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=1.      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.434  AlphaPr/Fe=0.847      Tau_b=1.           EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/F Plug Welded? Yes

SDC: D            I=1.           Rho=1.           Sds=0.5
R=9.              Omega=3.       Cd=5.5
PhiB=0.9          PhiC=0.9       PhiTV=0.9        PhiTF=0.75
PhiS=0.9          PhiS-RI=1.     PhiST=0.9

A=1.840E-04      I33=1.635E-08   z33=0.009        S33=1.308E-06     Av3=1.000E-04
J=2.433E-08      I22=1.635E-08   z22=0.009        S22=1.308E-06     Av2=1.000E-04
E=2.035E+10      Fy=32341202.3   Ry=1.196         z33=1.591E-06     Cw = Not Required
RLLF=1.          Fu=40778037.2   z22=1.591E-06

HSS Welding: ERM      Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode      K          L          r          KL/r      KL/r Limit      L/r      L/r Limit
Major (3-3)        1.         1.038      0.009      110.123   200              110.123  300
Minor (2-2)        1.         1.038      0.009      110.123   200              110.123  300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode      K          L          KL/r
K1 Major Flexure   1.         1.038     110.123
K1 Minor Flexure   1.         1.038     110.123
K2 Major Flexure   1.         1.038     110.123
K2 Minor Flexure   1.         1.038     110.123
LTB                1.         1.038     110.123

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB4)
Location           Pu          Mu33        Mu22        Vu2        Vu3        Tu
1.038              -2564.625   1.682       7.892       2.122      -8.859      5.939

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 1.266 = 1.083 + 0.032 + 0.152
            = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

```

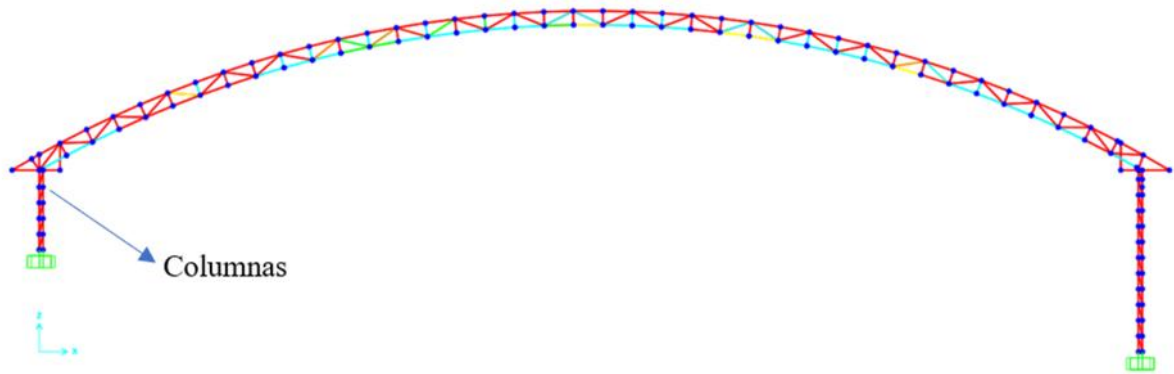
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento BA3, un refuerzo tipo rectangular de 25x25x2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.266, superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de - 2564.62 kgf excede ampliamente la capacidad resistente de la sección y el momento también supera su resistencia ($Mu_3 = 1.682 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = 7.892 \text{ kg.m}$). A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Columnas M01

Figura 38

Verificación de columnas M01



Nota. La figura muestra las columnas con elementos sobre esforzados este puede identificarse con el color rojo. Bajo parámetros ANSI/AISC 360-16 (LRFD)

Información general del elemento

-) Elemento: ADC
-) Ubicación: Longitud 2.54 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de sección transversal:
 Rect. 2(150x50x2.5mm) +1(100x50x3mm)

Figura 39

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) en columna ADC, M01.

COMBO ID	STATION LOC	----MOMENT INTERACTION CHECK----	MAJ-SHR	MIN-SHR
		RATIO = AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
COMB2	1.	7.492 (C) = 2.546 + 2.191 + 0.582	0.604	0.154
COMB2	1.27	5.509 (C) = 2.546 + 0.604 + 0.186	0.604	0.154
COMB2	1.5	5.618 (C) = 2.545 + 0.748 + 0.152	0.604	0.154
COMB2	1.5	4.554 (C) = 1.69 + 0.609 + 0.195	0.608	0.125
COMB2	2.	7.714 (C) = 1.689 + 3.566 + 0.399	0.608	0.125
COMB2	2.	15.63 (C) = 1.893 + 3.524 + 2.785	0.598	1.731
COMB2	2.54	22.113 (C) = 1.893 + 6.664 + 6.129	0.598	1.731

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento ADC frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 22.113. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 22 veces más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Es por ello que el elemento no cumple y debió ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 40

Detalles de verificación en elemento ADC, M02

```

Units : Kgf, m, C
Frame : ADC      X Mid: -4.626E-13 Combo: COMB2      Design Type: Column
Length: 2.54     Y Mid: -0.075   Shape: 150x50x2.5  Frame Type: CMF
Loc : 2.54       Z Mid: 4.52     Class: Compact     Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD  Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=1.    2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=1.428 AlphaPr/Fe=0.452 Tau_b=1.000E-06 EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: D          I=1.          Rho=1.          Sds=0.5
R=0.            Omega=0.3.       Cd=5.5
PhiB=0.9        PhiC=0.9         PhiTY=0.9       PhiTF=0.75
PhiS=0.9        PhiS-R=1.        PhiST=0.9

A=9.750E-04     I33=2.630E-06   r33=0.052       S33=3.507E-05   Av3=2.500E-04
J=1.259E-06     I22=4.614E-07   r22=0.022       S22=1.846E-05   Av2=7.500E-04
Ae=8.038E-04    Se33=3.507E-05  Se22=1.415E-05
E=2.039E+10     Fy=32341202.3   Ry=1.196        r33=4.472E-05   Cv = Not Required
RLLF=1.         Fu=40778037.2   r22=2.034E-05

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode   K          L          r          KL/r      KL/r Limit   L/r      L/r Limit
Major (3-3)    1.         2.54       0.052      48.904     200           48.904   300
Minor (2-2)    1.         0.54       0.022      24.823     200           24.823   300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode   K          L          KL/r
K1 Major Flexure 1.         2.54       48.904
K1 Minor Flexure 1.         0.54       24.823
K2 Major Flexure 1.         2.54       48.904
K2 Minor Flexure 1.         0.54       24.823
LTB              1.         0.54       24.823

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location        Pu          Mu33        Mu22        Vu2         Vu3         Tu
2.54            -37700.728  8674.011    -2525.114   -7567.937   6801.145    242.284

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H3-6)
D/C Ratio: 22.113 = 1.893 + 6.664 + 6.129 + [0.598 + 1.731 + 0.397]^2
              = (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22) + [(Vr2/Vc2) + (Vr3/Vc3) + (Tr/Tc)]^2
  
```

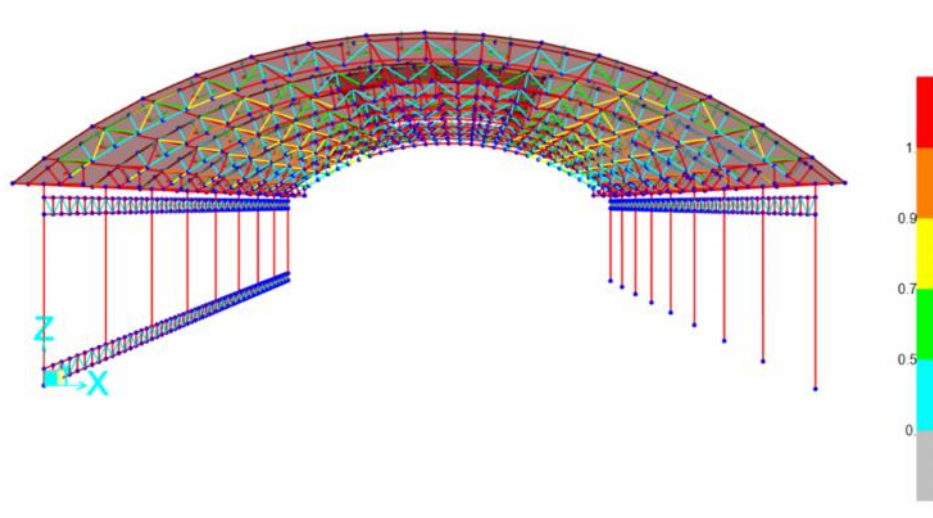
Nota. La figura muestra una ratio de 22.113, superior al límite 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento ADC, parte de la columna de tres elementos tipo Rect. 2(150x50x2.5mm) +1(100x50x3mm) analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido al valor mostrando con un índice de demanda-capacidad (D/C) de 22.113, superior al límite permitido de 1.0. las verificaciones de cortante y torsión tampoco se cumplen, la carga axial aplicada de -37700.728 kgf excede la capacidad resistente de la sección, el momento mayor es (Mu3 = 8674.011 kg.m vs Mu2= -2525.114 kg.m) y la esbeltez se cumple debido a que KL/r no supera el valor 200 según los parámetros estudiados.

5.1.2. Verificación estructural de elementos metálicos M02

Figura 41

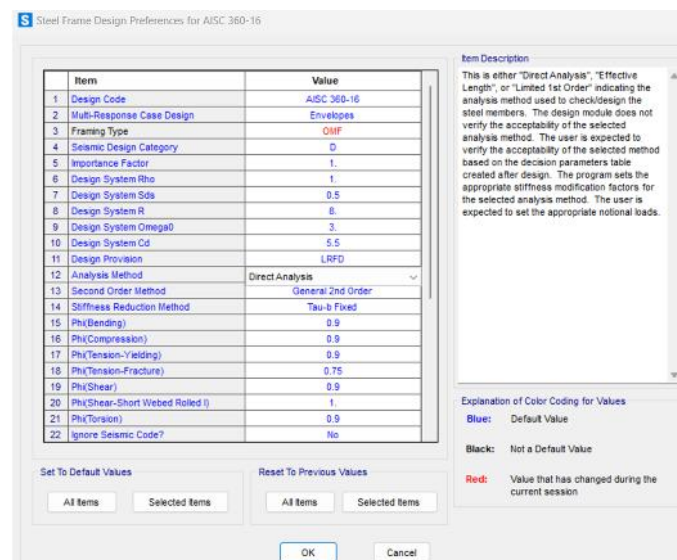
Verificación de resistencia en elementos de M02 bajo cargas de viento.



Nota. La figura muestra elementos en estado crítico en el diseño bajo cargas establecidas bajo parámetros normativos la revisión se dio bajo parámetros

Figura 42

Configuración de normas 360-16 metodo LRFD



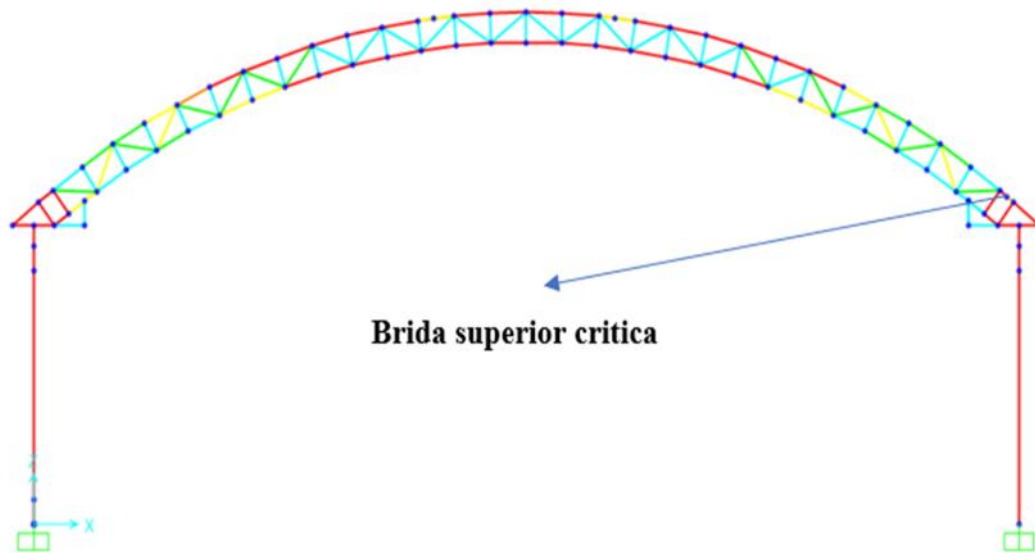
Nota. La figura muestra la configuración de normativa para el diseño 360-16 y método LRFD

sacado de Sap2000

Brida superior M02

Figura 43

Verificación de brida superior, M02



Nota. La figura muestra la brida superior con elementos bajo observación estos pueden identificarse con el color rojo. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: Bsup40
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.40 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 100x50x2 mm

Figura 44

Cociente de demanda-capacidad (*d/c ratio*) Bsup40, M02

COMBO ID	STATION	LOC	---MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK =	AXL + B-MAJ + B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB2	0.		0.81 (T)	=	0.086 + 0.666 + 0.059	0.201	0.069
COMB2	0.2		0.488 (T)	=	0.086 + 0.174 + 0.227	0.201	0.069
COMB2	0.2		1.845 (T)	=	0.343 + 0.349 + 0.455	0.402	0.139
COMB2	0.4		2.467 (T)	=	0.343 + 0.634 + 0.793	0.401	0.139
COMB3	0.		0.406 (T)	=	0.05 + 0.329 + 0.027	0.097	0.022
COMB3	0.2		0.223 (T)	=	0.05 + 0.092 + 0.08	0.097	0.022
COMB3	0.2		0.507 (T)	=	0.201 + 0.164 + 0.143	0.193	0.044

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la tracción axial. Esta figura muestra cómo se comporta el elemento Bsup40 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 2.467, lo que es excesivo. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 146% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector en el eje menor, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 45

Detalles de verificación en elemento Bsup40, M02

```

Units : Kgf, m, C
Units Kgf, m, C

Frame : Bsup40 X Mid: 22.518 Combo: COMB2 Design Type: Brace
Length: 0.4 Y Mid: 40. Shape: 100*50*2mm Frame Type: CMF
Loc : 0.4 Z Mid: 6.596 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis Reduction: Tau-b Fixed
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order EA factor=0.8 EI factor=0.8
AlphaPr/Py=0.115 AlphaPr/Pe=0.007 Tau_b=1. D/P Plug Welded? Yes
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No

SDC: D I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=8. Omega0=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=5.804E-04 I33=7.662E-07 r33=0.036 S33=1.532E-05 Av3=1.958E-04
J=6.062E-07 I22=2.608E-07 r22=0.021 S22=1.043E-05 Av2=3.796E-04
Ae=5.190E-04 Se33=1.532E-05 Se22=9.080E-06
E=2.039E+10 Fy=32341202.9 Ry=1.196 z33=1.884E-05 Cw = Not Required
RLLF=1. Fu=40778038.4 z22=1.163E-05

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode K L z KL/r KL/r Limit L/r L/r Limit
Major (3-3) 1. 0.4 0.036 11.009 200 11.009 300
Minor (2-2) 1. 0.4 0.021 18.871 200 18.871 300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode K L KL/r
K1 Major Flexure 1. 0.4 11.009
K1 Minor Flexure 1. 0.4 18.871
K2 Major Flexure 1. 0.4 11.009
K2 Minor Flexure 1. 0.4 18.871
LTB 1. 0.4 18.871

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0.4 5802.464 347.319 209.507 -2691.789 -446.323 96.753

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H3-6)
D/C Ratio: 2.467 = 0.343 + 0.634 + 0.793 + [0.401 + 0.139 + 0.295]^2
= (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22) + [(Vr2/Vc2) + (Vr3/Vc3) + (Tr/Tc)]^2

```

Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento Bsup40, un refuerzo tipo rectangular de 100x50x2mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 2.467, muy superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de 5802.46 kgf junto al momento ($Mu3 = 347.319 \text{ kg.m}$ vs $Mu2 = 209.507 \text{ kg.m}$) superan la resistencia. A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Revisión de esbeltez (slenderness check)

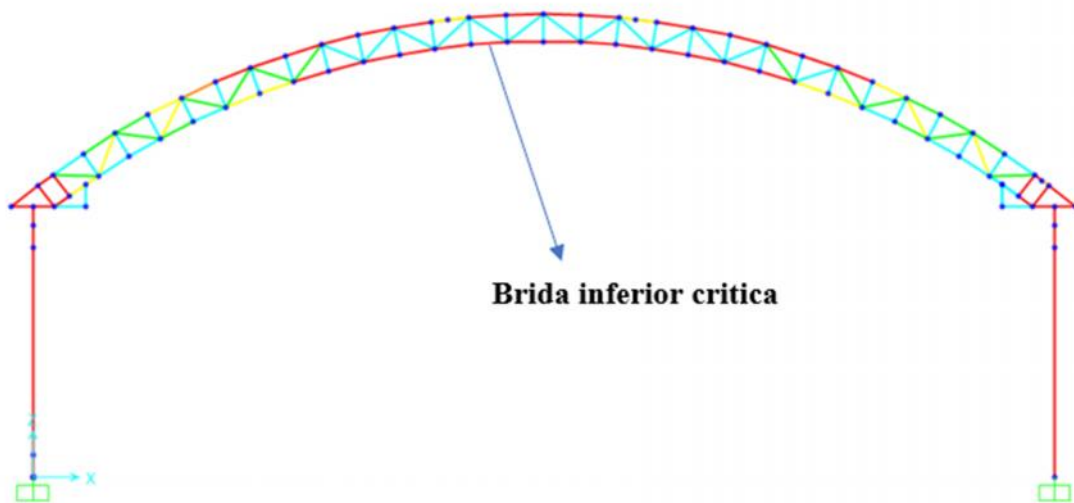
Se evalúan dos modos de pandeo:

-) Mayor (3-3):
-) Longitud sin restricción (L) = 0.837 m
-) Radio de giro (r) = 0.036 m
-) $KL/r = 23.044$ (aceptable, menor que el límite de 200)
-) Menor (2-2):
-) Radio de giro = 0.021 m
-) $KL/r = 39.50$ (aceptable)

Brida inferior M02

Figura 46

Verificación de brida inferior a tracción M02



Nota. La figura muestra la brida inferior con elementos sobre esforzados este puede identificarse con el color rojo. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: Binf 255
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)

-) Ubicación: Longitud 0.81 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 100x50x2 mm

Figura 47

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de brida inferior 255, M02

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	-MAJ-SHR-	-MIN-SHR-
COMB2	0.	2.186(T)	= 2.105 + 0.063 + 0.018	0.051	0.001
COMB2	0.41	2.289(T)	= 2.106 + 0.16 + 0.024	0.05	0.001
COMB2	0.81	2.515(T)	= 2.106 + 0.38 + 0.03	0.05	0.001
COMB3	0.	1.103(T)	= 1.064 + 0.031 + 0.007	0.026	0.
COMB3	0.41	1.155(T)	= 1.064 + 0.081 + 0.01	0.025	0.
COMB3	0.81	1.267(T)	= 1.064 + 0.191 + 0.012	0.025	0.
COMB4	0.	0.506(T)	= 0.48 + 0.024 + 0.002	0.014	0.

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la tracción, también se muestra cómo se comporta el elemento “Binf 255” frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 2.515, que es excesivo. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 151% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de tracción y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente .

Figura 48

Detalles de verificación en elemento 255, M02.

```

UNITS : Kgf, m, C
Frame : Binf255 X Mid: 9.375 Combo: COMB2 Design Type: Brace
Length: 0.81 Y Mid: 5. Shape: 100*50*3mm Frame Type: CMF
Loc : 0.81 Z Mid: 9.581 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.676 AlphaPr/Pe=0.155 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: D I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=8. Omega=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=5.804E-04 I33=7.662E-07 z33=0.036 S33=1.532E-05 Av3=1.958E-04
J=6.062E-07 I22=2.608E-07 z22=0.021 S22=1.043E-05 Av2=3.756E-04
Ae=5.283E-04 Se33=1.532E-05 Se22=9.080E-06 z33=1.884E-05 Cv = Not Required
E=2.039E+10 Fy=32341202.9 Ry=1.196 z22=1.163E-05
RLLF=1. Fu=40778038.4

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode K L r KL/r KL/r Limit L/r L/r Limit
Major (2-3) 1. 0.81 0.036 22.299 200 22.299 300
Minor (2-2) 1. 0.81 0.021 38.222 200 38.222 300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode K L KL/r
K1 Major Flexure 1. 0.81 22.299
K1 Minor Flexure 1. 0.81 38.222
K2 Major Flexure 1. 0.81 22.299
K2 Minor Flexure 1. 0.81 38.222
LTB 1. 0.81 38.222

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0.81 35568.178 234.151 -8.508 -332.383 4.338 -3.29

PRM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2, H1-1a)
D/C Ratio: 2.515 = 2.106 + 0.38 + 0.03
= (Pr/Pc) + (8/5) (Mr33/Mc33) + (8/5) (Mr22/Mc22)

```

Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento 255, un refuerzo tipo rectangular de 100x50x2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 2.515, muy superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de 35568.178 kgf excede ampliamente la capacidad resistente de la sección y el momento menor también supera su resistencia ($Mu_3 = 234.15 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = -8.90 \text{ kg.m}$). A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que es recomendable cambiar a una sección más robusta.

Revisión de esbeltez (slenderness check)

Se evalúan dos modos de pandeo:

) Mayor (3-3):

) Longitud sin restricción (L) = 0.81 m

) Radio de giro (r) = 0.036 m

) $KL/r = 22.29$ (aceptable, menor que el límite de 200)

) Menor (2-2):

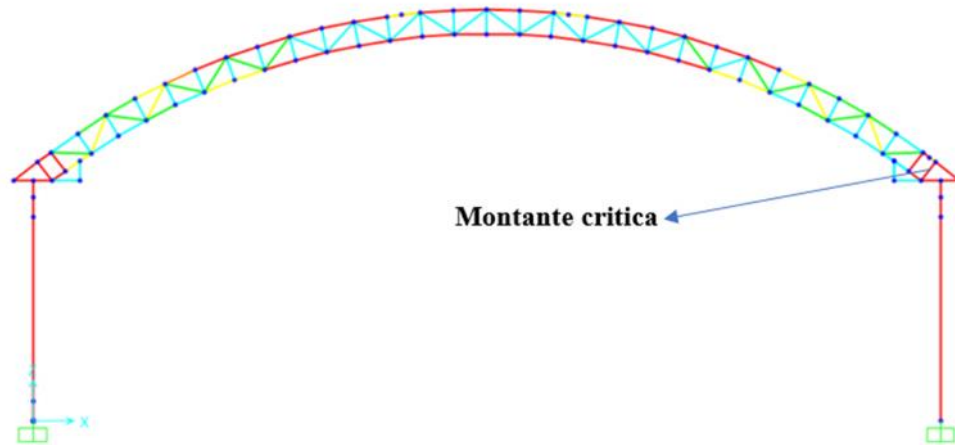
) Radio de giro = 0.021 m

) $KL/r = 38.22$ (aceptable)

Montantes M02

Figura 49

Verificación de montantes M02



Nota. La figura muestra los montantes con elementos sobre esforzados este puede identificarse con el color rojo. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD)).

Información general del elemento

-) Elemento: 4
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.60 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 100*50*2 mm

Figura 50

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de montante 4, M02

COMBO ID	STATION LOC	MOMENT RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB1	0.	0.894 (C)	= 0.066 + 0.814 + 0.013	0.184	0.003
COMB1	0.3	0.21 (C)	= 0.066 + 0.141 + 0.003	0.183	0.003
COMB1	0.6	0.603 (C)	= 0.066 + 0.531 + 0.007	0.183	0.003
COMB2	0.	2.503 (C)	= 0.377 + 2.071 + 0.055	0.526	0.013
COMB2	0.3	0.746 (C)	= 0.377 + 0.356 + 0.013	0.526	0.013
COMB2	0.6	1.764 (C)	= 0.377 + 1.358 + 0.03	0.525	0.013
COMB3	0.	1.055 (C)	= 0.082 + 0.961 + 0.012	0.21	0.002

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento 4 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 2.503. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 150% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 51

Detalles de verificación en elemento 4,M02.

```

Units : Kgf, m, C
Units Kgf, m, C

Frame : Mont4      X Mid: 22.496      Combo: COMB2      Design Type: Brace
Length: 0.6        Y Mid: 5.         Shape: 100*50*2mm  Frame Type: QMF
Loc : 0.           Z Mid: 6.238      Class: Compact     Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD    Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95    2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.113 AlphaPr/Pe=0.013 Tau_b=1.         EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D            I=1.             Rho=1.           Sds=0.5
R=8.              Omega0=3.        Cd=5.5
PhiB=0.9          PhiC=0.9         PhiTY=0.9        PhiTF=0.75
PhiS=0.9          PhiS-RI=1.       PhiST=0.9

A=5.804E-04       I33=7.662E-07    r33=0.036        S33=1.532E-05     Av3=1.958E-04
J=6.062E-07       I22=2.608E-07    r22=0.021        S22=1.043E-05     Av2=3.756E-04
Ae=5.227E-04      Se33=1.532E-05   Se22=9.090E-06   z33=1.884E-05     Cw = Not Required
E=2.039E+10       Fy=32341202.9    Ry=1.196         z22=1.163E-05
RLLF=1.           Fu=40778038.4

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode      K          L          r          KL/r      KL/r Limit    L/r      L/r Limit
Major (3-3)        1.         0.6        0.036      16.513     200           16.513   300
Minor (2-2)        1.         0.6        0.021      28.305     200           28.305   300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode      K          L          KL/r
K1 Major Flexure   1.         0.6        16.513
K1 Minor Flexure   1.         0.6        28.305
K2 Major Flexure   1.         0.6        16.513
K2 Minor Flexure   1.         0.6        28.305
LTB                 1.         0.6        28.305

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location           Pu          Mu33         Mu22         Vu2         Vu3         Tu
0.                 -5433.568   -1277.136    16.404       -3526.165   42.021      -13.241

PRM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 2.503 = 0.377 + 2.071 + 0.055
            = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

```

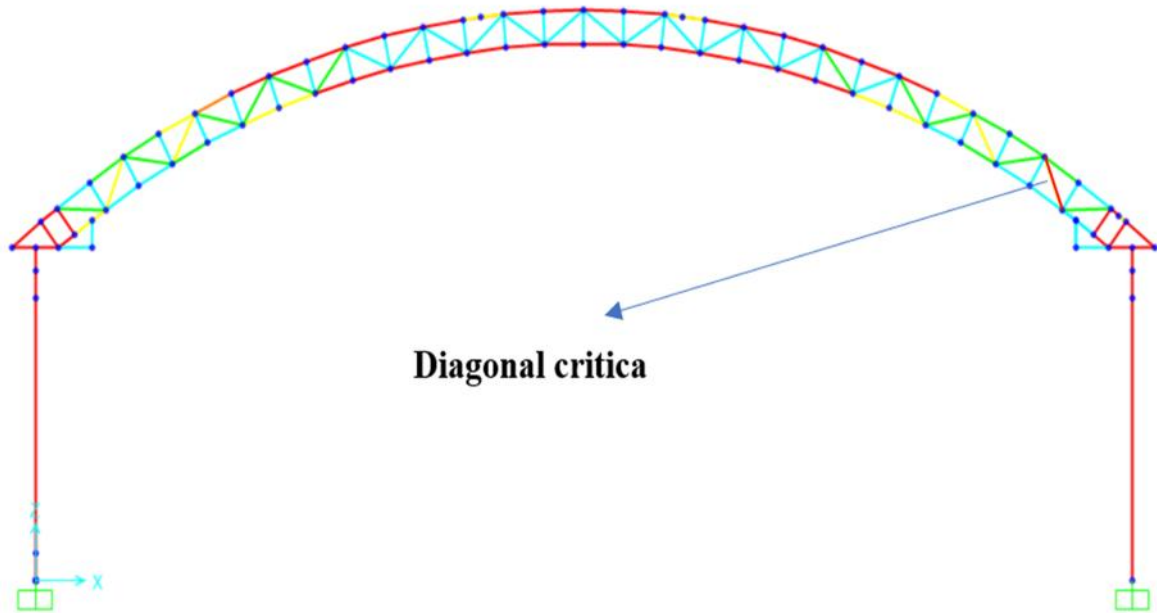
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento 4, un refuerzo tipo rectangular de 100*50*2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por momento flector, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 2.503, superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -5433.56 kgf más el momento ($Mu_3 = -1277.136$ kg.m vs $Mu_2=16.404$ kg.m) supera su resistencia. A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Diagonales M02

Figura 52

Verificación de diagonales M02



Nota. La figura muestra los montantes con elementos sobre esforzados este puede identificarse con el color rojo. Bajo parámetros ANSI/AISC 360-16 (LRFD)

Información general del elemento

-) Elemento: diagonal 22
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 1.019m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 40x40x1.8 mm.

Figura 53

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento diagonal22, M02.

COMBO ID	STATION	LOC	RATIO	Interaction Check	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB2	0.		1.178 (C)	= 1.137 + 0.002 + 0.039	0.	0.
COMB2	0.51		1.189 (C)	= 1.136 + 0.009 + 0.044	0.	0.
COMB2	1.02		1.196 (C)	= 1.136 + 0.011 + 0.048	0.	0.
COMB3	0.		0.447 (C)	= 0.438 + 0.001 + 0.007	0.	0.
COMB3	0.51		0.447 (C)	= 0.438 + 0. + 0.009	0.	0.
COMB3	1.02		0.452 (C)	= 0.437 + 0.005 + 0.01	0.	0.
COMB4	0.		0.292 (C)	= 0.286 + 0. + 0.005	0.	0.

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento diagonal22 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 1.196. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 19.6% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 54

Detalles de verificación en elemento 47, M02

```

Units : Kgf, m, C
Units Kgf, m, C

Frame : diagonal2X Mid: 21.152 Combo: COMB2 Design Type: Brace
Length: 1.019 Y Mid: 5. Shape: 40x40x1.8 Frame Type: CMF
Loc : 1.019 Z Mid: 7.17 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.55 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.263 AlphaPr/Fe=0.181 Tau_b=0.717 EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: D I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=3 Omega=0.3 Cd=5.5
PhiE=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=2.721E-04 I33=6.591E-08 r33=0.016 S33=3.295E-06 Av3=1.408E-04
J=1.003E-07 I22=6.591E-08 r22=0.016 S22=3.295E-06 Av2=1.408E-04
E=2.039E+10 Fy=32341202.9 Ry=1.196 r33=3.885E-06 Cw = Not Required
RLLF=1. Fu=40778038.4 z22=3.885E-06

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode K L z KL/r KL/r Limit L/z L/z Limit
Major (3-3) 1. 1.019 0.016 65.475 200 65.475 300
Minor (2-2) 1. 1.019 0.016 65.475 200 65.475 300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode K L KL/r
M1 Major Flexure 1. 1.019 65.475
M1 Minor Flexure 1. 1.019 65.475
M2 Major Flexure 1. 1.019 65.475
M2 Minor Flexure 1. 1.019 65.475
LTB 1. 1.019 65.475

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
1.019 -6742.535 1.434 6.152 -0.157 -1.146 1.76

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (RI-1a)
D/C Ratio: 1.196 = 1.196 + 0.011 + 0.048
= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)

```

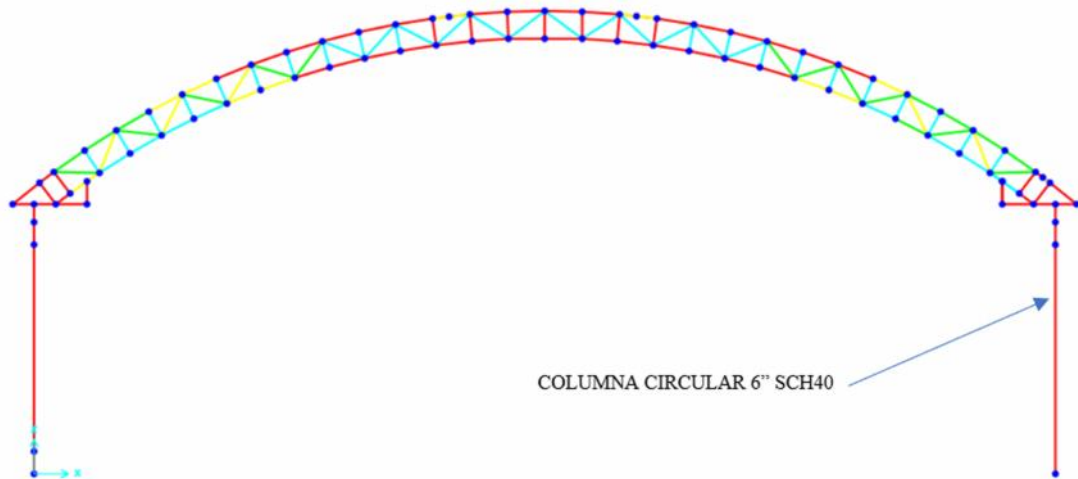
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento diagonal22, un refuerzo tipo rectangular de 40*40*1.8 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por momento flector, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.196, superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -6742.535 kgf más el momento ($Mu_3 = 1.434 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = 6.152 \text{ kg.m}$) supera su resistencia. A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Columnas M02

Figura 55

Verificación de columnas M02



Nota. La figura muestra las columnas con elementos sobre esforzados este puede identificarse con el color rojo. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: columna 4
-) Ubicación: Longitud 6.00 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Circ. 6" sch40.

Figura 56

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) en columna 4, M02.

COMBO ID	STATION	LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB2	5.1		1.385 (C)	= 0.095 + 1.291 + 0.01	0.098	0.
COMB2	5.6		1.673 (C)	= 0.094 + 1.578 + 0.008	0.098	0.
COMB2	5.6		1.683 (C)	= 0.093 + 1.59 + 0.008	0.102	0.004
COMB2	6.		1.92 (C)	= 0.093 + 1.828 + 0.002	0.102	0.004
COMB3	0.		0.965 (C)	= 0.041 + 0.924 + 0.	0.053	0.
COMB3	3.		0.04 (C)	= 0.039 + 0.001 + 0.	0.053	0.
COMB3	5.1		0.682 (C)	= 0.037 + 0.645 + 0.	0.053	0.

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento “columna 4” frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB2, donde el RATIO llega a 1.92. Esto quiere decir que el tubo está trabajando casi 92% más de lo que debería, principalmente por el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debió ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 57

Detalles de verificación en elemento “columna 2”, M02

```

Units : Kgf, m, C
Frame : Columna4 X Mid: 22.8      Combo: COMB2      Design Type: Column
Length: 6.      Y Mid: 5.      Shape: circular 6" sch40 Frame Type: CMF
Loc : 6.      Z Mid: 3.      Class: Compact      Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.033      AlphaPr/Pe=0.045      Tau_b=1.      EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D      I=1.      Rho=1.      Sds=0.5
R=8.      Omega0=3.      Cd=5.5
PhiB=0.9      PhiC=0.9      PhiTY=0.9      PhiTF=0.75
PhiS=0.9      PhiS-RI=1.      PhiST=0.9

A=0.004      I33=1.172E-05      r33=0.057      S33=1.392E-04      Av3=0.002
J=2.343E-05      I22=1.172E-05      r22=0.057      S22=1.392E-04      Av2=0.002
E=2.039E+10      Fy=24607436.95      Ry=1.571      z33=1.845E-04      Cw = Not Required
RLLF=1.      Fu=42184177.6      z22=1.845E-04

HSS Welding: ERW      Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode      K      L      r      KL/r      KL/r Limit      L/r      L/r Limit
Major (3-3)      1.      6.      0.057      105.181      200      105.181      300
Minor (2-2)      1.      5.1      0.057      89.404      200      89.404      300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode      K      L      KL/r
K1 Major Flexure      1.      6.      105.181
K1 Minor Flexure      1.      5.1      89.404
K2 Major Flexure      1.      6.      105.181
K2 Minor Flexure      1.      5.1      89.404
LTB      1.      5.1      89.404

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB2)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
6.      -8389.572      -7482.261      6.863      2429.338      -96.578      52.063

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)
D/C Ratio:      1.92 = 0.093 + 1.828 + 0.002
              = (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

```

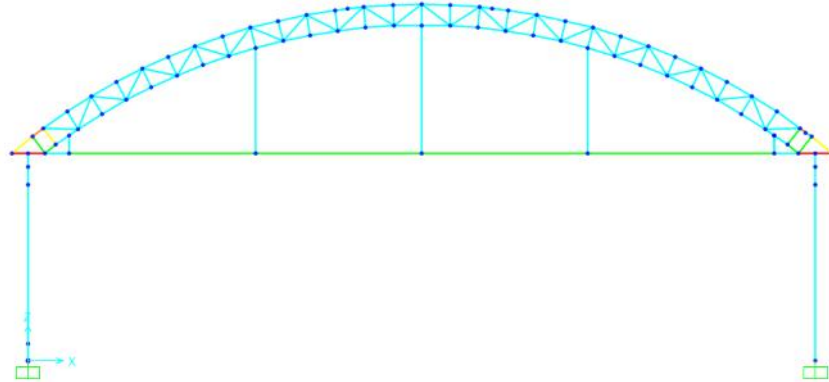
Nota. La figura muestra una ratio de 1.92, superior al límite 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento “columna 4”, una columna tipo Circular de 6” sch40, analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido al valor mostrando con un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.92, superior al límite permitido de 1.0. las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -8389.572 kgf no excede la capacidad resistente de la sección, pero el momento mayor si ($Mu3 = -7482.261$ kg.m vs $Mu2 = 6.863$ kg.m). A su vez cumple con la esbeltez debido que KL/r no supera el valor 200 según los parámetros estudiados.

Análisis bajo cargas establecidas de M02 con cable tensor de 1/2"

Figura 58

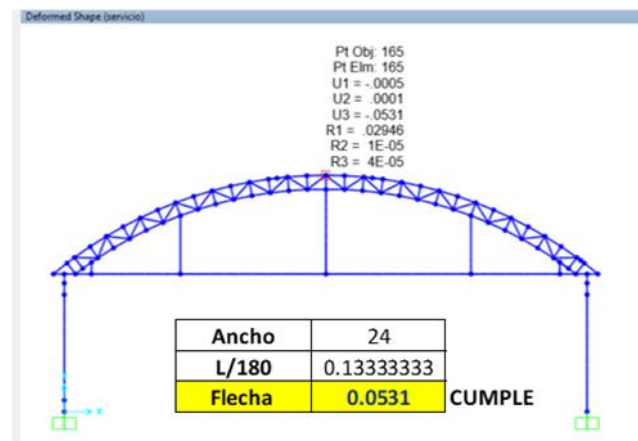
Verificación de elementos M02 con cables tensores.



Nota. La figura muestra la mejora del comportamiento estructural en elementos de M02 con la inclusión de cable tipo boa de 1/2", ahora cumpliendo con los parámetros de normas ANSI/AISC 360-16 (LRFD).

Figura 59

Control de flecha bajo cargas de servicio en M02 con cables tensores de 1/2".



Nota. La figura muestra que la flecha cumple con el parámetro de diseño menor a L/180. Norma E020, (MVCS, 2018) lo que demuestra que sus análisis y calculo es adecuado para resistir las sollicitaciones de carga al incluirse en el diseño cables tensores de 1/2".

Tabla 6

Comparación de resultados en M02 con y sin cables tipo boa

Tipo de elemento	Ratio sin cables tipo boa	Axial critica	Momento critico kg.m	Ratio con cables tipo boa	Axial critica	Momento critico kg.m
Brida superior critica	2.467	5802.46	347.319 209.507 234.15	0.95	-233.093	144.345 208.756
Brida inferior critica	2.515	35568.178	-8.90	0.637	8641.159	65.707 -5.682
Montante critica	2.503	-5433.56	-1277.136 16.404	0.487	178.01	250.735 -6.512
Diagonal critica	1.196	-742.535	1.434 6.152	0.415	2213.437	-1.505 3.868
Columna critica	1.92	-8389.572	-7482.261 6.863	0.494	- 9172.035	1341.21 73.766

Nota. La figura muestra que en todos los casos, los ratios mejoran significativamente al usar cables tipo boa.

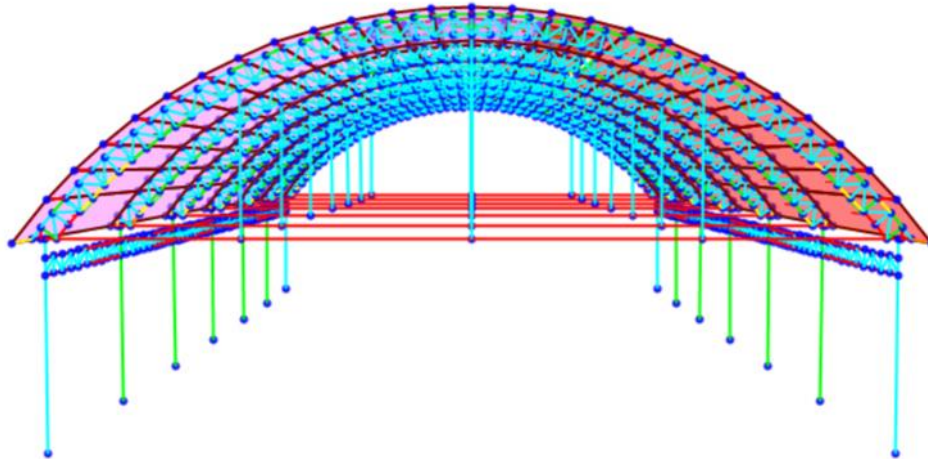
Especialmente en los elementos más comprometidos como la columna crítica y el montante crítico, el refuerzo con cables no solo reduce la magnitud de momentos negativos, sino que incluso los convierte en positivos, lo que indica una mejora en la estabilidad estructural.

La columna crítica, por ejemplo, pasa de un comportamiento fuertemente negativo a uno altamente positivo.

5.1.3. Verificación estructural de elementos metálicos M03

Figura 60

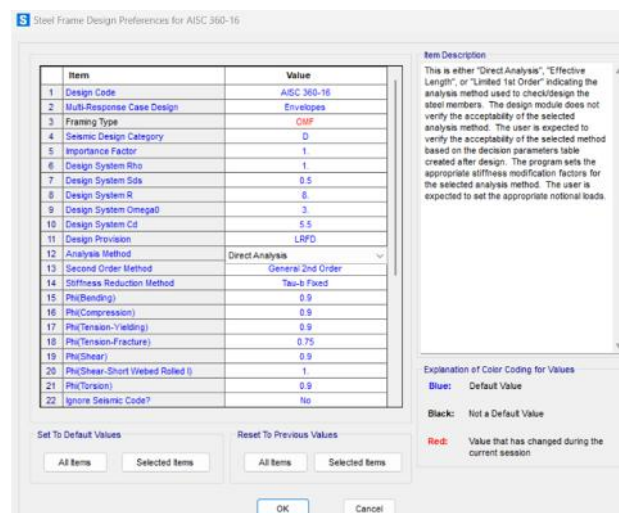
Verificación de resistencia en elementos de M03 bajo cargas de viento nieve y accion sismica



Nota. La figura muestra elementos en estado de observación en el diseño bajo cargas establecidas de normas ANSI/AISC 360-16 (LRFD).

Figura 61

Configuración de normas 360-16 metodo LRFD

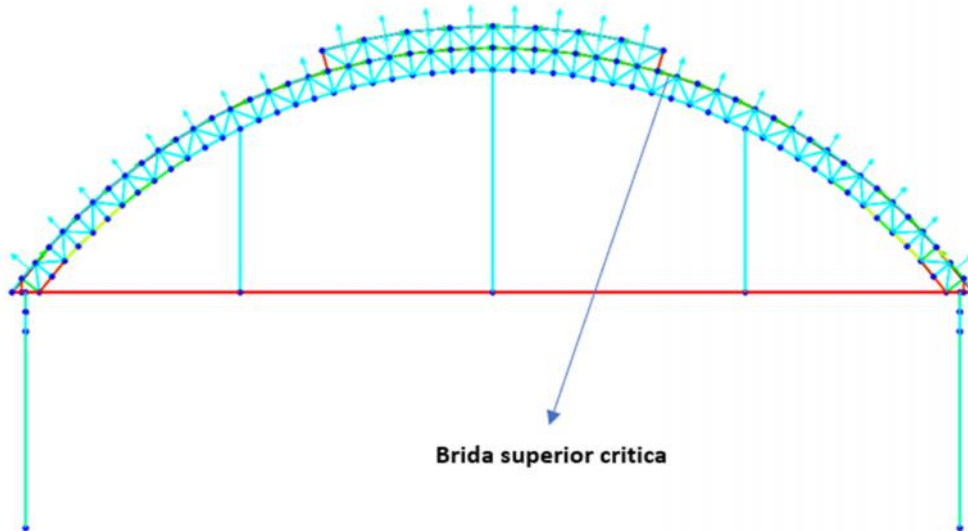


Nota. La figura muestra la configuración de normativa para el diseño 360-16 y método LRFD

Brida superior M03

Figura 62

Verificación de brida superior a compresión M03



Nota. La figura muestra la brida superior con elementos bajo observación estos pueden identificarse con el color verde. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: Bsup 255
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.46 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 100x50x2 mm

Figura 63

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) M03.

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	MOMENT INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB2	0.48	1.037 (C)	= 0.694 + 0.279 + 0.064	0.066	0.024
COMB3	0.	0.48 (C)	= 0.39 + 0.053 + 0.037	0.042	0.015
COMB3	0.24	0.449 (C)	= 0.39 + 0.057 + 0.002	0.042	0.015
COMB3	0.48	0.599 (C)	= 0.39 + 0.167 + 0.042	0.042	0.015
COMB4	0.	0.907 (C)	= 0.781 + 0.057 + 0.068	0.07	0.026
COMB4	0.24	0.905 (C)	= 0.781 + 0.124 + 0.	0.069	0.026
COMB4	0.48	1.154 (C)	= 0.781 + 0.305 + 0.069	0.069	0.026

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión axial. Esta figura muestra cómo se comporta el elemento Bsup255 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB4, donde el RATIO llega a 1.154, lo que es excesivo. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 15% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 64

Detalles de verificación en elemento 1B9, M03.

```

Units : Kgf, m, C
Design Type: Brace
Frame Type: OMF
Princpl Rot: 0. degrees

Frame : Bsup255 X Mid: 6.731 Combo: COMB4
Length: 0.48 Y Mid: 5. Shape: 100x50x2mm
Loc : 0.48 Z Mid: 10.396 Class: Compact

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.306 AlphaPr/Fe=0.093 Tau_b=0.949 EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: D I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=8. Omega0=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=5.804E-04 I33=7.662E-07 r33=0.036 S33=1.532E-05 Av3=1.562E-04
J=6.062E-07 I22=2.608E-07 r22=0.021 S22=1.043E-05 Av2=3.811E-04
Ae=5.333E-04 Se33=1.532E-05 Se22=9.080E-06
E=2.039E+10 Fy=32341202.8 Ry=1.1 z33=1.884E-05 Cw = Not Required
RLLE=1. Fu=40778038.3 z22=1.163E-05

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode K L r KL/r KL/r Limit L/r L/r Limit
Major (3-3) 1. 0.48 0.036 13.208 200 13.208 300
Minor (2-2) 1. 0.96 0.021 45.275 200 45.275 300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode K L KL/r
K1 Major Flexure 1. 0.48 13.208
K1 Minor Flexure 1. 0.96 45.275
K2 Major Flexure 1. 0.48 13.208
K2 Minor Flexure 1. 0.96 45.275
LTB 1. 0.96 45.275

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB4)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0.48 -10563.339 187.824 -20.477 -463.861 84.928 40.888

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)
D/C Ratio: 1.154 = 0.781 + 0.305 + 0.069
= (Pr/Pc) + (8/9)(Mr33/Mc33) + (8/9)(Mr22/Mc22)

```

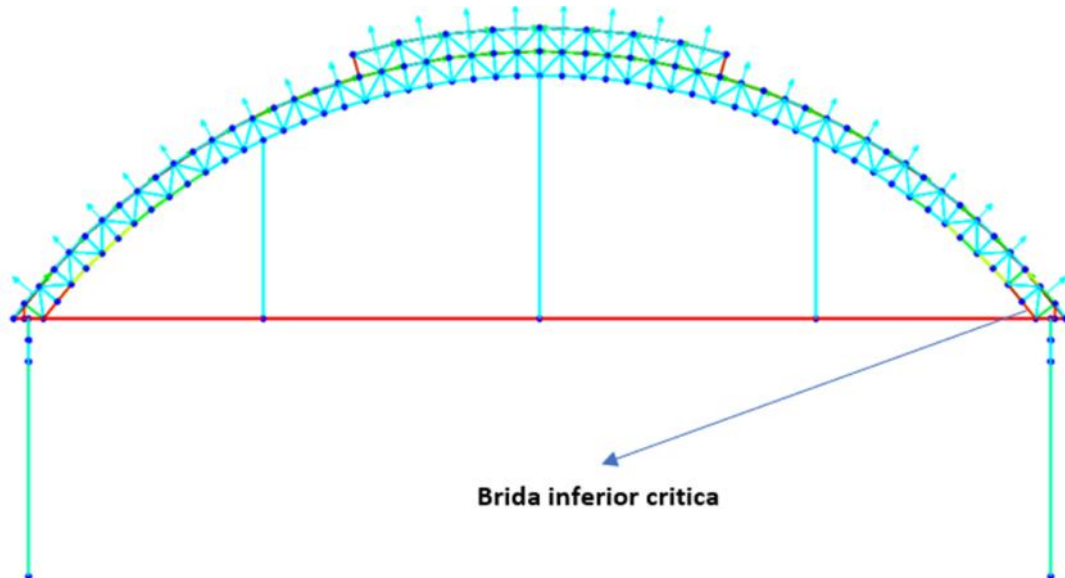
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento Bsup255, un refuerzo tipo rectangular de 100x50x2mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.154, muy superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -10552.33 kgf junto al momento ($Mu_3 = 107.82 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = -20.477 \text{ kg.m}$) superan la resistencia. A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Brida inferior M03

Figura 65

Verificación de brida inferior a tracción M03



Nota. La figura muestra la brida inferior con elementos rojos los que se evalúan en los siguientes ítems. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: Binfe13
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.46 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 100x50x2 mm

Figura 66

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de brida inferior 13, M03

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	-MAJ-SHR RATIO	-MIN-SHR RATIO
COMB3	0.	0.725 (C)	= 0.322 + 0.182 + 0.221	0.055	0.07
COMB3	0.23	0.412 (C)	= 0.322 + 0.043 + 0.047	0.055	0.07
COMB3	0.46	0.544 (C)	= 0.322 + 0.096 + 0.127	0.055	0.07
COMB4	0.	1.268 (C)	= 0.306 + 0.199 + 0.479	0.053	0.132
COMB4	0.23	0.748 (C)	= 0.306 + 0.05 + 0.108	0.053	0.132
COMB4	0.46	0.953 (C)	= 0.306 + 0.099 + 0.264	0.053	0.132
COMB5	0.	0.307 (C)	= 0.033 + 0.037 + 0.237	0.011	0.064

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento “Binfer13” frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB4, donde el RATIO llega a 1.267, que es excesivo. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 26.7% más de lo que debería, principalmente por la fuerza axial y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 67

Detalles de verificación en elemento , M03.

```

Units : Kgf, m, C
Units Kgf, m, C

Frame : Binfer13 X Mid: 0.46      Combo: COMB4      Design Type: Brace
Length: 0.462   Y Mid: 30.      Shape: 100x50x2mm  Frame Type: CMF
Loc : 0.       Z Mid: 5.58      Class: Compact    Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD   Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95   2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.281 AlphaPr/Fe=0.019   Tau_b=1.      EA factor=0.8   EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D           I=1.           Rho=1.         Sds=0.5
R=6             Omega0=3.       Cd=5.5
PhiB=0.9        PhiC=0.9        PhiTY=0.9      PhiTF=0.75
PhiS=0.9        PhiS-RI=1.     PhiST=0.9

A=5.804E-04     I33=7.662E-07   r33=0.036     S33=1.532E-05   Av3=1.962E-04
J=6.062E-07     I22=2.608E-07   r22=0.021     S22=1.043E-05   Av2=3.811E-04
Ae=5.200E-04    Se33=1.532E-05   Se22=9.080E-06
E=2.039E+10     Fy=32341202.8   Ry=1.1        n33=1.884E-05   Cv = Not Required
RLLF=1.         Fu=40778038.3   n22=1.163E-05

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode      K          L          r          KL/r      KL/r Limit    L/r      L/r Limit
Major (3-3)        1.         0.462      0.036      12.727    200           12.727   300
Minor (2-2)        1.         0.462      0.021      21.816    200           21.816   300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode      K          L          KL/r
K1 Major Flexure   1.         0.462     12.727
K1 Minor Flexure   1.         0.462     21.816
K2 Major Flexure   1.         0.462     12.727
K2 Minor Flexure   1.         0.462     21.816
LTB                 1.         0.462     21.816

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB4)
Location          Fu          Mu33        Mu22        Vu2         Vu3         Tu
0.                -4491.74    109.061     126.566     352.881     424.377     -114.159

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H3-6)
D/C Ratio: 1.268 = 0.306 + 0.199 + 0.479 + [0.053 + 0.132 + 0.348]^2
           = (Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22) + [(Vr2/Vc2) + (Vr3/Vc3) + (Tr/Tc)]^2

```

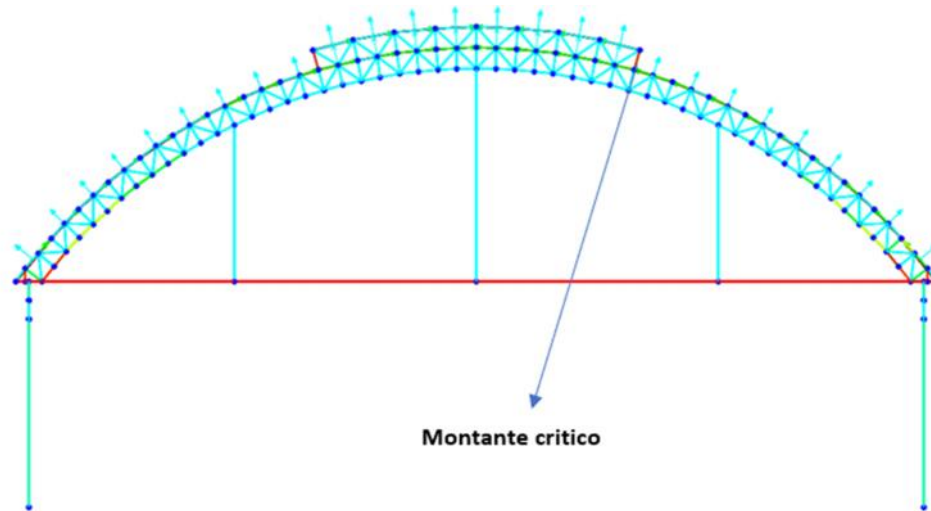
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento Binfer13, un refuerzo tipo rectangular de 100x50x2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por compresión axial y momento menor, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.268, muy superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -4491.74 kgf más los momentos $Mu3 = 109.061$ $Mu2 = 126.566$ exceden la capacidad resistente de la sección. A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que es recomendable cambiar a una sección más robusta.

Montantes M03

Figura 68

Verificación de montantes M03



Nota. La figura muestra los montantes con elementos de color rojo lo que requiere observación. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: montante 332
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.50 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 100x50x2mm

Figura 69

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento de montante 332, M03

COMBO ID	STATION LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB3	0.	0.655 (C)	= 0.038 + 0.213 + 0.404	0.052	0.074
COMB3	0.25	0.27 (C)	= 0.038 + 0.054 + 0.178	0.052	0.074
COMB3	0.5	0.191 (C)	= 0.038 + 0.105 + 0.047	0.052	0.074
COMB4	0.	1.211 (C)	= 0.072 + 0.424 + 0.714	0.102	0.13
COMB4	0.25	0.504 (C)	= 0.072 + 0.111 + 0.32	0.102	0.13
COMB4	0.5	0.347 (C)	= 0.072 + 0.201 + 0.074	0.102	0.13
COMB5	0.	0.414 (T)	= 0.015 + 0.123 + 0.276	0.029	0.048

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es mucho mayor que 1.0, lo que significa que la sección NO cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento montante 332 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB4, donde el RATIO llega a 1.211. Esto quiere decir que el tubo está trabajando 21% más de lo que debería, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector, que lo están sobrecargando mucho. Aunque el esfuerzo por cortante (corte) está dentro del límite, el elemento no cumple y debe ser reemplazado por una sección más resistente.

Figura 70

Detalles de verificación en elemento montante 332, M03

```

Units : Kgf, m, C
Frame : montante3X Mid: 6.891 Combo: COMB4 Design Type: Brace
Length: 0.5 Y Mid: 25. Shape: 100x50x2mm Frame Type: OMF
Loc : 0. Z Mid: 10.707 Class: Compact Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.96 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.066 AlphaPr/Fe=0.005 Tau_b=1. EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No Ignore Special EQ Load? No D/P Plug Welded? Yes

SDC: D I=1. Rho=1. Sds=0.5
R=8. Omega=3. Cd=5.5
PhiB=0.9 PhiC=0.9 PhiTY=0.9 PhiTF=0.75
PhiS=0.9 PhiS-RI=1. PhiST=0.9

A=5.804E-04 I33=7.662E-07 r33=0.036 S33=1.532E-05 Av3=1.962E-04
J=6.062E-07 I22=2.608E-07 r22=0.021 S22=1.043E-05 Av2=3.811E-04
Ae=5.206E-04 Se33=1.532E-05 Se22=9.080E-06
E=2.039E+10 Fy=32341202.8 Ry=1.1 z33=1.894E-05 Cw = Not Required
RLLF=1. Fu=40778038.3 z22=1.163E-05

HSS Welding: ERW Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode K L r KL/r KL/r Limit L/r L/r Limit
Major (3-3) 1. 0.5 0.036 13.761 200 13.761 300
Minor (2-2) 1. 0.5 0.021 23.587 200 23.587 300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode K L KL/r
K1 Major Flexure 1. 0.5 13.761
K1 Minor Flexure 1. 0.5 23.587
K2 Major Flexure 1. 0.5 13.761
K2 Minor Flexure 1. 0.5 23.587
LTB 1. 0.5 23.587

DESIGN MESSAGES
Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB4)
Location Pu Mu33 Mu22 Vu2 Vu3 Tu
0. -2104.654 -232.635 188.78 -686.432 416.582 -10.599

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-lb)
D/C Ratio: 1.211 = 0.072 + 0.424 + 0.714
= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

```

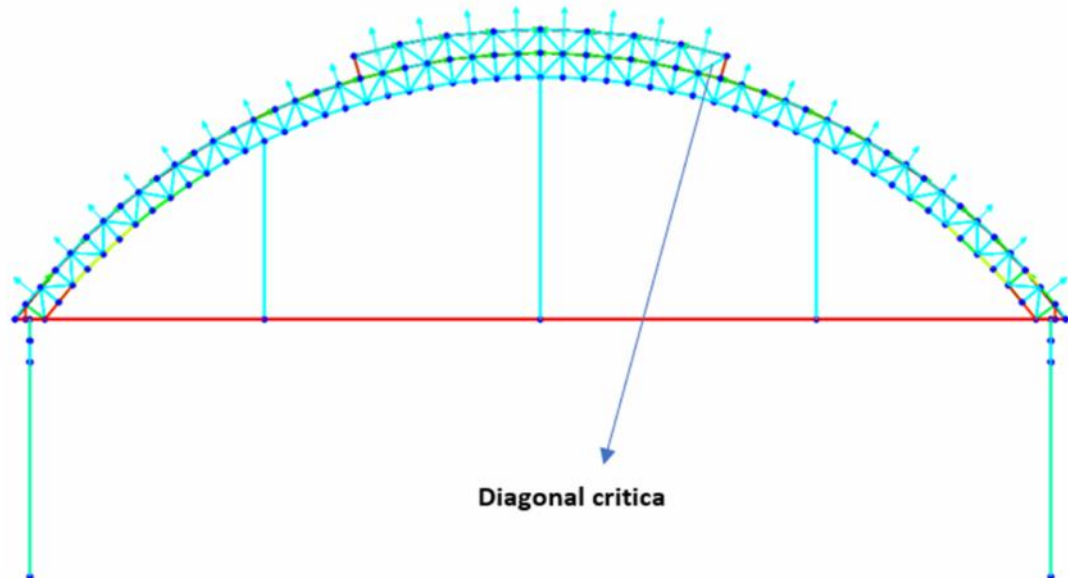
Nota. La sección está sobre esforzada. El cociente de demanda-resistencia excede 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento montante 332, un refuerzo tipo rectangular de 100*50*2 mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, no cumple estructuralmente debido a una sobrecarga por momento flector, mostrando un índice de demanda-capacidad (D/C) de 1.211, superior al límite permitido de 1.0. Aunque las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -2104.65 kgf más el momento ($Mu_3 = -232.63 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = 1.88.7 \text{ kg.m}$) supera su resistencia. A pesar de cumplir con esbeltez, la sección se considera sobre esforzada, por lo que era recomendable cambiar a una sección más robusta.

Diagonales M03

Figura 71

Verificación de diagonales 2A1, M03.



Nota. La figura muestra las diagonales con elementos celestes, significado de buenas resistencias en el elemento. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: diagonal367
-) Tipo de elemento: Refuerzo (Brace)
-) Ubicación: Longitud 0.687 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Rect. 50x50x2 mm

Figura 72

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) elemento diagonal 2A1, M03

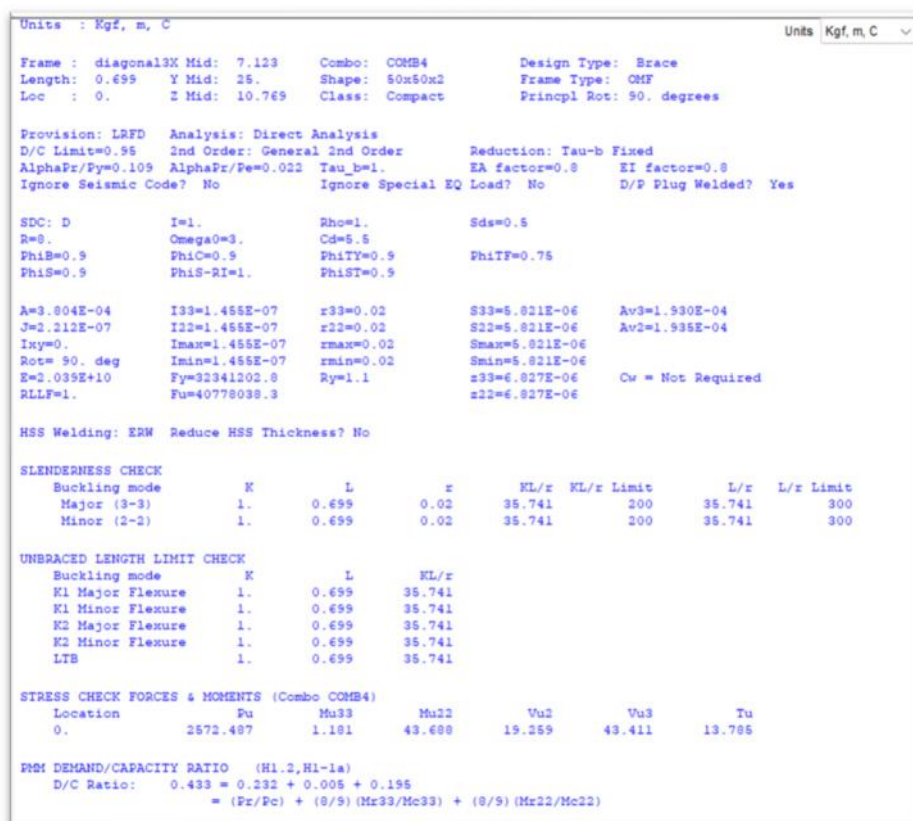
COMBO ID	STATION LOC	RATIO	AXL	B-MAJ	B-MIN	MAJ-SHR RATIO	MIN-SHR RATIO
COMB2	0.	0.4 (T)	0.21	0.004	0.186	0.005	0.013
COMB2	0.35	0.354 (T)	0.21	0.023	0.121	0.005	0.013
COMB2	0.7	0.316 (T)	0.21	0.051	0.056	0.006	0.013
COMB3	0.	0.195 (T)	0.061	0.	0.133	0.002	0.009
COMB3	0.35	0.159 (T)	0.061	0.014	0.085	0.003	0.009
COMB3	0.7	0.128 (T)	0.061	0.031	0.036	0.003	0.009
COMB4	0.	0.433 (T)	0.232	0.005	0.195	0.006	0.014

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es menor que 1.0, lo que significa que la sección si cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la tracción, también se muestra cómo se comporta el elemento diagonal367 frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado “RATIO”, que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB4, donde el RATIO llega a 0.433, que se encuentra dentro del rango. Esto quiere decir que el tubo está trabajando al 43% de su capacidad, principalmente por la fuerza de tracción y el momento flector.

Figura 73

Detalles de verificación en elemento 2A1, M03



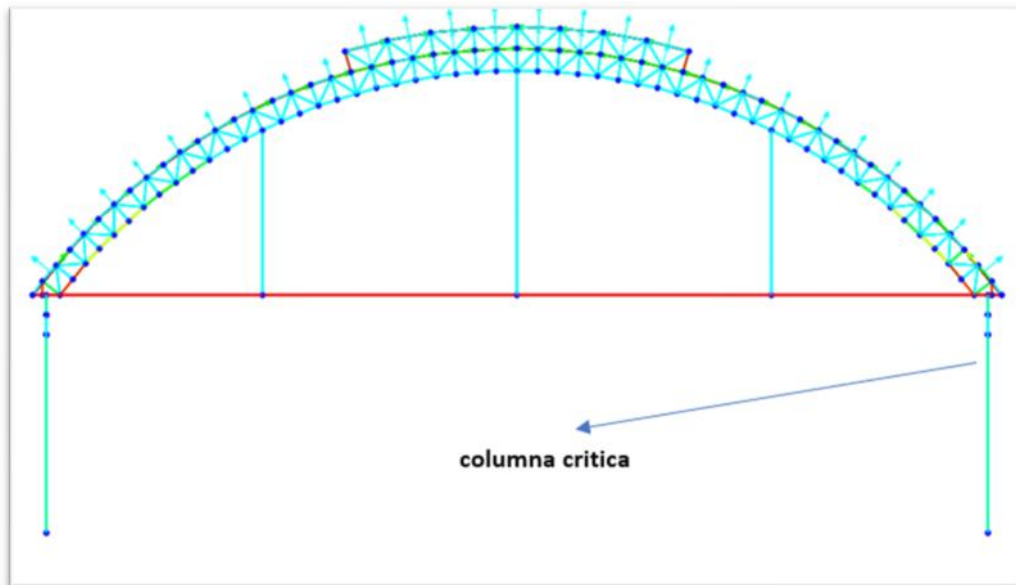
Nota. La figura muestra una ratio de 0.433, inferior al límite 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento diagonal 367, un refuerzo tipo rectangular de 50x50x2mm analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, cumple estructuralmente debido al valor mostrando con un índice de demanda-capacidad (D/C) de 0.433, inferior al límite permitido de 1.0. las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de 2572.48 kgf no excede la capacidad resistente de la sección y el momento también se encuentra en el rango ($Mu_3 = 43.68 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = 19.259 \text{ kg.m}$). A su vez cumple con la esbeltez.

Columnas M03

Figura 74

Verificación de columnas M02



Nota. La figura muestra las columnas circulares de 6" SCH40. Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

-) Elemento: 2177
-) Ubicación: Longitud 5.40 m
-) Norma de diseño: LRFD
-) Tipo de unión: Soldadura tipo ERW
-) Tipo de sección transversal: Circ. 6" sch40.

Figura 75

Cociente de demanda-capacidad (d/c ratio) en columna 2177, M03.

COMBO ID	STATION	LOC	RATIO	INTERACTION CHECK	RATIO	RATIO
COMB4	0.9		0.355 (C)	= 0.065 + 0.29 + 0.003	0.033	0.001
COMB4	0.9		0.357 (C)	= 0.065 + 0.291 + 0.003	0.032	0.
COMB4	2.7		0.116 (C)	= 0.066 + 0.049 + 0.	0.032	0.
COMB4	5.4		0.628 (C)	= 0.067 + 0.561 + 0.003	0.032	0.
COMB5	0.		0.222 (I)	= 0.003 + 0.219 + 0.	0.02	0.
COMB5	0.45		0.169 (I)	= 0.003 + 0.167 + 0.001	0.02	0.
COMB5	0.45		0.169 (I)	= 0.002 + 0.166 + 0.001	0.02	0.

Nota. La figura muestra la ratio de demanda y capacidad, este valor es menor que 1.0, lo que significa que la sección cumple con los requerimientos de capacidad estructural, este valor se calcula considerando fuerzas axiales, momentos y cortantes combinados.

El término dominante es la compresión, también se muestra cómo se comporta el elemento frente a distintas combinaciones de carga en SAP2000. Lo más importante aquí es el valor llamado "RATIO", que indica si el elemento resiste o no. Si ese número es menor a 1.0, todo está bien; pero si es mayor, significa que está fallando. En este caso, la peor combinación es la llamada COMB4, donde el RATIO llega a 0.628. Esto quiere decir que el tubo está trabajando al 62% de su capacidad óptima, principalmente por la fuerza de compresión y el momento flector.

Figura 76

Detalles de verificación en elemento columna 6, M03

```

Units : Kgf, m, C
Frame : columna6 X Mid: 21.5      Combo: COMB4      Design Type: Column
Length: 5.4      Y Mid: 10.      Shape: circular (6") SCFrame Type: ONF
Loc : 5.4      Z Mid: 2.7      Class: Compact      Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.061      AlphaPr/Pe=0.067      Tau_b=1.      EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D      I=1.      Rho=1.      Sds=0.5
R=8.      Omega0=3.      Cd=5.5
PhiB=0.9      PhiC=0.9      PhiTY=0.9      PhiTF=0.75
PhiS=0.9      PhiS-RI=1.      PhiST=0.9

A=0.004      I33=1.172E-05      r33=0.057      S33=1.392E-04      Av3=0.002
J=2.343E-05      I22=1.172E-05      r22=0.057      S22=1.392E-04      Av2=0.002
E=2.039E+10      Fy=24607436.91      Ry=1.1      z33=1.849E-04      Cw = Not Required
RLLF=1.      Fu=42184177.6      z22=1.849E-04

HSS Welding: ERW      Reduce HSS Thickness? No

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode      K      L      r      KL/r      KL/r Limit      L/r      L/r Limit
Major (3-3)      1.      5.4      0.057      94.663      200      94.663      300
Minor (2-2)      1.      4.5      0.057      78.886      200      78.886      300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode      K      L      KL/r
K1 Major Flexure      1.      5.4      94.663
K1 Minor Flexure      1.      4.5      78.886
K2 Major Flexure      1.      5.4      94.663
K2 Minor Flexure      1.      4.5      78.886
LTB      1.      4.5      78.886

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB4)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
5.4      -6755.504      2294.67      -13.808      -774.967      5.5      -12.698

PMI DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)
D/C Ratio:      0.628 = 0.067 + 0.561 + 0.003
              = (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)

```

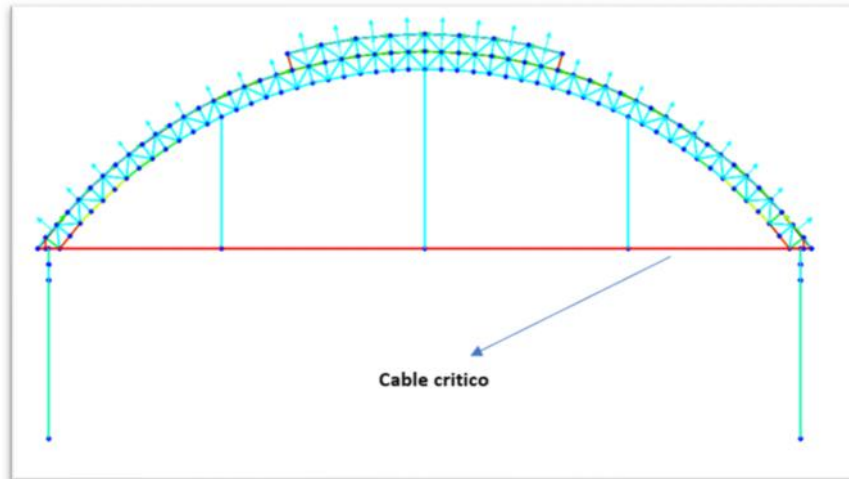
Nota. La figura muestra una ratio de 0.655, inferior al límite 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

El elemento columna 6, una columna tipo Circular de 6" sch40, analizado en SAP2000 bajo diseño LRFD, cumple estructuralmente debido al valor mostrando con un índice de demanda-capacidad (D/C) de 0.628, inferior al límite permitido de 1.0. las verificaciones de cortante y torsión sí se cumplen, la carga axial aplicada de -6755.50 kgf no excede la capacidad resistente de la sección, y los momentos son ($Mu_3 = 2294.67 \text{ kg.m}$ vs $Mu_2 = -13.808 \text{ kg.m}$). A su vez cumple con la esbeltez debido que KL/r no supera el valor 200 según los parámetros estudiados.

Cables tensores M03

Figura 77

Verificación de cables tensores M03



Nota. La figura muestra los cables tensores de 3/8". Bajo parámetros (ANSI/AISC 360-16 (LRFD))

Información general del elemento

Figura 78

Análisis de cables tipo boa

Steel Stress Check Information (AISC 360-16)

Frame ID: 2CS Analysis Section: cable tipo boa
 Design Code: AISC 360-16 Design Section: cable tipo boa

COMBO ID	STATION LOC	---MOMENT INTERACTION CHECK---	MAJ-SHR	MIN-SHR
ID	LOC	RATIO = AXL + B-MAJ + B-MIN	RATIO	RATIO
COMB8	3.7	0.431 (T) = 0.397 + 0.034 + 0.005	0.	0.
COMB8	4.16	0.509 (T) = 0.397 + 0.11 + 0.023	0.	0.
COMB8	4.63	0.602 (T) = 0.397 + 0.201 + 0.041	0.	0.
COMB9	0.	6618. (C) = 6618. + 0. + 0.008	0.	0.
COMB9	0.46	6618. (C) = 6618. + 0.038 + 0.007	0.	0.
COMB9	0.93	6618. (C) = 6618. + 0.065 + 0.006	0.	0.
COMB9	1.39	6618. (C) = 6618. + 0.08 + 0.004	0.	0.

Strength
 Deflection

Stylesheet: Default

Nota. La figura muestra el buen trabajo a tracción los cables tensores tipo boa de 1/2".

Figura 79

Detalles de verificación cable tipo boa, M03

```

Units : Kgf, m, C
Frame : 205      X Mid: 2.625      Combo: COMB8      Design Type: Beam
Length: 4.628   Y Mid: -1.200E-16 Shape: cable tipo boa  Frame Type: CMF
Loc : 4.628     Z Mid: 5.4      Class: Compact      Princpl Rot: 0. degrees

Provision: LRFD      Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.95      2nd Order: General 2nd Order      Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Fy=0.318   AlphaPr/Pe=1000.   Tau_b=1.      EA factor=0.8      EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No      Ignore Special EQ Load? No      D/P Plug Welded? Yes

SDC: D      I=1      Rho=1.      Sds=0.5
S=0.      Omega=3.      Cde=5.5
PhiB=0.9      PhiC=0.5      PhiTY=0.5      PhiTF=0.75
PhiS=0.9      PhiS-RI=1.      PhiST=0.9

A=7.088E-05      I33=3.958E-10      r33=0.002      S33=8.417E-08      Av3=6.379E-05
J=7.594E-10      I22=3.958E-10      r22=0.002      S22=8.417E-08      Av2=6.379E-05
E=2.035E+10      Fy=65000000.      Ry=1.      z33=1.429E-07      Cv = Not Required
RLLF=1.      Fu=65000000.      z22=1.429E-07

SLENDERNESS CHECK
Buckling mode      K      L      r      KL/r      KL/r Limit      L/r      L/r Limit
Major (3-3)      1.      4.628      0.002      1948.482      200      1948.482      300
Minor (2-2)      1.      22.124      0.002      9315.169      200      9315.169      300

UNBRACED LENGTH LIMIT CHECK
Buckling mode      K      L      KL/r
K1 Major Flexure      1.      4.628      1948.482
K1 Minor Flexure      1.      22.124      9315.169
K2 Major Flexure      1.      4.628      1948.482
K2 Minor Flexure      1.      22.124      9315.169
LTB      1.      22.124      9315.169

DESIGN MESSAGES
Warning: L/r > 300 (AISC D1)

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo COMB8)
Location      Pu      Mu33      Mu22      Vu2      Vu3      Tu
4.628      1371.943      -1.811      0.365      1.936      -0.345      0.516

FORM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1.2, H1-1a)
D/C Ratio: 0.602 = 0.397 + 0.201 + 0.041
           = (Pr/Pc) + (8/9) (Mc33/Mc33) + (8/9) (Mc22/Mc22)

```

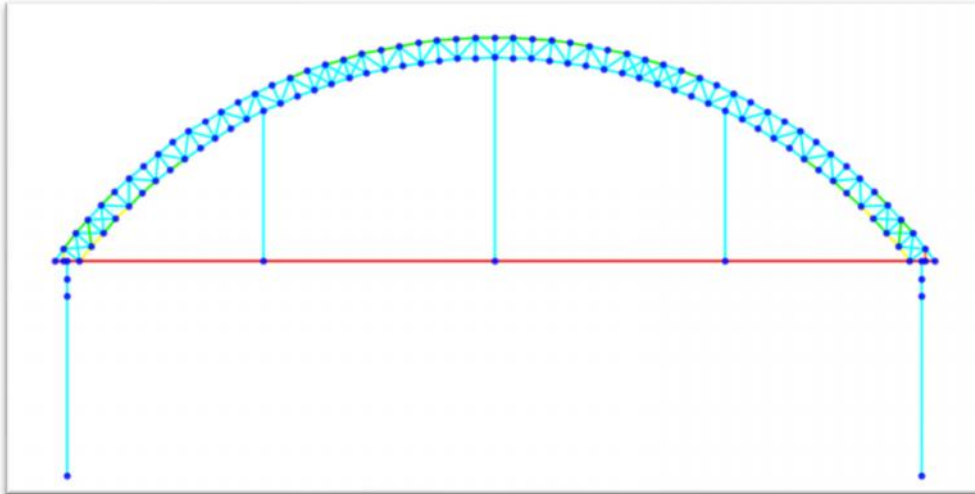
Nota. La figura muestra una ratio de 0.602, inferior al límite 1.0 a continuación se explican los detalles de la figura.

Este reporte de SAP2000 evalúa un cable tensor de 3/8" bajo el código AISC 360-16, indicando que trabaja exclusivamente a tracción, con una carga axial de 1371.94 kgf y una razón de demanda/capacidad (D/C) de 0.602, lo cual es menor a 1.0. Aunque el análisis muestra valores extremos de esbeltez (KL/r) y errores por no cumplir requisitos de compresión estos son irrelevantes para cables, ya que no deben resistir compresión ni momentos. No se reportan momentos, cortantes ni torsión significativos, como es esperable en cables. En resumen, el cable está funcionando adecuadamente dentro de sus límites de resistencia, y los errores señalados por SAP2000 son advertencias generales del programa que no aplican a cables puramente traccionados.

Análisis bajo cargas establecidas de M03 con aumento de diagonales en puntos críticos''

Figura 80

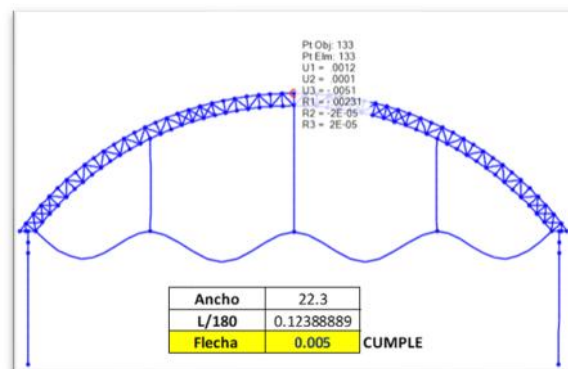
Verificación de elementos M03 con aumento de diagonales



Nota. La figura muestra la mejora del comportamiento estructural en elementos de M03 con la inclusión de diagonales de 50x50x2mm”, ahora cumpliendo con los parámetros de normas ANSI/AISC 360-16 (LRFD).

Figura 81

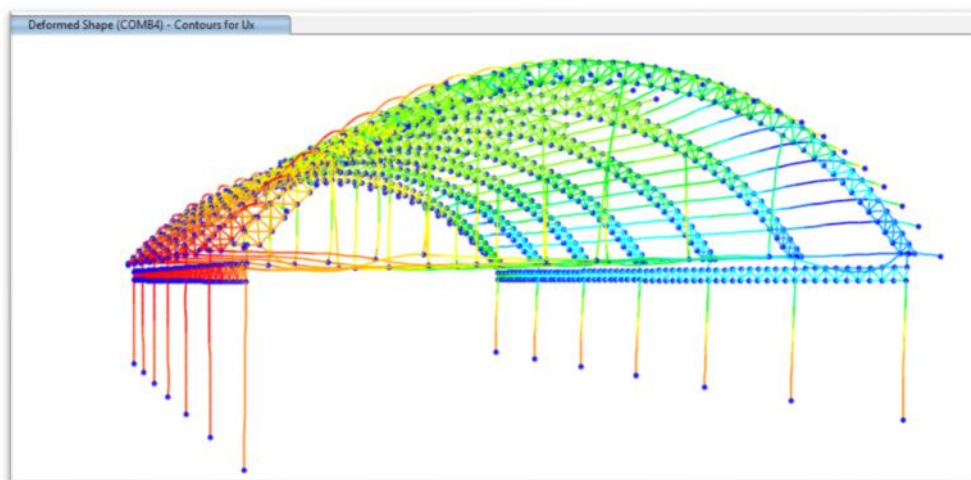
Control de flecha bajo cargas de servicio en M03 con diagonales.



Nota. La figura muestra que la flecha cumple con el parámetro de diseño menor a L/180. Norma E020, (MVCS, 2018) lo que demuestra que el aumento de diagonales mejora el desempeño.

Figura 82

Verificación de zonas frágiles en el modelo M03 con aumento de diagonales.



Nota. La figura muestra el comportamiento bajo la combinación más crítica en esta edificación y se encuentra en zonas laterales pero cumple con los parámetros normativos.

Tabla 7

Comparación de resultados en M03 con y sin inclusión de diagonales

Tipo de elemento	Ratio sin cables tipo boa	Axial critica	Momento critico kg.m	Ratio con cables tipo boa	Axial critica	Momento critico kg.m
Brida superior critica	1.154	-	107.82	0.95	-10072.68	127.594
Brida inferior critica	1.268	-4491.74	109.061	0.85	-4432.518	102.08
Montante critica	1.211	-2104.65	-232.63	0.92	-2069.322	102.08
			1.88.7			109.731

Nota. La figura muestra que, en todos los casos, las ratios mejoran el comportamiento, por lo que he recomendado su aplicación.

5.1.4. Resultados para los objetivos general y específicos

Resultados del Objetivo General

Analizar el comportamiento estructural bajo cargas de viento, granizo y acciones sísmicas, en coberturas metálicas tipo parabólicas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.

La presente investigación logró cumplir con el objetivo general planteado, el cual consistió en analizar el comportamiento estructural de coberturas metálicas de tipo parabólico ante la acción combinada de cargas de viento, granizo y sollicitaciones sísmicas, utilizando el software especializado SAP2000. A través del modelado estructural y análisis bajo condiciones de carga extremas, se logró evidenciar que estas coberturas presentan una alta sensibilidad frente a acciones externas, las cuales pueden comprometer su estabilidad, funcionamiento y durabilidad a lo largo del tiempo.

Muestra 01

Particularmente, el análisis de la muestra estructural **M01** permitió identificar fallos críticos en elementos estructurales clave, principalmente en las zonas más exigidas del diseño. Los resultados mostraron sobrecargas significativas, tales como:

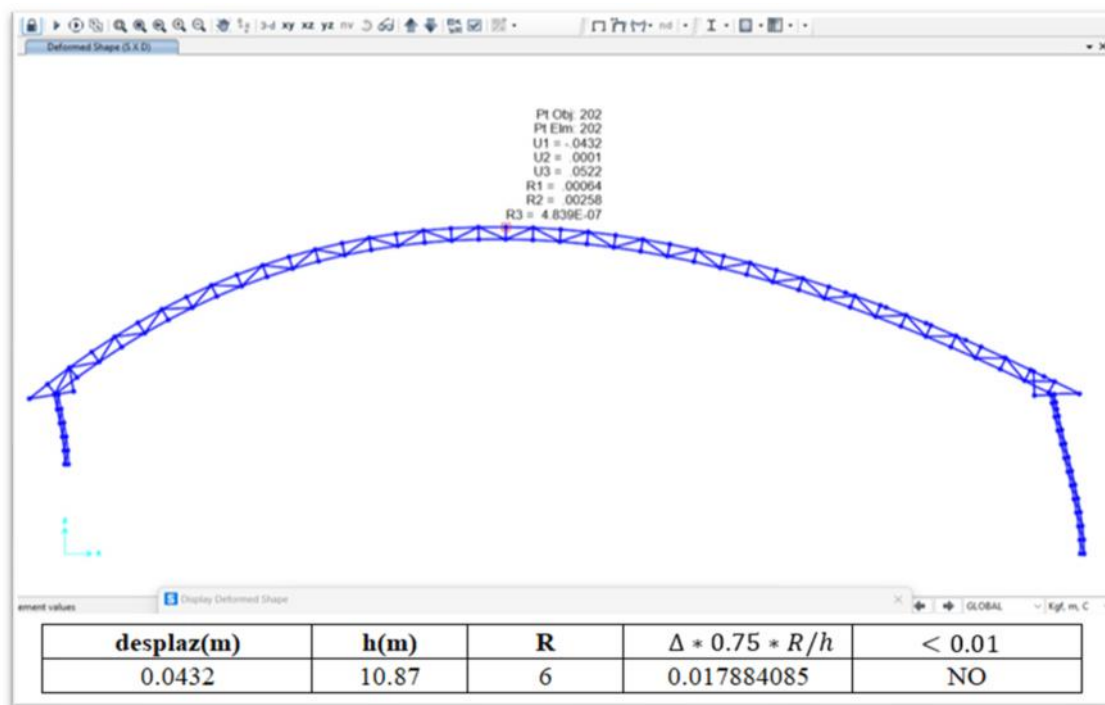
-) Un incremento del 25% por encima de la capacidad admisible en la brida superior (elemento BA3),
-) Un exceso del 0.8% en el montante vertical (elemento 225).
-) Un 26% de sobrecarga en el elemento diagonal (B79).
-) Un exceso del 2211% en la columna ADC, lo que representa una sobrecarga de 22 veces mayor a su capacidad estructural, identificándola como la principal causa potencial del colapso ocurrido en el año 2023.

Además, el estudio permitió comprobar que la estructura analizada no cumple con los requisitos establecidos en las normativas técnicas vigentes, tales como la Norma Técnica

Peruana E.020 (Cargas de viento), la E.030 (Diseño sismorresistente), así como los lineamientos de diseño estructural ANSI/AISC 360-16 (bajo metodología LRFD). La inobservancia de estos parámetros técnicos evidencia un diseño poco eficiente, que expone un riesgo para la seguridad estructural y la integridad de los usuarios.

Figura 83

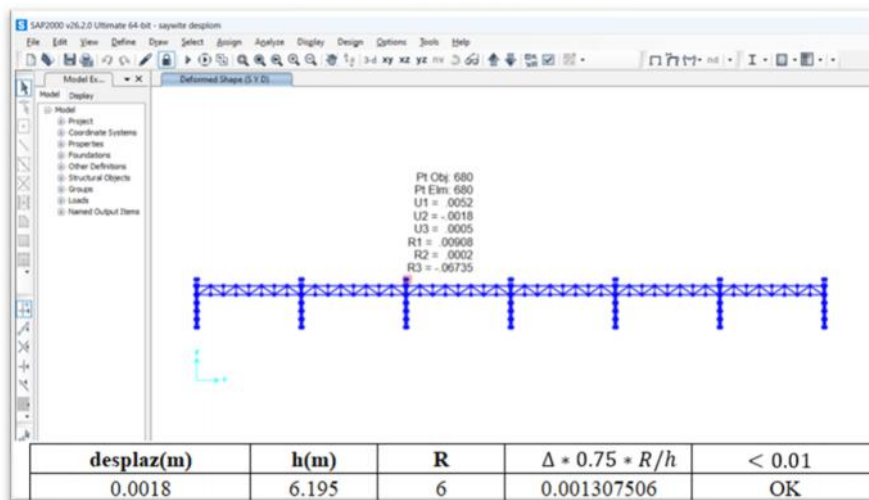
Control de derivas en eje x - M01



Nota. La figura muestra que la deriva en el “eje x” no cumple con el parámetro de diseño menor a 0.01 de Norma E030 (MVCS, 2018).

Figura 84

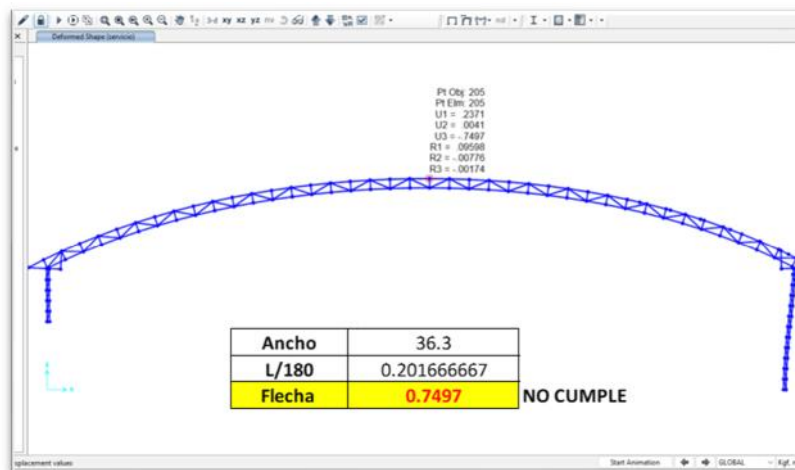
Control de derivas en eje y - M01



Nota. La figura muestra que la deriva en el “eje y” si cumple con el parámetro de diseño menor a 0.01 de Norma E030 (MVCS, 2018).

Figura 85

Control de flecha bajo cargas de servicio M01



Nota. La figura muestra que la flecha tiene un valor de 0.7497 el cual es mayor al valor 0.20166 es por ello que no cumple con el parámetro de diseño menor a L/180 de la Norma E020 (MVCS, 2018) donde la longitud viene a ser 36.3 metros.

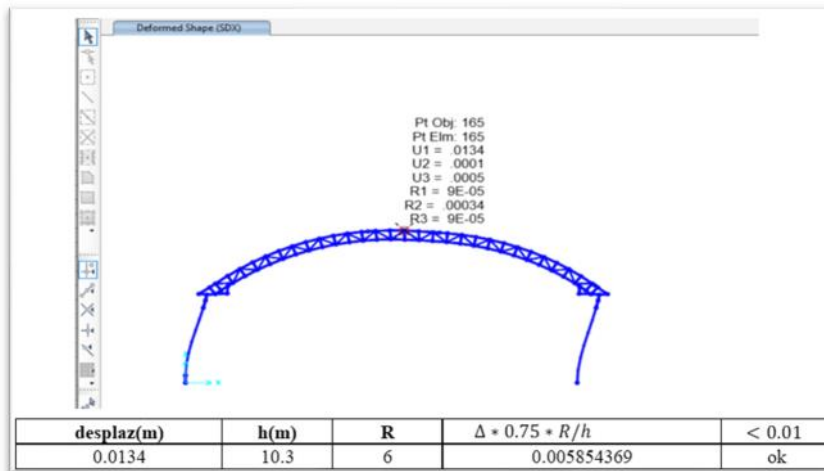
Muestra 02

El análisis estructural de la muestra M02 permitió identificar fallos significativos en elementos estructurales críticos, especialmente en las zonas sometidas a mayores exigencias de carga, revelando una vez más deficiencias estructurales relevantes. Asimismo, se verificó que esta edificación no cumple con las disposiciones establecidas por las normativas técnicas vigentes, tales como la Norma Técnica Peruana E.020 (Cargas de viento), la E.030 (Diseño sismorresistente), así como los criterios de diseño estructural establecidos en la norma ANSI/AISC 360-16, bajo el enfoque LRFD.

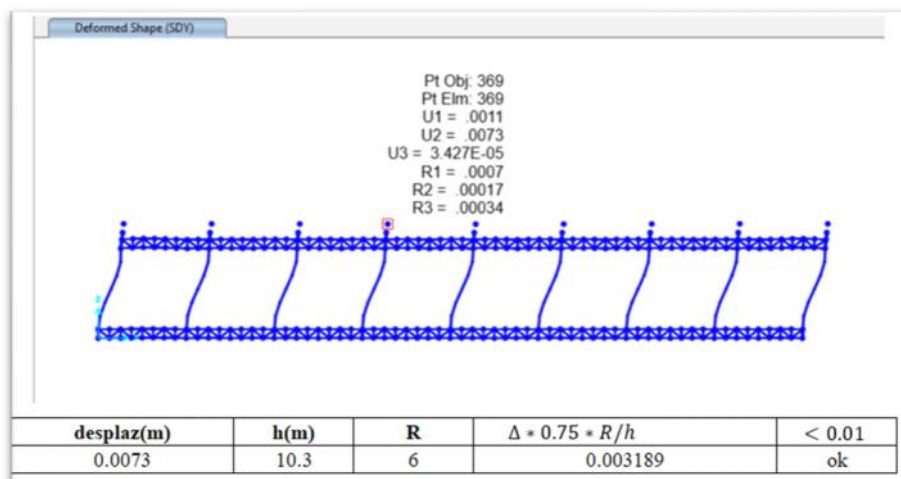
Los resultados obtenidos del modelo mostraron niveles de sobrecarga que superan ampliamente las capacidades admisibles de varios elementos estructurales, entre los que se destacan:

-) Un incremento del 146% por encima de su capacidad en la brida superior crítica.
-) Un 151% de sobrecarga en la brida inferior crítica.
-) Un 19.6% de exceso de carga en el elemento diagonal crítico.
-) Una sobrecarga del 92% en la columna crítica, la cual presenta fallo ante esfuerzos de flexión, siendo esta una de las debilidades más críticas del sistema.

Ante esta problemática, en la presente investigación se propuso y ejecutó un replanteamiento estructural mediante el recalcu del modelo considerando la inclusión de cables tensores de 1/2". Esta intervención permitió una mejora sustancial en el comportamiento de la columna, bridas y diagonales reduciendo su nivel de esfuerzo en su capacidad, quedando dentro de los márgenes admisibles. Por tal motivo, se recomienda la implementación de este sistema de refuerzo con cables tensores como medida efectiva para mejorar la estabilidad estructural en este tipo de coberturas.

Figura 86*Control de derivas en eje x - M02*

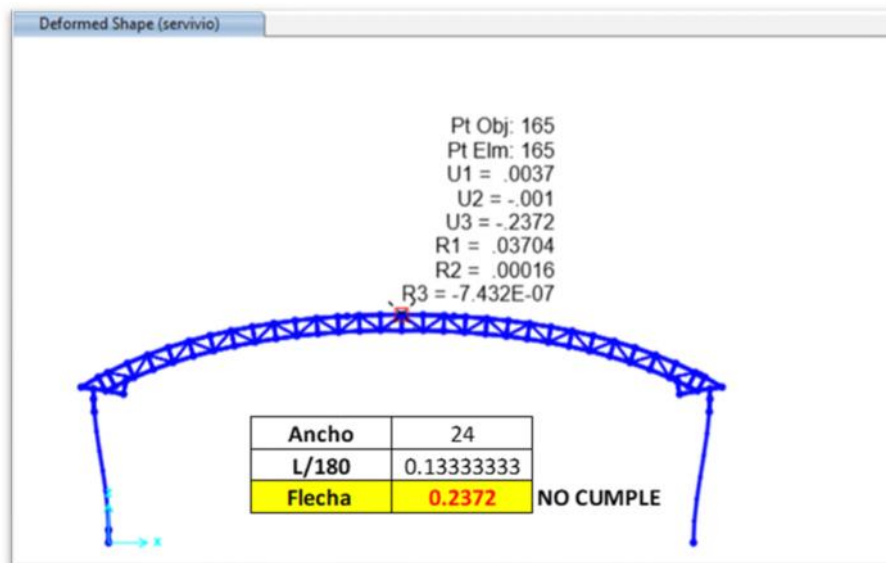
Nota. La figura muestra que la deriva en el “eje x” cumple con el parámetro de diseño menor a 0.01 de Norma E030 (MVCS, 2018).

Figura 87*Control de derivas en eje y - M02*

Nota. La figura muestra que la deriva en el “eje y” cumple con el parámetro de diseño menor a 0.01 de la Norma E030 (MVCS, 2018).

Figura 88

Control de flecha bajo cargas de servicio M02



Nota. La figura muestra que la flecha no cumple con el parámetro de diseño menor a $L/180$.

Norma E020 (MVCS, 2018).

Muestra 03

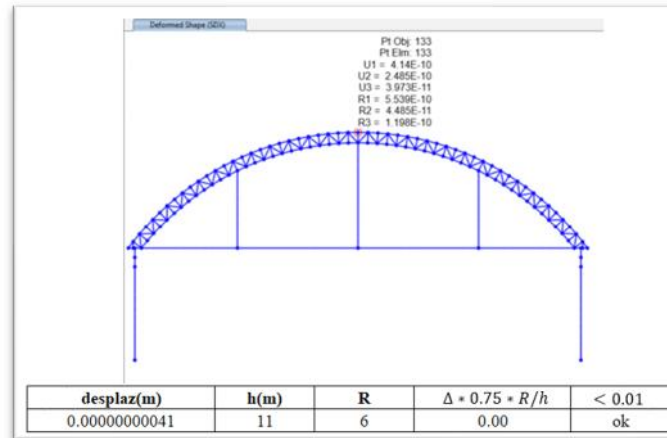
El análisis estructural de la muestra M03 permitió identificar fallos menores en elementos estructurales importantes, especialmente en las zonas sometidas a mayores exigencias de carga, revelando que necesita algunas mejoras. Asimismo, se verificó que esta edificación no llega a satisfacer por completo las normativas técnicas establecidas en la ANSI/AISC 360-16, bajo el enfoque LRFD y la E090.

Los resultados obtenidos del modelo mostraron niveles de sobrecarga que superan las capacidades admisibles de varios elementos estructurales, entre los que se destacan:

-) Un incremento del 15% por encima de su capacidad en la brida superior crítica.
-) Un 26.7% de sobrecarga en la brida inferior crítica.
-) Un 21% de exceso de carga en el elemento montante crítico.

Figura 89

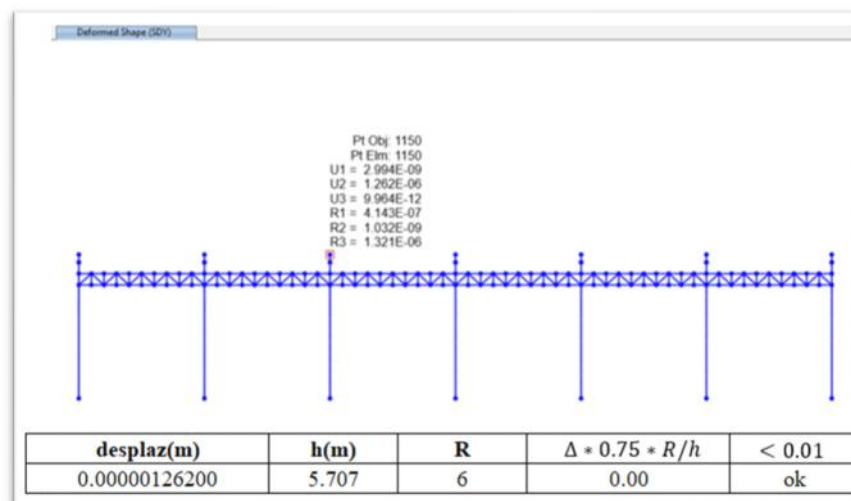
Control de derivas en eje x - M03



Nota. La figura muestra que la deriva en el eje x cumple con el parámetro de diseño menor a 0.01. Norma E030.

Figura 90

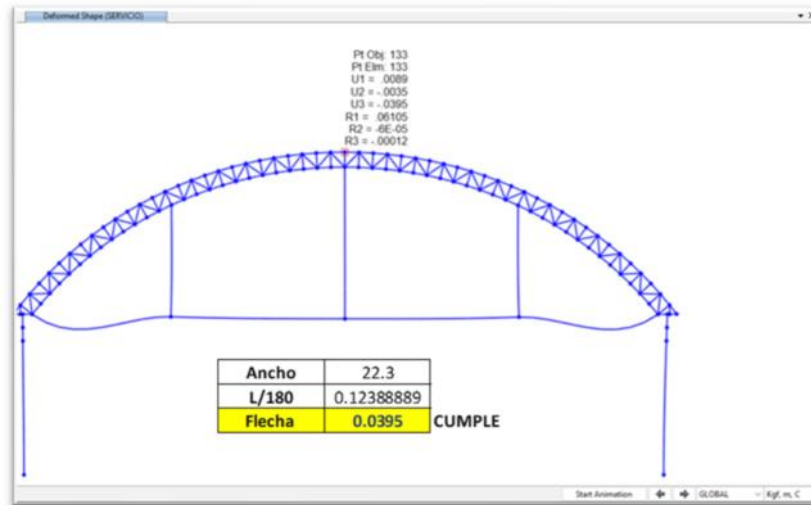
Control de derivas en eje y - M03



Nota. La figura muestra que la deriva en el eje y cumple con el parámetro de diseño menor a 0.01 de la Norma E030 (MVCS, 2018).

Figura 91

Control de flecha bajo cargas de servicio M03



Nota. La figura muestra que la flecha cumple con el parámetro de diseño menor a $L/180$. Norma E020, (MVCS, 2018) lo que demuestra que sus análisis y cálculo es adecuado para resistir las solicitaciones de carga.

Resultados del Objetivo Específico 1

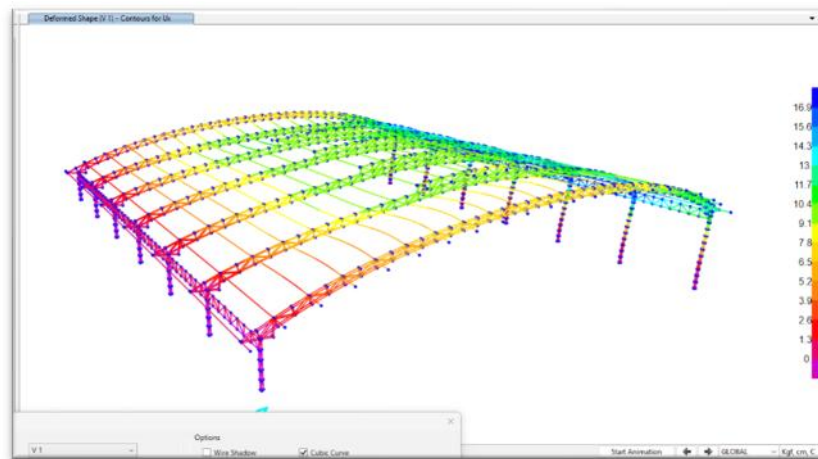
Evaluar la incidencia del viento, granizo y sismo mediante el análisis estructural de las coberturas metálicas de losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.

La presente investigación logró cumplir con el objetivo específico 1 planteado, el cual consistía en evaluar la incidencia del viento, granizo y solicitaciones sísmicas, utilizando el software especializado SAP2000. A través del modelado estructural y análisis bajo condiciones de carga, se logró evidenciar que estas coberturas presentan una alta incidencia frente a acciones externas, las cuales pueden comprometer su estabilidad, funcionamiento y durabilidad a lo largo del tiempo, es por ello que se presentan las siguientes deformaciones:

Muestra 01

Figura 92

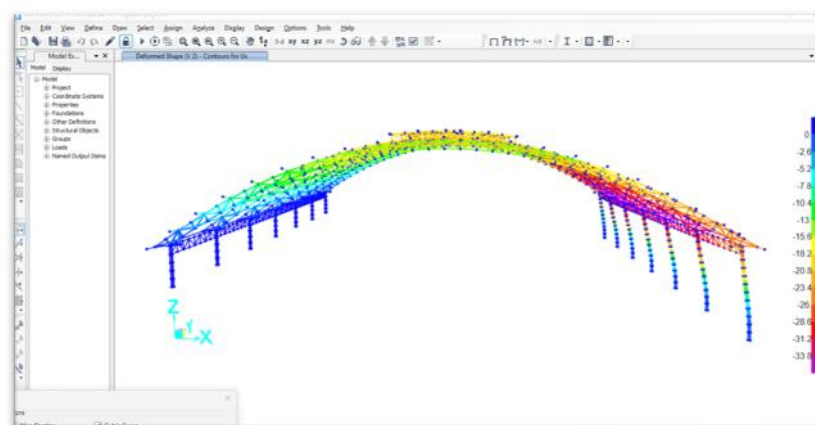
Deformaciones por acciones de viento V1- M01.



Nota. La figura muestra los desplazamientos máximos: 16.9 cm, se observa que la deformación con zonas de color verde-amarillo en la cubierta y azul en columnas, lo que indica que el viento (V1) provoca una presión vertical que deforma la superficie parabólica en la cubierta.

Figura 93

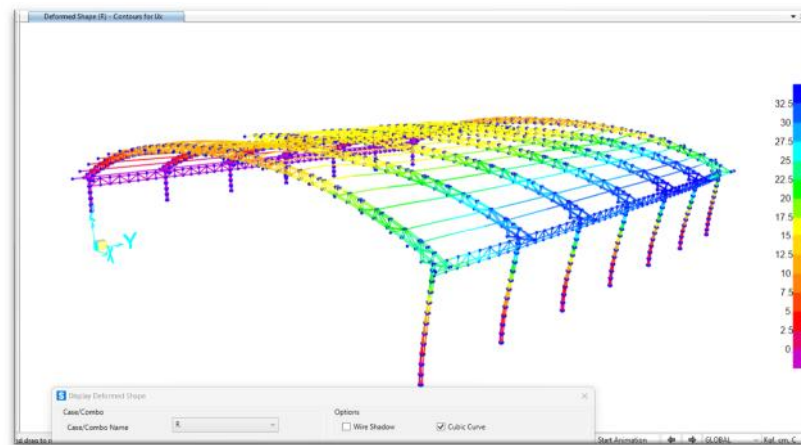
Deformaciones por acciones de viento V2-M01



Nota. La figura muestra los desplazamientos máximos: 33.8 cm, se observa que la deformación con zonas de color verde-amarillo en la parte superior y azul en columnas, lo que indica que el viento (V2) provoca una succión vertical que deforma el lado lateral de la edificación.

Figura 94

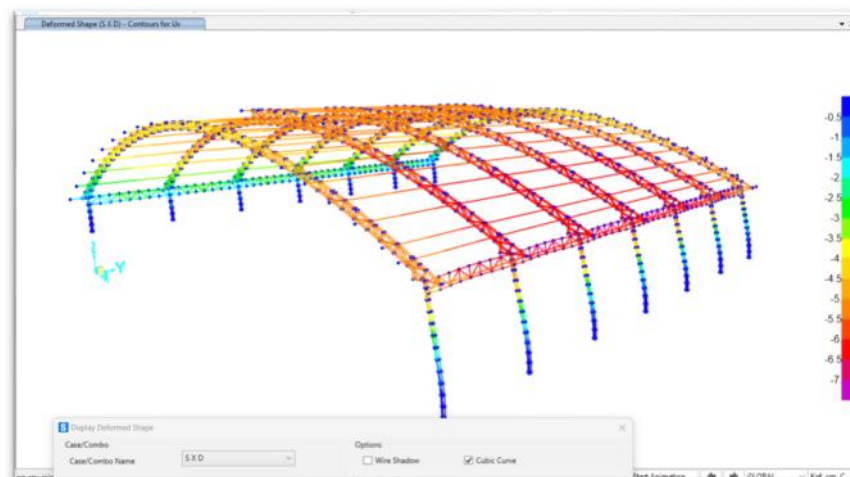
Deformaciones por acciones de granizo M01



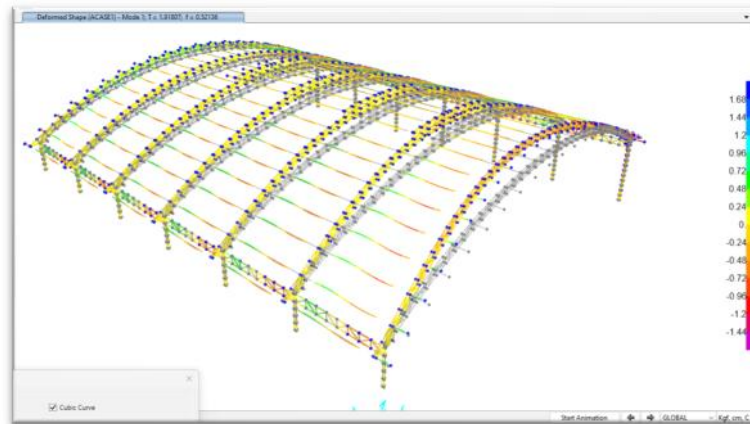
Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 32.5 cm, La deformación está concentrada hacia abajo, afectando la parte lateral de la cubierta. Esto se debe al peso acumulado del granizo sobre la cubierta.

Figura 95

Deformaciones por acciones de sismo M01

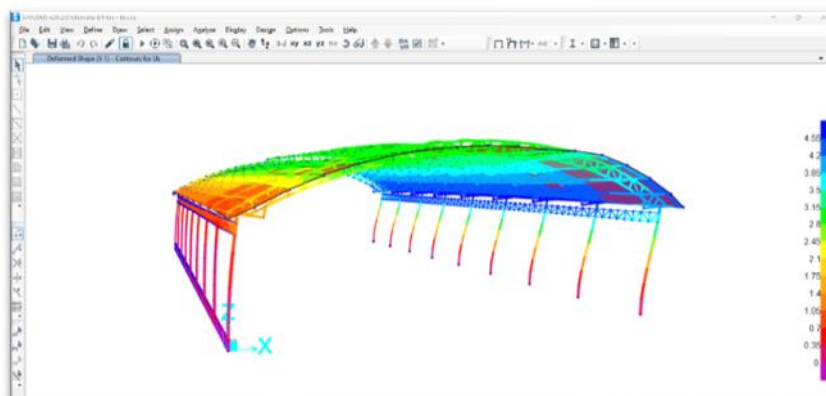


Nota: La figura muestra desplazamientos máximos de 7 cm, inferior a otras cargas, a su vez una deformación general leve en todo el sistema, la estructura, sufre mayores deformaciones en columnas y algunas zonas marcadas en color rojo de la cobertura, como se muestra en la figura.

Figura 96.*Deformación modal 01 - M01*

Nota: La figura muestra el Modo 1 de vibración modal de la estructura curva metálica en SAP2000. Este modo tiene un período (T) de 1.91807 seg. y una frecuencia (f) de 0.5213 Hz.

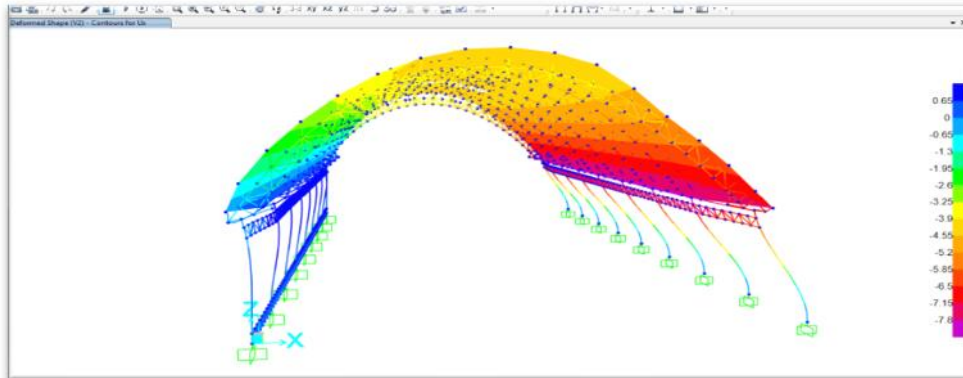
Los valores mostrados indican cuántas veces por segundo vibraría la estructura si se excita en esa forma. La deformación máxima es alrededor de 1.68 cm, en toda la cubierta. Esta forma de vibración muestra modos de desplazamientos leves en toda la estructura.

Muestra 02**Figura 97***Deformaciones por acciones de viento V1- M02*

Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 4.5 cm, se observa que la mayor deformación está en el lado azul, lo que indica que el viento (V1) provoca una presión lateral que empuja la estructura en diagonal, afectando parte de las columnas y los arriostres.

Figura 98

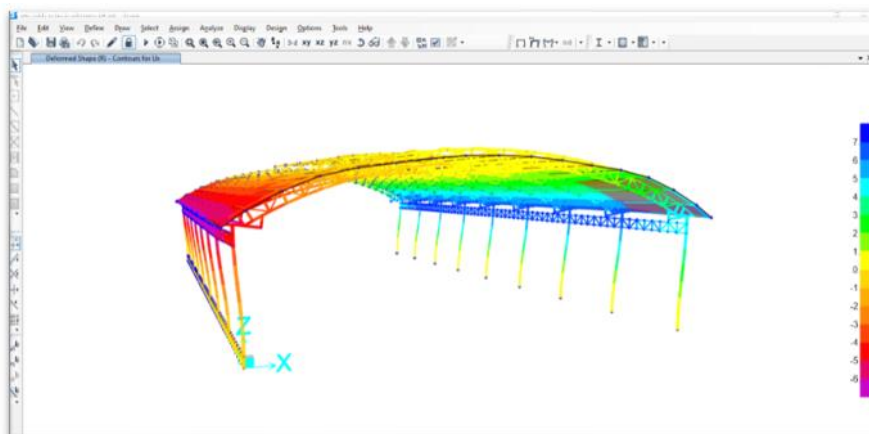
Deformaciones por acciones de viento V2 - M02



Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 7.8 cm, se observa que la deformación en el lado azul, lo que indica que el viento (V2) provoca una succión lateral que empuja la estructura en diagonal y afecta a las columnas y arriostres izquierdos.

Figura 99

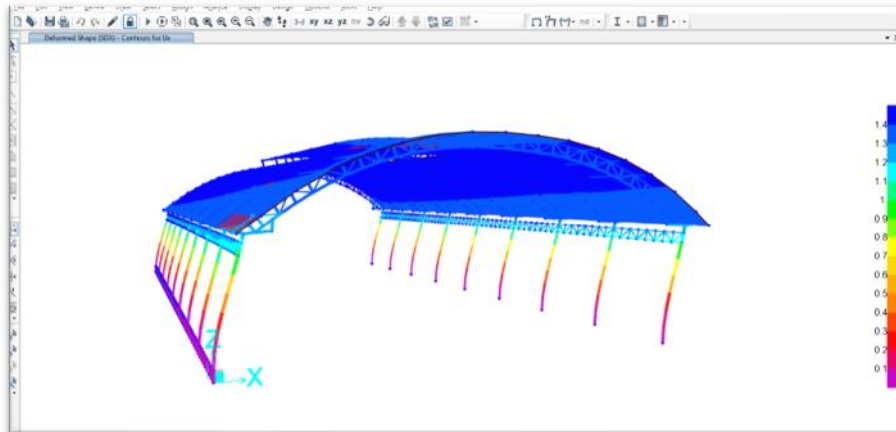
Deformaciones por acciones de granizo M02



Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 7 cm, La deformación está concentrada hacia abajo, afectando la parte lateral de la cubierta. Esto se debe al peso acumulado del granizo sobre la cubierta.

Figura 100

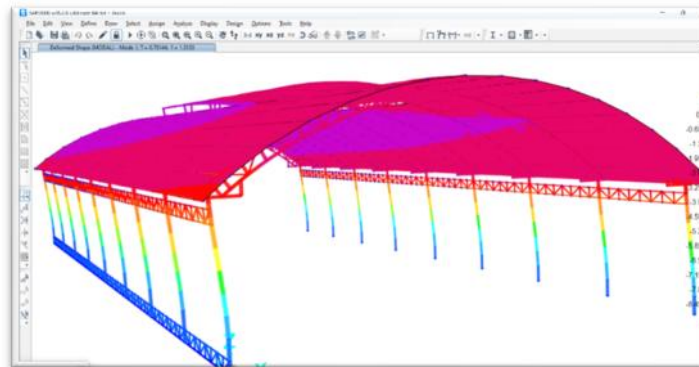
Deformaciones por acciones de sismo M02



Nota: La figura muestra desplazamientos máximos de 1.4 cm, el menor de todos, a su vez una deformación general leve en todo el sistema, la estructura, al ser simétrica, responde bien a la carga sísmica, con movimientos controlados.

Figura 101

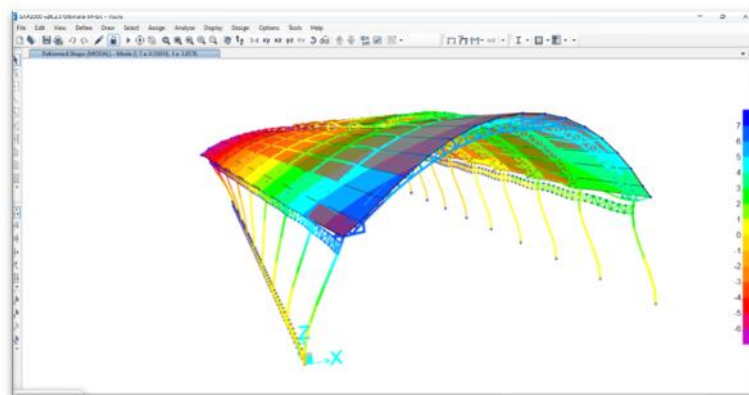
Deformación modal 01 - M02



Nota: La figura muestra el primer y más importante modo de vibración con un periodo $T=0.76144$ segundos y una frecuencia $f=1.3133$ Hz.

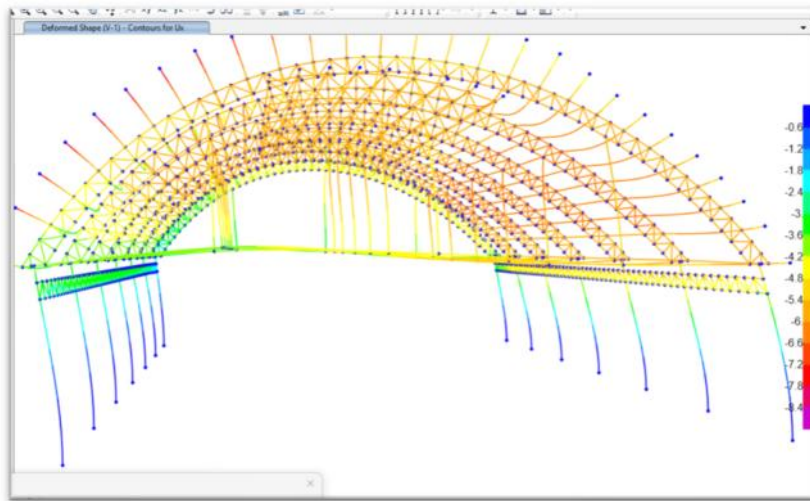
Figura 102

Deformación modal 02 - M02



Nota: Los valores mostrados indican cuántas veces por segundo vibraría la estructura si se excita en esa forma. La deformación mostrada es asimétrica y torsional, con desplazamientos máximos alrededor de ± 7 cm, especialmente en los bordes de la cubierta. Esta forma de vibración sugiere un modo torsional o combinado, donde la estructura gira o se desplaza lateralmente de forma no uniforme.

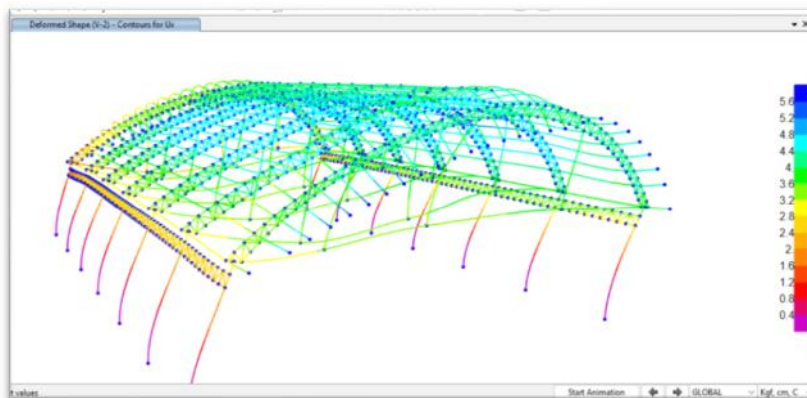
Muestra 03



Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 8.4 cm, se observa que la deformación con zonas de color verde y azul, lo que indica que el viento (V1) provoca una presión lateral que empuja la estructura en diagonal, y torsión en la cubierta.

Figura 103

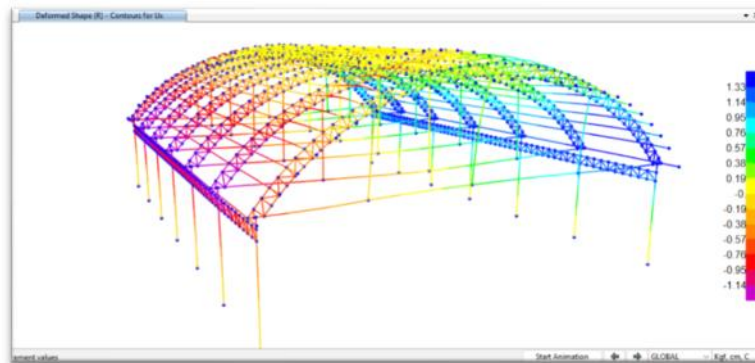
Deformaciones por acciones de viento M03



Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 5.6 cm, se observa que la deformación con zonas de color verde y azul, lo que indica que el viento (V2) provoca una presión lateral que empuja la estructura en diagonal, y torsión en la cubierta.

Figura 104

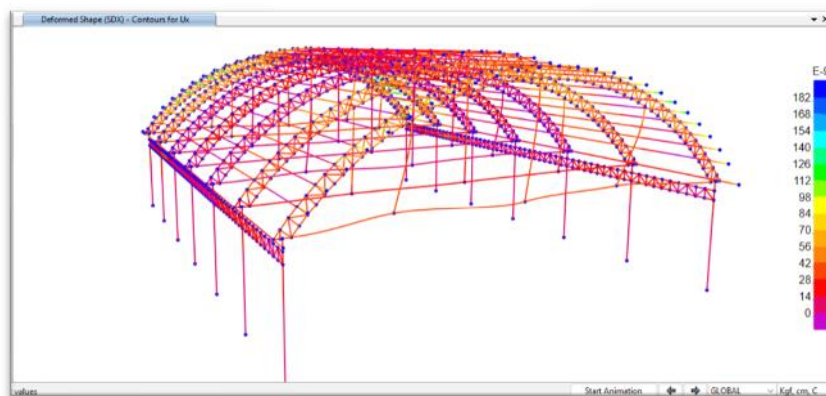
Deformaciones por acciones de granizo M03



Nota: La figura muestra los desplazamientos máximos: 1.33 cm, La deformación está concentrada hacia abajo, específicamente en la parte superior de la cubierta. Siendo afectada la zona lateral de la edificación.

Figura 105

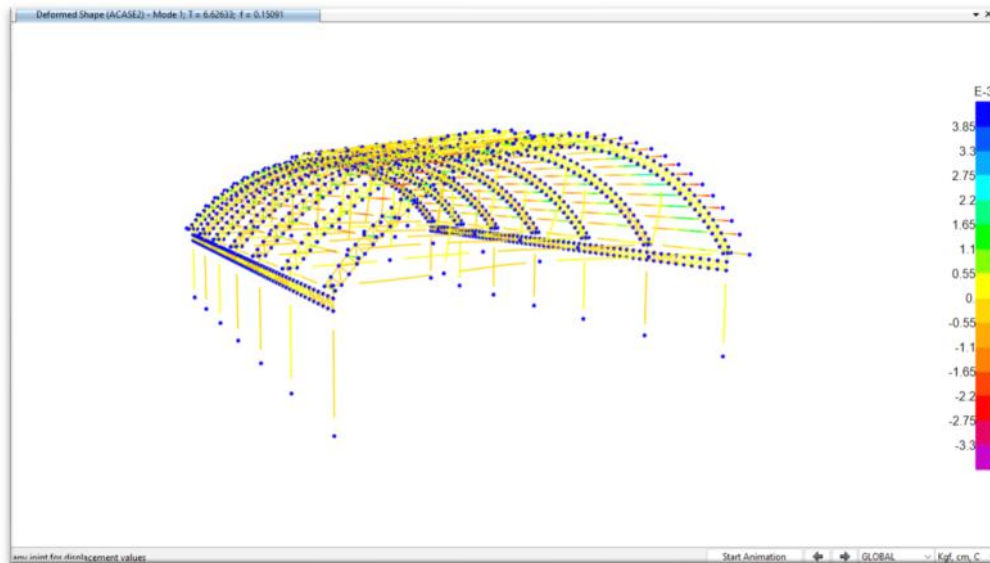
Deformaciones por acciones de sismo M03



Nota: La figura muestra desplazamientos máximos de 182×10^{-9} cm, el mayor de todos, a su vez una deformación general leve en todo el sistema, la estructura, al ser simétrica, responde bien a la carga sísmica, con movimientos controlados.

Figura 106

Deformación modal 01 - M03



Nota: La figura muestra el primer y más importante modo de vibración con un periodo $T=6.6263$ segundos y una frecuencia $f=0.15091$ Hz.

Los valores mostrados indican cuántas veces por segundo vibraría la estructura si se excita en esa forma. La deformación mostrada es mínima, con desplazamientos máximos alrededor de ± 0.0038 cm. Esta forma de vibración sugiere un modo mínimo de movimiento, donde la estructura gira o se desplaza ligeramente.

Resultados del Objetivo Específico 2

Evaluar las condiciones estructurales de las coberturas metálicas tipo parabólicas de losas deportivas en las comunidades de Concacha y Saywite 2024.

La presente tesis logró cumplir con el objetivo específico 2 planteado, el cual consistió en evaluar las condiciones estructurales de las coberturas estudiadas, llegando a demostrar mediante el análisis estructural realizado en el software SAP2000 sobre las muestras M01, M02 y M03, se concluye que varios elementos estructurales —particularmente bridas superiores e inferiores, montantes, diagonales y columnas— presentan relaciones de demanda/capacidad (D/C) significativamente superiores al valor límite permitido de 1.0, lo que indica un incumplimiento con los parámetros de diseño establecidos en la norma técnica E.090.

Muestra M01

Bridas superiores.

En el análisis de los elementos correspondientes a las bridas superiores de la muestra M01, realizado mediante el software SAP2000, se identificó que la zona crítica se encuentra gobernada por esfuerzos de compresión. El elemento más exigido presentó un ratio de demanda/capacidad (D/C) de 25.11, valor considerablemente superior al límite admisible de 1.0. Esta sobredemanda se genera bajo la acción de la combinación de carga 2:

$1.20(PP + SCP) + 1.6CV + 0.5R$, según lo establecido en la norma técnica peruana E.090. Dicha condición implica que el elemento no cumple con los requisitos de diseño estructural.

Bridas inferiores.

En cuanto a las bridas inferiores de M01, el análisis evidenció que el peor elemento presenta una ratio D/C de 24.51, también superando el límite permitido. Al igual que en el caso anterior, el control está definido por la combinación 2 de cargas, lo que confirma que estos elementos tampoco cumplen con los parámetros establecidos por la normativa E.090.

Montantes.

Los montantes de la muestra M01 muestran un comportamiento similar. El elemento más comprometido presenta una ratio D/C de 24.84, excediendo significativamente el valor máximo permitido. La gobernabilidad también corresponde a la combinación 2, lo cual confirma el incumplimiento del diseño en estos elementos verticales.

Diagonales.

El análisis de las diagonales de M01 determinó que el elemento crítico alcanza un ratio de 24.85, superando ampliamente el límite de diseño. Este valor se presenta igualmente bajo la acción de la combinación 2, lo que ratifica su inadecuación según la normativa vigente.

Columnas.

En el caso de las columnas, se evidenció una falla por flexión. El elemento más exigido mostró un ratio D/C de 55.81, siendo este uno de los más altos registrados. La carga crítica también corresponde a la combinación 2 de la E.090. Este comportamiento indica que las columnas, no cumplen con los criterios estructurales requeridos.

Los ratios más críticos se observaron en la muestra M01, con valores extremos que superan incluso 25.0, mientras que las muestras M02 y M03, aunque con menores magnitudes, también exhiben elementos no conformes como se muestra a continuación.

Muestra M02**Bridas superiores.**

Para la muestra M02, el análisis de las bridas superiores reveló que el elemento más demandado presenta un ratio D/C de 2.47, lo que excede el valor límite permitido. Esta sobredemanda se produce bajo la combinación $3:1.2(\text{PP} + \text{SCP}) + 1.6\text{L} + 0.8\text{W}1$, conforme a la norma E.090, determinando que el elemento no es apto para el diseño.

Bridas inferiores.

Las bridas inferiores presentaron un comportamiento similar, con un ratio máximo de

2.51, superando el umbral normativo. Este caso está regido por la combinación 4:

$1.2(\text{PP} + \text{SCP}) + 1.6\text{L} + 0.8\text{W}2$, confirmando su no conformidad con los requisitos de diseño.

Montantes.

En los montantes de M02, el elemento más crítico arrojó un ratio D/C de 2.50, bajo la acción de la combinación 2. Este resultado indica un incumplimiento del diseño, al estar por encima del valor límite.

Diagonales.

Las diagonales muestran un comportamiento algo más favorable. Sin embargo, el elemento más exigido aún presenta un ratio de 1.19, valor que, aunque ligeramente superior al límite de 1.0, implica también no conformidad estructural, con cargas dominadas por la combinación 2.

Columnas.

El análisis de las columnas reveló una falla por flexión, con un ratio de 1.93, lo cual indica un incumplimiento del diseño estructural bajo la combinación 3:

$1.2(\text{PP} + \text{SCP}) + 1.6\text{L} + 0.8\text{W}1$, según la E.090.

Muestra M03

Bridas superiores.

En la muestra M03, el análisis de las bridas superiores mostró que el elemento más exigido presenta un ratio D/C de 1.17, superando ligeramente el límite normativo. Este resultado se obtiene bajo la combinación 2, indicando que el elemento no cumple con el diseño exigido por la norma.

Bridas inferiores.

Las bridas inferiores alcanzaron una ratio máxima de 1.28, valor también superior al permitido. El control está definido por la combinación 5:

$1.2(PP + SCP) + 1.3W1 + 0.5R$, lo que señala su no conformidad estructural.

Montantes.

El análisis de los montantes arrojó un ratio de 1.22, bajo la acción de la combinación 2, lo que implica un desempeño estructural insuficiente según la normativa E.090.

Diagonales.

Los elementos diagonales de la muestra M03 también resultaron insuficientes, con un ratio de 1.19, controlado por la combinación 2, y no cumplen con los criterios de diseño.

Columnas.

A diferencia de las muestras anteriores, las columnas de M03 muestran un ratio de 0.45, valor inferior al límite permitido. Este elemento se encuentra regido por la combinación $1.2(PP + SCP) + 1.6L + 0.8W2$, cumpliendo adecuadamente con los requerimientos del diseño estructural.

Cable tensor

En el análisis de los cables tensores presentes en la muestra M03, se determinó que los elementos trabajan dentro de los límites de esfuerzo permitidos. El software SAP2000 emitió una advertencia relacionada con la compactación sísmica, lo cual es habitual en este tipo de elementos debido a su naturaleza de trabajo exclusivamente a tracción. Dicho mensaje se considera irrelevante para el diseño de cables, por lo que se concluye que el desempeño estructural del cable tensor es eficiente y conforme al diseño.

5.2. Discusiones

En comparación con el estudio de Moreta Tigse (2024), quien desarrolló una propuesta técnica para el diseño de una cubierta metálica parabólica aplicada a una unidad educativa en la región altoandina de Ambato, esta investigación presenta coincidencias en cuanto al enfoque cuantitativo, el uso del software SAP2000 y la aplicación de normativas reconocidas a nivel nacional e internacional. Ambos trabajos abordaron el análisis bajo cargas de viento, granizo, peso propio y acción sísmica. No obstante, se evidencian diferencias notables en los resultados. Mientras Moreta reportó desplazamientos máximos de 2.7 cm y un período estructural de 0.61 s, en esta tesis, la muestra M01 alcanzó desplazamientos significativamente mayores, llegando hasta los 33.8 cm por viento, 32.8 cm por granizo y 7.0 cm por acción sísmica, además de un período estructural de 1.91807 s. Esta diferencia podría deberse a factores como la esbeltez de la estructura, condiciones geográficas específicas (altitud, exposición al viento) o la configuración geométrica del sistema de arcos parabólicos. La muestra M02 presentó un comportamiento más cercano al de Moreta, con desplazamientos de hasta 7.8 cm por viento y un período de 0.76144 s, mientras que la M03 mostró una respuesta atípica, con un período alto (6.6263 s) pero desplazamientos extremadamente bajos, particularmente frente a la acción sísmica (1.82×10^{-7} cm). Estos resultados sugieren que, aunque ambas investigaciones coinciden en la eficiencia geométrica de las cubiertas parabólicas, la respuesta estructural puede variar considerablemente según el diseño específico y las condiciones locales. En ese sentido, los valores obtenidos en este estudio resaltan la necesidad de un control riguroso sobre los parámetros de rigidez, especialmente en estructuras con mayores luces libres.

En comparación con la investigación realizada por Torres y Cieza (2018), quienes aplicaron el método LRFD para evaluar techos metálicos bajo cargas vivas, permanentes, de viento y sísmicas mediante SAP2000, esta tesis también adoptó un enfoque no experimental de tipo transversal, dirigido al análisis estructural de coberturas metálicas parabólicas en

contextos rurales específicos (Concacha y Saywite). Mientras Torres y Cieza reportaron una deriva máxima en la dirección XX de 0.00532, valor inferior al límite permisible de 0.01 establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), los resultados de esta investigación revelan que solo la muestra M02 ($XX = 0.0058$) y la M03 ($XX = 0.00001$) se mantienen dentro o cerca de dicho umbral, mientras que la muestra M01 presentó un valor elevado ($XX = 0.0178$), superando el límite reglamentario. Este exceso puede estar vinculado al comportamiento dinámico más flexible de la geometría parabólica frente a excitaciones bajo cargas o a una disposición estructural menos rígida, en esta tesis, solo la muestra M03 cumple con el límite de flecha permisible ($L/180$), presentando un desplazamiento vertical de 0.039 m. Por otro lado, las muestras M01 (0.749 m) y M02 (0.23 m) superan ampliamente el límite, lo que sugiere posibles deficiencias en la configuración o dimensionamiento de elementos estructurales. Ambos estudios confirman la utilidad de SAP2000 para verificar los criterios del AISC-LRFD, aunque los resultados obtenidos en el presente trabajo evidencian variaciones significativas atribuibles al tipo de cubierta (parabólica), condiciones locales y la inclusión explícita de cargas por granizo, no consideradas detalladamente en el estudio de Torres y Cieza.

El estudio de Velásquez (2018), centrado en el diseño estructural de una cubierta metálica parabólica para una cancha comunitaria en Yaculoma a 2940 msnm, guarda una estrecha relación contextual y técnica con la presente investigación, desarrollada en las comunidades altoandinas de Concacha y Saywite, situadas a una altitud aún mayor (3536 msnm). Ambos trabajos emplean un enfoque cuantitativo aplicado y consideran el uso de acero estructural y herramientas de modelado avanzado (ETABS en el caso de Velásquez y SAP2000 en esta tesis). Las cargas analizadas muestran ciertas diferencias: mientras Velásquez aplicó una carga viva de 60 kg/m^2 , viento de 90 kg/m^2 y una carga combinada de granizo y ceniza de 50 kg/m^2 , el presente estudio consideró una carga viva de 50 kg/m^2 , granizo de 45 kg/m^2 y viento con un valor menor (34.129 kg/m^2), más representativo de la zona de estudio según la

Norma E.020. No obstante, a pesar de las menores cargas de viento, las deformaciones obtenidas fueron significativamente más altas. En la muestra M01, por ejemplo, se alcanzaron desplazamientos de hasta 33.8 cm por viento y 32.8 cm por granizo, frente a los desplazamientos inferiores a 1.25 cm reportados por Velásquez. Este contraste podría atribuirse a diferencias clave en la configuración del sistema estructural: Velásquez utilizó un pórtico reticulado más rígido, mientras que esta tesis analiza arcos parabólicos más esbeltos. Además, el período estructural de M01 (1.91807 s) evidencia una menor rigidez frente a los resultados de Velásquez, quien no reporta directamente el período, pero cuyas bajas deformaciones sugieren un comportamiento dinámico más estable. Si bien ambos estudios confirman la viabilidad técnica de las cubiertas metálicas parabólicas en comunidades rurales altoandinas, los resultados de esta tesis alertan sobre la necesidad de reforzar criterios de rigidez y control de flechas en sistemas estructurales más abiertos o flexibles, particularmente cuando se busca eficiencia en cubiertas de grandes luces.

La investigación realizada por Lozano Oliva (2019) en la Universidad Nacional de Trujillo comparte varios puntos metodológicos con el presente estudio, como el enfoque aplicado y cuantitativo, la aplicación del método LRFD, y el uso del software SAP2000 para el análisis estructural de cubiertas metálicas parabólicas bajo cargas muertas, vivas, de viento y sísmicas. Sin embargo, se observan diferencias notables en los resultados estructurales. Lozano reportó desplazamientos máximos de hasta 1.4 cm, lo que evidencia un sistema estructural eficiente y rígido, particularmente adaptado a una zona sísmica como Trujillo. En contraste, en esta tesis, especialmente en la muestra M01, se obtuvieron desplazamientos considerablemente mayores: 33.8 cm por viento, 32.8 cm por granizo y 7.0 cm por sismo, además de un período de vibración de 1.91807 s, lo que sugiere una menor rigidez general del sistema. Estas diferencias pueden atribuirse al uso de configuraciones estructurales más abiertas y flexibles en el presente estudio, así como a la altitud más elevada (3536 msnm) y las

condiciones geográficas particulares de Concacha y Saywite. Pese a estas diferencias, ambas investigaciones coinciden en la validez técnica de las cubiertas parabólicas metálicas para infraestructura deportiva, aunque los resultados del presente trabajo subrayan la importancia de ajustar la rigidez estructural y controlar las deformaciones, especialmente en estructuras de grandes luces o en zonas altoandinas con condiciones ambientales extremas.

El estudio desarrollado por Delgado Osorio et al. (2019) evidencia la importancia de analizar con mayor precisión la acción del viento. Su investigación reveló que los métodos normativos pueden subestimar o sobreestimar las presiones según la ubicación del punto analizado, registrando presiones pico de hasta -2.8 kPa en esquinas y bordes. Aunque no se evaluaron deformaciones estructurales, su trabajo subraya la necesidad de utilizar herramientas más detalladas como CFD para estructuras sensibles al viento. En ese contexto, los resultados de la presente investigación realizada bajo el enfoque LRFD y con cargas de viento modeladas según la Norma Peruana E.020 reflejan esa sensibilidad estructural de las coberturas parabólicas. En particular, la muestra M01 registró desplazamientos de hasta 33.8, superando ampliamente los límites de flecha permitidos ($L/180$), lo cual confirma que, pese al uso de normativas, pueden presentarse comportamientos críticos en zonas expuestas o con geometrías flexibles. Por otro lado, la muestra M02 presentó desplazamientos moderados (7.8 cm), mientras que la M03, aunque estructuralmente más estable, reveló un comportamiento dinámico singular con un periodo elevado de 6.6263 s, lo que podría influir en su respuesta ante ráfagas prolongadas. En concordancia con las conclusiones de Delgado Osorio, estos resultados demuestran que, para cubiertas parabólicas en zonas altoandinas, donde la acción del viento puede ser significativa, es fundamental considerar no solo los métodos normativos, sino también herramientas complementarias.

VI. Conclusiones

Conclusión para el objetivo general

En la presente tesis se realizó el análisis estructural de tres coberturas metálicas de tipo parabólica, ubicadas en las comunidades de Concacha y Saywite del distrito de Curahuasi. Se integraron de manera eficiente las cargas de viento, granizo y acciones sísmicas, conforme a la ubicación geográfica, y se evaluaron las estructuras bajo los estados de carga según las combinaciones establecidas en las normas E.020, E.030, E.090 y las normas ANSI. El comportamiento estructural de las coberturas metálicas tipo parabólicas analizadas varió significativamente según la geometría y rigidez de cada propuesta estructural. La muestra M01 mostro resultados con grandes deformaciones ante cargas de viento y granizo el cual afecto principalmente a las columnas, M02 presentó desplazamientos y derivas que exceden los parámetros permitidos, lo cual revela la necesidad de reforzamiento estructural como el cable tensor de 1/2" que demostró tener una gran importancia en el diseño de estructuras livianas que estén a efectos de cargas dinámicas. La muestra M03 demostró un desempeño estructural adecuado frente a cargas de viento, granizo y sismo, cumpliendo con los límites normativos en cuanto a flechas y derivas, pero recomendando el aumento de diagonales de 50x50x2mm en los puntos mencionados anteriormente. En general, se concluye que el tipo parabólico es viable para estructuras deportivas altoandinas, pero requiere un diseño cuidadoso que considere las condiciones locales de altitud y clima para garantizar su eficiencia estructural.

Conclusión para el objetivo 1

Se evaluó la incidencia del viento, granizo y acción sísmica, mediante el análisis estructural de coberturas tipo parabólicas en el software sap2000 donde se ha observado las cargas de viento y granizo generaron los efectos estructurales más críticos en las muestras evaluadas, especialmente en la M01, donde las flechas por viento (33.8 cm) y granizo (32.8 cm) superaron ampliamente el límite normativo ($L/180$). La acción sísmica, en cambio, tuvo

menor incidencia en la mayoría de muestras, salvo en M01 que presentó una deriva sísmica elevada (0.0178). La M03 fue la menos afectada por las tres cargas, aunque mostró un período estructural alto (6.6263 s), lo que podría influir en su comportamiento frente a vibraciones prolongadas. Se concluye que el viento y el granizo son cargas determinantes en el diseño de estas coberturas, superando incluso la influencia del sismo en algunos casos.

Conclusión para el objetivo 2.

Se evaluaron las condiciones estructurales en las coberturas metálicas de las comunidades de Concacha y Saywite, llegando a observar mediante los resultados obtenidos del programa Sap2000, las condiciones estructurales presentan comportamientos contrastantes. La muestra M01 mostró deficiencias estructurales al exceder los límites de derivas y flechas admisibles, lo cual evidencia una rigidez insuficiente en su diseño. La M02, aunque más eficiente, aún requiere ajustes en su comportamiento ante cargas de viento y sismo. Por otro lado, la muestra M03 evidenció un diseño estructural equilibrado, sin sobrepasar los límites normativos, aunque con un comportamiento dinámico atípico. En conjunto, los resultados indican que el cumplimiento normativo no depende exclusivamente del tipo parabólico, sino de la configuración geométrica, las propiedades de los perfiles empleados y la disposición estructural de cada diseño.. Es en cuanto a esto que logre cumplir los objetivos planteados, dándole solución a los problemas encontrados comprobando las hipótesis planteadas de manera satisfactoria, culminando mi trabajo en este punto.

VII. Recomendaciones.

Recomendación para el objetivo general

En relación con el objetivo general, se recomienda mejorar el diseño estructural de la cobertura M02, ya que presenta deficiencias en varios parámetros de resistencia, lo que evidencia insuficiencia estructural. Es fundamental redimensionar los elementos críticos y mejorar la distribución de esfuerzos para garantizar el cumplimiento de las normativas E.020, E.030, E.090 y ANSI. Asimismo, aunque la cobertura M03 ha demostrado un mejor desempeño estructural, es necesario reforzar algunos elementos con diagonales como se ha observado anteriormente. Finalmente, se recomienda establecer un programa de inspección y mantenimiento periódico para todas las coberturas, con el fin de detectar posibles deformaciones y prevenir fallas estructurales ante condiciones climáticas extremas. Esto garantizará que el comportamiento estructural sea más adecuado frente a las cargas de viento y granizo, tal como se planteó en el objetivo general de la tesis.

Recomendación para el objetivo específico 1

Para cumplir con el objetivo específico 1, las recomendaciones se enfocan en mejorar la cobertura M02, mediante la instalación de cables tensores de 1/2" ya que presenta deficiencias que podría contribuir a fallas estructurales futuras, como ocurrió en el colapso de la edificación M01 en el año 2023, Se recomienda que el diseño estructural de las coberturas parabólicas se base en un equilibrio entre eficiencia geométrica y rigidez estructural. En estructuras con grandes luces, es fundamental evitar perfiles subdimensionados o configuraciones excesivamente esbeltas que puedan comprometer la estabilidad y generar deformaciones fuera de norma. También se sugiere realizar ensayos de sensibilidad estructural modificando los elementos principales (bridas, montantes, diagonales) para encontrar configuraciones óptimas. Finalmente, se aconseja considerar desde el diseño preliminar los efectos dinámicos (período y frecuencia natural) para garantizar un comportamiento seguro y

funcional ante cargas variables.

Recomendación para el objetivo específico 2

Para el objetivo 2, se recomienda realizar mejoras estructurales en la cobertura M02 (IES Víctor Acosta Ríos) mediante la instalación de cables tensores de 1/2” en todos los tramos de la estructura, lo que permitirá mejorar con los parámetros de resistencia exigidos por las normas E.090 y ANSI para poder reducir significativamente el riesgo de fallas. Asimismo, se recomienda complementar el análisis estructural realizado en Sap2000 con otras herramientas de simulación para validar los resultados y garantizar que las estructuras sean seguras y funcionales a largo plazo. Finalmente, es esencial que los profesionales involucrados en el diseño y construcción de coberturas metálicas reciban capacitación continua sobre las normativas estructurales actualizadas, asegurando edificaciones más seguras y eficientes en el futuro. Estas recomendaciones buscan mejorar el desempeño estructural de las coberturas metálicas estudiadas, garantizando su estabilidad y seguridad ante condiciones climáticas adversas y asegurando el cumplimiento de los estándares normativos vigentes.

En resumen, las recomendaciones están alineadas con los objetivos planteados en la tesis, asegurando que las coberturas metálicas en las comunidades de Concacha y Saywite respondan adecuadamente a las cargas de viento y granizo, para que su desempeño estructural cumpla con los requisitos de seguridad y funcionalidad esperados.

VIII. Referencias

- Alanoca A. F., Moran V. M., Vega , J. A., y Urteaga J. M. (2021). *Determinación del comportamiento estructural a la flexión y corte de perfiles en i elaborado de fibra de madera de densidad*. Trujillo, Peru [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorios UPAO. doi:<https://hdl.handle.net/20.500.12759/7867>
- Amador, M. A., Fernández I., López A., y Elena V. B. (2022). Estudio comparativo de coeficientes de presión normativos y experimentales en cubiertas de naves industriales. *Revista de Ingeniería y Desarrollo de la Fundación Universidad del Norte* doi:http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0122-34612021000200296&script=sci_arttext
- ANSI/AISC. (2005). *Especificacion para construcciones de acero*. Alacero. Obtenido de https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/especificacion_para_construcciones_de_acero-aisc_360-16.pdf
- ASTM. (2020). *Especificación para acero estructural al carbono*. EE.UU. Obtenido de <https://store.astm.org/products-services/standards-and-publications/standards/steel-standards.html>
- Beer (2015). *Mecanica de materiales*. McGraw. doi:<https://archive.org/details/mecanica-de-materiales-beer-johnston>
- Chaski. (16 de octubre de 2023). *Colapsó el techo de la losa deportiva del Colegio Saywite por fuertes vientos y granizadas*. Obtenido de <https://www.chaski.pe/detalle/colapso-el-techo-de-la-losa-deportiva-del-colegio-saywite-por-fuertes-granizadas-6917>
- Chopra, A. K. (2012). *Dinámica de las estructuras* (Educación Pearson ed.). Nueva Jersey. Obtenido de <https://books.google.com.pe/books?id=eRcvAAAAQBAJ>
- Choque Quispe, J. L. (2024). *Análisis comparativo del comportamiento no lineal de vigas de concreto armado usando diagrama momento curvatura y método de elementos finitos*

- en Abancay-Apurímac 2024*. Apurímac, Peru. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. Repositorio Institucional de la UNAMBA. doi:<https://repositorio.unamba.edu.pe/handle/20.500.13037/2963>
- Computers and Structures, I. (2023). *SAP2000 Integrated Software for Structural Analysis and Design: User Manual*. CSI America, Walnut Creek, California. Obtenido de <https://www.csiamerica.com/products/sap2000>
- Cruz S, E., y Hanco P, D. D. (2023). *Diseño estructural en acero del edificio comercial Manuel Prado utilizando el Cype 3d*. [Tesis de grado. Universidad Nacional de San Antonio Abad Del Cusco] Repositorio UNSAAC-Institucional. Obtenido de https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/7422/253T20230154_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Delgado O, M., Cordoba L., Cruz, A., Marulanda, J., y Thomson, P. (2019). Comparación de cargas de viento en techos planos y a dos aguas calculadas con el código de edificación colombiano y resultados numéricos mediante CFD. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. Universidad del Valle, Colombia. doi:<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/165646>
- Dirección General de Protección Civil. (2020). *Manual básico de riesgos meteorológicos: viento, tormentas y fenómenos atmosféricos*. (G. d. Secretaría de Gobernación, Ed.) Ciudad de México, México. Recuperado el 10 de febrero de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/545716/MANUAL_METEOROLOGICOS.pdf
- Dussán B. J., Piedrahita E. L., y Rojas D. I. (2018). *comparación de los métodos de diseño ASD y LRFD de una edificación de pórticos de madera con diagonales en Bogotá*. Colombia, Bogotá. [Tesis de pregrado, Universidad La Gran Colombia]Repositorio UGCdoi:[https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5322/Comparaci%C3%](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5322/Comparaci%C3%91)

B3n_m%C3%A9todos_ASDyLRFD_edificaci%C3%B3n_p%C3%B3rticos.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Facebook. (2023). *Curahuasi en redes*. Recuperado el 15 de marzo de 2024, de https://www.facebook.com/photo.php?fbid=726444799522478&set=a.254925613341068&type=3&locale=es_LA&paipv=0&eav=AfZwd76jJemZLHCLHPX2h31iXyCJGNtnIR_XAPa-zP0ki0FjKEeEoVJFfyHZyBtA5sU&_rdr

Gaceta Del Aire. (14 de agosto de 2018). Recuperado el 20 de enero de 2024, de <https://www.facebook.com/watch/?v=614987572236317&ref=sharing>

Gere, M. J. (2004). *mecanica de materiales*. Cengage Learning. doi:https://www.academia.edu/10815397/Gere_J_Mec%C3%A1nica_de_los_Materiales_7ma_Ed

Hernández C. J., González R. C., & González J. P. (2021). *Protocolo de alerta de fenómenos meteorológicos peligrosos que afectan la agricultura en las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque*. Revista Cubana de Meteorología, cuba. Obtenido de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/548/1033>

Hibbeler, R. C. (2017). *Mecanica de materiales (9° ed)*. Pearson Educación, Mexico. doi:<https://www.iberlibro.com/9786073240994/Mec%C3%A1nica-materiales-9%C2%AA-edici%C3%B3n-Hibbeler-6073240996/plp>

Huanqui R. A. (2022). *Memoria de cálculo de análisis y diseño de una nave industrial*. Peru. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional de la PUCP. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/22559>

Lazarte T. B., y Cieza M. E. (2018). *Análisis del diseño sísmico estructural del techo metálico de la losa multideportiva de Aija, Ancash - 2018*. Peru. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la UCV.

doi:<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26675>

Lozano O. C. A. (2019). *Diseño estructural de acero del techo parabólico para el coliseo polideportivo ACUDESI*. Trujillo, Peru. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio Institucional de la UNT. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/61f2a5e1-6e41-44bc-98e9-d53b7c33a2ec/content>

Martínez E.J. (2020). *Diseño de una nave de estructura metálica de tipo almacén industrial sometida a los efectos ambientales en el Perú para una empresa metal mecánica*. Peru. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/66531>

Masciotti M. F. (2022). *Análisis y diseño estructural de techo parabólico de la losa deportiva Cruz de Ate – Lima 2021*. Huancayo, Peru. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio UPLA-Institucional doi:<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/5206>

Meteoblue. (2023). *meteoblue*. Obtenido de [meteoblue: https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatecomparison/apurimac_per%c3%ba_11511509?type=meteogram_currentOnClimate](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatecomparison/apurimac_per%c3%ba_11511509?type=meteogram_currentOnClimate)

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. y. (2006). *Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú. https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/NormasTecnicas/E030_diseño_sismorresistemte.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. y. (2018). *Norma Técnica E.020: Cargas* (2018ed.).Obtenido de https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/NormasTecnicas/E020_CARGAS_2018.pdf

- Moreta T. E. (2024). *Cálculo y diseño de la cubierta en estructura metálica de las canchas de uso múltiple para la Unidad Educativa Bolívar de la ciudad de Ambato*. Ecuador.[Tesis de licenciatura, Universidad Técnica de Ambato]. Repositorio UTA. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstreams/7dfd01e3-0e44-4a48-9521-20b2a329a600/download>
- Morón F. P., y Milón Z. A. A. (2019). *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*. Arequipa, Peru. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María] Repositorio UCSM . doi:<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3360965>
- Muntané Relat, J. (2010). *Introduccion a la investigacion Basica*. Hospital Universitario Reina Sofia. Obtenido de <file:///C:/Users/Admin/Downloads/RAPDonline2010%20V33%20N3%2003.pdf>
- Muñoz M. L. J. (2020). *Ortes Meteorological Aerodrome Report – METAR en los procedimientos administrativos de protección al consumidor del Indecopi para la determinación de responsabilidad de las aerolíneas ante la cancelación y/o retraso del servicio de transporte aéreo*. Repositorio. UPN-Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/24419>
- Nathoo, S. (2017). Different Types of Limit State Design Philosophies. *articulo*. University of KwaZulu-Natal, . doi:<https://www.linkedin.com/pulse/different-types-limit-state-design-philosophies-sh%C3%A1nal-nathoo>
- Peralta G. E. (2023). *Análisis y diseño estructural del techo metálico en la losa deportiva de la institución educativa N° 16042 del sector Linderos, Jaén - Cajamarca, 2023*. [tesis de grado, Universidad Alas Peruanas]. Repositorio de UAP. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12990/13108>

- Ruiz, O. G. (06 de julio de 2022). *prensa libre*. Obtenido de prensa libre: <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/video-asi-fue-captado-el-momento-en-que-colapso-el-techo-de-una-cancha-polideportiva-breaking/>
- Salas B. C. I. (2023). *Análisis comparativo de estructura metálica de alma llena de sección variable y estructura parabólica para la cobertura de 2000 m² para los hornos de una empresa ladrillera*. Arequipa, Perú. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/bitstream/20.500.12920/12718/1/4E.0453.IM.pdf>
- SENAMHI. (10 de marzo de 2024). *SENAMHI- climatología de curahuasi*. Obtenido de <https://www.senamhi.gob.pe/?p=senamhi>
- Szolnoky, V., y Hansson, P. (2019). *Predicting Severe Snow Loads Using Spatial Extremes* Suecia. [tesis de maestría, Chalmers University of Technology] ODR doi:<https://odr.chalmers.se/bitstreams/f28be81a-fda3-4fcd-a716-eaee89cea7c7/download>
- Timoshenko , y Goodier. (2019). *Teoría de la elasticidad*. McGraw-Hill. doi:<https://www.buscalibre.pe/libro-teoria-de-la-elasticidad/9788431402310/p/47138662?srsId=AfmBOoopY6QNsJguZvS8rCAEYU0UOhpO1wFB3YeGL7XLusH8p7NBSUqE>
- Tineo F. J. (2022). *Análisis comparativo de las fuerzas del viento y sismo en el diseño estructural de una nave industrial*. Universidad César Vallejo. lima, Peru. [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la UCV. doi:<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89105>
- Titanka. (17 de febrero de 2021). *Titanka*. Obtenido de Titanka: <https://radiotitanka.pe/noticias/10065/adolescente-salva-de-morir-aplastado-por-techo-de-losa-deportiva-en-antilla->

Trebejo G. J. M. (2021). *Selección y cálculo de perfiles tubulares de acero*. Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur., Lima, Peru. Obtenido de <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6595667>

Velásquez G. C. (2018). *Propuesta de diseño estructural de una cubierta metálica para la cancha de uso múltiple de la comunidad de Yaculoma de la parroquia Juncal del cantón Cañar*. la Cuenca, Ecuador: Repositorio Institucional UCACUE. Obtenido de <https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstreams/01ad4702-beff-4244-ad4d-ad190af04767/download>

Weather Spark. (05 de marzo de 2024). *Weather Spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/3368/Clima-promedio-en-Curahuasi-Perú-durante-todo-el-año>

Zambrana. (1 de noviembre de 2021). *facebook*. Obtenido de [https://www.facebook.com/ReynaldoZambranaing?__cft__\[0\]=AZXPMHH3QnWN3IPocE1O10C_ZIKczCKmOimOQtQM13JnHs-wqFHSVr3Ewwon9BJy4avqpxmEzOMZV2wSpNB9hCtahPQ_I9P328_ga_sczKyFqxqFL-zsMpKtrJ2Zi4rQU_ZjFfMnLtPrYToqHkOMGo-P1rBECShKQZjxYe9t9U94HGWDruEZZtuekZyQWYdBtIZya4Ow](https://www.facebook.com/ReynaldoZambranaing?__cft__[0]=AZXPMHH3QnWN3IPocE1O10C_ZIKczCKmOimOQtQM13JnHs-wqFHSVr3Ewwon9BJy4avqpxmEzOMZV2wSpNB9hCtahPQ_I9P328_ga_sczKyFqxqFL-zsMpKtrJ2Zi4rQU_ZjFfMnLtPrYToqHkOMGo-P1rBECShKQZjxYe9t9U94HGWDruEZZtuekZyQWYdBtIZya4Ow)

/RV DQH[RV SDQHO IRWRJUiILFR \ RWURV GRFXPHQW
UHSRVLWRULR GLJLWDO LQVWLWXFLRQDO HQ OD %LE
\$QGHV