

**Universidad Católica de Santa María**  
**Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,**  
**Mecánica - Eléctrica y Mecatrónica**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURA METÁLICA DE ALMA LLENA DE SECCIÓN VARIABLE Y ESTRUCTURA PARABÓLICA PARA LA COBERTURA DE 2000 m<sup>2</sup> PARA LOS HORNOS DE UNA EMPRESA LADRILLERA**

Tesis presentada por el Bachiller:

**Salas Baylon, Christopher Israel**

Para optar por el título profesional de:

**Ingeniero Mecánico**

Asesor:

**Ing. Castro Valdivia, Jorge Luis**

**Arequipa- Perú**

**2023**

UCSM-ERP

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA**  
**TITULACIÓN CON TESIS**  
**DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR**

Arequipa, 12 de Abril del 2023

**Dictamen: 009420-C-EPIMMEM-2023**

Visto el borrador del expediente 009420, presentado por:

**2015242131 - SALAS BAYLON CHRISTOPHER ISRAEL**

Titulado:

**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**

Nuestro dictamen es:

**APROBADO**

**29667313 - ALCAZAR ROJAS HERMAN ENRIQUE  
DICTAMINADOR**



**30857994 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO  
DICTAMINADOR**



**29529560 - CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS  
DICTAMINADOR**



## DEDICATORIA

Dedico todo este esfuerzo a mis padres y abuelos, que siempre me apoyaron y me dieron la educación necesaria para mi superación personal y profesional, ellos sentaron en mi vida las bases para el respeto, perseverancia y responsabilidad.

A todas las personas que me apoyaron en esta etapa de pregrado, por hacer este camino ameno y convertirlo en uno de los más importantes de mi vida.

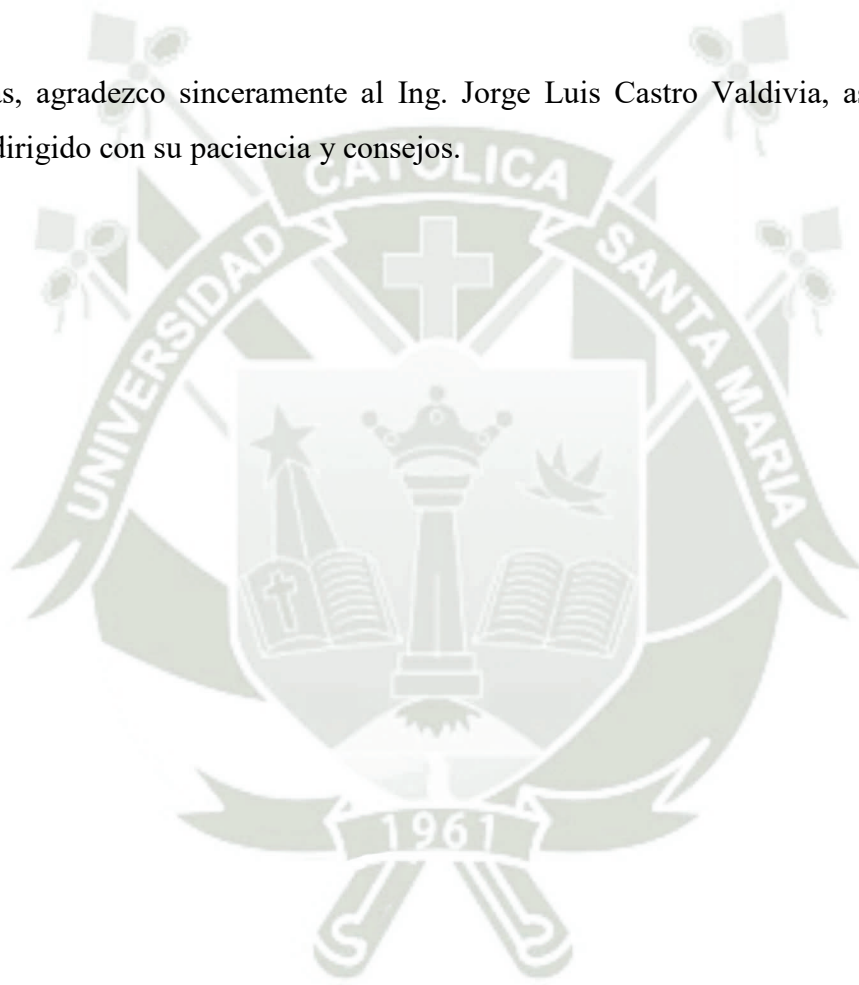


## AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a mi universidad por brindarme los conocimientos necesarios para ser un profesional competente y preparado para un camino hacia la superación.

Mi más profundo agradecimiento a todos los docentes que hicieron posible esto, por darme siempre conocimientos más allá de los necesarios, por responder a todas mis dudas y sacar lo mejor de todos nosotros como alumnos.

Además, agradezco sinceramente al Ing. Jorge Luis Castro Valdivia, asesor de tesis, por haberme dirigido con su paciencia y consejos.



## RESUMEN

En el Perú el costo por kilogramo de acero representa un valor importante en costos de material para la elaboración de presupuestos de estructuras metálicas, por ello se busca siempre tener estructuras optimizadas que funcionen adecuadamente en servicio. Los hornos de las ladrilleras, así como otras infraestructuras, requirieren de una cobertura para protegerse de fenómenos climatológicos tales como las lluvias y la exposición al sol, por todo ello, se diseñó una estructura metálica del tipo parabólico y una de alma llena para asimismo determinar cual ofrece mejores ventajas estructurales, menores costos y menores tiempos de construcción y montaje para una empresa ladrillera en Arequipa.

El diseño de investigación correspondiente a la presente tesis, es del tipo no experimental transversal, debido a que las variables de estudio no se someterán a condiciones experimentales, y no habrá alteración de ninguna situación del contexto natural de los sujetos del estudio.

Para el diseño y análisis estructural de los dos modelos no se diseñaron las cimentaciones a excepción de los pedestales de las placas base y además, se tienen como técnicas e instrumentos de recolección de datos diversas documentaciones, observaciones y técnicas del área de organización y sistemas.

A través de herramientas computacionales como SAP2000 e IDEA STATICA y la metodología LRFD descrita por la norma de diseño de estructuras metálicas AISC 360 y E090, así como normas nacionales para el diseño sismorresistente E030 y la norma de cargas E020, se realizó el diseño de una estructura de alma llena y una de tipo parabólico partiendo de mismos valores iniciales geométricos tales como la luz, ancho, y altura de columnas. Asimismo, en base al diseño estructural realizado, metrados, análisis de costos unitarios y estimación de tiempos de construcción y montaje, se determinó que la estructura parabólica resulta ser la más económica, sin embargo, la estructura de alma llena representa menores tiempos de construcción y montaje.

**Palabras clave:** Costo Unitario, Rendimiento, Ratio

**ABSTRACT**

In Peru, the cost per kilogram of steel represents an important value in material costs for the elaboration of budgets for metallic structures, for this reason it is always sought to have optimized structures that function properly in service. The brick kilns, as well as other infrastructures, require a cover to protect themselves from weather phenomena such as rain and exposure to the sun, for all this, a parabolic metal structure and a full core structure were designed to also determine which offers better structural advantages, lower costs and shorter construction and assembly times for a brick company in Arequipa.

The research design corresponding to this thesis is of the non-experimental cross-sectional type, because the study variables will not be subjected to experimental conditions, and there will be no alteration of any situation in the natural context of the study subjects.

For the design and structural analysis of the two models, the foundations were not designed except for the pedestals of the base plates and, in addition, various documentation, observations and techniques from the area of organization and systems are used as data collection techniques and instruments.

Through computational tools such as SAP2000 and IDEA STATICA and the LRFD methodology described by the AISC 360 and E090 metal structures design standard, as well as national standards for E030 seismic-resistant design and the E020 load standard, the design of a full core structure and one of the parabolic type starting from the same initial geometric values such as the light, width, and height of the columns. Likewise, based on the structural design carried out, measurements, analysis of unit costs and estimation of construction and assembly times, it was determined that the parabolic structure turns out to be the most economical, however, the full core structure represents shorter construction times and mounting.

**Keywords:** Unit Cost, Yield, Ratio

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>II</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. PROBLEMÁTICA .....</b>	<b>2</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.1.1. Identificación del problema .....	2
1.1.2. Descripción del problema .....	2
1.1.3. Formulación del problema .....	3
1.2. Justificación del proyecto.....	3
1.2.1. Justificación social.....	3
1.2.2. Justificación económica.....	3
1.2.3. Justificación personal .....	3
1.3. Limitaciones del proyecto .....	3
1.4. Objetivos de la investigación .....	4
1.4.1. Objetivo general .....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
<b>CAPITULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	5
2.1.1. Antecedentes Locales .....	5
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	6
2.1.3. Antecedentes Internacionales .....	7
2.2. Bases teóricas .....	7
2.2.1. Tipos de estructuras metálicas para galpones industriales.....	7
2.2.1.1. Pórticos con miembros de alma llena.....	8
2.2.1.2. Pórticos en celosía o alma abierta .....	9

2.2.2. Aplicación de los galpones industriales.....	10
2.2.3. Clasificación de los galpones industriales .....	10
2.2.4. Partes de los galpones industriales .....	11
2.2.5. Tipos de perfiles estructurales .....	13
2.2.5.1. Perfiles de acero laminados en caliente.....	14
2.2.5.2. Perfiles de acero formados en frío.....	15
2.2.6. Tipos de aceros estructurales .....	15
2.2.7. Propiedades y comportamiento del acero .....	17
2.2.8. Diseño estructural en acero.....	19
2.2.8.1. Normas nacionales e internacionales.....	21
2.2.8.2. Metodología por factores de carga y resistencia (LRFD).....	22
2.2.8.3. Patrones y combinaciones de carga.....	23
2.2.8.4. Diseño de miembros en tensión.....	25
2.2.8.5. Diseño de miembros a compresión.....	26
2.2.8.6. Diseño de miembros a flexión.....	33
2.2.8.7. Diseño de miembros a cargas combinadas .....	51
2.2.9. Análisis y modelado estructural mediante herramientas computacionales.....	52
2.2.9.1. Análisis - SAP 2000 .....	52
2.2.9.2. Análisis - IDEA STATICA .....	53
2.2.9.3. Modelado y planimetría - Tekla Structures .....	54
2.2.10. Análisis de costos y presupuestos en industrial metalmecánica .....	55
2.2.10.1. Naturaleza y tipos de costos.....	55
2.2.10.2. Presupuestos en la industria metal mecánica.....	56
2.2.10.3. Metrados de planos estructurales.....	57

### **CAPITULO III**

<b>3. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>58</b>
3.1. Nivel de investigación.....	58
3.2. Diseño de investigación.....	58
3.3. Población y muestra .....	58

3.3.1. Población: .....	58
3.3.2. Muestra: .....	58
3.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos.....	58
3.5. Técnicas de Procesamiento y análisis de datos .....	59
3.6. Diagrama de flujo metodológico .....	59
3.7. Aspectos administrativos.....	60
3.7.1. Recursos necesarios.....	60
3.7.2. Cronograma de actividades .....	60
<b>CAPITULO IV</b>	
<b>4. ANALISIS Y DISEÑO .....</b>	<b>61</b>
4.1. Levantamiento de información y aspectos generales .....	61
4.1.1. Ubicación de la cobertura .....	61
4.1.2. Generalidades para el diseño .....	61
4.1.3. Normas y códigos .....	62
4.2. Selección de perfiles estructurales.....	63
4.2.1. Selección de perfiles de estructura de alma llena .....	63
4.2.2. Selección de perfiles de estructura parabólica.....	70
4.3. Pre-dimensionamiento de estructuras.....	75
4.3.1. Pre-dimensionamiento de estructura de alma llena .....	75
4.3.2. Pre-dimensionamiento de estructura parabólica .....	76
4.4. Cómputo de cargas .....	78
4.4.1. Patrones de carga en estructura de alma llena .....	78
4.4.1.1. Carga muerta en estructura de alma llena.....	78
4.4.1.2. Carga viva en estructura de alma llena.....	79
4.4.1.3. Carga de viento en estructura de alma llena.....	80
4.4.1.4. Análisis sísmico estático en estructura de alma llena.....	84
4.4.1.5. Análisis sísmico dinámico modal espectral en estructura de alma llena.....	90
4.4.2. Patrones de carga en estructura parabólica.....	92
4.4.2.1. Carga muerta en estructura parabólica .....	92
4.4.2.2. Carga viva en estructura parabólica .....	93

4.4.2.3. Carga de viento en estructura parabólica.....	94
4.4.2.4. Análisis sísmico estático en estructura parabólica .....	98
4.4.2.5. Análisis sísmico dinámico modal espectral en estructura parabólica.....	101
4.5. Combinaciones de carga.....	103
4.6. Selección de la cobertura.....	104
4.6.1. Selección de cobertura para estructura de alma llena .....	104
4.6.2. Selección de cobertura para estructura parabólica.....	106
4.7. Ratios de diseño y verificaciones de miembros estructurales .....	107
4.7.1. Ratios de diseño.....	107
4.7.1.1. Ratios de diseño de estructura de alma llena.....	107
4.7.1.2. Ratios de diseño de estructura parabólica .....	108
4.7.2. Control de flechas.....	110
4.7.2.1. Control de flechas de estructura de alma llena.....	110
4.7.2.2. Control de flechas de estructura parabólica.....	111
4.7.3. Control de derivas inelásticas .....	112
4.7.3.1. Derivas inelásticas de estructura de alma llena .....	112
4.7.3.2. Derivas inelásticas de estructura parabólica.....	114
4.8. Comprobación de diseño de miembros mediante cálculo manual .....	115
4.9. Diseño de conexiones.....	124
4.9.1. Diseño de conexiones de estructura de alma llena .....	124
4.9.2. Diseño de conexiones de estructura parabólica .....	134
4.10. Comprobación de diseño conexiones mediante cálculo manual .....	140
 <b>CAPITULO V</b>	
<b>5. EVALUACIÓN ECONÓMICA .....</b>	<b>154</b>
5.1. Metrados.....	154
5.1.1. Metrado de estructura de alma llena.....	154
5.1.2. Metrado de estructura parabólica.....	155
5.2. Cálculo de volumen de pintura.....	156
5.3. Procedimiento de soldadura para perfiles soldados.....	158
5.4. Procedimientos de construcción.....	159

5.4.1. Procedimiento de construcción de estructura de alma llena .....	159
5.4.2. Procedimiento de construcción de estructura parabólica.....	160
5.5. Procedimientos de montaje .....	161
5.5.1. Procedimiento de montaje de estructura de alma llena.....	161
5.5.2. Procedimiento de montaje de estructura parabólica .....	162
5.6. Planes de izaje .....	163
5.6.1. Plan de izaje de estructura de alma llena .....	163
5.6.2. Plan de izaje de estructura parabólica.....	164
5.7. Presupuestos por análisis de precios unitarios.....	165
5.7.1. Presupuesto de estructura de alma llena .....	166
5.7.2. Presupuesto de estructura parabólica.....	179
5.8. Tiempos de construcción y montaje .....	190
5.8.1. Tiempos de construcción y montaje de estructura de alma llena.....	190
5.8.2. Tiempos de construcción y montaje de estructura parabólica .....	195
5.9. Análisis comparativo de estructuras .....	200
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>204</b>
6.1. Conclusiones .....	204
6.2. Recomendaciones.....	205
<b>PLANOS GENERALES DE ESTRUCTURAS .....</b>	<b>206</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>220</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>222</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Clasificación según los tipos de estructuras metálicas industriales .....	8
Figura 2.2	Pórticos con miembros de alma llena .....	9
Figura 2.3	Pórticos con miembros de alma abierta .....	9
Figura 2.4	Aplicaciones de los galpones industriales según el sector .....	10
Figura 2.5	Clasificación de los galpones industriales .....	11
Figura 2.6	Partes de un galpón industrial de marcos rígidos.....	12
Figura 2.7	Partes de un galpón industrial de marcos de perfiles de alma abierta.....	13
Figura 2.8	Secciones de perfiles estructurales de acero .....	13
Figura 2.9	Especificaciones aplicables de la ASTM a diversos perfiles estructurales .....	16
Figura 2.10	Diagrama esfuerzo-deformación para un acero estructural común en tensión .....	17
Figura 2.11	Curvas características de esfuerzo – deformación .....	17
Figura 2.12	Efecto de la temperatura sobre el esfuerzo de fluencia.....	19
Figura 2.13	Diagrama de flujo del procedimiento del diseño estructural.....	21
Figura 2.14	Razones ancho-espesor para elementos no atiesados en compresión de miembros sujetos a compresión axial.....	27
Figura 2.15	Razones ancho-espesor para elementos atiesados en compresión de miembros sujetos a compresión axial .....	28
Figura 2.16	Aplicaciones de los estados límites para secciones transversales del capítulo E.....	28
Figura 2.17	Aplicaciones de los estados límites para secciones transversales del capítulo E.....	29
Figura 2.18	Factores de ajuste por imperfecciones en ancho efectivo $c_1$ y $c_2$ .....	33
Figura 2.19	Razones ancho-espesor para elementos no atiesados en compresión de miembros sujetos a flexión.....	34
Figura 2.20	Razones ancho-espesor para elementos atiesados en compresión de miembros sujetos a flexión.....	35
Figura 2.21	Aplicaciones de los estados límites para secciones transversales del capítulo F. ....	36
Figura 2.22	Modelado y análisis de estructura metálica mediante SAP2000.....	52
Figura 2.23	Modelado y análisis de conexión metálica mediante IDEA STATICA.....	53
Figura 2.24	Modelado de torre estructural metálica mediante Tekla Structures.....	54
Figura 2.25	Clasificación de los costos .....	55
Figura 3.1	Diagrama metodológico del proyecto .....	59
Figura 3.2	Cronograma de actividades tentativo.....	60
Figura 4.1	Ubicación de la cobertura en vista de planta.....	61
Figura 4.2	Vista frontal de horno 03 con dimensiones generales de cobertura.....	62
Figura 4.3	Vista de corte de horno 03 con dimensiones generales de cobertura.....	62
Figura 4.4	Diagrama de momentos flectores en XZ en Ton·m en estructura de alma llena .....	64
Figura 4.5	Diagrama de fuerzas cortantes en XZ en Ton en estructura de alma llena .....	64
Figura 4.6	Diagrama de peraltes de miembros de sección variable .....	65
Figura 4.7	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para planchas de acero A36 .....	65
Figura 4.8	Cuadro de peraltes propuestos para pre-dimensionamiento.....	66
Figura 4.9	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para canales C.....	67
Figura 4.10	Perfiles sección canal C del manual of Steel Construction AISC.....	68
Figura 4.11	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para barras redondas lisas .....	69
Figura 4.12	Cuadro de validación de templadores de 5/8”.....	69
Figura 4.13	Planchas de acero A36 de Aceros Arequipa .....	70
Figura 4.14	Canal C 8 x 11.5 de A36 de Aceros Arequipa.....	70
Figura 4.15	Barras lisas circulares de 5/8” de A36 de Aceros comerciales .....	70

Figura 4.16	Diagrama de fuerzas axiales en Ton en estructura parabólica .....	71
Figura 4.17	Diagrama de momentos flectores en XZ en Ton en estructura parabólica .....	71
Figura 4.18	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 de ángulos para bridas de columnas ...	72
Figura 4.19	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 de ángulos para bridas de vigas .....	72
Figura 4.20	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 de ángulos para diagonales .....	73
Figura 4.21	Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para barras redondas lisas .....	73
Figura 4.22	Ángulos de acero A36 de Aceros comerciales para bridas de vigas y columnas.....	74
Figura 4.23	Ángulos de acero A36 de Aceros comerciales para miembros internos de columnas .....	74
Figura 4.24	Barras lisas circulares de 5/8” de A36 de Aceros comerciales .....	74
Figura 4.25	Barras lisas circulares de 1/2” y 7/8” de A36 de Aceros comerciales .....	75
Figura 4.26	Diagrama del pórtico de estructura de alma llena.....	75
Figura 4.27	Diagrama de pórticos laterales de estructura de alma llena .....	76
Figura 4.28	Modelado tridimensional de estructura de alma llena.....	76
Figura 4.29	Pre-dimensionamiento de flecha de estructura parabólica.....	77
Figura 4.30	Diagrama del pórtico de estructura parabólica.....	77
Figura 4.31	Diagrama de pórticos laterales de estructura parabólica.....	78
Figura 4.32	Modelado tridimensional de estructura parabólica .....	78
Figura 4.33	Distribución de fuerzas por peso de cobertura en estructura de alma llena .....	79
Figura 4.34	Distribución de fuerzas por carga viva en estructura de alma llena.....	80
Figura 4.35	Acción del viento en caras de una estructura.....	81
Figura 4.36	Factores de forma C para diferentes superficies .....	82
Figura 4.37	Distribución de fuerzas por cargas de viento en X en estructura de alma llena.....	83
Figura 4.38	Distribución de fuerzas por carga cargas de viento en Y en estructura de alma llena .....	83
Figura 4.39	Anexo II – Zonificación sísmica.....	84
Figura 4.40	Factores de zona “Z”.....	84
Figura 4.41	Categoría de las edificaciones y factor “U” .....	85
Figura 4.42	Tabla 7: Sistemas estructurales.....	86
Figura 4.43	Tabla 3 y 4: Factores de suelo S y periodos TP y TL .....	86
Figura 4.44	Definición de la masa sísmica con SAP2000 en estructura de alma llena.....	87
Figura 4.45	Análisis modal con SAP2000 en estructura de alma llena.....	88
Figura 4.46	Fórmulas para la obtención del parámetro sísmico C .....	88
Figura 4.47	Asignación de coeficiente sísmico en SAP2000.....	89
Figura 4.48	Definición del espectro de diseño de la E030 en SAP2000 .....	90
Figura 4.49	Definición de casos de carga para sismos dinámicos en SAP2000 .....	91
Figura 4.50	Reacciones en la base por sismos estáticos y dinámicos en SAP2000 .....	91
Figura 4.51	Distribución de fuerzas por peso de cobertura en estructura parabólica.....	92
Figura 4.52	Distribución de fuerzas por carga viva en estructura parabólica .....	93
Figura 4.53	Acción del viento en caras de una estructura.....	94
Figura 4.54	Tabla 4 - Factores de forma C para diferentes superficies.....	95
Figura 4.55	Distribución de fuerzas por cargas de viento en X en estructura parabólica en.....	97
Figura 4.56	Distribución de fuerzas por carga cargas de viento en Y en estructura parabólica.....	97
Figura 4.57	Definición de la masa sísmica con SAP2000.....	99
Figura 4.58	Análisis modal con SAP2000 de estructura parabólica .....	99
Figura 4.59	Fórmulas para la obtención del parámetro sísmico C .....	100
Figura 4.60	Asignación de coeficiente sísmico en SAP2000.....	101
Figura 4.61	Definición del espectro de diseño de la E030 en SAP2000 .....	102
Figura 4.62	Definición de casos de carga para sismos dinámicos en SAP2000 .....	102
Figura 4.63	Reacciones en la base por sismos estáticos y dinámicos en SAP2000 .....	103
Figura 4.64	Asignación de combinaciones de carga en SAP2000 .....	104

Figura 4.65	Distancia entre correas de estructura de alma llena en modelado de SAP2000.....	105
Figura 4.66	Catálogo de coberturas Calaminón modelo GL de Aluzinc.....	105
Figura 4.67	Distancia entre correas de estructura parabólica en modelado de SAP2000 .....	106
Figura 4.68	Catálogo de coberturas PRECOR modelo TR-4 Curvo de aluzinc.....	106
Figura 4.69	Ratios de diseño de estructura de alma llena en SAP2000 .....	107
Figura 4.70	Cuadro de ratios de diseño de estructura de alma llena en SAP2000 .....	107
Figura 4.71	Ratios de diseño de estructura parabólica en SAP2000.....	109
Figura 4.72	Cuadro de ratios de diseño de estructura parabólica en SAP2000.....	109
Figura 4.73	Nodo de estructura de alma llena con mayor desplazamiento por cargas vivas en SAP2000 .....	110
Figura 4.74	Nodo de estructura parabólica con mayor desplazamiento por cargas vivas en SAP2000 .....	111
Figura 4.75	Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en X en SAP2000	113
Figura 4.76	Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en Y en SAP2000	113
Figura 4.77	Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en X en SAP2000	114
Figura 4.78	Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga dinámica en Y en SAP2000.....	115
Figura 4.79	Miembro más crítico de estructura de alma llena en SAP2000 .....	115
Figura 4.80	Cálculo de cargas factoradas para carga axial en PTC Mathcad Prime.....	116
Figura 4.81	Cálculo de cargas factoradas para flexión en PTC Mathcad Prime .....	117
Figura 4.82	Asignación de propiedades de sección transversal en PTC Mathcad Prime.....	118
Figura 4.83	Verificación de compacidad para el miembro en PTC Mathcad Prime.....	119
Figura 4.84	Evaluación de ítem E3 para el miembro en PTC Mathcad Prime.....	119
Figura 4.85	Evaluación de ítem E4 para el miembro en PTC Mathcad Prime.....	120
Figura 4.86	Evaluación de ítem E7 para el miembro en PTC Mathcad Prime.....	120
Figura 4.87	Resistencia a compresión del miembro en PTC Mathcad Prime .....	121
Figura 4.88	Verificación de compacidad del miembro en PTC Mathcad Prime.....	121
Figura 4.89	Evaluación del pandeo lateral torsional para el miembro en PTC Mathcad Prime.....	122
Figura 4.90	Evaluación del pandeo local del ala en compresión del miembro en PTC Mathcad .....	123
Figura 4.91	Cálculo de ratio de diseño del miembro en PTC Mathcad.....	123
Figura 4.92	Conexión de cumbrera en IDEA STATICA .....	125
Figura 4.93	Placa de extremo de conexión de cumbrera en IDEA STATICA.....	125
Figura 4.94	Cargas para la conexión de cumbrera en IDEA STATICA .....	125
Figura 4.95	Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de cumbrera en IDEA STATICA .....	126
Figura 4.96	Resultados de análisis de conexión de cumbrera en IDEA STATICA.....	126
Figura 4.97	Conexión de alero tipo PEB en IDEA STATICA.....	127
Figura 4.98	Placa rigidizadora y nervios de conexión de alero en IDEA STATICA.....	127
Figura 4.99	Placa de extremo de conexión de alero en IDEA STATICA.....	128
Figura 4.100	Cargas para la conexión de alero en IDEA STATICA .....	128
Figura 4.101	Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de alero tipo PEB en IDEA STATICA	128
Figura 4.102	Resultados de análisis de conexión de alero en IDEA STATICA .....	129
Figura 4.103	Conexión de correas en IDEA STATICA.....	129
Figura 4.104	Placa de unión conexión de correas en IDEA STATICA .....	130
Figura 4.105	Cargas para la conexión de correas en IDEA STATICA.....	130
Figura 4.106	Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de correas en IDEA STATICA.....	131
Figura 4.107	Resultados de análisis de conexión de correas en IDEA STATICA.....	131
Figura 4.108	Conexión de placa base en IDEA STATICA.....	132
Figura 4.109	Placa base y nervios de conexión de alero en IDEA STATICA .....	132
Figura 4.110	Cargas para la conexión de placa base en IDEA STATICA.....	133
Figura 4.111	Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de placa base en IDEA STATICA.....	133

Figura 4.112	Resultados de análisis de conexión de placa base en IDEA STATICA.....	133
Figura 4.113	Conexión de placa base en IDEA STATICA.....	134
Figura 4.114	Placa base y refuerzos de conexión de alero en IDEA STATICA.....	135
Figura 4.115	Cargas para la conexión de placa base en IDEA STATICA.....	135
Figura 4.116	Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de placa base en IDEA STATICA.....	135
Figura 4.117	Resultados de análisis de conexión de placa base en IDEA STATICA.....	136
Figura 4.118	Conexión de nudo en columna en IDEA STATICA.....	136
Figura 4.119	Cargas para la conexión de nodo en columna en IDEA STATICA.....	137
Figura 4.120	Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de nodo en columna en IDEA STATICA .....	137
Figura 4.121	Resultados de análisis de conexión de nodo en columna en IDEA STATICA.....	137
Figura 4.122	Conexión encajonada de alero en SAP2000 .....	138
Figura 4.123	Envoltorio de cargas para análisis de alero encajonado en SAP2000.....	139
Figura 4.124	Esfuerzo de Von Mises de alero encajonado en SAP2000 .....	139
Figura 4.125	Conexión de placa base de estructura de alma llena en IDEA STATICA .....	141
Figura 4.126	Resistencia a compresión del concreto en IDEA STATICA .....	141
Figura 4.127	Resistencia a tracción de anclaje en IDEA STATICA.....	142
Figura 4.128	Resistencia al arrancamiento de anclaje en IDEA STATICA .....	142
Figura 4.129	Resistencia a cortante del anclaje en IDEA STATICA .....	142
Figura 4.130	Asignación de propiedades de sección transversal en PTC Mathcad Prime.....	143
Figura 4.131	Definición de materiales y cargas en PTC Mathcad Prime.....	144
Figura 4.132	Definición de placa base en PTC Mathcad Prime.....	144
Figura 4.133	Definición de pedestal y distribución de anclajes en PTC Mathcad Prime .....	145
Figura 4.134	Determinación de resistencia a compresión del concreto en PTC Mathcad Prime.....	145
Figura 4.135	Verificación de tipo de momentos de conexión en PTC Mathcad prime.....	146
Figura 4.136	Ancho en compresión de placa base en PTC Mathcad Prime.....	146
Figura 4.137	Fuerzas resultantes para los pernos en anclaje en PTC Mathcad Prime .....	147
Figura 4.138	Determinación de espesor de placa base en PTC Mathcad.....	147
Figura 4.139	Resistencia de tracción de perno de anclaje en PTC Mathcad.....	148
Figura 4.140	Resistencia al arrancamiento del anclaje en PTC Mathcad.....	148
Figura 4.141	Resistencia al corte de anclaje en PTC Mathcad .....	149
Figura 4.142	Conexión de correas de estructura de alma llena en IDEA STATICA .....	150
Figura 4.143	Resistencia a tracción del perno en IDEA STATICA.....	150
Figura 4.144	Resistencia a corte del perno en IDEA STATICA.....	151
Figura 4.145	Resistencia al aplastamiento de la conexión de correas en IDEA STATICA.....	151
Figura 4.146	Resistencia de soldadura de la conexión de correas en IDEA STATICA .....	151
Figura 4.147	Asignación de propiedades de los pernos en PTC Mathcad Prime.....	152
Figura 4.148	Evaluación de estados límites de conexión atornilladas en PTC Mathcad Prime.....	152
Figura 4.149	Evaluación de resistencia de soldadura de conexión en PTC Mathcad Prime.....	153
Figura 5.1	Metrado de estructura de alma llena en Microsoft Excel.....	154
Figura 5.2	Metrado de estructura parabólica en Microsoft Excel .....	155
Figura 5.3	Ficha técnica de pintura JET 70MP .....	156
Figura 5.4	Procedimiento de soldadura WPS para perfiles soldados .....	158
Figura 5.5	Procedimiento de construcción de estructura de alma llena .....	159
Figura 5.6	Procedimiento de construcción de estructura parabólica .....	160
Figura 5.7	Procedimiento de montaje de estructura de alma llena.....	161
Figura 5.8	Procedimiento de montaje de estructura parabólica.....	162
Figura 5.9	Plan de izaje de estructura de alma llena .....	163
Figura 5.10	Plan de izaje de estructura parabólica .....	164

Figura 5.11	Valores iniciales para análisis de costos unitarios .....	166
Figura 5.12	Cargos laborales para fabricación y movilización .....	167
Figura 5.13	Cargos laborales para montaje y trazo y repanteo .....	167
Figura 5.14	Carta de presentación de presupuesto de estructura de alma llena .....	168
Figura 5.15	Partida de movilización y desmovilización .....	169
Figura 5.16	Partida de facilidades temporales.....	169
Figura 5.17	Partida de trazo y replanteo.....	169
Figura 5.18	Partida de seguridad.....	170
Figura 5.19	Subpartida de granallado de estructura SP6.....	170
Figura 5.20	Subpartida de pintado de estructura a 5 mills a una sola mano.....	171
Figura 5.21	Partida de fabricación de columnas de estructura de alma llena.....	171
Figura 5.22	Partida de fabricación de vigas de estructura de alma llena.....	172
Figura 5.23	Partida de fabricación de correas de estructura de alma llena.....	173
Figura 5.24	Partida de fabricación de templadores de estructura de alma llena.....	173
Figura 5.25	Partida de montaje de columnas de estructura de alma llena.....	174
Figura 5.26	Partida de montaje de vigas de estructura de alma llena.....	175
Figura 5.27	Partida de montaje de correas de estructura de alma llena.....	175
Figura 5.28	Partida de montaje de templadores de estructura de alma llena.....	176
Figura 5.29	Partida de montaje de cobertura galvanizada de estructura de alma llena.....	176
Figura 5.30	Presupuesto descompuesto de estructura de alma llena.....	177
Figura 5.31	Presupuesto desarrollado de estructura de alma llena.....	178
Figura 5.32	Resumen de presupuesto de estructura de alma llena .....	179
Figura 5.33	Carta de presentación de presupuesto de estructura parabólica .....	180
Figura 5.34	Partida de fabricación de columnas de estructura parabólica .....	181
Figura 5.35	Partida de fabricación de vigas parabólicas de estructura parabólica .....	182
Figura 5.36	Partida de fabricación de correas tipo Joist de estructura parabólica.....	183
Figura 5.37	Partida de fabricación de templadores de estructura parabólica .....	183
Figura 5.38	Partida de montaje de columnas de estructura parabólica .....	184
Figura 5.39	Partida de montaje de vigas parabólicas de estructura parabólica .....	185
Figura 5.40	Partida de montaje de correas tipo Joist de estructura parabólica.....	185
Figura 5.41	Partida de montaje de templadores de estructura parabólica .....	186
Figura 5.42	Partida de montaje de cobertura galvanizada de estructura parabólica.....	186
Figura 5.43	Presupuesto descompuesto de estructura parabólica.....	187
Figura 5.44	Presupuesto desarrollado de estructura parabólica .....	188
Figura 5.45	Resumen de presupuesto de estructura parabólica.....	189
Figura 5.46	Recursos y duración de actividades de movilización y desmovilización.....	190
Figura 5.47	Recursos y duración de actividades de trazo y replanteo.....	190
Figura 5.48	Recursos y duración total de construcción de columnas de estructura de alma llena.....	191
Figura 5.49	Recursos y duración total de montaje de columnas de estructura de alma llena .....	191
Figura 5.50	Recursos y duración total de construcción de vigas de estructura de alma llena.....	192
Figura 5.51	Recursos y duración total de montaje de vigas de estructura de alma llena .....	192
Figura 5.52	Recursos y duración total de construcción de correas de estructura de alma llena.....	193
Figura 5.53	Recursos y duración total de montaje de correas de estructura de alma llena .....	193
Figura 5.54	Recursos y duración total de construcción de templadores de estructura de alma llena..	194
Figura 5.55	Recursos y duración total de montaje de templadores de estructura de alma llena .....	194
Figura 5.56	Recursos y duración total de montaje de cobertura galvanizada de estructura de alma llena .....	195
Figura 5.57	Recursos y duración total de construcción de columnas de estructura de parabólica.....	196
Figura 5.58	Recursos y duración total de montaje de columnas de estructura de parabólica .....	196

Figura 5.59	Recursos y duración total de construcción de vigas de estructura de parabólica.....	197
Figura 5.60	Recursos y duración total de montaje de vigas de estructura de parabólica .....	197
Figura 5.61	Recursos y duración total de construcción de correas de estructura de parabólica.....	198
Figura 5.62	Recursos y duración total de montaje de correas de estructura de parabólica .....	198
Figura 5.63	Recursos y duración total de construcción de templadores de estructura de parabólica .	199
Figura 5.64	Recursos y duración total de montaje de templadores de estructura de parabólica .....	199
Figura 5.65	Recursos y duración total de montaje de cobertura galvanizada de estructura de parabólica .....	200



## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Partes de los galpones industriales .....	12
Tabla 2.2	Tipos de perfiles laminados en caliente .....	14
Tabla 2.3	Tipos de aceros estructurales.....	15
Tabla 2.4	Propiedades físicas de los aceros.....	18
Tabla 2.5	Etapas del diseño estructural .....	20
Tabla 2.6	Normas internacionales y nacionales para el diseño estructural .....	22
Tabla 2.7	Definiciones en el diseño estructural en acero .....	23
Tabla 2.8	Patrones de carga en el diseño estructural.....	24
Tabla 2.9	Conceptos fundamentales respecto a costos.....	56
Tabla 2.10	Tipo de presupuestos metal mecánicos .....	56
Tabla 2.11	Metrado de subconjunto de tuberías.....	57
Tabla 3.1	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	59
Tabla 3.2	Recursos tentativos necesarios .....	60
Tabla 4.1	Normas nacionales e internacionales para el diseño de estructuras metálicas .....	63
Tabla 4.2	Tamaños mínimos de soldaduras en filete de código AWS D1.1 .....	66
Tabla 4.3	Comparación de resultados entre cálculos por software y cálculos manuales .....	124
Tabla 4.4	Comparación de resultados entre cálculos por software y cálculos manuales .....	149
Tabla 4.5	Comparación de resultados entre cálculos por software y cálculos manuales .....	153
Tabla 5.1	Clasificación de las estructuras metálicas en la industria metalmecánica.....	165
Tabla 5.2	Rendimientos recomendados para fabricación en la industria metalmecánica .....	165
Tabla 5.3	Rendimientos recomendados para montaje en la industria metalmecánica .....	166
Tabla 5.4	Rendimientos recomendados para arenado en la industria metalmecánica.....	166
Tabla 5.5	Rendimientos recomendados para pintura en la industria metalmecánica.....	166
Tabla 5.6	Tabla comparativa de pesos y áreas totales de estructuras diseñada.....	200
Tabla 5.7	Tabla comparativa de tiempos de fabricación.....	201
Tabla 5.8	Tabla comparativa de tiempos de montaje .....	201
Tabla 5.9	Tabla comparativa de costos directos totales .....	201
Tabla 5.10	Tabla comparativa de cantidad de galones de pintura y solvente.....	202
Tabla 5.11	Tabla comparativa de precios unitarios de fabricación y montaje .....	202
Tabla 5.12	Tabla comparativa de horas hombres y horas maquina totales .....	202
Tabla 5.13	Tabla comparativa de costos totales de cada proyecto.....	203
Tabla 5.14	Tabla comparativa de resultados de análisis y diseño estructural .....	203

## INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores problemas de las infraestructuras es el daño producido por fenómenos climatológicos como la lluvia, granizo, nieve y exposición al sol, los hornos de las ladrilleras requieren de una cobertura que ayude a solucionar este problema, sin embargo, existe un segundo problema, en el diseño de un cobertura existe una gran cantidad de configuraciones geométricas para la construcción de un galpón industrial metálico, y además, muchas empresas no cuentan con la data necesaria para discernir entre un modelo u otro más allá de criterios arquitectónicos, por lo tanto, en este proyecto proponiendo dos modelos estructurales diferentes, llámense estas de “estructura de alma llena de sección variable” y “estructura parabólica”, se buscará determinar entre ambas estructuras, cual ofrece mayores ventajas estructurales, menores costos y menores tiempos de construcción y montaje, partiendo ambas de mismos valores iniciales, tales como misma luz, ancho y altura de columnas. El presente proyecto está conformado por los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Problemática: Este capítulo está conformado por planteamiento del problema, justificación del proyecto, limitaciones del proyecto y objetivos de la investigación.

Capítulo 2: Marco de teórico: Este capítulo está compuesto por antecedentes de la investigación, y bases teóricas.

Capítulo 3: Marco metodológico: Este capítulo está compuesto por nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos, diagrama de flujo metodológico y aspectos administrativos.

Capítulo 4: Análisis y diseño: Este capítulo está compuesto por levantamiento de información y aspectos generales, normas y codificaciones, selección de perfiles estructurales, pre-dimensionamiento de estructuras, cómputo de cargas, combinaciones de carga, selección de cobertura, ratios de diseño y verificaciones de miembros estructurales, comprobación de diseño de miembros mediante cálculo manual, diseño de conexiones y comprobación de diseño de conexiones mediante cálculo manual.

Capítulo 5: Evaluación Económica: Este capítulo está compuesto por metrados, cálculo de volumen de pintura, procedimiento de soldadura de perfiles soldados, procedimientos de construcción, procedimientos de montaje, planes de izaje, presupuestos por análisis de precios unitarios, tiempos de construcción y montaje y análisis comparativo de estructuras.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMATICA

#### 1.1. Planteamiento del problema

##### 1.1.1. Identificación del problema

Se pretende realizar el análisis comparativo de dos estructuras metálicas para conocer cuál será la más óptima y beneficiosa para destinarse como cobertura para los hornos de una ladrillera en Arequipa. Se buscarán las configuraciones y parámetros estructurales que brinden los mayores beneficios a los modelos seleccionados afín de llegar a una comparación final entre los dos diseños de galpones industriales de acero.

Los techos parabólicos se caracterizan por alcanzar grandes luces y por aligerar el peso de la estructura total, debido a que está conformado por pórticos de alma abierta, por otro lado, los galpones industriales de alma llena también cubren áreas extensas, sin embargo, usan más material, pero en algunas ocasiones su montaje llega a ser mucho más sencillo y económico (Arguellez, 1975).

En el momento que ocurre la necesidad de diseñar una estructura que satisfaga las necesidades presentes, uno de los factores decisivos en la elección de un modelo estructural es el costo total, Soria (2020) refiere que, para las mismas condiciones de diseño, un galpón industrial a dos aguas resulta ser 8.3% más costoso que una cobertura auto-portante, pero su tiempo de montaje es 50% menor al otro.

El propósito del estudio es encontrar una comparación entre los resultados que dos modelos estructurales diferentes puedan ofrecer, para que así, esta información sirva de referencia para futuros proyectos estructurales que tengan características iniciales semejantes.

##### 1.1.2. Descripción del problema

En el Perú el costo por kilogramo de acero representa un valor importante para el presupuesto total de las estructuras metálicas, por eso se busca cada vez más la optimización de los diseños estructurales. Mediante el análisis comparativo de dos modelos estructurales diferentes para el mismo fin, se obtendrá información que nos brindará las diferencias entre ambos.

En Arequipa es una región que tiene una variación ligera de lluvia mensual por estación, usualmente los meses que se registran mayor lluvia son enero, febrero y marzo, siendo el mes de febrero en el que se produce con mayor intensidad (Senamhi, 2020).

Los hornos de las ladrilleras requieren tener una cobertura para que estas no estén expuestas al ambiente y puedan sufrir deterioración infraestructural a causa de la exposición a condiciones climatológicas como las lluvias y la exposición al sol. Las coberturas, además, son aplicables

para construcción de almacenes, clubes deportivos, locales, entre otros, y en muchos casos ayudan a facilitar el desarrollo de actividades en las cuales se requiera un ambiente cerrado y protegido.

### **1.1.3. Formulación del problema**

¿Cómo será el análisis comparativo de una estructura metálica de alma llena de sección variable y una estructura parabólica para la cobertura de 2000 m<sup>2</sup> para hornos de una ladrillera en Arequipa?

## **1.2. Justificación del proyecto**

### **1.2.1. Justificación social**

El presente proyecto beneficiará a futuros proyectos constructivos en los cuales involucre el diseño y construcción de una cubierta metálica, debido a que se tendrá una mayor visión de los beneficios de elegir un modelo de estructura sobre otro para condiciones que se asemejen a las indicadas en el proyecto.

### **1.2.2. Justificación económica**

Con los resultados del proyecto se podrá comparar el presupuesto total de la construcción de cada modelo estructural para así poder visualizar numéricamente la diferencia entre costos y tiempos de construcción y montaje, esto servirá para futuros proyectos estructurales, donde el presupuesto total sea uno de los parámetros más importantes para la realización del proyecto.

### **1.2.3. Justificación personal**

Con el presente proyecto se busca concluir con la formación en pregrado haciendo uso de las herramientas que han sido entregadas a lo largo de los años en la universidad y en centros de formación profesional a través de cursos de capacitación.

## **1.3. Limitaciones del proyecto**

El presente proyecto pretende hacer el análisis comparativo de dos estructuras metálicas, las cuales serán diseñadas con el uso de herramientas computacionales y normas vigentes, sin embargo, no se realizará lo indicado a continuación:

- Diseño de las cimentaciones, a excepción de los pedestales.
- Realización de evaluación financiera del proyecto.
- Análisis del desarrollo del proyecto por tiempos.
- Aplicación de conceptos de PMI.

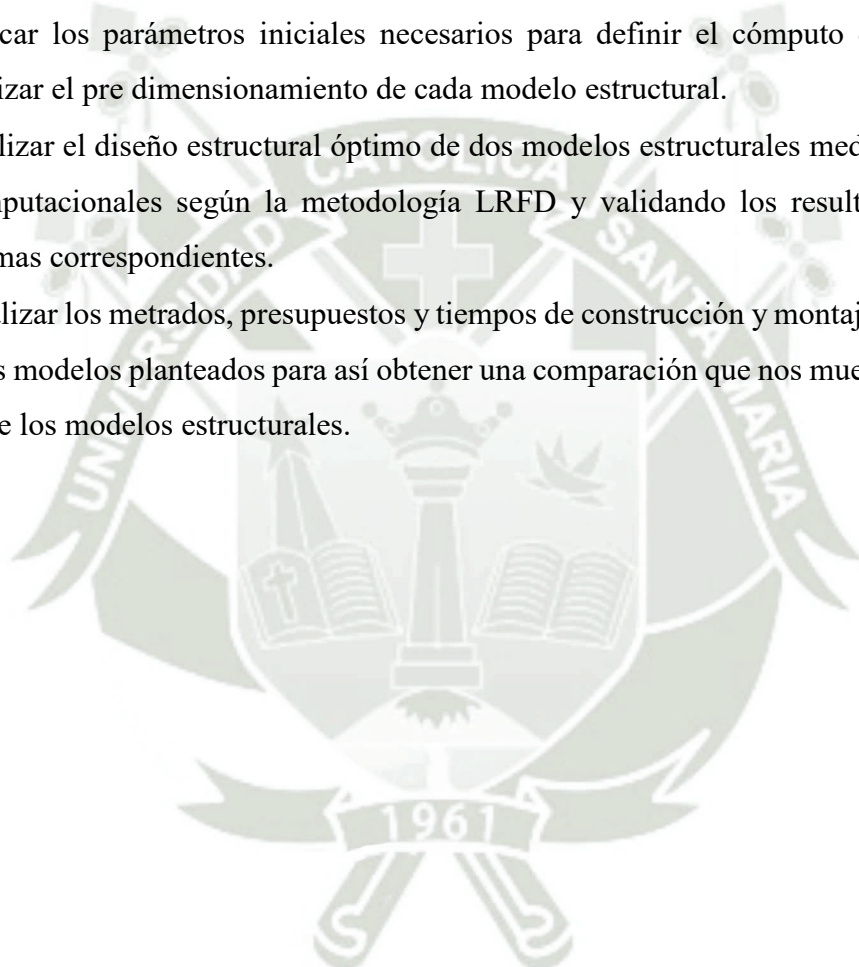
## 1.4. Objetivos de la investigación

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar la conveniencia mediante un valor de comparación basado en costos y tiempos totales de construcción y montaje entre una estructura metálica del tipo parabólico y una de alma llena de sección variable para una empresa ladrillera de Arequipa.

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Explicar los conceptos fundamentales que ayuden a entender el comportamiento y diseño estructural de miembros de acero.
- Indicar los parámetros iniciales necesarios para definir el cómputo de cargas y poder realizar el pre dimensionamiento de cada modelo estructural.
- Realizar el diseño estructural óptimo de dos modelos estructurales mediante herramientas computacionales según la metodología LRFD y validando los resultados mediante las normas correspondientes.
- Analizar los metrados, presupuestos y tiempos de construcción y montaje correspondientes a los modelos planteados para así obtener una comparación que nos muestre las diferencias entre los modelos estructurales.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes Locales

Vásquez (2013) Diseño de nave industrial para molienda, Universidad Católica de Santa María, Arequipa – Perú.

El objetivo principal de la investigación fue el diseño de un galpón industrial de alma abierta a dos aguas para el área de molienda; el diseño se realizó y validó según normas de diseño y herramientas computacionales, estos instrumentos se aplicaron a las condiciones e información inicial que tenemos correspondiente a la necesidad de conseguir una cobertura para un área destinada a la operación y otra para la carga/descarga dentro del sector de molienda y se concluyó que se logró diseñar tal estructura tipo galpón industrial respetando todas las normas vigentes y teniendo un costo total de 6,621,185.52 dólares americanos.

Esta investigación resulta ser importante porque se trata del diseño de una estructura metálica tipo galpón o nave industrial, pero para un diferente lugar al que se propone, también hace uso de recursos como herramientas computacionales de diseño estructural y normas para realizar la validación, además, se elaboran presupuestos para la realización del proyecto, por lo cual resulta útil para el planteamiento de la presente tesis.

Fernandez (2014) Diseño y gestión en el proceso de fabricación y montaje de la obra metal mecánica para cancha de nitratos proyecto Antapaccay, Universidad Católica de Santa María, Arequipa – Perú.

El objetivo principal de la investigación fue el diseño de una estructura tipo galpón industrial para el almacenamiento de nitrato de amonio para el proyecto Antapaccay; el diseño se realizó y validó según normas de diseño y softwares de modelado y análisis mediante elementos finitos como SAP2000, estos instrumentos se aplicaron a las condiciones y valores calculados analíticamente y se concluyó que se logró diseñar un galpón industrial denominado “cancha de nitratos” de 1400 toneladas de capacidad, cumpliendo todas las normas nacionales de diseño estructural.

La investigación presente resulta ser importante debido a que se realizó el diseño y análisis estructural de una estructura metálica semejante a la del proyecto planteado, donde se utilizan herramientas computacionales y normas vigentes para las verificaciones y validaciones, por lo que resulta útil para el planteamiento de la presente tesis.

### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

Cotrina (2017) Diseño de techo estructural parabólico usando el Reglamento Nacional de Edificaciones y el software SAP 2000 para el coliseo deportivo Juan Honores de la Provincia de Ascope – La Libertad, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo – Perú.

El objetivo de la investigación fue el diseño de un galpón industrial tipo parabólico para un coliseo deportivo dado que al no contar con dicho techo estructural no se tenían las instalaciones necesarias para brindar servicios nocturno deportivos y extradeportivos debido a la exposición con ambientes climatológicos; el diseño se realizó y validó según normativas de diseño y el software SAP 2000, estos instrumentos se aplicaron a las condiciones e información inicial que tenemos correspondiente a la ubicación y cargas presentes para hacer un diseño óptimo y de costo razonable y se concluyó que se logró diseñar un techo estructural parabólico que resiste la combinación de cargas más crítica y que a su vez que el diseño mediante estas combinaciones de cargas, correspondiente a la metodología LRFD, es una buena medida para expresar las cargas reales que pueden o no actuar sobre la estructura.

Esta investigación resulta ser beneficiosa porque se trata del diseño de una estructura parabólica similar a la que corresponde al proyecto presente, pero para otra ubicación y con diferentes condiciones iniciales, realiza un diseño estructural mediante software y normativas de diseño, así como el presupuesto total de la estructura lo cual ayuda a localizar algunos de los puntos que se deberían tratar en el presente proyecto.

Mendoza (2018) Sistema metálico Tubest para la optimización en la construcción de naves industriales en Lima, Universidad Cesar Vallejo, Lima – Perú.

El objetivo principal de la investigación fue la evaluación del sistema Tubest para la optimización en la construcción de un galpón industrial en Lima, mediante una comparación con el sistema tradicional de alma llena; el diseño se realizó y validó según normativas de diseño y softwares de cálculo estructural, estos instrumentos se aplicaron a las condiciones e información inicial, el cual se extrajo de un diseño tradicional de alma llena para así realizar las comparaciones en costo y tiempo de construcción y se concluyó que el sistema Tubest optimiza la construcción de naves industriales, aminorando el peso y por ende el costo y tiempo total de fabricación. La presente investigación resulta ser importante porque realiza un análisis comparativo entre dos sistemas de construcción para evaluar los costos, plazos de construcción y rendimientos de montaje.

### **2.1.3. Antecedentes Internacionales**

Dobkowski (2018) Dimensionamento de estrutura para galpão industrial em perfis formados à frio de acordo com a NBR 14762:2010, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco – Brasil.

La presente investigación tiene como objetivo principal el diseño de una nave industrial con perfiles formados en frío; el diseño se realizó y validó según normativas de diseño NBR y softwares de cálculo estructural, estos instrumentos se aplicaron a las condiciones e información inicial las cuales se preestablecieron arbitrariamente, y se concluyó que dicho diseño proporciono un mayor conocimiento en el área de diseño de estructuras metálicas dando el peso de la estructura resultante un valor de 28.5 kg/m. Esta investigación es importante porque se realiza el diseño de una nave industrial con perfiles formados en frío lo cual no es tan común dado que generalmente se realizan con perfiles laminados en caliente, esta alternativa produce una reducción grande del peso, así como los costos de montaje y fabricación.

Soria (2020) Análisis tecno económico entre galpones con cubiertas auto portantes y cubiertas a dos aguas con luces de 20 metros fabricadas en acero estructural, Escuela Politécnica Nacional, Quito – Ecuador.

La investigación tiene como objetivo principal el análisis tecno-económico de dos galpones con diferentes cubiertas; el diseño se realizó y validó según normativas de diseño de la AISC, norma ecuatoriana de construcción y softwares de cálculo estructural como SAP2000, estos instrumentos se aplicaron a las condiciones e información inicial, las cuales se definieron cuidadosamente para realizar un análisis comparativo, se concluyó que a pesar de que se partió de un mismo dimensionamiento de miembros estructurales, el galpón con cubierta a dos aguas resultó ser hasta 8.3% más costoso que el de cubierta auto portante, sin embargo su tiempo de montaje es 50% menor en comparación al otro. Esta investigación es importante porque realiza un análisis tecno económico entre dos estructuras con igual dimensionamiento, pero con diferente cubierta, algo semejante a lo que se plantea en el presente proyecto.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Tipos de estructuras metálicas para galpones industriales**

El acero es uno de los materiales más utilizados en la fabricación de estructuras industriales, Siegenthaler (2019) refiere que la estructura metálica de un galpón industrial es un conjunto de miembros sometidos a cargas y agentes externos, capaz de mantener su aspecto y propiedades

mecánicas a lo largo del tiempo. Las estructuras utilizadas para la fabricación de galpones se pueden dividir de la siguiente forma:

**Figura 2.1**

*Clasificación según los tipos de estructuras metálicas industriales*



*Fuente.* Adaptación de Oirealtor (2021), Becosan (2020) y Peruconstruye (2018).

Asimismo, estas estructuras pueden clasificarse según el tipo de pórtico del que estén formados, las configuraciones de pórticos más utilizados son:

#### **2.2.1.1. Pórticos con miembros de alma llena**

Los miembros estructurales utilizados para la fabricación de estos pórticos, son secciones de alma llena, y estos a su vez, son los encargados de soportar cargas internas combinadas producto de cargas externas y de gravedad (Soria, 2020).

Este tipo de pórtico puede ser construido con miembros formados en una sola pieza como los perfiles laminados, o también con miembros armados por más de un elemento como las secciones soldadas o atornilladas (Arguellez, 1975). Asimismo, menciona que los perfiles laminados son estandarizados, por lo tanto, para la fabricación de pórticos con grandes luces, estos son limitados, para estos casos se recurren a miembros armados como las secciones soldadas, o incluso secciones variables a fin de optimizar la cantidad de material usado y reducir el peso.

En el caso de perfiles soldados a base de planchas, generalmente se unen con soldadura SAW respetando una altura de soldadura mínima y máxima, en consecuencia de este proceso de unión se tendrán esfuerzos localizados alrededor de la soldadura, sin embargo, los esfuerzos debido a las cargas en estructuras, son recibidos por la sección de los perfiles que forman la estructura, por lo tanto no amerita un análisis detallado de los esfuerzos en los cordones de soldadura siempre y cuando estos no reciban fuerzas de manera localizada (Malagutti, Nunes , & Pavan, 2015).

**Figura 2.2***Pórticos con miembros de alma llena*

*Fuente.* De “Estructura metálica de sección variable atornillada” por Tekton, 2013.

### 2.2.1.2. *Pórticos en celosía o alma abierta*

Este tipo de pórtico está construido por vigas y columnas compuestas por miembros distribuidos en formas triangulares, esta distribución de miembros nos ofrece estructuras más livianas en relación a las estructuras de alma llena, generando en algunos casos menores costos de fabricación (Seguí, 2006). Asimismo, menciona que los miembros estructurales de este tipo de pórtico trabajan en su mayoría a cargas internas de tracción y compresión, además, los momentos internos desarrollados son pequeños en comparación a las otras cargas por lo que en muchas ocasiones estas no se consideran.

**Figura 2.3***Pórticos con miembros de alma abierta*

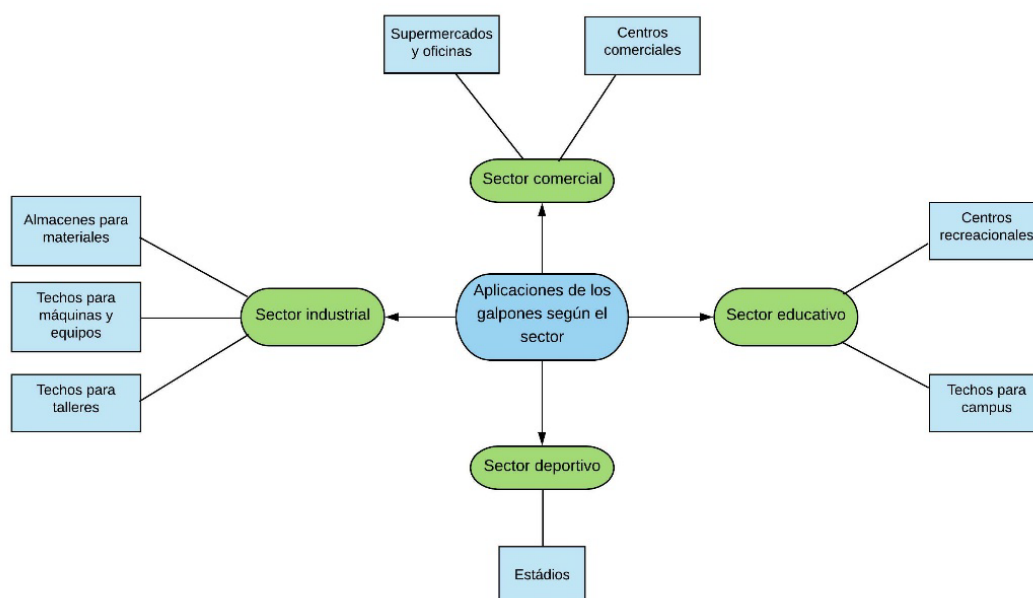
*Fuente.* De “Estructuras metálicas Lima Perú” por V. Moreno Inversores, 2015.

### 2.2.2. Aplicación de los galpones industriales

El uso de galpones se encuentra diversificado según la industria a la cual se enfoque. Inmoking (2017) refiere que un galpón industrial es un tipo de construcción a base de estructuras de acero y/o concreto cuyo fin está destinado al almacenaje de materiales o productos que una empresa pueda generar, incluyendo maquinaria, trabajadores y espacios pertenecientes a la empresa. Las aplicaciones de los galpones industriales se pueden dividir de la siguiente forma según el sector:

**Figura 2.4**

*Aplicaciones de los galpones industriales según el sector*

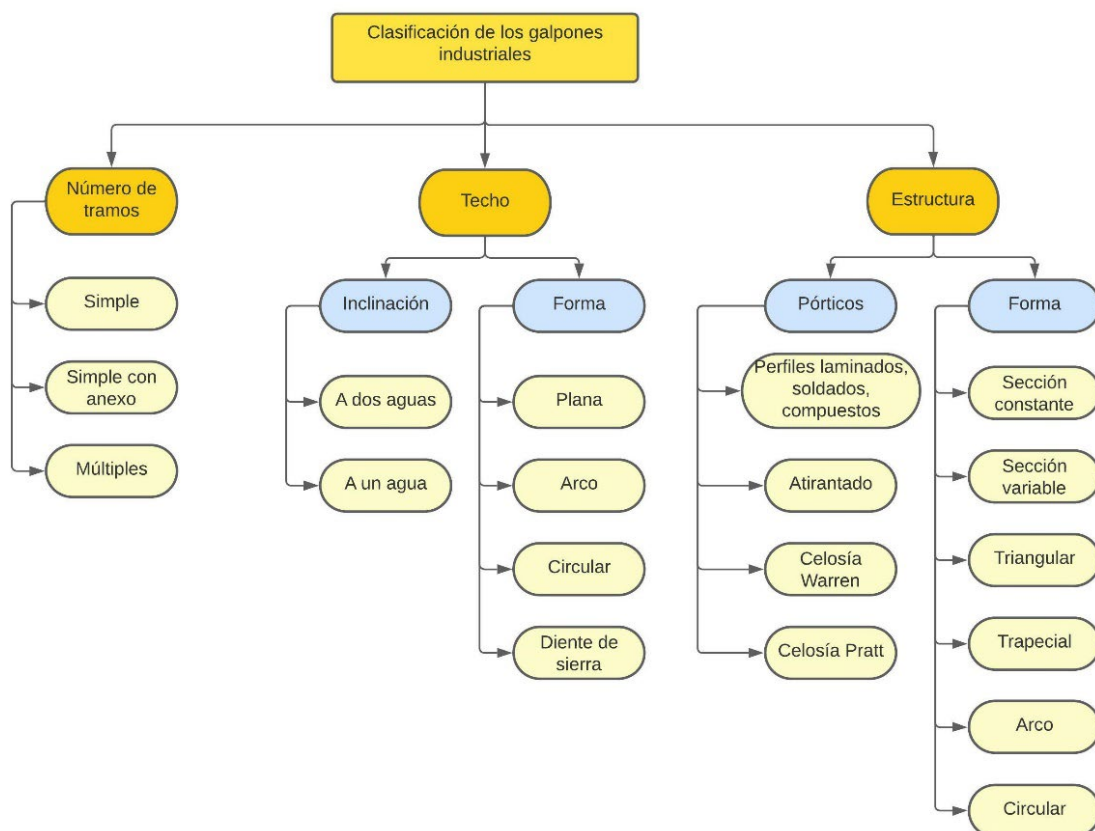


*Fuente.* Adaptación de Inmoking (2017), Tekton (2015) y Cantó (2020).

### 2.2.3. Clasificación de los galpones industriales

Los galpones o también conocidos como naves industriales están hechos de diferentes formas geométricas. Panel y Acanalados Monterrey (2021) relata que el esqueleto principal de una nave industrial es una estructura de acero, y así mismo, estas conforman las diferentes partes de un galpón industrial. La geometría de este esqueleto principal puede cambiar de múltiples maneras y por ello da origen a una gran clasificación de galpones industriales según algunos factores como se muestra a continuación:

**Figura 2.5**  
*Clasificación de los galpones industriales*



*Fuente.* Adaptación de Aula Seproinca (2019) y Viaplan (2017).

#### 2.2.4. Partes de los galpones industriales

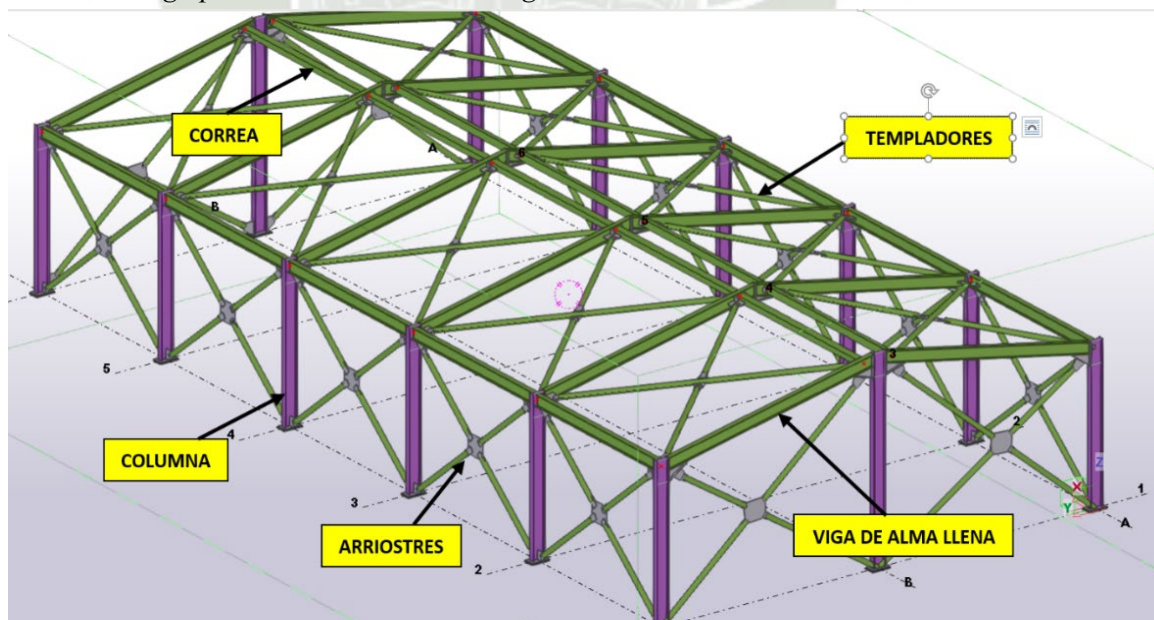
Los galpones o también conocidos como naves industriales están hechos de diferentes formas geométricas. Panel y Acanalados Monterrey (2021) refiere que el esqueleto principal de una nave industrial es una estructura de acero, el cual está conformado por un conjunto de perfiles estructurales que forman las diferentes partes del galpón industrial.

**Tabla 2.1**  
*Partes de los galpones industriales*

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Columna	Miembro vertical diseñado para soportar cargas combinadas, pueden estar hechos de vigas, placas de acero, conjunto de perfiles de acero, ó concreto. (Panel y Acanalados Monterrey, 2021)
Viga	Miembro horizontal diseñado para soportar cargas transversales a su eje longitudinal. (McCormac & Csernak, 2012)
Correa	Viga de techo con claros entre armaduras. (McCormac & Csernak, 2012)
Armadura	Compuesta por piezas de acero que forman un sistema. Este sistema trabaja uniendo y absorbiendo esfuerzos de compresión o tensión, el acero es el material ideal para este tipo de esfuerzos. (Panel y Acanalados Monterrey, 2021)
Arriostre	Miembro estructural inclinado que comúnmente carga solamente fuerza axial en un marco arriostrado. (McCormac & Csernak, 2012)
Templador	Miembro estructural ubicado en los marcos de techo que es diseñado para soportar unicaente cargas axiales. (Panel y Acanalados Monterrey, 2021)
Cubierta	Construidas generalmente de láminas de acero que van en la parte superior del galpón industrial. (Panel y Acanalados Monterrey, 2021)

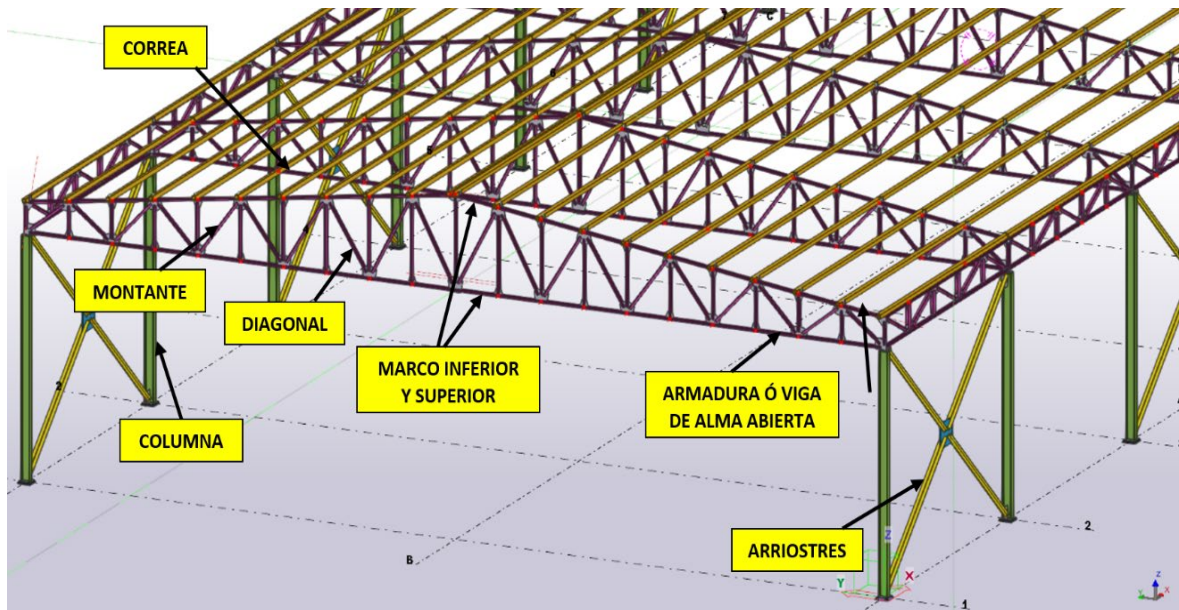
*Fuente.* Adaptación de Panel y Acanalados Monterrey (2021), y McCormac (2012).

**Figura 2.6**  
*Partes de un galpón industrial de marcos rígidos*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 2.7**  
*Partes de un galpón industrial de marcos de perfiles de alma abierta*

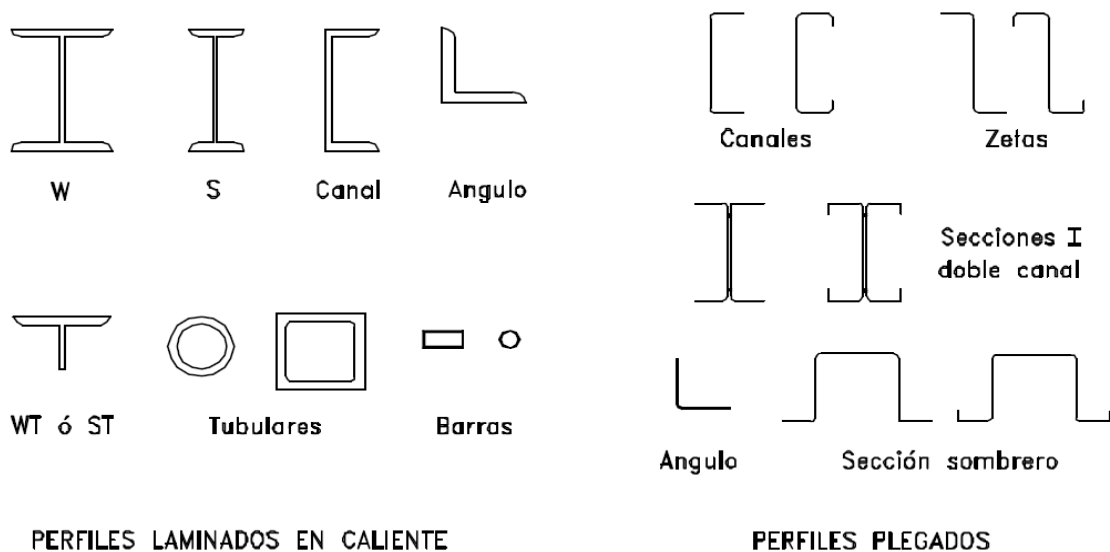


Fuente. Fuente propia, 2023.

### 2.2.5. Tipos de perfiles estructurales

En las construcciones hay diversos tipos de elementos de acero que pueden ser usados. El acero estructural puede laminarse y moldearse económicamente en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas (McCormac & Csernak, 2012).

**Figura 2.8**  
*Secciones de perfiles estructurales de acero*



Fuente. De “Diseño estructural en acero” por L. Zapata Baglietto, 2018.

### 2.2.5.1. Perfiles de acero laminados en caliente

En 1896 el actual American Iron and Steel Institute, o AISI, fue uno de los primeros en estandarizar los perfiles estructurales, además, podemos encontrar dimensiones y propiedades de estos perfiles en el Manual of Steel Construction: Load Resistance Factor Design, publicado por el American Institute of Steel Construction en el 2001 (McCormac & Csernak, 2012).

Los perfiles laminados en caliente siguen una designación para su apropiada descripción, donde el primer número seguido del símbolo del tipo de perfil, denomina el peralte nominal, mientras que el siguiente número representa el peso en lb/pie (Zapata, 2018).

**Tabla 2.2**  
*Tipos de perfiles laminados en caliente*

SECCIONES DE ACERO LAMINADO		CARACTERÍSTICAS
Perfiles I	Perfil de patín ancho W	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las superficies interiores y exteriores de los patines inferior y superior son F7 paralelas.</li> <li>- Tienen un peralte igual o mayor que el ancho del patín.</li> <li>- Espesor del patín generalmente mayor al del alma.</li> <li>- Favorable para conexiones y construcción de marcos rígidos.</li> <li>- El peralte real vería dentro de cualquier agrupamiento de peralte nominal dado.</li> </ul>
	Vigas estandar americanas S	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene patines más angostos y alma más gruesa que los perfiles de patín ancho.</li> <li>- Las superficies internas del patín tienen una pendiente aproximada de 2 sobre 12.</li> <li>- Son perfiles pocos comunes debido al excesivo material en su alma y a su baja rigidez lateral dado a sus patines angostos.</li> <li>- El peralte real es igual al peralte nominal.</li> </ul>
	Perfiles de pilotes de punta HP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las superficies interiores y exteriores de los patines inferior y superior son paralelas.</li> <li>- Los espesores del alma y del patín son iguales.</li> <li>- El ancho del patín y el peralte de la sección son casi iguales al peralte nominal de la sección.</li> <li>- El peralte real es ligeramente diferente al peralte nominal.</li> </ul>
	Perfiles diversos M	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son perfiles que no pueden clasificarse como secciones W, S o HP.</li> </ul>
Perfiles C	Canales C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las superficies internas del patín tienen una pendiente aproximada de 2 sobre 12.</li> <li>- Se utilizan principalmente como tirantes de escalera, largueros y miembros diagonales de armaduras.</li> <li>- El ancho del patín y el peralte de la sección son casi iguales al peralte nominal de la sección.</li> <li>- El peralte real equivale al peralte nominal.</li> </ul>
	Canales diversos MC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son perfiles que no pueden clasificarse como canales C.</li> </ul>
	Perfiles en ángulo L	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las superficies interna y externa de cada ala son paralelas y el espesor de ambas es el mismo.</li> <li>- Es usado para la construcción de armaduras.</li> <li>- Se suelen armar perfiles de ángulo doble para aumentar la resistencia, disminuir efectos de flexión y reducir la reacción de esbeltez.</li> </ul>
	Tes estructurales WT, ST, MT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se fabrican a partir del corte por el medio de perfiles W, S o M.</li> <li>- Se utilizan en múltiples ocasiones como miembros de cuerda inferior y superior de armaduras y como miembros de arriostramiento diagonal.</li> </ul>
Secciones estructurales s huecas	Perfil tubular cuadrado y rectangular HSS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Se obtienen con facilidad en el mercado, y se pueden encontrar soldadas o sin costura.</li> <li>- Ofrecen una imagen estética y presente buenas propiedades de resistencia.</li> <li>- Son usados como columnas y vigas.</li> </ul>
	Tubo circular P	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene propiedades geométricas simétricas y convenientes respecto a ambos ejes.</li> <li>- Tienen facilidad de adquisición en el mercado, SCH (Pesado) y STD.</li> </ul>

*Fuente.* Adaptación de McCormac (2012) y Vinnakota (2006).

### 2.2.5.2. Perfiles de acero formados en frío

Más allá de los perfiles laminados en caliente, existe una familia de perfiles conformados en frío, fabricados por el doblado de láminas delgadas de acero de bajo carbono o baja aleación. Estos perfiles formados en frío, también pueden ser usados para muros, techos y pisos, teniendo un espesor que varía entre 0.01 hasta 0.25 pulg (McCormac & Csernak, 2012).

Los perfiles formados en frío, a diferencia de los laminados en caliente, tienen esquinas redondeadas, elementos planos esbeltos y además, todos sus elementos tienen el mismo espesor. Cabe decir que el trabajo en frío incrementa el esfuerzo límite de fluencia del metal original, sin embargo, el aumento de esta propiedad mecánica implica una reducción de la ductilidad debido a la alta esbeltez de los elementos de la sección transversal (Vinnakota, 2006).

### 2.2.6. Tipos de aceros estructurales

El acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono (alrededor de 0.05% hasta menos de un 1.7%, máximo según su uso), la proporción de carbono y elementos aleantes específicos como el Cromo o Níquel añadidos en la conformación del acero influye sobre las características de este (Zapata, 2018).

Los aceros al carbono también conocidos como aceros dulces, son los aceros estructurales más conocidos y usados en la construcción, tienen un porcentaje de carbono de (0.15-0.29%) para así poder garantizar una buena soldabilidad, son excelentes para resistir esfuerzos y además de su calidad, demandan economía en el sector de la construcción (Zapata, 2018).

Los aceros de alta resistencia, son aceros estructurales a los cuales se le añadieron uno o más agentes de aleación, a fin de obtener aceros con alta resistencia mecánica y otras propiedades como el incremento de la resistencia a la corrosión atmosférica (McCormac & Csernak, 2012).

Entre los aceros estructurales se pueden clasificar de la siguiente forma:

**Tabla 2.3**  
*Tipos de aceros estructurales*


Categoría	Características	Designación ASTM
Aceros estructurales con carbono	Su porcentaje de carbono varía entre 0.25 a 0.29%, dependiendo del espesor, es el material preferido para la construcción de varios perfiles estructurales.	A36
Aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA)	Su contenido total de elementos aleantes no excede el 5% de la composición total del acero, ofrecen alta resistencia y una mejorada resistencia a la corrosión.	A992, A572
Aceros resistentes a la corrosión (HSLA)	Generan una densa y dura capa color púrpuro cuando se exponen a la atmósfera, esta sella el metal base contra oxidación futura.	A588
Aceros aleados y de baja aleación enfriados y templados	No muestran un punto de fluencia bien definido, y según el manual de la AISC, solo están disponibles en forma de placas, se usan en edificaciones donde se requieren proporciones altas de resistencia a la fluencia contra el peso.	A514

*Fuente.* Adaptación de “Estructuras de Acero: Comportamiento y LRFD” por S. Vinnakota, 2006.

El manual de acero AISC enlista 12 tipos de aceros estructurales de ASTM, en el cual indica la disponibilidad de los perfiles estructurales y sus valores de esfuerzo de fluencia mínimo y esfuerzo último a tensión correspondientes al tipo de acero (McCormac y Csernak, 2012).

**Figura 9**

*Especificaciones aplicables de la ASTM a diversos perfiles estructurales.*

 Tipo de acero	Designación de la ASTM	Esfuerzo mínimo de fluencia $F_y$ (klb/pulg <sup>2</sup> )	Esfuerzo <sup>a</sup> de tensión $F_u$ (klb/pulg <sup>2</sup> )	Serie de perfiles aplicables														
				W	M	S	HP	C	MC	L	HSS							
											Rect.	Rec	Tubo					
Al carbono	A36	36	58-80 <sup>b</sup>															
	A53 Gr. B	35	60															
	A500	Gr. B	42	58														
			46	58														
		Gr. C	46	62														
			50	62														
	A501	Gr. A	36	58														
		Gr. B	50	70														
	A529 <sup>c</sup>	Gr. 50	50	65-100														
		Gr. 55	55	70-100														
Baja aleación alta resistencia	A572	Gr. 42	42	60														
		Gr. 50	50	65 <sup>d</sup>														
		Gr. 55	55	55														
		Gr. 60 <sup>e</sup>	60	60														
		Gr. 65 <sup>e</sup>	65	65														
	A618 <sup>f</sup>	Gr. I & II	50 <sup>g</sup>	70 <sup>g</sup>														
		Gr. III	50	50														
	A913	50	50 <sup>h</sup>	60 <sup>h</sup>														
		60	60	75														
		65	65	80														
70		70	90															
A992	50	65 <sup>i</sup>																
Baja aleación alta resistencia resistente a la corrosión	A242	42 <sup>j</sup>	63 <sup>j</sup>															
		46 <sup>k</sup>	67 <sup>k</sup>															
		50 <sup>l</sup>	70 <sup>l</sup>															
	A588	50	70															
	A847	50	70															

= Especificación recomendada para el material  
 = Otra especificación de material aplicable, cuya disponibilidad deberá confirmarse antes de la especificación  
 = La especificación de material no aplica

<sup>a</sup> Mínimo a menos que se muestre un rango.  
<sup>b</sup> Para perfiles arriba de 426 lb/pie, sólo aplica al mínimo de 58 klb/plg<sup>2</sup>.  
<sup>c</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 1 1/2 plg solamente. Para mejorar la soldabilidad, puede especificarse un máximo de carbono (de acuerdo con el Requisito suplementario S78 de la ASTM). Si desea, puede especificarse el esfuerzo máximo de tensión de 90 klb/plg<sup>2</sup> (de acuerdo con el Requisito suplementario S79 de la ASTM).  
<sup>d</sup> Si desea, puede especificarse el esfuerzo máximo de tensión de 70 klb/plg<sup>2</sup> (de acuerdo con el Requisito suplementario S91 de la ASTM).  
<sup>e</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 2 plg solamente.  
<sup>f</sup> A618 de la ASTM también puede especificarse como resistente a la corrosión; véase A618 de la ASTM.  
<sup>g</sup> El mínimo aplica a muros de un espesor nominal de 3/4 plg y menor. Para espesores de muro mayores que 3/4 plg,  $F_y = 46 \text{ klb/plg}^2$  y  $F_u = 67 \text{ klb/plg}^2$ .  
<sup>h</sup> Si se desea, puede especificarse un esfuerzo máximo de fluencia de 65 klb/plg<sup>2</sup> y una relación de resistencia máxima a la fluencia entre la tensión de 0.85 (de acuerdo con el Requisito suplementario S75 de la ASTM).  
<sup>i</sup> Se incluyen como obligatorias en A992 de la ASTM una relación de resistencia máxima a la fluencia entre la de tensión de 0.85 y una fórmula equivalente para el carbono.  
<sup>j</sup> Para perfiles con un espesor de patín mayor que 2 plg solamente.  
<sup>k</sup> Para perfiles con un espesor de patín mayor que 1 1/2 plg y menor que o igual a 2 plg solamente.  
<sup>l</sup> Para perfiles con un espesor de patín menor que o igual a 1 1/2 plg solamente.

Fuente. De "Manual de la AISC" por American Institute of Steel Construction, 2011.

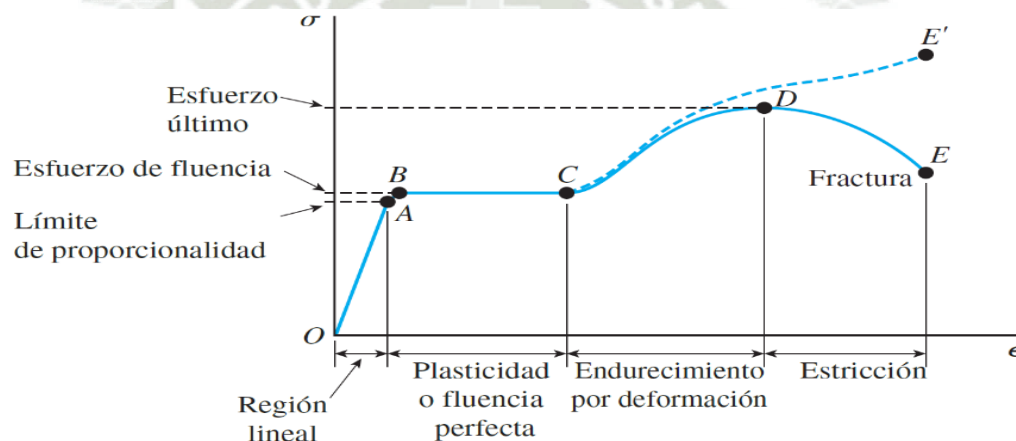
### 2.2.7. Propiedades y comportamiento del acero

Mediante la realización de un ensayo a tracción de un espécimen, se pueden hallar el comportamiento y características del acero en resistencia y deformación, dicho ensayo debe haberse realizado a velocidad lenta y a temperatura ambiente para así obtener resultados semejantes a los que se obtienen en la práctica (Zapata, 2018).

Gracias al ensayo de tracción se puede obtener un diagrama esfuerzo-deformación, McCormac y Csernak (2012) mencionan que el comportamiento del acero frente a un caso dado puede ser entendido gracias a la información valiosa de los diagramas esfuerzo-deformación. También anuncian que, para miembros dúctiles, el diagrama esfuerzo-deformación es el mismo para compresión, siempre y cuando estos miembros sean robustos y no se pandeen lateralmente.

**Figura 2.10**

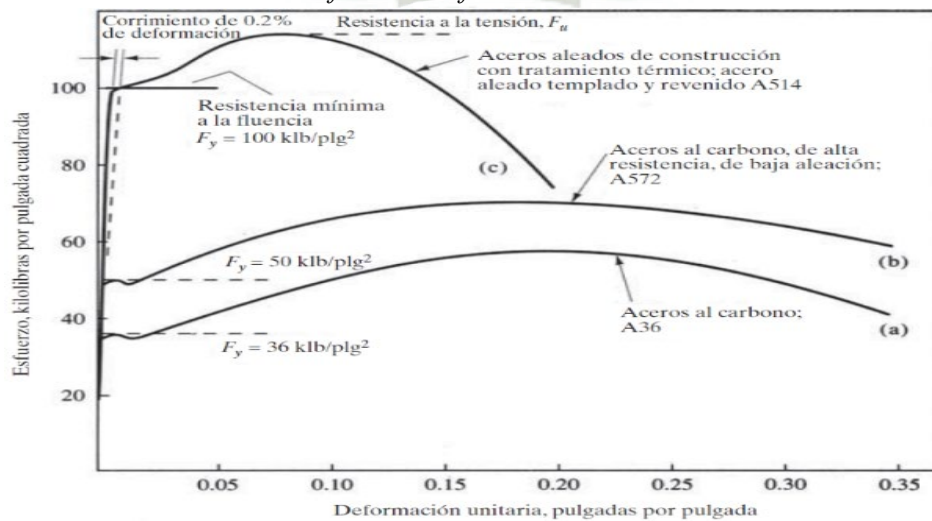
*Diagrama esfuerzo-deformación unitaria para un acero estructural común en tensión*



Fuente. De “Mecánica de Materiales” por J. Gere y B. Goodno, 2009, p. 19.

**Figura 2.11**

*Curvas características de esfuerzo – deformación*



Fuente. De “Diseño de Estructuras de Acero” por J. McCormac y S. Csernak, 2012.

Las principales propiedades físico-mecánicas de los aceros estructurales se pueden mostrar en la Tabla 5:

**Tabla 2.4**  
*Propiedades físicas de los aceros*

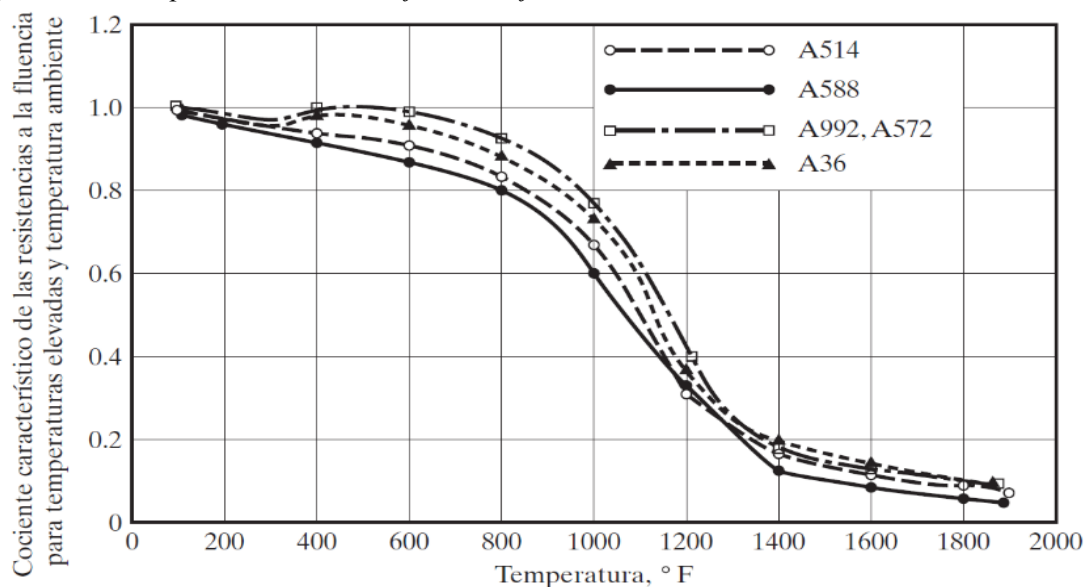
Propiedades físico-mecánicas	Descripción
Ductilidad	Propiedad que permite al acero desarrollar grandes deformaciones antes de fracturarse. (Zapata, 2018)
Tenacidad	Es la capacidad del acero para absorber energía. (Zapata, 2018)
Soldabilidad	Mide la capacidad del acero para ser soldado. (Zapata, 2018)
Punto de Fluencia $F_y$	Es el esfuerzo que causa la cedencia, cuando se supera este valor el miembro estructural describe un comportamiento plástico. <b>(<math>F_y = 36</math> ksi para acero A36)</b> (Hibbeler, 2011)
Límite de Proporcionalidad $F_p$	En aceros no tratados térmicamente se pierde la proporcionalidad antes de llegar al punto de fluencia debido a los esfuerzos residuales generados en el proceso de la fabricación del miembro. <b>(<math>F_p = F_y - 10</math> ksi para perfiles laminados en caliente)</b> <b>(<math>F_p = F_y - 16</math> ksi para perfiles soldados)</b> (Zapata, 2018)
Resistencia a la tensión mínima $F_u$	Esfuerzo límite producido cuando la carga llega su máximo valor. <b>(<math>F_u = 58</math> ksi para acero A36)</b> (Gere y Goodno, 2016)
Resistencia a la fractura $F_f$	Es el esfuerzo de falla del espécimen. (Zapata, 2018)
Módulo de elasticidad $E$	Es la relación entre el esfuerzo simple y la deformación unitaria en el rango elástico. <b>(<math>E = 2,100,000</math> kg/cm<sup>2</sup> para todos los aceros)</b> (Zapata, 2018)
Módulo de Rigidez $G$	Es la relación entre el esfuerzo cortante y la deformación correspondiente en el rango elástico. <b>(<math>G = 800,000</math> kg/cm<sup>2</sup> para todos los aceros)</b> (Zapata, 2018)
Relación de Poisson $\nu$	Es la relación entre la deformación transversal y longitudinal del acero para un determinado rango de esfuerzos. <b>(<math>\nu = 0.3</math> para todos los aceros)</b> (Zapata, 2018)

*Fuente.* Adaptación de Zapata (2018), Gere (2016) y Hibbeler (2011).

La resistencia a la fluencia disminuye según incrementa la temperatura desde la temperatura ambiente hasta 1800 °F y 1900 °F, estas temperaturas pueden alcanzarse fácilmente durante incendios y representan un riesgo y una desventaja de los aceros (McCormac & Csernak, 2012).

**Figura 2.12**

*Efecto de la temperatura sobre el esfuerzo de fluencia*



*Fuente.* De “Diseño de Estructuras de Acero” por J. McCormac y S. Csernak, 2012.

### 2.2.8. Diseño estructural en acero

Gracias al diseño estructural se han construido grandes edificaciones en todo el mundo, Zapata (2012) refiere que el diseño estructural es una mezcla de arte y ciencia que combina los sentimientos intuitivos del ingeniero con los principios de la estática, dinámica, resistencia de materiales, y el análisis estructural para producir una estructura que sirva para sus propósitos.

El diseño de una estructura es un proceso iterativo, si el comportamiento llega a ser satisfactorio, el problema habrá sido resuelto, caso contrario se repite el ciclo partiendo de un nuevo conjunto modificado o haciendo otro análisis y volviendo a revisar el comportamiento (Lopez de Heredia, 1988).

Las etapas del proceso iterativo del diseño estructural se pueden ver a continuación:

**Tabla 2.5**

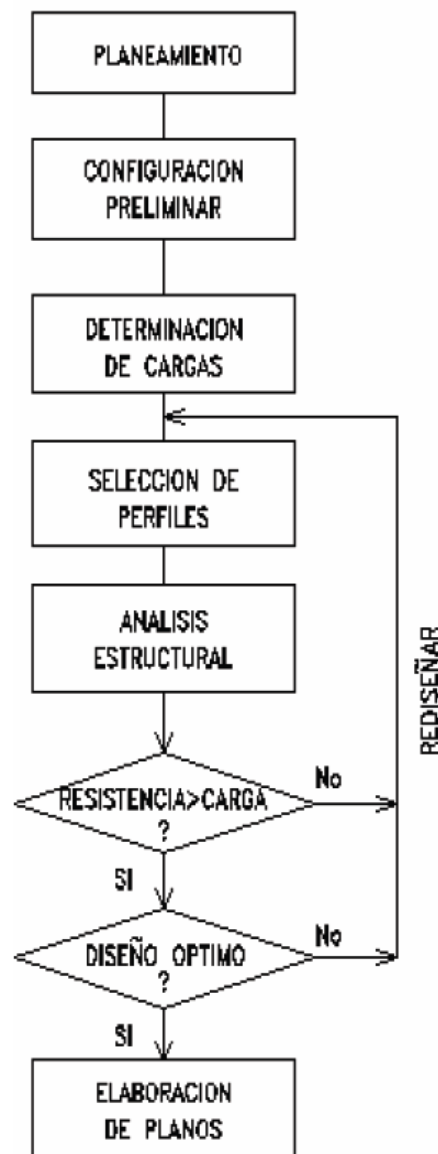
*Etapas del diseño estructural*

NRO	ETAPA DEL PROCESO	DEFINICIÓN
1	Planeamiento	Se establecen las condiciones funcionales a las que la estructura debe servir. Aquí es donde se define el criterio de lo óptimo.
2	Configuración preliminar estructural	La experiencia e ingenio del diseñador, así como las necesidades del cliente, regirán para establecer la disposición de los de los miembros estructurales.
3	Determinación de las cargas	Se definirán los patrones que carga que afectarán a la estructura.
4	Selección preliminar de los miembros estructurales	Se preseleccionarán los perfiles estructurales que conformarán la estructura en general.
5	Análisis estructural	Se realiza una idealización cuyo modelo matemático simule el comportamiento real de la estructura frente los patrones de carga.
6	Evaluación	Se evalúa si la resistencia o condiciones de servicio que se obtienen de acuerdo a un reglamento superan a las demandas que se establecen en los resultados de la etapa previa. Si se tiene un margen de seguridad adecuado y económico se puede dar por concluido el diseño, de otro modo no procede a la siguiente etapa.
7	Rediseños	Repetición de los pasos 3 a 6 para cumplir los objetivos mediante un proceso iterativo.
8	Desición	Queda finalmente decidir si es que se ha alcanzado el óptimo buscado en un diseño, si se cree que se ha logrado, se concluye el proceso iterativo.
9	Elaboración de planos de diseño y las especificaciones de trabajo	Se empieza con el desarrollo del modelado y planimetría a detalle de la estructura para su posterior fabricación.

*Fuente.* Adaptación de “Diseño Estructural en Acero” por L. Zapata, 2018, p. 4.

**Figura 2.13**

*Diagrama de flujo del procedimiento del diseño estructural*



*Fuente.* De “Diseño Estructural en Acero” por L. Zapata, 2018, p. 3.

### **2.2.8.1. Normas nacionales e internacionales**

La mayoría de las estructuras en el mundo son diseñadas a base de especificaciones de diseño y normas, McCormac y Csernak (2012) mencionan que diversas organizaciones en el mundo desarrollan estas especificaciones en ingeniería cuyo contenido menciona opiniones valiosas de esas instituciones sobre la buena practica de la ingeniería, asimismo, estos codigos especifican cargas de diseño, esfuerzos de diseño, tipos de construcción, calidad de materiales y otros factores que en conjuntos con las ya mencionadas se han desarrollado con el proposito de proteger al publico en lugar de restringir al ingeniero proyectista.

**Tabla 2.6**

*Normas internacionales y nacionales para el diseño estructural*

PROCEDENCIA	NORMA	DESCRIPCIÓN
Normas Internacionales	ANSI/AISC 360-16	Establece los criterios para el diseño, fabricación y montaje de edificios de acero estructural y otras estructuras similares a los edificios. Esta norma trabaja con las metodologías de diseño ASD y LRFD. (American Institute of Steel Construction AISC, 2016)
	ANSI/AISC 341-16	Establece las cargas, combinaciones de carga, limitaciones de sistema y requerimientos de diseño en general. (American Institute of Steel Construction AISC, 2016)
	ANSI/AISC 358-10	Especifica los criterios de diseño, detalle, fabricación y calidad para las conexiones que están precalificadas de acuerdo con las disposiciones sísmicas de la AISC para edificaciones de acero con sistemas estructurales SMF o IMF. (American Institute of Steel Construction AISC, 2010)
	ASCE/SEI 7-10	Establece las cargas, combinaciones de carga, limitaciones de sistema y requerimientos de diseño en general. (American Society of Civil Engineers, 2010)
Normas Peruanas	NTP E.090	Está dedicada al diseño, fabricación y montaje de estructuras metálicas para edificaciones, además, acepta los criterios del método ASD y LRFD. Su ámbito de aplicación comprende todo el territorio peruano. (El Peruano, 2006)
	NTP E.030	Establece las condiciones mínimas para el diseño sismorresistente de las edificaciones. (El Peruano, 2018)
	NTP E.020	Brinda las cargas mínimas dadas en condiciones de servicio, así como las combinaciones de carga de modo que cuando se realice el diseño, estas no causen esfuerzos ni deformaciones que excedan los límites señalados en la norma. (El Peruano, 2006)

*Fuente.* Adaptación de Peruano (2006), AISC (2016) y ASCE (2010).

### 2.2.8.2. Metodología por factores de carga y resistencia (LRFD)

Esta metodología de diseño, así como la ASD (Diseño por esfuerzos permisibles), se basa en el diseño de estados límite busca obtener un margen entre la resistencia y la carga que conduzca a una falla o respuesta estructural inaceptable (McCormac & Csernak, 2012).

Para el diseño estructural en acero, se debe respetar lo siguiente:

$$\phi \cdot P_n \geq \sum_{i=1}^N Q_i$$

Donde:

$\Phi$  = Factor de resistencia.

$P_n$  = Resistencia nominal o de diseño.

$Q_i$  = una de N patrones de carga agrupadas.

$\lambda_i$  = factor de carga asociado con las cargas del método LRFD.

**Tabla 2.7**

*Definiciones en el diseño estructural en acero*

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Factor de carga LRDF	Es un valor normalmente mayor de 1.0, el cual se multiplica al patrón de carga para luego agrupar estos productos y generar las combinaciones de carga. La magnitud de estos factores de carga reflejan la incertidumbre del patrón de carga a la que se le multiplica.
Factor de resistencia LRFD	Es un número generalmente menor que 1.0, el cual para un estado límite dado se multiplica a la resistencia nominal correspondiente con el fin de reducirla.
Estado límite	Describe la condición en la un miembro estructural deja de cumplir su función prescrita, la cual debe de evitarse a toda costa. Existen dos tipos de estados límite. <b>Estado límite de resistencia</b> Capacidad de sustentar una carga, incluyendo la fluencia excesiva, fractura, pandeo y fatiga. <b>Estado límite de servicio</b> Define el comportamiento, deflexión, agrietamiento. Deslizamiento, vibración y el deterioro.
Resistencia nominal	Es la resistencia teórica calculada del miembro estructural, esta depende del tipo de sección y se puede determinar siguiendo normas de diseño como la AISC 360. Según la metodología LRDF, esta resistencia nominal es multiplicada por un factor de resistencia cuyo valor es generalmente menor que 1.0.
Ratio de diseño	Es la relación entre la carga factorada y la resistencia nominal, este valor es adimensional y determina si un miembro cumple o no la norma.

*Fuente.* Adaptación de “Diseño de Estructuras de Acero” por J. McCormac y S. Csernak, 2012.

### 2.2.8.3. Patrones y combinaciones de carga

En el diseño de estructuras metálicas, es de vital importancia estimar de forma precisa todas las cargas que afectarán a la estructura durante su vida útil, y luego investigar las combinaciones de estos patrones de carga que sean más desfavorables y que puedan ocurrir en algún momento (McCormac & Csernak, 2012).

Los patrones de carga que afectan a las estructuras se pueden dividir en cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales. Cada una de estas clases de estiman según normativas de diseño y son importantes para evaluar las combinaciones de carga (Vinnakota, 2006).

**Tabla 2.8**

*Patrones de carga en el diseño estructural*

PATRÓN DE CARGA		DESCRIPCIÓN
Carga Muerta <i>D</i>		Son cargas de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Estas corresponden al peso propio de la estructura y otras cargas muertas que permanecen unidas a ella.
	Cargas de piso	Son cargas mínimas por gravedad que deben de usarse en el diseño de pisos de edificios, estos se especifican en tablas de códigos de construcción.
Carga Viva <i>L</i>	Cargas de tránsito en puentes	Son cargas concentradas de magnitud variable que afectan a los puentes, estos son causados por grupos de camiones o trenes.
	Cargas de impacto	Son causadas por la vibración de las cargas móviles o movibles. Estas son iguales a la diferencia entre la magnitud de las cargas generadas y la magnitud de las cargas consideradas como muertas. Se quiere que las estructuras que van a soportar cargas vivas con tendencia a causar impacto, se diseñen con sus cargas nominales incrementadas por un factor específico mostrado en tablas de la norma de diseño correspondiente.
	Cargas longitudinales	Son causadas por fuerzas longitudinales que se producen en un momento repentino como cuando se detiene un tren sobre un puente o un camión en un puente carretero.
	Otras cargas vivas	Son otras cargas vivas importantes a considerar, tales como presiones de suelo, presiones hidrostáticas, cargas de explosiones, fuerzas térmicas y fuerzas centrífugas.
	Carga de nieve <i>S</i>	Son cargas importantes dado a la nieve acumulada en techos, su magnitud depende de la pendiente del techo y este valor puede ser determinado siguiendo las normas de diseño estructural que especifiquen la determinación de cargas ambientales.
Cargas Ambientales	Carga de lluvia <i>R</i>	Son cargas que dan origen a un problema serio sobretodo en techos horizontales ubicados en lugares con clima cálido. El encharcamiento puede producir la deflexión del techo y sucesivamente hasta llegar al colapso.
	Cargas de viento <i>W</i>	Este tipo de carga actúa como una presión sobre una superficie, esta puede ser positiva o negativa dependiendo la cara a analizar. Para su cálculo se determina primero una velocidad del viento, la cual varía según la región en la que se proyecte la estructura. La velocidad del viento se puede determinar en el mapa de isótacas del país correspondiente.
	Cargas sísmicas <i>E</i>	Las cargas sísmicas demuestran la acción del movimiento del suelo frente la estructura, los efectos de este movimiento se pueden aproximar a un conjunto de cargas estáticas horizontales actuando en cada nivel de la estructura siempre y cuando esta sea de poca altura y sea regular, caso contrario se realiza un análisis dinámico espectral.

*Fuente.* Adaptación de “Diseño de Estructuras de Acero” por J. McCormac y S. Csernak, 2012.

Las combinaciones de carga representa. las posibles combinaciones que pueden presentarse en una eventualidad, estas son agrupaciones de patrones de carga multiplicados por un factor de carga, el cual representa la incertidumbre (McCormac & Csernak, 2012).

La resistencia requerida de la estructura debe de ser determinada para la combinación de cargas más crítica o también llamada envolvente, El Peruano (2006) refiere a través de la norma E090 las siguientes combinaciones de carga según la metodología LRFD:

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

Donde:

D = Carga muerta debido al peso propio de los elementos.

L = Carga viva debida al mobiliario y ocupantes.

$L_r$  = Carga viva en las azoteas.

W = Carga de viento.

S = Carga de nieve.

E = Carga de sismo de acuerdo a la norma E.030.

R = Carga por lluvia o granizo.

#### 2.2.8.4. *Diseño de miembros en tensión*

Es normal encontrar miembros sujetos a tracción, tales como diagonales y montantes de armaduras, templadores y arriostres. McCormac y Csernak (2012) refieren que el diseño de miembros a tracción es uno de los procesos más sencillos dentro del diseño estructural dado a que como no hay peligro de pandeo, basta encontrar un área requerida que sustente la carga correspondiente.

Para el diseño de miembros a tensión basta evaluar los estados límites de fluencia en tracción para así encontrar la resistencia nominal menor y seguidamente realizar la comparación con la carga factorada mayor y hallar un ratio de diseño óptimo (American Institute of Steel Construction AISC, 2016).

##### 2.2.8.4.1. *Fluencia en tracción en la sección bruta (D2)*

$$P_n = F_y \cdot A_g$$

$$\phi_t = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_t = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal (Kips).

$\Phi_t$  = Factor de resistencia para tracción.

$A_g$  = Área bruta del miembro ( $\text{in}^2$ ).

$F_y$  = Resistencia de fluencia mínima especificada (Ksi).

#### 2.2.8.4.2. Ruptura en tracción en la sección neta (D3)

$$P_n = F_u \cdot A_e$$

$$\phi_t = 0.75 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_t = 2.00 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal (Kips).

$\Phi_t$  = Factor de resistencia para tracción.

$A_e$  = Area neta efectiva (in<sup>2</sup>).

$F_u$  = Tension última mínima especificada (ksi).

#### 2.2.8.4.3. Limitaciones de esbeltez para miembros en tensión

Una propiedad de los miembros estructurales es la relación de esbeltez, McCormac y Csernak (2012) mencionan que esta relación mide la tendencia que tiene el miembro a pandearse, asimismo, si esta relación muestra un valor alto, el miembro tenderá al pandeo y menor será la carga que pueda soportar en compresión.

No existe un límite de esbeltez máximo para el diseño de miembros a tracción, sin embargo se recomienda que no exceda de 300, esta recomendación no aplica para barras o tensores en tracción (American Institute of Steel Construction AISC, 2016).

$$\frac{k \cdot L}{r_{\min}} \leq 300$$

Donde:

$k$  = Factor de longitud efectiva.

$L$  = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro (in).

$r$  = radio de giro (in).

#### 2.2.8.5. Diseño de miembros a compresión

Existen varios miembros sometidos a cargas de compresión, McCormac y Csernak (2012) mencionan que el miembro más conocido que trabaja bajo este tipo de cargas es la columna, sin embargo, existen otros miembros tales como marcos inferiores y superiores de armaduras y arriostres.

Para el diseño de miembros a compresión se debe primero identificar los elementos esbeltos y no esbeltos que conforman la sección transversal del miembro, de esta manera se podrán identificar que estados límites corresponden evaluar, para así determinar las resistencias nominales del miembro y en el caso que se tuviese más de una resistencia nominal calculada, se usará la menor para el diseño (American Institute of Steel Construction AISC, 2016).

Un elemento es considerado no esbelto cuando la relación de su ancho con el espesor no excede a  $\lambda_r$ , del mismo modo, si esta relación no excede a  $\lambda_r$  será considerado esbelto. La Figura 14 y 15 que muestran la tabla B4.1a de la norma AISC 360-16, indican el cálculo de estos parámetros para definir la esbeltez de diversas secciones transversales, seguidamente con la Figura 16 se estiman los estados límites que corresponden analizar para finalmente evaluarlos en las secciones del capítulo E de la norma (American Institute of Steel Construction AISC, 2016).

**Figura 2.14**

*Razones ancho-espesor para elementos no atiesados en compresión de miembros sujetos a compresión axial.*

<p style="text-align: center;"><b>TABLA B4.1b</b> <b>Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión.</b> <b>Miembros sometidos a Compresión Axial</b></p>						
Casos	Descripción del Elemento	Razón Ancho Espesor	Razón Ancho-Espesor Límite RATIO $\lambda_r$ (No esbelto/esbelto)	Ejemplo		
Elementos No-Atiesados	1	Alas de perfiles laminados, planchas conectadas a perfiles laminados, alas de pares de ángulos conectados continuamente, alas de canales y alas de secciones T.	$b/t$	$0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	2	Alas de perfiles I soldados y planchas o ángulos conectados a secciones soldadas.	$b/t$	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ [a]		
	3	Alas de perfiles ángulo laminados; alas de pares de ángulos con separadores y todo tipo de elementos no atiesados.	$b/t$	$0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		
	4	Alma de Secciones T.	$d/t$	$0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$		

*Fuente.* De “Specification for Structural Steel Buildings” por American Institute of Steel Construction, 2016.

**Figura 2.15**

Razones ancho-espesor para elementos atiesados en compresión de miembros sujetos a compresión axial.

<b>TABLA B4.1b</b> <b>Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión.</b> <b>Miembros sometidos a Compresión Axial</b>					
Casos	Descripción del Elemento	Razón Ancho Espesor	Razón Ancho-Espesor Límite RATIO $\lambda_r$ (No esbelto/esbelto)	Ejemplo	
Elementos Atiesados	5	Almas de secciones I con doble simetría y secciones canal.	$h/t_w$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6	Paredes de secciones HSS rectangulares y cajones de espesor uniforme	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7	Alas de sobreplanchas y planchas diafragma entre líneas de conectores o soldadura	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8	Todo elemento atiesador.	$b/t$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9	Tubos circulares.	$D/t$	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

[a]  $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$ , no menor que 0,35, ni mayor que 0,76 para propósitos de cálculo.

Fuente. De "Specification for Structural Steel Buildings" por American Institute of Steel Construction, 2016.

**Figura 2.16**







Aplicaciones de los estados límites para secciones transversales del capítulo E.

<b>TABLA NOTA E1.1</b> <b>Aplicaciones de las Secciones del Capítulo E</b>				
Sección Transversal	Sin elementos esbeltos		Con elementos esbeltos	
	Secciones en Capítulo E	Estados Límites	Secciones en Capítulo E	Estados Límites
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB

Fuente. De "Specification for Structural Steel Buildings" por American Institute of Steel Construction, 2016.

**Figura 2.17**

*Aplicaciones de los estados límites para secciones transversales del capítulo E.*

<b>TABLA NOTA E1.1</b> <b>Aplicaciones de las Secciones del Capítulo E</b>				
Sección Transversal	Sin elementos esbeltos		Con elementos esbeltos	
	Secciones en Capítulo E	Estados Límites	Secciones en Capítulo E	Estados Límites
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E6 E3 E4	FB FTB	E6 E7	LB FB FTB
	E5		E5	
	E3	FB	N/A	N/A
Secciones Asimétricas, distintas de ángulos simples	E4	FTB	E7	LB FTB

FB = pandeo por flexión, TB = pandeo torsional, FTB = pandeo flexotorsional, LB = pandeo local, N/A = no aplica

*Fuente.* De “Specification for Structural Steel Buildings” por American Institute of Steel Construction, 2016.

#### **2.2.8.5.1. Limitaciones de esbeltez para miembros en compresión**

Para el diseño de miembros sujetos a compresión, la relación de esbeltez no debe de exceder de 200, este valor es calculado como  $k \cdot L / r_{\min}$  (American Institute of Steel Construction AISC, 2016).

$$\frac{k \cdot L}{r_{\min}} \leq 200$$

Donde:

$k$  = Factor de longitud efectiva.

$L$  = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro (m).

$r$  = radio de giro (m).

### 2.2.8.5.2. Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos (E3)

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$(a) \text{ Cuando } \frac{L_c}{r} \leq 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left( \text{ó } \frac{F_y}{F_e} \leq 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = (0.658 \frac{F_y}{F_e}) \cdot F_y$$

$$(b) \text{ Cuando } \frac{L_c}{r} > 4.71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \left( \text{ó } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \right)$$

$$F_{cr} = 0.877 \cdot F_e$$

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

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal (Kips).

$\Phi_c$  = Factor de resistencia para compresión.

$A_g$  = Area bruta del miembro ( $\text{in}^2$ ).

$E$  = Módulo de elasticidad del acero (Ksi).

$r$  = radio de giro (in).

$F_e$  = Tension de pandeo elástico (Ksi).

$F_{cr}$  = Tension de pandeo por flexión (Ksi).

$F_y$  = Resistencia de fluencia mínima especificada (Ksi).

### 2.2.8.5.3. Pandeo torsional y flexo-torsional de ángulos simples y miembros sin elementos esbeltos (E4)

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

La tensión crítica,  $F_{cr}$  se determina según las ecuaciones de la E3

El valor de  $F_e$  depende del tipo de simetría del miembro:

(a) Para miembros con simetría doble rotando en torno al centro de corte:

$$F_e = \left( \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z \cdot L)^2} + G \cdot J \right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y}$$

(b) Para miembros con simetría simple rotando en torno al centro de corte donde “y” es el eje de simetría:

$$F_e = \left( \frac{F_{ey} + F_{ez}}{2 \cdot H} \right) \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \cdot F_{ey} \cdot F_{ez} \cdot H}{(F_{ey} + F_{ez})^2}} \right]$$

(c) Para miembros asimétricos rotando en torno al centro de corte,  $F_e$  es la menor raíz de la ecuación cúbica:

$$(F_e - F_{ex}) \cdot (F_e - F_{ey}) \cdot (F_e - F_{ez}) - F_e^2 \cdot (F_e - F_{ey}) \cdot \left( \frac{x_0}{\bar{r}_0} \right)^2 - F_e^2 \cdot (F_e - F_{ex}) \cdot \left( \frac{y_0}{\bar{r}_0} \right)^2 = 0$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal (Kips).

$\Phi_c$  = Factor de resistencia para compresión.

$A_g$  = Área bruta del miembro ( $\text{in}^2$ ).

$A_e$  = Suma de las áreas efectivas de la sección transversal basadas en los anchos efectivos,  $b_e$ ,  $d_e$ , o  $h_e$ . ( $\text{in}^2$ ).

$F_e$  = Tensión de pandeo elástico torsional o flexo-torsional (Ksi).

$F_y$  = Resistencia de fluencia mínima especificada (Ksi).

$C_w$  = Constante de alabeo ( $\text{in}^6$ ).

$$F_{ex} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L_{cx}}{r_x} \right)^2}$$

$$F_{ey} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L_{cy}}{r_y} \right)^2}$$

$$F_{ez} = \left( \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{L_{cz}^2} + G \cdot J \right) \cdot \frac{1}{A_g \cdot \bar{r}_0^2}$$

$G$  = Módulo elástico de corte del acero (ksi).

$H$  = Constante deflexión.

$$= 1 - \frac{x_0^2 + y_0^2}{\bar{r}_0^2}$$

$I_x, I_y$  = Momento de inercia en torno de los ejes principales ( $\text{in}^4$ ).

$J$  = Constante torsional ( $\text{in}^4$ ).

$K_x$  = Factor de longitud efectiva para pandeo por flexión respecto del eje x.

$K_y$  = Factor de longitud efectiva para pandeo por flexión respecto del eje y.

$K_z$  = Factor de longitud efectiva para pandeo torsional respecto del eje longitudinal.

$L_{cx} = K_x \cdot L_x$  = Longitud efectiva del miembro para pandeo respecto del eje x (in).

$L_{cy} = K_y \cdot L_y$  = Longitud efectiva del miembro para pandeo respecto del eje y (in).

$L_{cz} = K_z \cdot L_z$  = Longitud efectiva del miembro para pandeo respecto del eje longitudinal (in).

$L_x, L_y, L_z$  = Longitud lateral no arriostrada del miembro para cada eje (in).

$\bar{r}_0$  = Radio de giro polar en torno al centro de corte (in).

$$\bar{r}_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + \frac{I_x + I_y}{A_g}$$

$r_x$  = Radio de giro en torno al eje x (in).

$r_y$  = Radio de giro en torno al eje y (in).

$x_0, y_0$  = Coordenadas del centro de corte con respecto al centroide (in).

#### 2.2.8.5.4. Miembros con elementos esbeltos (E7)

$$P_n = F_{cr} \cdot A_e$$

$$\phi_c = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Donde:

$P_n$  = Resistencia nominal (Kips).

$\Phi$  = Factor de resistencia.

$A_e$  = Suma de las áreas efectivas de la sección transversal basadas en los anchos efectivos,  $b_e$ ,  $d_e$ , o  $h_e$  (in<sup>2</sup>).

$F_{cr}$  = Tensión crítica determinada de acuerdo con la sección E3 o E4. Para ángulos simples, se debe determinar  $F_{cr}$  solo mediante la sección E3 (Ksi).

(a) Miembros con elementos esbeltos, excluidas las secciones tubulares cilíndricas:

$$(A) \text{ Cuando } \lambda \leq \lambda_r \cdot \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$$

$$b_e = b$$

$$(B) \text{ Cuando } \lambda > \lambda_r \cdot \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}}$$

$$b_e = b \cdot \left( 1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{el}}{F_{cr}}}$$

Donde:

$b$  = ancho del elemento (Para secciones T es “d”, para almas es “h” (in).

$c_1$  = Factor de ajuste por imperfecciones en ancho efectivo (in<sup>2</sup>).

$$c_2 = \frac{1 - \sqrt{1 - 4 \cdot c_1}}{2 \cdot c_1}$$

$\lambda$  = Razón ancho-espesor en elementos según sección B4.1 de norma (in<sup>2</sup>).

$\lambda_r$  = Límites en razón ancho-espesor según tabla B4.1a (in<sup>2</sup>).

$F_{el}$  = Tensión de pandeo local elástico (Ksi).

$$= \left( c_2 \cdot \frac{\lambda_r}{\lambda} \right)^2 \cdot F_y$$

(b) Secciones tubulares cilíndricas:

El área efectiva,  $A_e$ , se determina según lo siguiente:

$$(A) \text{ Cuando } \frac{D}{t} \leq 0.11 \cdot \frac{E}{F_y}$$

$$A_e = A_g$$

$$(B) \text{ Cuando } 0.11 \cdot \frac{E}{F_y} < \frac{D}{t} < 0.45 \cdot \frac{E}{F_y}$$

$$A_e = \left[ \frac{0.038 \cdot E}{F_y \cdot \left(\frac{D}{t}\right)} + \frac{2}{3} \right] \cdot A_g$$

Donde:

D = Diámetro exterior del (in).

t = Espesor de pared (in).

**Figura 2.18**

*Factores de ajuste por imperfecciones en ancho efectivo  $c_1$  y  $c_2$ .*

<b>TABLA E7.1</b>			
<b>Factores de ajuste por imperfecciones en ancho efectivo <math>c_1</math> y <math>c_2</math></b>			
Caso	Elemento esbelto	$c_1$	$c_2$
(a)	Elementos atiesados excepto paredes de secciones tubulares cuadradas y rectangulares	0.18	1.31
(b)	Paredes de secciones tubulares cuadradas y rectangulares	0.20	1.38
(c)	Todos los otros elementos	0.22	1.49

*Fuente.* De “Specification for Structural Steel Buildings” por American Institute of Steel Construction, 2016.

#### **2.2.8.6. Diseño de miembros a flexión**

Uno de los miembros más conocidos en el diseño estructural es la viga, Hibbeler (2011) refiere que la viga un miembro estructural que soporta cargas en forma perpendicular a su eje longitudinal de modo que estas lleguen a desarrollar esfuerzos flexiones y deflexiones a lo largo de su longitud.

Para el diseño de miembros a flexión primero se debe revisar la Figura 19 y 20 que muestran la tabla B4.1b de la norma AISC 360-16 para seguidamente identificar si cada elemento de la sección transversal es considerado compacto, no compacto o esbelto, de esta forma se podrán identificar con la Figura 21 qué estados límites corresponden evaluar, y así determinar las resistencias nominales del miembro. En el caso que se tuviese más de una resistencia nominal calculada, se usará la menor para el diseño (American Institute of Steel Construction AISC, 2016).

**Figura 2.19**

Razones ancho-espesor para elementos no atiesados en compresión de miembros sujetos a flexión.

<p align="center"><b>TABLA B4.1b</b> <b>Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión.</b> <b>Miembros sometidos a Flexión</b></p>						
Casos	Descripción del Elemento	Razón Ancho Espesor	Razón Ancho - Espesor Límite		Ejemplo	
			$\lambda_p$ (Compacto/ no compacto)	$\lambda_r$ (No compacto/ esbelto)		
Elementos No-Atiesados	10	Flexión en alas de perfiles I laminados, canales y tes.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	11	Alas de secciones I soldadas con doble y simple simetría.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.95 \sqrt{\frac{k_c E}{F_L}}$ [a] [b]	
	12	Alas de ángulos simples.	$b/t$	$0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	13	Alas de toda doble t y canal en torno a su eje más débil.	$b/t$	$0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.0 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	14	Almas de tes.	$d/t$	$0.84 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.52 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Fuente. De "Specification for Structural Steel Buildings" por American Institute of Steel Construction, 2016.



**Figura 2.20**

Razones ancho-espesor para elementos atiesados en compresión de miembros sujetos a flexión.

TABLA B4.1b (continuación) Razones Ancho-Espesor: Elementos en Compresión. Miembros sometidos a Flexión						
Casos	Descripción del Elemento	Razón Ancho Espesor	Razón Ancho - Espesor Límite		Ejemplo	
			$\lambda_p$ (Compacto/ no compacto)	$\lambda_r$ (No compacto/ esbelto)		
Elementos Atiesados	15	Alas de doble T simétricas y canales.	$h/t_w$	$3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	16	Alas de secciones doble T con un solo eje de simetría.	$h_c/t_w$	$\frac{h_c}{h_p} \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ [c] $\left(0.54 \frac{M_p}{M_y} - 0.09\right)^2$ $\leq \lambda_r$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	17	Alas de secciones tubulares y secciones cajón de espesor uniforme.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	18	Alas de sobre planchas y planchas diafragma entre líneas de conectores y soldadura.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	19	Alas de tubos rectangulares y secciones cajón.	$h/t$	$2.42 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	20	Tubos circulares.	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.31 \frac{E}{F_y}$	
	21	Alas de sección cajón.	$b/t$	$1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

(a)  $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$ , no menor que 0,35, ni mayor que 0,76 para propósitos de cálculo.  
 (b)  $FL = 0.7F_y$  para secciones doble te esbeltas de alma, y para secciones fabricadas de alma compacta y no compacta con flexión en el eje fuerte con  $S_x/S_{xc} \geq 0.7$ ;  $FL = F_y S_x/S_{xc} \geq 0.5F_y$  para miembros fabricados de sección doble te de alma compacta y no compacta con  $S_x/S_{xc} < 0.7$ , donde  $S_{xc}$ ,  $S_x$  = módulo elástico de la sección referido a las alas en compresión y en tracción, respectivamente,  $\text{mm}^3$  ( $\text{in}^3$ ).  
 (c)  $M_y$  es el momento en fluencia de la fibra extrema,  $M_p = F_y Z_x$ , momento en flexión plástica, N-mm (kip-in), donde  $Z_x$  = módulo plástico de la sección tomado sobre el eje x,  $\text{mm}^3$  ( $\text{in}^3$ ).  
 $E$  = módulo elástico del acero = (200000 MPa (29000 ksi)      ENA = eje neutro elástico  
 $F_y$  = tensión mínima de fluencia especificada, MPa (ksi)      PNA = eje neutro plástico

Fuente. De "Specification for Structural Steel Buildings" por American Institute of Steel Construction, 2016.

**Figura 2.21**

*Aplicaciones de los estados límites para secciones transversales del capítulo F.*

<b>TABLA Notas F1.1</b> <b>Tabla de Selección para la Aplicación</b> <b>de las Secciones del Capítulo F</b>				
Sección en Capítulo F	Sección	Esbeltez Alta	Esbeltez Alma	Estados límites
F2		C	C	Y, LTB
F3		NC, S	C	LTB, FLB
F4		C, NC, S	C, NC	CFY, LTB, FLB, TFY
F5		C, NC, S	S	CFY, LTB, FLB, TFY
F6		C, NC, S	N/A	Y, FLB
F7		C, NC, S	C, NC, S	Y, FLB, WLB, LTB
F8		N/A	N/A	Y, LB
F9		C, NC, S	N/A	Y, LTB, FLB, WLB
F10		N/A	N/A	Y, LTB, LLB
F11		N/A	N/A	Y, LTB
F12	Perfiles asimétricos diferentes en ángulos simples	N/A	N/A	All limit states

Y = fluencia, CFY = fluencia en compresión ala, LTB = pandeo lateral-torsional, FLB = pandeo local ala, WLB = pandeo local alma., TFY = fluencia ala tracción, LLB = pandeo local ala, LB = pandeo local, C = compacto, NC = no-compacto, S = esbelto, N/A = no aplicable.

*Fuente.* De “Specification for Structural Steel Buildings” por American Institute of Steel Construction, 2016.

**2.2.8.6.1. Miembros compactos de simetría doble de sección I y canales flectados en torno a su eje mayor (F2)**

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_x$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_y$  = Tensión de fluencia mínima (Ksi).

$Z_x$  = Módulo de sección plástico en torno al eje x (in<sup>3</sup>).

(b) Pandeo lateral-torsional:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica,} & \text{si } L_b \leq L_p \\ C_b \cdot \left[ M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p, & \text{si } L_p < L_b \leq L_r \\ F_{cr} \cdot S_x \leq M_p, & \text{si } L_b > L_r \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$L_b$  = Longitud entre puntos que están arriostrados contra desplazamientos laterales del ala comprimida o arriostrado contra giro de la sección transversal (in).

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$F_{cr} = \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \cdot \left( \frac{L_b}{r_{ts}} \right)^2}$$

$E$  = Módulo de elasticidad del acero (Ksi).

$J$  = Constante torsional (in<sup>4</sup>).

$S_x$  = Constante torsional (in<sup>3</sup>).

$h_0$  = Distancia entre los centroides de las alas (in).

$L_p$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia (in).

$$L_p = 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$L_r$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral torsional inelástico (in).

$$L_r = 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{0.7 \cdot F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} + \sqrt{\left( \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \right)^2 + 6.76 \cdot \left( \frac{0.7 \cdot F_y}{E} \right)^2}}$$

$r_y$  = Radio de giro sobre el eje y (in).

$$r_{ts}^2 = \frac{\sqrt{I_y \cdot C_w}}{S_x}$$

$I_y$  = Momento de inercia sobre el eje y (in<sup>4</sup>).

$c$  = Coeficiente c.

$$= 1 \text{ (Para secciones I con simetría doble)}$$

$$= \frac{h_0}{2} \cdot \sqrt{\frac{I_y}{C_w}} \text{ (Para canales)}$$

**2.2.8.6.2. Miembros de simetría doble de sección I con almas compactas y alas no compactas o esbeltas flectados en torno a su eje mayor (F3)**

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Pandeo lateral-torsional:

Para este apartado basta realizar el mismo análisis especificado en la sección F2.

(b) Pandeo local del ala en compresión:

- Para secciones con alas no compactas:

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

- Para secciones con alas esbeltas:

$$M_n = \frac{0.9 \cdot E \cdot k_c \cdot S_x}{\lambda^2}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \text{ (No menor que 0.35 ni mayor a 0.76)}$$

$h$  = Distancia definida en la sección B4.1b de la norma (in).

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$b_f$  = Ancho del ala (in).

$t_f$  = Espesor del ala (in).

$\lambda_{pf}$  = Esbeltez límite para ala compacta, tabla B4.1b de la norma.

$\lambda_{rf}$  = Esbeltez límite para ala no compacta, tabla B4.1b de la norma.

**2.2.8.6.3. Otros miembros de sección I con almas compactas o no compactas flectados en torno a su eje mayor (F4)**

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia del ala en compresión:

$$M_n = R_{pc} \cdot M_{yc}$$

Donde  $R_{pc}$  es el factor de plasticidad del alma y se determina como se muestra a continuación:

$$R_{pc} = \begin{cases} 1, & \text{si } \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23 \\ \frac{M_p}{M_{yc}}, & \text{si } \lambda \leq \lambda_{pw} \text{ y } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \\ \left[ \frac{M_p}{M_{yc}} - \left( \frac{M_p}{M_{yc}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yc}}, & \text{si } \lambda_{pw} < \lambda \leq \lambda_{rw} \text{ y } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$R_{pc}$  = Factor de plasticidad del alma.

$M_{yc}$  = Momento de fluencia en el ala en compresión (Kips·in).

$$= S_{xc} \cdot F_y$$

$S_{xc}$  = Módulo elástico de la sección referido al ala en compresión ( $\text{in}^3$ ).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$$= Z_x \cdot F_y \leq 1.6 \cdot S_x \cdot F_y$$

$$\lambda_w = \frac{h_c}{t_w}$$

$\lambda_{pw} = \lambda_p$ , esbeltez límite para alma compacta, tabla B4.1b

$\lambda_{rw} = \lambda_r$ , esbeltez límite para alma no compacta, tabla B4.1b

$h_c$  = El doble de la distancia entre el centroide a alguno de los siguientes: la cara interna del ala en compresión menos el radio de filete o de esquina, para perfiles laminados; la línea más cercana de pernos en el ala en compresión o la cara interna del ala en compresión cuando se usan soldaduras para secciones armadas (in).

(b) Pandeo lateral-torsional:

$$M_n = \begin{cases} R_{pc} \cdot M_{yc}, & \text{si } L_b \leq L_p \\ C_b \cdot \left[ R_{pc} \cdot M_{yc} - (R_{pc} \cdot M_{yc} - F_L \cdot S_{xc}) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq R_{pc} \cdot M_{yc}, & \text{si } L_p < L_b \leq L_r \\ F_{cr} \cdot S_{xc} \leq R_{pc} \cdot M_{yc}, & \text{si } L_b > L_r \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$R_{pc}$  = Factor de plasticidad del alma.

$M_{yc}$  = Momento de fluencia en el ala en compresión (Kips·in).

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L_b}{r_t} \right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_{xc} \cdot h_0} \cdot \left( \frac{L_b}{r_t} \right)^2}$$

$r_t$  = Radio de giro efectivo para pandeo lateral-torsional (in).

$$r_t = \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left( \frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} \cdot a_w \cdot \frac{h^2}{h_0 \cdot d} \right)}}$$

$$a_w = \frac{h_c \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \leq 10$$

$b_{fc}$  = Ancho del ala en compresión (in).

$t_{fc}$  = Espesor del ala en compresión (in).

$t_w$  = Espesor del alma (in).

$h_0$  = Distancia entre los centroides de las alas (in).

$h_c$  = El doble de la distancia entre el centroide a alguno de los siguientes: la cara interna del ala en compresión menos el radio de filete o de esquina, para perfiles laminados; la línea más cercana de pernos en el ala en compresión o la cara interna del ala en compresión cuando se usan soldaduras para secciones armadas (in).

$$C = \begin{cases} 1, & \text{si } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \\ 0, & \text{si } \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23 \end{cases}$$

$L_p$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia (in).

$$= 1.1 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$L_r$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral torsional inelástico (in).

$$= 1.95 \cdot r_t \cdot \frac{E}{F_L} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_{xc} \cdot h_0} + \sqrt{\left( \frac{J \cdot c}{S_{xc} \cdot h_0} \right)^2 + 6.76 \cdot \left( \frac{F_L}{E} \right)^2}}$$

$F_L$  = Tensión nominal del ala en compresión sobre la cual el límite de pandeo inelástico aplica (Ksi).

$$= \begin{cases} 0.7 \cdot F_y, & \text{si } \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.7 \\ F_y \cdot \frac{S_{xt}}{S_{xc}} \geq 0.5 \cdot F_y, & \text{si } \frac{S_{xt}}{S_{xc}} < 0.7 \end{cases}$$

$S_{xt}$  = Módulo elástico de la sección referido al ala en tracción (in<sup>3</sup>).

(c) Pandeo local del ala en compresión:

$$M_n = \begin{cases} R_{pc} \cdot M_{yc}, & \text{si alas son compactas} \\ \left[ R_{pc} \cdot M_{yc} - (R_{pc} \cdot M_{yc} - F_L \cdot S_{xc}) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pt}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pt}} \right) \right], & \text{si alas no son compactas} \\ \frac{0.9 \cdot E \cdot k_c \cdot S_x}{\lambda^2}, & \text{si alas son esbeltas} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$R_{pc}$  = Factor de plasticidad del alma.

$M_{yc}$  = Momento de fluencia en el ala en compresión (Kips·in).

$F_L$  = Tensión nominal del ala en compresión sobre la cual el límite de pandeo inelástico aplica (Ksi).  
 $= 0.5 \cdot F_y$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \text{ (No menor que 0.35 ni mayor a 0.76)}$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$\lambda_{pf}$  = Esbeltez límite para ala compacta, tabla B4.1b de la norma.

$\lambda_{rf}$  = Esbeltez límite para ala no compacta, tabla B4.1b de la norma.

(d) Fluencia del ala en tracción:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica estado límite,} & \text{si } S_{xt} \geq S_{xc} \\ R_{pt} \cdot M_{yt}, & \text{si } S_{xt} < S_{xc} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$R_{pt}$  = Factor de plasticidad del alma para el presente estado límite.

$$= \begin{cases} 1, & \text{si } \frac{I_{yc}}{I_y} \leq 0.23 \\ \frac{M_p}{M_{yt}}, & \text{si } \frac{h_c}{t_w} \leq \lambda_{pw} \text{ y } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \\ \left[ \frac{M_p}{M_{yt}} - \left( \frac{M_p}{M_{yt}} - 1 \right) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pw}}{\lambda_{rw} - \lambda_{pw}} \right) \right] \leq \frac{M_p}{M_{yt}}, & \text{si } \frac{h_c}{t_w} > \lambda_{pw} \text{ y } \frac{I_{yc}}{I_y} > 0.23 \end{cases}$$

$M_{yt}$  = Momento de fluencia en el ala en tracción (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$$= F_y \cdot Z_x \leq 1.6 \cdot F_y \cdot S_x$$

$$\lambda = \frac{h_c}{t_w}$$

$\lambda_{pw}$  =  $\lambda_p$ , esbeltez límite para alma compacta, tabla B4.1b

$\lambda_{rw}$  =  $\lambda_r$ , esbeltez límite para alma no compacta, tabla B4.1b

#### 2.2.8.6.4. Miembros de simetría doble y simple de sección I con almas esbeltas flectados en torno a su eje mayor (F5)

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia del ala en compresión:

$$M_n = R_{pg} \cdot F_y \cdot S_{xc}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$R_{pg}$  = Factor de reducción de resistencia a flexión.

$$= 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 \cdot a_w} \cdot \left( \frac{h_c}{t_w} - 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$a_w = \frac{h_c \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \leq 10$$

$S_{xc}$  = Módulo elástico de la sección referido al ala en compresión (in<sup>3</sup>).

(b) Pandeo lateral-torsional:

$$M_n = R_{pg} \cdot F_{cr} \cdot S_{xc}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$F_{cr} = \begin{cases} F_y, & \text{si } L_b \leq L_p \\ C_b \cdot \left[ F_y - (0.3 \cdot F_y) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq F_y, & \text{si } L_p < L_b \leq L_r \\ \frac{C_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left( \frac{L_b}{r_t} \right)^2} \leq F_y, & \text{si } L_p > L_r \end{cases}$$

$L_p$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia (in).

$$= 1.1 \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$L_r$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral torsional inelástico (in).

$$= \pi \cdot r_t \cdot \sqrt{\frac{E}{0.7 \cdot F_y}}$$

$$r_t = \frac{b_f}{\sqrt{12 \cdot \left( \frac{h_0}{d} + \frac{1}{6} \cdot a_w \cdot \frac{h^2}{h_0 \cdot d} \right)}}$$

(c) Pandeo local del ala a compresión

$$M_n = R_{pg} \cdot F_{cr} \cdot S_{xc}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \begin{cases} F_y, & \text{si alas son compactas} \\ \left[ F_y - (0.3 \cdot F_y) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq F_y, & \text{si alas no son compactas} \\ \frac{0.9 \cdot E \cdot k_c}{\left( \frac{b_f}{2 \cdot t_f} \right)^2} \leq F_y, & \text{si las son esbeltas} \end{cases}$$

$$k_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \quad (\text{No menor que } 0.35 \text{ ni mayor a } 0.76)$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$\lambda_{pf}$  = Esbeltez límite para ala compacta, tabla B4.1b de la norma.

$\lambda_{rf}$  = Esbeltez límite para ala no compacta, tabla B4.1b de la norma.

(d) Fluencia del ala en tracción:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica estado límite,} & \text{si } S_{xt} \geq S_{xc} \\ F_y \cdot S_{xt}, & \text{si } S_{xt} < S_{xc} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$S_{xc}$  = Módulo elástico de la sección referido al ala en compresión (in<sup>3</sup>).

$S_{xt}$  = Módulo elástico de la sección referido al ala en tracción (in<sup>3</sup>).

$F_y$  = Tensión de fluencia mínima (Ksi).

#### 2.2.8.6.5. Miembros de sección I y canales flectados en torno a su eje menor (F6)

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z_y \leq 1.6 \cdot F_y \cdot S_y$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_y$  = Tensión de fluencia mínima (Ksi).

$Z_y$  = Módulo de sección plástico en torno al eje y (in<sup>3</sup>).

$S_y$  = Módulo de sección elástico en torno al eje y (in<sup>3</sup>).

(b) Pandeo local del ala:

$$M_n = \begin{cases} M_p, & \text{si alas son compactas} \\ \left[ M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_y) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right], & \text{si alas no son compactas} \\ F_{cr} \cdot S_y, & \text{si alas son esbeltas} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \frac{0.69 \cdot E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$\lambda_{pf}$  = Esbeltez límite para ala compacta, tabla B4.1b de la norma.

$\lambda_{rf}$  = Esbeltez límite para ala no compacta, tabla B4.1b de la norma.

#### 2.2.8.6.6. Perfiles tubulares cuadrados y rectangulares (F7)

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_y$  = Tensión de fluencia mínima (Ksi).

$Z$  = Módulo de sección plástico en torno al eje de flexión ( $\text{in}^3$ ).

(b) Pandeo local del ala:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica el estado límite,} & \text{si alas son compactas} \\ M_p - (M_p - F_y \cdot S) \cdot \left( 3.57 \cdot \frac{b}{t_f} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 4.0 \right) \leq M_p, & \text{si alas no son compactas} \\ F_{cr} \cdot S_E, & \text{si alas son esbeltas} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$b$  = Ancho del ala en compresión (in).

$S$  = Módulo de sección elástico en torno al eje en flexión ( $\text{in}^3$ ).

$S_e$  = Módulo de sección efectivo determinado con el ancho efectivo " $b_e$ " del ala en compresión ( $\text{in}^3$ ).

$b_e$  = Ancho efectivo " $b_e$ " del ala en compresión (in).

$$= \begin{cases} 1.92 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 1 - \frac{0.38}{\left(\frac{b}{t_f}\right)} \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq b, & \text{Para perfil rectangular} \\ 1.92 \cdot t_f \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \cdot \left( 1 - \frac{0.34}{\left(\frac{b}{t_f}\right)} \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq b, & \text{Para perfil cuadrado} \end{cases}$$

(c) Pandeo local del alma:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica el estado límite,} & \text{si almas son compactas} \\ M_p - (M_p - F_y \cdot S) \cdot \left( 0.305 \cdot \frac{h}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} - 0.738 \right) \leq M_p, & \text{si almas no son compactas} \\ R_{pg} \cdot F_y \cdot S; R_{pg} \cdot F_{cr} \cdot S_{xc} & \text{almas esbeltas para fluencia y pandeo en el ala en compresion} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$h$  = Altura del alma (in).

$S$  = Módulo de sección elástico en torno al eje en flexión (in<sup>3</sup>).

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \frac{0.9 \cdot E \cdot k_c}{\left(\frac{b_f}{t_f}\right)^2}$$

$$k_c = 4.$$

$k_c = 4.$

$R_{pg}$  = Factor de reducción de resistencia a flexión.

$$= 1 - \frac{a_w}{1200 + 300 \cdot a_w} \cdot \left( \frac{h_c}{t_w} - 5.7 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq 1.0$$

$$a_w = \frac{h_c \cdot t_w}{b_f \cdot t_f} \leq 10$$

(d) Pandeo lateral-torsional:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica,} & \text{si } L_b \leq L_p \\ C_b \cdot \left[ M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p, & \text{si } L_p < L_b \leq L_r \\ 2 \cdot E \cdot C_b \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{\left(\frac{L_b}{r_y}\right)} \leq M_p, & \text{si } L_b > L_r \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$L_p$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia (in).

$$= 0.13 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{M_p}$$

$L_r$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral torsional inelástico (in).

$$= 2 \cdot E \cdot r_y \cdot \frac{\sqrt{J \cdot A_g}}{0.7 \cdot F_y \cdot S_x}$$

$A_g$  = área de la sección transversal del miembro (in<sup>2</sup>).

### 2.2.8.6.7. Perfiles tubulares circulares (F8)

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

Esta sección aplica a miembros de sección tubular circular que cumplan con lo siguiente:

$$\frac{D}{t} < \frac{0.45 \cdot E}{F_y}$$

(a) Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y \cdot Z$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_y$  = Tensión de fluencia mínima (Ksi).

$Z$  = Módulo de sección plástico en torno al eje de flexión ( $\text{in}^3$ ).

(b) Pandeo local:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica el estado límite,} & \text{si sección es compacta} \\ \left[ \frac{0.021 \cdot E}{\left(\frac{D}{t}\right)} + F_y \right] \cdot S, & \text{si sección es no compacta} \\ F_{cr} \cdot S, & \text{si sección tiene paredes esbeltas} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$D$  = Diámetro exterior del miembro (in).

$t$  = Espesor de la pared del miembro (in).

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \frac{0.33 \cdot E}{\left(\frac{D}{t}\right)}$$

### 2.2.8.6.8. Secciones T y ángulos dobles cargados en el plano de simetría (F9)

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)} \quad \Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia:

$$M_n = M_p$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$$= \begin{cases} F_y \cdot Z_x \leq 1.6 \cdot M_y, & \text{Almas de sección T y almas en tracción} \\ M_y, & \text{Para almas de secciones T en compresión} \\ 1.5 \cdot M_y, & \text{Para ángulos dobles con almas en compresión} \end{cases}$$

$M_y$  = Momento de fluencia respecto del eje en flexión (Kips·in).

$$= F_y \cdot S_x$$

(b) Pandeo lateral - torsional:

- Para almas de secciones T y alas de ángulos en tracción:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica,} & \text{si } L_b \leq L_p \\ M_p - (M_p - M_y) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right), & \text{si } L_p < L_b \leq L_r \\ M_{cr}, & \text{si } L_b > L_r \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$L_p$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia (in).

$$= 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$L_r$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de pandeo lateral torsional inelástico (in).

$$= 1.95 \cdot \left( \frac{E}{F_y} \right) \cdot \frac{\sqrt{I_y \cdot J}}{S_x} \cdot \sqrt{2.36 \cdot \left( \frac{F_y}{E} \right) \cdot \frac{d \cdot S_x}{J} + 1}$$

$$M_{cr} = \frac{1.95 \cdot E}{L_b} \cdot \sqrt{I_y \cdot J} \cdot (B + \sqrt{1 + B^2})$$

$$B = 2.3 \cdot \left( \frac{d}{L_b} \right) \cdot \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

$d$  = Altura de la sección T o ancho de las alas en el alma a tracción (in).

- Para almas de secciones T y para almas en compresión en cualquier ubicación a lo largo de la longitud no arriostrada:

$$M_n = \begin{cases} M_{cr} \leq M_y, & \text{Almas de sección T} \\ \text{Con ecuaciones F10 - 2 - 3, } M_{cr} \text{ con F9 - 10 y } M_{cr} \text{ con F9 - 3} \end{cases}$$

$$M_{cr} = \frac{1.95 \cdot E}{L_b} \cdot \sqrt{I_y \cdot J} \cdot (B + \sqrt{1 + B^2})$$

$$B = -2.3 \cdot \left( \frac{d}{L_b} \right) \cdot \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$$B = -2.3 \cdot \left(\frac{d}{L_b}\right) \cdot \sqrt{\frac{I_y}{J}}$$

$d$  = Altura de la sección T o ancho de las alas en el alma a compresión (in).

(c) Pandeo local de alas de secciones T y almas de ángulos dobles:

- Para alas de secciones T:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica,} & \text{Alas compactas comprimidas por flexión} \\ \left[ M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_{xc}) \cdot \left( \frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \leq 1.6 \cdot M_y, & \text{Alas no compactas comprimidas a flexión} \\ \frac{0.7 \cdot E \cdot S_{xc}}{\left( \frac{b_f}{2 \cdot t_f} \right)^2}, & \text{Secciones con elementos esbeltos comprimidos por flexión} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$L_p$  = Longitud no arriostrada para el estado límite de fluencia (in).

$S_{xc}$  = Módulo elástico de la sección referido al ala en compresión (in<sup>3</sup>).

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \cdot t_f}$$

$\lambda_{pf}$  = Esbeltez límite para ala compacta, tabla B4.1b de la norma.

$\lambda_{rf}$  = Esbeltez límite para ala no compacta, tabla B4.1b de la norma.

- Para alas de ángulos dobles:

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

= de acuerdo F10.3, con  $S_c$  a las alas en compresión.

(d) Pandeo local en el alma de secciones T y en las almas de ángulos dobles sometidos a compresión por flexión:

- Para almas de secciones T y alas de ángulos en tracción:

$$M_n = F_{cr} \cdot S_x$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$S_x$  = Módulo elástico de la sección ( $\text{in}^3$ ).

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \begin{cases} F_y, & \text{si } \frac{d}{t_w} \leq 0.84 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \left( 1.43 - 0.515 \cdot \frac{d}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right) \cdot F_y, & \text{si } 0.84 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{d}{t_w} \leq 1.52 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ \frac{1.52 \cdot E}{\left(\frac{d}{t_f}\right)^2}, & \text{si } \frac{d}{t_w} > 1.52 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \end{cases}$$

- Para alas de ángulos dobles:

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

= de acuerdo F10.3, con  $S_e$  considerado como el módulo elástico.

#### 2.2.8.6.9. Ángulos simples (F10)

$$\phi_b = 0.90 \text{ (LRFD)}$$

$$\Omega_b = 1.67 \text{ (ASD)}$$

(a) Fluencia:

$$M_n = 1.5 \cdot M_y$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$M_y$  = Momento de fluencia respecto del eje en flexión (Kips·in).

(b) Pandeo lateral - torsional:

$$M_n = \begin{cases} \left( 1.92 - 1.17 \cdot \sqrt{\frac{M_y}{M_{cr}}} \right) \cdot M_y \leq 1.5 \cdot M_n, & \text{si } \frac{M_y}{M_{cr}} \leq 1.0 \\ \left( 0.92 - \frac{0.17 \cdot M_{cr}}{M_y} \right) \cdot M_{cr}, & \text{si } \frac{M_y}{M_{cr}} > 1.0 \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$M_p$  = Momento plástico (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$M_{cr}$  = Momento de pandeo crítico lateral-torsional (Kips·in).

- Para flexión en torno del eje principal mayor de un ángulo simple:

$$M_{cr} = \frac{9 \cdot E \cdot A \cdot r_z \cdot t \cdot C_b}{8 \cdot L_b} \cdot \left[ \sqrt{1 + \left(4.4 \cdot \frac{\beta_w \cdot r_z}{L_b \cdot t}\right)^2} + 4.4 \cdot \frac{\beta_w \cdot r_z}{L_b \cdot t} \right]$$

Donde:

$C_b$  = Calculado según F1-1 con valor máximo de 1.5.

$A$  = Área de la sección (in<sup>2</sup>).

$L_b$  = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro (in).

$r_z$  = Radio de giro del eje principal menor (in).

$t$  = Espesor de ala del ángulo (in).

$\beta_w$  = Propiedad de la sección para ángulos simples en torno al eje principal (in).

- Para flexión en torno a uno de los ejes geométricos de un ángulo de alas iguales sin compresión axial sin arriostramiento lateral-torsional:

Con una compresión máxima en el borde extremo:

$$M_{cr} = \frac{0.58 \cdot E \cdot b^4 \cdot t \cdot C_b}{L_b^2} \cdot \left[ \sqrt{1 + 0.88 \cdot \left(\frac{L_b \cdot t}{b^2}\right)^2} - 1 \right]$$

Con una tracción máxima en el borde extremo:

$$M_{cr} = \frac{0.58 \cdot E \cdot b^4 \cdot t \cdot C_b}{L_b^2} \cdot \left[ \sqrt{1 + 0.88 \cdot \left(\frac{L_b \cdot t}{b^2}\right)^2} + 1 \right]$$

Donde:

$M_y$  = Momento de fluencia respecto del eje en flexión (Kips·in).

= Debe tomarse como 0.80 veces el momento de primera fluencia calculado usando el módulo de sección geométrico.

$b$  = Ancho del ala (in).

- Para flexión en torno a uno de los ejes geométricos de un ángulo de alas iguales sin compresión axial con arriostramiento lateral-torsional solamente en el punto de máximo momento:

Con una compresión máxima en el borde extremo:

Donde:

$M_{cr}$  = debe tomarse como 1.25 veces el valor de calculado usando la ecuación F10-5a o F10-5b de la norma presente.

$M_y$  = debe tomarse como el momento de primera fluencia calculado usando el módulo elastico geométrico.

(c) Pandeo local del ala:

$$M_n = \begin{cases} \text{No aplica,} & \text{Secciones compactas} \\ F_y \cdot S_c \left[ 2.43 - 1.72 \cdot \left(\frac{b}{t}\right) \cdot \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right], & \text{Secciones con alas no compactas} \\ F_{cr} \cdot S_c, & \text{Secciones con elementos esbeltos} \end{cases}$$

Donde:

$M_n$  = Resistencia nominal en flexión (Kips·in).

$\Phi_b$  = Factor de resistencia para flexión.

$F_{cr}$  = Tensión crítica (Ksi).

$$= \frac{0.71 \cdot E}{\left(\frac{b}{t}\right)^2}$$

$S_c$  = Módulo elástico de la sección referido al borde exterior en compresión relativo al eje de flexión (in<sup>3</sup>).

$b$  = Ancho total del ala en compresión (in).

### 2.2.8.7. *Diseño de miembros a cargas combinadas*

#### 2.2.8.7.1. *Miembros con simetría doble y simple solicitados a flexión y compresión (H1.1)*

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0, \quad \text{si } \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$$

$$\frac{P_r}{2 \cdot P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0, \quad \text{si } \frac{P_r}{P_c} < 0.2$$

Donde:

$P_r$  = Resistencia de compresión axial requerida determinada según análisis estructural usando las combinaciones de carga LRFD o ASD (Kips).

$P_c = \phi_c \cdot P_n$  = Resistencia de compresión axial disponible de acuerdo al capítulo E de la presente norma (Kips).

$M_r$  = Resistencia de flexión requerida determinada según análisis estructural usando las combinaciones de carga LRFD o ASD (Kips·in).

$M_c = \phi_b \cdot M_n$  = Resistencia de flexión disponible de acuerdo al capítulo F de la presente norma (Kips·in).

$x$  = Subíndice que indica flexión en torno al eje fuerte.

$y$  = Subíndice que indica flexión en torno al eje débil.

#### 2.2.8.7.2. *Miembros con simetría doble y simple solicitados a flexión y tracción (H1.2)*

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \cdot \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0, \quad \text{si } \frac{P_r}{P_c} \geq 0.2$$

$$\frac{P_r}{2 \cdot P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1.0, \quad \text{si } \frac{P_r}{P_c} < 0.2$$

Donde:

$P_r$  = Resistencia de tracción axial requerida determinada según análisis estructural usando las combinaciones de carga LRFD o ASD (Kips).

$P_c = \phi_t \cdot P_n$  = Resistencia de tracción axial de diseño de acuerdo a la sección D2 de la presente norma (Kips).

$M_r$  = Resistencia de flexión requerida determinada según análisis estructural usando las combinaciones de carga LRFD o ASD (Kips·in).

$M_c = \phi_b \cdot M_n$  = Resistencia de flexión disponible de acuerdo al capítulo F de la presente norma (Kips·in).

x = Subíndice que indica flexión en torno al eje fuerte.

y = Subíndice que indica flexión en torno al eje débil.

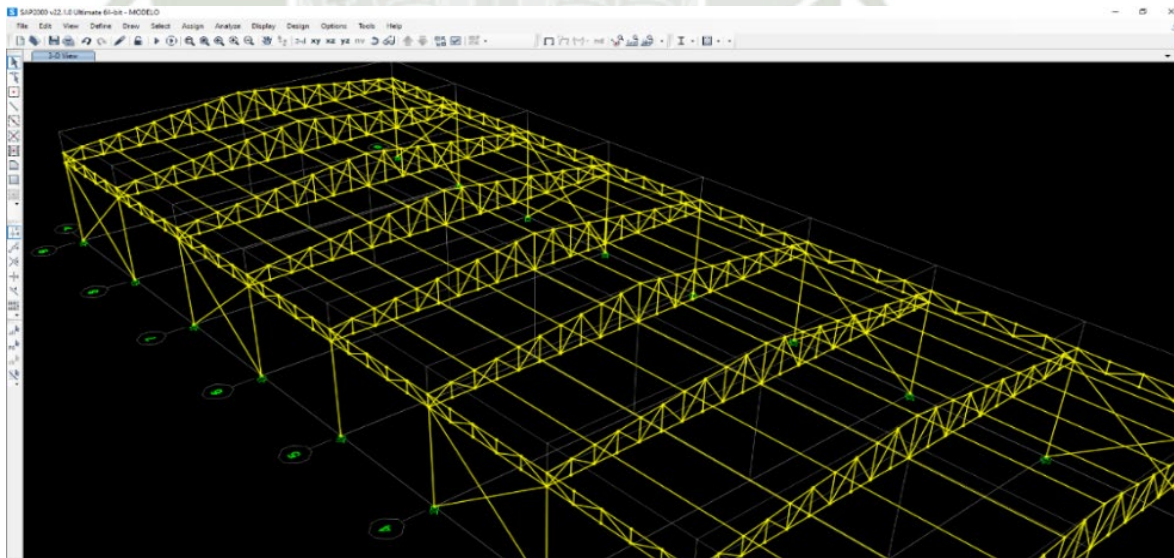
## 2.2.9. Análisis y modelado estructural mediante herramientas computacionales

### 2.2.9.1. Análisis - SAP 2000

Uno de los softwares más utilizados para el diseño estructural, es SAP2000, el cual ha sido sinónimo de métodos analíticos hace más de 45 años, este software de elementos finitos tiene la flexibilidad para realizar el análisis y diseño estructural de diversas estructuras. Del mismo modo, permite la aplicación de los patrones de carga de forma automática para luego realizar las verificaciones según las normativas correspondientes, cabe decir que este software comercial es reconocido mundialmente para el análisis mediante elementos finitos (CSI SPAIN, 2021).

**Figura 2.22**

*Modelado y análisis de estructura metálica mediante SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### A. Objetivos del análisis con SAP 2000

- Realizar la aplicación de cargas en el modelo estructural tipo parabólico y de alma llena.
- Desarrollar el análisis y diseño estructural del modelo tipo parabólico y de alma llena.

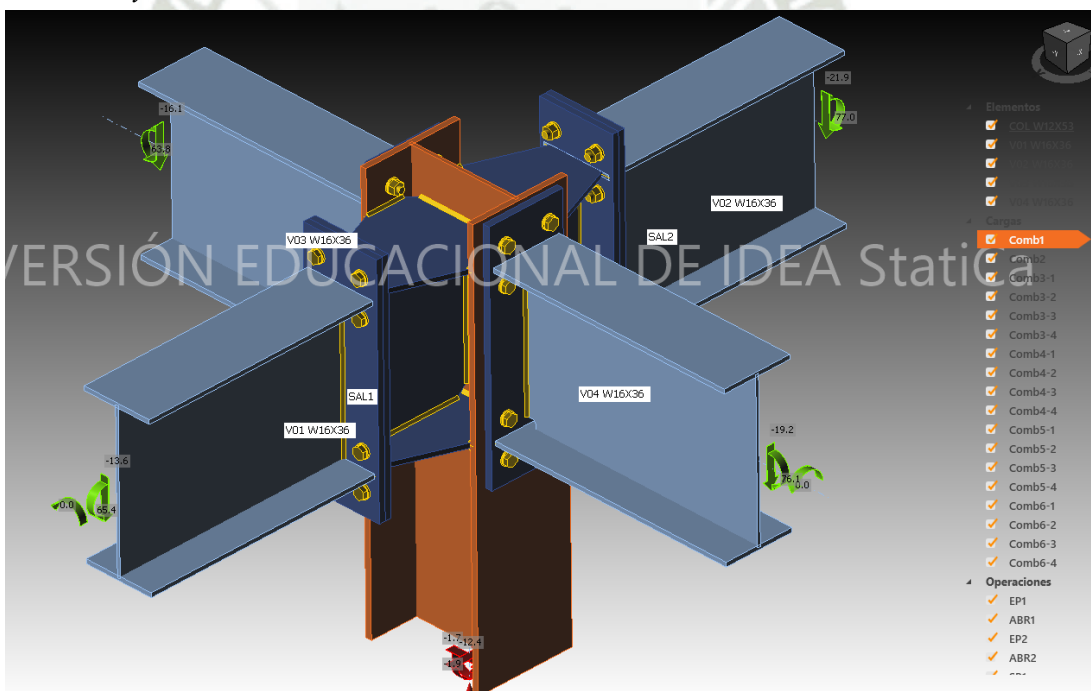
- Obtener los valores de ratio de diseño de los miembros estructurales e indentificar las partes más críticas del modelo estructural tipo parabólico y de alma llena.
- Realizar las verificaciones de desplazamiento y deformación máxima permitida por las normas correspondientes en el modelo tipo parabólico y de alma llena.

### 2.2.9.2. Análisis - IDEA STATICA

Es el software líder en el mundo para el diseño de conexiones de acero con análisis de elementos finitos y la comprobación de normativas en detalles de hormigón. Este software permite manejar todo tipo de conexiones atornilladas y soldadas, conexiones a cortante, axiales y momento, y varios detalles de conexiones de acero. Además, tiene la posibilidad de enlazarse automáticamente con softwares CAE y CAD para exportar y sincronizar datos, para asimismo minimizar errores y el trabajo repetitivo (IDEA STATICA, 2023).

**Figura 2.23**

*Modelado y análisis de conexión metálica mediante IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### A. Objetivos del análisis con IDEA STATICA

- Realizar la importación cargas del análisis estructural previo a cada nodo modelo estructural tipo parabólico y de alma llena.
- Desarrollar el análisis y diseño estructural de las conexiones típicas del modelo tipo parabólico y de alma llena.

- Obtener los valores de desempeño de los elementos estructurales que componen las conexiones del modelo estructural tipo parabólico y de alma llena.
- Identificar las conexiones más críticas del modelo estructural tipo parabólico y de alma llena.

### 2.2.9.3. Modelado y planimetría - Tekla Structures

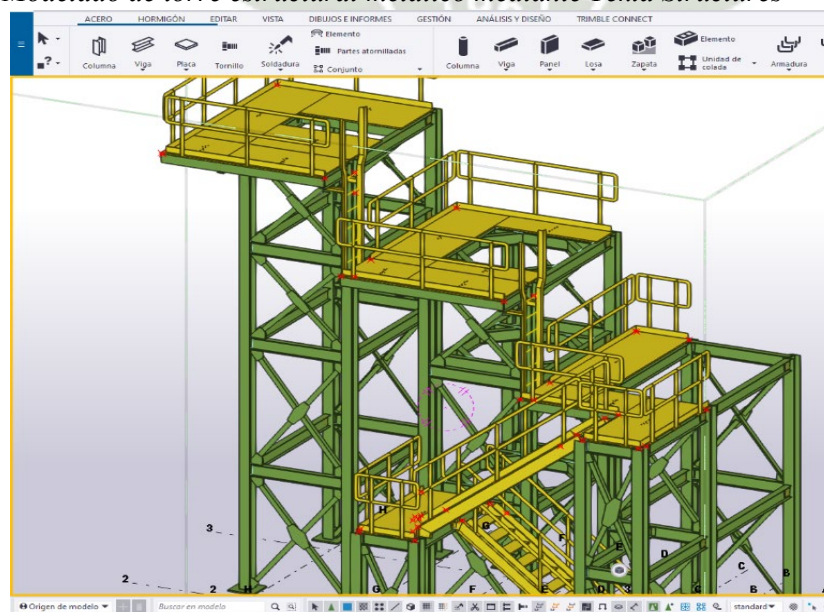
Tekla Structures es uno de los mejores softwares BIM para el flujo de trabajo estructural, permite crear, construir y administrar modelos 3D de diversos materiales y, además, consigue realizar el detalle y gestión de la información desde la planeación hasta la construcción en sitio. Este software tiene la capacidad de importar, exportar y vincular información con otros softwares a través de extensiones de archivos para así facilitar el modelado, diseño y análisis de conexiones y miembros estructurales (Trimble, 2021).

#### A. Objetivos del análisis con Tekla Structures

- Realizar el modelado de la estructura metálica tipo parabólico y de alma llena considerando el detalle de las conexiones.
- Realizar la planimetría correspondiente del modelo estructural tipo parabólico y de alma llena.
- Evaluar el peso total y cantidad de miembros del modelo estructural tipo parabólico y de alma llena, el cual será de utilidad para la realización de los metrados.

**Figura 2.24**

*Modelado de torre estructural metálica mediante Tekla Structures*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

## 2.2.10. Análisis de costos y presupuestos en industrial metalmecánica

### 2.2.10.1. Naturaleza y tipos de costos

En la actualidad para evaluar los artículos producidos se requiere la inclusión de un sistema de costos. Donayre (2021) refiere que lo costos se definen como todo valor monetario de bienes y/o servicios que forma parte de la fabricación de un producto o que interviene en la prestación de un servicio, asimismo, estos sistemas de costo sirven de base para fijar precios de venta, facilitar la toma de decisiones, dar valuación a los inventarios y contribuir al planeamiento, control y gestión de un proyecto. Los costos se pueden clasificar de la siguiente forma:

**Figura 2.25**  
*Clasificación de los costos*



*Fuente.* Adaptación de Donayre (2021) y Charles (2012).

Los costos están referidos a la adquisición de artículo, inmuebles o servicios que ha sido diferido o que todavía no se ha aplicado a la realización de los ingresos, estos costos también se definen como los recursos que se sacrifican para alcanzar un objetivo específico (Donayre, 2021).

Algunos conceptos importantes respecto a los costos se tienen a continuación:

**Tabla 2.9**  
*Conceptos fundamentales respecto a costos*

CONCEPTOS	DEFINICIÓN
Costo	Valor que se da a un consumo de factores de producción dentro de la realización de un bien o servicio. (Donayre, 2021)
Gasto	Se define como el costo que ha a aplicado contra el ingreso de un periodo determinado. (Donayre, 2021)
Pérdida	Es una reducción en la participación de la empresa por la cual no se ha recibido ningún valor compensatorio sin incluir los retiros del capital. (Donayre, 2021)
Factor de costo	Es la base de distribución para la asignación de costo. (Donayre, 2021)
Costo unitario o promedio	Es la división del costo total por un número de unidades. (Donayre, 2021)
Productos en proceso	Se define como la producción incompleta, es decir, los materiales que aún no han sido convertidos parcialmente en productos terminados. (Donayre, 2021)

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

### 2.2.10.2. Presupuestos en la industria metal mecánica

Un presupuesto consiste en una estimación o conjeturas hechas con fundamento sobre las necesidades en términos monetarios para realizar el proyecto, este documento traduce los planes en dinero que necesita gastarse para conseguir las actividades planificadas “gasto” y para cubrir los costes de finalización del trabajo o del proyecto que se lleva a cabo “ingreso” (Donayre, 2021).

Los tipos de presupuestos que se manejan en proyectos de construcción se muestran a continuación:

**Tabla 2.10**  
*Tipo de presupuestos metal mecánicos*

TIPO DE PRESUPUESTO	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN
Suma Alzada	Se basa en la información suministrada por el cliente (planos, especificaciones, etc.) y se establece como una suma global por los trabajos a ejecutarse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El cliente determina mensualmente el progreso realizado por el contratista en todas las fases y se establece el avance total mensual.</li> <li>- El contratista envía la valorización y la factura en base al avance total mensual obtenido, obduciendo los los pagos de adelantos y ganancias respectivas.</li> </ul>
Por administración directa	Se emplea para trabajos de difícil definición, información referencial o que conlleva restricciones de construcción importantes.	<p><b>Se presenta bajo dos modalidades:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El trabajo realizado es consignado por el contratista en planillas de control diarias, las mismas que son aprobadas por el cliente. Este procedimiento se aplica tanto para empleados y obreros, como para equipos y herramientas.</li> <li>- El contratista envía la valorización sobre la base de las planillas de control y/o las listas de tarifas, deduciendo el pago del adelanto y las garantías respectivas.</li> </ul>
Por precios unitarios	Se basa en la información preliminar (metrados preliminares o cantidades estimadas) y se establecen precios unitarios para actividades típicas a ejecutarse.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El cliente determina mensualmente el progreso realizado por el contratista en dicha actividad.</li> <li>- Este método está generalizado para las obras de construcción civil y mecánicas.</li> </ul>

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

### 2.2.10.3. Metrados de planos estructurales

Uno de los procesos más importantes en la elaboración de un proyecto de diseño es el metrado, este consiste en la medición de longitudes, áreas y volúmenes mediante el uso de fórmulas geométricas y operaciones aritméticas, este a su vez, puede realizarse en obra o sobre los planos. El metrado también puede definirse como el cómputo o cuantificación del consumo de materiales, el cual busca establecer el presupuesto de la obra y determinar la cantidad de materiales para ejecutarla (Donayre, 2021).

**Tabla 2.11**

*Metrado de subconjunto de tuberías*

SUBCONJUNTO Nro 1 TUBERIA LAVADO Ø54" GALERÍA TRANSVERSAL					
ITEM.	DESCRIPCIÓN	CANT.	DIMENSION	MATERIAL	NORMA
1	Espárragos para brida de 48"	44	1.5" - 6UNC x 10" Long.	Acero Zincado	ASTM -193 Gr. B ISO 4017 (DIN 933)
2	Tuerca Hexagonal Para brida 48"	88	1.5" - 6UNC	Acero Zincado	ASTM -193 Gr. B ISO 4032 (DIN 933)
3	Arandela Para brida 48"	88	1.5"	Acero Zincado	ASTM F-34 (DIN 933)
4	Empaque de brida	1	Ø48"	Cucho Neopreno	AWWA C-115
5	Niple Brida x liso	1	Ø48"x926	Acero al carbón recubrimiento exterior Poliurea-Revestimiento interior Epóxico ASTM A-283 GRADO C	ASTM A-108 AWWA C-205
6	Unión desmontaje	5	Ø40"	Hierro Dúctil ASTM A-536	AWWA C-219
7	Reducción excentrica brida X brida	1	Ø48"xØ40"	Acero al carbón recubrimiento exterior Poliurea-Revestimiento interior Epóxico ASTM A-283 GRADO C	ASTM A-105 AWWA C-2021
8	Válvula flujo anular	1	Ø40"x1500	Hierro Dúctil ASTM A-536	ASTM A-108 AWWA C-208
9	Espárrago para brida de 40"	96	1 1/2" x 12"	Acero Zincado	ISA
10	Tuerca	192	1 1/2"	Acero Zincado	ASTM -193 Gr. B ISO 4017 (DIN 933)
11	Arandela	192	1 1/2"	Acero Zincado	ASTM -193 Gr. B ISO 4032 (DIN 933)
12	Empaque de brida	4	Ø40"	Cucho Neopreno	AWWA C-115
13	Niple liso x liso	1	Ø40"x290	Acero al carbón recubrimiento exterior Poliurea-Revestimiento interior Epóxico ASTM A-283 GRADO C	ASTM A-108 AWWA C-205
14	Reduccion concentrica	1	Ø40"xØ54"	Acero al carbón recubrimiento exterior Poliurea-Revestimiento interior Epóxico ASTM A-283 GRADO C	ASTM A-105 AWWA C-208

*Fuente.* Adaptación de "Montaje de estructuras metálicas – PDT/Presupuesto" (Escuela de Estructuras Metálicas, 2020)

## CAPITULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

3.

#### 3.1. Nivel de investigación

En la presente investigación se hará el diseño de dos estructuras metálicas y también se realizará la planimetría correspondiente para el desarrollo de los metrados y presupuestos para finalmente realizar un análisis comparativo entre pesos, costos, comportamiento estructural y tiempos de fabricación y montaje totales, para ello se empleará el uso de herramientas computacionales tales como el software SAP2000 e IDEA STATICA para el análisis y diseño estructural y además, se usarán normas técnicas vigentes para los diseños, cabe decir que este proyecto no pretende llevar a cabo la construcción real de estas edificaciones.

#### 3.2. Diseño de investigación

El diseño de investigación correspondiente a la presente tesis, es del tipo no experimental transversal, debido a que las variables de estudio no se someterán a condiciones experimentales, y no habrá alteración de ninguna situación del contexto natural de los sujetos del estudio, además, los datos necesarios para la elaboración de este estudio comparativo serán recogidos en un solo momento, ya que serán de mucha utilidad para la elaboración de las memorias de cálculo correspondientes a cada modelo estructural planteado.

#### 3.3. Población y muestra

##### 3.3.1. Población:

Estructuras destinadas para la construcción de coberturas.

##### 3.3.2. Muestra:

Para la presente investigación, la muestra corresponde al análisis comparativo de una cobertura del tipo parabólico y uno de alma llena.

#### 3.4. Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos de la presente investigación se usaron las siguientes técnicas:

**Tabla 3.1**  
*Técnicas e instrumentos de recolección de datos*

Técnica	Definición	Instrumento
Documental	Para la validación de la memoria de cálculo se usaran normas nacionales e internacionales de diseño estructural en acero.	E090, E020, E030 AISC 360-16, AISC 358, AISC 341-16, ASCE 7-10
Observación	La recolección de datos iniciales para la elaboración de la memoria de cálculo, se hará a través de mediciones en campo con los instrumentos correspondientes.	Flexómetro
Técnicas del area de Organización y Sistemas	Esta herramienta servirá para gestionar el avance de las diferentes etapas del proyecto presente.	Diagrama de Gantt

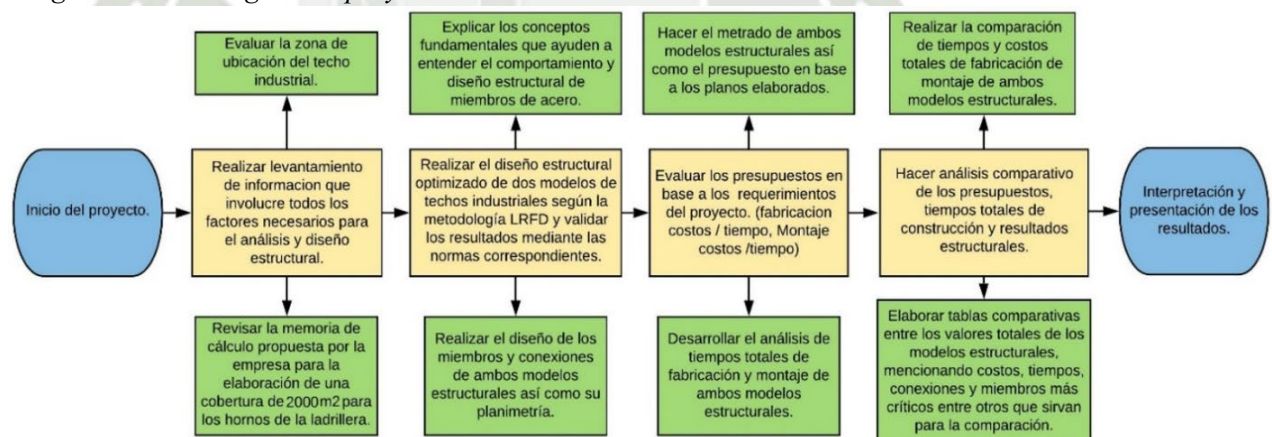
*Fuente.* Fuente propia, 2023.

### 3.5. Técnicas de Procesamiento y análisis de datos

Para arribar a resultados concretos, se realizará el análisis y diseño estructural de los miembros mediante el software SAP200 V22.1, y el diseño y validación de las conexiones metálicas mediante Idea Stática, además usará el software Tekla Structures para realizar la planimetría y metrados correspondientes a fin de obtener valores comparables entre los modelos estructurales planteados.

### 3.6. Diagrama de flujo metodológico

**Figura 3.1**  
*Diagrama metodológico del proyecto*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

### 3.7. Aspectos administrativos

#### 3.7.1. Recursos necesarios

**Tabla 3.2**

*Recursos tentativos necesarios*

Ítem	Precio unitario	Cantidad	Total
Viajes a Arequipa	S/. 25.00	4	S/ .100.00
Visitas técnicas	S/ .50.00	5	S/ .250.00
Instrumentos de medición	S/ .100.00	2	S/ .200.00

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 3.7.2. Cronograma de actividades

**Figura 3.2**

*Cronograma de actividades tentativo*

Etapas de la tesis	MES 01				MES 02				MES 03				MES 04			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Definición de tema	■															
Búsqueda de antecedentes		■														
Planteamiento del problema			■													
Marco de referencia				■												
Planteamiento operacional					■											
Presentación de plan de tesis						■										
Aplicación de herramientas							■									
Recolección de información								■								
Procesamiento de información									■							
Conclusiones y recomendaciones													■			
Presentación de borrador de tesis																■

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS Y DISEÑO

#### 4.1. Levantamiento de información y aspectos generales

##### 4.1.1. Ubicación de la cobertura

La cobertura será destinada para el horno 03 de la empresa “Ladrillera el Diamante”, ubicada en el distrito Cerro Colorado del departamento de Arequipa. Su objetivo principal es cubrir el horno y protegerlo de fenómenos climatológicos que puedan afectar el horno.

**Figura 4.1**  
*Ubicación de la cobertura en vista de planta*



Fuente. Fuente propia, 2023.

##### 4.1.2. Generalidades para el diseño

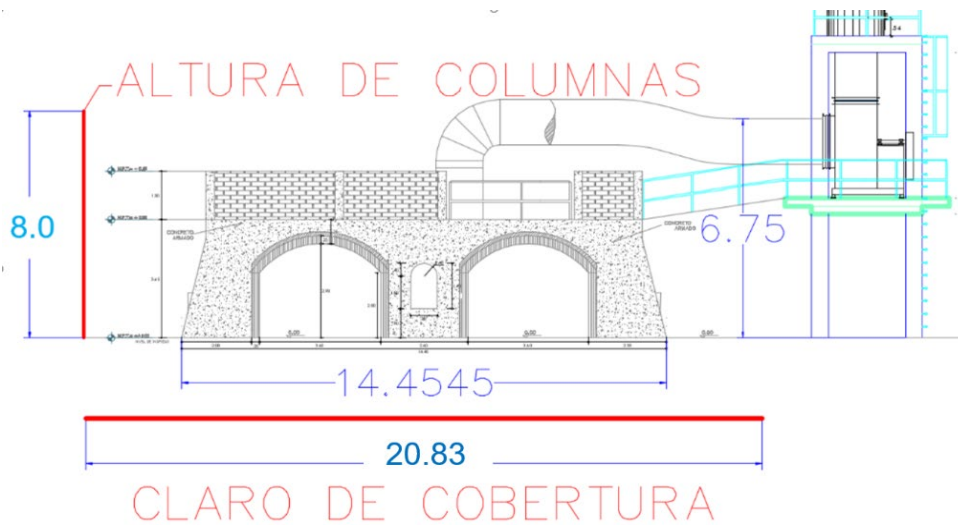
En campo se hizo el levante de información necesario para empezar con el pre-dimensionamiento de la cobertura, por lo tanto, la cobertura debe de cumplir los siguientes requisitos de entrada para su posterior diseño:

- Área a cubrir =  $20.83 \text{ m} \times 96 \text{ m} = 2000 \text{ m}^2$  (Dado dimensiones del horno)
- Altura de columnas = 8 m (Dada altura necesaria para no colisionar con ductos)

En el anexo A y B se tiene una memoria de cálculo de referencia con datos semejantes a los propuestos en este proyecto, sin embargo, como criterio arquitectónico se buscará no usar arriostres para los pórticos laterales, asimismo se validará su ausencia en base al control de los desplazamientos máximos permitidos debido a la carga sísmica según la norma E030 (Mayor detalle de validación en apartado 4.7.3).

**Figura 4.2**

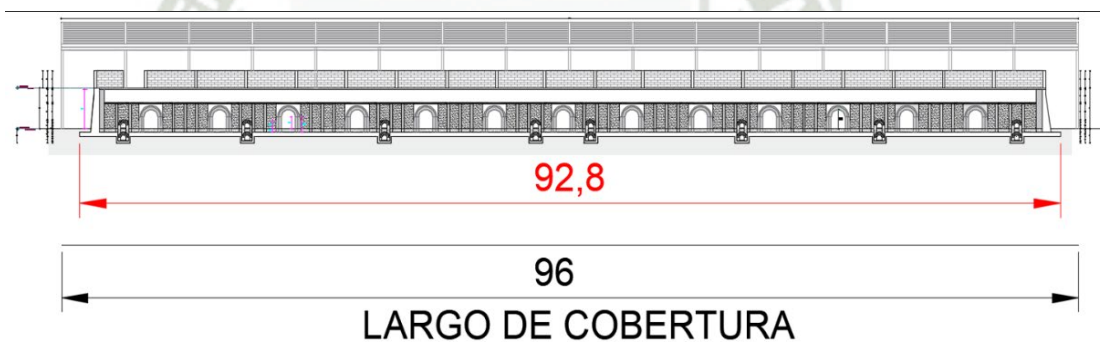
*Vista frontal de horno 03 con dimensiones generales de cobertura*



*Fuente. Fuente propia, 2023.*

**Figura 4.3**

*Vista de corte de horno 03 con dimensiones generales de cobertura*



*Fuente. Fuente propia, 2023.*

#### 4.1.3. Normas y códigos

Para el diseño de la cobertura se utilizarán diversas normas, tanto internacionales como nacionales, estas normas mostrarán los parámetros necesarios para realizar el correcto diseño de la estructura y sus conexiones según la metodología del LRFD, el control de deflexiones y derivas inelásticas.

**Tabla 4.1**

*Normas nacionales e internacionales para el diseño de estructuras metálicas*

PROCEDENCIA	NORMA	OBJETIVO
Normas Internacionales	ANSI/AISC 360-16	Esta norma establecerá los estados límites para el diseño de conexiones y miembros a tracción, compresión, flexión y cargas combinadas, para obtener ratios de diseño optimos usando la metodología LRFD.
	IBC 2009	El código internacional de construcción ayudará a realizar el control de flechas de los miembros para limitar estas deflexiones de modo que no afecten a miembros no estructurales.
	ACI 318	Esta norma definirá los estados límites que deben de evaluarse para analizar la interacción de los anclajes con el concreto para así diseñar ambos elementos estructurales de modo que estos no fallen en servicio.
	EUROCODIGO 1993-1-5	Este código menciona el límite de plasticidad recomendado del 5% para el análisis de conexiones emperradas y soldadas.
Normas Peruanas	NTP E.090	Esta norma de diseño en estructuras de acero, mostrará las combinaciones de carga aplicables en territorio peruano que deberán usarse para el diseño.
	NTP E.030	Esta norma establecerá los aspectos necesarios para efectuar el análisis sísmico en la estructura, definiendo el análisis sísmico estático y el dinámico espectral.
	NTP E.020	Esta norma mostrará cómo determinar los patrones de carga correspondientes para el análisis de la estructura, entre ellas están las cargas muertas, vivas, de nieve y viento.

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

## 4.2. Selección de perfiles estructurales

### 4.2.1. Selección de perfiles de estructura de alma llena

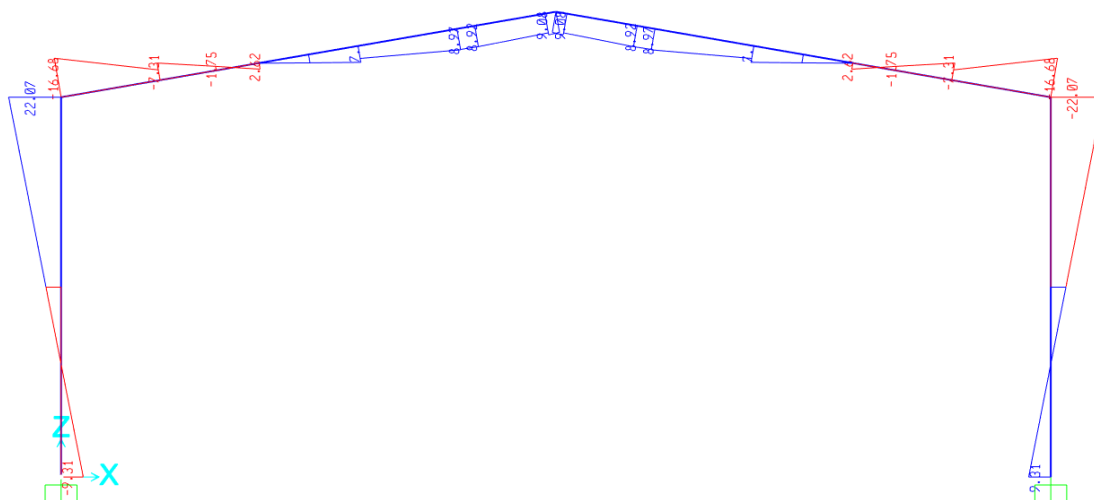
La estructura del tipo alma llena estará conformada a base de planchas soldadas de diferentes espesores para tener vigas y columnas de sección variable, donde se tendrán fuerzas cortantes y momentos flectores a lo largo de vigas y columnas de los 17 pórticos que se pretenden tener en total (Mayor detalle de geometría del modelo en apartado 4.3.1):

El análisis estructural se realizará con la herramienta computacional SAP2000, este analizará de forma global la estructura para determinar las cargas internas. Cabe decir que en el análisis y diseño estructural con herramientas computacionales, el diseño de miembros laminados o soldados es indistinto siempre y cuando se mantenga una buena conexión como elemento único (Malagutti, Nunes , & Pavan, 2015).

A continuación, a través del análisis estructural global de toda la estructura realizado con SAP2000, se pueden visualizar las partes más críticas de uno de los pórticos bajo cargas de servicio “D + L” (Mayor detalle de obtención de cargas en apartado 4.4.1).

**Figura 4.4**

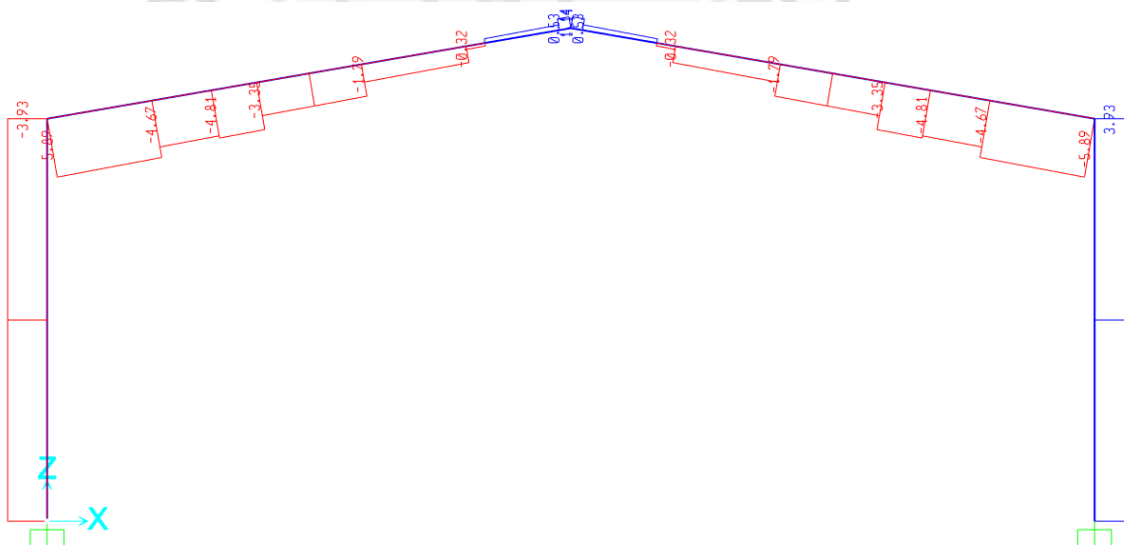
*Diagrama de momentos flectores en XZ en Ton-m en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.5**

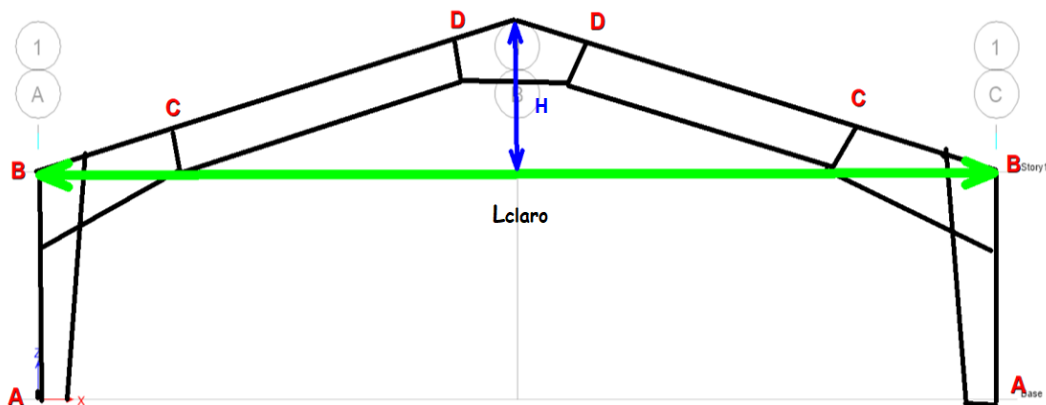
*Diagrama de fuerzas cortantes en XZ en Ton en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, dado que se presentan mayores momentos y fuerzas cortantes en la cumblera y aleros, se puede plantear el siguiente esquema de perfiles de sección variable:

**Figura 4.6**  
*Diagrama de peraltes de miembros de sección variable*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

➤ **Selección de planchas para perfiles soldados:**

Para seleccionar el espesor de plancha a usar en primera instancia se realizó una cotización con diferentes proveedores de perfiles de acero en Arequipa, tales como “Aceros comerciales” y “Aceros Arequipa”, dicha cotización que refleja que espesor de plancha resulta más económico para la construcción de perfiles de sección variable.

Por lo tanto, se usarán para las almas un espesor de 8 mm y para las alas 9 mm, asimismo se tiene la siguiente tabla de precios

**Figura 4.7**  
*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para planchas de acero A36*

<b>COTIZACION DE PLANCHAS A36 DE 1500 x 6000 mm</b>		
<b>Espesor</b>	<b>Peso/Plancha</b>	<b>Precio/Plancha</b>
19 mm	1342.35 kg	S/. 6040.58
16 mm	1130.40 kg	S/. 5086.80
12.5 mm	883.13 kg	S/. 3974.09
12 mm	847.80 kg	S/. 3815.10
9 mm	635.85 kg	S/. 2861.33
8 mm	565.20 kg	S/. 2543.40
6 mm	423.90 kg	S/. 1907.55

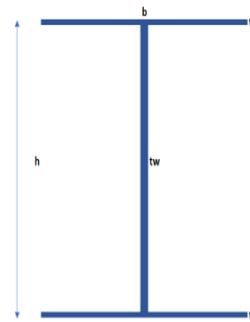
*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, se propondrá para el análisis espesores de plancha de 8 mm y 9 mm para las almas y alas respectivamente para la elaboración de perfiles y columnas. Asimismo, se tendrá la siguiente disposición de peraltes para la estructura de alma llena:

**Figura 4.8**

*Cuadro de peraltes propuestos para pre-dimensionamiento*

LONGITUD	PUNTO	MEDIDAS DEL LA SECCIÓN TRANSVERSAL			
A-B = 8000 mm	PUNTO A	b= 320mm	h= 300mm	tw= 8mm	tf= 9mm
B-C = 3000 mm	PUNTO B	b= 320mm	h= 550mm	tw= 8mm	tf= 9mm
C-D = 5000 mm	PUNTO C	b= 320mm	h= 380mm	tw= 8mm	tf= 9mm
D-FINAL DE CUMBRERA = 1569.4 mm	PUNTO D	b= 320mm	h= 380mm	tw= 8mm	tf= 9mm
-	FINAL DE CUMBRERA	b= 320mm	h= 550mm	tw= 8mm	tf= 9mm



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Ahora se determinará el tamaño de soldadura necesario para la unión de las planchas que conforman las vigas y columnas de la estructura de alma llena, el código de soldadura AWS D1.1 indica que la altura de soldadura mínima depende del espesor de la plancha más delgada:

**Tabla 4.2**

*Tamaños mínimos de soldaduras en filete de código AWS D1.1*

**Tabla 7.7**  
**Tamaños mínimos de soldaduras en filete (ver 7.13)**

Espesor del metal base (T) <sup>a</sup>		Tamaño mínimo de soldadura en filete <sup>b</sup>	
pulg.	mm	pulg.	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 <sup>c</sup>	3 <sup>c</sup>
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	4	5/16	8

*Fuente.* De “AWS D1.1 Código de soldadura estructural”, 2020.

Asimismo, el tamaño máximo de soldadura es:

$$t = 0.7 \cdot T_{\text{Plancha mas delgada}}$$

$$t = 0.7 \cdot 8 \text{ mm}$$

$$t = 5.6 \text{ mm}$$

Por lo tanto, tenemos:

$$t_{\text{mínimo}} = 5 \text{ mm} \quad t_{\text{maximo}} = 5.6 \text{ mm}$$

Entonces para dichas uniones se usará una altura de soldadura de 5 mm cuyo procedimiento WPS se mostrará más adelante en el apartado 5.3.

➤ **Selección de correas:**

De igual forma para la selección de los perfiles C para las correas y las barras lisas redondas, se realizó una cotización con diferentes proveedores de perfiles de acero en Arequipa de modo que se tendrán tablas de cotización semejantes más adelante. Dicha cotización que refleja que canal resulta más económico para servir como correas en la estructura.

Por lo tanto, se usarán como correas el perfil C 8x11.5

**Figura 4.9**

*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para canales C*

<b>COTIZACION DE CANALES C A36 DE 6 m</b>		
<b>Perfil C</b>	<b>Peso/6 m</b>	<b>Precio/Pieza</b>
8 x 18.75	167.41 kg	S/. 753.35
7 x 14.75	131.70 kg	S/. 592.65
8 x 13.75	122.77 kg	S/. 552.47
9 x 13.4	119.64 kg	S/. 538.38
<b>8 x 11.5</b>	<b>102.68 kg</b>	<b>S/. 462.06</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Las correas o viguetas son miembros que trabajan a flexo-compresión o flexo-tracción, por lo tanto, cualquiera fuese el caso habría que validar la relación de esbeltez límite para tracción o compresión. En este caso se realizará una primera validación del uso de perfiles C 8x11.5 a través de la comprobación de relación de esbeltez límite para miembros en compresión, dado que para miembros a compresión, el límite es más crítico, además, la validación final por esfuerzos en estos miembros se encontrará en el apartado 4.7.1, donde se tienen los ratios de diseño de las correas y de los demás miembros que conforman la estructura.

$$\frac{k \cdot L}{r_{\min}} \leq 200$$

Donde:

k = Factor de longitud efectiva.

L = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro (m).

r = radio de giro (m).

Por lo tanto, se sabe que la distancia entre pórticos será de 6 m (Mayor información en apartado 4.3.1) y que la longitud no arriostrada “L” de las correas es de 3 m debido a los templadores horizontales que se colocarán y que reducirán la longitud no arriostrada a la mitad. Además, el factor de longitud efectiva “K” es igual a 1 según la AISC 360 para miembros con apoyos articulados en sus extremos. Entonces se deberá respetar lo siguiente:

$$\frac{k \cdot L}{r_{\min}} \leq 200$$

$$\frac{k \cdot L}{200} \leq r_{\min}$$

$$r_{\min} \geq \frac{1 \cdot 3000 \text{ mm}}{200}$$

$$r_{\min} \geq 15 \text{ mm} = 0.59 \text{ in}$$

Entonces se deberá de seleccionar un perfil cuyo radio de giro mínimo sea mayor a 0.59 in y además sea el más liviano, por lo tanto, revisando en el “Manual of Steel Construction” de la AISC se llegaría a usar el mismo perfil seleccionado anteriormente:

**Figura 4.10**  
Perfiles sección canal C del manual of Steel Construction AISC

CHANNELS AMERICAN STANDARD Properties													
Designation	Nominal Wt. per ft lb	$\bar{x}$ in.	Shear Center Location $e_o$ in.	PNA Location $x_p$ in.	Axis X-X				Axis Y-Y				
					$I$ in. <sup>4</sup>	$Z$ in. <sup>3</sup>	$S$ in. <sup>3</sup>	$r$ in.	$I$ in. <sup>4</sup>	$Z$ in. <sup>3</sup>	$S$ in. <sup>3</sup>	$r$ in.	
C15x50	50	0.798	0.583	0.488	404	68.2	53.8	5.24	11.0	8.17	3.78	0.867	
×40	40	0.777	0.767	0.390	349	57.2	46.5	5.44	9.23	6.87	3.37	0.886	
×33.9	33.9	0.787	0.896	0.330	315	50.4	42.0	5.62	8.13	6.23	3.11	0.904	
C12x30	30	0.674	0.618	0.366	162	33.6	27.0	4.29	5.14	4.33	2.06	0.763	
×25	25	0.674	0.746	0.305	144	29.2	24.1	4.43	4.47	3.84	1.88	0.780	
×20.7	20.7	0.698	0.870	0.252	129	25.4	21.5	4.61	3.88	3.49	1.73	0.799	
C10x30	30	0.649	0.369	0.439	103	26.6	20.7	3.42	3.94	3.78	1.65	0.669	
×25	25	0.617	0.494	0.366	91.2	23.0	18.2	3.52	3.36	3.19	1.48	0.676	
×20	20	0.606	0.637	0.292	78.9	19.3	15.8	3.66	2.81	2.71	1.32	0.692	
×15.3	15.3	0.634	0.796	0.223	67.4	15.8	13.5	3.87	2.28	2.35	1.16	0.713	
C9x20	20	0.583	0.515	0.325	60.9	16.8	13.5	3.22	2.42	2.47	1.17	0.642	
×15	15	0.586	0.682	0.243	51.0	13.5	11.3	3.40	1.93	2.05	1.01	0.661	
×13.4	13.4	0.601	0.743	0.217	47.9	12.5	10.6	3.48	1.76	1.95	0.962	0.669	
C8x18.75	18.75	0.565	0.431	0.343	44.0	13.8	11.0	2.82	1.98	2.17	1.01	0.599	
×13.75	13.75	0.553	0.604	0.251	36.1	10.9	9.03	2.99	1.53	1.73	0.854	0.615	
×11.5	11.5	0.571	0.697	0.209	32.6	9.55	8.14	3.11	1.32	1.58	0.781	0.625	
C7x12.25	12.25	0.525	0.538	0.255	24.2	8.40	6.93	2.60	1.17	1.43	0.703	0.571	
×9.8	9.8	0.540	0.647	0.203	21.3	7.12	6.08	2.72	0.968	1.26	0.625	0.581	
C6x13	13	0.514	0.380	0.317	17.4	7.26	5.80	2.13	1.05	1.36	0.642	0.525	
×10.5	10.5	0.499	0.486	0.255	15.2	6.15	5.06	2.22	0.866	1.15	0.564	0.529	
×8.2	8.2	0.511	0.599	0.198	13.1	5.13	4.38	2.34	0.693	0.993	0.492	0.537	
C5x9	9	0.478	0.427	0.262	8.90	4.36	3.56	1.83	0.632	0.918	0.450	0.489	
×6.7	6.7	0.484	0.552	0.217	7.49	3.51	3.00	1.95	0.479	0.763	0.378	0.493	
C4x7.25	7.25	0.459	0.386	0.264	4.59	2.81	2.29	1.47	0.433	0.697	0.343	0.450	
×5.4	5.4	0.457	0.502	0.241	3.85	2.26	1.93	1.56	0.319	0.569	0.283	0.449	
C3x6	6	0.455	0.322	0.291	2.07	1.72	1.38	1.08	0.305	0.544	0.268	0.416	
×5	5	0.438	0.392	0.242	1.85	1.50	1.24	1.12	0.247	0.466	0.233	0.410	
×4.1	4.1	0.436	0.461	0.284	1.66	1.30	1.10	1.17	0.197	0.401	0.202	0.404	

Fuente. De “Manual of Steel Construction LRFD” por American Institute of Steel Construction, 1994.

➤ Selección de templadores:

**Figura 4.11**

*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para barras redondas lisas*

<b>COTIZACION DE BARRAS REDONDAS A36 DE 6 m</b>		
<b>Diametro</b>	<b>Peso/6 m</b>	<b>Precio/Pieza</b>
1 1/8"	30.18 kg	S/. 135.81
1"	23.88 kg	S/. 107.46
7/8"	18.30 kg	S/. 82.35
3/4"	13.44 kg	S/. 60.48
<b>5/8"</b>	<b>9.30 kg</b>	<b>S/. 41.85</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Los templadores son miembros estructurales que trabajan únicamente a tracción, se validará el uso de templadores de 5/8" en la estructura de alma llena y parabólica en base a la resistencia máxima de tracción en el límite de fluencia, contrastada con la carga de tracción máxima de la envolvente de cargas obtenida en el análisis estructural. Por lo tanto, se tiene:

$$F_y = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \text{ (Material A36)}$$

$$A_{\text{templador}} = 1.98 \text{ cm}^2 \text{ (Area de sección transversal para 5/8")}$$

$$P_y = F_y \cdot A_{\text{templador}} \text{ (Carga límite)}$$

$$P_y = 2530 \cdot 1.98$$

$$P_y \approx 5 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, comparando se tiene que los templadores en ambas estructuras aguantan las cargas más críticas, teniendo así validada su selección.

**Figura 4.12**

*Cuadro de validación de templadores de 5/8"*

	<b>Estructura de alma llena</b>	<b>Estructura Parabólica</b>
<b>P (Max) de envolvente</b>	0,4538 Ton < 5 Ton (OK)	1,108 Ton < 5 Ton (OK)

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, los perfiles y planchas que se usarán serán los siguientes:

- Planchas A36 de 1500 x 6000 mm de 8 y 9 mm para construcción de columnas y vigas.

**Figura 4.13**

*Planchas de acero A36 de Aceros Arequipa*

DIMENSIONES (mm)	PESO TEÓRICO EN kg/plancha				TOLERANCIA EN EL ESPESOR (mm)	ESPESOR EQUIVALENTE Ó APROXIMADO
	1,200 x 2,400 (mm)	1,200 x 6,000 (mm)	1,500 x 6,000 (mm)	2,400 x 6,000 (mm)		
8	180.86	452.16	565.2	904.32	0.8/0.3	5/16"
9	203.47		635.85	1,017.36	0.8/0.3	3/8"

Fuente. De "Catálogo de productos" por Aceros Arequipa, 2023.

- Canales A36 de C 8 x 11.5 para correas de estructura de alma llena.

**Figura 4.14**

*Canal C 8 x 11.5 de A36 de Aceros Arequipa*

DESIGNACIÓN NOMINAL		ÁREA pulg. <sup>2</sup>	BASE ALMA (A) pulg.	ALA (B) pulg.	ESPESOR NOMINAL (mm)	
pulg.	lb/pie				ALA (t <sub>w</sub> )	BASE/ALMA (t <sub>f</sub> )
8"	11.50	3.38	8.00	2.26	9.91	5.59

Fuente. De "Catálogo de productos" por Arequipa, 2023.

- Barras redondas lisas de 5/8" para templadores de estructura de alma llena.

**Figura 4.15**

*Barras lisas circulares de 5/8" de A36 de Aceros comerciales*

SISTEMA INGLES (pulgadas)	PESO ESTIMADO	
	Kg/m	Kg/6m
5/8	1.550	9.30

Fuente. De "Catálogo de productos" por Aceros comerciales, 2023.

#### 4.2.2. Selección de perfiles de estructura parabólica

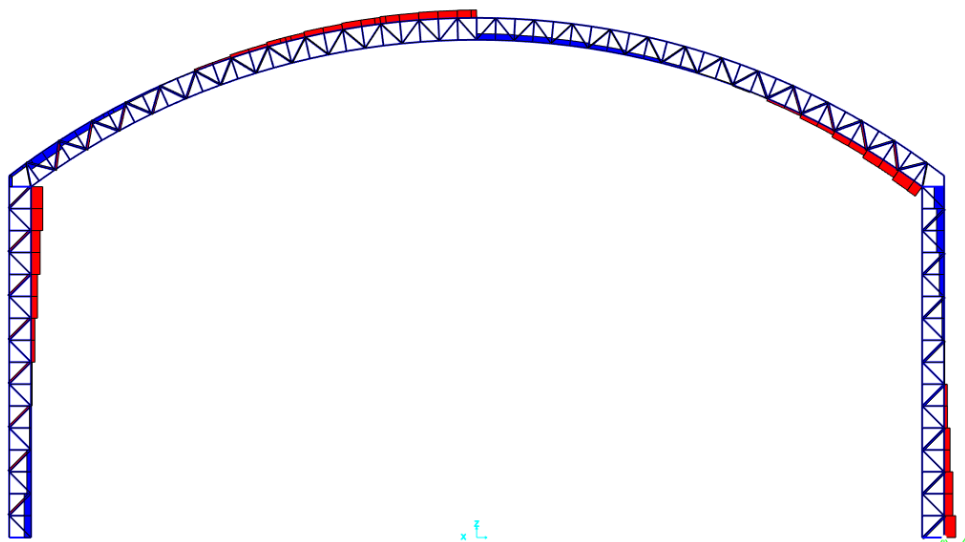
La estructura del tipo parabólico estará conformada por columnas y vigas de alma abierta, teniéndose columnas conformadas por ángulos estructurales y vigas curvas conformadas por ángulos y barras lisas de A36. Se tendrán fuerzas axiales en la mayoría de los miembros de la estructura debido a la naturaleza de las armaduras en desarrollar únicamente esfuerzos bajo cargas axiales, sin embargo, también se tendrán momentos flectores a lo largo de vigas y columnas de los 17 pórticos que se pretenden tener en total (Mayor detalle de geometría del modelo en apartado 4.3.2).

Tales momentos generados en vigas y columnas serán de muy baja magnitud a comparación de las fuerzas axiales.

A continuación, a través del análisis estructural global de toda la estructura realizado con SAP2000, se pueden visualizar las partes más críticas de uno de los pórticos bajo cargas de servicio “D + L” (Mayor detalle de obtención de cargas en apartado 4.4.2).

**Figura 4.16**

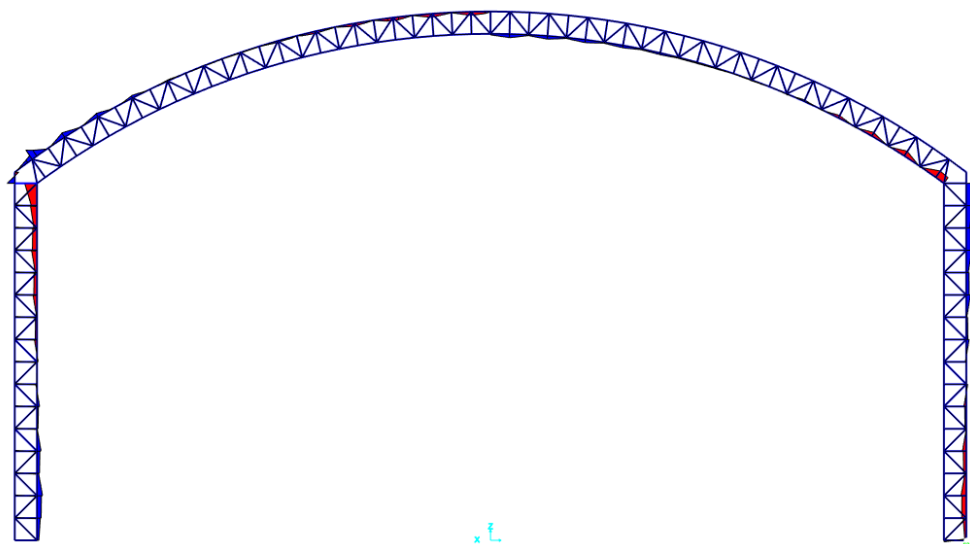
*Diagrama de fuerzas axiales en Ton en estructura parabólica*



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.17**

*Diagrama de momentos flectores en XZ en Ton en estructura parabólica*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Para seleccionar los ángulos y barras lisas de acero A36 a usar en primera instancia se realizó una cotización con diferentes proveedores de perfiles de acero en Arequipa, tales como “Aceros comerciales” y “Aceros Arequipa” de modo que se tendrán cuadros de cotizaciones más adelante, sin embargo, la validación de la selección de estos perfiles, se verá en la evaluación de los ratios de diseño en el apartado 4.7.1.

➤ **Selección de ángulos para fabricación de vigas y columnas:**

Para las bridas de las columnas se tendrá en consideración un ancho de ala de 4” como criterio constructivo dado que los diagonales y arriostres laterales serán de una dimensión mucho menor. Por lo tanto, se usarán para las bridas el ángulo de 4 x 4 x 5/16”.

**Figura 4.18**

*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 de ángulos para bridas de columnas*

<b>COTIZACION DE ANGULOS L A36 DE 6 m PARA BRIDAS DE COLUMNAS</b>		
<b>Perfil L</b>	<b>Peso/6 m</b>	<b>Precio/Pieza</b>
5 x 5 x 5/8"	179.358 kg	S/. 807.11
5 x 5 x 1/2"	144.916 kg	S/. 652.12
4 x 4 x 5/8"	141.074 kg	S/. 634.83
4 x 4 x 1/2"	114.288 kg	S/. 514.30
4 x 4 x 3/8"	82.618 kg	S/. 371.78
<b>4 x 4 x 5/16"</b>	<b>73.444 kg</b>	<b>S/. 330.50</b>
4 x 4 x 1/4"	58.996 kg	S/. 265.48

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

De igual forma para las bridas de las vigas se considerará un ancho de ala de 3” dado que los diagonales y arriostres laterales serán barras lisas de dimensión mucho menor en relación a las bridas. Por lo tanto, se usarán para las bridas un ángulo de 3 x 3 x 5/16.

**Figura 4.19**

*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 de ángulos para bridas de vigas*

<b>COTIZACION DE ANGULOS L A36 DE 6 m PARA BRIDAS DE VIGAS</b>		
<b>Perfil L</b>	<b>Peso/6 m</b>	<b>Precio/Pieza</b>
5 x 5 x 1/2"	144.916 kg	S/. 652.12
4 x 4 x 5/8"	141.074 kg	S/. 634.83
4 x 4 x 1/2"	114.288 kg	S/. 514.30
3 x 3 x 1/2"	83.932 kg	S/. 377.69
3 x 3 x 3/8"	64.289 kg	S/. 289.30
<b>3 x 3 x 5/16"</b>	<b>54.467 kg</b>	<b>S/. 245.10</b>
3 x 3 x 1/4"	43.752 kg	S/. 196.88

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Para arriostres y diagonales de columnas se usará el ángulo de 1 3/4 x 1 3/4 x 3/16”.

**Figura 4.20**

*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 de ángulos para diagonales*

<b>COTIZACION DE ANGULOS L A36 DE 6 m PARA DIAGONALES Y ARRIOSTRES LATERALES</b>		
<b>Perfil L</b>	<b>Peso/6 m</b>	<b>Precio/Pieza</b>
2 1/2 x 2 1/2 x 5/16"	44.645 kg	S/. 200.90
2 x 2 x 3/8"	41.966 kg	S/. 188.85
2 x 2 x 5/16"	35.002 kg	S/. 157.51
2 x 2 x 1/4"	28.483 kg	S/. 128.17
1 3/4 x 1 3/4 x 1/4"	24.733 kg	S/. 111.30
1 3/4 x 1 3/4 x 3/16"	18.929 kg	S/. 85.18
1 3/4 x 1 3/4 x 1/8"	12.858 kg	S/. 57.86

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

➤ **Selección de barras lisas para diagonales, montantes, correas y templadores:**

Dada la siguiente cotización se usarán para las correas la barra de 1/2" dado que sus cargas son mínimas, y la barra de 7/8" para los arriostres laterales y diagonales de las vigas curvas de la estructura parabólica dado que estas soportan mayores esfuerzos axiales.

En el caso de los templadores se usará la barra 5/8", en este caso, su validación por resistencia se encuentra detallado en el apartado 4.2.1. donde se validó también la selección de los templadores de la estructura de alma llena.

**Figura 4.21**

*Cuadro de cotización sin IGV de diciembre 2022 para barras redondas lisas*

<b>COTIZACION DE BARRAS REDONDAS A36 DE 6 m</b>		
<b>Diametro</b>	<b>Peso/6 m</b>	<b>Precio/Pieza</b>
1 1/8"	30.18 kg	S/. 135.81
1"	23.88 kg	S/. 107.46
7/8"	18.30 kg	S/. 82.35
3/4"	13.44 kg	S/. 60.48
5/8"	9.30 kg	S/. 41.85
1/2"	5.94 kg	S/. 26.73
3/8"	3.36 kg	S/. 15.12

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Cabe decir que, para los miembros correspondientes a barras lisas, los cuales conforman diagonales y arriostres de las vigas curvas, templadores y correas, no tienen un límite de relación de esbeltez definido por la AISC 360 tanto para compresión o tracción según los capítulos D y E de la presente norma. Sin embargo, para miembros a compresión se debe de tener cuidado con

su longitud, dado que su capacidad a compresión baja drásticamente mientras más larga sea su longitud no arriostrada.

$$\frac{k \cdot L}{r_{\min}} \leq 200 \text{ (No aplica a barras en compresión)}$$

Donde:

k = Factor de longitud efectiva.

L = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro (m).

r = radio de giro (m).

Por lo tanto, los perfiles que se usarán serán los siguientes:

- Ángulos A36 de 4 x 4 x 5/16” y 3 x 3 x 5/16” para construcción de bridas de columnas y vigas respectivamente.

**Figura 4.22**

*Ángulos de acero A36 de Aceros comerciales para bridas de vigas y columnas*

SISTEMA METRICO				PESO ESTIMADO	
(mms)				Kg/m	Kg/6m
3	x	3	x 5/16	9.078	54.467
4	x	4	x 5/16	12.200	73.444

*Fuente.* De “Catálogo de productos” por Aceros comerciales, 2023.

- Ángulos A36 de 1 3/4 x 1 3/4 x 3/16” para arriostres laterales y diagonales de columnas de estructura parabólica.

**Figura 4.23**

*Ángulos de acero A36 de Aceros comerciales para miembros internos de columnas*

SISTEMA METRICO				PESO ESTIMADO	
(mms)				Kg/m	Kg/6m
1 3/4	x	1 3/4	x 3/16	3.155	18.929

*Fuente.* De “Catálogo de productos” por Aceros comerciales, 2023.

- Barras redondas lisas de 5/8” para templadores de estructura parabólica.

**Figura 4.24**

*Barras lisas circulares de 5/8” de A36 de Aceros comerciales*

SISTEMA INGLES		PESO ESTIMADO	
(pulgadas)		Kg/m	Kg/6m
5/8		1.550	9.30

*Fuente.* De “Catálogo de productos” por Aceros comerciales, 2023.

- Barras redondas lisas de 1/2” y 7/8” para construcción de correas y arriostres laterales y diagonales de vigas respectivamente.

**Figura 4.25**

*Barras lisas circulares de 1/2” y 7/8” de A36 de Aceros comerciales*

SISTEMA INGLES (pulgadas)	PESO ESTIMADO	
	Kg/m	Kg/6m
1/2	0.990	5.94
7/8	3.050	18.30

Fuente. De “Catálogo de productos” por Aceros comerciales, 2023.

### 4.3. Pre-dimensionamiento de estructuras

#### 4.3.1. Pre-dimensionamiento de estructura de alma llena

Para determinar la altura “H” de la cumbrera respecto a las columnas, usamos una formula muy utilizada en el diseño estructural de galpones industriales, esta viene de la experiencia de muchos ingenieros en este campo en diferentes proyectos de ingeniería estructural:

$$\frac{Luz}{15} < H < \frac{Luz}{10}$$

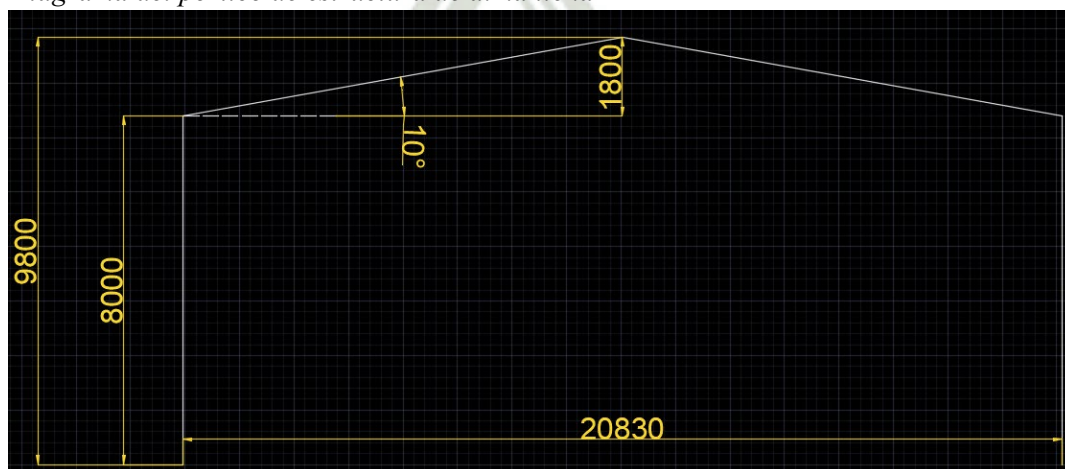
$$\frac{20.83 \text{ m}}{15} < H < \frac{20.83 \text{ m}}{10}$$

$$1.389 \text{ m} < H < 2.083 \text{ m}$$

Por lo tanto, usando una altura H de 1.80 m, tenemos la siguiente geometría del pórtico:

**Figura 4.26**

*Diagrama del pórtico de estructura de alma llena*

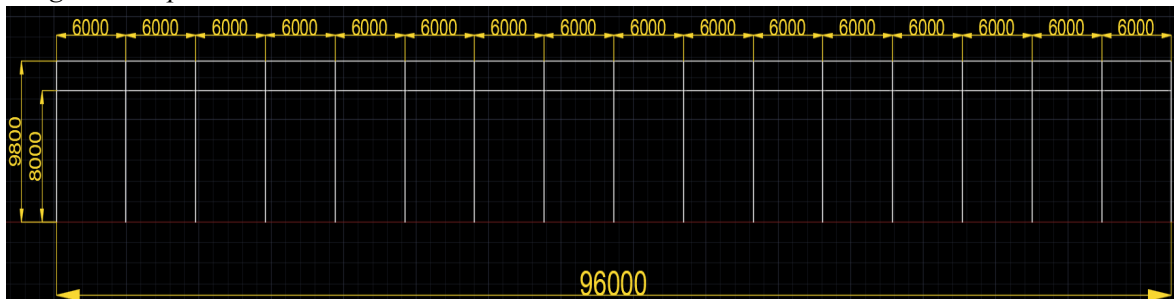


Fuente. Fuente propia, 2023.

Además, para cubrir los 96 m de longitud de la estructura, se dividirá en 17 pórticos de 6 m tal como se muestra a continuación:

**Figura 4.27**

*Diagrama de pórticos laterales de estructura de alma llena*

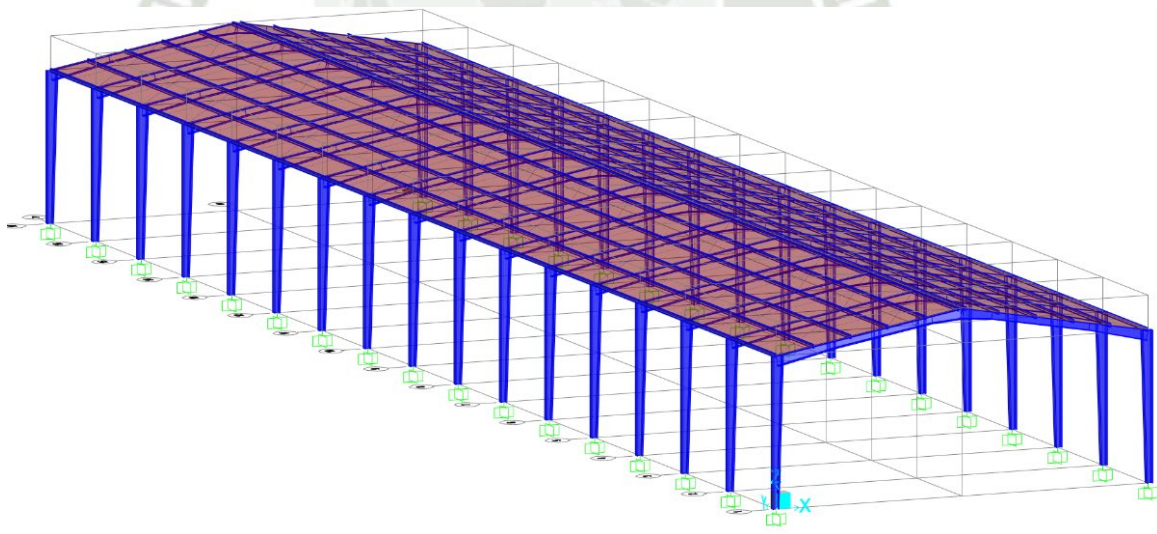


*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, con los perfiles y dimensiones ya definidos se tendría el siguiente modelo a analizar:

**Figura 4.28**

*Modelado tridimensional de estructura de alma llena*



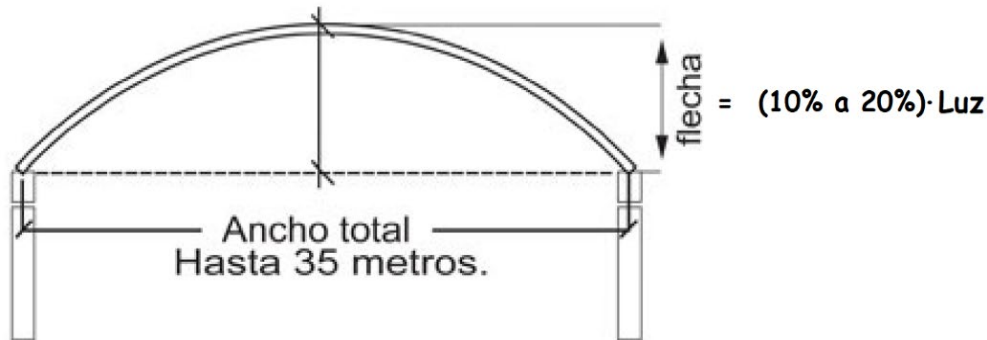
*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.3.2. Pre-dimensionamiento de estructura parabólica

La estructura del tipo parabólico estará compuesta de estructuras de celosía, esta cuenta con la misma luz de 20.83 m y con una flecha que puede calcularse según recomendaciones de diseño que se han elaborado con el pasar de los años a través de la experiencia de muchos profesionales en el ámbito de la ingeniería estructural:

**Figura 4.29**

*Pre-dimensionamiento de flecha de estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

$$0.10 \cdot \text{Luz} < \text{Flecha} < 0.20 \cdot \text{Luz}$$

$$0.10 \cdot 20.83\text{m} < \text{Flecha} < 0.20 \cdot 20.83\text{m}$$

$$2.083 \text{ m} < \text{Flecha} < 4.166 \text{ m}$$

Por lo tanto, usando una flecha de 3.50 m, se tiene la siguiente geometría del pórtico:

**Figura 4.30**

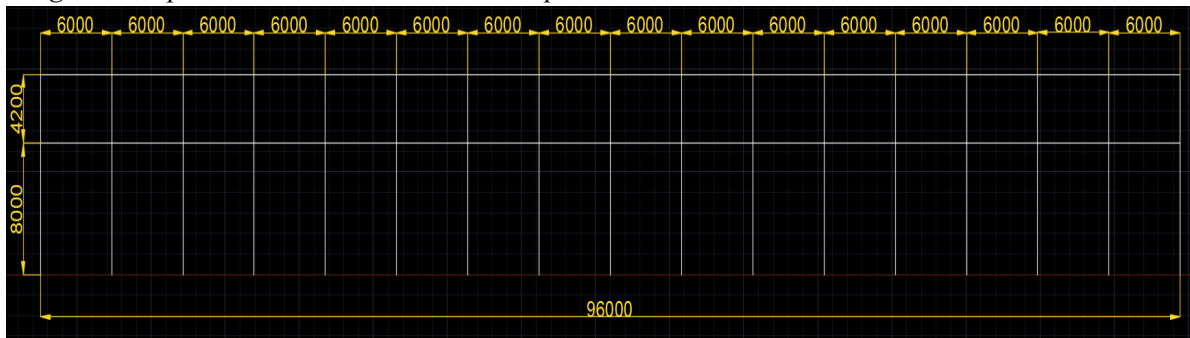
*Diagrama del pórtico de estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Además, de igual forma que en el modelo de la estructura de alma llena, para cubrir los 96 m de longitud de la estructura, se dividirá en 17 pórticos de 6 m tal como se muestra a continuación:

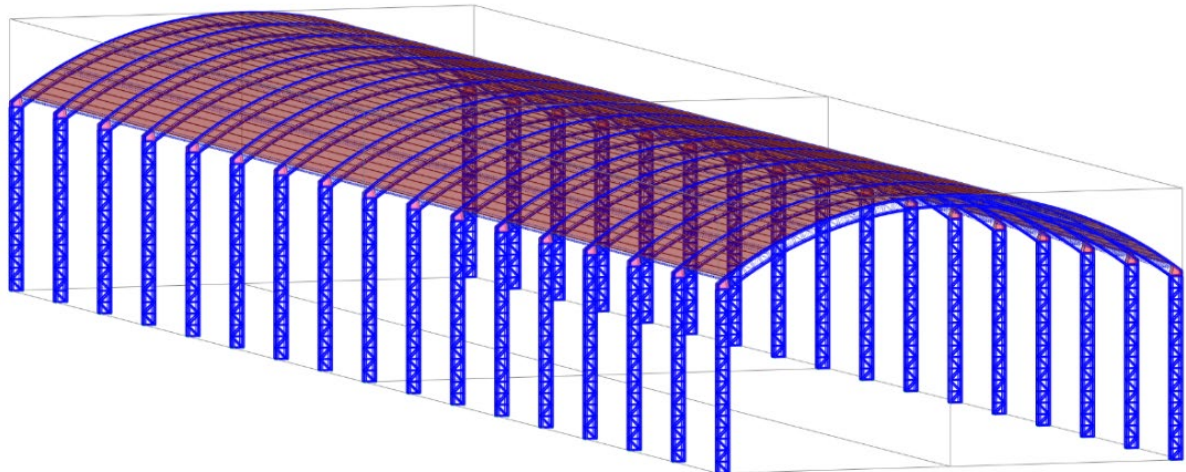
**Figura 4.31**  
*Diagrama de pórticos laterales de estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, con los perfiles y dimensiones ya definidos se tendría el siguiente modelo a analizar:

**Figura 4.32**  
*Modelado tridimensional de estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.4. Cómputo de cargas

##### 4.4.1. Patrones de carga en estructura de alma llena

##### 4.4.1.1. Carga muerta en estructura de alma llena

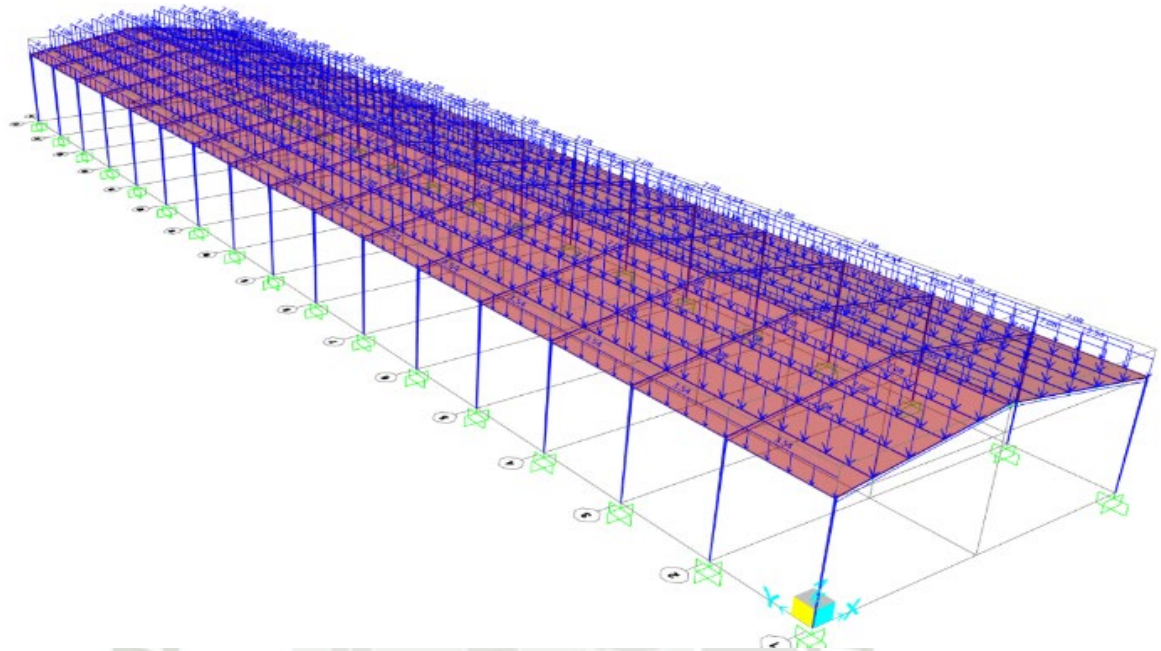
Esta carga muerta corresponde al peso de todos los miembros que conforman la estructura de alma llena, esta carga será determinada por el mismo software de diseño estructural. Además, este caso de carga comprende también cargas extras debido a elementos adicionales ubicados en la estructura, tales como luminarias, cobertura, instalaciones eléctricas, etc.

- Carga muerta por estructura = Determinado por software SAP2000

- Carga de cobertura tipo *GL* Aluzinc de 0.4 mm = 3.35 kg/m<sup>2</sup> (El análisis se detalla en el apartado 4.6.1)

**Figura 4.33**

*Distribución de fuerzas por peso de cobertura en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, se tiene como caso de carga total para carga muerta:

Caso de carga (D) = Carga muerta de estructura + Carga muerta de cobertura

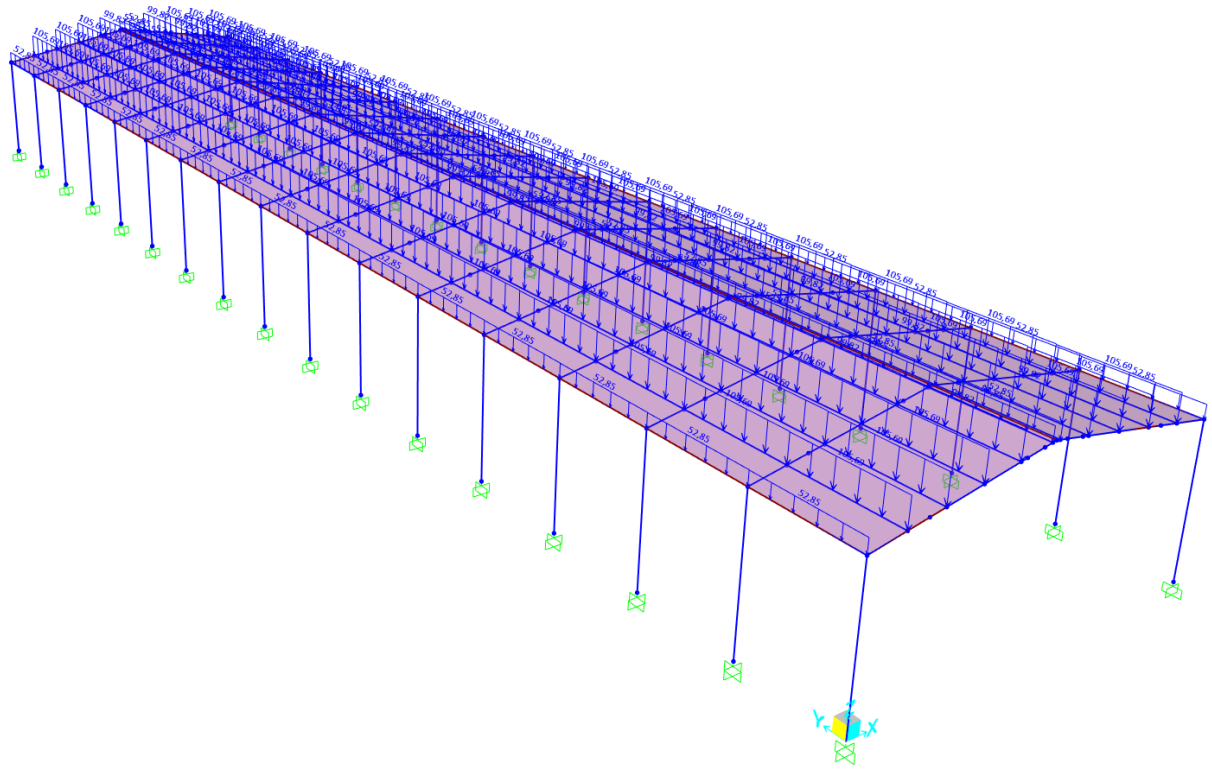
#### **4.4.1.2. Carga viva en estructura de alma llena**

Según el artículo 7.1 d) de la norma E020 “Norma de Cargas” corresponde usar una carga viva de 30 kg/m<sup>2</sup> para techos con cobertura liviana, sin embargo, como criterio conservador se usará una carga viva de 50 kg/m<sup>2</sup>.

$$\text{Carga Viva (L)} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

**Figura 4.34**

*Distribución de fuerzas por carga viva en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.4.1.3. Carga de viento en estructura de alma llena

Según el artículo 12.7 de la norma E020 “Norma de Cargas” se debe primero determinar la velocidad de diseño del viento que afectará a la estructura.

Según el Anexo F el mapa eólico del Perú indica que para la región de Arequipa se tiene una velocidad del viento de 90 km/h, y además, se tiene una altura máxima de la estructura de 9.8 m.

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

Donde:

$V_h$  = velocidad de diseño en la altura  $h$  en km/h.

$V$  = velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h.

$h$  = altura sobre el terreno en metros.

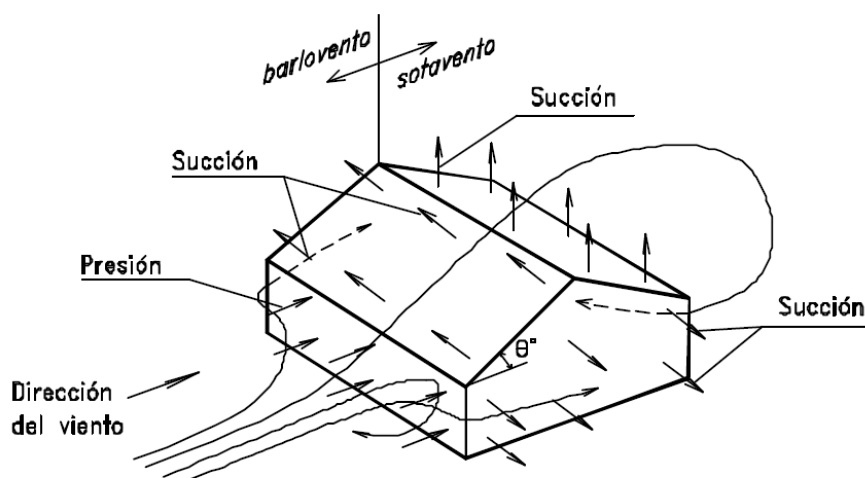
Por lo tanto:

$$V_h = 90 \cdot \left(\frac{9.8}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 89.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

**Figura 4.35**

*Acción del viento en caras de una estructura*



*Fuente.* De “Diseño Estructural en Acero” por L. Zapata, 2018, p. 9.

La norma E020 indica que la carga exterior de viento puede ser de presión o succión dependiendo de la superficie de análisis.

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot V_h^2$$

Donde:

$P_h$  = presión o succión del viento a una altura  $h$  en kg-f/m<sup>2</sup>

$C$  = factor de forma adimensional indicado en la Tabla 4 de la norma E020.

$V_h$  = velocidad de diseño a la altura  $h$ , en km/h, definida en el Artículo 12 de la norma E020.

Por lo tanto:

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot \left(89.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

Dado que se tiene la dirección en viento en X y Y, se determinan los factores de forma adimensionales “C” según la Tabla 4 de la norma E020:

**Figura 4.36**

Tabla 4 - Factores de forma C para diferentes superficies

**TABLA 4  
FACTORES DE FORMA (C) \***

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0,8	-0,6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1,5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0,7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2,0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	+0,8	-0,5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0,3-0,7	-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 ó inclinadas (planas ó curvas) paralelas a la dirección del viento	-0,7	-0,7

\* El signo positivo indica presión y el negativo succión.

Fuente. De “Norma de Cargas E020” por El Peruano, 2006.

➤ **Carga de viento en X:**

- Barlovento 01 con C = +0.3:

$$P_{hb} = 0.005 \cdot 0.3 \cdot \left(89.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hb} = 12.042 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- Barlovento 02 con C = -0.7:

$$P_{hb} = 0.005 \cdot -0.7 \cdot \left(89.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hb} = -28.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

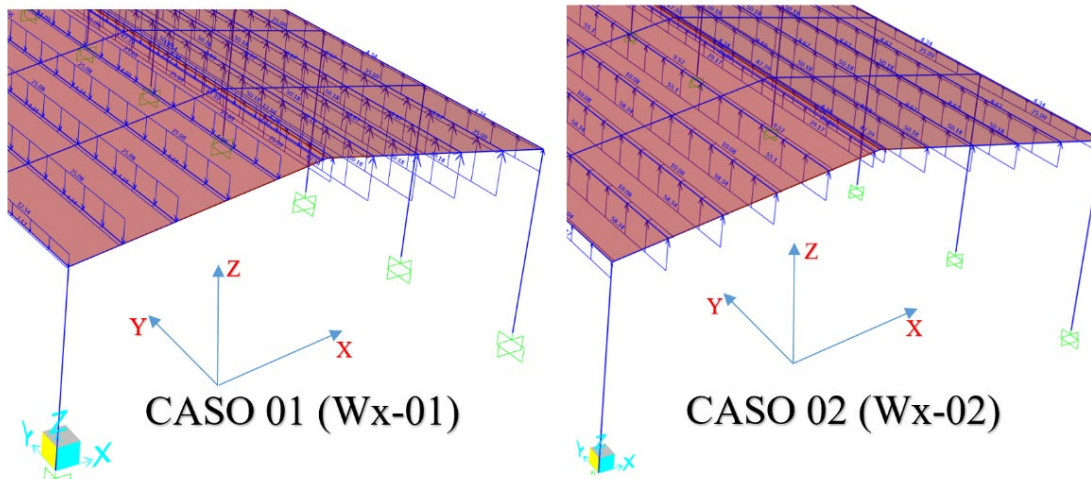
- Sotavento 01 con C = -0.6:

$$P_{hs} = 0.005 \cdot -0.6 \cdot \left(89.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hs} = -24.09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

**Figura 4.37**

*Distribución de fuerzas por cargas de viento en X en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

➤ **Carga de viento en Y:**

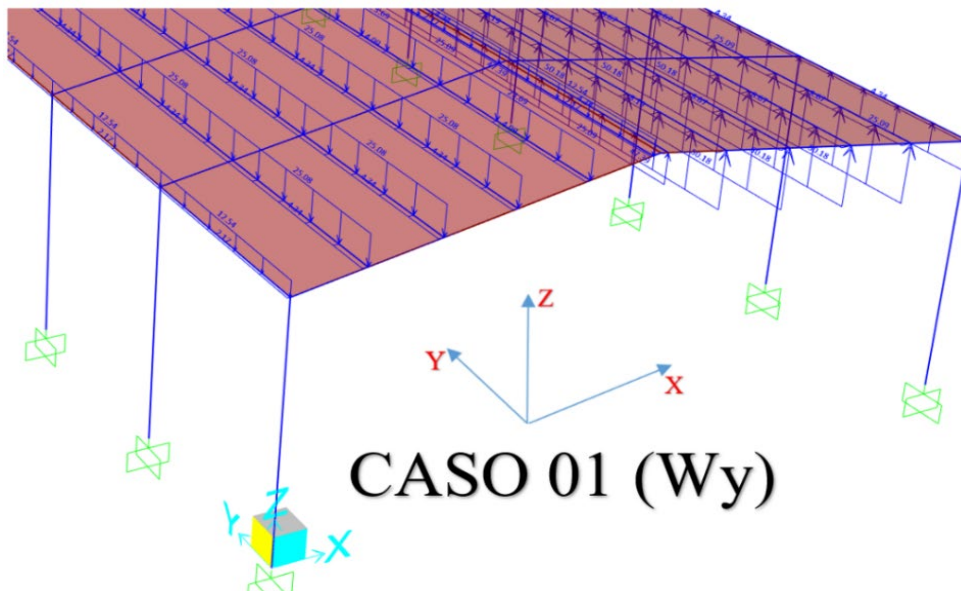
- Sotavento 01 con  $C = -0.7$ :

$$P_{hb} = 0.005 \cdot -0.7 \cdot \left(89.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hb} = -28.01 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

**Figura 4.38**

*Distribución de fuerzas por carga cargas de viento en Y en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**4.4.1.4. Análisis sísmico estático en estructura de alma llena**

Para este análisis se deben encontrar los parámetros sísmicos según la norma E.030 “Diseño Sismorresistente”.

Según la ubicación de la estructura (Arequipa – Cerro Colorado) se determina la zona sísmica con ayuda del anexo II de la presente norma. El artículo 28.1 indica que el análisis sísmico estático solo aplica a estructuras ubicadas en la zona sísmica tipo 1, sean estas regulares o irregulares, por lo tanto, dado que la estructura se encuentra en la zona sísmica tipo 3, se debe realizar un análisis sísmico dinámico modal espectral, sin embargo, se debe de efectuar el análisis estático para usarlo de comparación para la verificación de la fuerza cortante mínima estipulada por el artículo 29.4 de la presente norma.

**Figura 4.39**

Anexo II – Zonificación sísmica

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
		CERRO COLORADO		
		CHARACATO		
		CHIGUATA		
		JACOBO HUNTER		
		JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO		
		MARIANO MELGAR		
		MIRAFLORES		
		MOLLEBAYA		
		PAUCARPATA		
		POCSI		
		QUEQUEÑA		
		SABANDIA		
		SACHACA		
	AREQUIPA		3	VEINTIUN DISTRITOS

Fuente. De “Norma E030 Diseño Sismorresistente” por El Peruano, 2018.

Teniendo el valor de la zona sísmica, se determina mediante las siguientes tablas de la presente norma, los valores para Z y U:

**Figura 4.40**

Tabla 1: Factores de zona “Z”

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Fuente. De “Norma E030 Diseño Sismorresistente” por El Peruano, 2018.

**Figura 4.41**

*Tabla 5: Categoría de las edificaciones y factor "U"*

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0

*Fuente.* De "Norma E030 Diseño Sismorresistente" por El Peruano, 2018.

A continuación, con la Tabla 07 del artículo 18 de la presente norma se determina el coeficiente básico de reducción sísmica a partir del sistema estructural. En este caso, las estructuras de alma llena tienen sistemas estructurales OMF "Pórticos ordinarios resistentes a momentos".

**Figura 4.42**

*Tabla 7: Sistemas estructurales*

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción $R_0$ (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	3
<b>Madera</b>	7(**)

*Fuente.* De “Norma E030 Diseño Sismorresistente” por El Peruano, 2018.

Considerando un suelo del tipo intermedio  $S_2$ , se estima según las tablas el parámetro sísmico  $S$ , así como el valor del periodo largo ( $T_P$ ) y corto ( $T_L$ ):

**Figura 4.43**

*Tabla 3 y 4: Factores de suelo  $S$  y periodos  $T_P$  y  $T_L$*

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO “S”					
ZONA	SUELO	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
	$Z_4$		0,80	1,00	1,05
$Z_3$		0,80	1,00	1,15	1,20
$Z_2$		0,80	1,00	1,20	1,40
$Z_1$		0,80	1,00	1,60	2,00

Tabla N° 4 PERÍODOS “ $T_P$ ” Y “ $T_L$ ”				
	Perfil de suelo			
	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
$T_P$ (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
$T_L$ (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

*Fuente.* De “Norma E030 Diseño Sismorresistente” por El Peruano, 2018.

Para hallar el último parámetro sísmico “C”, se requiere del periodo de la estructura, esta se puede calcular con las fórmulas propuestas por la norma E030, sin embargo, para ser más exacto se procede a realizar un análisis modal mediante SAP2000.

Para ello primero se define la masa sísmica, dado que la edificación pertenece a la categoría C, la norma exige la siguiente masa participativa:

$$MS = 100\% \cdot D + 25\% \cdot L$$

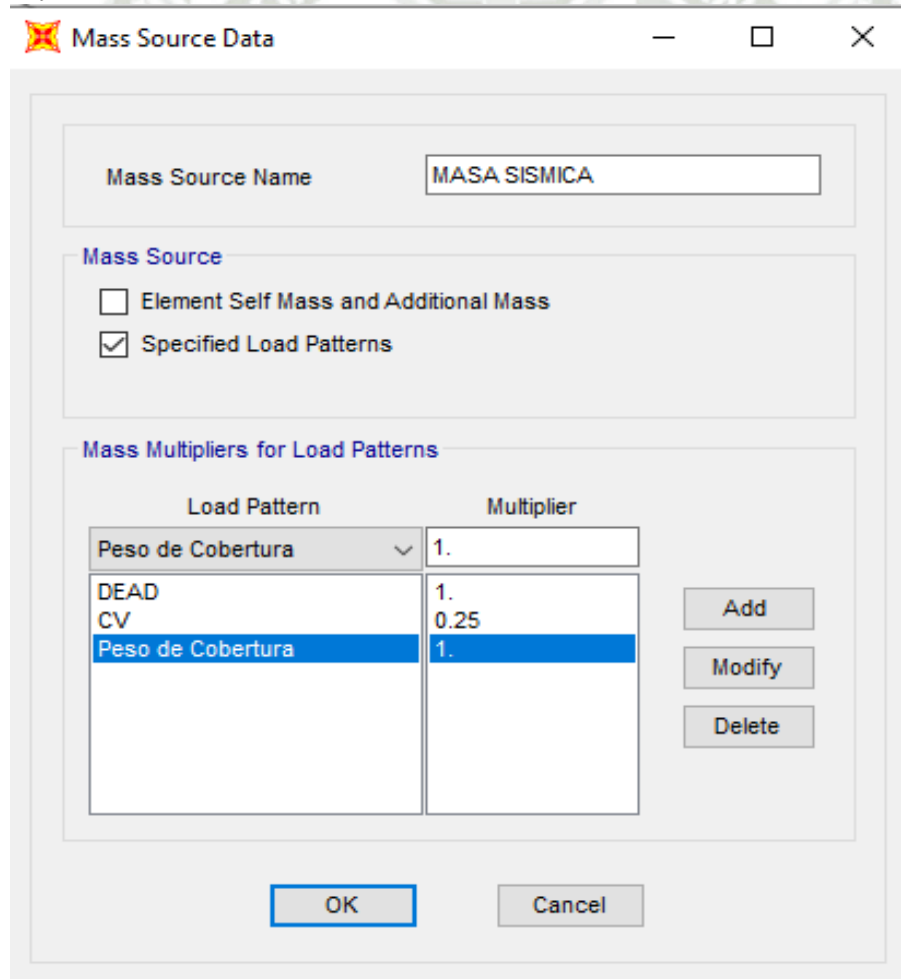
Donde:

MS = Masa sísmica (kg-f).

D = Carga muerta (kg-f)

L = Carga Viva (kg-f).

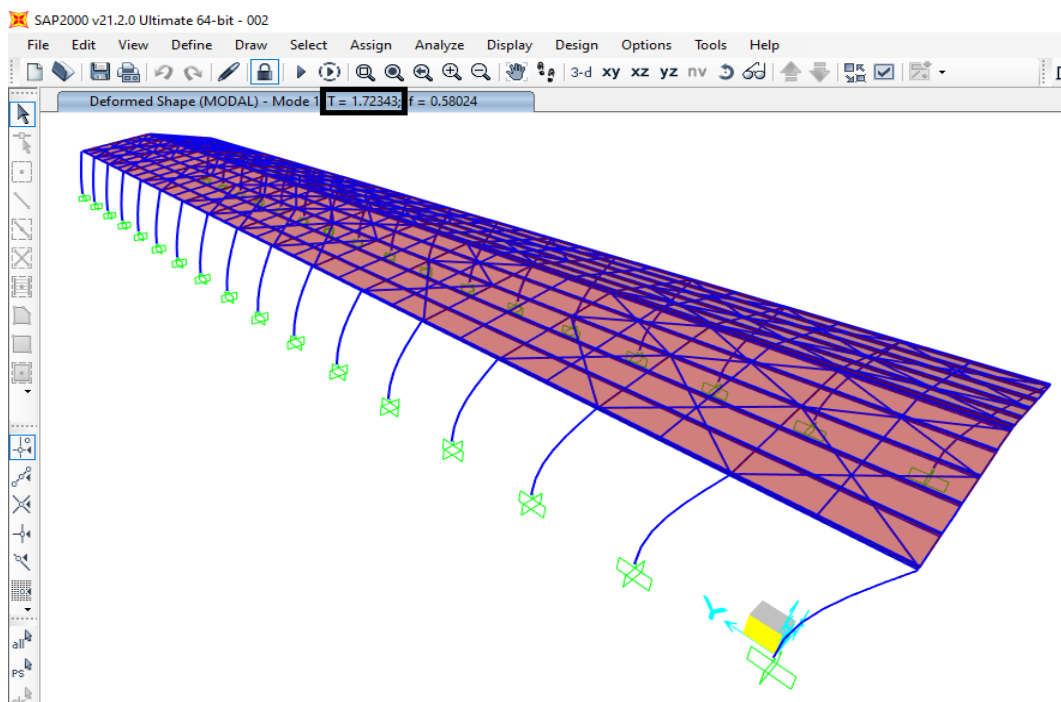
**Figura 4.44**  
*Definición de la masa sísmica con SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.45**

*Análisis modal con SAP2000 en estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, se tiene un periodo de 1.72 s, parámetros de sitio  $T_P$  y  $T_L$  de 0.6 y 2.0 s respectivamente. Entonces haciendo uso del artículo 14 de la presente norma se procede a calcular el parámetro sísmico “C”.

**Figura 4.46**

*Fórmulas para la obtención del parámetro sísmico C*

$$T < T_P$$

$$C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L$$

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L$$

$$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

*Fuente.* De “Norma E030 Diseño Sismorresistente” por El Peruano, 2018.

Por lo tanto, dado que:

$$T_P < T < T_L$$

$$0.6 \text{ s} < 1.72 \text{ s} < 2 \text{ s}$$

Usamos la siguiente expresión:

$$C = 2.5 \cdot \left( \frac{T_P}{T} \right)$$

$$C = 2.5 \cdot \left( \frac{0.6}{1.72} \right)$$

$$C = 0.872$$

Cabe decir que el valor  $R_0$  es igual a  $R$  dado en este modelo de estructura de alma llena se consideraron los parámetros irregularidad ( $I_a$ ,  $I_p$ ) como despreciables.

Por lo tanto, con todos estos parámetros sísmicos se procede a determinar los coeficientes del cortante basal del sismo estático.

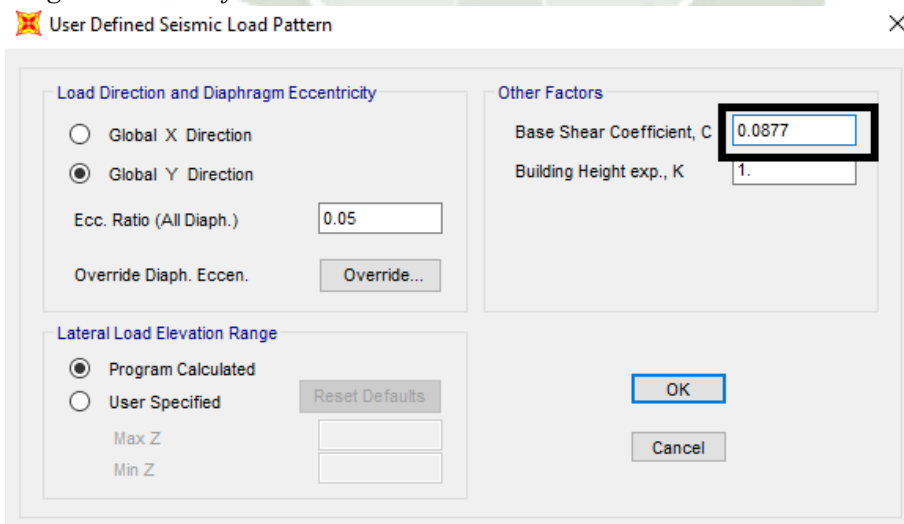
$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

$$V = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 0.872 \cdot 1.15}{4} \cdot P$$

$$V = 0.0877 \cdot P$$

Este coeficiente 0.0877 será utilizado para el sismo estático en X y Y, el cual será aplicado mediante el software SAP2000.

**Figura 4.47**  
*Asignación de coeficiente sísmico en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Además, según la norma E030 artículo 28.2.2, se debe hacer la siguiente comprobación:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

$$\frac{0.872}{4} \geq 0.11$$

$$0.218 \geq 0.11 \text{ (OK)}$$

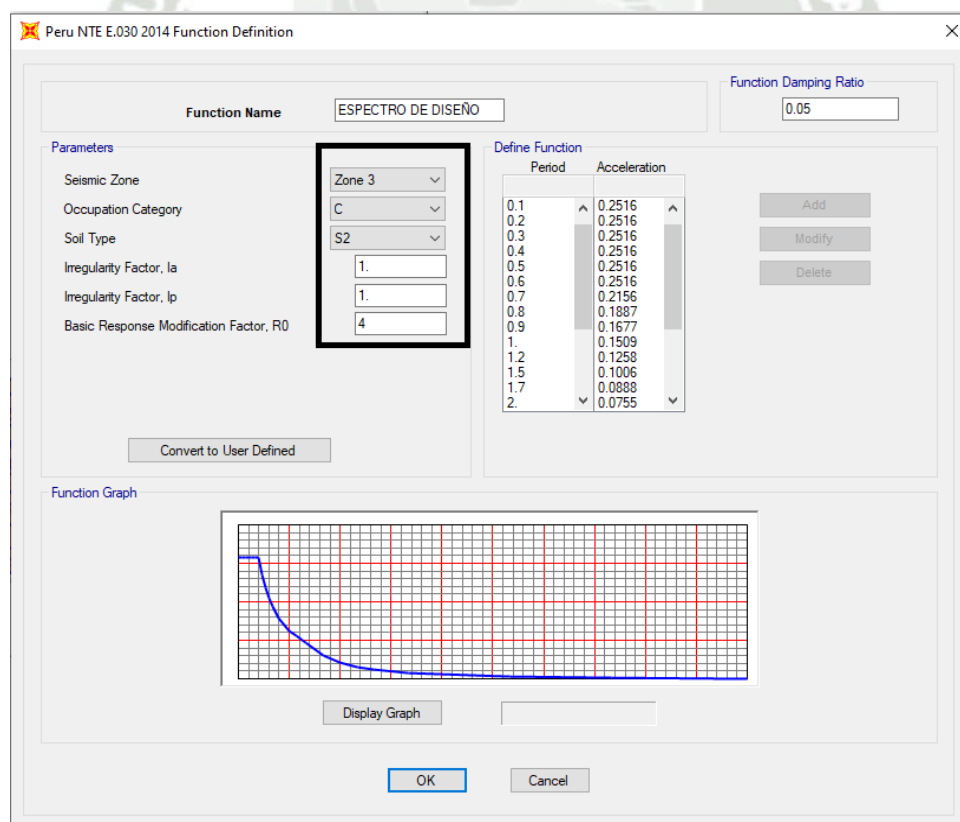
Este sismo estático, será utilizado únicamente para la comprobación de la fuerza cortante mínima del sismo dinámico establecido por la norma.

#### 4.4.1.5. Análisis sísmico dinámico modal espectral en estructura de alma llena

Este análisis dinámico sirve para cualquier estructura sin importar a que zona sísmica pertenezca, consiste en aplicar un espectro de diseño en la estructura, este espectro de diseño de la norma E030, refleja en base a probabilidades todos los sismos que pueden producirse en el Perú, de modo que afecta a la estructura con una carga producida por un sismo muy severo con un periodo de retorno de 476 años.

Este sismo dinámico es el que se usará para el diseño de la estructura de alma llena, por lo tanto, se procede a definir el espectro de diseño en SAP2000 utilizando los parámetros sísmicos calculados anteriormente.

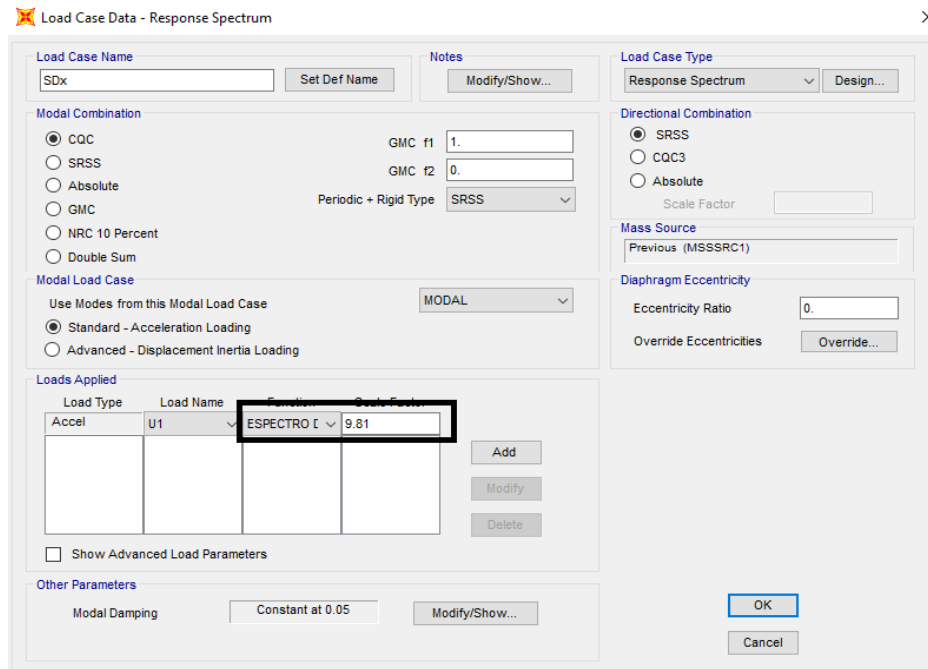
**Figura 4.48**  
*Definición del espectro de diseño de la E030 en SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Se procede a definir los casos de carga de sismos dinámicos en X y Y dado que estos serán usados para el diseño.

**Figura 4.49**  
*Definición de casos de carga para sismos dinámicos en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Seguidamente de debe de hallar el valor de las fuerzas cortantes en la base por el sismo estático y dinámico para hacer las comprobaciones de fuerza cortante mínima según la norma E030.

**Figura 4.50**  
*Reacciones en la base por sismos estáticos y dinámicos en SAP2000*

**Base Reactions**

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Filter:

	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf
▶	SEx	LinStatic		-11.0043	2.983E-14	2.742E-12
	SEy	LinStatic		3.336E-13	-11.0043	4.462E-13
	SDx	LinRespSpec	Max	28.6315	2.153E-09	3.556E-06
	SDy	LinRespSpec	Max	9.178E-08	10.7563	4.79E-06

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

La norma E030 en el artículo 29.4 indica que la fuerza cortante mínima del sismo para estructuras regulares debe obedecer lo siguiente:

$$|F_{\text{min cortante en base de sismo dinámico}}| \geq 0.8 \cdot |F_{\text{cortante en base de sismo estático}}|$$

- Por lo tanto, en X:

$$28.63 \geq 0.8 \cdot 11.0043$$

$$28.63 \text{ Ton} - f > 8.80 \text{ Ton} - f \text{ (Si Cumple, No hay que escalar)}$$

- Por lo tanto, en Y:

$$10.756 \geq 0.8 \cdot 11.0043$$

$$10.756 \text{ Ton} - f \geq 8.80 \text{ Ton} - f \text{ (Si Cumple, No hay que escalar)}$$

#### 4.4.2. Patrones de carga en estructura parabólica

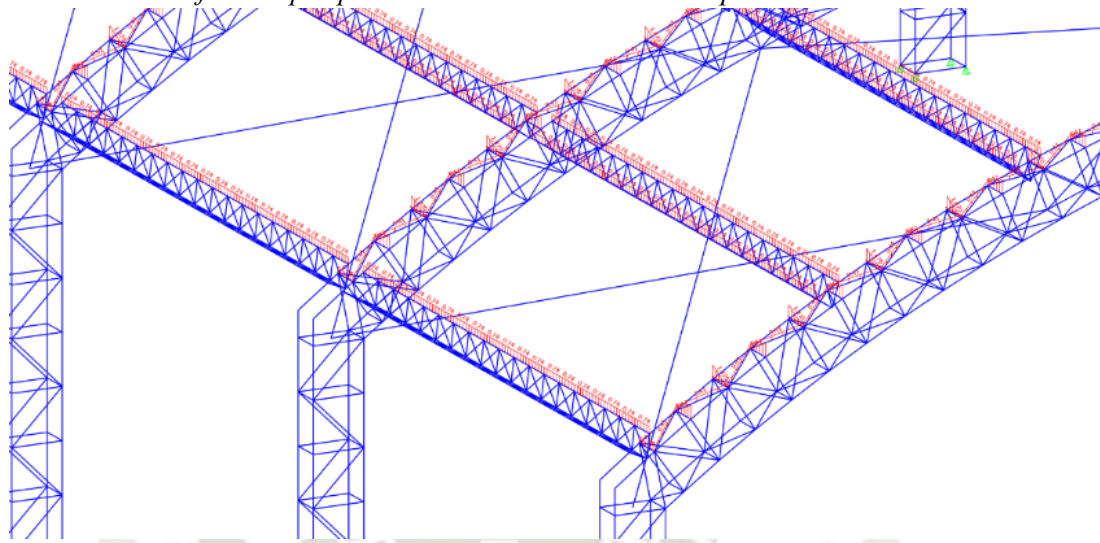
##### 4.4.2.1. Carga muerta en estructura parabólica

Esta carga muerta corresponde al peso de todos los miembros que conforman la estructura parabólica, esta carga será determinada por el mismo software de diseño estructural. Además, este caso de carga comprende también cargas extras debido a elementos adicionales ubicados en la estructura, tales como luminarias, cobertura, instalaciones eléctricas, etc.

- Carga muerta por estructura = Determinado por software SAP2000
- Carga de cobertura tipo TR-4 PRECOR Curvo de acero Aluzinc 0.4 mm = 3.35 kg/m<sup>2</sup>  
(El análisis se detalla en el apartado 4.6.2)

**Figura 4.51**

*Distribución de fuerzas por peso de cobertura en estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, se tiene como caso de carga total para carga muerta:

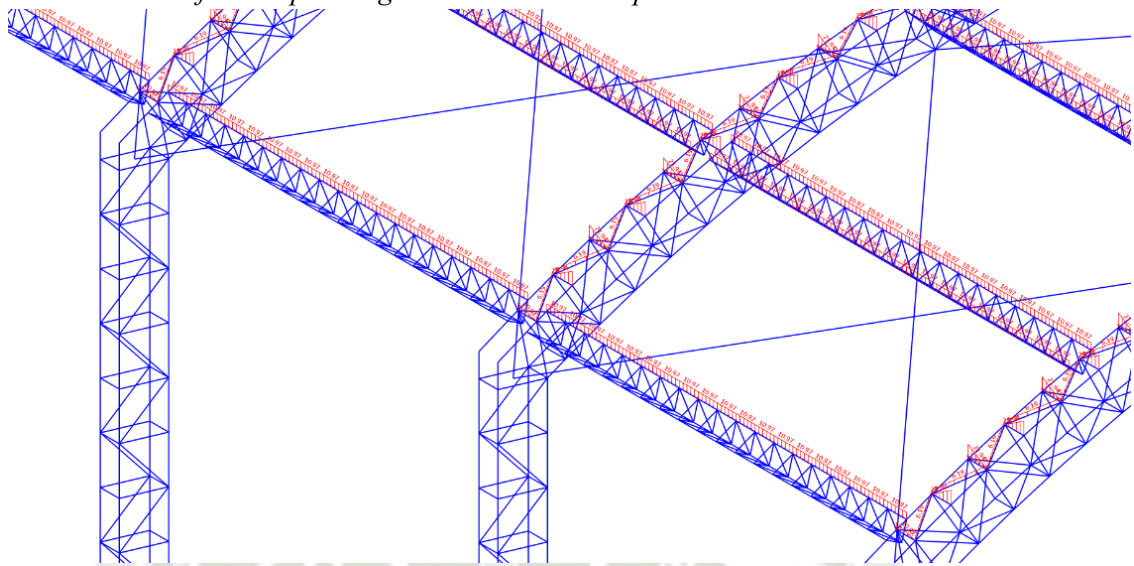
Caso de carga (D) = Carga muerta de estructura + Carga muerta de cobertura

#### **4.4.2.2. Carga viva en estructura parabólica**

Según el artículo 7.1 d) de la norma E020 “Norma de Cargas” corresponde usar una carga viva de 30 kg/m<sup>2</sup> para techos con cobertura liviana, sin embargo, como criterio conservador se usará lo citado en el artículo 7.1 c) una carga viva de 50 kg/m<sup>2</sup> para techos curvos.

$$\text{Carga Viva (L)} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

**Figura 4.52**  
*Distribución de fuerzas por carga viva en estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.4.2.3. Carga de viento en estructura parabólica

A igual que el apartado 4.4.1.3 se debe primero determinar la velocidad de diseño del viento que afectará a la estructura.

Según el Anexo F el mapa eólico del Perú indica que para la región de Arequipa se tiene una velocidad del viento de 90 km/h, y, además, se tiene una altura máxima de la estructura de 11.5 m.

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

Donde:

$V_h$  = velocidad de diseño en la altura  $h$  en km/h.

$V$  = velocidad de diseño hasta 10 m de altura en km/h.

$h$  = altura sobre el terreno en metros.

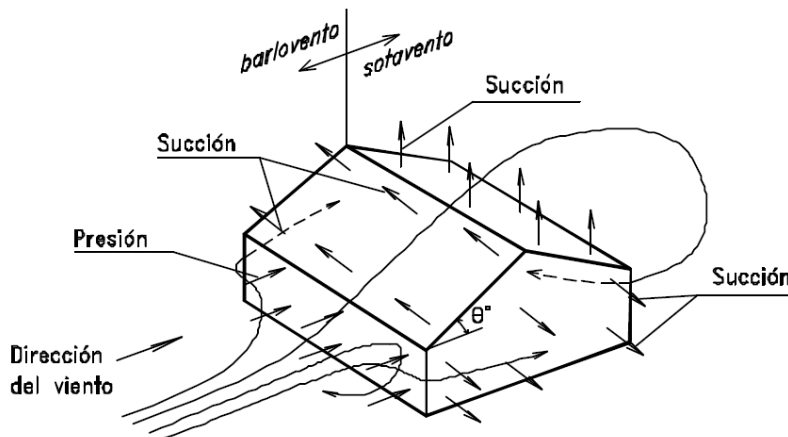
Por lo tanto:

$$V_h = 90 \cdot \left(\frac{11.5}{10}\right)^{0.22}$$

$$V_h = 92.81 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

**Figura 4.53**

*Acción del viento en caras de una estructura*



*Fuente.* De “Diseño Estructural en Acero” por L. Zapata, 2018.

La norma E020 indica que la carga exterior de viento puede ser de presión o succión dependiendo de la superficie de análisis.

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot V_h^2$$

Donde:

$P_h$  = presión o succión del viento a una altura  $h$  en kg-f/m<sup>2</sup>

$C$  = factor de forma adimensional indicado en la Tabla 4 de la norma E020.

$V_h$  = velocidad de diseño a la altura  $h$ , en km/h, definida en el Artículo 12 de la norma E020.

Por lo tanto:

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot \left(92.81 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

Dado que se tiene la dirección en viento en X y Y, se determinan los factores de forma adimensionales “C” según la Tabla 4 de la norma E020:

**Figura 4.54**

*Tabla 4 - Factores de forma C para diferentes superficies*

**TABLA 5.4  
FACTORES DE FORMA (C) \***

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

*Fuente.* De “Norma de Cargas E020” por El Peruano, 2006.

➤ **Carga de viento en X:**

- Barlovento 01 con  $C = +0.8$ :

$$P_{hb} = 0.005 \cdot 0.8 \cdot \left(92.81 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hb} = 34.45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- Barlovento 02 con  $C = -0.8$ :

$$P_{hb} = 0.005 \cdot -0.8 \cdot \left(92.81 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hb} = -34.45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

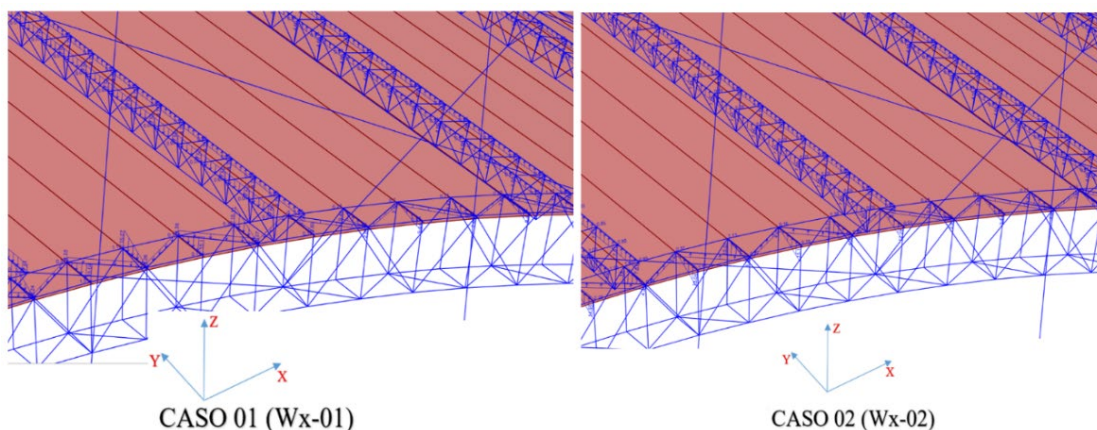
- Sotavento 01 con  $C = -0.5$ :

$$P_{hs} = 0.005 \cdot -0.5 \cdot \left(92.81 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)^2$$

$$P_{hs} = -21.53 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

**Figura 4.55**

*Distribución de fuerzas por cargas de viento en X en estructura parabólica*



*Fuente. Fuente propia, 2023.*

➤ **Carga de viento en Y:**

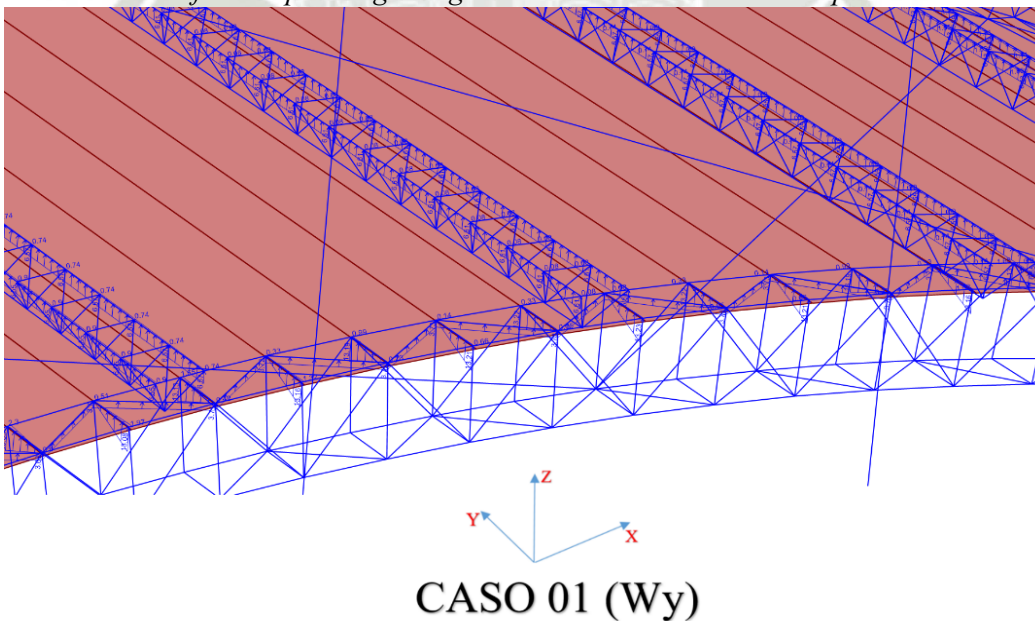
- Barlovento 01 con  $C = -0.7$ :

$$P_{hb} = 0.005 \cdot -0.7 \cdot (92.81)^2$$

$$P_{hb} = -30.15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

**Figura 4.56**

*Distribución de fuerzas por carga cargas de viento en Y en estructura parabólica*



*Fuente. Fuente propia, 2023.*

#### 4.4.2.4. *Análisis sísmico estático en estructura parabólica*

Para este análisis se deben encontrar los parámetros sísmicos según la norma E.030 “Diseño Sismorresistente”.

Dado que la estimación de los parámetros sísmicos se determinó en el apartado 4.4.1.4, se tienen los siguientes valores:

- Factor de zona  $Z = 0.35$
- Factor  $U = 1$
- Coeficiente básico de reducción  $R_o = 4$
- Factor de suelo  $S = 1.15$
- Periodo largo  $T_P = 0.6$
- Periodo corto  $T_L = 2$

Para hallar el último parámetro sísmico “C”, se requiere del periodo de la estructura, esta se puede calcular con las fórmulas propuestas por la norma E030, sin embargo, para ser más exacto se procede a realizar un análisis modal mediante SAP2000.

Para ello primero se define la masa sísmica, dado que la edificación pertenece a la categoría C, la norma exige la siguiente masa participativa:

$$MS = 100\% \cdot D + 25\% \cdot L$$

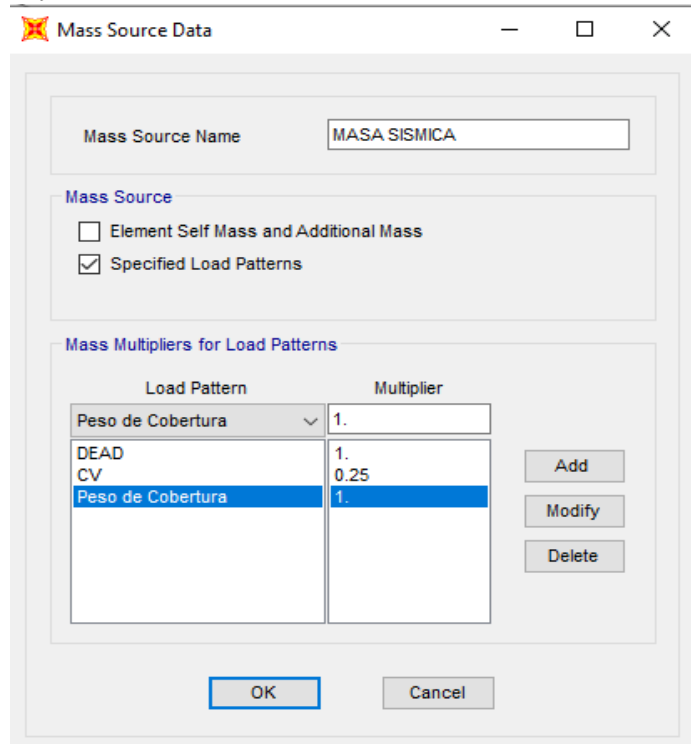
Donde:

MS = Masa sísmica (kg-f).

D = Carga muerta (kg-f)

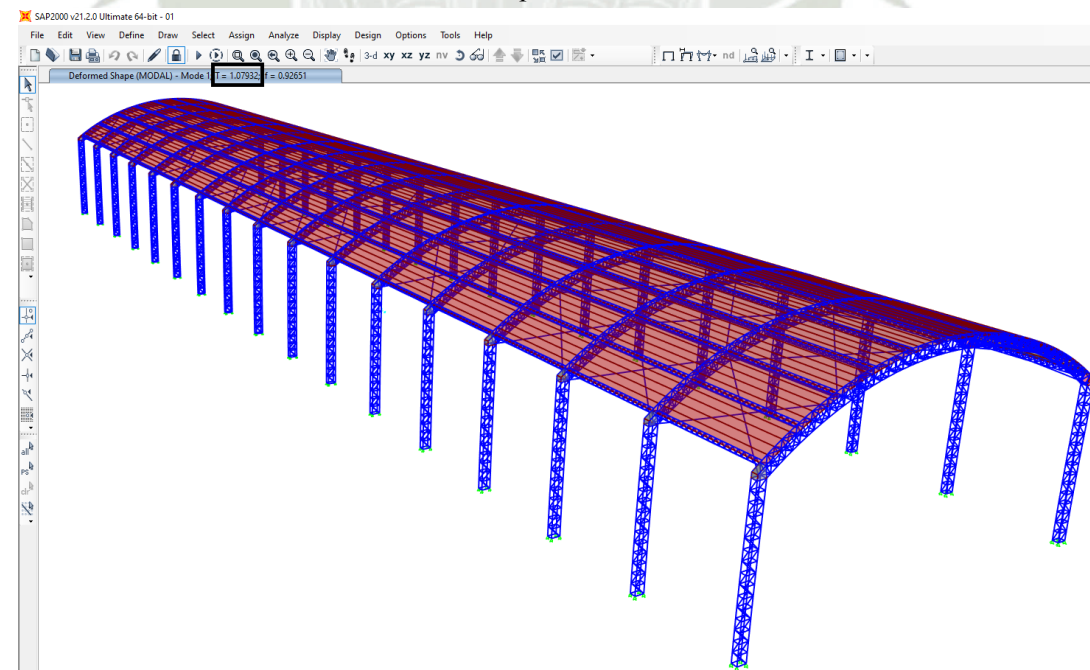
L = Carga Viva (kg-f).

**Figura 4.57**  
*Definición de la masa sísmica con SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.58**  
*Análisis modal con SAP2000 en estructura parabólica*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, se tiene un periodo de 1.079 s, parámetros de sitio  $T_P$  y  $T_L$  de 0.6 y 2.0 s respectivamente. Entonces haciendo uso del artículo 14 de la presente norma se procede a calcular el parámetro sísmico “C”.

**Figura 4.59**

*Fórmulas para la obtención del parámetro sísmico C*

$$T < T_P \qquad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \qquad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$T > T_L \qquad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$$

*Fuente.* De “Norma E030 Diseño Sismorresistente” por El Peruano, 2018.

Por lo tanto, dado que:

$$T_P < T < T_L$$

$$0.6 \text{ s} < 1.079 \text{ s} < 2 \text{ s}$$

Usamos la siguiente expresión:

$$C = 2.5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$$

$$C = 2.5 \cdot \left(\frac{0.6}{1.079}\right)$$

$$C = 1.39$$

Cabe decir que el valor  $R_0$  es igual a R dado en este modelo de estructura parabólica se consideraron los parámetros irregularidad ( $I_a$ ,  $I_p$ ) como despreciables.

Por lo tanto, con todos estos parámetros sísmicos se procede a determinar los coeficientes del cortante basal del sismo estático.

$$V = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot P$$

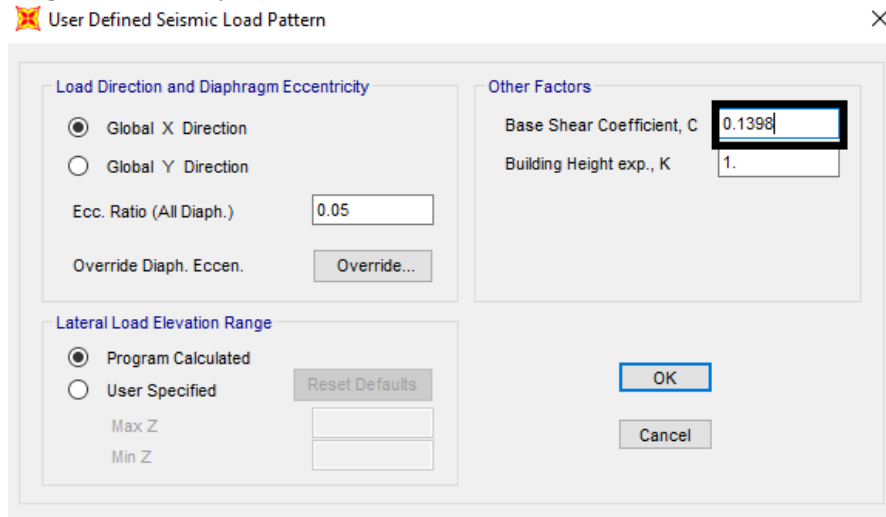
$$V = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 1.39 \cdot 1.15}{4} \cdot P$$

$$V = 0.1398 \cdot P$$

Este coeficiente 0.1398 será utilizado para el sismo estático en X y Y, el cual será aplicado mediante el software SAP2000.

**Figura 4.60**

*Asignación de coeficiente sísmico en SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Además, según la norma E030 artículo 28.2.2, se debe hacer la siguiente comprobación:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

$$\frac{1.39}{4} \geq 0.11$$

$$0.3475 \geq 0.11 \text{ (OK)}$$

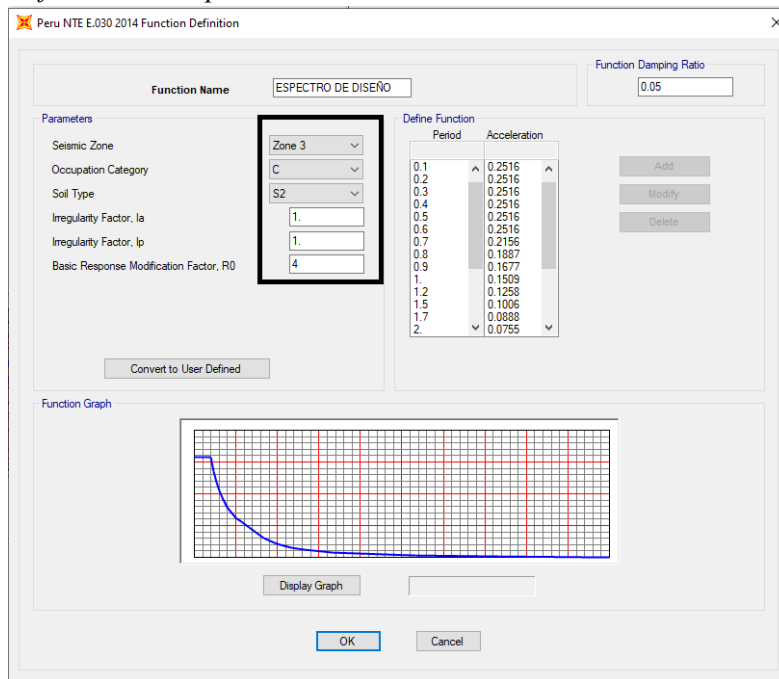
Este sismo estático, será utilizado únicamente para la comprobación de la fuerza cortante mínima del sismo dinámico establecido por la norma.

#### **4.4.2.5. Análisis sísmico dinámico modal espectral en estructura parabólica**

Este análisis dinámico sirve para cualquier estructura sin importar a que zona sísmica pertenezca, consiste en aplicar un espectro de diseño en la estructura, este espectro de diseño de la norma E030, refleja en base a probabilidades todos los sismos que pueden producirse en el Perú, de modo que afecta a la estructura con una carga producida por un sismo muy severo con un periodo de retorno de 476 años.

Este sismo dinámico es el que se usará para el diseño de la estructura parabólica, por lo tanto, se procede a definir el espectro de diseño en SAP2000 utilizando los parámetros sísmicos calculados anteriormente.

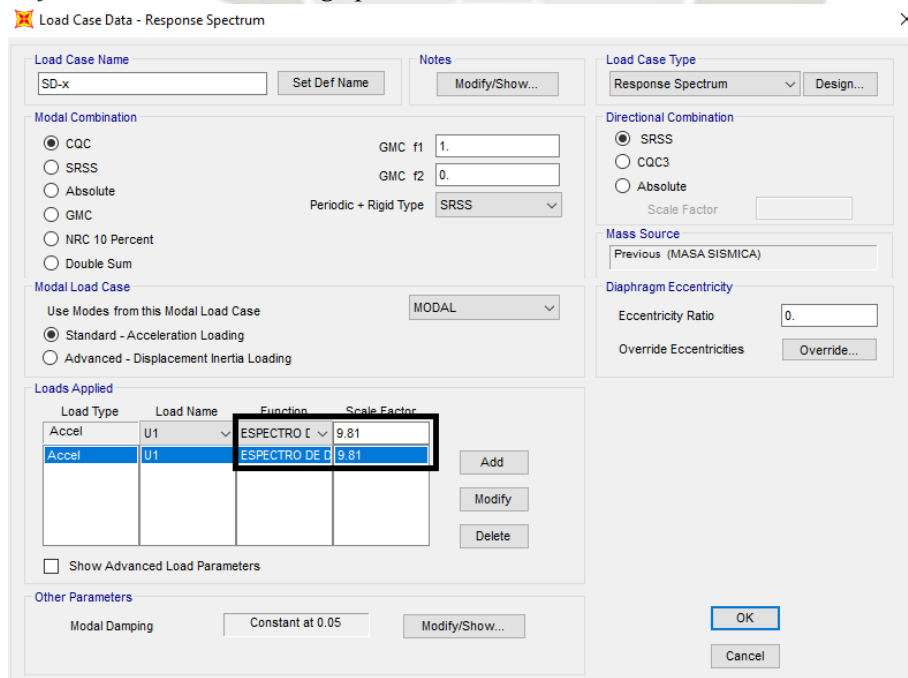
**Figura 4.61**  
*Definición del espectro de diseño de la E030 en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Se procede a definir los casos de carga de sismos dinámicos en X y Y dado que estos serán usados para el diseño.

**Figura 4.62**  
*Definición de casos de carga para sismos dinámicos en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Seguidamente de debe de hallar el valor de las fuerzas cortantes en la base por el sismo estático y dinámico para hacer las comprobaciones de fuerza cortante mínima según la norma E030.

**Figura 4.63**

*Reacciones en la base por sismos estáticos y dinámicos en SAP2000*

Base Reactions

OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf
SE-x	LinStatic		-13.3992	-3.066E-12	-1.885E-11
SE-y	LinStatic		-2.038E-11	-13.3992	-1.878E-11
SD-x	LinRespSpec	Max	19.9733	3.106E-06	0.0022
SD-y	LinRespSpec	Max	6.001E-07	12.4241	0.0025

Fuente. Fuente propia, 2023.

La norma E030 en el artículo 29.4 indica que la fuerza cortante mínima del sismo para estructuras regulares debe obedecer lo siguiente:

$$|F_{\text{min cortante en base de sismo dinámico}}| \geq 0.8 \cdot |F_{\text{cortante en base de sismo estático}}|$$

- Por lo tanto, en X:

$$19.97 \geq 0.8 \cdot 13.39$$

$$19.97 \text{ Ton} - f > 10.71 \text{ Ton} - f \text{ (Si Cumple, No hay que escalar)}$$

- Por lo tanto, en Y:

$$7.2845 \geq 0.8 \cdot 13.39$$

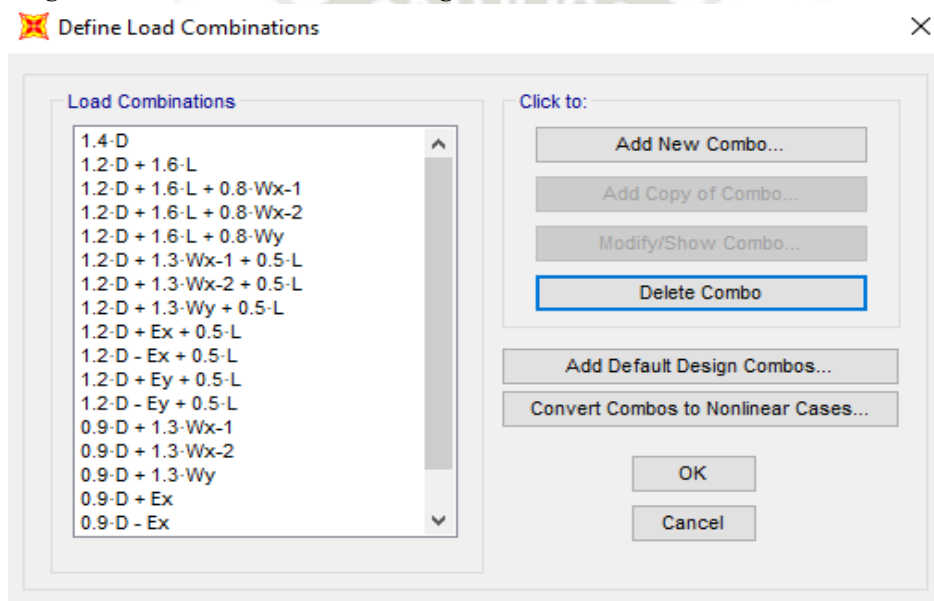
$$12.42 \text{ Ton} - f \geq 10.71 \text{ Ton} - f \text{ (Si Cumple, No hay que escalar)}$$

#### 4.5. Combinaciones de carga

Según el Anexo C, la norma E090 “Estructuras metálicas” muestra las combinaciones de carga aplicables para el diseño de estructuras metálicas según la metodología LRFD, por lo tanto, con los patrones y modos de carga que se tienen para la estructura de alma llena y del tipo parabólico, las combinaciones de carga serían las siguientes:

- |  |   |
|--|---|
| 1) $1.4 \cdot D$                                   | 9) $1.2 \cdot D \pm E_x + 0.5 \cdot L$  |
| 2) $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L$                     | 10) $1.2 \cdot D \pm E_y + 0.5 \cdot L$ |
| 3) $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L + 0.8 \cdot W_{x-1}$ | 11) $0.9 \cdot D + 1.3 \cdot W_{x-1}$   |
| 4) $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L + 0.8 \cdot W_{x-2}$ | 12) $0.9 \cdot D + 1.3 \cdot W_{x-2}$   |
| 5) $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L + 0.8 \cdot W_y$     | 13) $0.9 \cdot D + 1.3 \cdot W_y$       |
| 6) $1.2 \cdot D + 1.3 \cdot W_{x-1} + 0.5 \cdot L$ | 14) $0.9 \cdot D \pm E_x$               |
| 7) $1.2 \cdot D + 1.3 \cdot W_{x-2} + 0.5 \cdot L$ | 15) $0.9 \cdot D \pm E_y$               |
| 8) $1.2 \cdot D + 1.3 \cdot W_y + 0.5 \cdot L$     |   |

**Figura 4.64**  
*Asignación de combinaciones de carga en SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

#### 4.6. Selección de la cobertura

Se usarán coberturas de aluzinc para ambos modelos, para ello primero se determinará la mayor carga que afectará directamente a la cobertura según las combinaciones de carga que se tienen, por lo tanto, habrá que evaluarlas considerando únicamente cargas de viento.

##### 4.6.1. Selección de cobertura para estructura de alma llena

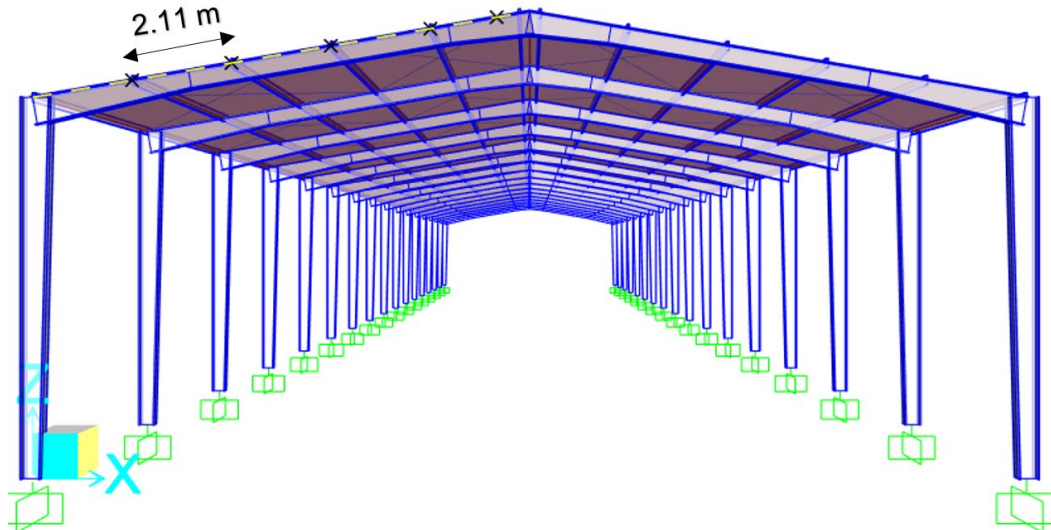
Para la estructura de alma llena se tiene las siguientes combinaciones de carga:

- 1)  $0.8 \cdot W_{x-1} = 0.8 \cdot (-24.09) = -19.3 \text{ kg-f/m}^2$
- 2)  $0.8 \cdot W_{x-2} = 0.8 \cdot (-28.01) = -22.4 \text{ kg-f/m}^2$
- 3)  $0.8 \cdot W_y = 0.8 \cdot (-28.01) = -22.4 \text{ kg-f/m}^2$
- 4)  $1.3 \cdot W_{x-1} = 1.3 \cdot (-24.09) = -31.3 \text{ kg-f/m}^2$
- 5)  $1.3 \cdot W_{x-2} = 1.3 \cdot (-28.01) = -36.4 \text{ kg-f/m}^2$
- 6)  $1.3 \cdot W_y = 1.3 \cdot (-28.01) = -36.4 \text{ kg-f/m}^2$

Por lo tanto, la mayor carga en magnitud que soportará la cobertura es de  $36.4 \text{ kg-f/m}^2$ , además, se sabe que, según el modelado realizado, se tiene una distancia aproximada entre correas de 2.11 m.

**Figura 4.65**

*Distancia entre correas de estructura de alma llena en modelado de SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Seguidamente con el valor de la carga de  $36.4 \text{ kg-f/m}^2$  y la distancia entre correas de 2.11 m, se procede a seleccionar el espesor de la cobertura.

**Figura 4.66**

*Catálogo de coberturas Calaminón modelo GL de aluzinc*

## COBERTURAS Y CERRAMIENTOS GL

### DISEÑO ESPECIAL

Su especial diseño trapezoidal es adecuado para aplicaciones verticales y horizontales.

Espesor (mm)	Condición de apoyo	CAPACIDADES DE CARGA (KG/M <sup>2</sup> )										PESOS kg/m <sup>2</sup>
		DISTANCIA ENTRE APOYOS (m)										
		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	
0.35 - 0.40	Simple Doble Tres o más	266	169	117	85	64	50	40	31	-	-	3.35
		266	169	117	85	64	50	40	32	-	-	
		334	212	146	107	81	63	51	41	34	-	
0.40	Simple Doble Tres o más	342	218	150	109	82	64	51	40	-	-	4.40
		342	218	150	109	82	64	51	42	34	-	
		429	273	188	137	104	81	65	53	44	37	
0.50	Simple Doble Tres o más	419	266	183	133	101	78	63	49	36	-	5.26
		419	266	183	133	101	78	63	51	42	35	
		525	334	230	168	127	99	80	65	54	45	

Deflexión máxima permisible:  $a=L/120$  Sobrecarga mínima admisible:  $30 \text{ kg/m}^2$

Fuente. De "Coberturas y cerramientos GL" por Calaminón, 2020.

#### 4.6.2. Selección de cobertura para estructura parabólica

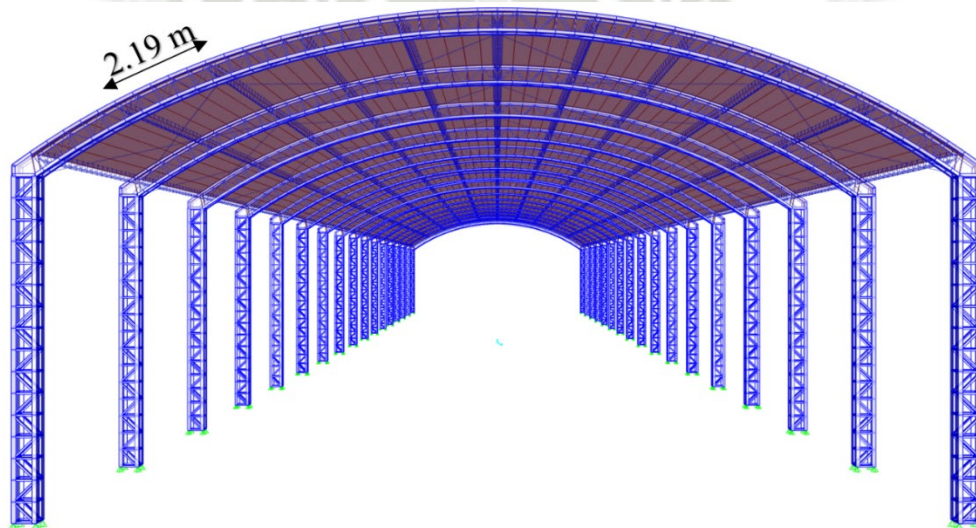
Para la estructura parabólica se tiene las siguientes combinaciones de carga:

- 1)  $0.8 \cdot W_{x-1} = 0.8 \cdot (34.45) = 27.56 \text{ kg-f/m}^2$
- 2)  $0.8 \cdot W_{x-2} = 0.8 \cdot (-34.45) = -27.56 \text{ kg-f/m}^2$
- 3)  $0.8 \cdot W_y = 0.8 \cdot (-30.15) = -24.12 \text{ kg-f/m}^2$
- 4)  $1.3 \cdot W_{x-1} = 1.3 \cdot (34.45) = -44.78 \text{ kg-f/m}^2$
- 5)  $1.3 \cdot W_{x-2} = 1.3 \cdot (-34.45) = -44.78 \text{ kg-f/m}^2$
- 6)  $1.3 \cdot W_y = 1.3 \cdot (-30.15) = -39.19 \text{ kg-f/m}^2$

Por lo tanto, la mayor carga en magnitud que soportará la cobertura es de  $44.78 \text{ kg-f/m}^2$ , además, se sabe que, según el modelado realizado, se tiene una distancia entre correas de 2.19 m.

**Figura 4.67**

*Distancia entre correas de estructura parabólica en modelado de SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Seguidamente con el valor de la carga de  $44.78 \text{ kg-f/m}^2$  y la distancia aproximada entre correas de 2.19 m, se procede a seleccionar el espesor de la cobertura.

**Figura 4.68**

*Catálogo de coberturas PRECOR modelo TR-4 Curvo de aluzinc*

PRECOR		TR-4 CURVO TECNOTECHO										
Esesor e	Peso del Panel											
mm	Kg / m <sup>2</sup>	L(m) =	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25
0,35 - 0,40	3,35	P (Kg / m <sup>2</sup> ) =	266	169	117	85	64	50	40	31	--	--
0,45 - 0,50	4,30	P (Kg / m <sup>2</sup> ) =	342	218	150	109	82	64	51	40	--	--
0,55 - 0,60	5,26	P (Kg / m <sup>2</sup> ) =	419	266	183	133	101	78	63	49	36	--
0,75 - 0,80	7,17	P (Kg / m <sup>2</sup> ) =	571	363	250	182	137	107	85	67	50	38

Fuente. De "Tecnotecho TR4-Curvo" por PRECOR, 2021.

#### 4.7. Ratios de diseño y verificaciones de miembros estructurales

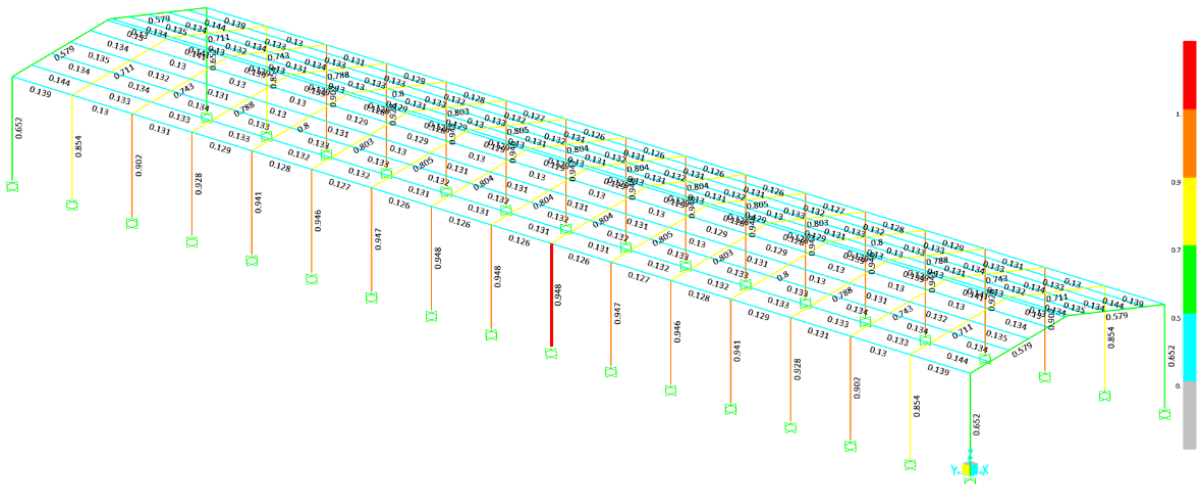
Según el método de elementos finitos usado por el software SAP2000, se determinarán las resistencias de todos los miembros en base a la norma AISC 360-16, de modo que con las combinaciones de carga definidas, se podrán obtener los ratios de diseño para todos los miembros que conforman los dos modelos estructurales planteados, posteriormente, según los desplazamientos de los nodos, se realizará el control de flechas y derivas inelásticas.

##### 4.7.1. Ratios de diseño

##### 4.7.1.1. Ratios de diseño de estructura de alma llena

Para este análisis no se consideran los templadores de techo dado que no existen limitaciones de esbeltez para miembros tipo barra según la norma AISC 360, además, según el análisis estos están a compresión, sin embargo, este tipo de miembros tienen la naturaleza de trabajar únicamente a tracción. La validación de los templadores se encuentra detallada en el apartado 4.2.1. en base a su máxima resistencia a fluencia.

**Figura 4.69**  
Ratios de diseño de estructura de alma llena en SAP2000



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.70**  
Cuadro de ratios de diseño de estructura de alma llena en SAP2000

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC 360-16				
Frame	DesignSect	Status	Ratio	Combo
Text	Text	Text	Unitless	Text
112	COLUMNA	No Messages	0.9479	1.2-D + 1.6-L
113	COLUMNA	No Messages	0.94788	1.2-D + 1.6-L
120	COLUMNA	No Messages	0.94788	1.2-D + 1.6-L
121	COLUMNA	No Messages	0.94788	1.2-D + 1.6-L
116	COLUMNA	No Messages	0.94775	1.2-D + 1.6-L
117	COLUMNA	No Messages	0.94775	1.2-D + 1.6-L
108	COLUMNA	No Messages	0.94719	1.2-D + 1.6-L

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC 360-16				
Frame	DesignSect	Status	Ratio	Combo
Text	Text	Text	Unitless	Text
289	C8X11.5	No Messages	0.1326	1.2-D + Ex + 0.5-L
294	C8X11.5	No Messages	0.1326	1.2-D + Ex + 0.5-L
222	C8X11.5	No Messages	0.13248	1.2-D + Ex + 0.5-L
225	C8X11.5	No Messages	0.13248	1.2-D + Ex + 0.5-L
290	C8X11.5	No Messages	0.13248	1.2-D + Ex + 0.5-L
293	C8X11.5	No Messages	0.13248	1.2-D + Ex + 0.5-L
223	C8X11.5	No Messages	0.13247	1.2-D + Ex + 0.5-L

109	COLUMNA	No Messages	0.94719	1.2·D + 1.6·L	224	C8X11.5	No Messages	0.13247	1.2·D + Ex + 0.5·L
124	COLUMNA	No Messages	0.94719	1.2·D + 1.6·L	291	C8X11.5	No Messages	0.13247	1.2·D + Ex + 0.5·L
125	COLUMNA	No Messages	0.94719	1.2·D + 1.6·L	292	C8X11.5	No Messages	0.13247	1.2·D + Ex + 0.5·L
104	COLUMNA	No Messages	0.946	1.2·D + 1.6·L	234	C8X11.5	No Messages	0.13242	1.2·D + Ex + 0.5·L
105	COLUMNA	No Messages	0.946	1.2·D + 1.6·L	247	C8X11.5	No Messages	0.13242	1.2·D + Ex + 0.5·L
128	COLUMNA	No Messages	0.946	1.2·D + 1.6·L	302	C8X11.5	No Messages	0.13242	1.2·D + Ex + 0.5·L
129	COLUMNA	No Messages	0.946	1.2·D + 1.6·L	315	C8X11.5	No Messages	0.13242	1.2·D + Ex + 0.5·L
100	COLUMNA	No Messages	0.94099	1.2·D + 1.6·L	203	C8X11.5	No Messages	0.13209	1.2·D + Ex + 0.5·L
101	COLUMNA	No Messages	0.94099	1.2·D + 1.6·L	210	C8X11.5	No Messages	0.13209	1.2·D + Ex + 0.5·L
132	COLUMNA	No Messages	0.94099	1.2·D + 1.6·L	271	C8X11.5	No Messages	0.13209	1.2·D + Ex + 0.5·L
133	COLUMNA	No Messages	0.94099	1.2·D + 1.6·L	278	C8X11.5	No Messages	0.13209	1.2·D + Ex + 0.5·L
96	COLUMNA	No Messages	0.92837	1.2·D + 1.6·L	204	C8X11.5	No Messages	0.13151	1.2·D + Ex + 0.5·L
97	COLUMNA	No Messages	0.92837	1.2·D + 1.6·L	209	C8X11.5	No Messages	0.13151	1.2·D + Ex + 0.5·L
136	COLUMNA	No Messages	0.92837	1.2·D + 1.6·L	272	C8X11.5	No Messages	0.13151	1.2·D + Ex + 0.5·L
137	COLUMNA	No Messages	0.92837	1.2·D + 1.6·L	277	C8X11.5	No Messages	0.13151	1.2·D + Ex + 0.5·L
92	COLUMNA	No Messages	0.90225	1.2·D + 1.6·L	235	C8X11.5	No Messages	0.13142	1.2·D + Ex + 0.5·L
226	C8X11.5	No Messages	0.1326	1.2·D + Ex + 0.5·L	<b>SIGUE HASTA EL ÚLTIMO MIEMBRO</b>				

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

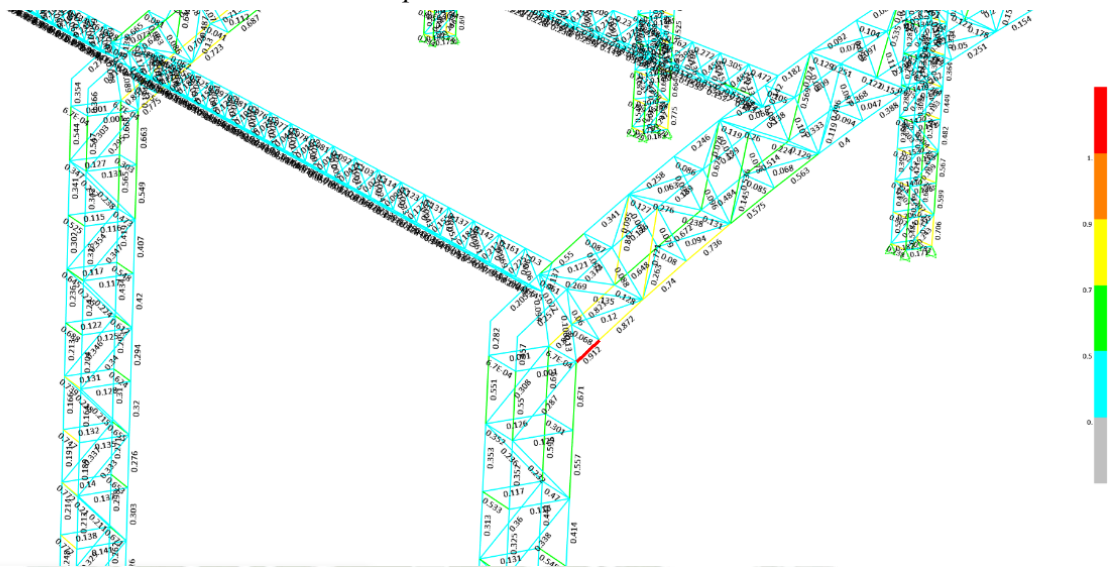
La figura anterior muestra los ratios de diseño de mayor a menor de todos los miembros que conforman la estructura de alma llena en SAP2000 sin contar los templadores, además, con el mensaje “No messages” en la pestaña status, indica que no hay ningún incumplimiento con la norma AISC 360 respecto a sobreesfuerzos o límites establecidos.

Se puede visualizar que se tiene un ratio máximo de 94.79% el cual corresponde a una de las columnas de la estructura bajo la combinación 1.2·D+1.6·L, dicho resultado se obtuvo a través de una optimización continua en la selección de los perfiles estructurales. Teniendo un 95% como criterio de ratio de diseño máximo, se puede decir que se consiguió diseñar una estructura optima bajo esfuerzos.

#### **4.7.1.2. Ratios de diseño de estructura parabólica**

De igual manera que en el análisis de ratios de la estructura de alma llena, no se consideran los templadores de techo. La validación de los templadores se encuentra detallada en el apartado 4.2.1. en base a su máxima resistencia a fluencia.

**Figura 4.71**  
Ratios de diseño de estructura de alma parabólica en SAP2000



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.72**  
Cuadro de ratios de diseño de estructura parabólica en SAP2000

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC 360-10					TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - AISC 360-10				
Frame	DesignSect	Status	Ratio	Combo	Frame	DesignSect	Status	Ratio	Combo
Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	Text	Text	Unitless	Text
10210	L3X3X5/16	No Messages	0.912	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	43134	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7722	1.2-D+Ey+0.5-L
7281	L3X3X5/16	No Messages	0.91188	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	45370	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7721	1.2-D+Ey+0.5-L
5397	L3X3X5/16	No Messages	0.9094	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	42616	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7721	1.2-D+Ey+0.5-L
3513	L3X3X5/16	No Messages	0.90924	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	43592	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7719	1.2-D+Ey+0.5-L
6025	L3X3X5/16	No Messages	0.90799	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	40838	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7718	1.2-D+Ey+0.5-L
7282	L3X3X5/16	No Messages	0.90733	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	3515	L3X3X5/16	No Messages	0.7717	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1
4769	L3X3X5/16	No Messages	0.90687	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	41320	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7714	1.2-D+Ey+0.5-L
2885	L3X3X5/16	No Messages	0.90472	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	44074	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7714	1.2-D+Ey+0.5-L
5398	L3X3X5/16	No Messages	0.90344	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	45046	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7713	1.2-D+Ey+0.5-L
7909	L3X3X5/16	No Messages	0.90326	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	42292	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7713	1.2-D+Ey+0.5-L
4770	L3X3X5/16	No Messages	0.9027	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	4614	Barra Lisa de 7/8"	No Messages	0.7712	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1
3514	L3X3X5/16	No Messages	0.90195	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	41024	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7712	1.2-D+Ey+0.5-L
6026	L3X3X5/16	No Messages	0.90029	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	42761	L4X4X5/16	No Messages	0.7712	1.2-D+Ey+0.5-L (Sp)
2886	L3X3X5/16	No Messages	0.8986	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	45515	L4X4X5/16	No Messages	0.7712	1.2-D+Ey+0.5-L (Sp)
7910	L3X3X5/16	No Messages	0.89763	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	43863	L4X4X5/16	No Messages	0.7712	1.2-D+Ey+0.5-L (Sp)
374	L3X3X5/16	No Messages	0.8922	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	43778	L 1 3/4x1 3/4x3/16	No Messages	0.7711	1.2-D+Ey+0.5-L
377	L3X3X5/16	No Messages	0.8921	1.2-D+1.6-L+0.8-Wx-1	<b>SIGUE HASTA EL ÚLTIMO MIEMBRO</b>				

Fuente. Fuente propia, 2023.

La figura anterior muestra los ratios de diseño de mayor a menor de todos los miembros que conforman la estructura parabólica en SAP2000 sin contar los templadores, además, con el mensaje “No messages” en la pestaña status, indica que no hay ningún incumplimiento con la norma AISC 360 respecto a sobreesfuerzos o límites establecidos.

Se puede visualizar que se tiene un ratio máximo de 91.2% el cual corresponde a uno de los ángulos que conforman las bridas de uno de los pórticos bajo la combinación  $1.2 \cdot D + 1.6 \cdot L + 0.8 \cdot W_x - 1$ , dicho resultado se obtuvo a través de una optimización continua en la selección de los perfiles estructurales. Teniendo un 95% como criterio de ratio de diseño máximo, se puede decir que se consiguió diseñar una estructura optima bajo esfuerzos.

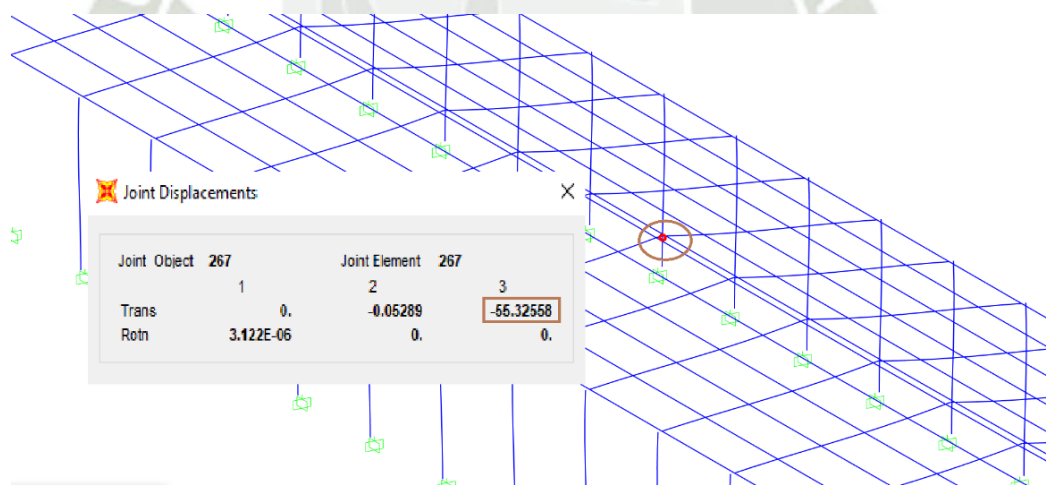
#### 4.7.2. Control de flechas

##### 4.7.2.1. Control de flechas de estructura de alma llena

Para el control de flechas de la estructura de alma llena, buscamos con el software SAP2000 el nodo que presenta el mayor desplazamiento por cargas vivas.

**Figura 4.73**

*Nodo de estructura de alma llena con mayor desplazamiento por cargas vivas en SAP2000*



*Fuente. Fuente propia, 2023.*

Según el Anexo E, el código internacional de construcción “IBC 2009” recomienda algunos límites de deformación que deben de controlarse tomando la carga viva y/o carga muerta como cargas de servicio.

Por lo tanto, para carga viva tenemos un máximo desplazamiento de 55.28 mm en el nodo de la cumbrera de uno de los pórticos, y además, se sabe que para cargas vivas el límite es el siguiente:

$$\frac{L}{360} > \text{Máximo desplazamiento por carga viva}$$

Donde:

L = Longitud del miembro (mm).

Por lo tanto:

$$\frac{20830}{360} > 55.32 \text{ mm}$$

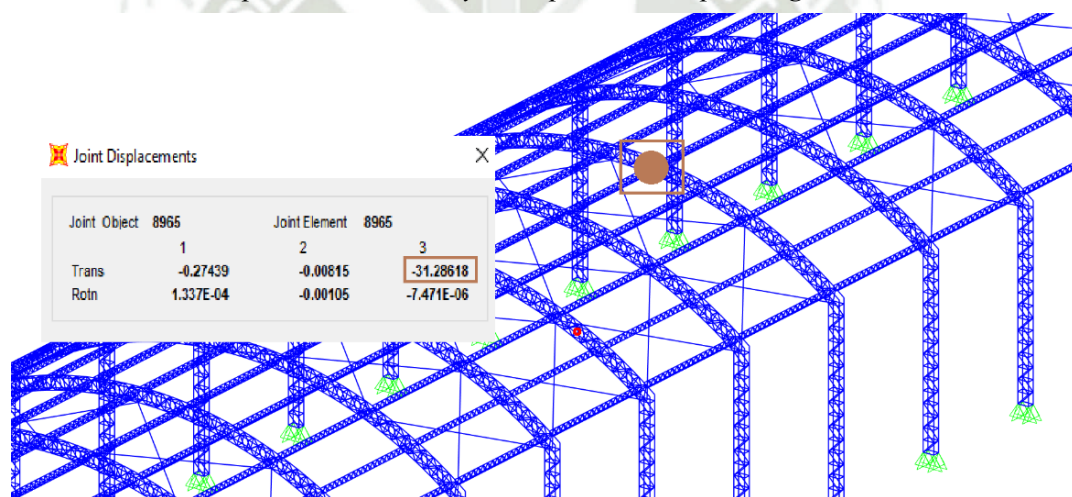
$$57.86 \text{ mm} > 55.32 \text{ mm (OK)}$$

#### 4.7.2.2. Control de flechas de estructura parabólica

Para el control de flechas de la estructura parabólica, buscamos con el software SAP2000 el nodo que presenta el mayor desplazamiento por cargas vivas.

**Figura 4.74**

*Nodo de estructura parabólica con mayor desplazamiento por cargas vivas en SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Según el Anexo E, el código internacional de construcción “IBC 2009” recomienda algunos límites de deformación que deben de controlarse tomando la carga viva y/o carga muerta como cargas se servicio.

Por lo tanto, para carga viva tenemos un máximo desplazamiento de mm en el nodo de la cumbrera de uno de los pórticos, y además, se sabe que para cargas vivas el límite es el siguiente:

$$\frac{L}{360} > \text{Máximo desplazamiento por carga viva}$$

Donde:

L = Longitud del miembro (mm).

Por lo tanto:

$$\frac{20830}{360} > 31.28 \text{ mm}$$

$$57.86 \text{ mm} > 31.28 \text{ mm (OK)}$$

#### 4.7.3. Control de derivas inelásticas

En este control se revisarán los desplazamientos laterales relativos máximos, de modo que si se encuentran las distorsiones de entrepiso por debajo del límite establecido de la norma E030, no habrá necesidad de reestructurar los modelos con la adición de arriostres laterales y/o vigas secundarias.

##### 4.7.3.1. Derivas inelásticas de estructura de alma llena

Según el artículo 31 de la norma E030 “Diseño Sismorresistente” se deben de controlar las distorsiones de entrepiso, de modo que los desplazamientos laterales relativos máximos en X y Y se deben de multiplicar por 0.75 por tenerse una estructura regular y seguidamente multiplicarse por el valor del parámetro sísmico R. Dicho valor debe ser menor que el correspondiente mostrado en el Anexo D.

Por lo tanto:

➤ **En X:**

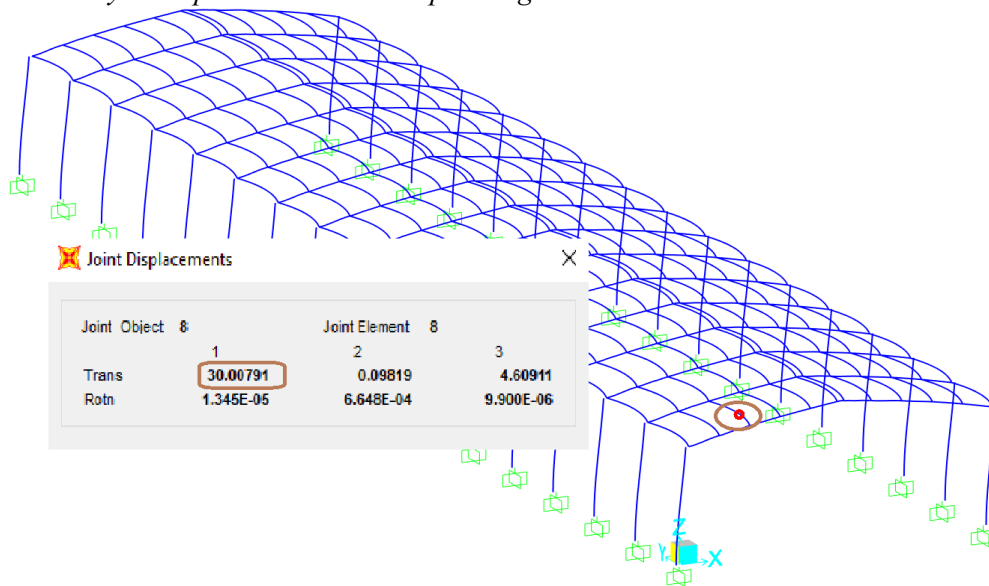
$$\frac{\text{Maximo desplazamiento en x}}{\text{Altura del nodo}} \cdot 0.75 \cdot R \leq \text{Límite de distorsion de entrepiso}$$

$$\frac{30 \text{ mm}}{8720 \text{ mm}} \cdot 0.75 \cdot 4 \leq 0.02$$

$$0.0103 \leq 0.02 \text{ (OK)}$$

**Figura 4.75**

*Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en X en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

➤ **En Y:**

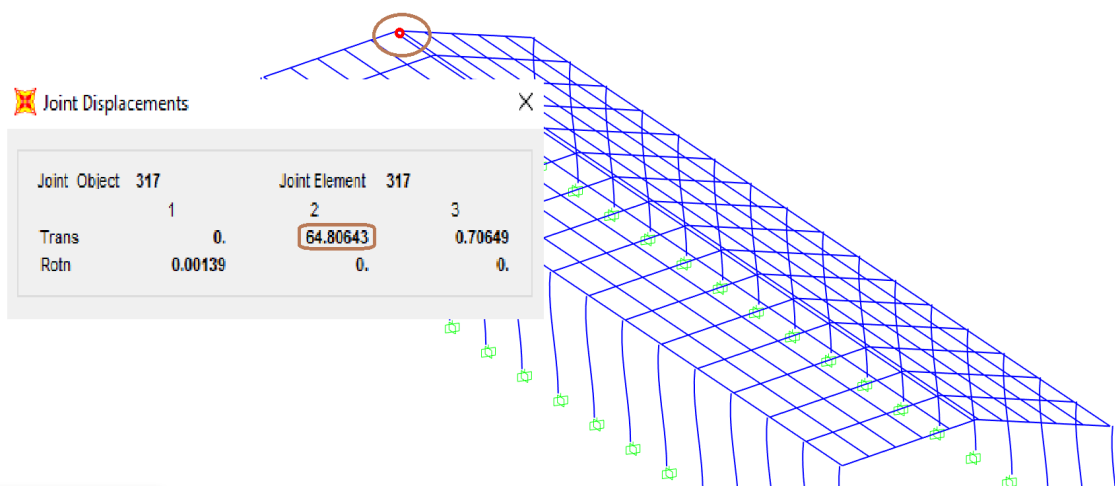
$$\frac{\text{Maximo desplazamiento en y}}{\text{Altura del nodo}} \cdot 0.75 \cdot R \leq \text{Límite de distorsion de entrepiso}$$

$$\frac{64.8 \text{ mm}}{9800 \text{ mm}} \cdot 0.75 \cdot 4 \leq 0.02$$

$$0.019 \leq 0.02 \text{ (OK)}$$

**Figura 4.76**

*Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en Y en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.7.3.2. Derivas inelásticas de estructura parabólica

De igual forma que en el modelo de alma llena, los desplazamientos laterales relativos máximos en X y Y se deben de multiplicar por 0.75 por tenerse una estructura regular y seguidamente multiplicarse por el valor del parámetro sísmico R. Dicho valor debe ser menor que el correspondiente mostrado en el Anexo D.

Por lo tanto:

➤ **EN X:**

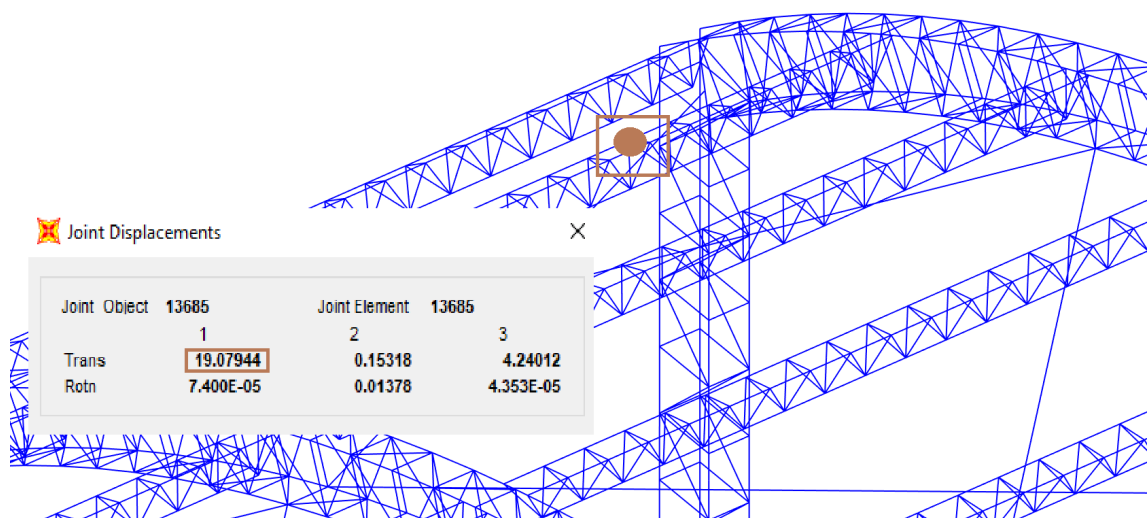
$$\frac{\text{Maximo desplazamiento en x}}{\text{Altura del nodo}} \cdot 0.75 \cdot R \leq \text{Límite de distorsion de entrepiso}$$

$$\frac{19 \text{ mm}}{10677.6 \text{ mm}} \cdot 0.75 \cdot 4 \leq 0.02$$

$$0.0053 \leq 0.02 \text{ (OK)}$$

**Figura 4.77**

*Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en X en SAP2000*



*Fuente. Fuente propia, 2023.*

➤ **EN Y:**

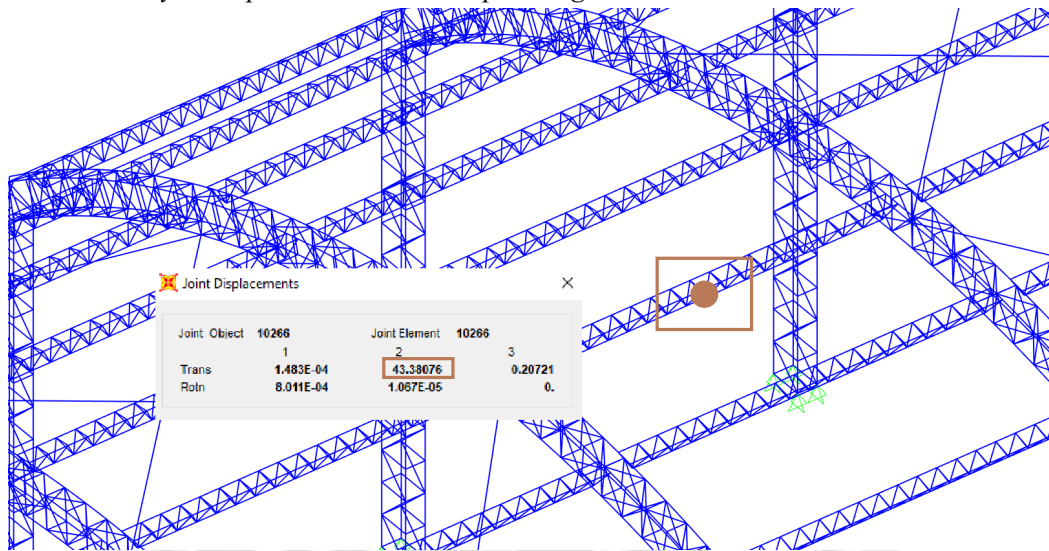
$$\frac{\text{Maximo desplazamiento en y}}{\text{Altura del nodo}} \cdot 0.75 \cdot R \leq \text{Límite de distorsion de entrepiso}$$

$$\frac{43.38 \text{ mm}}{11600.2 \text{ mm}} \cdot 0.75 \cdot 4 \leq 0.02$$

$$0.0112 \leq 0.02 \text{ (OK)}$$

**Figura 4.78**

*Nodo con mayor desplazamiento lateral por carga sísmica dinámica en Y en SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

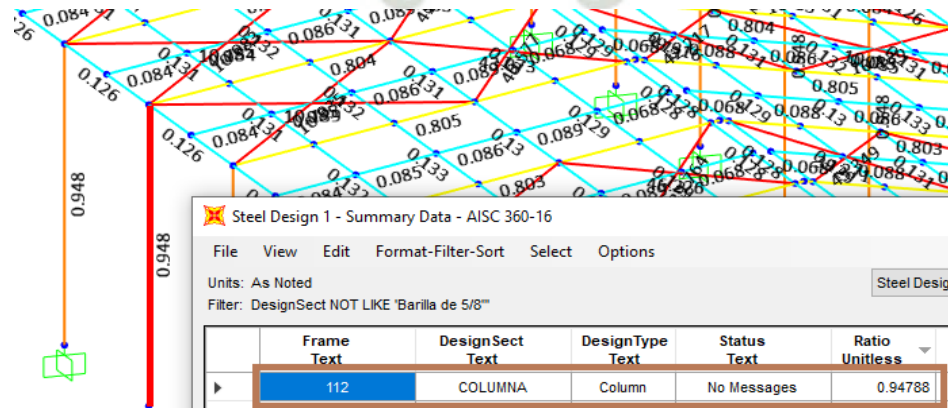
#### 4.8. Comprobación de diseño de miembros mediante cálculo manual

El diseño óptimo de cada estructura se alcanzó con la búsqueda continua de perfiles menos pesados que atiendan las solicitaciones de esfuerzo y que respeten las especificaciones de las normas vigentes. A través del uso de herramientas computacionales para el diseño estructural mediante el método de elementos finitos, en este caso el software SAP2000, se consiguió diseñar ambas estructuras sin las limitaciones que presentan los métodos analíticos manuales, tales como complejidad matemática y análisis tridimensional. Sin embargo, en este apartado se mostrará la veracidad del ratio de diseño más crítico obtenido por el software, mediante la realización de cálculos manuales usando el software PTC Mathcad prime.

Como se pudo ver en el apartado 4.7.1.1. el miembro más crítico de la estructura de alma llena es una de las columnas con un ratio de diseño de 0.9479:

**Figura 4.79**

*Miembro más crítico de estructura de alma llena en SAP2000*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, haciendo uso de la norma de diseño de estructuras en acero AISC 360, se revisan los estados límites para la columna bajo cargas de flexo-compresión, asimismo, determinamos las resistencias de diseño para posteriormente realizar el cálculo del r atio de diseño y compararlo con el que arrojó el software SAP2000.

Usando el software PTC Mathcad Prime, se determinan primero las cargas factoradas para el caso de fuerza axial y momento en el eje mayor de la columna:

**Figura 4.80**

*C culo de cargas factoradas para carga axial en PTC Mathcad Prime*

**1) CÁLCULO DE CARGAS A 6 m (Parte Más Crítica) :**

**1.1. Carga Axial:**

$P_D := -3.7 \text{ kip}$     $P_L := -14.15 \text{ kip}$     $P_{Wx1} := -0.321 \text{ kip}$     $P_{Wx2} := 3.675 \text{ kip}$     $P_{Wy} := 3.817 \text{ kip}$

$P_{Ex} := 0.702 \text{ kip}$     $P_{Ey} := 0.001836 \text{ kip}$

$COMBO_{1,1} := 1.4 \cdot P_D = -5.18 \text{ kip}$

$COMBO_{1,2} := 1.2 \cdot P_D + 1.6 \cdot P_L = -27.08 \text{ kip}$

$COMBO_{1,3} := 1.2 \cdot P_D + 1.6 \cdot P_L + 0.8 \cdot P_{Wx1} = -27.337 \text{ kip}$

$COMBO_{1,4} := 1.2 \cdot P_D + 1.6 \cdot P_L + 0.8 \cdot P_{Wx2} = -24.14 \text{ kip}$

$COMBO_{1,5} := 1.2 \cdot P_D + 1.6 \cdot P_L + 0.8 \cdot P_{Wy} = -24.026 \text{ kip}$

$COMBO_{1,6} := 1.2 \cdot P_D + 1.3 \cdot P_{Wx1} + 0.5 \cdot P_L = -11.932 \text{ kip}$

$COMBO_{1,7} := 1.2 \cdot P_D + 1.3 \cdot P_{Wx2} + 0.5 \cdot P_L = -6.738 \text{ kip}$       +

$COMBO_{1,8} := 1.2 \cdot P_D + 1.3 \cdot P_{Wy} + 0.5 \cdot P_L = -6.553 \text{ kip}$

$COMBO_{1,9} := 1.2 \cdot P_D + P_{Ex} + 0.5 \cdot P_L = -10.813 \text{ kip}$

$COMBO_{1,10} := 1.2 \cdot P_D - P_{Ex} + 0.5 \cdot P_L = -12.217 \text{ kip}$

$COMBO_{1,11} := 1.2 \cdot P_D + P_{Ey} + 0.5 \cdot P_L = -11.513 \text{ kip}$

$COMBO_{1,12} := 1.2 \cdot P_D - P_{Ey} + 0.5 \cdot P_L = -11.517 \text{ kip}$

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.81**

*Cálculo de cargas factoradas para flexión en PTC Mathcad Prime*

**1.2. Momento en eje mayor:**

$$M_D := 393.286 \text{ kip}\cdot\text{in} \quad M_L := 1527.086 \text{ kip}\cdot\text{in} \quad M_{Wx1} := -116.234 \text{ kip}\cdot\text{in} \quad M_{Wx2} := -370.862 \text{ kip}\cdot\text{in}$$

$$M_{Wy} := -402.033 \text{ kip}\cdot\text{in} \quad M_{Ex} := 274.309 \text{ kip}\cdot\text{in} \quad M_{Ey} := 0.278 \text{ kip}\cdot\text{in}$$

$$COMBO_{2,1} := 1.4 \cdot M_D = 45.883 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,2} := 1.2 \cdot M_D + 1.6 \cdot M_L = 242.94 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,3} := 1.2 \cdot M_D + 1.6 \cdot M_L + 0.8 \cdot M_{Wx1} = 235.191 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,4} := 1.2 \cdot M_D + 1.6 \cdot M_L + 0.8 \cdot M_{Wx2} = 218.216 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,5} := 1.2 \cdot M_D + 1.6 \cdot M_L + 0.8 \cdot M_{Wy} = 216.138 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,6} := 1.2 \cdot M_D + 1.3 \cdot M_{Wx1} + 0.5 \cdot M_L = 90.365 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,7} := 1.2 \cdot M_D + 1.3 \cdot M_{Wx2} + 0.5 \cdot M_L = 62.78 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,8} := 1.2 \cdot M_D + 1.3 \cdot M_{Wy} + 0.5 \cdot M_L = 59.404 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,9} := 1.2 \cdot M_D + M_{Ex} + 0.5 \cdot M_L = 125.816 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,10} := 1.2 \cdot M_D - M_{Ex} + 0.5 \cdot M_L = 80.098 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,11} := 1.2 \cdot M_D + M_{Ey} + 0.5 \cdot M_L = 102.98 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$COMBO_{2,12} := 1.2 \cdot M_D - M_{Ey} + 0.5 \cdot M_L = 102.934 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

A continuación, se procede a colocar las propiedades de la sección transversal del perfil estructural para posteriormente evaluar los estados límites correspondientes:

**Figura 4.82**

*Asignación de propiedades de sección transversal en PTC Mathcad Prime*

**2) PROPIEDADES DEL MIEMBRO ESTRUCTURAL:**

**2.1. Propiedades de material ASTM A36:**

$E := 29000 \text{ ksi}$        $\nu := 0.3$        $G := \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = 11153.846 \text{ ksi}$        $F_y := 36 \text{ ksi}$

**2.2. Propiedades de sección en parte más esforzada "Peralte de 550 mm":**

$A_g := 15.525 \text{ in}^2$	$\phi := 0.9$	$L_b := 8 \text{ m}$	
$I_x := 1253.819 \text{ in}^4$	$k_x := 1$		
$I_y := 118.143 \text{ in}^4$	$r_x := \sqrt{\frac{I_x}{A_g}} = 8.987 \text{ in}$	$k_y := 1$	
$I_{xy} := 0$	$r_y := \sqrt{\frac{I_y}{A_g}} = 2.759 \text{ in}$	$k_z := 1$	
$J := 0.583 \text{ in}^4$	$C_w := 13399.048 \text{ in}^6$		
$S_x := 115.807 \text{ in}^3$	$c_1 := 0.18$ Tabla E7.1		
$S_y := 18.755 \text{ in}^3$	$c_2 := 1.31$ Tabla E7.1		
$Z_x := 129.622 \text{ in}^3$			
$Z_y := 28.639 \text{ in}^3$			
Peralte	$d := 21.6535 \text{ in}$		
Ancho	$b_f := 12.5984 \text{ in}$		
Espesor de ala	$t_f := .3543 \text{ in}$	$h := d - 2 \cdot t_f = 20.945 \text{ in}$	$\lambda_f := \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 17.779$
Espesor de alma	$t_w := .315 \text{ in}$	$c := 1$	$\lambda_w := \frac{h}{t_w} = 66.492$
	$c_b := 2.16$		

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Ahora se procede a verificar el límite de relación de esbeltez y la compacidad del miembro para determinar que estados límites deben evaluarse para determinar la resistencia a compresión:

**Figura 4.83**

*Verificación de compacidad para el miembro en PTC Mathcad Prime*

**3) CÁLCULO DE RESISTENCIA A COMPRESION:**

**3.1. Verificación compacidad:**

$$\lambda_{rf} := 0.56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 15.894$$

$$\lambda_{rw} := 1.49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 42.29$$

$$M1 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \lambda_f > \lambda_{rf} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"ALA ESBELTO"} \\ \text{else} \\ \text{"ALA NO ESBELTO"} \end{array} \right\| \\ \end{array} \right\| = \text{"ALA ESBELTO"}$$

$$M2 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \lambda_w > \lambda_{rw} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"ALMA ESBELTO"} \\ \text{else} \\ \text{"ALMA NO ESBELTO"} \end{array} \right\| \\ \end{array} \right\| = \text{"ALMA ESBELTO"}$$

**3.2. Verificación de esbeltez:**

$$M3 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \frac{L_b}{\min(r_x, r_y)} > 200 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{"ESBELTEZ EXCEDIDA"} \\ \text{else} \\ \text{"OK"} \end{array} \right\| \\ \end{array} \right\| = \text{"OK"}$$

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según la Figura 16, corresponde evaluar para este caso los estados límites relacionados a la sección E3, E4 y E7 de la norma AISC 360.

**Figura 4.84**

*Evaluación de ítem E3 para el miembro en PTC Mathcad Prime*

**ITEM E3**

$$F_e := \min \left( \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{k_x \cdot L_b}{r_x} \right)^2}, \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{k_y \cdot L_b}{r_y} \right)^2} \right) = 20.965 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } \frac{F_y}{F_e} < 2.25 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \frac{F_y}{0.658 F_e \cdot F_y} \\ \text{if } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} 0.877 \cdot F_e \end{array} \right\| \end{array} \right\| \end{array} \right\|$$

$$F_{cr} = 17.546 \text{ ksi}$$

$$\phi Pn_1 := \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g = 245.16 \text{ kip}$$

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.85**

Evaluación de ítem E4 para el miembro en PTC Mathcad Prime

**ITEM E4**

$$F_e := \left( \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(k_z \cdot L_b)^2} + G \cdot J \right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y} = 32.918 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} := \begin{cases} \text{if } \frac{F_y}{F_e} < 2.25 \\ \left\| \begin{array}{l} F_y \\ 0.658 \cdot F_e \cdot F_y \end{array} \right\| \\ \text{if } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \\ \left\| \begin{array}{l} F_y \\ 0.877 \cdot F_e \end{array} \right\| \end{cases}$$

$$F_{cr} = 22.778 \text{ ksi}$$

$$\phi P n_2 := \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g = 318.262 \text{ kip}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.86**

Evaluación de ítem E7 para el miembro en PTC Mathcad Prime

**ITEM E7**

$$F_e := \left( \frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(k_z \cdot L_b)^2} + G \cdot J \right) \cdot \frac{1}{I_x + I_y} = 32.918 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} := \begin{cases} \text{if } \frac{F_y}{F_e} < 2.25 \\ \left\| \begin{array}{l} F_y \\ 0.658 \cdot F_e \cdot F_y \end{array} \right\| \\ \text{if } \frac{F_y}{F_e} > 2.25 \\ \left\| \begin{array}{l} F_y \\ 0.877 \cdot F_e \end{array} \right\| \end{cases}$$

$$F_{cr} = 22.778 \text{ ksi}$$

$$F_{e1f} := \left( c_2 \cdot \frac{\lambda_{rf}}{\lambda_f} \right)^2 \cdot F_y \qquad F_{e1w} := \left( c_2 \cdot \frac{\lambda_{rw}}{\lambda_w} \right)^2 \cdot F_y$$

$$b_e := \begin{cases} \text{if } \lambda_f < \lambda_{rf} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \\ \left\| \begin{array}{l} b_f \\ b_f \cdot \left( 1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{e1f}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{e1f}}{F_{cr}}} \end{array} \right\| \\ \text{if } \lambda_f > \lambda_{rf} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \\ \left\| \begin{array}{l} b_f \\ b_f \cdot \left( 1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{e1f}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{e1f}}{F_{cr}}} \end{array} \right\| \end{cases} = 12.598 \text{ in}$$

$$h_e := \begin{cases} \text{if } \lambda_w < \lambda_{rw} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \\ \left\| \begin{array}{l} h \\ h \cdot \left( 1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{e1w}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{e1w}}{F_{cr}}} \end{array} \right\| \\ \text{if } \lambda_w > \lambda_{rw} \cdot \sqrt{\frac{F_y}{F_{cr}}} \\ \left\| \begin{array}{l} h \\ h \cdot \left( 1 - c_1 \cdot \sqrt{\frac{F_{e1w}}{F_{cr}}} \right) \cdot \sqrt{\frac{F_{e1w}}{F_{cr}}} \end{array} \right\| \end{cases} = 17.802 \text{ in}$$

$$A_e := A_g - 2 \cdot (b_f - b_e) \cdot t_f - (h - h_e) \cdot t_w = 14.535 \text{ in}^2$$

$$\phi P n_3 := \phi \cdot F_{cr} \cdot A_e = 297.969 \text{ kip}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Finalmente se tiene calculada la resistencia a compresión del miembro estructural:

**Figura 4.87**

*Resistencia a compresión del miembro en PTC Mathcad Prime*

**Por lo tanto la Resistencia a compresión de la columna será la menor de todos los estados límites ya calculados:**

$$\phi P_n := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } M1 = \text{"ALA NO ESBELTO"} \wedge M2 = \text{"ALMA NO ESBELTO"} \\ \left\| \begin{array}{l} \min(\phi P_{n1}, \phi P_{n2}) \end{array} \right\| \\ \text{if } M1 = \text{"ALA ESBELTO"} \vee M2 = \text{"ALMA ESBELTO"} \\ \left\| \begin{array}{l} \min(\phi P_{n1}, \phi P_{n2}, \phi P_{n3}) \end{array} \right\| \end{array} \right. = 245.16 \text{ kip}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

A continuación, se procede a determinar la compacidad de la sección para saber que estados límites se tienen que evaluar para determinar la resistencia a flexión del perfil:

**Figura 4.88**

*Verificación de compacidad del miembro en PTC Mathcad Prime*

$$\lambda_f := \frac{b_f}{2 \cdot t_f} = 17.779 \quad \text{Relación ala} \qquad \lambda_w := \frac{h}{t_w} = 66.492 \quad \text{Relación alma}$$

**4.1. Verificación compacidad / esbeltez ala:**

$$\lambda_{pf} := 0.38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10.785 \qquad \lambda_{rf} := 0.95 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 26.963$$

$$M1 := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \lambda_f < \lambda_{pf} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"ALA - C"} \end{array} \right\| \\ \text{if } \lambda_{pf} < \lambda_f < \lambda_{rf} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"ALA - NC"} \end{array} \right\| \\ \text{if } \lambda_{rf} < \lambda_f \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"ALA - S"} \end{array} \right\| \end{array} \right. = \text{"ALA - NC"}$$

**4.2. Verificación compacidad / esbeltez alma:**

$$\lambda_{pw} := 3.76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 106.717 \qquad \lambda_{rw} := 5.70 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 161.779$$

$$M2 := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \lambda_w < \lambda_{pw} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"ALMA - C"} \end{array} \right\| \\ \text{if } \lambda_{pw} < \lambda_w < \lambda_{rw} \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"ALMA - NC"} \end{array} \right\| \\ \text{if } \lambda_{rw} < \lambda_w \\ \left\| \begin{array}{l} \text{"ALMA - S"} \end{array} \right\| \end{array} \right. = \text{"ALMA - C"}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Según la Figura 21, corresponde evaluar los estados límites correspondientes a los de la sección F3 de la norma AISC 360:

**Figura 4.89**

*Evaluación del pandeo lateral torsional para el miembro en PTC Mathcad Prime*

**ALA - NC / S, ALMA - C**

*PANDEO LATERAL TORSIONAL (LTB):*

$$M_p := F_y \cdot Z_x = 388.866 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$L_p := 1.76 \cdot r_y \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.5 \text{ m}$$

$$c = 1$$

$$h_0 := d - t_f = 21.299 \text{ in}$$

$$r_{ts} := \sqrt{\frac{\sqrt{I_y} \cdot C_w}{S_x}} = 3.296 \text{ in}$$

$$L_r := 1.95 \cdot r_{ts} \cdot \frac{E}{F_y} \cdot \sqrt{\frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0}} \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \cdot \left(\frac{0.7 \cdot F_y \cdot S_x \cdot h_0}{E \cdot J \cdot c}\right)^2}} = 6.586 \text{ m} \quad +$$

$$F_{cr} := \frac{c_b \cdot \pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} \cdot \sqrt{1 + 0.078 \cdot \frac{J \cdot c}{S_x \cdot h_0} \cdot \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} = 73.186 \text{ ksi}$$

$$Mn_1 := \begin{cases} \left| M_p \right| & \text{if } L_b \leq L_p \\ \left| \min \left( c_b \cdot \left( M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right), M_p \right) \right| & \text{if } L_p < L_b < L_r \\ \left| \min (F_{cr} \cdot S_x, M_p) \right| & \text{if } L_b > L_r \end{cases} \quad Mn_1 = 388.866 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se evaluará el segundo estado límite descrito por la sección F3 de la norma y se tomará el menor resultado de ambas como resistencia de diseño a flexión:

**Figura 4.90**

*Evaluación del pandeo local del ala en compresión del miembro en PTC Mathcad*

$$k_c := \min \left( \max \left( 0.35, \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} \right), 0.76 \right) = 0.491$$

$$Mn_2 := \begin{cases} \text{if } M1 = \text{"ALA - NC"} \\ \left| M_p - (M_p - 0.7 \cdot F_y \cdot S_x) \cdot \left( \frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right| \\ \text{else} \\ \frac{0.9 \cdot E \cdot k_c \cdot S_x}{\lambda_f^2} \end{cases} \quad Mn_2 := 302.15 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$\phi Mn := \phi \cdot \min (Mn_1, Mn_2) = 271.935 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Finalmente se determinan los ratios de diseño totales de todas las combinaciones de carga y se tomará la mayor como ratio de diseño final:

**Figura 4.91**

*Cálculo de ratio de diseño del miembro en PTC Mathcad*

**5) CÁLCULO DE RATIO DE DISEÑO (SEGUN AISC 360 SECCION H1.1 FLEXOCOMPRESIÓN):**

$$RATIO_{01} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,1}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,1}}{\phi Mn} = 0.179 \quad RATIO_{07} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,7}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,7}}{\phi Mn} = 0.245$$

$$RATIO_{02} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,2}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,2}}{\phi Mn} = 0.949 \quad RATIO_{08} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,8}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,8}}{\phi Mn} = 0.232$$

$$RATIO_{03} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,3}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,3}}{\phi Mn} = 0.921 \quad RATIO_{09} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,9}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,9}}{\phi Mn} = 0.485$$

$$RATIO_{04} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,4}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,4}}{\phi Mn} = 0.852 \quad RATIO_{10} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,10}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,10}}{\phi Mn} = 0.319$$

$$RATIO_{05} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,5}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,5}}{\phi Mn} = 0.844 \quad RATIO_{11} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,11}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,11}}{\phi Mn} = 0.402$$

$$RATIO_{06} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,6}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,6}}{\phi Mn} = 0.357 \quad RATIO_{12} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,12}|}{\phi Pn} + \frac{COMBO_{2,12}}{\phi Mn} = 0.402$$

$$Ratio_{DiseñoMax01} := \max (RATIO_{01}, RATIO_{02}, RATIO_{03}, RATIO_{04}, RATIO_{05}, RATIO_{06}) = 0.949$$

$$Ratio_{DiseñoMax02} := \max (RATIO_{07}, RATIO_{08}, RATIO_{09}, RATIO_{10}, RATIO_{11}, RATIO_{12}) = 0.485$$

**Por lo tanto el Ratio de diseño de la columna será la menor de todas las combinaciones anteriores:**

$$Ratio_{Diseño} := \max (Ratio_{DiseñoMax01}, Ratio_{DiseñoMax02}) = 0.949$$

$$RATIO_{02} := \frac{COMBO_{2,2}}{\phi Mn} = 0.893 \quad RATIO_{02} := \frac{1}{2} \cdot \frac{|COMBO_{1,2}|}{\phi Pn} = 0.055$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Como se puede ver a continuación los resultados entre los cálculos manuales y los efectuados por el software SAP2000 son muy semejantes, de modo que se pueden tomar como correctos los análisis efectuados por dicho software:

**Tabla 4.3**

*Comparación de resultados entre cálculos por software y cálculos manuales*

Categoría	Cálculo mediante software SAP2000	Cálculo manual
Resistencia de compresión	245.159 kips	245.16 kips
Resistencia a flexión	272.194 kips·ft	271.935 kips·ft
Ratio de diseño de carga axial	0.05527	0.05527
Ratio de diseño de flexión	0.8925	0.893375
Ratio de diseño total	0.948	0.949

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.9. Diseño de conexiones

El diseño de las conexiones se realizará con la herramienta computacional IDEA STATICA, este software a través de la interoperatividad que tiene con SAP2000, importará las cargas más críticas de los nodos que representan las conexiones a diseñar, de modo que se evaluará el desempeño de los pernos y cordones de soldadura de acorde con el capítulo J de la norma AISC 360 siguiendo la metodología LRFD, así como desempeño del concreto y pernos de anclaje de acorde a la norma ACI 318 capítulo 17.

Se validará todo tipo de planchas en base al cálculo por elementos finitos de la plasticidad alcanzada por el esfuerzo principal, esta plasticidad deberá de estar por debajo del 5% según lo especificado en el apéndice C8 Fuente 1 del Eurocódigo 1993-1-5.

##### 4.9.1. Diseño de conexiones de estructura de alma llena

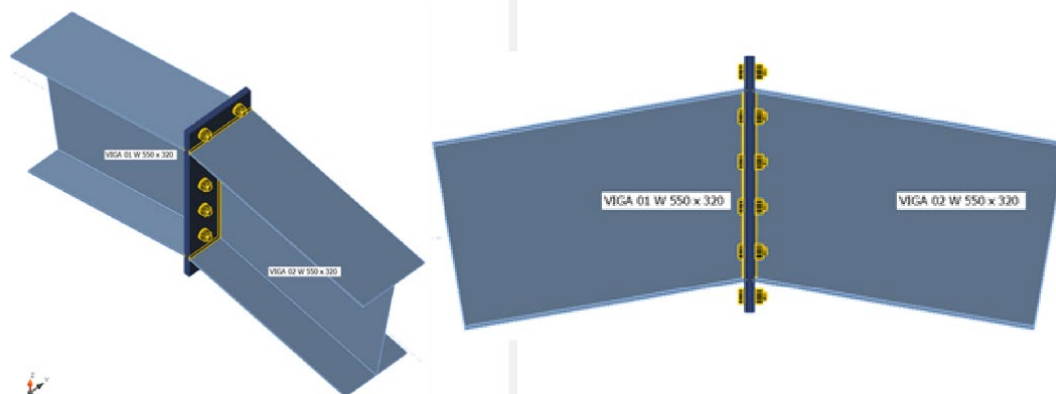
La estructura de alma llena cuenta con 4 tipos de conexiones importantes, las cuales requieren un análisis y diseño correspondientes para funcionar satisfactoriamente en servicio.

##### ➤ **Conexión de cumbrera:**

La conexión de cumbrera estará compuesta por lo siguiente:

- 2 P1/2"x740x320mm ASTM A36
- 12 pernos ASTM A325 de 7/8"
- Soldaduras tipo filete de 6 mm de altura de E7018

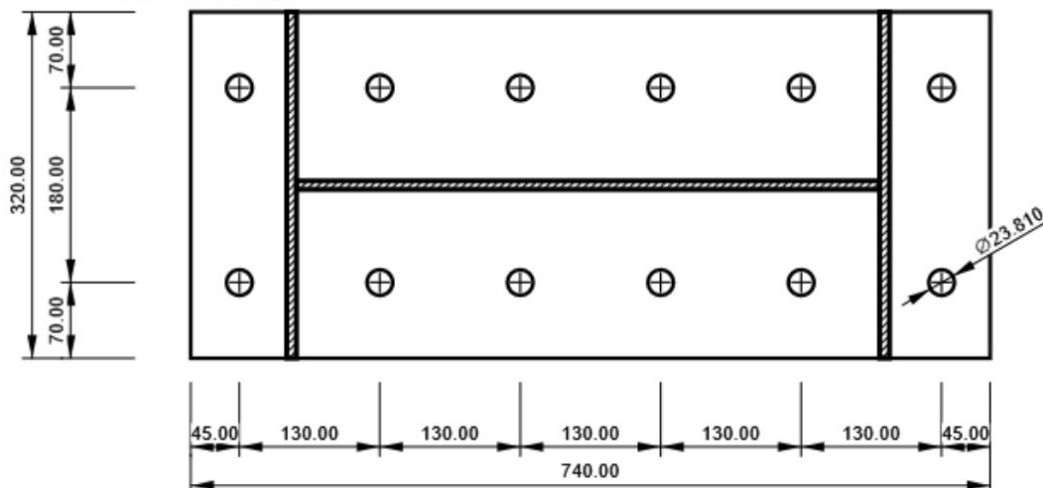
**Figura 4.92**  
*Conexión de cumbrera en IDEA STATICA*



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.93**  
*Placa de extremo de conexión de cumbrera en IDEA STATICA*

P12.700x740.00-320.00 (A36)



Fuente. Fuente propia, 2023.

Las cargas más críticas producidas en el nodo para la conexión son:

**Figura 4.94**  
*Cargas para la conexión de cumbrera en IDEA STATICA*

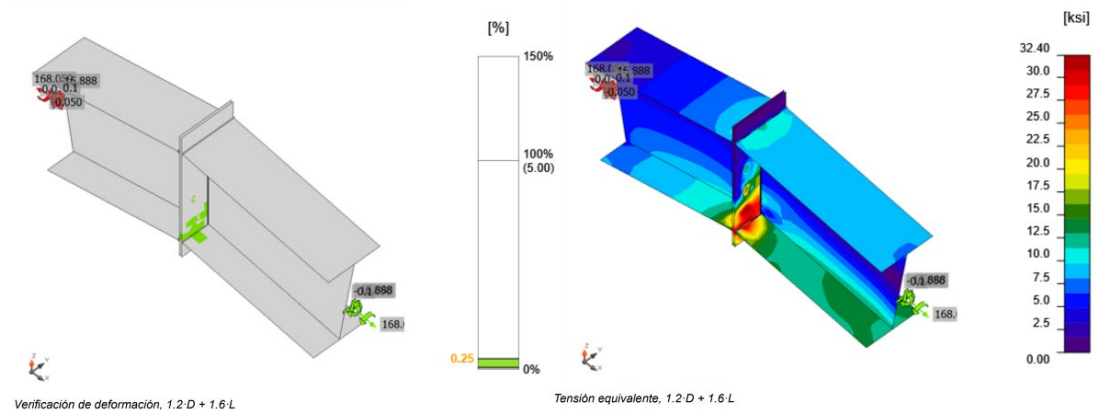
Cargas (Fuerzas en equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2-D + 1.6-L	VIGA 01 W 550 x 320	168.059	-0.050	-16.888	0.0	-131.3	0.1
	VIGA 02 W 550 x 320	32.699	-0.005	-3.415	0.0	-25.5	0.0

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.95**

*Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de cumbrera en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según el comportamiento de la conexión frente las cargas aplicadas, se tiene que el tornillo y cordón de soldadura más críticos trabajan a un 77.7% y 76.9% de su máxima capacidad respectivamente, además se tiene una plasticidad máxima en las placas del 0.3%. De este modo, se tienen validados los cordones de soldadura, pernos y placas metálicas usados en la conexión.

**Figura 4.96**

*Resultados de análisis de conexión de cumbrera en IDEA STATICA*

**Resumen**

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptar
Placas	0.3 < 5%	Aceptar
Tornillos	77.7 < 100%	Aceptar
Soldaduras	76.9 < 100%	Aceptar
Pandeo	No calculado	

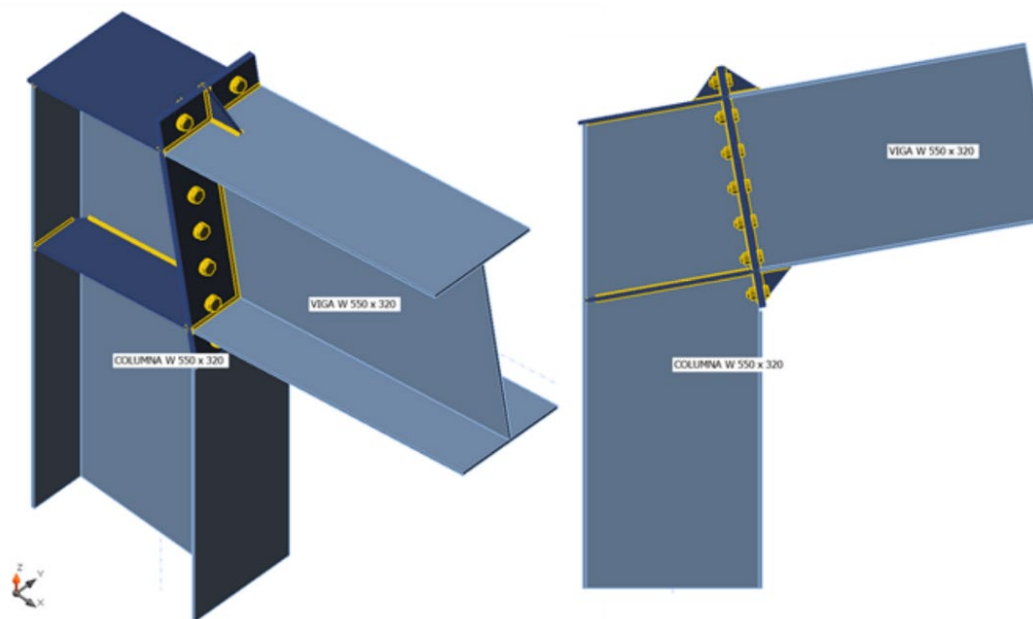
*Fuente.* Fuente propia, 2023.

➤ **Conexión de alero:**

La conexión de alero tipo PEB estará compuesta por lo siguiente:

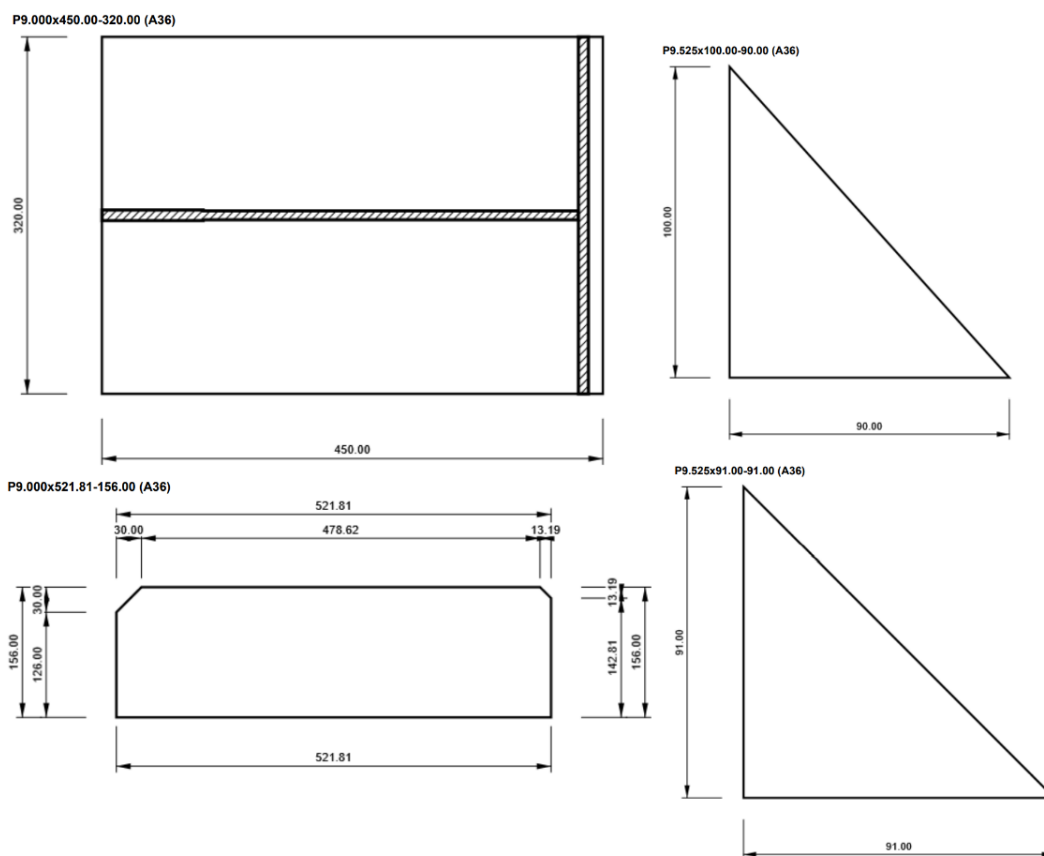
- 2 PL9x750x320mm ASTM A36
- PL9x450x320mm ASTM A36
- Cartela rigidizadora y nervios de 9 mm de espesor ASTM A36
- 14 pernos ASTM A325 de 3/4"
- Soldaduras tipo filete de 6 mm de altura de E7018

**Figura 4.97**  
*Conexión de alero tipo PEB en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.98**  
*Placa rigidizadora y nervios de conexión de alero en IDEA STATICA*

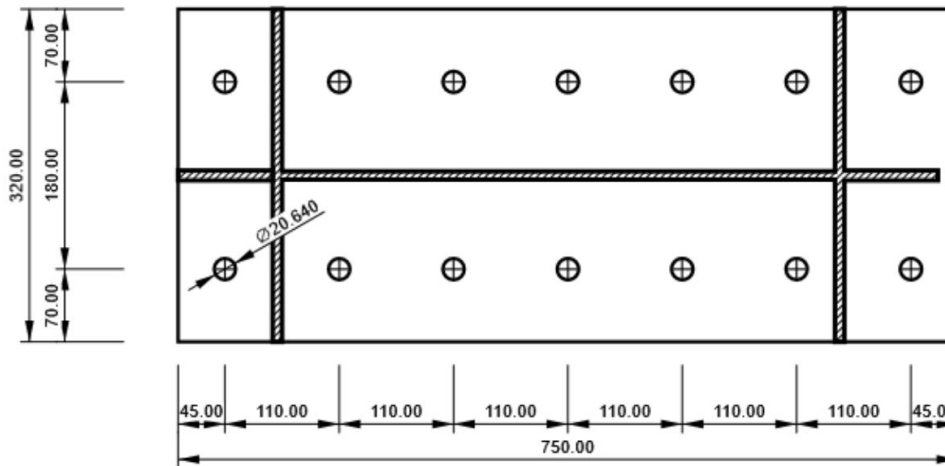


*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.99**

Placa de extremo de conexión de alero en IDEA STATICA

P9.000x750.00-320.00 (A36)



Fuente. Fuente propia, 2023.

Las cargas más críticas producidas en el nodo para la conexión son:

**Figura 4.100**

Cargas para la conexión de alero en IDEA STATICA

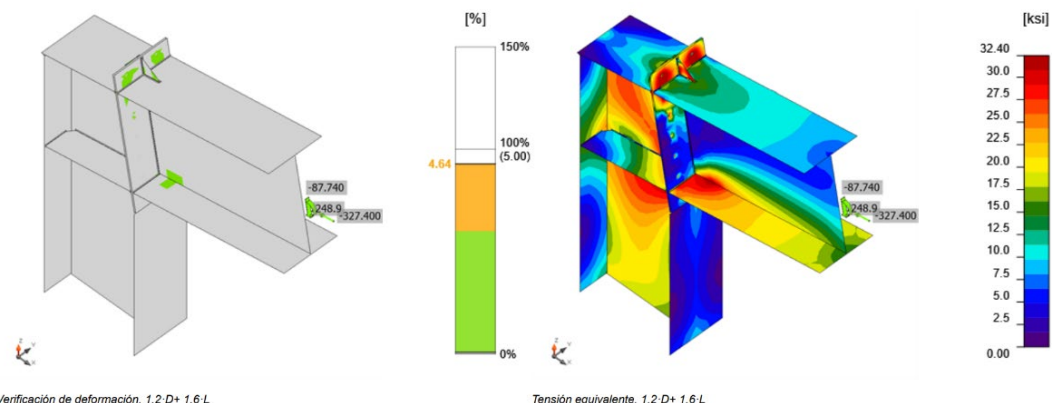
Cargas (No se requiere el equilibrio)

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2-D+ 1.6-L	VIGA W 550 x 320	-327.400	0.000	-87.740	0.0	248.9	0.0

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.101**

Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de alero tipo PEB en IDEA STATICA



Fuente. Fuente propia, 2023.

Según el comportamiento de la conexión frente las cargas aplicadas, se tiene que el tornillo y cordón de soldadura más críticos trabajan a un 73.2% y 90.6% de su máxima capacidad

respectivamente, además se tiene una plasticidad máxima en las placas del 4.6%. De este modo, se tienen validados los cordones de soldadura, pernos y placas metálicas usados en la conexión.

**Figura 4.102**

*Resultados de análisis de conexión de alero en IDEA STATICA*

**Resumen**

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptar
Placas	4.6 < 5%	Aceptar
Tornillos	73.2 < 100%	Aceptar
Soldaduras	90.6 < 100%	Aceptar
Pandeo	No calculado	

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

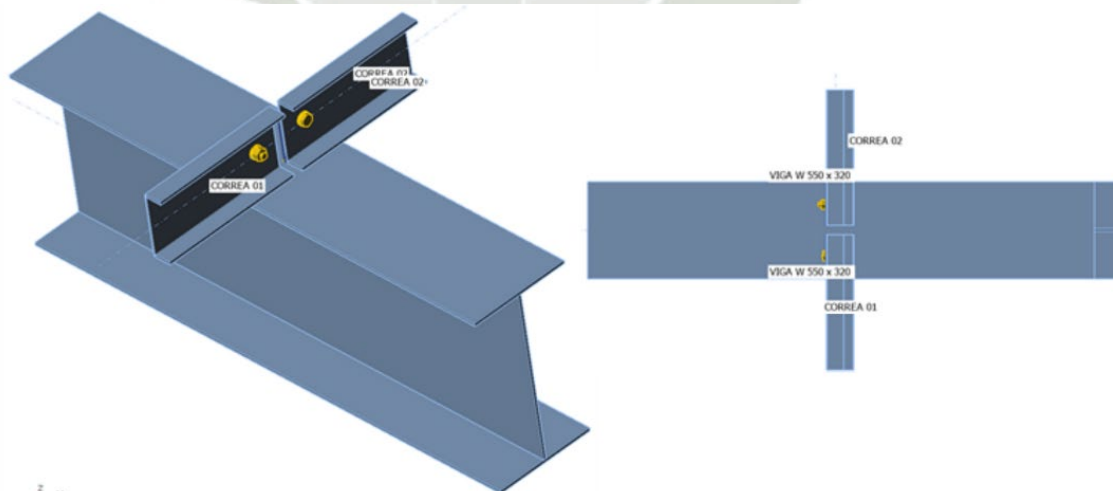
➤ **Conexión de correas:**

La conexión de correas estará compuesta por lo siguiente:

- PL9x150x140mm ASTM A36
- 1 Perno ASTM A325 de 3/4"
- Soldaduras tipo filete de 6 mm de altura de E7018

**Figura 4.103**

*Conexión de correas en IDEA STATICA*

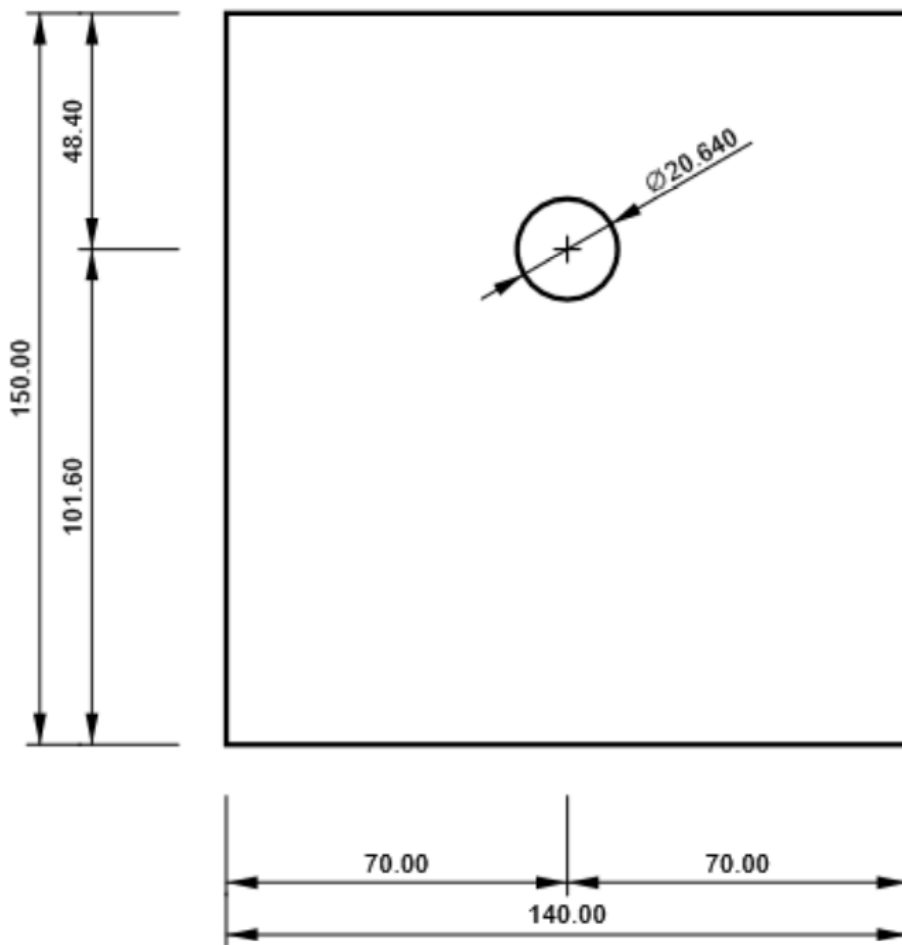


*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.104**

*Placa de unión conexión de correas en IDEA STATICA*

**P9.000x150.00-140.00 (A36)**



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Las cargas más críticas producidas en el nodo para la conexión son:

**Figura 4.105**

*Cargas para la conexión de correas en IDEA STATICA*

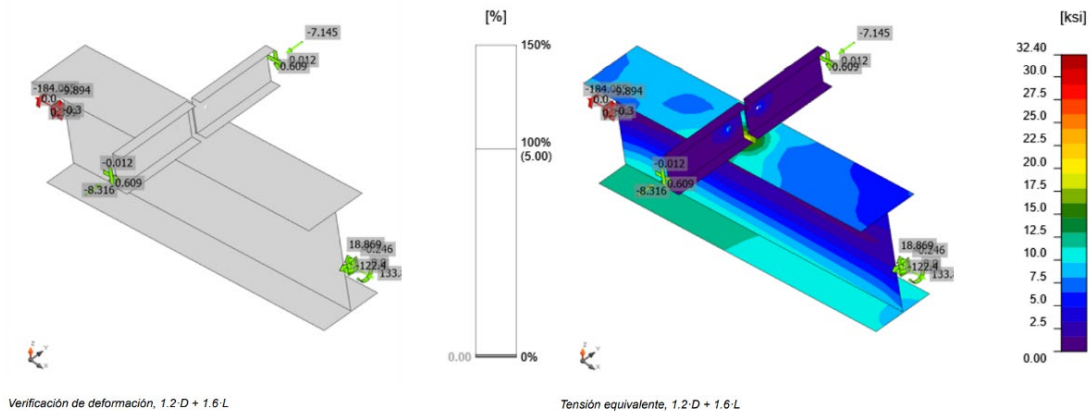
**Cargas (Fuerzas en equilibrio)**

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2·D + 1.6·L	VIGA W 550 x 320	-184.055	0.399	-9.894	0.0	109.3	-0.3
	VIGA W 550 x 320	133.834	-0.246	18.869	0.0	-122.4	-0.5
	CORREA 01	-8.316	-0.012	0.609	0.0	0.0	0.0
	CORREA 02	-7.145	0.012	0.609	0.0	0.0	0.0

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.106**

*Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de correas en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según el comportamiento de la conexión frente las cargas aplicadas, se tiene que el tornillo y cordón de soldadura más críticos trabajan a un 10.9% y 75.4% de su máxima capacidad respectivamente, además se tiene una plasticidad máxima en las placas del 0.0%. De este modo, se tienen validados los cordones de soldadura, pernos y placas metálicas usados en la conexión.

**Figura 4.107**

*Resultados de análisis de conexión de correas en IDEA STATICA*

**Resumen**

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptar
Placas	0.0 < 5%	Aceptar
Tornillos	10.9 < 100%	Aceptar
Soldaduras	75.4 < 100%	Aceptar
Pandeo	No calculado	

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

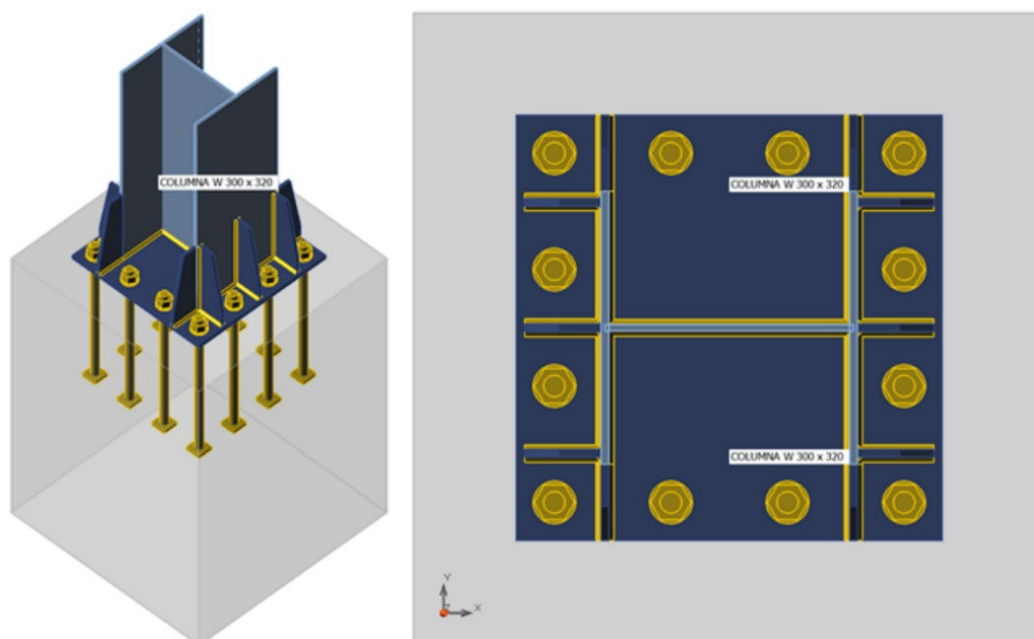
➤ **Conexión de placa base:**

La conexión de placa base estará compuesta por lo siguiente:

- PL1/2"x500x500 ASTM A36 y refuerzos de 9 mm de espesor
- 12 anclajes F1554 Grado 110 de 1" de 450 mm de longitud
- Soldaduras tipo filete de 6 mm de altura de E7018
- Concreto FC 250 kg/cm<sup>2</sup> con bloque de cimentación de 740 x740 x1000mm

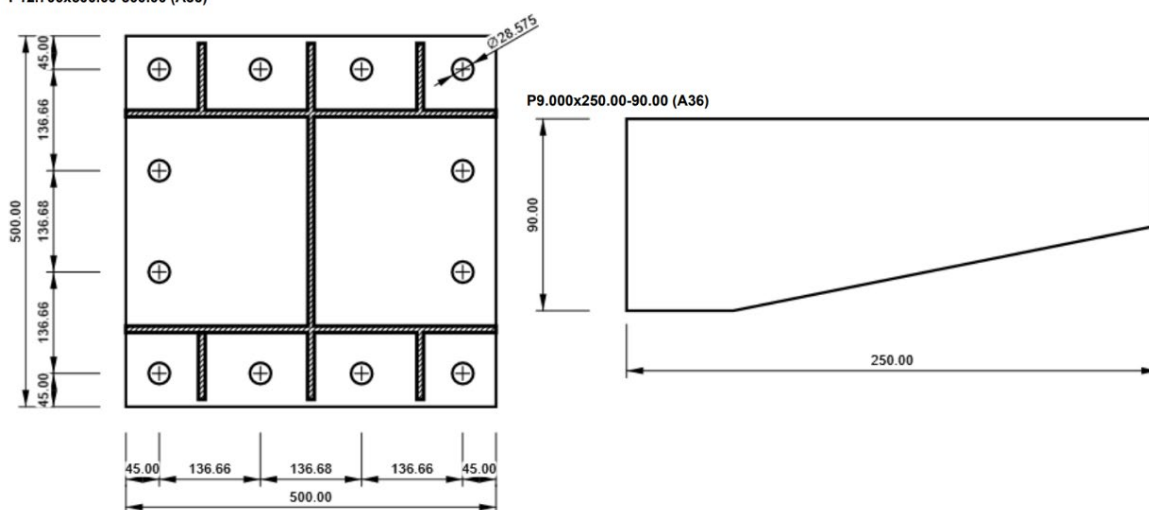
La conexión de placa base se rigidizará a través de cartelas, debido a que en el diseño estructural se consideraron dichos nodos como apoyos empotrados, esta condición se puede lograr a través de la adición de placas rigidizadoras que limiten la deformación en las alas de la sección.

**Figura 4.108**  
*Conexión de placa base en IDEA STATICA*



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.109**  
*Placa de unión y nervios de conexión de placa base en IDEA STATICA*  
P12.700x500.00-500.00 (A36)



Fuente. Fuente propia, 2023.

Las cargas más críticas producidas en el nodo para la conexión son:

**Figura 4.110**

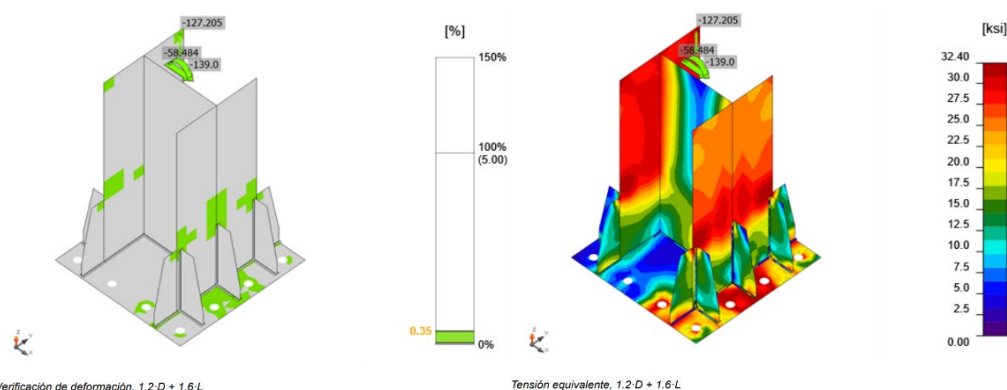
*Cargas para la conexión de placa base en IDEA STATICA*

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2·D + 1.6·L + 0.8·Wx-1	COLUMNA W 300 x 320	-128.347	0.000	-55.686	0.0	-127.1	0.0
1.2·D + 1.6·L	COLUMNA W 300 x 320	-127.205	0.000	-58.484	0.0	-139.0	0.0

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.111**

*Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de placa base en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según el comportamiento de la conexión frente las cargas aplicadas, se tiene que el anclaje y cordón de soldadura más críticos trabajan a un 37.2% y 76.4% de su máxima capacidad respectivamente, además se tiene una plasticidad máxima en las placas del 0.4% y un concreto que trabaja a un 18.7% de su máxima capacidad. De este modo, se tienen validados los cordones de soldadura, pernos, pedestal y placas metálicas usados en la conexión.

**Figura 4.112**

*Resultados de análisis de conexión de placa base en IDEA STATICA*

**Resumen**

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptar
Placas	0.4 < 5%	Aceptar
Anclajes	37.2 < 100%	Aceptar
Soldaduras	76.4 < 100%	Aceptar
Bloque de hormigón	18.7 < 100%	Aceptar
Pandeo	No calculado	

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

#### 4.9.2. Diseño de conexiones de estructura parabólica

La estructura parabólica cuenta con numerosas conexiones entre barras lisas y ángulos, sin embargo, los ratios de los miembros que conforman dichos nodos son bajos, por lo que no amerita un análisis detallado, asimismo, estas conexiones pueden realizarse con una altura de cordón de soldadura de 4 a 6 mm debido al espesor de los ángulos, asimismo en este apartado solo se verá el diseño de las conexiones más críticas que conforman este modelo.

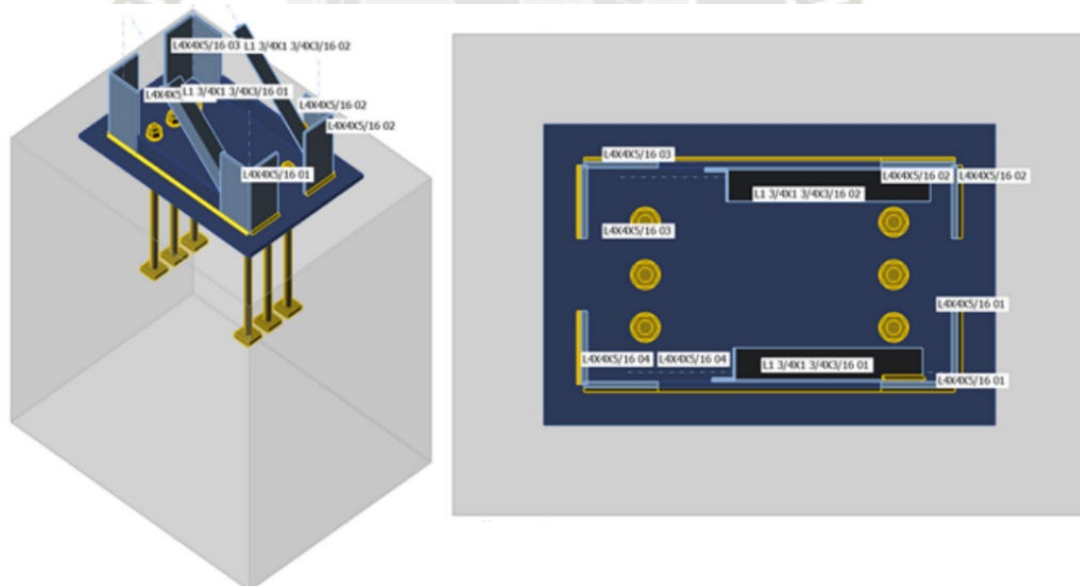
##### ➤ Conexión de placa base:

La conexión de placa base estará compuesta por lo siguiente:

- PL1/2"x400x600mm ASTM A36 y refuerzos de 5/16" de espesor
- 6 Anclajes F1554 Grado 110 de 3/4" de 450 mm de longitud
- Soldaduras tipo filete de 6 mm de altura de E7018
- Concreto FC 250 kg/cm<sup>2</sup> con bloque de cimentación de 640x840x1000mm

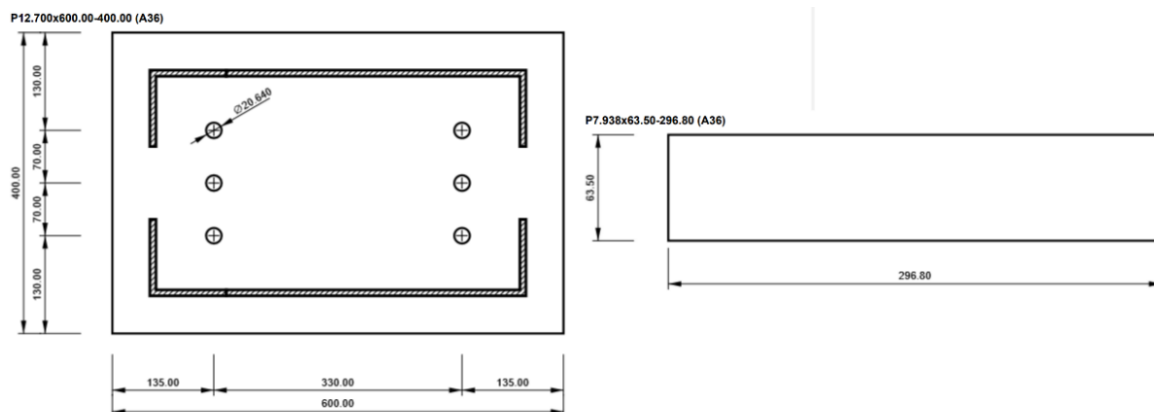
**Figura 4.113**

*Conexión de placa base en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.114**  
*Placa base y refuerzos de conexión en IDEA STATICA*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Las cargas más críticas producidas en el nodo para la conexión son:

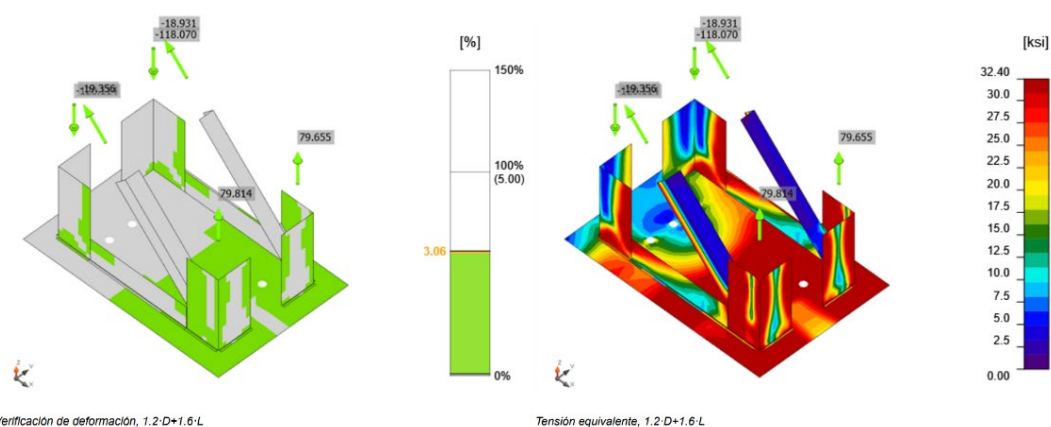
**Figura 4.115**  
*Cargas para la conexión de placa base en IDEA STATICA*

**Cargas (No se requiere el equilibrio)**

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2-D+1.6-L	L4X4X5/16 01	79.814	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L4X4X5/16 02	79.655	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L4X4X5/16 03	-118.070	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L4X4X5/16 04	-120.114	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L1 3/4X1 3/4X3/16 01	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L1 3/4X1 3/4X3/16 01	-19.356	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L1 3/4X1 3/4X3/16 02	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0
	L1 3/4X1 3/4X3/16 02	-18.931	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.116**  
*Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de placa base en IDEA STATICA*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Según el comportamiento de la conexión frente las cargas aplicadas, se tiene que el anclaje y cordón de soldadura más críticos trabajan a un 77.2% y 89.9% de su máxima capacidad respectivamente, además se tiene una plasticidad máxima en las placas del 3.1% y un concreto que trabaja a un 15.6% de su máxima capacidad. De este modo, se tienen validados los cordones de soldadura, pernos, pedestal y placas metálicas usados en la conexión.

**Figura 4.117**

*Resultados de análisis de conexión de placa base en IDEA STATICA*

**Resumen**

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptar
Placas	3.1 < 5%	Aceptar
Anclajes	77.2 < 100%	Aceptar
Soldaduras	89.9 < 100%	Aceptar
Bloque de hormigón	15.6 < 100%	Aceptar
Pandeo	No calculado	

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

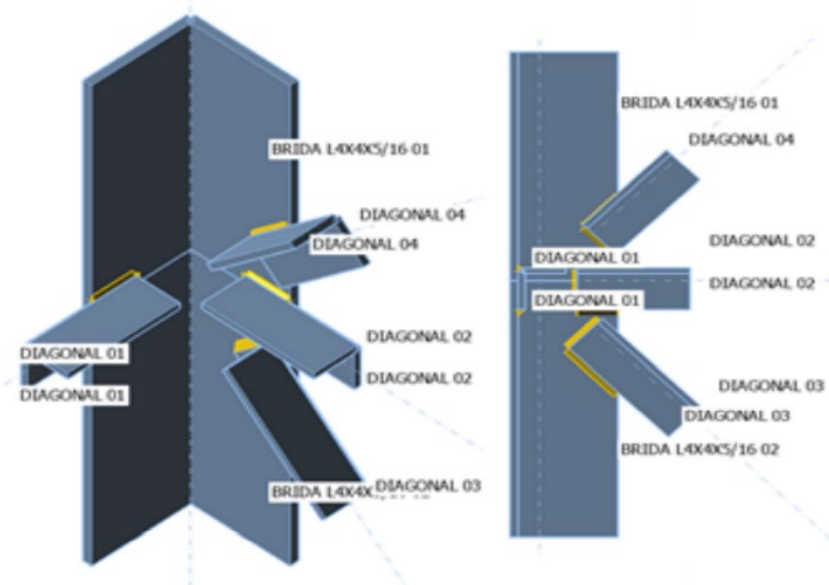
➤ **Conexión de nodo de columna:**

La conexión de placa base estará compuesta por lo siguiente:

- Soldaduras tipo filete de 6 mm de altura de E7018

**Figura 4.118**

*Conexión de nodo en columna en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Las cargas más críticas producidas en el nodo para la conexión son:

**Figura 4.119**

*Cargas para la conexión de nodo en columna en IDEA STATICA*

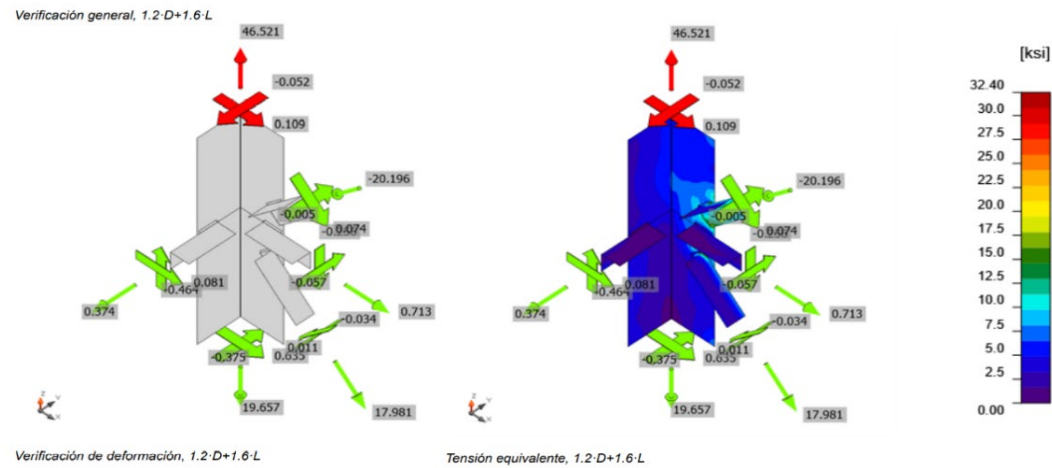
**Cargas (Fuerzas en equilibrio)**

Nombre	Elemento	N [kN]	Vy [kN]	Vz [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Mz [kNm]
1.2-D+1.6-L	BRIDA L4X4X5/16 01	46.521	0.109	-0.052	0.0	-0.2	0.3
	BRIDA L4X4X5/16 02	19.657	0.635	-0.375	0.0	0.2	0.4
	DIAGONAL 01	0.374	-0.464	0.081	0.0	0.0	-0.1
	DIAGONAL 02	0.713	-0.256	-0.057	0.0	0.0	-0.1
	DIAGONAL 03	17.981	-0.034	0.011	0.0	0.0	0.0
	DIAGONAL 04	-20.196	-0.005	0.074	0.0	0.0	0.0

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 4.120**

*Análisis de tensiones y plasticidad de conexión de nodo en columna en IDEA STATICA*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según el comportamiento de la conexión frente las cargas aplicadas, se tiene que el cordón de soldadura más crítico trabaja a un 47.4% de su máxima capacidad respectivamente, además se tiene una plasticidad máxima en las placas del 0.0%. De este modo, se tienen validados los cordones de soldadura, así como la integridad de los ángulos.

**Figura 4.121**

*Resultados de análisis de conexión de nodo en columna en IDEA STATICA*

**Resumen**

Nombre	Valor	Estado de la verificación
Análisis	100.0%	Aceptar
Placas	0.0 < 5%	Aceptar
Soldaduras	47.4 < 100%	Aceptar
Pandeo	No calculado	

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

La conexión de nodo formado por ángulos tiene un bajo ratio de diseño debido a que las cargas actuantes son muy pequeñas, este tipo de conexión se repite en toda la estructura, tanto en los aleros, en la conexión de las correas con los pórticos y en los nodos de los arcos de la estructura, por la tanto no se requiere de un análisis para las demás conexiones por la pequeña relación demanda-capacidad que tienen, basta con usar una altura de soldadura mínima recomendada por el código D1.1 de la AWS.

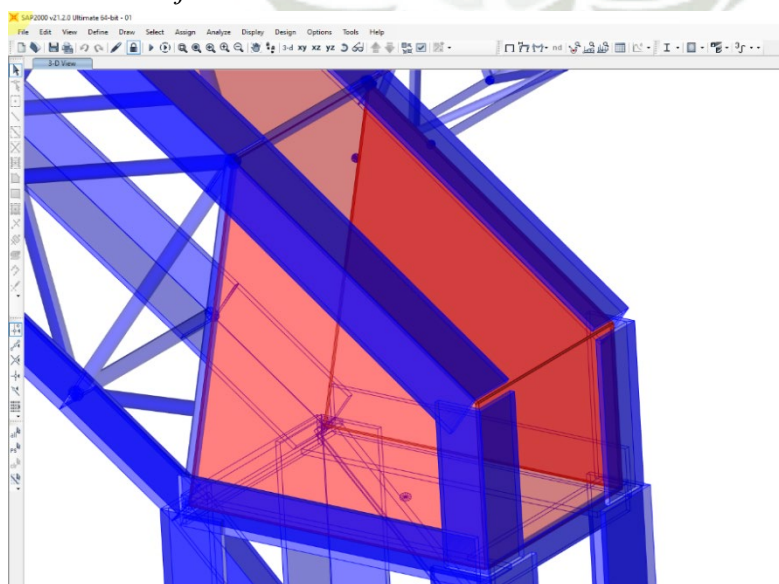
➤ **Conexión de alero encajonada:**

La conexión de alero encajonada estará compuesta por lo siguiente:

- 2PL6x400x600mm ASTM A36
- PL6x300x250mm ASTM A36
- PL6x300x487mm ASTM A36
- 2 Tapas laterales E =6mm ASTM A36
- Soldaduras tipo filete de 4 mm de altura de E7018

En esta conexión encajonada de alero se realizará la validación de las planchas de 6mm que se usaron, esto se realizará mediante el software SAP2000, de modo que se realizará el análisis del esfuerzo de Von Mises producido por la envolvente de cargas, para asimismo compararla con la resistencia del material.

**Figura 4.122**  
*Conexión encajonada de alero en SAP2000*

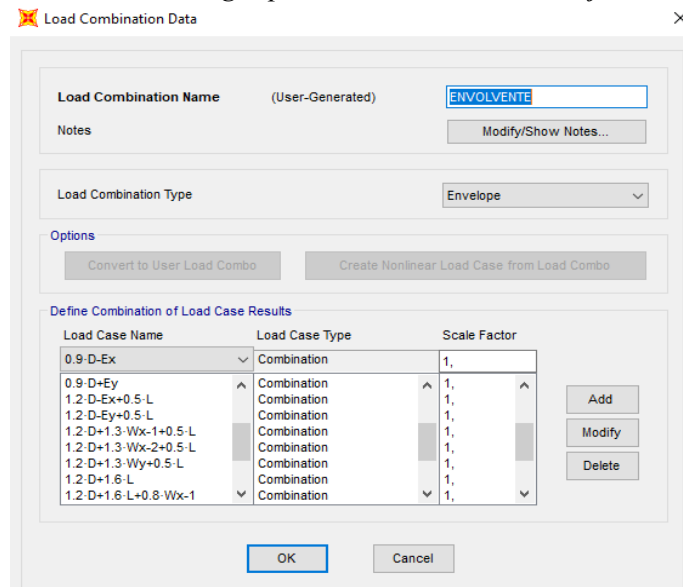


*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Las cargas para el análisis vienen de la creación de una envolvente que engloba todas las combinaciones de carga, de modo que se considerarán las cargas máximas para cada tipo de carga.

**Figura 4.123**

*Envolvente de cargas para análisis de alero encajonado en SAP2000*

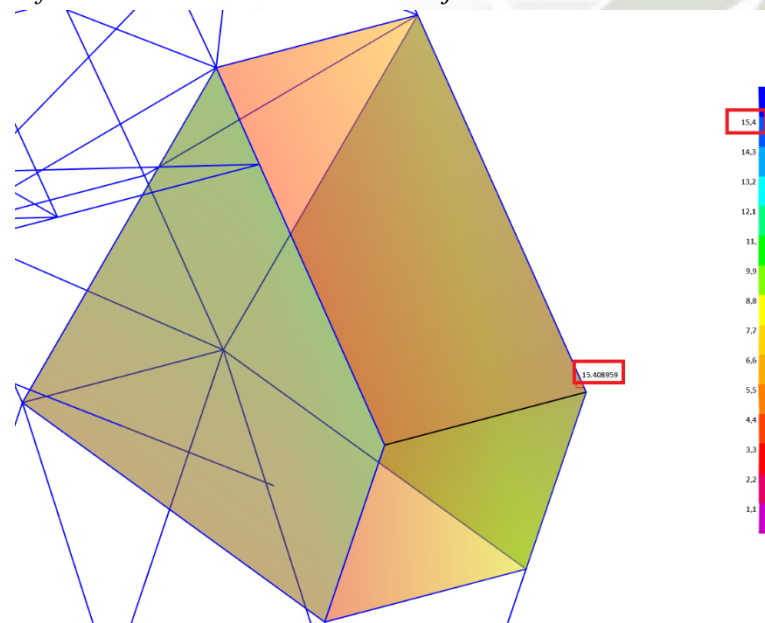


*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según la envolvente de cargas, se puede visualizar que el punto más crítico de la conexión recibe un esfuerzo de Von Mises de 15.4 ksi

**Figura 4.124**

*Esfuerzo de Von Mises de alero encajonado en SAP2000*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, sabiendo que las planchas son de acero A36 y que su esfuerzo de fluencia es de 36 ksi, se tiene:

$$36 \text{ ksi} > 15.4 \text{ ksi (OK)}$$

Como se puede visualizar, las cargas que actúan en las planchas encajonadas no son muy grandes, por lo tanto, se mantendrá su diseño mediante el uso de planchas de 6 mm, realizando su unión mediante soldadura SMAW con una altura de soldadura de 4 mm dado la tabla 7.7 de del código D1.1 de la AWS, la cual indica la altura de soldadura mínima para uniones soldadas.

#### **4.10. Comprobación de diseño conexiones mediante cálculo manual**

El software empleado para el diseño de las conexiones de ambos modelos fue el IDEA STATICA, software que utiliza el método de elementos finitos basado en componentes para el análisis y diseño de placas, tornillos y cordones de soldadura, además, utiliza las normas de diseño en acero para la determinación de los ratios de diseño de los componentes de las conexiones.

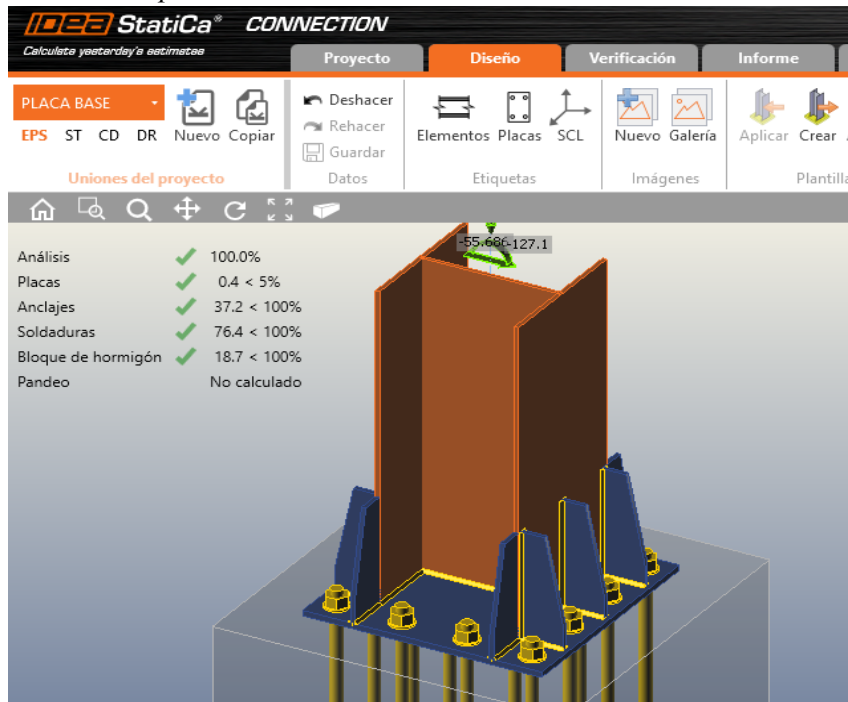
Este análisis también se puede realizar de forma manual, por lo tanto, en este apartado se mostrará la veracidad de los ratios de diseño mostrados por el software IDEA STATICA para la conexión de la placa base y la conexión atornillada de las correas de la estructura de alma llena, asimismo, se realizará esta comprobación mediante cálculos manuales usando el software PTC Mathcad prime.

##### **➤ Comprobación de diseño de conexión de placa base:**

Como se pudo ver en el apartado 4.8.1 la conexión de placa base de la estructura de alma llena tiene los siguientes ratios de diseño para sus componentes según análisis realizado en IDEA STATICA:

**Figura 4.125**

*Conexión de placa base de estructura de alma llena en IDEA STATICA*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Además, con el software se tienen las siguientes resistencias de los componentes más críticos de la conexión:

**Figura 4.126**

*Resistencia a compresión del concreto en IDEA STATICA*

**Resultado detallado para CB 1**

**Comprobación de la resistencia a compresión del bloque de hormigón (AISC 360-16 Section J8)**

$$\phi_c f_{p,max} = 24.1 \text{ MPa} \geq \sigma = 4.5 \text{ MPa}$$

Donde:

$$f_{p,max} = 37.2 \text{ MPa} \text{ – resistencia de cálculo a aplastamiento del bloque de hormigón:}$$

- $f_{p,max} = 0.85 \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7 \cdot f'_c$ , donde:
  - $f'_c = 24.5 \text{ MPa}$  – resistencia a compresión del hormigón
  - $A_1 = 118336.51 \text{ mm}^2$  – Área de la placa base en contacto con la superficie de hormigón
  - $A_2 = 376604.92 \text{ mm}^2$  – Superficie de apoyo del hormigón

$\phi_c = 0.65$  – factor de resistencia para el hormigón

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.127**

*Resistencia a tracción de anclaje en IDEA STATICA*

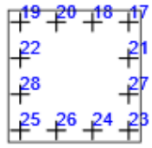
**Resultado detallado para A24**

**Resistencia a tracción del anclaje (ACI 318-14 – 17.4.1)**

$$\phi N_{sa} = \phi \cdot A_{se,N} \cdot f_{uta} = 235.364 \text{ kN} \geq N_f = 87.560 \text{ kN}$$

Donde:

- $\phi = 0.70$  – factor de resistencia
- $A_{se,N} = 390.97 \text{ mm}^2$  – Área a tracción
- $f_{uta} = 860.0 \text{ MPa}$  – resistencia última especificada para el acero del tornillo
  - $f_{uta} = \min(860 \text{ MPa}, 1.9 \cdot f_{ya}, f_u)$ , donde:
    - $f_{ya} = 758.4 \text{ MPa}$  – límite elástico especificado del acero del anclaje
    - $f_u = 861.8 \text{ MPa}$  – resistencia última especificada para el acero del anclaje



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.128**

*Resistencia al arrancamiento de anclaje en IDEA STATICA*

**Resistencia al arrancamiento de barra del hormigón (ACI 318-14 – 17.4.3)**

$$\phi N_{pn} = \phi \cdot \Psi_{c,P} \cdot N_p = 273.480 \text{ kN} \geq N_f = 87.560 \text{ kN}$$

Donde:

- $\phi = 0.70$  – factor de resistencia
- $\Psi_{c,P} = 1.00$  – factor modificador para la condición del hormigón
- $N_p = 390.685 \text{ kN}$  – resistencia básica del hormigón a arrancamiento del anclaje por falta de adherencia:
  - $N_{pr} = 8 \cdot A_{brg} \cdot f'_c$ , donde:
    - $A_{brg} = 1993.29 \text{ mm}^2$  – área portante de la cabeza del perno o anclaje
    - $f'_c = 24.5 \text{ MPa}$  – resistencia a compresión del hormigón

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.129**

*Resistencia a cortante del anclaje en IDEA STATICA*

**Resistencia a cortante (ACI 318-14 – 17.5.1)**

$$\phi V_{sa} = \phi \cdot 0.6 \cdot A_{se,V} \cdot f_{uta} = 131.131 \text{ kN} \geq V = 5.073 \text{ kN}$$

Donde:

- $\phi = 0.65$  – factor de resistencia
- $A_{se,V} = 390.97 \text{ mm}^2$  – Área a tracción
- $f_{uta} = 860.0 \text{ MPa}$  – resistencia última especificada para el acero del tornillo
  - $f_{uta} = \min(860 \text{ MPa}, 1.9 \cdot f_{ya}, f_u)$ , donde:
    - $f_{ya} = 758.4 \text{ MPa}$  – límite elástico especificado del acero del anclaje
    - $f_u = 861.8 \text{ MPa}$  – resistencia última especificada para el acero del anclaje

Fuente. Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, haciendo uso de la norma AISC 360, se procede a hacer el diseño de la placa base considerando las condiciones más críticas del nodo más crítico de placa base.

Usando el software PTC Mathcad Prime, se definen primero las propiedades de la sección transversal del perfil estructural para posteriormente realizar el diseño:

**Figura 4.130**

*Asignación de propiedades de sección transversal en PTC Mathcad Prime*

**DISEÑO DE PLACA BASE EN COLUMNA DE SISTEMA OMF**

**1- Definición de perfil de columna a utilizar y altura de piso**

**1.1 Perfil WF12x50**

$d_c := 300 \text{ mm}$	Altura de la sección
$b_{fc} := 320 \text{ mm}$	Ancho del ala
$t_{fc} := 9 \text{ mm}$	Espesor del ala
$t_{wc} := 8 \text{ mm}$	Espesor del alma
$A_c := 80.16 \text{ cm}^2$	Área gruesa
$Z_{xc} := 997.128 \text{ cm}^3$	Módulo plástico "X"



**2- Propiedades de los materiales**

**2.1 Resistencia del acero (ASTM A36)**

$F_{yc} := 250 \text{ MPa}$	Tensión cedente en columna
$F_{ypl} := 250 \text{ MPa}$	Tensión cedente en placa base
$F_{upl} := 400 \text{ MPa}$	Tensión última en placa base
$E := 2100000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Módulo de elasticidad

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se procede a definir el tipo de concreto, anclajes y cargas factoradas últimas para en análisis y diseño de la conexión:

**Figura 4.131**

*Definición de materiales y cargas en PTC Mathcad Prime*

**2.2 Resistencia del concreto**

$f'_c := 24.5 \text{ MPa}$  Resistencia a compresión del concreto

**2.3 Barras de anclaje a utilizar: ASTM F1554 Gr 105**

$F_{y\_barras} := 110 \text{ ksi}$  Esfuerzo de fluencia del perno

$F_{u\_barras} := 125 \text{ ksi} = 861.84 \text{ MPa}$  Esfuerzo último del perno

**3- Resultados del análisis en la base de la columna**

**3.1 Fuerzas axiales**  
Se obtiene de la combinación mas desfavorable

$P_u := 127.205 \text{ kN}$

**3.2 Resistencia requerida a flexión**  
Se obtiene de la combinación mas desfavorable

$M_u := 138.963 \text{ kN} \cdot \text{m}$  Resistencia requerida a flexión en la placa base.

**3.3 Resistencia requerida a corte**  
Se obtiene de la combinación mas desfavorable

$V_u := 58.484 \text{ kN}$  Resistencia requerida a corte en la placa base.

Fuente. Fuente propia, 2023.

A continuación, se procede a definir la geometría de la placa base, pedestal y distribución de pernos de anclaje:

**Figura 4.132**

*Definición de placa base en PTC Mathcad Prime*

**4- Configuración de la placa base**

**4.1 Dimensiones generales**

$N := 500 \text{ mm}$  Largo de la placa

Mínimo recomendado en la Guía de diseño N°2

$N_{min} := d_c + 2 \cdot 7.5 \text{ cm} = 450 \text{ mm}$

$B := 500 \text{ mm}$  Ancho de la placa

Mínimo recomendado en la Guía de diseño N°2

$B_{min} := b_{fc} + 2 \cdot 5 \text{ cm} = 420 \text{ mm}$

$h_{s1} := \frac{N - d_c}{2} = 100 \text{ mm}$  Distancia de columna a bordes sup. e inf. de la placa.

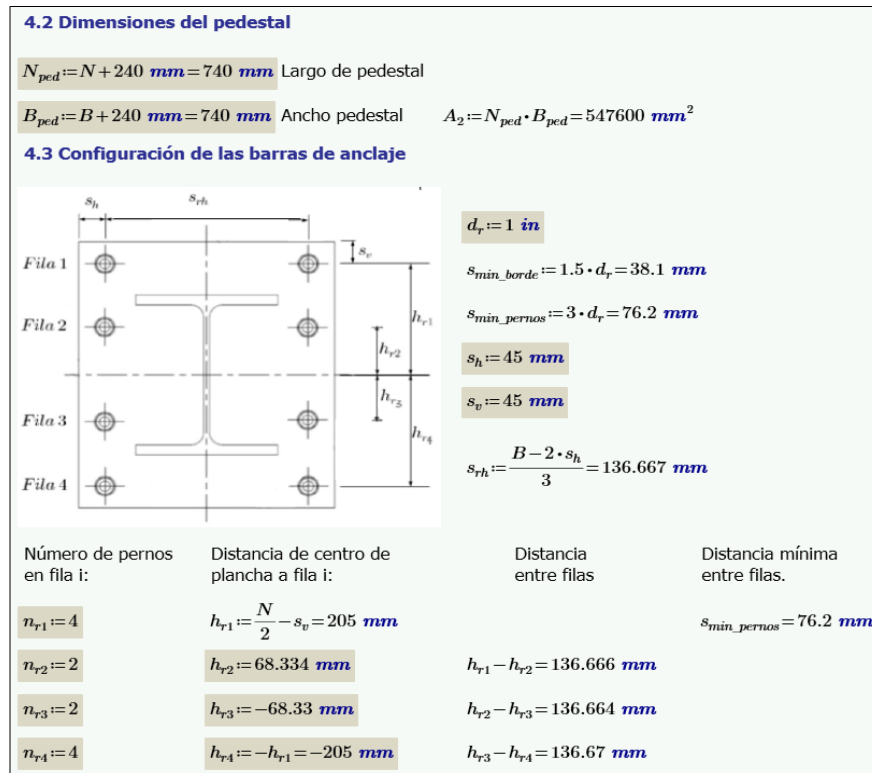
$h_{s2} := \frac{B - b_{fc}}{2} = 90 \text{ mm}$  Distancia de columna a bordes der. e izq. de la placa

$A_1 := N \cdot B = 250000 \text{ mm}^2$  Área de la placa base

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 1.133**

*Definición de pedestal y distribución de anclajes en PTC Mathcad Prime*

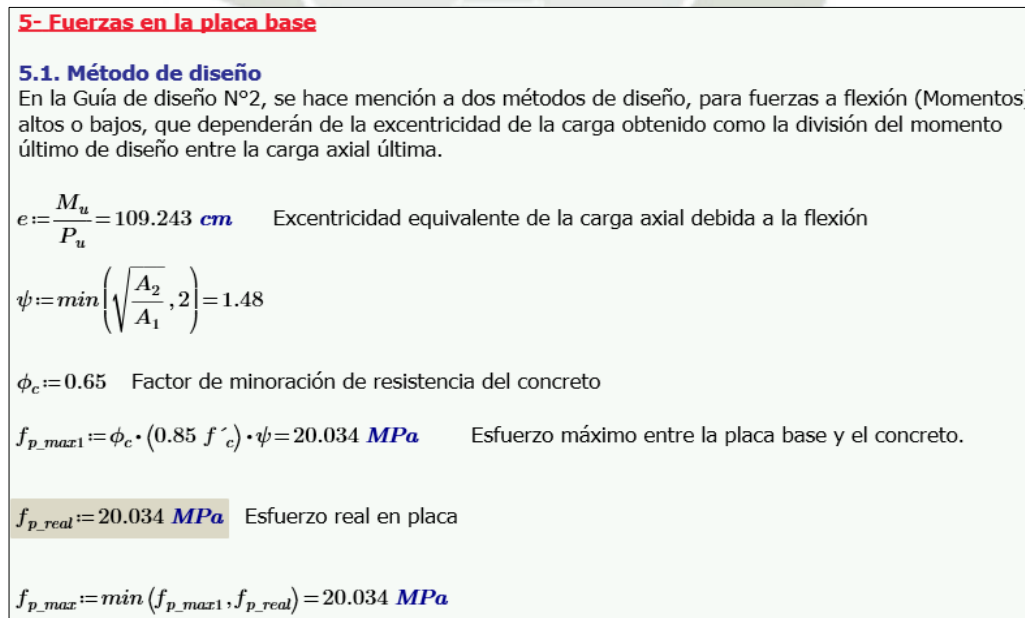


Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se procede a determinar la resistencia a compresión máxima del bloque de concreto:

**Figura 4.134**

*Determinación de resistencia a compresión del concreto en PTC Mathcad Prime*



Fuente. Fuente propia, 2023.

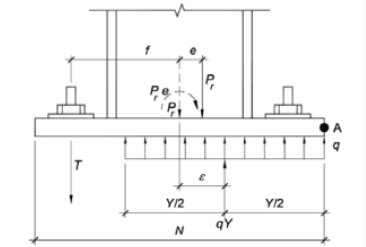
A continuación, se procede a verificar si se encuentra en la presencia de momentos pequeños o grandes y asimismo se empieza a determinar el ancho en compresión de la placa base:

**Figura 4.135**

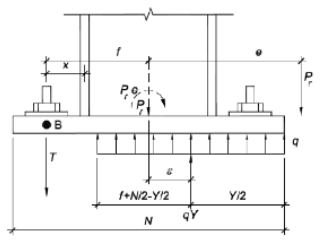
*Verificación de tipo de momentos de conexión en PTC Mathcad Prime*

$q_{max} := f_{p_{max}} \cdot B = 100.168 \frac{kN}{cm}$  Fuerza máxima entre la placa base y el concreto por ancho unitario.

$e_{crit} := \frac{N}{2} - \frac{P_u}{2 q_{max}} = 24.365 \text{ cm}$  Excentricidad crítica



**MOMENTOS PEQUEÑOS**



**MOMENTOS GRANDES**

Se aplicará el método para:

**if** ( $e > e_{crit}$ , "Momentos Altos", "Momentos Bajos") = "Momentos Altos"

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.136**

*Ancho en compresión de placa base en PTC Mathcad Prime*

**5.2. Ancho en compresión**

$s_b := 50 \text{ mm}$  Separación vertical de la barra al borde de la placa mínimo

$s_{v_{min}} := 1.5 \cdot d_r = 38.1 \text{ mm}$

$f := -h_{r4} = 205 \text{ mm}$  Distancia desde el centro de la placa base a la fila de barras más traccionadas.

Para momentos bajos:

$Y_{mb} := N - 2 e = -1.685 \cdot 10^3 \text{ mm}$  Ancho en compresión para momentos bajos.

Para momentos altos:

$\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 = (2.07 \cdot 10^3) \text{ cm}^2$        $\frac{2 P_u \cdot (e+f)}{q_{max}} = 329.526 \text{ cm}^2$

**if**  $\left(\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 \geq \frac{2 P_u \cdot (e+f)}{q_{max}}\right)$ , "Ok", "Aumentar largo" = "Ok"

$Y_{ma} := \left(f + \frac{N}{2}\right) - \sqrt{\left(f + \frac{N}{2}\right)^2 - \frac{2 P_u \cdot (e+f)}{q_{max}}} = 37.78 \text{ mm}$  Ancho en compresión para momentos altos.

$Y := \text{if}(e > e_{crit}, Y_{ma}, Y_{mb}) = 37.78 \text{ mm}$  Ancho final en compresión.

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se procede a determinar las fuerzas resultantes en los pernos de anclaje:

**Figura 4.137**

*Fuerzas resultantes para los pernos en anclaje en PTC Mathcad Prime*

**5.3. Fuerzas resultantes (Para resistencia a tracción de anclajes ACI 318)**

$$q := \text{if} \left( e > e_{crit}, q_{max}, \frac{P_u}{Y} \right) = 100.168 \frac{kN}{cm} \quad \text{Fuerza entre la placa base y el concreto.}$$

$$N_{ua.g} := \text{if} \left( e > e_{crit}, q \cdot Y - P_u, 0 \right) = 251.232 \text{ kN} \quad \text{Fuerza en última fila de barras a tracción.}$$

$n_{r5} := 4$  Número de barras de la última fila a tracción.

$$N_{ua} := \frac{N_{ua.g}}{n_{r5}} = 62.808 \text{ kN} \quad \text{Fuerza de diseño a tracción de la barra de anclaje en la última fila.}$$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora que ya se tiene definidas las dimensiones de la placa base, se procede a determinar el espesor necesario:

**Figura 4.138**

*Determinación de espesor de placa base en PTC Mathcad*

**7- Espesor de la placa base**  
Para el diseño por flexión de la placa base se evaluará la zona en compresión y en tracción.

**7.1 Espesor por flexión de la zona a compresión**

$$m := \frac{N - 0.95 \cdot d_c}{2} = 107.5 \text{ mm} \quad \text{Distancia teórica en cantiléver desde el ala a la columna al borde de la placa.}$$

$$n := \frac{B - 0.8 \cdot b_{fc}}{2} = 122 \text{ mm} \quad \text{Distancia teórica en cantiléver desde el alma de la columna al borde de la placa}$$

$$l := \max(m, n) = 122 \text{ mm}$$

$$t := \sqrt{\frac{2 \cdot P_u \cdot l^2}{0.90 \cdot F_{yp1} \cdot A_1}} = 0.323 \text{ in}$$

(c) Base Plate Design Moment Determination

Fuente. Fuente propia, 2023.

Según el cálculo, el espesor requerido es de 0.32 pulgadas, por lo tanto, se usará un espesor de ½ pulgada para la placa base ya que justamente es el espesor que se usó en IDEA SATICA.

Dado que ya se tiene diseñada la placa base y el pedestal, se procede a revisar los estados límites correspondientes para el diseño de los pernos de anclaje según la norma ACI 318:

**Figura 4.139**

*Resistencia de tracción de perno de anclaje en PTC Mathcad*

**8- Anclaje al concreto (Capítulo 17 del ACI 318-14)**

**8.1 Resistencia del acero de un anclaje en tracción**

$N_{ua} = 62.81 \text{ kN}$  Tracción en la barra de anclaje

$F_{y\_barras} := 110 \text{ ksi}$  Esfuerzo de fluencia del perno

$F_{u\_barras} := 125 \text{ ksi}$  Esfuerzo último del perno

$F_{uta} := \min(1.9 \cdot F_{y\_barras}, 860 \text{ MPa}, F_{u\_barras}) = 124.73 \text{ ksi}$  Tensión última a tracción de la barra de anclaje

$\phi := 0.70$  Factor de resistencia a tracción de pernos

$A_{anclaje} := \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_r}{1.14}\right)^2 = 389.89 \text{ mm}^2$  Área efectiva de la barra de anclaje

$N_{sa} := \phi \cdot F_{uta} \cdot A_{anclaje} = 234.72 \text{ kN}$  Resistencia minorada a tracción de la barra de anclaje

$RATIO := \frac{N_{ua}}{N_{sa}} = 0.268$



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.140**

*Resistencia al arrancamiento del anclaje en PTC Mathcad*

**8.2 Resistencia a la extracción por deslizamiento en tracción de un anclaje pre-instalado o post-instalado de expansión o con sobreperforación en su base**

a) Se define el washer (placa de refuerzo en la base del anclaje)

$a_{washer} := 50 \text{ mm}$      $b_{washer} := 50 \text{ mm}$      $t_{washer} := \frac{3}{8} \text{ in}$      $A_{anclaje\ total} := \frac{\pi}{4} \cdot (d_r)^2 = 506.71 \text{ mm}^2$

$A_{washer} := a_{washer} \cdot b_{washer} = 3.875 \text{ in}^2$

$A_{brg} := A_{washer} - A_{anclaje\ total} = 1993.293 \text{ mm}^2$

b) Se determina la resistencia

$N_p := 8 \cdot A_{brg} \cdot f'_c = 390.69 \text{ kN}$  Resistencia nominal.     $\Psi_{c_p} := 1$

$N_{pm} := \Psi_{c_p} \cdot N_p = 390.69 \text{ kN}$  Resistencia modificada.

$\phi := 0.70$  Factor de minoración.

$\phi N_{pm} := \phi \cdot N_{pm} = 273.48 \text{ kN}$  Resistencia minorada.

$N_{ua} = 62.808 \text{ kN}$  Tracción en una barra de anclaje

$RATIO := \frac{N_{ua}}{\phi N_{pm}} = 0.23$

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.141**  
*Resistencia al corte de anclaje en PTC Mathcad*

**9. Diseño por corte**

**9.1 Resistencia por corte considerando solo las barras de anclaje**

$V_u = 58.484 \text{ kN}$  Corte último en la placa base.

$n_{r\_corte} := n_{r1} + n_{r2} + n_{r3} = 8$  Número de barras efectivas para resistir corte. Se considera el número total de barras menos las que se encuentran en la fila más traccionada.

$V_{Perno} := \frac{V_u}{n_{r\_corte}} = 7.311 \text{ kN}$  Corte último en perno.

$F_{nv} := \min(860 \text{ MPa}, F_{y\_barras} \cdot 1.9, F_{u\_barras}) = 124.732 \text{ ksi}$

$\phi := 0.65$  Factor de minoración.

$d_r = 1 \text{ in}$  Diámetro de la barra de anclaje

$A_r := \frac{\pi \cdot \left(\frac{d_r}{1.14}\right)^2}{4} = 389.895 \text{ mm}^2$  Área de la barra de anclaje

$\phi P_{rv\_barras} := \phi \cdot 0.6 \cdot F_{nv} \cdot A_r = 130.771 \text{ kN}$  Resistencia minorada de cada barra a corte.

**RATIO** :=  $\frac{V_u}{\phi P_{rv\_barras} \cdot n_{r\_corte}} = 0.056$

Fuente. Fuente propia, 2023.

Como se puede visualizar a continuación, los resultados entre los cálculos manuales y los del software IDEA STATICA son muy semejantes para el diseño de la placa base, de modo que se pueden tomar como correctos. Cabe decir que el software busca en todo momento la optimización de la conexión mediante el análisis por elementos finitos, por ello es que tienen ligeras diferencias entre resultados, dado que en el cálculo manual no se consideran ciertos aspectos que influyen en el análisis.

**Tabla 4.4**  
*Comparación de resultados entre cálculos por software y cálculos manuales*

Categoría	Cálculo mediante software IDEA STATICA	Cálculo manual
Resistencia de compresión de bloque de concreto	24.1 Mpa	20.034 Mpa
Resistencia a tracción de	235.364 kN	234.720 kN
Resistencia al arrancamiento de anclaje	273.480 kN	273.480 kN
Resistencia a cortante del anclaje	131.131 kN	130.771 kN
Espesor de plancha base	0.5 pulg (Usado en software)	0.32 pulg (Valor mínimo)

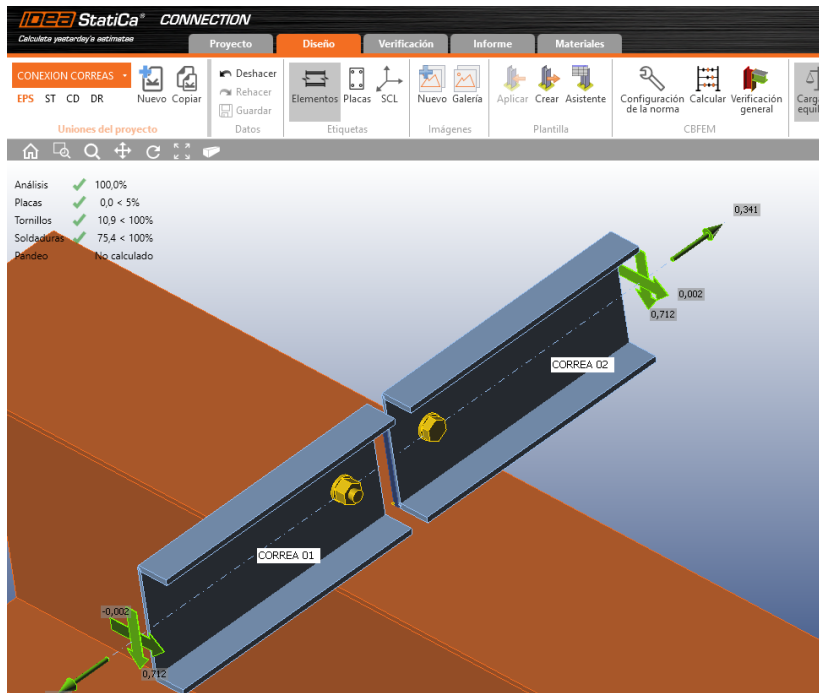
Fuente. Fuente propia, 2023.

➤ **Comprobación de diseño de conexión emperrada/soldada de correas:**

Como se pudo ver en el apartado 4.8.1 la conexión de correas de la estructura de alma llena tiene los siguientes ratios de diseño para sus componentes según análisis realizado en IDEA STATICA:

**Figura 4.142**

*Conexión de correas de estructura de alma llena en IDEA STATICA*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Además, con el software se tienen las siguientes resistencias de los componentes más críticos de la conexión:

**Figura 4.143**

*Resistencia a tracción del perno en IDEA STATICA*

**Comprobación de la resistencia a tracción (AISC 360-16: J3-1)**

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nt} \cdot A_b = 132.534 \text{ kN} \geq F_t = 1.179 \text{ kN}$$

Donde:

- $F_{nt} = 89.9 \text{ ksi}$  – resistencia a tracción nominal de AISC 360-16 Tabla J3.2
- $A_b = 285.02 \text{ mm}^2$  – Área bruta del tornillo
- $\phi = 0.75$  – factor de capacidad

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.144**

*Resistencia a corte del perno en IDEA STATICA*

**Comprobación de la resistencia a cortante (AISC 360-16: J3-1)**

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nv} \cdot A_b = 79.521 \text{ kN} \geq V = 8.339 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{nv} = 54.0 \text{ ksi}$  – resistencia a tensiones tangenciales de AISC 360-16 Tabla J3.2

$A_b = 285.02 \text{ mm}^2$  – Área bruta del tornillo

$\phi = 0.75$  – factor de capacidad

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.145**

*Resistencia al aplastamiento de la conexión de correas en IDEA STATICA*

**Comprobación de resistencia a aplastamiento (AISC 360-16: J3-6)**

$$R_n = 1.20 \cdot l_c \cdot t \cdot F_u \leq 2.40 \cdot d \cdot t \cdot F_u$$

$$\phi R_n = 76.645 \text{ kN} \geq V = 8.339 \text{ kN}$$

Donde:

$l_c = 365.48 \text{ mm}$  – distancia libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde del agujero y el borde del agujero adyacente o borde del material

$t = 5.59 \text{ mm}$  – espesor de la placa

$d = 19.05 \text{ mm}$  – diámetro del tornillo

$F_u = 58.0 \text{ ksi}$  – resistencia a tracción del material conectado

$\phi = 0.75$  – factor de resistencia para aplastamiento en agujeros para tornillos

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.146**

*Resistencia de soldadura de la conexión de correas en IDEA STATICA*

**Comprobación de la resistencia de la soldadura (AISC 360-16: J2-4)**

$$\phi R_n = \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = 25.881 \text{ kN} \geq F_n = 20.525 \text{ kN}$$

Donde:

$F_{nw} = 59.1 \text{ ksi}$  – resistencia nominal del material de aportación:

- $F_{nw} = 0.6 \cdot F_{EXX} \cdot (1 + 0.5 \cdot \sin^{1.5} \theta)$ , donde:

- $F_{EXX} = 70.0 \text{ ksi}$  – número de clasificación del electrodo, p.e. mínima resistencia a tracción especificada

- $\theta = 60.818^\circ$  – ángulo de actuación de la carga medido desde el eje de la soldadura

$A_{we} = 84.64 \text{ mm}^2$  – área eficaz del elemento de soldadura crítico

$\phi = 0.75$  – factor de resistencia para conexiones soldadas

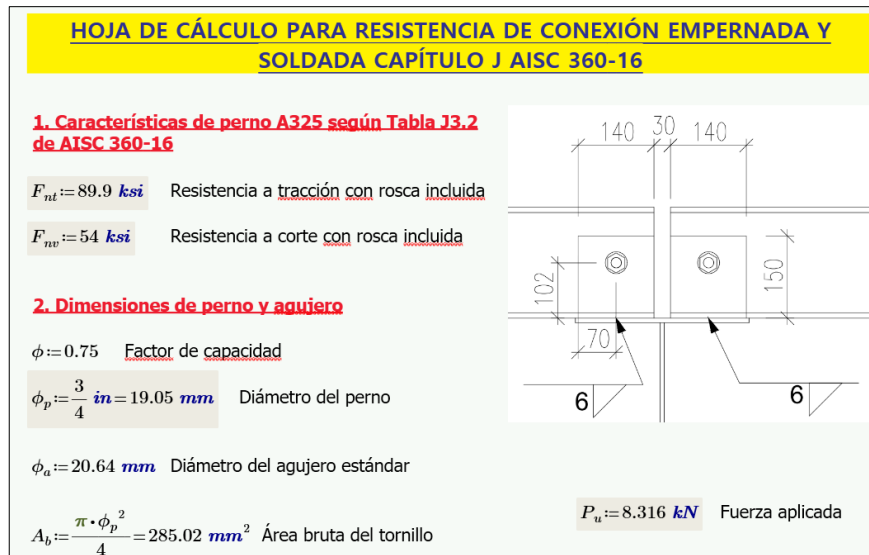
Fuente. Fuente propia, 2023.

Por lo tanto, haciendo uso del capítulo J de la norma AISC 360 se procede a hacer el cálculo de la unión emperrada y soldada que se encuentran presentes en la conexión de correas.

Usando el software PTC Mathcad Prime, se definen primero las propiedades de los conectores, así como parámetros geométricos para finalmente evaluar los estados límites para conexiones atornilladas:

**Figura 4.147**

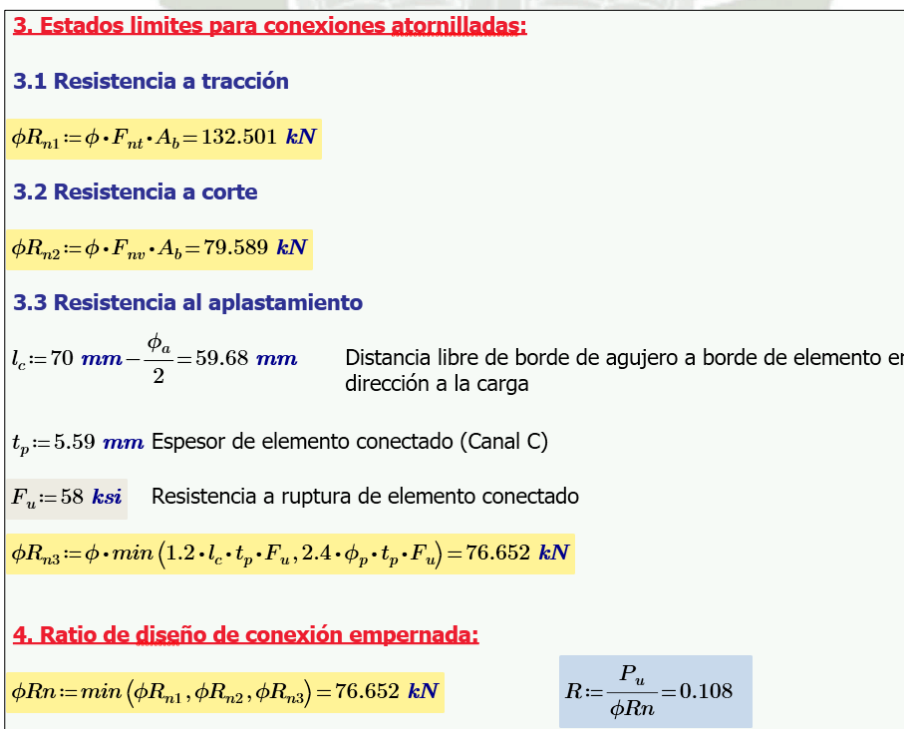
*Asignación de propiedades de los pernos en PTC Mathcad Prime*



Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 4.148**

*Evaluación de estados límites de conexión atornilladas en PTC Mathcad Prime*



Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se procederá a definir las propiedades de la soldadura para finalmente evaluar la resistencia de la conexión soldada:

**Figura 4.149**

*Evaluación de resistencia de soldadura de conexión en PTC Mathcad Prime*

**5. Características de soldadura**

$F_{EXX} := 70 \text{ ksi}$  Resistencia de electrodo E70XX

$w := 6 \text{ mm}$  Altura de soldadura

$L := 19.95 \text{ mm}$  Longitud de cordón de soldadura crítica (Valor extraído de análisis computacional)

$g := 0.707 \cdot w = 4.242 \text{ mm}$  Garganta de soldadura

$\theta := 60.812^\circ$  Garganta de soldadura (Valor extraído de análisis computacional)

**6. Resistencia de soldadura:**

$F_{nw} := 0.6 \cdot F_{EXX} (1 + 0.5 \sin(\theta)^{1.5}) = 59.13 \text{ ksi}$

$A_{we} := L \cdot g = 84.63 \text{ mm}^2$  Área eficaz de elemento de soldadura crítico

$\phi R_n := \phi \cdot F_{nw} \cdot A_{we} = 25.876 \text{ kN}$

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Como se puede visualizar a continuación, los resultados entre los cálculos manuales y los del software IDEA STATICA son semejantes para el diseño de la conexión de correas, de modo que se pueden tomar como correctos. Cabe mencionar que el software IDEA STATICA realiza diseños óptimos dado que considera aspectos que no se toman en cuenta en cálculos analíticos, tales como la plasticidad de los elementos, excentricidades y capacidad real de miembros de conexión, todo esto a través del método de elementos finitos basado en componentes, asimismo se obtienen diseños menos sobredimensionados con un comportamiento cercano al de la realidad.

**Tabla 4.5**

*Comparación de resultados entre cálculos por software y cálculos manuales*

Categoría	Cálculo mediante software IDEA STATICA	Cálculo manual
Resistencia de tracción de tornillo	132.534 kN	132.501 kN
Resistencia a corte de tornillo	79.521 kN	79.589 kN
Resistencia al aplastamiento en conexión	76.645 kN	76.652 kN
Resistencia de soldadura	25.881 kN	25.876 kN

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

## CAPITULO V

### 5. EVALUACIÓN ECONÓMICA

#### 5.1. Metrados

##### 5.1.1. Metrado de estructura de alma llena

Figura 5.1

Metrado de estructura de alma llena en Microsoft Excel

<b>METRADO DE ESTRUCTURA DE ALMA LLENA</b>														
CLIENTE:		UCSM												
OBRA:		Cobertura de 2000 m2 para hornos de ladrillería												
FECHA:		29 de septiembre de 2022												
ELAB. POR:		Christopher Israel Salas Baylon												
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCION	Espesor	x	PESO TOTAL (kg)		AREA TOTAL (m2)		PESO ESPECIFICO	CANT.	PESO UNIT.	PESO TOTAL	AREA UNIT.	AREA TOTAL
					Ancho	x	Longitud							
<b>1</b>	<b>COLUMNAS</b>	<b>TOTAL</b>	=	<b>20,294.15</b>	<b>kg</b>	<b>608.75</b>	<b>m2</b>	<b>0.0300 m2/kg</b>						
01.01	PLACA BASE	PL. 12.7 mm	12.70	x	500	x	500	7850	34	24.92	847.41	0.53	17.86	
01.02	COLUMNA ARMADA	Columna de planchas soldadas	-	x	-	x	-	-	34	566.30	19254.20	17.21	585.04	
01.03	PANEL Y PLACAS DE RIGIDIZACIÓN	1% de total de columna	-	x	-	x	-	1%	-	-	192.54	-	5.85	
<b>2</b>	<b>VIGAS</b>	<b>TOTAL</b>	=	<b>26,459.54</b>	<b>kg</b>	<b>790.79</b>	<b>m2</b>	<b>0.0299 m2/kg</b>						
02.01	VIGA ARMADA	Viga de planchas soldadas	-	x	-	x	-	-	34	714.80	24303.20	21.72	738.62	
02.02	PLACA DE CUMBRERA	PL. 5/8"	15.88	x	740	x	320	7850	34	29.51	1003.33	0.52	17.70	
02.03	PLACA DE EXTREMO	PL. 9 mm	9.00	x	750	x	320	7850	68	16.96	1153.01	0.51	34.48	
<b>3</b>	<b>CORREAS</b>	<b>TOTAL</b>	=	<b>20,245.18</b>	<b>kg</b>	<b>712.10</b>	<b>m2</b>	<b>0.0352 m2/kg</b>						
03.01	CORREAS DE TECHO	C8x11.5	-	x	-	x	6000	17.1	192	102.60	19699.20	3.618	694.66	
03.02	PLACA DE UNION DE CORREAS	PL. 9 mm	9.00	x	150	x	140	7850	368	1.48	545.98	0.05	17.44	
<b>4</b>	<b>TEMPLADORES</b>	<b>TOTAL</b>	=	<b>1,775.62</b>	<b>kg</b>	<b>57.62</b>	<b>m2</b>	<b>0.0325 m2/kg</b>						
04.01	TEMPLADORES DE TECHO 01	Barra circular de 5/8"	15.88				8730.2	1.55	48	13.53	649.53	0.44	21.08	
04.02	TEMPLADORES DE TECHO 02	Barra circular de 5/8"	15.88				7207.1	1.55	48	11.17	536.21	0.36	17.40	
04.03	TEMPLADORES ENTRE CORREAS 01	Barra circular de 5/8"	15.88				2113.9	1.55	128	3.28	419.40	0.11	13.61	
04.04	TEMPLADORES ENTRE CORREAS 02	Barra circular de 5/8"	15.88				1879	1.55	32	2.91	93.20	0.09	3.02	
04.05	TEMPLADORES DE CUMBRERA	Barra circular de 5/8"	15.88				500	1.55	33	0.78	25.58	0.03	0.83	
04.06	CARTELAS DE UNION	3% de total de todos los templadores	-				-	3%	-	-	51.72	-	1.68	
<b>5</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>TOTAL</b>	=	<b>8,302.46</b>	<b>kg</b>	<b>2047.15</b>	<b>m2</b>	<b>4.056 kg/m2</b>						
05.01	COBERTURA DE TECHO TIPO GL	PL. 0.4 mm	0.40		10607		96500	7850	2	4017.53	8035.07	1023.58	2047.15	

Fuente. Fuente propia, 2023.

### 5.1.2. Metrado de estructura parabólica

Figura 5.2

Metrado de estructura parabólica en Microsoft Excel

<b>METRADO DE ESTRUCTURA PARABOLICA</b>															
CLIENTE: UCSM OBRA: Cobertura de 2000 m2 para hornos de ladrillería FECHA: 12 de febrero de 2023 ELAB. POR: Christopher Israel Salas Baylon															
ITEM	NOMBRE	DESCRIPCION	Espesor	x	PESO TOTAL (kg)		AREA TOTAL (m2)		PESO ESPECIFICO (kg/m)	CANT.	PESO UNIT. (kg)	PESO TOTAL (kg)	AREA UNIT. (m2)	AREA TOTAL (m2)	
					50.207,57	Ancho	x	Longitud							1.726,74
<b>1</b>	<b>COLUMNAS</b>	<b>TOTAL</b>			=	<b>18.112,91</b>	<b>kg</b>	<b>682,81</b>	<b>m2</b>		<b>0,0377 m2/kg</b>				
01.01	PLACA BASE	PL. 12.7 mm	12,70	x		400	x	600		7850	34	23,93	813,51	0,50	17,01
01.02	BRIDAS DE COLUMNA	L 4x4x5/16"						8000		12,20	136	97,62	13276,80	3,25	442,16
01.03	DIAGONALES DE COLUMNA	L 1 3/4x1 3/4x3/16"						527		3,15	1088	1,66	1808,95	0,09	101,95
01.04	MIEMBROS HORIZONTALES DE COLUMNA 01	L 1 3/4x1 3/4x3/16"						380		3,15	1156	1,20	1385,89	0,07	78,10
01.05	MIEMBROS HORIZONTALES DE COLUMNA 02	L 1 3/4x1 3/4x3/16"						180		3,15	1156	0,57	656,47	0,03	37,00
01.06	PANEL Y PLACAS DE RIGIDIZACIÓN	1% de total de columna	-			-		-		1%	-	-	171,28	-	6,59
<b>2</b>	<b>VIGAS PARABOLICAS</b>	<b>TOTAL</b>			=	<b>22.938,44</b>	<b>kg</b>	<b>681,53</b>	<b>m2</b>		<b>0,0297 m2/kg</b>				
02.01	BRIDAS SUPERIORES DE VIGA	L 3x3x5/16"						439		9,08	1768	3,99	7045,75	0,13	236,57
02.02	BRIDAS INFERIORES DE VIGA	L 3x3x5/16"						426		9,08	1768	3,87	6837,11	0,13	229,57
02.03	BRIDAS DE EXTREMO DE VIGA	L 3x3x5/16"						1445		9,08	34	13,12	445,99	0,44	14,97
02.03	MIEMBROS VERTICALES DE VIGA	Barra circular de 7/8"	22,23					400		3,05	1700	1,22	2074,00	0,03	48,28
02.04	MIEMBROS HORIZONTALES DE VIGA	Barra circular de 7/8"	22,23					230		3,05	1768	0,70	1240,25	0,02	28,87
02.05	DIAGONALES VERTICALES	Barra circular de 7/8"	22,23					561		3,05	1768	1,71	3025,14	0,04	70,42
02.06	DIAGONALES HORIZONTALES	Barra circular de 7/8"	22,23					421		3,05	1768	1,28	2270,20	0,03	52,85
<b>3</b>	<b>CORREAS</b>	<b>TOTAL</b>			=	<b>7.946,40</b>	<b>kg</b>	<b>323,14</b>	<b>m2</b>		<b>0,0407 m2/kg</b>				
03.01	VIGUETA TIPO JOIST	Vigueta armada de Barra circular de 1/2"	-			-		-		-	176	45,15	7946,40	1,836	323,14
<b>4</b>	<b>TEMPLADORES</b>	<b>TOTAL</b>			=	<b>1.209,82</b>	<b>kg</b>	<b>39,26</b>	<b>m2</b>		<b>0,0325 m2/kg</b>				
04.01	TEMPLADORES DE TECHO 01	Barra circular de 5/8"	15,88					8539		1,55	48	13,24	635,30	0,43	20,62
04.02	TEMPLADORES DE TECHO 02	Barra circular de 5/8"	15,88					7248,42		1,55	48	11,24	539,28	0,36	17,50
04.06	CARTELAS DE UNION	3% de total de todos los templadores	-			-		-		3%	-	-	35,24	-	1,14
<b>5</b>	<b>COBERTURA</b>	<b>TOTAL</b>			=	<b>8.776,85</b>	<b>kg</b>	<b>2164,50</b>	<b>m2</b>		<b>4,055 kg/m2</b>				
05.01	COBERTURA DE TECHO TIPO TR-4 CURVO	PL. 0.4 mm	0,40			22430		96500		7850	1	8495,64	8495,64	2164,50	2164,50

Fuente. Fuente propia, 2023.

## 5.2. Cálculo de volumen de pintura

Cuando se realiza la aplicación de una pintura, los componentes volátiles tales como disolventes y/o agua, se evaporan, dejando únicamente los componentes sólidos tales como los pigmentos y resinas, de modo que se forma la película seca (Donayre, 2021).

Para ambos modelos estructurales, se tendrá una película seca de pintura de 5 mills a una sola mano con la pintura JET 70MP, esta brinda un espesor de película seca de 4 a 6 mills por mano, por lo tanto, funciona para los propósitos del presente proyecto.

Figura 5.3

Ficha técnica de pintura JET 70MP

### JET 70MP

**Epoxi poliamida amina de altos sólidos**



---

**DESCRIPCIÓN, VENTAJAS Y USOS**

- Recubrimiento multi-propósito de altos sólidos y rápido secado.
- No contiene pigmentos a base de plomo.
- Se dispone en la versión formulada con óxido de hierro micáceo (MIO), que le confiere mayor impermeabilidad y cumple con la norma UNE 48295 (\*\*).
- Gran resistencia química, a inmersión en agua y al medio ambiente.
- Usado en protección de cascos, superestructura, tanques de lastre y bodegas de embarcaciones de todo tipo.
- Para protección de interior de tanques que contengan soluciones alcalinas, petróleo, combustibles, agua de desecho y ciertos productos químicos.
- Para protección de acero estructural y tuberías para todo tipo de ambiente industrial y marino.

---

**DATOS FÍSICOS**

<p><b>Acabado</b> Mate</p> <p><b>Color</b> Según cartilla (* ) Amarillos, naranja y rojos pueden requerir fondo. (** ) El Jet 70MP MIO sólo se fabrica en color gris.</p> <p><b>Componentes</b> Dos</p> <p><b>Relación de mezcla (en volumen)</b> 1 de resina (parte A) 1 de catalizador (parte B)</p> <p><b>Curado</b> Evaporación de solventes y reacción química</p> <p><b>Sólidos en volumen</b> 72% ± 3%</p> <p><b>Espesor película seca</b> 4 – 6 mills (100 – 150 micrones)</p> <p><b>Número de capas</b> Uno o Dos</p> <p><b>Rendimiento teórico</b> 26.8 m<sup>2</sup> /gal a 4 mills de espesor seco</p> <p><b>Disolvente</b> UNIPOXI o JETPOXY 100</p> <p><b>Tiempo de vida útil</b> 3 horas a 25°C</p> <p><b>Resistencia a la temperatura en seco</b> Continuo 93°C Intermitente 121°C</p>	<p><b>Brillo</b> Min. 20 GU a 60°, excepto color aluminio</p> <p><b>ASTM D523</b></p> <p><b>Adhesión</b> 900 Psi</p> <p><b>ASTM D4541-02</b></p> <p><b>Resistencia a Impacto</b> 20 - 30 lb x pulg., directo</p> <p><b>ASTM D2794</b></p> <p><b>%Elongación</b> 9% - 13%</p> <p><b>ASTM D522</b></p> <p><b>Dureza al Lápiz</b> 5H</p> <p><b>Dureza Péndulo</b></p> <p><b>Persoz</b> 150 ciclos</p> <p><b>ASTM D4366B</b></p> <p><b>Abrasión Taber a 1000 ciclos, rueda CS-17, 1 Kg de peso</b> 62 - 80 mg de pérdida</p> <p><b>ASTM D4060</b></p> <p><b>Performance en Niebla Salina</b> 1500 Hrs.</p> <p><b>ASTM B117-97</b></p>	
--	---	--

El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y del estado de la superficie.  
Para mayores detalles de servicio consultar con el Departamento Técnico de CPPQ S.A.

Fuente. De “JET 70MP Epoxi poliamida de altos sólidos” por Corporación Peruana de Productos Químicos, 2012.

Para determinar la cantidad de galones de pintura necesaria para el pintado de las estructuras se procede a determinar el rendimiento teórico de la pintura:

$$R_t = \frac{1.4902 \cdot \%S_V}{EPS}$$

Donde:

$R_t$  = Rendimiento teórico de pintura ( $m^2/gal$ ).

$\%S_v$  = Porcentaje de sólidos en volumen.

EPS = Espesor de película seca requerido (mills).

Por lo tanto:

$$R_t = \frac{1.4902 \cdot 0.72}{5}$$

$$R_t = 21.46 \frac{m^2}{gal}$$

Ahora se procede a determinar el rendimiento práctico de la pintura:

$$R_p = R_t \cdot (1 - \%Perdidas)$$

Donde:

$R_p$  = Rendimiento práctico de pintura ( $m^2/gal$ ).

$R_t$  = Rendimiento teórico de pintura ( $m^2/gal$ ).

$\%Perdidas$  = Perdidas ocasionadas durante el proceso

$$= \begin{cases} 30 - 35\% \text{ Para planchas} \\ 40 - 45\% \text{ Para estructuras y perfiles} \\ 50 - 60\% \text{ Para barandas} \end{cases}$$

Por lo tanto:

$$R_p = 21.46 \cdot (1 - 0.45)$$

$$R_p = 11.8 \frac{m^2}{gal}$$

Finalmente, el valor unitario de pintura para un metro cuadrado de área sería:

$$\text{Volumen}_{\text{pintura}} = \frac{1}{11.8}$$

$$\text{Volumen}_{\text{pintura}} = 0.0847 \frac{gal}{m^2}$$

Así considerando que la cantidad del solvente a agregar es un 25% de la cantidad de pintura, se tendría:

$$\text{Volumen}_{\text{Solvente}} = \frac{0.0846 \cdot 25\%}{100}$$

$$\text{Volumen}_{\text{Solvente}} = 0.021 \frac{gal}{m^2}$$

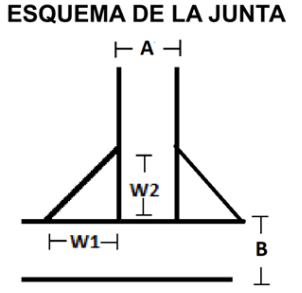
Con estos últimos valores y los metrados realizados en el apartado 5.1. se pueden determinar los galones de pintura y solvente necesarios para el presupuesto de la estructura de alma llena y del tipo parabólico.

### 5.3. Procedimiento de soldadura para perfiles soldados

Los perfiles principales que conforman la estructura de alma llena, tales como vigas y columnas de sección variable, serán armadas a base de planchas de acero ASTM A36 a través de soldadura SMAW, seguidamente se realizará la inspección de la soldadura a través de inspección por tintes penetrantes.

**Figura 5.4**

*Procedimiento de soldadura WPS para perfiles soldados*

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECÁNICA, MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA							
<b>ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)</b>							
Nombre: Christopher I. Salas Baylon PQR No.: - Según norma: AWS D1.1		WPS No.: WPS-01 Fecha: 20/01/2023 Organización: Universidad Católica de Santa María					
<b>ARTÍCULO I. JUNTA UTILIZADA</b>				<b>ARTÍCULO II. TÉCNICA DE SOLDADURA</b>			
Tipo de junta: Junta en T Ángulo de unión: 90° Radio: Filete Altura de soldadura: 5 mm Cordón: Recto Limpieza: Moladora		Proceso de soldadura: SMAW Tipo de soldadura: Manual (X) Semiautomática ( ) Automática ( ) Soldadura a: Un lado ( ) Dos lados (X) Cordón de respaldo: Si ( ) No (X)					
<b>ARTÍCULO III. METAL BASE</b>				<b>ARTÍCULO V. POSICIÓN DE SOLDADURA</b>			
Especificación: ASTM A36 Grado: - Espesor: 8 y 9 mm		Posición de soldadura: 2F Progresión: Ascendente Técnica: Un pase (X) Varios pases ( ) Precalentamiento: -					
<b>ARTÍCULO IV. METAL DE APORTE</b>				<b>ARTÍCULO VI. NOTAS</b>			
Diámetro: 4 mm Longitud: 450 mm Denominación: E7018 Casa comercial: N/A Denominación comercial: Supercito		Ángulo de avance: 20° Gas: 0.05% C, 1% Mn, 0.6% Si, máx 0.020% P, máx 0.020% S Penetración de raíz: - Sobremonta: - Largo de llama: -					
<b>DETALLE DE LA JUNTA</b>							
<p><b>ESQUEMA DE LA JUNTA</b></p>  <p>-W1=W2= 5 mm - A= 8 mm - B= 9 mm</p>							
Pase	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de avance	Flujo del Alambre m/min
	Clase	Diámetro	Tipo y polaridad	Cant. [A]			
1	Electrodo	4 mm	DC +	110-170	21 V	-	-

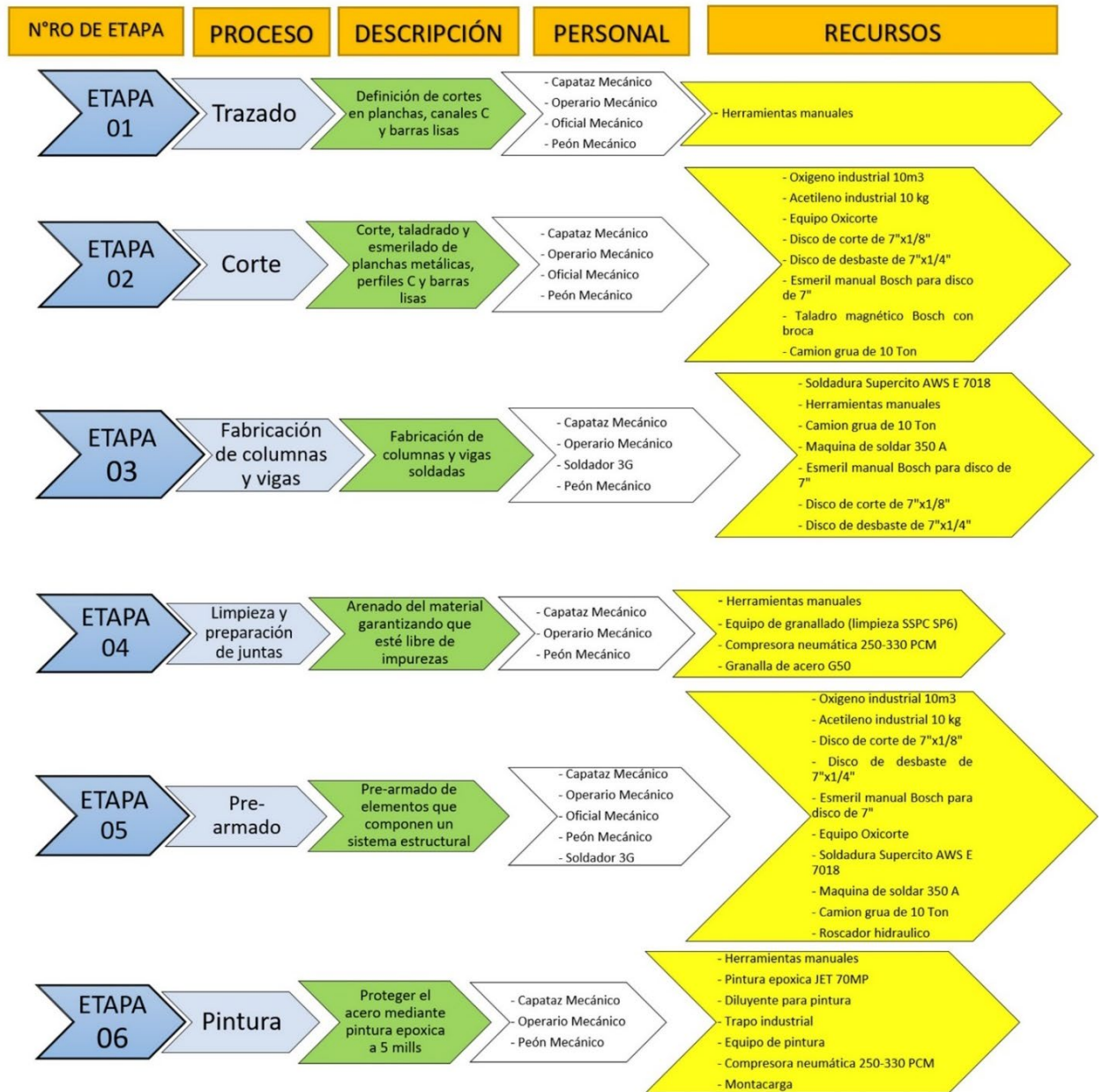
Fuente. Fuente propia, 2023.

## 5.4. Procedimientos de construcción

### 5.4.1. Procedimiento de construcción de estructura de alma llena

**Figura 5.5**

*Procedimiento de construcción de estructura de alma llena*

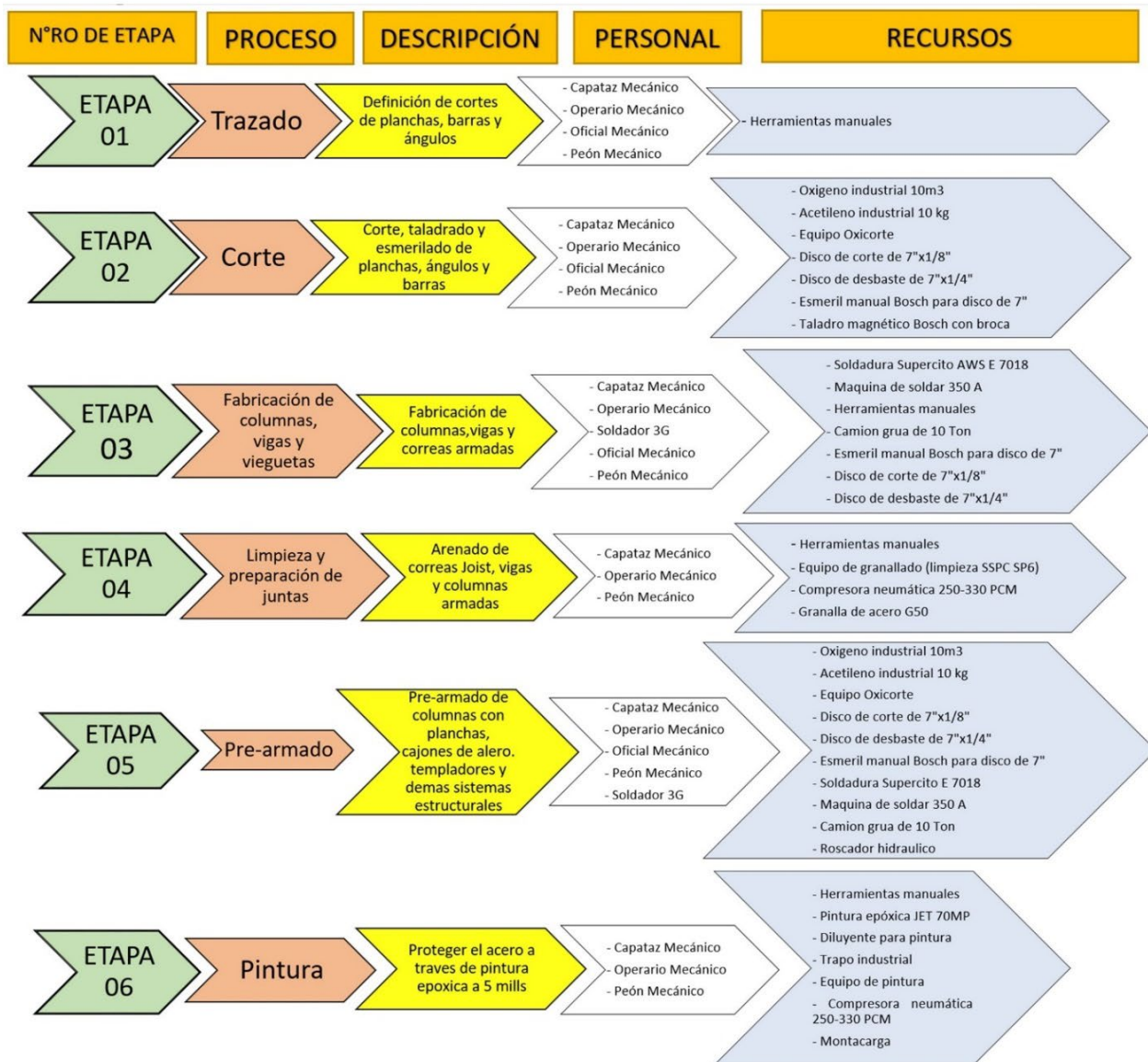


*Fuente.* Fuente propia, 2023.

### 5.4.2. Procedimiento de construcción de estructura parabólica

**Figura 5.6**

*Procedimiento de construcción de estructura parabólica*



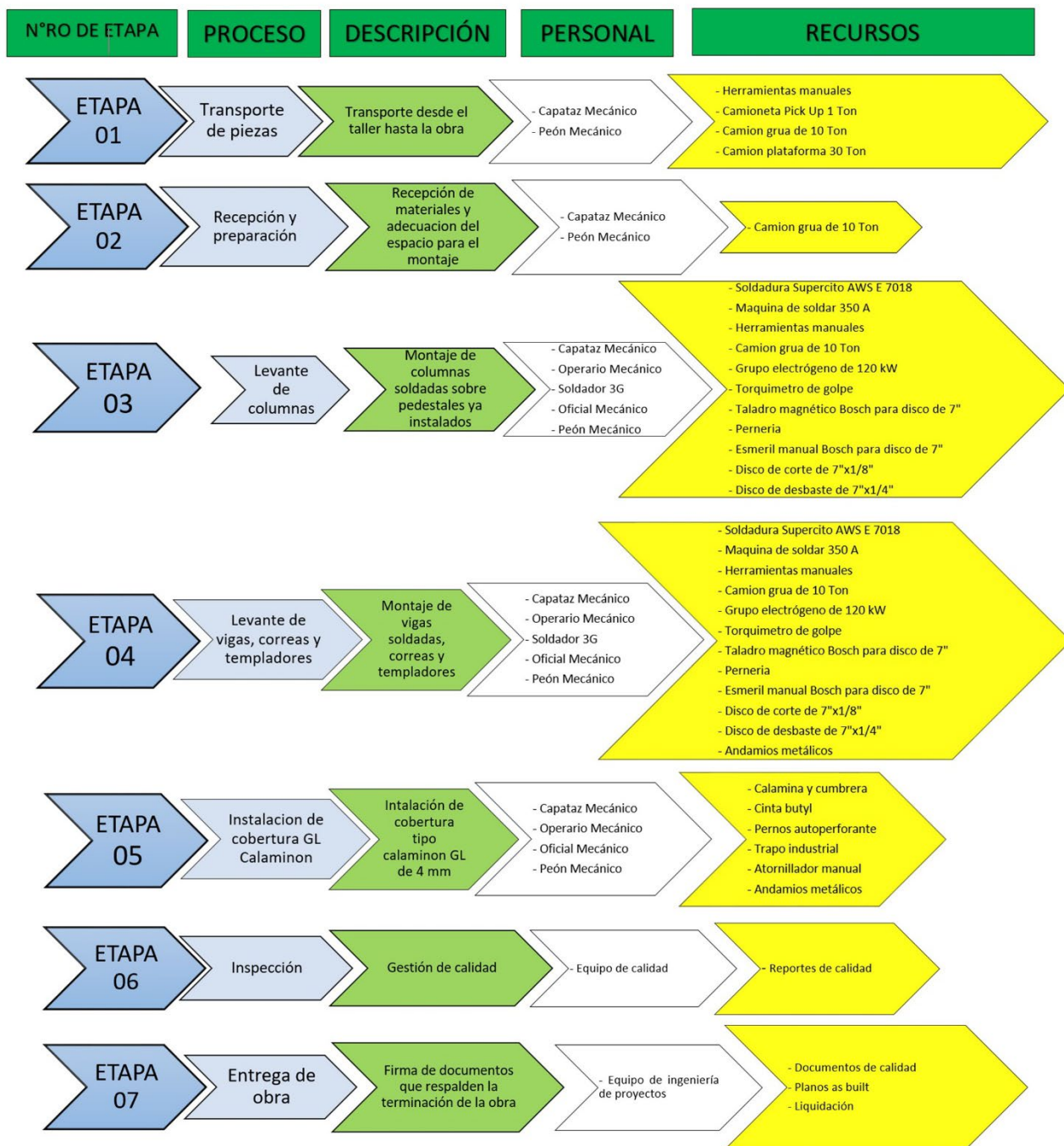
*Fuente.* Fuente propia, 2023.

## 5.5. Procedimientos de montaje

### 5.5.1. Procedimiento de montaje de estructura de alma llena

**Figura 5.7**

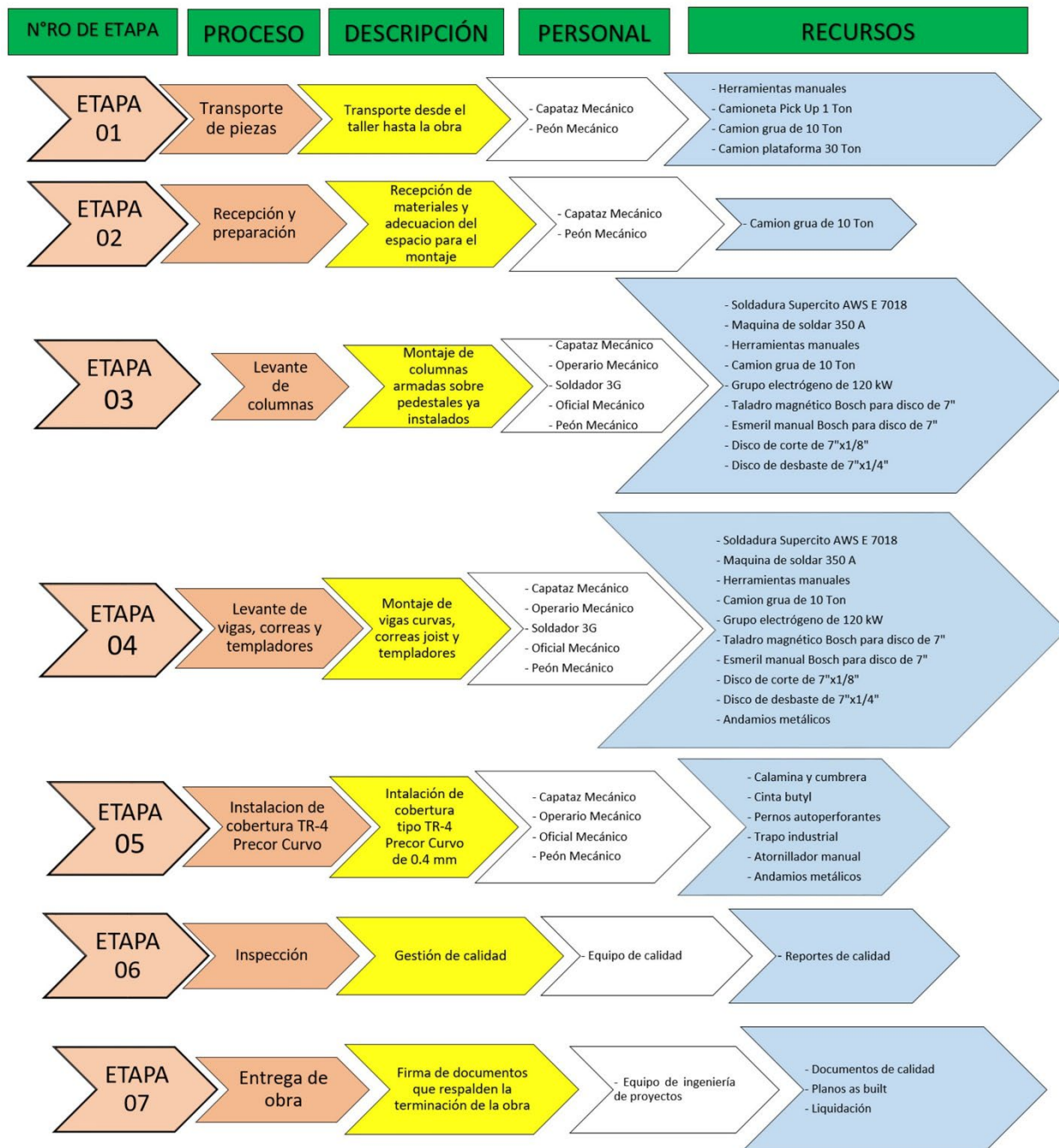
*Procedimiento de montaje de estructura de alma llena*



*Fuente.* Fuente propia, 2023.

### 5.5.2. Procedimiento de montaje de estructura parabólica

**Figura 5.8**  
*Procedimiento de montaje de estructura parabólica*



Fuente. Fuente propia, 2023.

## 5.6. Planes de izaje

### 5.6.1. Plan de izaje de estructura de alma llena

Figura 5.9

Plan de izaje de estructura de alma llena

Universidad Católica de Santa María	SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE		PLAN-EAL-01				
	PLAN DE IZAJE DE ESTRUCTURA DE ALMA LLENA		Fecha	Versión	Página		
			23/01/2023	01	1 de 1		
<b>PLAN DE IZAJE</b>							
ESTE PERMISO DEBE SER LLENADO POR EL RESPONSABLE DE LA MANIOBRA, QUIEN DEBE POSEER LA EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTOS SOBRE OPERACIÓN, MANIOBRA Y USO DE LA TABLA DE CAPACIDADES DEL EQUIPO. EL PRESENTE PERMISO ES VÁLIDO SOLO PARA UN TURNO DE TRABAJO.							
<b>A. DATOS GENERALES</b>							
Fecha:	Material a ser izado	Lugar (ubicación y Tramo)	Hora inicio	Hora de término			
Izaje 01	Izaje para instalación de columnas soldadas	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto homo 03	-	-			
Izaje 02	Izaje para instalación de vigas soldadas, marcos armados	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto homo 03	-	-			
Izaje 03	Izaje para instalación de correas y templadores	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto homo 03	-	-			
Izaje 04	Izaje para instalación de cobertura tipo GL Calaminon de 04 mm. en grupos de 400 kg	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto homo 03	-	-			
<b>B. DATOS DE LA GRÚA/CAMION GRÚA</b>							
Empresa: UCSCM			Código de la Grúa: CAMIONGRUA10Ton				
Fecha Inspección pre-uso: 23/02/2023			Último Mantenimiento Preventivo: 15/01/2023				
Verificar que el equipo cuente con el manual de operaciones en castellano (SI - NO): SI							
<b>C. DATOS DEL OPERADOR Y RIGGER</b>							
Operario 01		Empresa:	UCSCM	Vigencia de certificación	2 años		
Operario 02		Empresa:	UCSCM	Vigencia de certificación	2 años		
<b>D. ELEMENTOS AUXILIARES DE IZAJE - INSPECCIÓN (Enero a marzo: amarillo; abril a junio: negro; julio a septiembre: azul; octubre a diciembre: rojo)</b>			Marcar <input checked="" type="checkbox"/> X o No Aplica (NA), según corresponda				
			IZAJE N° 1	IZAJE N° 2	IZAJE N° 3	IZAJE N° 4	IZAJE N° 5
Estrobos, eslingas y cadenas inspeccionadas y en buen estado.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Grilletes, ganchos etc. inspeccionados y en buen estado.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Otros elementos auxiliares inspeccionados y en buen estado.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>E. CALCULO BÁSICO DE MANIOBRA (Trabajar en Toneladas y metros)</b>		1. Peso de la carga (Ton)	2. Peso de aparejos (Ton)	3. Carga de trabajo (1+2) (Ton)	4. Radio de trabajo (m)	5. Longitud de Pluma (m)	6. Carga segura (de la tabla de cargas) (Ton)
Izaje 01		0.6	0.5	1.1	15	20.5	10
Izaje 02		1.6	0.5	2.1	15	20.5	10
Izaje 03		0.2	0.5	0.7	15	20.5	10
Izaje 04		0.4	0.5	0.9	15	20.5	10
Carga de Trabajo (punto 3) debe ser igual o menor que (punto 6) Capacidad segura de tabla de cargas							
IZAJE 1, IZAJE 2...etc., representa los distintos materiales que se izarán en una jornada de trabajo. Ejm: Izaje 1: encofrado, Izaje 2: acero, etc.							
<b>F. MEDIDAS DE SEGURIDAD PREVIA</b>			IZAJE N° 1	IZAJE N° 2	IZAJE N° 3	IZAJE N° 4	IZAJE N° 5
1	Verificación de asentamiento y terreno		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Las gatas se extendieron 100 %*		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Nivelación comprobada		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	Operador y Rigger certificados y aptos para el trabajo		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Se armó el aparejo para el izaje en el piso**		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Área de trabajo definida y señalizada.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Personal adicional del área informado de la manobra.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Existen líneas eléctricas cerca***		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Comunicación con supervisor de izaje del área		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
**SI FUERA NO verificar que exista tabla de cargas, con menor extensión. ***SI FUERA NO. Establecer controles para ascensos y descenso de aparejos. ****SI FUERA SI, continuar con la parte G del formato. Otras medidas de seguridad a aplicar:							

Fuente. Fuente propia, 2023.

### 5.6.2. Plan de izaje de estructura parabólica

**Figura 5.10**  
*Plan de izaje de estructura parabólica*

Universidad Católica de Santa María		SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE		PLAN-EAP-01				
		<b>PLAN DE IZAJE DE ESTRUCTURA PARABÓLICA</b>		Fecha	Versión	Página		
				23/01/2023	01	1 de 1		
PLAN DE IZAJE								
ESTE PERMISO DEBE SER LLENADO POR EL RESPONSABLE DE LA MANIOBRA, QUIEN DEBE POSEER LA EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTOS SOBRE OPERACIÓN, MANIOBRA Y USO DE LA TABLA DE CAPACIDADES DEL EQUIPO. EL PRESENTE PERMISO ES VÁLIDO SOLO PARA UN TURNO DE TRABAJO.								
A. DATOS GENERALES								
Fecha:	Material a ser izado	Lugar (ubicación y Tramo)		Hora inicio	Hora de término			
Izaje 01	Izaje para instalación de columnas armadas	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto hormo 03		-	-			
Izaje 02	Izaje para instalación de vigas curvas por tramos	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto hormo 03		-	-			
Izaje 03	Izaje para instalación de correas tipo joist y templadores	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto hormo 03		-	-			
Izaje 04	Izaje para instalación de cobertura tipo TR-4 Precor Curvo de 04 mm, en grupos de 400 kg	Ladrillera el Diamante Arequipa – Zona proyecto hormo 03		-	-			
B. DATOS DE LA GRÚA/CAMION GRÚA								
Empresa: UCSM			Código de la Grúa: CAMIONGRUA10Ton					
Fecha Inspección pre-uso: 23/02/2023			Último Mantenimiento Preventivo: 15/01/2023					
Verificar que el equipo cuente con el manual de operaciones en castellano (SI - NO): SI								
C. DATOS DEL OPERADOR Y RIGGER								
Operario 01	Empresa:	UCSM		Vigencia de certificación	2 años			
Operario 02	Empresa:	UCSM		Vigencia de certificación	2 años			
D. ELEMENTOS AUXILIARES DE IZAJE - INSPECCIÓN (Enero a marzo: amarillo; abril a junio: negro; julio a septiembre: azul; octubre a diciembre: rojo)			Marcar <input checked="" type="checkbox"/> X o No Aplica (NA), según corresponda					
			IZAJE N° 1	IZAJE N° 2	IZAJE N° 3	IZAJE N° 4	IZAJE N° 5	
Estrobos, eslingas y cadenas inspeccionadas y en buen estado.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Grilletes, ganchos etc. inspeccionados y en buen estado.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
Otros elementos auxiliares inspeccionados y en buen estado.			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
E. CALCULO BÁSICO DE MANIOBRA (Trabajar en Toneladas y metros)			1. Peso de la carga (Ton)	2. Peso de aparejos (Ton)	3. Carga de trabajo (1+2) (Ton)	4. Radio de trabajo (m)	5. Longitud de Pluma (m)	6. Carga segura (de la tabla de cargas) (Ton)
Izaje 01			0.535	0.5	1.035	15	20.5	10
Izaje 02			0.45	0.5	0.95	15	20.5	10
Izaje 03			0.1	0.5	0.6	15	20.5	10
Izaje 04			0.4	0.5	0.9	15	20.5	10
Carga de Trabajo (punto 3) debe ser igual o menor que (punto 6) Capacidad segura de tabla de cargas								
IZAJE 1, IZAJE 2...etc., representa los distintos materiales que se izarán en una jornada de trabajo. Ejm: Izaje 1: encofrado, Izaje 2: acero, etc.								
F. MEDIDAS DE SEGURIDAD PREVIA			IZAJE N° 1	IZAJE N° 2	IZAJE N° 3	IZAJE N° 4	IZAJE N° 5	
1	Verificación de asentamiento y terreno		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
2	Las gatas se extendieron 100 %*		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
3	Nivelación comprobada		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
4	Operador y Rigger certificados y aptos para el trabajo		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
5	Se armó el aparejo para el izaje en el piso**		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
6	Área de trabajo definida y señalizada.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
7	Personal adicional del área informado de la maniobra.		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
8	Existen líneas eléctricas cerca***		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
9	Comunicación con supervisor de izaje del área		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		
*SI FUERA NO verificar que exista tabla de cargas, con menor extensión. **SI FUERA NO. Establecer controles para ascensos y descenso de aparejos. ***SI FUERA SI, continuar con la parte G del formato. Otras medidas de seguridad a aplicar:								

Fuente. Fuente propia, 2023.

### 5.7. Presupuestos por análisis de precios unitarios

Para la realización del presupuesto se hará un análisis de precios unitarios, este consiste en desglosar el proyecto en partidas, de modo que se tengan costos por unidad de medida de mano de obra, materiales y equipos.

Dentro del análisis de precios unitarios se deben usar rendimientos, estos se definen como la cantidad trabajada en un tiempo determinado de recurso humano. Dado que el presente proyecto es netamente académico del tipo no experimental transversal, se usarán rendimientos recomendados por bibliografía nacional, de modo que abra la posibilidad de mejorar y/o adecuar los rendimientos a las necesidades de las empresas que realicen proyectos de la misma índole.

Asimismo, en la industria metalmeccánica se tiene de referencia la siguiente clasificación de estructuras metálicas, las cuales están asociadas a rendimientos recomendados manejados en dicha industria:

**Tabla 5.1**

*Clasificación de las estructuras metálicas en la industria metalmeccánica*

TIPO DE ESTRUCTURA	PESO POR METRO DE LONGITUD
Estructuras Ligeras	0 - 15 kg/m
Estructuras Livianas	15 - 30 kg/m
Estructuras Medianas	30 - 60 kg/m
Estructuras Pesadas	60 - 90 kg/m
Estructuras Extra Pesadas	> 90 kg/m

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

Además, se tienen los siguientes rendimientos recomendados en la industria metalmeccánica para fabricación, montaje, arenado y pintura:

**Tabla 5.2**

*Rendimientos recomendados para fabricación en la industria metalmeccánica*

TIPO DE ESTRUCTURA	RENDIMIENTO PARA FABRICACION
Estructuras Ligeras	3 - 5.5 kg/Hora-Hombre
Estructuras Livianas	6 - 7.5 kg/Hora-Hombre
Estructuras Medianas	8 - 11 kg/Hora-Hombre
Estructuras Pesadas	12 - 15 kg/Hora-Hombre
Estructuras Extra Pesadas	16 - 25 kg/Hora-Hombre

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

**Tabla 5.3**

*Rendimientos recomendados para montaje en la industria metalmecánica*

TIPO DE ESTRUCTURA	RENDIMIENTO PARA MONTAJE
Estructuras Ligeras	4.5 - 6 kg/Hora-Hombre
Estructuras Livianas	7.5 - 10 kg/Hora-Hombre
Estructuras Medianas	12 - 18 kg/Hora-Hombre
Estructuras Pesadas	19 - 25 kg/Hora-Hombre
Estructuras Extra Pesadas	26 - 35 kg/Hora-Hombre

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

**Tabla 5.4**

*Rendimientos recomendados para arenado en la industria metalmecánica*

TIPO DE ESTRUCTURA	RENDIMIENTO PARA ARENADO
Superficies Planas	5 m <sup>2</sup> /Hora-Hombre
Estructuras	4 m <sup>2</sup> /Hora-Hombre

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

**Tabla 5.5**

*Rendimientos recomendados para pintura en la industria metalmecánica*

TIPO DE ESTRUCTURA	RENDIMIENTO PARA PINTURA
Superficies Planas	5 - 8 m <sup>2</sup> /Hora-Hombre
Estructuras	4 - 6 m <sup>2</sup> /Hora-Hombre

*Fuente.* Adaptación de “Ingeniería de costos y presupuestos Metal Mecánicos” por J. Donayre, 2021.

### 5.7.1. Presupuesto de estructura de alma llena

Para la realización del presupuesto primero se definirá el precio del acero, la jornada laboral y el tipo de cambio de dólares a soles.

**Figura 5.11**

*Valores iniciales para análisis de costos unitarios*

<b>Precio del acero:</b>	1.20 \$/kg
<b>Precio del dólar en soles:</b>	S/. 3.88
<b>Jornada Laboral:</b>	8 hr/día

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

A continuación, se definirán los cargos laborales para trazo y replanteo, fabricación y montaje de estructuras, teniendo así calculado el precio de mano de obra por hora hombre tomando en referencia un total de 24 días trabajados por mes, cabe decir que se tiene considerado un 50% más de costos debido a los beneficios sociales de los trabajadores:

**Figura 5.12**

*Cargos laborales para fabricación y movilización*

Cargo	dia	hh	mes
Capataz Mecánico	S/. 80.00	18.75 S/./hh	S/. 2400.00
Operario Mecánico	S/. 70.00	16.41 S/./hh	S/. 2100.00
Oficial Mecánico	S/. 60.00	14.06 S/./hh	S/. 1800.00
Peón Mecánico	S/. 45.00	10.55 S/./hh	S/. 1350.00
Soldador 3G	S/. 65.00	15.23 S/./hh	S/. 1950.00

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 5.13**

*Cargos laborales para montaje y trazo y repanteo*

Cargo	dia	hh	mes
Capataz Mecánico-campo	S/. 117.80	27.6 S/./hh	S/. 3534.00
Operario Mecánico-campo	S/. 88.30	20.7 S/./hh	S/. 2649.00
Oficial Mecánico-campo	S/. 71.15	16.676 S/./hh	S/. 2134.50
Peón Mecánico-campo	S/. 61.33	14.374 S/./hh	S/. 1839.90
Soldador 3G-campo	S/. 83.40	19.55 S/./hh	S/. 2502.00
Topógrafo	S/. 110.95	26.00 S/./hh	S/. 3328.50
Ingeniero Mecánico	S/. 185.50	43.5 S/./hh	S/. 5565.00

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

A continuación, se mostrará la carta de presentación del presupuesto por análisis de precios unitarios de la estructura de alma llena, donde se mostrarán los alcances así como el precio total del proyecto, seguidamente se empezarán a mostrar las partidas y resúmenes correspondientes.

**Figura 5.14**

*Carta de presentación de presupuesto de estructura de alma llena*

Señores: <b>LADRILLERIA EL DIAMANTE</b> Atención: Omar Ríos Jefe de proyectos Referencia: <b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA DE ALMA LLENA PARA COBERTURA PARA HORNOS</b> Teléfono: _____ e-mail: _____		<b>PRESUPUESTO N°:</b> - <b>Rev.0</b> Fecha: 23/01/2023 N° de pedido: - Elaborado por: Christopher Salas Baylon Moneda: Nuevos Soles			
Estimados Señores: Por la presente les hacemos llegar nuestro presupuesto; A PRECIOS UNITARIOS por lo siguiente:					
Item	Cantidad	Descripción	Unid.	Precio Unit.	PARCIAL
1	1	Fabricación y montaje de estructura de alma llena para cobertura para hornos  <b>ALCANCES:</b> - Suministro, fabricación y montaje de estructura metálica de alma llena. - Materiales: Planchas, perfiles, canales, vigas y barras lisas en acero estructural ASTM A36. - Tratamiento superficial: SSPC-SP6 Arenado comercial. - Sistema de Pintado: Se empleará una mano de pintura epoxica a 5 mils de e.p.s. - Incluye Movilización y desmovilización de estructuras fabricadas a las instalaciones de Diamante. - Incluye Movilización de equipos y herramientas. - Incluye Movilización de personal Profesional y técnico. - La cobertura tipo Calaminon GL, será suministrado por nosotros. - No incluye esquineros, canalestas, bajadas de lluvia y demas elementos no estructurales. - No Incluye suministro e instalacion de pemos de anclaje. - No Incluye instalación de grout en las placas bases de las estructuras. - No incluyen trabajos Civiles. - No incluyen trabajos Electricos.	Glb.	S/. 1.202.454,09	S/. 1.202.454,09
				Subtotal	S/. 1.202.454,09
				IGV	18,00% S/. 216.441,74
				<b>TOTAL</b>	<b>S/. 1.418.895,83</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

A continuación, se procederá a mostrar el análisis de precios unitarios para las partidas de movilización, facilidades temporales, trazo y replanteo y seguridad. El análisis de estas partidas será el mismo tanto para la estructura de alma llena como para la estructura parabólica, por lo tanto, no hay necesidad de volver a mostrarlo en el apartado 5.7.2

Asimismo, se tiene el análisis de costos unitarios para la partida de movilización de estructura de alma llena y parabólica considerando 6 viajes:

**Figura 5.15**  
*Partida de movilización y desmovilización*

Partida	01.01.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PERSONAL				
Rendimiento	0.1667 glb/día	EQ.	0.167	Costo unitario directo por: glb		S/. 21134.831
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	0.2	9.600 hh/glb	27.6 S/./hh	S/. 265.050
	Peón Mecánico-campo	hh	3	144.000 hh/glb	14.374 S/./hh	S/. 2069.888
						<b>S/. 2334.938</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	10%		2334.938 S/./kg	S/. 233.494
	Camioneta Pick Up 1 Ton	hm	1	48.000 hm/glb	30.000 S/./hm	S/. 1440.000
	Camion Grúa	hm	1	48.000 hm/glb	190.000 S/./hm	S/. 9120.000
	Camion Plataforma 30 Ton	hm	1	48.000 hm/glb	166.800 S/./hm	S/. 8006.400
						<b>S/. 18799.894</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.16**  
*Partida de facilidades temporales*

Partida	01.01.02	FACILIDADES TEMPORALES				
Rendimiento	1.0000 glb/día	EQ.	1.000	Costo unitario directo por: glb		S/. 4150.000
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Equipos</b>						
	Grupo Electrogeno de 50 kW	mes		1 unid	S/. 1150.00	S/. 1150.000
	Contenedor de Oficinas	mes		1 unid	S/. 600.00	S/. 600.000
	Contenedor de Almacenes	mes		1 unid	S/. 500.00	S/. 500.000
	Contenedor de Comedor	mes		1 unid	S/. 550.00	S/. 550.000
	Baños Químicos	mes		3 unid	S/. 450.00	S/. 1350.000
						<b>S/. 4150.000</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.17**  
*Partida de trazo y replanteo*

Partida	01.01.03	TRAZO Y REPLANTEO				
Rendimiento	0.5000 glb/día	EQ.	0.500	Costo unitario directo por: glb		S/. 1558.222
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Oficial Mecánico-campo	hh	1	16.000 hh/glb	16.676 S/./hh	S/. 266.813
	Topógrafo	hh	1	16.000 hh/glb	26.004 S/./hh	S/. 416.063
	Ingeniero Mecánico	hh	0.5	8.000 hh/glb	43.477 S/./hh	S/. 347.813
						<b>S/. 1030.688</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		1030.688 S/./kg	S/. 51.534
	Estacion Total	hm	1.00	16.000 hm/glb	23.000 S/./hm	S/. 368.000
	Computadora Personal	hm	1.5	24.000 hm/glb	4.500 S/./hm	S/. 108.000
						<b>S/. 527.534</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.18**  
*Partida de seguridad*

Rendimiento	01.01.04	SEGURIDAD					
Rendimiento	0.0333 glb/día	EQ.	0.033	Costo unitario directo por: glb		S/. 7800.000	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Equipos</b>							
	EPP de Empleados		h	8	1920.0000 h/glb	1.0 S/./h	S/. 1920.000
	EPP de Mecánicos		h	11.00	2640.0000 h/glb	1.5 S/./h	S/. 3960.000
	EPP de Soldadores		h	4.00	960.0000 h/glb	2.0 S/./h	S/. 1920.000
						<b>S/. 7800.000</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

A continuación, se mostrará el análisis de precios unitarios para las subpartidas de granallado y pintado, las cuáles serán las mismas tanto para la estructura de alma llena como para la estructura parabólica.

**Figura 5.19**  
*Subpartida de granallado de estructura SP6*

Subpartida	-	GRANALLADO DE ESTRUCTURA SP6					
Rendimiento	50.40 m2/día	EQ.	50.40	Costo unitario directo por : kg		12.644 S/./m2	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico		hh	0.1000	0.0159 hh/m2	18.750 S/./hh	0.298 S/./m2
	Operario Mecánico		hh	1	0.1587 hh/m2	16.410 S/./hh	2.605 S/./m2
	Peón Mecánico		hh	1	0.1587 hh/m2	10.547 S/./hh	1.674 S/./m2
					<b>0.3333</b>	<b>20.00 min/m2</b>	<b>4.576 S/./m2</b>
<b>Rendimiento:</b>					<b>3.00 m2/hh</b>		
<b>Materiales</b>							
	Granalla de Acero G50		kg	0.33 kg de granalla/m2		4 S/./kg de granalla	1.333 S/./m2
						<b>1.333 S/./m2</b>	
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales		% mo	5%		4.58 S/./m2	0.229 S/./m2
	Equipo de Granallado		hm	1	0.1587 hm/m2	9.34 S/./hm	1.483 S/./m2
	Compresora neumatica 250 - 330 PCM - 87 HP		hm	1	0.1587 hm/m2	31.64 S/./hm	5.022 S/./m2
						<b>6.734 S/./m2</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.20**  
*Subpartida de pintado de estructura a 5 mills a una sola mano*

Subpartida	PINTADO DE ESTRUCTURA A 5 MILLS A UNA SOLA MANO					
Rendimiento	50,40 m2/día	EQ.	50,40	Costo unitario directo por: kg		20,384 S./m2
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico	hh	0,1000	0,016 hh/m2	18,75 S./hh	0,298 S./m2
	Operario Mecánico	hh	1	0,159 hh/m2	16,41 S./hh	2,605 S./m2
	Peón Mecánico	hh	1	0,159 hh/m2	10,55 S./hh	1,674 S./m2
				<b>0,333</b>	<b>20,00 min/m2</b>	<b>4,576 S./m2</b>
				<b>Rendimiento:</b>	<b>3,00 m2/hh</b>	
<b>Materiales</b>						
	Lija de fierro #80	plg		1%	1,80 S./m2	0,018 S./m2
	Pintura Epoxica (JET 70MP)	gal		0,0847 gal/m2	90 S./gal	7,626 S./m2
	Diluyente para Pintura	gal		0,0212 gal/m2	52 S./gal	1,101 S./m2
	Trapo industrial	kg		1%	4,80 S./m2	0,048 S./m2
						<b>8,793 S./m2</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo		5%	4,58 S./m2	0,229 S./m2
	Equipo de pintura	hm	1	0,1587 hm/m2	7,61 S./hm	1,208 S./m2
	Compresora neumatica 250 - 330 PCM - 87 HP	hm	1	0,1587 hm/m2	31,64 S./hm	5,022 S./m2
	Montacarga	hm	0,10	0,0159 hm/m2	35,00 S./hm	0,556 S./m2
						<b>7,014 S./m2</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se mostrará el análisis de precios unitarios para las partidas de fabricación de columnas, vigas, correas y templadores de la estructura de alma llena.

**Figura 5.21**  
*Partida de fabricación de columnas de estructura de alma llena*

Partida	FABRICACION DE COLUMNAS						
Rendimiento	1440,00 kg/día	EQ.	1440,00	Costo unitario directo por: kg		7,865 S./kg	1352,94 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico	hh	1,0	0,0056 hh/kg	18,750 S./hh	0,104 S./kg	
	Operario Mecánico	hh	3	0,0167 hh/kg	16,406 S./hh	0,273 S./kg	
	Oficial Mecánico	hh	3	0,0167 hh/kg	14,063 S./hh	0,234 S./kg	
	Peón Mecánico	hh	2	0,0111 hh/kg	10,547 S./hh	0,117 S./kg	
	Soldador 3G	hh	3	0,0167 hh/kg	15,234 S./hh	0,254 S./kg	
				<b>0,0807 hh/kg</b>	<b>4,00 min/kg</b>	<b>0,983 S./kg</b>	
				<b>Rendimiento:</b>	<b>15,00 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>							
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg		105,00%	0,25 S./kg	0,263 S./kg	
	Aceero A-36	kg		105,00%	4,65 S./kg	4,883 S./kg	
	Oxigeno industrial 10m3	bal	(1 unid/1500 kg)	0,00067 unid/kg	92 S./unid	0,061 S./kg	
	Acetileno Industrial 10 kg	bal	(1 unid/4500 kg)	0,00022 unid/kg	200 S./unid	0,044 S./kg	
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg		1,50%	10,00 S./kg	0,150 S./kg	
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	7,50 S./unid	0,025 S./kg	
	Disco de debaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	9,50 S./unid	0,032 S./kg	
						<b>5,457 S./kg</b>	
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales	% mo		5%	0,983 S./kg	0,049 S./kg	
	Taladro magnético Bosch con broca	hm	0,50	0,0028 hm/kg	6,500 S./hm	0,018 S./kg	
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0,0278 hm/kg	2,500 S./hm	0,069 S./kg	
	Maquina de Soldar 350 A	hm	3	0,0167 hm/kg	3,500 S./hm	0,058 S./kg	
	Equipo de oxicrote	hm	1	0,0056 hm/kg	2,000 S./hm	0,011 S./kg	
	Camion grua de 10 Ton	hm	0,20	0,0011 hm/kg	160,000 S./hm	0,178 S./kg	
						<b>0,384 S./kg</b>	
<b>Subpartida</b>							
	Granallado de estructura SP6	m2		0,031 m2/kg	12,644 S./m2	0,398 S./kg	
	Pintado de Estructura a 5 mills en una sola mano	m2		0,031 m2/kg	20,384 S./m2	0,642 S./kg	
						<b>1,040 S./kg</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.22**

*Partida de fabricación de vigas de estructura de alma llena*

Partida	01.02.02.01	FABRICACION DE VIGAS				
Rendimiento	1440,00 kg/día	EQ.	1440,00	Costo unitario directo por : kg	7,861 S/./kg	1763,969 HH
<b>Código</b>	<b>Descripción Recurso</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/.</b>	<b>Parcial S/.</b>
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico	hh	1	0,0056 hh/kg	18,750 S/./hh	0,104 S/./kg
	Operario Mecánico	hh	3	0,0167 hh/kg	16,406 S/./hh	0,273 S/./kg
	Oficial Mecánico	hh	3	0,0167 hh/kg	14,063 S/./hh	0,234 S/./kg
	Peón Mecánico	hh	2	0,0111 hh/kg	10,547 S/./hh	0,117 S/./kg
	Soldador 3G	hh	3	0,0167 hh/kg	15,230 S/./hh	0,254 S/./kg
				<b>0,0067</b>	<b>4,00 min/kg</b>	<b>0,983 S/./kg</b>
<b>Rendimiento:</b>				<b>15 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>						
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	105,00%		0,25 S/./kg	0,263 S/./kg
	Acero A-36	kg	105,00%		4,65 S/./kg	4,883 S/./kg
	Oxígeno industrial 10m3	bal	(1 unid/1500 kg)	0,000667 unid/kg	92,00 S/./kg	0,061 S/./kg
	Aceetileno Industrial 10 kg	bal	(1 unid/4500 kg)	0,00022 unid/kg	200,00 S/./kg	0,044 S/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%		10,00 S/./kg	0,150 S/./kg
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	7,50 S/./kg	0,025 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	9,50 S/./kg	0,032 S/./kg
						<b>5,457 S/./kg</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		0,983 S/./kg	0,0492 S/./kg
	Taladro magnético Bosch con broca	hm	0,50	0,0028 hm/kg	6,5 S/./hm	0,0181 S/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0,0278 hm/kg	2,5 S/./hm	0,0694 S/./kg
	Maquina de Soldar 350 A	hm	3	0,0167 hm/kg	3,5 S/./hm	0,0583 S/./kg
	Equipo de oxicorte	hm	1	0,0056 hm/kg	2,0 S/./hm	0,0111 S/./kg
	Camion grua de 10 Ton	hm	0,20	0,0011 hm/kg	160,0 S/./hm	0,1778 S/./kg
						<b>0,3839 S/./kg</b>
<b>Subpartida</b>						
	Granallado de estructura SP6	m2	0,031 m2/kg		12,644 S/./m2	0,3968 S/./kg
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0,031 m2/kg		20,384 S/./m2	0,6397 S/./kg
						<b>1,0365 S/./kg</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.



**Figura 5.23**

*Partida de fabricación de correas de estructura de alma llena*

Partida	01.02.03.01	FABRICACION DE CORREAS					
Rendimiento	744.000 kg/día	EQ.	744.00	Costo unitario directo por : kg		7.481 S/./kg	1349.679 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico	hh	0.2	0.0022 hh/kg	18.750 S/./hh	0.040 S/./kg	
	Operario Mecánico	hh	2	0.0215 hh/kg	16.410 S/./hh	0.353 S/./kg	
	Oficial Mecánico	hh	3	0.0323 hh/kg	14.063 S/./hh	0.454 S/./kg	
	Peón Mecánico	hh	1	0.0108 hh/kg	10.547 S/./hh	0.113 S/./kg	
				<b>6.9667</b>	<b>4.00 min/kg</b>	<b>0.960 S/./kg</b>	
				<b>Rendimiento:</b>	<b>15.0 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>							
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	100.00%		0.25 S/./kg	0.250 S/./kg	
	Acero A-36	kg	100.00%		4.65 S/./kg	4.650 S/./kg	
	Oxígeno industrial 10m3	bal	(1 unid/1500 kg)	0.000667 unid/kg	92.00 S/./kg	0.061 S/./kg	
	Acetileno Industrial 10 kg	bal	(1 unid/4500 kg)	0.00022 unid/kg	200.00 S/./kg	0.044 S/./kg	
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0.00333 unid/kg	7.50 S/./kg	0.025 S/./kg	
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0.00333 unid/kg	9.50 S/./kg	0.032 S/./kg	
						<b>5.062 S/./kg</b>	
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales	% mo	5%		0.960 S/./kg	0.0480 S/./kg	
	Taladro magnético Bosch con broca	hm	0.50	0.0054 hm/kg	6.500 S/./hm	0.0349 S/./kg	
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0.0538 hm/kg	2.500 S/./hm	0.1344 S/./kg	
	Equipo de oxicorte	hm	1	0.0108 hm/kg	2.000 S/./hm	0.0215 S/./kg	
						<b>0.2389 S/./kg</b>	
<b>Subpartida</b>							
	Granallado de estructura SP6	m2	0.037 m2/kg		12.644 S/./m2	0.4670 S/./kg	
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0.037 m2/kg		20.384 S/./m2	0.7528 S/./kg	
						<b>1.2198 S/./kg</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.24**

*Partida de fabricación de templadores de estructura de alma llena*

Partida	01.02.04.01	FABRICACION DE TEMPLADORES (Corte y roscado en los extremos)					
Rendimiento	248.00 kg/día	EQ.	248.00	Costo unitario directo por : kg		8.183 S/./kg	177.562 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico	hh	0.1	0.0032 hh/kg	18.750 S/./hh	0.060 S/./kg	
	Operario Mecánico	hh	1	0.0323 hh/kg	16.410 S/./hh	0.529 S/./kg	
	Oficial Mecánico	hh	1	0.0323 hh/kg	14.063 S/./hh	0.454 S/./kg	
	Peón Mecánico	hh	1	0.0323 hh/kg	10.547 S/./hh	0.340 S/./kg	
				<b>6.1061</b>	<b>6.00 min/kg</b>	<b>1.384 S/./kg</b>	
				<b>Rendimiento:</b>	<b>10.0 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>							
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	105.00%		0.25 S/./kg	0.263 S/./kg	
	Acero A-36	kg	105.00%		4.65 S/./kg	4.883 S/./kg	
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0.00333 unid/kg	7.50 S/./kg	0.025 S/./kg	
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0.00333 unid/kg	9.50 S/./kg	0.032 S/./kg	
						<b>5.202 S/./kg</b>	
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales	% mo	5%		1.384 S/./kg	0.0692 S/./kg	
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0.1613 hm/kg	2.500 S/./hm	0.4032 S/./kg	
	Roscado Hidraulica	hm	1	0.0323 hm/kg	7.500 S/./hm	0.2419 S/./kg	
						<b>0.4724 S/./kg</b>	
<b>Subpartida</b>							
	Granallado de estructura SP6	m2	0.034 m2/kg		12.644 S/./m2	0.4308 S/./kg	
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0.034 m2/kg		20.384 S/./m2	0.6946 S/./kg	
						<b>1.1254 S/./kg</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se mostrará el análisis de precios unitarios realizado para las partidas de montaje de columnas, vigas, correas y templadores de la estructura de alma llena, así como el suministro e instalación de la cobertura.

**Figura 5.25**

*Partida de montaje de columnas de estructura de alma llena*

Partida	01.02.01.02	MONTAJE DE COLUMNAS				
Rendimiento	1600,000 kg/día	EQ.	1.600,000	Costo unitario directo por : kg	2,407 S/./kg	811,77 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	1,0	0,0050 hh/kg	27,6 S/./hh	0,138 S/./kg
	Operario Mecánico-campo	hh	2	0,0100 hh/kg	20,70 S/./hh	0,207 S/./kg
	Oficial Mecánico-campo	hh	2	0,0100 hh/kg	16,676 S/./hh	0,167 S/./kg
	Soldador 3G-campo	hh	1	0,0050 hh/kg	19,547 S/./hh	0,098 S/./kg
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0,0100 hh/kg	14,374 S/./hh	0,144 S/./kg
				0,0400	2,40 min/kg	0,753 S/./kg
				25,00 kg/hh		
<b>Materiales</b>						
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 und/500 kg)	0,00200 und/kg	7,50 S/./unid	0,015 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 und/500 kg)	0,00200 und/kg	9,50 S/./unid	0,019 S/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%		10,00 S/./kg	0,150 S/./kg
	Pemeria	kg	2%		19,38 S/./kg	0,388 S/./kg
						0,572 S/./kg
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		0,753 S/./hm	0,038 S/./kg
	Taladro magnético Bosch con broca	hm	1	0,0050 hm/kg	6,500 S/./hm	0,033 S/./kg
	Esmeril Manual Boshc p/disco de 7"	hm	2	0,0100 hm/kg	2,500 S/./hm	0,025 S/./kg
	Camion grua de 10TN	hm	1,00	0,0050 hm/kg	160,00 S/./hm	0,800 S/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 60hz	hm	0,50	0,0025 hm/kg	65,000 S/./hm	0,163 S/./kg
	Maquina de Soldar 350 A	hm	1	0,0050 hm/kg	3,500 S/./hm	0,0175 S/./kg
	Torquímetro de golpe 200-1000 LB-PIE	h	1	0,0050 hm/kg	1,400 S/./hm	0,007 S/./kg
						1,082 S/./kg

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.26**

*Partida de montaje de vigas de estructura de alma llena*

Partida	01.02.02.02	MONTAJE DE VIGAS					
Rendimiento	1600,000 kg/día	EQ.	1.600,0000	Costo unitario directo por : kg		2,513 \$/kg	1058,38 HH
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico-campo		hh	1,0	0,0050 hh/kg	27,6 \$/./hh	0,138 \$/kg
	Operario Mecánico-campo		hh	2	0,0100 hh/kg	20,70 \$/./hh	0,207 \$/kg
	Oficial Mecánico-campo		hh	2	0,0100 hh/kg	16,676 \$/./hh	0,167 \$/kg
	Soldador 3G-campo		hh	1	0,0050 hh/kg	19,547 \$/./hh	0,098 \$/./kg
	Peón Mecánico-campo		hh	2	0,0100 hh/kg	14,374 \$/./hh	0,144 \$/kg
					2,40 min/kg	2,40 min/kg	0,753 \$/kg
					25,00 kg/hh		
<b>Materiales</b>							
	Disco de corte de 7" X 1/8"		und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	7,50 \$/./unid	0,015 \$/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"		und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	9,50 \$/./unid	0,019 \$/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018		kg	1,50%		10,00 \$/./kg	0,150 \$/./kg
	Pernera		kg	2%		19,38 \$/./kg	0,388 \$/./kg
							0,572 \$/./kg
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales		% mo	5%		0,753 \$/./hm	0,038 \$/./kg
	Taladro magnético Bosch con broca		hm	1	0,0050 hm/kg	6,500 \$/./hm	0,033 \$/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"		hm	2	0,0100 hm/kg	2,500 \$/./hm	0,025 \$/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 60hz		hm	0,25	0,0013 hm/kg	65,000 \$/./hm	0,081 \$/./kg
	Camion grua de 10TN		hm	1,00	0,0050 hm/kg	160,00 \$/./hm	0,800 \$/./kg
	Maquina de Soldar 350 A		hm	1	0,0050 hm/kg	3,500 \$/./hm	0,0175 \$/./kg
	Torquimetro de golpe 200-1000 LB-PIE		h	1	0,0050 hm/kg	1,400 \$/./h	0,007 \$/./kg
	Andamios metálicos		h	4	0,0200 hm/kg	9,375 \$/./h	0,188 \$/./kg
							1,188 \$/./kg

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.27**

*Partida de montaje de correas de estructura de alma llena*

Partida	01.02.03.02	MONTAJE DE CORREAS					
Rendimiento	1640,000 kg/día	EQ.	1.640,0000	Costo unitario directo por : kg		1,895 \$/kg	809,81 HH
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico-campo		hh	0,2	0,0010 hh/kg	27,6 \$/./hh	0,027 \$/kg
	Operario Mecánico-campo		hh	2	0,0098 hh/kg	20,70 \$/./hh	0,202 \$/kg
	Oficial Mecánico-campo		hh	3	0,0146 hh/kg	16,676 \$/./hh	0,244 \$/kg
	Soldador 3G-campo		hh	1	0,0049 hh/kg	19,547 \$/./hh	0,095 \$/./kg
	Peón Mecánico-campo		hh	2	0,0098 hh/kg	14,374 \$/./hh	0,140 \$/kg
					2,40 min/kg	2,40 min/kg	0,708 \$/kg
					25,00 kg/hh		
<b>Materiales</b>							
	Disco de corte de 7" X 1/8"		und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	7,50 \$/./unid	0,015 \$/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"		und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	9,50 \$/./unid	0,019 \$/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018		kg	1,50%		10,00 \$/./kg	0,150 \$/./kg
	Pernera		kg	2%		19,38 \$/./kg	0,388 \$/./kg
							0,572 \$/./kg
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales		% mo	5%		0,708 \$/./hm	0,035 \$/./kg
	Taladro magnético Bosch con broca		hm	1	0,0049 hm/kg	6,500 \$/./hm	0,032 \$/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"		hm	2	0,0098 hm/kg	2,500 \$/./hm	0,024 \$/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 60hz		hm	1,00	0,0049 hm/kg	65,000 \$/./hm	0,317 \$/./kg
	Maquina de Soldar 350 A		hm	1	0,0049 hm/kg	3,500 \$/./hm	0,0171 \$/./kg
	Torquimetro de golpe 200-1000 LB-PIE		h	1	0,0049 hm/kg	1,400 \$/./h	0,007 \$/./kg
	Andamios metálicos		h	4	0,0195 hm/kg	9,375 \$/./h	0,183 \$/./kg
							0,615 \$/./kg

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.28**

*Partida de montaje de templadores de estructura de alma llena*

Partida	01.02.04.02	MONTAJE DE TEMPLADORES				
Rendimiento	984.000 kg/día	EQ.	984.0000	Costo unitario directo por : kg	2.299 S/./kg	118.37 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	0,2	0,0016 hh/kg	27,6 S/./hh	0,045 S/./kg
	Operario Mecánico-campo	hh	2	0,0163 hh/kg	20,70 S/./hh	0,337 S/./kg
	Oficial Mecánico-campo	hh	4	0,0325 hh/kg	16,676 S/./hh	0,542 S/./kg
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0,0163 hh/kg	14,374 S/./hh	0,234 S/./kg
				<b>0,0667</b>	<b>4,00 min/kg</b>	<b>1,157 S/./kg</b>
				<b>15,00 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>						
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 und/500 kg)	0,00200 und/kg	7,50 S/./und	0,015 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 und/500 kg)	0,00200 und/kg	9,50 S/./und	0,019 S/./kg
	Pernería	kg		2%	19,38 S/./kg	0,388 S/./kg
						<b>0,422 S/./kg</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo		5%	1,157 S/./hm	0,058 S/./kg
	Taladro magnético Bosch con broca	hm	1	0,0081 hm/kg	6,500 S/./hm	0,053 S/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	2	0,0163 hm/kg	2,500 S/./hm	0,041 S/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 160hz	hm	0,50	0,0041 hm/kg	65,000 S/./hm	0,264 S/./kg
	Andamios metálicos	h	4	0,0325 hm/kg	9,375 S/./h	0,305 S/./kg
						<b>0,720 S/./kg</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

Para la partida de montaje de cobertura galvanizada, se está considerando un 15% de cobertura adicional debido a los traslapes que existen entre calaminas.

**Figura 5.29**

*Partida de montaje de cobertura galvanizada de estructura de alma llena*

Partida	01.02.05.01	MONTAJE DE COBERTURA GALVANIZADA				
Rendimiento	117,368 m2/día	EQ.	117,3681	Costo unitario directo por : m2	65,722 S/./m2	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	0,50	0,0341 hh/m2	27,609 S/./hh	0,941 S/./m2
	Operario Mecánico-campo	hh	3,00	0,2045 hh/m2	20,695 S/./hh	4,232 S/./m2
	Oficial Mecánico-campo	hh	3,00	0,2045 hh/m2	16,676 S/./hh	3,410 S/./m2
	Peón Mecánico-campo	hh	2,00	0,1363 hh/m2	14,374 S/./hh	1,960 S/./m2
				<b>0,5794 hh/m2</b>		<b>10,542 S/./m2</b>
<b>Materiales</b>						
	Calaminon GL e=0.4mm	m2		115,00%	42,625 S/./m2	49,019 S/./m2
	Cumbrera	m2		1,54%	42,625 S/./m2	0,656 S/./m2
	Cinta butyl	m		0,50%	2,250 S/./m2	0,011 S/./m2
	Perno autoporante #10" X 1" c/v olanda neoprene	und		6 und/m2	0,170 S/./unidad	1,020 S/./m2
	Trapo Industrial	kg		0,20%	4,80 S/./m2	0,010 S/./m2
						<b>50,716 S/./m2</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo		5%	10,542 S/./hm	0,527 S/./m2
	Atornillador manual	hm	2,0	0,1363 hm/m2	0,750 S/./hm	0,102 S/./m2
	Andamios metálicos	hm	6,0	0,4090 hm/m2	9,375 S/./hm	3,834 S/./m2
						<b>4,463 S/./m2</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora según el análisis de costos unitarios desarrollado, se tiene el siguiente presupuesto desarrollado y descompuesto:

**Figura 5.30**  
*Presupuesto descompuesto de estructura de alma llena*

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	Horas Hombre	Mano de Obra (S/.)	Horas Maquina	Equipo (S/.)	Material (S/.)	Subcontrato (S/.)
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA DE ALMA LLENA</b>				<b>861.974,257</b>	<b>8.822,149</b>	<b>165.267,915</b>	<b>8.936,800</b>	<b>163.897,579</b>	<b>532.808,764</b>	<b>0,000</b>
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>				<b>34.643,053</b>	<b>193,600</b>	<b>3.365,625</b>	<b>184,000</b>	<b>31.277,428</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
01.01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos, Herramientas y Personal	glb	1,00	21.134,831	21.134,831	153,6000	2.334,938	144,0000	18.799,894	-	-
01.01.02	Facilidades Temporales	glb	1,00	4.150,000	4.150,000	-	-	-	4.150,000	-	-
01.01.03	Trazo y Replanteo	glb	1,00	1.558,222	1.558,222	40,0000	1.030,688	40,0000	527,534	-	-
01.01.04	Seguridad	glb	1,00	7.800,000	7.800,000	-	-	-	7.800,000	-	-
<b>01.02</b>	<b>COBERTURA PARA HORNOS</b>				<b>827.331,204</b>	<b>8.628,549</b>	<b>161.902,290</b>	<b>8.752,800</b>	<b>132.620,150</b>	<b>532.808,764</b>	<b>0,000</b>
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACION Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>				<b>208.452,243</b>	<b>2.164,709</b>	<b>41.087,367</b>	<b>1.753,189</b>	<b>38.539,898</b>	<b>128.824,979</b>	<b>0,000</b>
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	20.294,15	7,865	159.606,334	1.352,9433	25.801,116	1.093,6292	16.578,346	117.226,872	-
01.02.01.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	608,75	20,384	12.408,751	202,9173	2.785,946	202,9173	4.270,018	5.352,787	-
01.02.01.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	608,75	12,644	7.697,038	202,9173	2.785,946	193,2546	4.099,422	811,669	-
01.02.01.02	Montaje de Columnas	kg	20.294,15	2,407	48.845,909	811,7660	15.286,251	659,5599	21.961,552	11.598,106	-
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>				<b>274.489,051</b>	<b>2.822,351</b>	<b>53.539,966</b>	<b>2.781,926</b>	<b>53.017,740</b>	<b>167.931,345</b>	<b>0,000</b>
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	26.459,54	7,861	207.992,365	1.763,9692	33.609,732	1.425,8751	21.572,915	152.809,718	-
01.02.02.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	790,79	20,384	16.119,441	263,5974	3.619,050	263,5974	5.546,916	6.953,474	-
01.02.02.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	790,79	12,644	9.998,746	263,5974	3.619,050	251,0451	5.325,306	1.054,389	-
01.02.02.02	Montaje de Vigas	kg	26.459,54	2,513	66.496,686	1.058,3815	19.930,234	1.356,0513	31.444,826	15.121,626	-
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACION Y MONTAJE DE CORREAS</b>				<b>189.834,381</b>	<b>2.159,486</b>	<b>40.627,387</b>	<b>2.649,448</b>	<b>27.575,217</b>	<b>121.631,777</b>	<b>0,000</b>
01.02.03.01	Fabricación de Correas	kg	20.245,18	7,481	151.461,916	1.349,6789	26.284,400	1.414,9859	15.115,861	110.061,654	-
01.02.03.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	712,10	20,384	14.515,372	237,3664	3.258,914	237,3664	4.994,934	6.261,524	-
01.02.03.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	712,10	12,644	9.003,756	237,3664	3.258,914	226,0632	4.795,377	949,466	-
01.02.03.02	Montaje de Correas	kg	20.245,18	1,895	38.372,465	809,8073	14.342,987	1.234,4624	12.459,356	11.570,122	-
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TEMPLADORES</b>				<b>18.613,096</b>	<b>295,937</b>	<b>5.065,856</b>	<b>451,939</b>	<b>2.949,938</b>	<b>10.597,303</b>	<b>0,000</b>
01.02.04.01	Fabricación de Templadores	kg	1.775,62	8,183	14.530,220	177,5623	3.010,694	343,6691	1.670,649	9.848,877	-
01.02.04.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	57,62	20,384	1.174,559	19,2073	263,706	19,2073	404,182	506,672	-
01.02.04.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	57,62	12,644	728,568	19,2073	263,706	18,2926	388,034	76,829	-
01.02.04.02	Montaje de templadores	kg	1.775,62	2,299	4.082,877	118,3749	2.055,162	108,2697	1.279,289	748,425	-
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA</b>				<b>134.542,432</b>	<b>1.186,066</b>	<b>21.581,714</b>	<b>1.116,297</b>	<b>9.137,358</b>	<b>103.823,361</b>	<b>0,000</b>
01.02.05.01	Suministro e Instalación de Cobertura Calaminon GL E=0.4 mm para Techo	m2	2.047,15	65,722	134.542,432	1.186,0660	21.581,714	1.116,2974	9.137,358	103.823,361	-
<b>01.02.06</b>	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE TINTES PENETRANTES</b>				<b>1.400,000</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>1.400,000</b>	<b>-</b>	<b>0,000</b>
01.02.06.01	Tintes penetrantes Cantesco (10 Paquetes de 140 soles)	glb	10,00	140,000	1.400,000	-	-	-	1.400,000	-	-

Fuente. Fuente propia, 2023.

Figura 5.31

Presupuesto desarrollado de estructura de alma llena

TABLA 2.02 DETALLE DE PRESUPUESTO

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	P.U. S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.	COSTO DIRECTO				COSTO INDIRECTO					TOTAL S/.	
							TOTAL LABOR	TOTAL MATERIAL	TOTAL EQ. CONST.	TOTAL COSTO DIRECTO	TOTAL G.G.	TOTAL GASTOS SUPERV.	TOTAL FINAC.	TOTAL UTILIDAD	TOTAL COSTO INDIRECTO		
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA DE ALMA LLENA PARA COBERTURA PARA HORNOS</b>											<b>15,00%</b>	<b>12,00%</b>	<b>2,50%</b>	<b>10,00%</b>	<b>39,50%</b>	
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>					<b>34.643,05</b>											
01.01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos, Herramientas y Personal	glb	1,00	21.134,83	21.134,83		2.334,94	0,00	18.799,89	21.134,83	3.170,22	2.536,18	528,37	2.113,48	8.348,26		29.483,09
01.01.02	Facilidades Temporales	glb	1,00	4.150,00	4.150,00		0,00	0,00	4.150,00	4.150,00	622,50	498,00	103,75	415,00	1.639,25		5.789,25
01.01.03	Trazo y Replanteo	glb	1,00	1.558,22	1.558,22		1.030,69	0,00	527,53	1.558,22	233,73	186,99	38,96	155,82	615,50		2.173,72
01.01.04	Seguridad	glb	1,00	7.800,00	7.800,00		0,00	7.800,00	0,00	7.800,00	1.170,00	936,00	195,00	780,00	3.081,00		10.881,00
<b>01.02</b>	<b>COBERTURA PARA HORNOS</b>					<b>827.331,20</b>											
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>																
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	20.294,15	7,86	159.606,33		25.801,12	117.226,87	16.578,35	159.606,33	23.940,95	19.152,76	3.990,16	15.960,63	63.044,50		222.650,84
01.02.01.02	Montaje de Columnas	kg	20.294,15	2,41	48.845,91		15.286,25	11.598,11	21.961,55	48.845,91	7.326,89	5.861,51	1.221,15	4.884,59	19.294,13		68.140,04
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>																
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	26.459,54	7,86	207.992,37		33.609,73	152.809,72	21.572,91	207.992,37	31.198,85	24.959,08	5.199,81	20.799,24	82.156,98		290.149,35
01.02.02.02	Montaje de Vigas	kg	26.459,54	2,51	66.496,69		19.930,23	15.121,63	31.444,83	66.496,69	9.974,50	7.979,60	1.662,42	6.649,67	26.266,19		92.762,88
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CORREAS</b>																
01.02.03.01	Fabricación de Correas	kg	20.245,18	7,48	151.461,92		26.284,40	110.061,65	15.115,86	151.461,92	22.719,29	18.175,43	3.786,55	15.146,19	59.827,46		211.289,37
01.02.03.02	Montaje de Correas	kg	20.245,18	1,90	38.372,46		14.342,99	11.570,12	12.459,36	38.372,46	5.755,87	4.604,70	959,31	3.837,25	15.157,12		53.529,59
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TEMPLADORES</b>																
01.02.04.01	Fabricación de Templadores	kg	1.775,62	8,18	14.530,22		3.010,69	9.848,88	1.670,65	14.530,22	2.179,53	1.743,63	363,26	1.453,02	5.739,44		20.269,66
01.02.04.02	Montaje de Templadores	kg	1.775,62	2,30	4.082,88		2.055,16	748,43	1.279,29	4.082,88	612,43	489,95	102,07	408,29	1.612,74		5.695,61
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA</b>																
01.02.05.01	Suministro e Instalación de Cobertura Calaminon GL E=0.4 mm para Techo	m2	2.047,15	65,72	134.542,43		21.581,71	103.823,36	9.137,36	134.542,43	20.181,36	16.145,09	3.363,56	13.454,24	53.144,26		187.686,69
<b>01.02.06</b>	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE TINTES PENETRANTES</b>																
01.02.06.01	Tintes penetrantes Cantesco (10 Paquetes de 140 soles)	glb	10,00	140,00	1.400,00		0,00	0,00	1.400,00	1.400,00	210,00	168,00	35,00	140,00	553,00		1.953,00
							<b>165.267,91</b>	<b>540.608,76</b>	<b>156.097,58</b>	<b>861.974,26</b>	<b>129.296,14</b>	<b>103.436,91</b>	<b>21.549,36</b>	<b>86.197,43</b>	<b>340.479,83</b>	<b>1.202.454,09</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

Finalmente se tiene el siguiente resumen del presupuesto de la estructura de alma llena donde se muestra el costo total directo e indirecto del proyecto:

**Figura 5.32**

*Resumen de presupuesto de estructura de alma llena*

**TABLA 2.01 - RESUMEN DE PRESUPUESTO**

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT NETA	P.U. S/.	TOTAL S/.	TOTAL S/.	
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA DE ALMA LLENA PARA COBERTURA PARA HORNOS</b>						
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>					<b>34.643,05</b>	
01.01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos, Herramientas y Personal	glb	1,00	21.134,83	21.134,83		
01.01.02	Facilidades Temporales	glb	1,00	4.150,00	4.150,00		
01.01.03	Trazo y Replanteo	glb	1,00	1.558,22	1.558,22		
01.01.04	Seguridad	glb	1,00	7.800,00	7.800,00		
<b>01.02</b>	<b>COBERTURA PARA HORNOS</b>						
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>					<b>208.452,24</b>	
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	20.294,15	7,86	159.606,33		
01.02.01.02	Montaje de Columnas	kg	20.294,15	2,41	48.845,91		
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>					<b>274.489,05</b>	
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	26.459,54	7,86	207.992,37		
01.02.02.02	Montaje de Vigas	kg	26.459,54	2,51	66.496,69		
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CORREAS</b>					<b>189.834,38</b>	
01.02.03.01	Fabricación de Correas	kg	20.245,18	7,48	151.461,92		
01.02.03.02	Montaje de correas	kg	20.245,18	1,90	38.372,46		
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TEMPLADORES</b>					<b>18.613,10</b>	
01.02.04.01	Fabricación de Templadores	kg	1.775,62	8,18	14.530,22		
01.02.04.02	Montaje de templadores	kg	1.775,62	2,30	4.082,88		
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA Y CERRAMIENTO</b>					<b>134.542,43</b>	
01.02.05.01	Suministro e Instalación de Cobertura Calaminon GL E=0.4 mm para	m2	2.047,15	65,72	134.542,43		
<b>01.02.06</b>	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE TINTES PENETRANTES</b>					<b>1.400,00</b>	
01.02.06.01	Tintes penetrantes Cantesco (10 Paquetes de 140 soles)	glb	10,00	140,00	1.400,00		
<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO:</b>						<b>861.974,26</b>	
<b>COSTO INDIRECTO</b>							
GASTOS GENERALES						15,00%	129.296,14
SUPERVISION						12,00%	103.436,91
FINANCIAMIENTO						2,50%	21.549,36
UTILIDAD						10,00%	86.197,43
<b>SUB TOTAL COSTO INDIRECTO:</b>						<b>39,50%</b>	<b>340.479,83</b>
<b>TOTAL PROYECTO :</b>							<b>1.202.454,09</b>
<b>GRAN TOTAL SIN IGV</b>							<b>1.202.454,09</b>
Leyenda und : unidad glb : global m : metro lineal m2 : metro cuadrado m3 : metro cúbico kg : kilogramo							

Fuente. Fuente propia, 2023.

### 5.7.2. Presupuesto de estructura parabólica

Para la realización del presupuesto ya se tiene definido el precio del acero, la jornada laboral, el tipo de cambio de dólares a soles, así como los cargos laborales a usar en el apartado 5.7.1.

A continuación, se mostrará la carta de presentación del presupuesto por análisis de precios unitarios de la estructura de parabólica, donde se mostrarán los alcances, así como el precio total del proyecto, seguidamente se empezarán a mostrar las partidas y resúmenes correspondientes.

**Figura 5.33**

*Carta de presentación de presupuesto de estructura parabólica*

Señores: <b>LADRILLERIA EL DIAMANTE</b>		PRESUPUESTO N°: - <b>Rev.0</b>			
Atención: Omar Ríos		Fecha: 23/01/2023			
Jefe de proyectos		N° de pedido: -			
Referencia: FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA PARABOLICA PARA COBERTURA PARA HORNOS		Elaborado por: Christopher Salas Baylon			
Teléfono: e-mail:		Moneda: Nuevos Soles			
Estimados Señores:					
Por la presente les hacemos llegar nuestro presupuesto; A PRECIOS UNITARIOS por lo siguiente:					
Item	Cantidad	Descripción	Unid.	Precio Unit.	PARCIAL
1	1	Fabricación y montaje de estructura de alma llena para cobertura para hornos	Glb.	S/. 1.111.956,38	S/. 1.111.956,38
		<b>ALCANCES:</b>			
		- Suministro, fabricación y montaje de estructura metálica parabólica.			
		- Materiales: Planchas, perfiles, canales, vigas y barras lisas en acero estructural ASTM A36.			
		- Tratamiento superficial: SSPC-SP6 Arenado comercial.			
		- Sistema de Pintado: Se empleará una mano de pintura epoxica a 5 mils de e.p.s.			
		- Incluye Movilización y desmovilización de estructuras fabricadas a las instalaciones de Diamante.			
		- Incluye Movilización de equipos y herramientas.			
		- Incluye Movilización de personal Profesional y técnico.			
		- La cobertura tipo Calaminon GL, será suministrado por nosotros.			
		- No incluye esquineros, canalestas, bajadas de lluvia y demas elementos no estructurales.			
		- No Incluye suministro e instalacion de pernos de anclaje.			
		- No Incluye instalacion de grout en las placas bases de las estructuras.			
		- No incluyen trabajos Civiles.			
		- No incluyen trabajos Electricos.			
				Subtotal	S/. 1.111.956,38
				IGV	18,00% S/. 200.152,15
				<b>TOTAL</b>	S/. 1.312.108,53

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Las partidas de movilización, facilidades temporales, trazo y replanteo y seguridad se ven desarrolladas en el apartado 5.7.1, estas son las mismas para ambos modelos estructurales.

A continuación, se mostrará el análisis de precios unitarios realizado para las partidas de fabricación de columnas, vigas, correas y templadores de la estructura parabólica, cabe decir que las subpartidas de granallado y pintado de estructuras a 5 mills ya se encuentran especificadas en el apartado 5.7.1 y, además, se usará la misma cantidad de personas por cuadrilla del análisis de la estructura de alma llena, con el fin de tener resultados para el análisis comparativo de tiempos y recursos de las actividades realizadas.

**Figura 5.34**

*Partida de fabricación de columnas de estructura parabólica*

Partida	01.02.01.01	FABRICACION DE COLUMNAS					
Rendimiento	960,00 kg/día	EQ.	960,00	Costo unitario directo por: kg		8,788 S/./kg	1811,29 HH
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra						
	Capataz Mecánico	hh	1,0	0,0083 hh/kg	18,750 S/./hh	0,156 S/./kg	
	Operario Mecánico	hh	3	0,0250 hh/kg	16,406 S/./hh	0,410 S/./kg	
	Oficial Mecánico	hh	3	0,0250 hh/kg	14,063 S/./hh	0,352 S/./kg	
	Peón Mecánico	hh	2	0,0167 hh/kg	10,547 S/./hh	0,176 S/./kg	
	Soldador 3G	hh	3	0,0250 hh/kg	15,234 S/./hh	0,381 S/./kg	
				8,1080 hh/kg	6,00 min/kg	1,475 S/./kg	
				Rendimiento: 10,00 kg/hh			
	Materiales						
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	105,00%	0,25 S/./kg	0,263 S/./kg		
	Acero A-36	kg	105,00%	4,65 S/./kg	4,883 S/./kg		
	Oxígeno industrial 10m3	bal	(1 unid/1500 kg) 0,00067 unid/kg	92 S/./unid	0,061 S/./kg		
	Acetileno Industrial 10 kg	bal	(1 unid/4500 kg) 0,00022 unid/kg	200 S/./unid	0,044 S/./kg		
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%	10,00 S/./kg	0,150 S/./kg		
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg) 0,00333 unid/kg	7,50 S/./unid	0,025 S/./kg		
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg) 0,00333 unid/kg	9,50 S/./unid	0,032 S/./kg		
					5,457 S/./kg		
	Equipos						
	Herramientas Manuales	% mo	5%	1,475 S/./kg	0,074 S/./kg		
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5 0,0417 hm/kg	2,500 S/./hm	0,104 S/./kg		
	Maquina de Soldar 350 A	hm	3 0,0250 hm/kg	3,500 S/./hm	0,088 S/./kg		
	Equipo de oxicorte	hm	1 0,0083 hm/kg	2,000 S/./hm	0,017 S/./kg		
	Camion grua de 10TN	hm	0,20 0,0017 hm/kg	160,000 S/./hm	0,267 S/./kg		
					0,549 S/./kg		
	Subpartida						
	Granallado de estructura SP6	m2	0,040 m2/kg	12,644 S/./m2	0,500 S/./kg		
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0,040 m2/kg	20,384 S/./m2	0,807 S/./kg		
					1,307 S/./kg		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.35**

*Partida de fabricación de vigas parabólicas de estructura parabólica*

Partida	01.02.02.01	FABRICACION DE VIGAS				
Rendimiento	960,00 kg/día	EQ.	960,00	Costo unitario directo por : kg	8,511 S/./kg	2293,844 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico	hh	1,0	0,0083 hh/kg	18,750 S/./hh	0,156 S/./kg
	Operario Mecánico	hh	3	0,0250 hh/kg	16,406 S/./hh	0,410 S/./kg
	Oficial Mecánico	hh	3	0,0250 hh/kg	14,063 S/./hh	0,352 S/./kg
	Peón Mecánico	hh	2	0,0167 hh/kg	10,547 S/./hh	0,176 S/./kg
	Soldador 3G	hh	3	0,0250 hh/kg	15,230 S/./hh	0,381 S/./kg
				<b>8,1000</b>	<b>6,00 min/kg</b>	<b>1,475 S/./kg</b>
				<b>Rendimiento:</b>	<b>10,0 kg/hh</b>	
<b>Materiales</b>						
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	105,00%		0,25 S/./kg	0,263 S/./kg
	Acero A-36	kg	105,00%		4,65 S/./kg	4,883 S/./kg
	Oxigeno industrial 10m3	bal	(1 unid/1500 kg)	0,000667 unid/kg	92,00 S/./kg	0,061 S/./kg
	Acetileno Industrial 10 kg	bal	(1 unid/4500 kg)	0,00022 unid/kg	200,00 S/./kg	0,044 S/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%		10,00 S/./kg	0,150 S/./kg
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	7,50 S/./kg	0,025 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	9,50 S/./kg	0,032 S/./kg
						<b>5,457 S/./kg</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		1,475 S/./kg	0,0737 S/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0,0417 hm/kg	2,500 S/./hm	0,1042 S/./kg
	Maquina de Soldar 350 A	hm	3	0,0250 hm/kg	3,500 S/./hm	0,0875 S/./kg
	Equipo de oxicorte	hm	1	0,0083 hm/kg	2,000 S/./hm	0,0167 S/./kg
	Camion grua de 10TN	hm	0,20	0,0017 hm/kg	160,000 S/./hm	0,2667 S/./kg
						<b>0,5487 S/./kg</b>
<b>Subpartida</b>						
	Granallado de estructura SP6	m2	0,031 m2/kg		12,644 S/./m2	0,3945 S/./kg
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0,031 m2/kg		20,384 S/./m2	0,6359 S/./kg
						<b>1,0304 S/./kg</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.36**  
*Partida de fabricación de correas tipo Joist de estructura parabólica*

Partida	01.02.03.01	FABRICACION DE CORREAS					
Rendimiento	272,800 kg/día	EQ.	272,80	Costo unitario directo por : kg	10,108 S./kg	1444,800 HH	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico	hh	0,2	0,0059 hh/kg	18,750 S./hh	0,110 S./kg	
	Operario Mecánico	hh	2	0,0587 hh/kg	16,410 S./hh	0,962 S./kg	
	Oficial Mecánico	hh	2	0,0587 hh/kg	14,063 S./hh	0,825 S./kg	
	Peón Mecánico	hh	1	0,0293 hh/kg	10,547 S./hh	0,309 S./kg	
	Soldador 3G	hh	1	0,0293 hh/kg	15,234 S./hh	0,447 S./kg	
				<b>6,1010</b>	<b>10,91 min/kg</b>	<b>2,653 S./kg</b>	
				<b>Rendimiento:</b>	<b>5,5 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>							
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	105,00%		0,25 S./kg	0,263 S./kg	
	Acero A-36	kg	105,00%		4,65 S./kg	4,883 S./kg	
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%		10,00 S./kg	0,150 S./kg	
	Oxigeno industrial 10m3	bal	(1 unid/1500 kg)	0,000667 unid/kg	92,00 S./kg	0,061 S./kg	
	Acetileno Industrial 10 kg	bal	(1 unid/4500 kg)	0,00022 unid/kg	200,00 S./kg	0,044 S./kg	
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	7,50 S./kg	0,025 S./kg	
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	9,50 S./kg	0,032 S./kg	
						<b>5,457 S./kg</b>	
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales	% mo	5%		2,653 S./kg	0,1327 S./kg	
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0,1466 hm/kg	2,500 S./hm	0,3666 S./kg	
	Maquina de Soldar 350 A	hm	1	0,0083 hm/kg	3,500 S./hm	0,0292 S./kg	
	Equipo de oxicorte	hm	1	0,0293 hm/kg	2,000 S./hm	0,0587 S./kg	
						<b>0,5870 S./kg</b>	
<b>Subpartida</b>							
	Granallado de estructura SP6	m2	0,043 m2/kg		12,644 S./m2	0,5399 S./kg	
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0,043 m2/kg		20,384 S./m2	0,8703 S./kg	
						<b>1,4102 S./kg</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.37**  
*Partida de fabricación de templadores de estructura parabólica*

Partida	01.02.04.01	FABRICACION DE TEMPLADORES (Corte y roscado en los extremos)					
Rendimiento	248,00 kg/día	EQ.	248,00	Costo unitario directo por : kg	8,183 S./kg	120,982 HH	
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>							
	Capataz Mecánico	hh	0,1	0,0032 hh/kg	18,750 S./hh	0,060 S./kg	
	Operario Mecánico	hh	1	0,0323 hh/kg	16,410 S./hh	0,529 S./kg	
	Oficial Mecánico	hh	1	0,0323 hh/kg	14,063 S./hh	0,454 S./kg	
	Peón Mecánico	hh	1	0,0323 hh/kg	10,547 S./hh	0,340 S./kg	
				<b>4,1000</b>	<b>6,00 min/kg</b>	<b>1,384 S./kg</b>	
				<b>Rendimiento:</b>	<b>10,0 kg/hh</b>		
<b>Materiales</b>							
	Transporte de Material de Lima a Arequipa	kg	105,00%		0,25 S./kg	0,263 S./kg	
	Acero A-36	kg	105,00%		4,65 S./kg	4,883 S./kg	
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	7,50 S./kg	0,025 S./kg	
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/300 kg)	0,00333 unid/kg	9,50 S./kg	0,032 S./kg	
						<b>5,202 S./kg</b>	
<b>Equipos</b>							
	Herramientas Manuales	% mo	5%		1,384 S./kg	0,0692 S./kg	
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	5	0,1613 hm/kg	2,500 S./hm	0,4032 S./kg	
	Roscado Hidraulica	hm	1	0,0323 hm/kg	7,500 S./hm	0,2419 S./kg	
						<b>0,4724 S./kg</b>	
<b>Subpartida</b>							
	Granallado de estructura SP6	m2	0,034 m2/kg		12,644 S./m2	0,4308 S./kg	
	Pintado de Estructura a 5mills en una sola mano	m2	0,034 m2/kg		20,384 S./m2	0,6946 S./kg	
						<b>1,1254 S./kg</b>	

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora se mostrará el análisis de costos unitarios realizado para las para las partidas de montaje de columnas, vigas, correas tipo Joist y templadores de la estructura parabólica, así como el suministro e instalación de la cobertura.

**Figura 5.38**

*Partida de montaje de columnas de estructura parabólica*

Partida	01.02.01.02	MONTAJE DE COLUMNAS				
Rendimiento	960,000 kg/día	EQ.	960,000	Costo unitario directo por : kg	3,177 S/./kg	1207,53 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	1,0	0,0083 hh/kg	27,6 S/./hh	0,230 S/./kg
	Operario Mecánico-campo	hh	2	0,0167 hh/kg	20,70 S/./hh	0,345 S/./kg
	Oficial Mecánico-campo	hh	2	0,0167 hh/kg	16,676 S/./hh	0,278 S/./kg
	Soldador 3G-campo	hh	1	0,0083 hh/kg	19,547 S/./hh	0,163 S/./kg
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0,0167 hh/kg	14,374 S/./hh	0,240 S/./kg
				0,0087	4,00 min/kg	1,255 S/./kg
				15,00 kg/hh		
<b>Materiales</b>						
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	7,50 S/./unid	0,015 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	9,50 S/./unid	0,019 S/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg		1,50%	10,00 S/./kg	0,150 S/./kg
						<b>0,184 S/./kg</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo		5%	1,255 S/./hm	0,063 S/./kg
	Esmeril Manual Boshc p/disco de 7"	hm	2	0,0167 hm/kg	2,500 S/./hm	0,042 S/./kg
	Camion grua de 10TN	hm	1,00	0,0083 hm/kg	160,00 S/./hm	1,333 S/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA i60hz	hm	0,50	0,0042 hm/kg	65,000 S/./hm	0,271 S/./kg
	Maquina de Soldar 350 A	hm	1	0,0083 hm/kg	3,500 S/./hm	0,0292 S/./kg
						<b>1,738 S/./kg</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.



**Figura 5.39**

*Partida de montaje de vigas parabólicas de estructura parabólica*

Partida	01.02.02.02	MONTAJE DE VIGAS				
Rendimiento	960,000 kg/día	EQ.	960,000	Costo unitario directo por : kg	3,354 S/./kg	1529,23 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	1,0	0,0083 hh/kg	27,6 S/./hh	0,230 S/./kg
	Operario Mecánico-campo	hh	2	0,0167 hh/kg	20,70 S/./hh	0,345 S/./kg
	Oficial Mecánico-campo	hh	2	0,0167 hh/kg	16,676 S/./hh	0,278 S/./kg
	Soldador 3G-campo	hh	1	0,0083 hh/kg	19,547 S/./hh	0,163 S/./kg
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0,0167 hh/kg	14,374 S/./hh	0,240 S/./kg
				0,0067	4,00 min/kg	1,255 S/./kg
				15,00 kg/hh		
<b>Materiales</b>						
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	7,50 S/./unid	0,015 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	9,50 S/./unid	0,019 S/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%		10,00 S/./kg	0,150 S/./kg
						<b>0,184 S/./kg</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		1,255 S/./hm	0,063 S/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	2	0,0167 hm/kg	2,500 S/./hm	0,042 S/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 60hz	hm	0,25	0,0021 hm/kg	65,000 S/./hm	0,135 S/./kg
	Camion grua de 10TN	hm	1,00	0,0083 hm/kg	160,00 S/./hm	1,333 S/./kg
	Maquina de Soldar 350 A	hm	1	0,0083 hm/kg	3,500 S/./hm	0,0292 S/./kg
	Andamios metálicos	h	4	0,0333 hm/kg	9,375 S/./h	0,313 S/./kg
						<b>1,915 S/./kg</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.40**

*Partida de montaje de correas tipo Joist de estructura parabólica*

Partida	01.02.03.02	MONTAJE DE CORREAS				
Rendimiento	492,000 kg/día	EQ.	492,000	Costo unitario directo por : kg	4,469 S/./kg	1059,52 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	0,2	0,0033 hh/kg	27,6 S/./hh	0,090 S/./kg
	Operario Mecánico-campo	hh	2	0,0325 hh/kg	20,70 S/./hh	0,673 S/./kg
	Oficial Mecánico-campo	hh	3	0,0488 hh/kg	16,676 S/./hh	0,813 S/./kg
	Soldador 3G-campo	hh	1	0,0163 hh/kg	19,547 S/./hh	0,318 S/./kg
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0,0325 hh/kg	14,374 S/./hh	0,467 S/./kg
				0,1333	8,00 min/kg	2,362 S/./kg
				7,50 kg/hh		
<b>Materiales</b>						
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	7,50 S/./unid	0,015 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/500 kg)	0,00200 unid/kg	9,50 S/./unid	0,019 S/./kg
	Soldadura Electrica Supercito AWS E-7018	kg	1,50%		10,00 S/./kg	0,150 S/./kg
						<b>0,184 S/./kg</b>
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		2,362 S/./hm	0,118 S/./kg
	Esmeril Manual Boshc p/disco de 7"	hm	2	0,0325 hm/kg	2,500 S/./hm	0,081 S/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 60hz	hm	1,00	0,0163 hm/kg	65,000 S/./hm	1,057 S/./kg
	Maquina de Soldar 350 A	hm	1	0,0163 hm/kg	3,500 S/./hm	0,0569 S/./kg
	Andamios metálicos	h	4	0,0650 hm/kg	9,375 S/./h	0,610 S/./kg
						<b>1,923 S/./kg</b>

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.41**

*Partida de montaje de templadores de estructura parabólica*

Partida	01.02.04.02	MONTAJE DE TEMPLADORES				
Rendimiento	984.000 kg/día	EQ.	984.0000	Costo unitario directo por : kg	2.299 S/./kg	80.65 HH
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	0.2	0.0016 hh/kg	27.6 S/./hh	0.045 S/./kg
	Operario Mecánico-campo	hh	2	0.0163 hh/kg	20.70 S/./hh	0.337 S/./kg
	Oficial Mecánico-campo	hh	4	0.0325 hh/kg	16.676 S/./hh	0.542 S/./kg
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0.0163 hh/kg	14.374 S/./hh	0.234 S/./kg
				0.0067	4.00 min/kg	1.157 S/./kg
				15.00 kg/hh		
<b>Materiales</b>						
	Disco de corte de 7" X 1/8"	und	(1 unid/500 kg)	0.00200 unid/kg	7.50 S/./unid	0.015 S/./kg
	Disco de desbaste de 7" X 1/4"	und	(1 unid/500 kg)	0.00200 unid/kg	9.50 S/./unid	0.019 S/./kg
	Pemera	kg	2%		19.38 S/./kg	0.388 S/./kg
						0.422 S/./kg
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		1.157 S/./hm	0.058 S/./kg
	Taladro magnético Bosch con broca	hm	1	0.0081 hm/kg	6.500 S/./hm	0.053 S/./kg
	Esmeril Manual Bosh p/disco de 7"	hm	2	0.0163 hm/kg	2.500 S/./hm	0.041 S/./kg
	Grupo Electrogeno de 120KW / 150KVA 160hz	hm	0.50	0.0041 hm/kg	65.000 S/./hm	0.264 S/./kg
	Andamios metálicos	h	4	0.0325 hm/kg	9.375 S/./h	0.305 S/./kg
						0.720 S/./kg

Fuente. Fuente propia, 2023.

Para la partida de montaje de cobertura galvanizada, se está considerando un 15% de cobertura adicional debido a los traslapes que existen entre calaminas.

**Figura 5.42**

*Partida de montaje de cobertura galvanizada de estructura parabólica*

Partida	01.02.05.01	MONTAJE DE COBERTURA GALVANIZADA				
Rendimiento	117,388 m2/día	EQ.	117,3883	Costo unitario directo por : m2	65,719 S/./m2	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
	Capataz Mecánico-campo	hh	0,50	0,0341 hh/m2	27,609 S/./hh	0,941 S/./m2
	Operario Mecánico-campo	hh	3	0,2044 hh/m2	20,695 S/./hh	4,231 S/./m2
	Oficial Mecánico-campo	hh	3	0,2044 hh/m2	16,676 S/./hh	3,409 S/./m2
	Peón Mecánico-campo	hh	2	0,1363 hh/m2	14,374 S/./hh	1,959 S/./m2
				0,5793 hh/m2		10,541 S/./m2
<b>Materiales</b>						
	PRECOR TR-4 Curvo de 0.4 mm	m2	115,00%		42,625 S/./m2	49,019 S/./m2
	Cumbrera	m2	1,54%		42,625 S/./m2	0,656 S/./m2
	Cinta butil	m	0,50%		2,250 S/./m2	0,011 S/./m2
	Perno autopercutor #10" X 1" c/volanda neoprene	und	6 unid/m2		0,170 S/./unid	1,020 S/./m2
	Trapo Industrial	kg	0,20%		4,80 S/./m2	0,010 S/./m2
						50,716 S/./m2
<b>Equipos</b>						
	Herramientas Manuales	% mo	5%		10,541 S/./hm	0,527 S/./m2
	Atornillador manual	hm	2,0	0,1363 hm/m2	0,750 S/./hm	0,102 S/./m2
	Andamios	hm	6,0	0,4089 hm/m2	9,375 S/./hm	3,833 S/./m2
						4,463 S/./m2

Fuente. Fuente propia, 2023.

Ahora según el análisis de costos unitarios desarrollado, se tiene el siguiente presupuesto desarrollado y descompuesto:

**Figura 5.43**  
*Presupuesto descompuesto de estructura parabólica*

Item	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)	Horas Hombre	Mano de Obra (S/.)	Horas Maquina	Equipo (S/.)	Material (S/.)	Subcontrato (S/.)
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA PARABÓLICA</b>				<b>797.101,345</b>	<b>10.995,285</b>	<b>197.767,215</b>	<b>9.024,482</b>	<b>187.978,511</b>	<b>411.355,618</b>	<b>0,000</b>
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>				<b>34.643,053</b>	<b>193,600</b>	<b>3.365,625</b>	<b>184,000</b>	<b>31.277,428</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
01.01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos, Herramientas y Personal	glb	1,00	21.134,831	21.134,831	153,6000	2.334,938	144,0000	18.799,894	-	-
01.01.02	Facilidades Temporales	glb	1,00	4.150,000	4.150,000	-	-	-	4.150,000	-	-
01.01.03	Trazo y Replanteo	glb	1,00	1.558,222	1.558,222	40,0000	1.030,688	40,0000	527,534	-	-
01.01.04	Seguridad	glb	1,00	7.800,000	7.800,000	-	-	-	7.800,000	-	-
<b>01.02</b>	<b>COBERTURA PARA HORNOS</b>				<b>762.458,292</b>	<b>10.801,685</b>	<b>194.401,590</b>	<b>8.840,482</b>	<b>156.701,083</b>	<b>411.355,618</b>	<b>0,000</b>
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACION Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>				<b>216.725,810</b>	<b>3.018,818</b>	<b>56.010,494</b>	<b>2.067,890</b>	<b>51.272,213</b>	<b>109.443,102</b>	<b>0,000</b>
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	18.112,91	8,788	159.178,206	1.811,2906	33.271,721	1.388,6561	19.796,157	106.110,327	-
01.02.01.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	682,81	20,384	13.918,405	227,6043	3.124,886	227,6043	4.789,510	6.004,009	-
01.02.01.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	682,81	12,644	8.633,463	227,6043	3.124,886	216,7660	4.598,160	910,417	-
01.02.01.02	Montaje de Columnas	kg	18.112,91	3,177	57.547,604	1.207,5271	22.738,773	679,2340	31.476,056	3.332,775	-
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>				<b>272.171,054</b>	<b>3.823,074</b>	<b>69.169,385</b>	<b>3.335,632</b>	<b>66.349,194</b>	<b>136.652,475</b>	<b>0,000</b>
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	22.938,44	8,511	195.229,930	2.293,8443	40.372,678	1.758,6140	22.425,450	132.431,802	-
01.02.02.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	681,53	20,384	13.892,282	227,1772	3.119,021	227,1772	4.780,521	5.992,741	-
01.02.02.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	681,53	12,644	8.617,259	227,1772	3.119,021	216,3592	4.589,530	908,709	-
01.02.02.02	Montaje de Vigas	kg	22.938,44	3,354	76.941,124	1.529,2296	28.796,707	1.577,0180	43.923,744	4.220,674	-
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACION Y MONTAJE DE CORREAS</b>				<b>115.830,485</b>	<b>2.504,320</b>	<b>42.955,223</b>	<b>1.948,950</b>	<b>24.610,279</b>	<b>48.264,983</b>	<b>0,000</b>
01.02.03.01	Fabricación de Correas	kg	7.946,40	10,108	80.321,976	1.444,8000	24.189,424	1.464,4135	9.329,706	46.802,846	-
01.02.03.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	323,14	20,384	6.586,778	107,7120	1.478,828	107,7120	2.266,599	2.841,351	-
01.02.03.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	323,14	12,644	4.085,720	107,7120	1.478,828	102,5829	2.176,044	430,848	-
01.02.03.02	Montaje de Correas	kg	7.946,40	4,469	35.508,510	1.059,5200	18.765,799	484,5366	15.280,573	1.462,138	-
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TEMPLADORES</b>				<b>12.682,039</b>	<b>201,637</b>	<b>3.451,622</b>	<b>307,929</b>	<b>2.009,941</b>	<b>7.220,475</b>	<b>0,000</b>
01.02.04.01	Fabricación de Templadores	kg	1.209,82	8,183	9.900,169	120,9822	2.051,337	234,1590	1.138,297	6.710,535	-
01.02.04.01	Pintado de estructuras metalicas a 5 mills	m2	39,26	20,384	800,286	13,0869	179,676	13,0869	275,389	345,221	-
01.02.04.01	Granallado de estructuras metalicas SP6	m2	39,26	12,644	496,410	13,0869	179,676	12,4637	264,387	52,348	-
01.02.04.02	Montaje de templadores	kg	1.209,82	2,299	2.781,869	80,6548	1.400,285	73,7696	871,644	509,940	-
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA</b>				<b>142.248,904</b>	<b>1.253,836</b>	<b>22.814,866</b>	<b>1.180,081</b>	<b>9.659,455</b>	<b>109.774,583</b>	<b>0,000</b>
01.02.05.01	Suministro e Instalacion de Cobertura PRECOR TR-4 Curvo E=0.4 mm para Techo	m2	2.164,50	65,719	142.248,904	1.253,8363	22.814,866	1.180,0813	9.659,455	109.774,583	-
<b>01.02.06</b>	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE TINTES PENETRANTES</b>				<b>2.800,000</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>2.800,000</b>	<b>-</b>	<b>0,000</b>
01.02.06.01	Tintes penetrantes Cantesco (20 Paquetes de 140 soles)	glb	20,00	140,000	2.800,000	-	-	-	2.800,000	-	-

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.44**  
*Presupuesto desarrollado de estructura parabólica*

**TABLA 2.02 DETALLE DE PRESUPUESTO**

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT	P.U. S/.	PARCIAL S/.	TOTAL S/.	COSTO DIRECTO				COSTO INDIRECTO				TOTAL S/.						
							TOTAL LABOR	TOTAL MATERIAL	TOTAL EQ. CONST.	TOTAL COSTO DIRECTO	TOTAL G.G.	TOTAL GASTOS SUPERV.	TOTAL FINAC.	TOTAL UTILIDAD		TOTAL COSTO INDIRECTO					
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA PARABOLICA PARA COBERTURA PARA HORNOS</b>																				
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>					<b>34.643,05</b>															
01.01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos, Herramientas y Personal	glb	1,00	21.134,83	21.134,83		2.334,94	0,00	18.799,89	21.134,83	3.170,22	2.536,18	528,37	2.113,48	8.348,26					29.483,09	
01.01.02	Facilidades Temporales	glb	1,00	4.150,00	4.150,00		0,00	0,00	4.150,00	4.150,00	622,50	498,00	103,75	415,00	1.639,25					5.789,25	
01.01.03	Trazo y Replanteo	glb	1,00	1.558,22	1.558,22		1.030,69	0,00	527,53	1.558,22	233,73	186,99	38,96	155,82	615,50					2.173,72	
01.01.04	Seguridad	glb	1,00	7.800,00	7.800,00		0,00	7.800,00	0,00	7.800,00	1.170,00	936,00	195,00	780,00	3.081,00					10.881,00	
<b>01.02</b>	<b>COBERTURA PARA HORNOS</b>					<b>762.458,29</b>															
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>																				
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	18.112,91	8,79	159.178,21		33.271,72	106.110,33	19.796,16	159.178,21	23.876,73	19.101,38	3.979,46	15.917,82	62.875,39					222.053,60	
01.02.01.02	Montaje de Columnas	kg	18.112,91	3,18	57.547,60		22.738,77	3.332,77	31.476,06	57.547,60	8.632,14	6.905,71	1.438,69	5.754,76	22.731,30					80.278,91	
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>																				
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	22.938,44	8,51	195.229,93		40.372,68	132.431,80	22.425,45	195.229,93	29.284,49	23.427,59	4.880,75	19.522,99	77.115,82					272.345,75	
01.02.02.02	Montaje de Vigas	kg	22.938,44	3,35	76.941,12		28.796,71	4.220,67	43.923,74	76.941,12	11.541,17	9.232,93	1.923,53	7.694,11	30.391,74					107.332,87	
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CORREAS</b>																				
01.02.03.01	Fabricación de Correas	kg	7.946,40	10,11	80.321,98		24.189,42	46.802,85	9.329,71	80.321,98	12.048,30	9.638,64	2.008,05	8.032,20	31.727,18					112.049,16	
01.02.03.02	Montaje de Correas	kg	7.946,40	4,47	35.508,51		18.765,80	1.462,14	15.280,57	35.508,51	5.326,28	4.261,02	887,71	3.550,85	14.025,86					49.534,37	
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TEMPLADORES</b>																				
01.02.04.01	Fabricación de Templadores	kg	1.209,82	8,18	9.900,17		2.051,34	6.710,54	1.138,30	9.900,17	1.485,03	1.188,02	247,50	990,02	3.910,57					13.810,74	
01.02.04.02	Montaje de Templadores	kg	1.209,82	2,30	2.781,87		1.400,29	509,94	871,64	2.781,87	417,28	333,82	69,55	278,19	1.098,84					3.880,71	
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA</b>																				
01.02.05.01	Suministro e Instalación de Cobertura PRECOR TR-4 Curvo E=0.4 mm para Techo	m2	2.164,50	65,72	142.248,90		22.814,87	109.774,58	9.659,45	142.248,90	21.337,34	17.069,87	3.556,22	14.224,89	56.188,32					198.437,22	
<b>01.02.06</b>	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE TINTES PENETRANTES</b>																				
01.02.06.01	Tintes penetrantes Cantesco (10 Paquetes de 140 soles)	glb	20,00	140,00	2.800,00		0,00	0,00	2.800,00	2.800,00	420,00	336,00	70,00	280,00	1.106,00					3.906,00	
							<b>197.767,22</b>	<b>419.155,62</b>	<b>180.178,51</b>	<b>797.101,34</b>	<b>119.565,20</b>	<b>95.652,16</b>	<b>19.927,53</b>	<b>79.710,13</b>	<b>314.855,03</b>	<b>1.111.956,38</b>					

Fuente. Fuente propia, 2023.



Finalmente se tiene el siguiente resumen del presupuesto de la estructura parabólica donde se muestra el costo total directo e indirecto del proyecto:

**Figura 5.45**

*Resumen de presupuesto de estructura parabólica*

**TABLA 2.01 - RESUMEN DE PRESUPUESTO**

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT NETA	P.U. S/.	TOTAL S/.	TOTAL S/.
<b>01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE ESTRUCTURA PARABOLICA PARA COBERTURA PARA HORNOS</b>					
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES Y TEMPORALES</b>					<b>34.643,05</b>
01.01.01	Movilización y Desmovilización de Equipos, Herramientas y Personal	glb	1,00	21.134,83	21.134,83	
01.01.02	Facilidades Temporales	glb	1,00	4.150,00	4.150,00	
01.01.03	Trazo y Replanteo	glb	1,00	1.558,22	1.558,22	
01.01.04	Seguridad	glb	1,00	7.800,00	7.800,00	
<b>01.02</b>	<b>COBERTURA PARA HORNOS</b>					
<b>01.02.01</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE COLUMNAS</b>					<b>216.725,81</b>
01.02.01.01	Fabricación de Columnas	kg	18.112,91	8,79	159.178,21	
01.02.01.02	Montaje de Columnas	kg	18.112,91	3,18	57.547,60	
<b>01.02.02</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE VIGAS</b>					<b>272.171,05</b>
01.02.02.01	Fabricación de Vigas	kg	22.938,44	8,51	195.229,93	
01.02.02.02	Montaje de Vigas	kg	22.938,44	3,35	76.941,12	
<b>01.02.03</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE CORREAS</b>					<b>115.830,49</b>
01.02.03.01	Fabricación de Correas	kg	7.946,40	10,11	80.321,98	
01.02.03.02	Montaje de correas	kg	7.946,40	4,47	35.508,51	
<b>01.02.04</b>	<b>FABRICACIÓN Y MONTAJE DE TEMPLADORES</b>					<b>12.682,04</b>
01.02.04.01	Fabricación de Templadores	kg	1.209,82	8,18	9.900,17	
01.02.04.02	Montaje de templadores	kg	1.209,82	2,30	2.781,87	
<b>01.02.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA</b>					<b>142.248,90</b>
01.02.05.01	Suministro e Instalación de Cobertura PRECOR TR-4 Curvo E=0.4 mm para Techo	m2	2.164,50	65,72	142.248,90	
<b>01.02.06</b>	<b>INSPECCIÓN DE SOLDADURA MEDIANTE TINTES PENETRANTES</b>					<b>2.800,00</b>
01.02.06.01	Tintes penetrantes Cantesco (10 Paquetes de 140 soles)	glb	20,00	140,00	2.800,00	
<b>SUB TOTAL COSTO DIRECTO:</b>						<b>797.101,34</b>
<b>COSTO INDIRECTO</b>						
GASTOS GENERALES					15,00%	119.565,20
SUPERVISION					12,00%	95.652,16
FINANCIAMIENTO					2,50%	19.927,53
UTILIDAD					10,00%	79.710,13
<b>SUB TOTAL COSTO INDIRECTO:</b>					<b>39,50%</b>	<b>314.855,03</b>
<b>TOTAL PROYECTO :</b>						<b>1.111.956,38</b>
<b>GRAN TOTAL SIN IGV</b>						<b>1.111.956,38</b>
Leyenda und : unidad glb : global m : metro lineal m2 : metro cuadrado m3 : metro cúbico kg : kilogramo						

Fuente. Fuente propia, 2023.

## 5.8. Tiempos de construcción y montaje

### 5.8.1. Tiempos de construcción y montaje de estructura de alma llena

Los tiempos correspondientes a las partidas de movilización, trazo y replanteo son los mismos tanto para el modelo de estructura de alma llena, como para el modelo de estructura parabólica:

**Figura 5.46**

*Recursos y duración de actividades de movilización y desmovilización*

MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y PERSONAL.				
Cantidad de personal por cuadrilla:	3.2	Personas		
Metrado (M)	1.00	glb		d: Dias calendario
Rendimiento (R)	0.1667	glb/dia		
Factor recursos (f)	1.00	(Cantidad de cuadrillas)		
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0.2	9.60	0.2	6.0
PEON MECANICO - CAMPO	3.0	144.00	3.0	6.0
CAMIONETA PICK UP 1ton.	1.0	48.00	1.0	6.0
CAMION GRUA	1.0	48.00	1.0	6.0
CAMION PLATAFORMA 30TN	1.0	48.00	1.0	6.0

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Figura 5.47**

*Recursos y duración de actividades de trazo y replanteo*

TRAZO Y REPLANTEO				
Cantidad de personal por cuadrilla:	2.5	Personas		
Metrado (M)	1.00	glb		
Rendimiento (R)	0.50	glb/dia		
Factor recursos (f)	1.00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
OFICIAL MECANICO - CAMPO	1.0	16.00	1.0	2.0
TOPOGRAFO	1.0	16.00	1.0	2.0
INGENIERO MECANICO	0.5	8.00	0.5	2.0
ESTACION TOTAL	1.0	16.00	1.0	2.0
HERRAMIENTAS MANUALES		0.00	0.0	0.0
COMPUTADORA PERSONAL	1.5	24.00	1.5	2.0

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

Según el análisis de precios unarios y rendimientos, se tienen los siguientes tiempos totales de construcción y montaje para la estructura de alma llena:

**Figura 5.48**

*Recursos y duración total de construcción de columnas de estructura de alma llena*

FABRICACION DE COLUMNAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	12,0	Personas		
Metrado (M)	20294,15	Kg		
Rendimiento (R)	1440,00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO	1,0	112,75	1,0	14,1
OPERARIO MECANICO	3,0	338,24	3,0	14,1
PEON MECANICO	2,0	225,49	2,0	14,1
SOLDADOR 3G	3,0	338,24	3,0	14,1
OFICIAL MECANICO	3,0	338,24	3,0	14,1
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
TALADRO MAGNETICO	0,5	56,37	0,5	14,1
CAMION GRUA DE 10 TON	0,2	22,55	0,2	14,1
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	3,0	338,24	3,0	14,1
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	5,0	563,73	5,0	14,1
EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	1,0	112,75	1,0	14,1
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0,26250	5327,21		
ACERO A-36	4,88250	99086,18		
ACETILENO 10 KG	0,04444	901,96		
OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 M3)	0,06133	1244,71		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	3044,12		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,02500	507,35		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,03167	642,65		
PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS A 5 MILS	0,64202	13029,19		
GRANALLADO DE ESTRUCTURAS METALICAS SP6	0,39824	8081,89		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.49**

*Recursos y duración total de montaje de columnas de estructura de alma llena*

MONTAJE DE COLUMNAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,0	Personas		
Metrado (M)	20294,15	Kg		
Rendimiento (R)	1600,00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	1,0	101,47	1,0	12,7
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	202,94	2,0	12,7
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2,0	202,94	2,0	12,7
OFICIAL MECANICO - CAMPO	2,0	202,94	2,0	12,7
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	101,47	1,0	12,7
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
CAMION GRUA 10TN	1,0	101,47	1,0	12,7
GRUPO ELECTROGENO	0,5	50,74	0,5	12,7
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2,0	202,94	2,0	12,7
TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	1,0	101,47	1,0	12,7
TALADRO MAGNETICO BOSH CON BROCA	1,0	101,47	1,0	12,7
MAQUINA DE SOLDAR 350 A	1,0	101,47	1,0	12,7
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
PERNERIA	0,3875	7863,98		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,0150	304,41		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,0190	385,59		
SOLDADURA ELETRICA SUPERCITO AWS E-7018	0,1500	3044,12		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.50**

*Recursos y duración total de construcción de vigas de estructura de alma llena*

FABRICACION DE VIGAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	12,0	Personas		
Metrado (M)	26459,54	Kg		
Rendimiento (R)	1440,00	Kg/Día		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO	1,0	147,00	1,0	18,4
OPERARIO MECANICO	3,0	440,99	3,0	18,4
PEON MECANICO	2,0	293,99	2,0	18,4
SOLDADOR 3G	3,0	440,99	3,0	18,4
OFICIAL MECANICO	3,0	440,99	3,0	18,4
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
TALADRO MAGNETICO	0,5	73,50	0,5	18,4
CAMION GRUA DE 10 TON	0,2	29,40	0,2	18,4
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	3,0	440,99	3,0	18,4
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	5,0	734,99	5,0	18,4
EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	1,0	147,00	1,0	18,4
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0,26250	6945,63		
ACERO A-36 (PERFILES)	4,88250	129188,70		
ACETILENO 10 KG	0,04444	1175,98		
OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 M3)	0,06133	1622,85		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	3968,93		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,02500	661,49		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,03167	837,89		
PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS A 5 MILS	0,63967	16925,41		
GRANALLADO DE ESTRUCTURAS METALICAS SP6	0,39678	10498,68		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.51**

*Recursos y duración total de montaje de vigas de estructura de alma llena*

MONTAJE DE VIGAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,0	Personas		
Metrado (M)	26459,54	Kg		
Rendimiento (R)	1600,00	Kg/Día		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	1,0	132,30	1,0	16,5
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	264,60	2,0	16,5
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2,0	264,60	2,0	16,5
OFICIAL MECANICO - CAMPO	2,0	264,60	2,0	16,5
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	132,30	1,0	16,5
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
TALADRO MAGNETICO	1,0	132,30	1,0	16,5
CAMION GRUA 10TN	1,0	132,30	1,0	16,5
GRUPO ELECTROGENO	0,3	33,07	0,3	16,5
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	1,0	132,30	1,0	16,5
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2,0	264,60	2,0	16,5
ANDAMIOS METALICOS	4,0	529,19	4,0	16,5
TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	1,0	132,30	1,0	16,5
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
PERNERIA	0,38750	10253,07		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	3968,93		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,01500	396,89		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,01900	502,73		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.52**

*Recursos y duración total de construcción de correas de estructura de alma llena*

FABRICACION DE CORREAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	6.2	Personas		
Metrado (M)	20245.18	Kg		
Rendimiento (R)	744.00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	2.00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO	0.2	43.54	0.4	13.6
OPERARIO MECANICO	2.0	435.38	4.0	13.6
PEON MECANICO	1.0	217.69	2.0	13.6
OFICIAL MECANICO	3.0	653.07	6.0	13.6
HERRAMIENTAS MANUALES		0.00	0.0	0.0
TALADRO MAGNETICO	0.5	108.85	1.0	13.6
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	5.0	1088.45	10.0	13.6
EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	1.0	217.69	2.0	13.6
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0.25000	5061.30		
ACERO A-36 (Correas)	4.65000	94140.10		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0.02500	506.13		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0.03167	641.10		
PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS A 5 MILS	0.75283	15241.14		
GRANALLADO DE ESTRUCTURAS METALICAS SP6	0.46697	9453.94		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.53**

*Recursos y duración total de montaje de correas de estructura de alma llena*

MONTAJE DE CORREAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,2	Personas		
Metrado (M)	20245,18	Kg		
Rendimiento (R)	1640,00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0,2	19,75	0,2	12,3
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	197,51	2,0	12,3
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2,0	197,51	2,0	12,3
OFICIAL MECANICO - CAMPO	3,0	296,27	3,0	12,3
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	98,76	1,0	12,3
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
GRUPO ELECTROGENO	1,0	98,76	1,0	12,3
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2,0	197,51	2,0	12,3
ANDAMIOS METALICOS	4,0	395,03	4,0	12,3
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	1,0	98,76	1,0	12,3
TALADRO MAGNETICO	1,0	98,76	1,0	12,3
TORQUIMETRO DE GOLPE 200-1000 LB-PIE	1,0	98,76	1,0	12,3
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
PERNERIA	0,38750	7845,01		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	3036,78		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,01500	303,68		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,01900	384,66		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.54**

*Recursos y duración total de construcción de templadores de estructura de alma llena*

FABRICACION DE TEMPLADORES				
Cantidad de personal por cuadrilla:	3.1	Personas		
Metrado (M)	1775.62	Kg		
Rendimiento (R)	248.00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1.00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO	0.1	5.73	0.1	7.2
PEON MECANICO	1.0	57.28	1.0	7.2
OPERARIO MECANICO	1.0	57.28	1.0	7.2
OFICIAL MECANICO	1.0	57.28	1.0	7.2
HERRAMIENTAS MANUALES		0.00	0.0	0.0
ESMERIL MANUAL BOSH P/DISCO DE 7"	5.0	286.39	5.0	7.2
ROSCADO HIDRAULICA	1.0	57.28	1.0	7.2
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0.26	466.10		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0.02500	44.39		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0.03167	56.23		
ACERO A-36 (Barra Lisa)	4.88	8669.48		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.55**

*Recursos y duración total de montaje de templadores de estructura de alma llena*

MONTAJE DE TEMPLADORES				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8.2	Personas		
Metrado (M)	1775.62	Kg		
Rendimiento (R)	984.00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1.00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0.2	2.89	0.2	1.8
PEON MECANICO - CAMPO	2.0	28.87	2.0	1.8
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2.0	28.87	2.0	1.8
OFICIAL MECANICO - CAMPO	4.0	57.74	4.0	1.8
HERRAMIENTAS MANUALES		0.00	0.0	0.0
TALADRO MAGNETICO	1.0	14.44	1.0	1.8
GRUPO ELECTROGENO	0.5	7.22	0.5	1.8
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2.0	28.87	2.0	1.8
ANDAMIOS METALICOS	4.0	57.74	4.0	1.8
Materiales por M2	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
PERNERIA	0.38750	688.05		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0.01500	26.63		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0.01900	33.74		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.56**

*Recursos y duración total de montaje de cobertura galvanizada de estructura de alma llena*

SUMINISTRO E INSTALACION DE COBERTURA CALAMINON GL E=0.4 MM PARA TECHO				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,5	Personas		
Metrado (M)	2047,15	M2		
Rendimiento (R)	117,37	M2/Día		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0,5	69,77	0,5	17,4
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	279,07	2,0	17,4
OPERARIO MECANICO - CAMPO	3,0	418,61	3,0	17,4
OFICIAL MECANICO - CAMPO	3,0	418,61	3,0	17,4
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
ATORNILLADOR MANUAL	2,0	279,07	2,0	17,4
ANDAMIOS METALICOS	6,0	837,22	6,0	17,4
Materiales por M2	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
CINTA BUTIL	0,01	23,03		
PERNO AUTOPERFORANTE #10" X 1" C/VOLANDA NEOPRENE	1,02	2088,09		
TRAPO INDUSTRIAL	0,01	19,65		
CALAMINON GL E=0.40 mm.	49,02	100348,78		
CUMBRERA	0,66	1343,80		

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

### 5.8.2. Tiempos de construcción y montaje de estructura parabólica

Los tiempos correspondientes a las partidas de movilización, trazo y replanteo son los mismos tanto que el del modelo de estructura de alma llena mostrado en el apartado 5.8.1.

Realizando el mismo análisis, se tienen los siguientes tiempos totales de construcción y montaje para la estructura parabólica:

**Figura 5.57**

*Recursos y duración total de construcción de columnas de estructura de parabólica*

FABRICACION DE COLUMNAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	12,0	Personas		
Metrado (M)	18112,91	Kg		
Rendimiento (R)	960,00	Kg/Día		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignación definitivas	Duración (d)
CAPATAZ MECANICO	1,0	150,94	1,0	18,9
OPERARIO MECANICO	3,0	452,82	3,0	18,9
PEON MECANICO	2,0	301,88	2,0	18,9
SOLDADOR 3G	3,0	452,82	3,0	18,9
OFICIAL MECANICO	3,0	452,82	3,0	18,9
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
CAMION GRUA 10TN	0,2	30,19	0,2	18,9
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	3,0	452,82	3,0	18,9
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	5,0	754,70	5,0	18,9
EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	1,0	150,94	1,0	18,9
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0,26250	4754,64		
ACERO A-36	4,88250	88436,26		
ACETILENO 10 KG	0,04444	805,02		
OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 M3)	0,06133	1110,92		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	2716,94		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,02500	452,82		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,03167	573,58		
PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS A 5 MILS	0,80685	14614,33		
GRANALLADO DE ESTRUCTURAS METALICAS SP6	0,50048	9065,14		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.58**

*Recursos y duración total de montaje de columnas de estructura de parabólica*

MONTAJE DE COLUMNAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,0	Personas		
Metrado (M)	18112,91	Kg		
Rendimiento (R)	960,00	Kg/Día		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignación definitivas	Duración (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	1,0	150,94	1,0	18,9
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	301,88	2,0	18,9
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2,0	301,88	2,0	18,9
OFICIAL MECANICO - CAMPO	2,0	301,88	2,0	18,9
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	150,94	1,0	18,9
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
CAMION GRUA 10TN	1,0	150,94	1,0	18,9
GRUPO ELECTROGENO	0,5	75,47	0,5	18,9
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2,0	301,88	2,0	18,9
MAQUINA DE SOLDAR 350 A	1,0	150,94	1,0	18,9
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,0150	271,69		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,0190	344,15		
SOLDADURA ELETRICA SUPERCITO AWS E-7018	0,1500	2716,94		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.59**

*Recursos y duración total de construcción de vigas de estructura de parabólica*

FABRICACION DE VIGAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	12,0	Personas		
Metrado (M)	22938,44	Kg		
Rendimiento (R)	960,00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO	1,0	191,15	1,0	23,9
OPERARIO MECANICO	3,0	573,46	3,0	23,9
PEON MECANICO	2,0	382,31	2,0	23,9
SOLDADOR 3G	3,0	573,46	3,0	23,9
OFICIAL MECANICO	3,0	573,46	3,0	23,9
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
CAMION GRUA DE 10 TON	0,2	38,23	0,2	23,9
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	3,0	573,46	3,0	23,9
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	5,0	955,77	5,0	23,9
EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA, Y MANOMETROS)	1,0	191,15	1,0	23,9
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0,26250	6021,34		
ACERO A-36 (PERFILES)	4,88250	111996,95		
ACETILENO 10 KG	0,04444	1019,49		
OXIGENO INDUSTRIAL (BOTELLA DE 10 M3)	0,06133	1406,89		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	3440,77		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,02500	573,46		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,03167	726,38		
PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS A 5 MILS	0,63591	14586,90		
GRANALLADO DE ESTRUCTURAS METALICAS SP6	0,39445	9048,12		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.60**

*Recursos y duración total de montaje de vigas de estructura de parabólica*

MONTAJE DE VIGAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,0	Personas		
Metrado (M)	22938,44	Kg		
Rendimiento (R)	960,00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	1,0	191,15	1,0	23,9
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	382,31	2,0	23,9
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2,0	382,31	2,0	23,9
OFICIAL MECANICO - CAMPO	2,0	382,31	2,0	23,9
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	191,15	1,0	23,9
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
CAMION GRUA 10TN	1,0	191,15	1,0	23,9
GRUPO ELECTROGENO	0,3	47,79	0,3	23,9
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	1,0	191,15	1,0	23,9
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2,0	382,31	2,0	23,9
ANDAMIOS METALICOS	4,0	764,61	4,0	23,9
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	3440,77		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,01500	344,08		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,01900	435,83		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.61**

*Recursos y duración total de construcción de correas de estructura de parabólica*

FABRICACION DE CORREAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	6,2	Personas		
Metrado (M)	7946,40	Kg		
Rendimiento (R)	272,80	Kg/Día		
Factor recursos (f)	2,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignación definitivas	Duración (d)
CAPATAZ MECANICO	0,2	46,61	0,4	14,6
OPERARIO MECANICO	2,0	466,06	4,0	14,6
PEON MECANICO	1,0	233,03	2,0	14,6
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	233,03	2,0	14,6
OFICIAL MECANICO	2,0	466,06	4,0	14,6
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	1,0	233,03	2,0	14,6
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	5,0	1165,16	10,0	14,6
EQUIPO DE OXICORTE (INC. ACCESORIOS, MANGUERA Y MANOMETROS)	1,0	233,03	2,0	14,6
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0,26250	2085,93		
ACERO A-36 (Correas)	4,88250	38798,30		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,02500	198,66		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,03167	251,64		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	1191,96		
PINTADO DE ESTRUCTURAS METALICAS A 5 MILS	0,87035	6916,12		
GRANALLADO DE ESTRUCTURAS METALICAS SP6	0,53987	4290,01		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.62**

*Recursos y duración total de montaje de correas de estructura de parabólica*

MONTAJE DE CORREAS				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,2	Personas		
Metrado (M)	7946,40	Kg		
Rendimiento (R)	492,00	Kg/Día		
Factor recursos (f)	1,00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignación definitivas	Duración (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0,2	25,84	0,2	16,2
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	258,42	2,0	16,2
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2,0	258,42	2,0	16,2
OFICIAL MECANICO - CAMPO	3,0	387,63	3,0	16,2
SOLDADOR 3G - CAMPO	1,0	129,21	1,0	16,2
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
GRUPO ELECTROGENO	1,0	129,21	1,0	16,2
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2,0	258,42	2,0	16,2
ANDAMIOS METALICOS	4,0	516,84	4,0	16,2
MAQUINA DE SOLDAR ELECT. TRIF. ALT/CONT. 350 AMP.	1,0	129,21	1,0	16,2
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
SOLDADURA E7018 DE 1/8"	0,15000	1191,96		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0,01500	119,20		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0,01900	150,98		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.63**

*Recursos y duración total de construcción de templadores de estructura de parabólica*

FABRICACION DE TEMPLADORES				
Cantidad de personal por cuadrilla:	3.1	Personas		
Metrado (M)	1209.82	Kg		
Rendimiento (R)	248.00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1.00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO	0.1	3.90	0.1	4.9
PEON MECANICO	1.0	39.03	1.0	4.9
OPERARIO MECANICO	1.0	39.03	1.0	4.9
OFICIAL MECANICO	1.0	39.03	1.0	4.9
HERRAMIENTAS MANUALES		0.00	0.0	0.0
ESMERIL MANUAL BOSH P/DISCO DE 7"	5.0	195.13	5.0	4.9
ROSCADO HIDRAULICA	1.0	39.03	1.0	4.9
Materiales	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
TRANSPORTE DE MATERIALES LIMA-AQP	0.26	317.58		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0.02500	30.25		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0.03167	38.31		
ACERO A-36 (Barra Lisa)	4.88	5906.95		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.64**

*Recursos y duración total de montaje de templadores de estructura de parabólica*

MONTAJE DE TEMPLADORES				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8.2	Personas		
Metrado (M)	1209.82	Kg		
Rendimiento (R)	984.00	Kg/Dia		
Factor recursos (f)	1.00			
			$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$
				$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0.2	1.97	0.2	1.2
PEON MECANICO - CAMPO	2.0	19.67	2.0	1.2
OPERARIO MECANICO - CAMPO	2.0	19.67	2.0	1.2
OFICIAL MECANICO - CAMPO	4.0	39.34	4.0	1.2
HERRAMIENTAS MANUALES		0.00	0.0	0.0
TALADRO MAGNETICO	1.0	9.84	1.0	1.2
GRUPO ELECTROGENO	0.5	4.92	0.5	1.2
ESMERIL MANUAL BOSCH P/DISCO DE 7"	2.0	19.67	2.0	1.2
ANDAMIOS METALICOS	4.0	39.34	4.0	1.2
Materiales por M2	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
PERNERIA	0.38750	468.81		
DISCO DE CORTE DE 1/8" X 7/8" X 7"	0.01500	18.15		
DISCO DE DESBASTE DE 1/4" X 7/8" X 7"	0.01900	22.99		

Fuente. Fuente propia, 2023.

**Figura 5.65**

*Recursos y duración total de montaje de cobertura galvanizada de estructura de parabólica*

SUMINISTRO E INSTALACION DE COBERTURA TR4 PRECOR CURVO PARA TECHO				
Cantidad de personal por cuadrilla:	8,5	Personas		
Metrado (M)	2164,50	M2		
Rendimiento (R)	117,39	M2/Dia		
Factor recursos (f)	1,00			
		$T = M \times u \times 8 / R$	$u' = u \times f$	$d = T / (u' \times 8)$
Recurso	Unidades de asignación básicas	Trabajo Total (hh)	Unidades de asignacion definitivas	Duracion (d)
CAPATAZ MECANICO - CAMPO	0,5	73,76	0,5	18,4
PEON MECANICO - CAMPO	2,0	295,02	2,0	18,4
OPERARIO MECANICO - CAMPO	3,0	442,53	3,0	18,4
OFICIAL MECANICO - CAMPO	3,0	442,53	3,0	18,4
HERRAMIENTAS MANUALES		0,00	0,0	0,0
ATORNILLADOR MANUAL	2,0	295,02	2,0	18,4
ANDAMIO METALICO TIPO ULMA	6,0	885,06	6,0	18,4
Materiales por M2	Unidades de asignación básicas	Total Materiales (S/.)		
CINTA BUTIL	0,01	24,35		
PERNO AUTOPERFORANTE #10" X 1" CVOLANDA NEOPRENE	1,02	2207,78		
TRAPO INDUSTRIAL	0,01	20,78		
PRECOR TR-4 CURVO E=0.40 mm.	49,02	106100,84		
CUMBRERA	0,66	1420,83		

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

### 5.9. Análisis comparativo de estructuras

Para el análisis comparativo entre la estructura de alma llena y la parabólica, se realizaron tablas conteniendo la información más relevante de los diseños y análisis realizados, de modo que se puedan contrastar las diferencias entre ambos en aspectos como el peso, costos totales, tiempos de fabricación y montaje y comportamiento estructural.

**Tabla 5.6**

*Tabla comparativa de pesos y áreas totales de estructuras diseñadas*

ITEM	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA		ESTRUCTURA PARABOLICA	
	PESO TOTAL (kg)	AREA TOTAL (m2)	PESO TOTAL (kg)	AREA TOTAL (m2)
Columnas	20,294.15	608.75	18,112.91	682.91
Vigas	26,459.54	790.79	22,938.44	681.53
Correas	20,245.18	712.10	7,946.40	323.14
Templadores	1,775.62	57.62	1,209.82	39.26
Cobertura de 0.4 mm	-	2,047.15	-	2,164.50
<b>TOTAL</b>	68,774.49	-	50,207.57	-

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.7**

*Tabla comparativa de tiempos de fabricación*

ITEM	TIEMPOS DE FABRICACIÓN (Días)	
	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA	ESTRUCTURA PARABOLICA
Columnas	14.1	18.9
Vigas	18.4	23.9
Correas	13.6	14.6
Templadores	7.2	4.9

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.8**

*Tabla comparativa de tiempos de montaje*

ITEM	TIEMPOS DE MONTAJE (Días)	
	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA	ESTRUCTURA PARABOLICA
Columnas	12.7	18.9
Vigas	16.5	23.9
Correas	12.3	16.2
Templadores	1.8	1.2
Cobertura de 0.4 mm	17.4	18.4

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.9**

*Tabla comparativa de costos directos totales*

ITEM	COSTOS DIRECTOS (S/.)	
	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA	ESTRUCTURA PARABOLICA
Fabricacion de columnas	159,606.33	159,178.21
Fabricacion de vigas	207,992.37	195,229.93
Fabricacion de correas	151,461.92	80,321.98
Fabricacion de templadores	14,530.22	9,900.17
Montaje de columnas	48,845.91	57,547.60
Montaje de vigas	66,496.69	76,941.12
Montaje de correas	38,372.46	35,508.51
Montaje de templadores	4,082.88	2,781.87
Suministro de cobertura de 0.4 mm	134,542.43	142,248.90
Obras preliminares, temporales e inspecciones de soldadura	36,043.05	37,443.05
<b>TOTAL</b>	<b>861,974.25</b>	<b>797,101.34</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.10**

*Tabla comparativa de cantidad de galones de pintura y solvente*

ITEM	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA		ESTRUCTURA PARABOLICA	
	PINTURA (gal)	SOLVENTE (gal)	PINTURA (gal)	SOLVENTE (gal)
Columnas	51.58	12.89	57.86	14.47
Vigas	67.00	16.75	57.75	14.44
Correas	60.34	15.08	27.38	6.84
Templadores	4.88	1.22	3.33	0.83
<b>TOTAL</b>	<b>184</b>	<b>46</b>	<b>146</b>	<b>37</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.11**

*Tabla comparativa de precios unitarios de fabricación y montaje*

ITEM	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA		ESTRUCTURA PARABOLICA	
	FABRICACION (S./kg)	MONTAJE (S./kg)	FABRICACION (S./kg)	MONTAJE (S./kg)
Columnas	7.86	2.407	8.788	3.177
Vigas	7.861	2.513	8.511	3.354
Correas	7.481	1.895	10.108	4.469
Templadores	8.183	2.299	8.183	2.299
ITEM	SUMINISTRO (S./m2)			
Cobertura de 0.4 mm	65.72			

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.12**

*Tabla comparativa de horas hombres y horas maquina totales*

ITEM	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA		ESTRUCTURA PARABOLICA	
	HORAS HOMBRE (hh)	HORAS MAQUINA (hm)	HORAS HOMBRE (hh)	HORAS MAQUINA (hm)
Obras preliminares y temporales	193.60	184.00	193.60	184.00
Fabricacion de columnas	1,352.94	1,093.63	1,811.29	1,388.66
Fabricacion de vigas	1,763.97	1,425.88	2,293.84	1,758.61
Fabricacion de correas	1,349.68	1,414.99	1,444.80	1,464.41
Fabricacion de templadores	177.56	343.67	120.98	234.16
Montaje de columnas	811.77	659.56	1,207.53	679.23
Montaje de vigas	1,058.38	1,356.05	1,529.23	1,577.02
Montaje de correas	809.81	1,234.46	1,059.52	484.54
Montaje de templadores	118.37	108.27	80.65	73.77
Suministro de cobertura de 0.4 mm	1,186.07	1,116.30	1,253.84	1,180.08
<b>TOTAL</b>	<b>8,822.15</b>	<b>8,936.80</b>	<b>10,995.28</b>	<b>9,024.48</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.13**

*Tabla comparativa de costos totales de cada proyecto*

ITEM	COSTOS TOTALES (S/.)	
	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA	ESTRUCTURA PARABOLICA
Costo total directo	861,974.26	797,101.34
Costo total indirecto	340,479.83	314,855.03
IGV	216,441.74	200,152.15
<b>TOTAL</b>	<b>1,418,895.83</b>	<b>1,312,108.52</b>

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

**Tabla 5.14**

*Tabla comparativa de resultados de análisis y diseño estructural*

ITEM	RESULTADOS ESTRUCTURALES	
	ESTRUCTURA DE ALMA LLENA	ESTRUCTURA PARABOLICA
Flecha máxima por carga viva	55.32 mm	31.28 mm
Maximo desplazamiento lateral por sismo en X	30 mm	19 mm
Maximo desplazamiento lateral por sismo en Y	64.8 mm	43.38 mm
Deriva inelástica en X	0.0103 mm/mm	0.0053 mm/mm
Deriva inelástica en Y	0.019 mm/mm	0.0112 mm/mm
Ratio de diseño de miembro más crítico	Columna con 0.9479	Brida de viga con 0.912
Periodo de estructura	1.72 s	1.079 s

*Fuente.* Fuente propia, 2023.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Se determinó cual es la estructura metálica que ofrece menores costos y menores tiempos de fabricación y montaje entre un modelo tipo parabólico y uno de alma llena de sección variable para la cobertura de un área de 2000 m<sup>2</sup> para los hornos de una ladrillera; siendo la estructura parabólica la que representa un menor costo total de S/. 1,312,108.52, sin embargo, la estructura de alma llena de sección variable es la que representa menores tiempos para actividades de construcción y montaje tal como se puede ver en el apartado 5.9.

Se explicaron los conceptos para la comprensión del diseño estructural de miembros de acero según el análisis de la AISC 360 con la metodología LRFD; siendo el comportamiento final de ambas estructuras propuestas, la más indicada para mantener su adecuada integridad en servicio.

Se identificaron los parámetros iniciales necesarios para la definición de cargas y pre dimensionamiento de las estructuras; de modo que se realizó el levantamiento de información en base a planos arquitectónicos del horno y ubicación del proyecto para asimismo definir una luz de 20.83 m, un ancho de 96 m y una altura de columnas de 8 m, además, se obtuvo una velocidad de viento de 90 km/h entre otros patrones de carga detallados en el apartado 4.4, también en base a criterios de pre-dimensionamiento detallados en el apartado 4.3 se definió una altura geométrica de cumbrera de 1.8 m para la estructura de alma llena de sección variable y una flecha de 3.5 m para la estructura parabólica.

Se realizó el diseño estructural optimizado de las estructuras metálicas según la metodología LRFD usando softwares computacionales; siendo el ratio de diseño más crítico para la estructura de alma llena y parabólica de 0.9479 y 0.912 respectivamente, asimismo se cumplieron con todas las verificaciones exigidas por las normativas nacionales detalladas en el apartado 4.7.

Se analizaron los metrados y presupuestos de las estructuras para realizar su comparación; de modo que según el análisis de precios unitarios efectuado en el apartado 5.7, la estructura de alma llena de sección variable resulta ser la más pesada y costosa con un costo y peso total de S/. 1,418,895.83 y 68,774.5 kg respectivamente.

## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda un control y planificación de las actividades de la estructura parabólica y alma llena caso se desee tiempos totales para la culminación de cada proyecto, esto serviría para la ejecución de cada uno, y asimismo como base para reajustes de presupuestos.

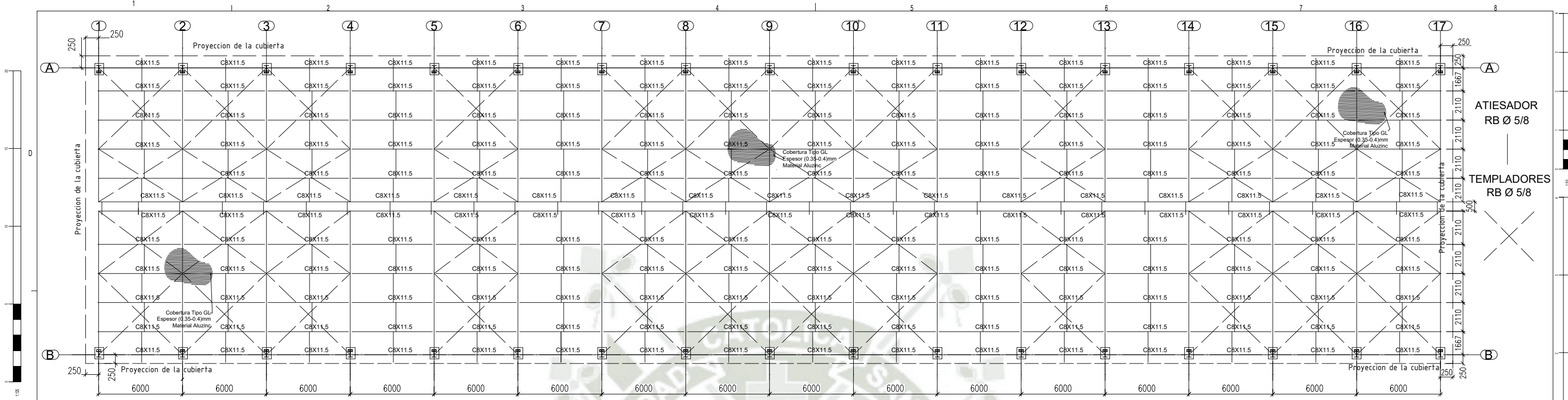
Los rendimientos usados para los presupuestos de esta tesis son valores referenciales extraídos de bibliografía nacional, se sugiere que estos rendimientos sean tomados como base para que asimismo cada empresa desarrolle sus propios rendimientos tendiendo siempre a la mejora de estos.

Los softwares computacionales empleados en esta tesis son certificados y reconocidos mundialmente para su correspondiente aplicación, sin embargo, se recomienda siempre contrastar los resultados computacionales con cálculos analíticos para una validación final de estos y evitar incongruencias causadas por uso erróneo de estas herramientas computacionales.

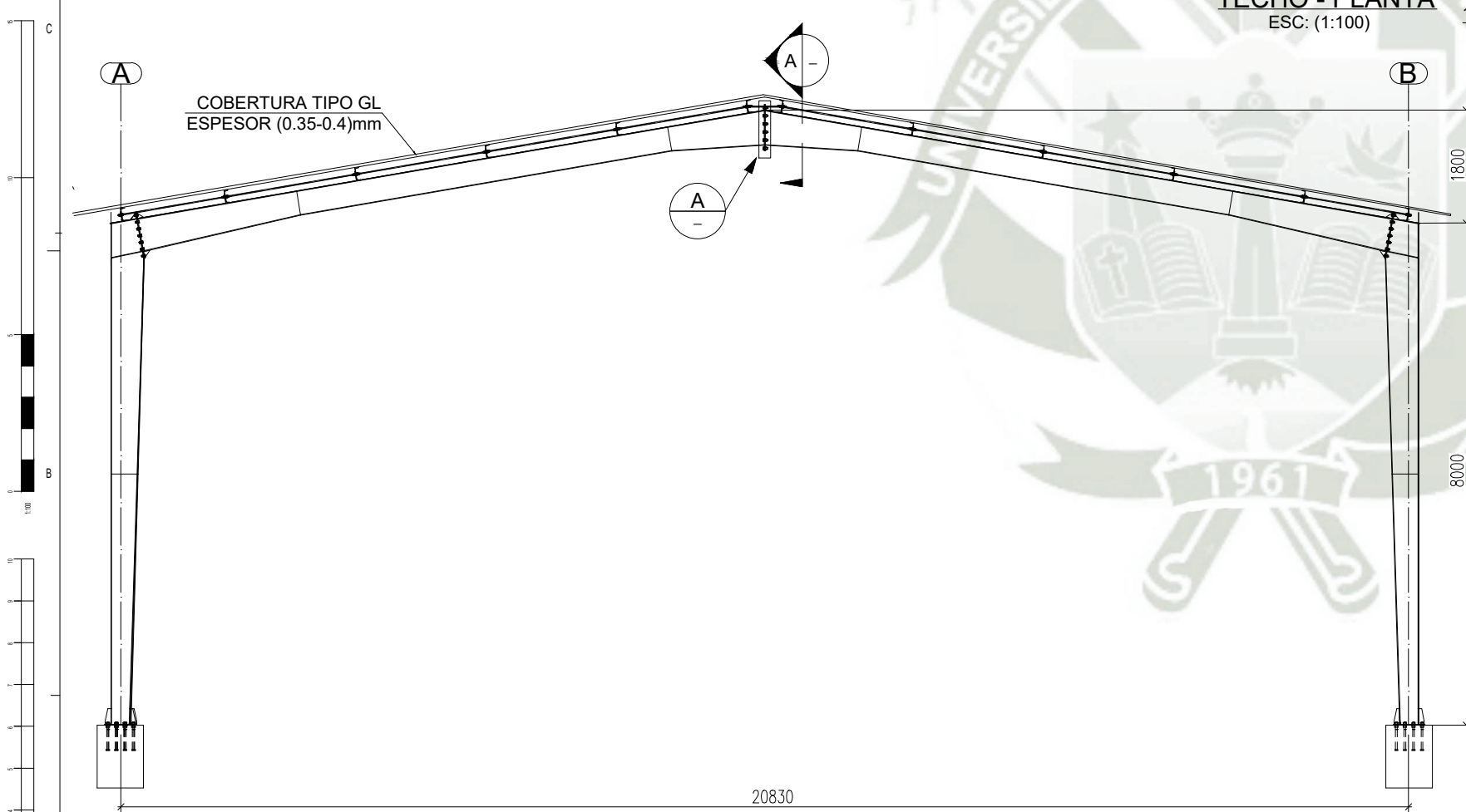
Los costos de materiales y equipos usados en esta tesis son referenciales a los que existen en el mercado nacional, sin embargo, se recomienda que cada empresa realice una continua cotización de estos costos para mejores reajustes en los presupuestos.

## PLANOS GENERALES DE ESTRUCTURAS



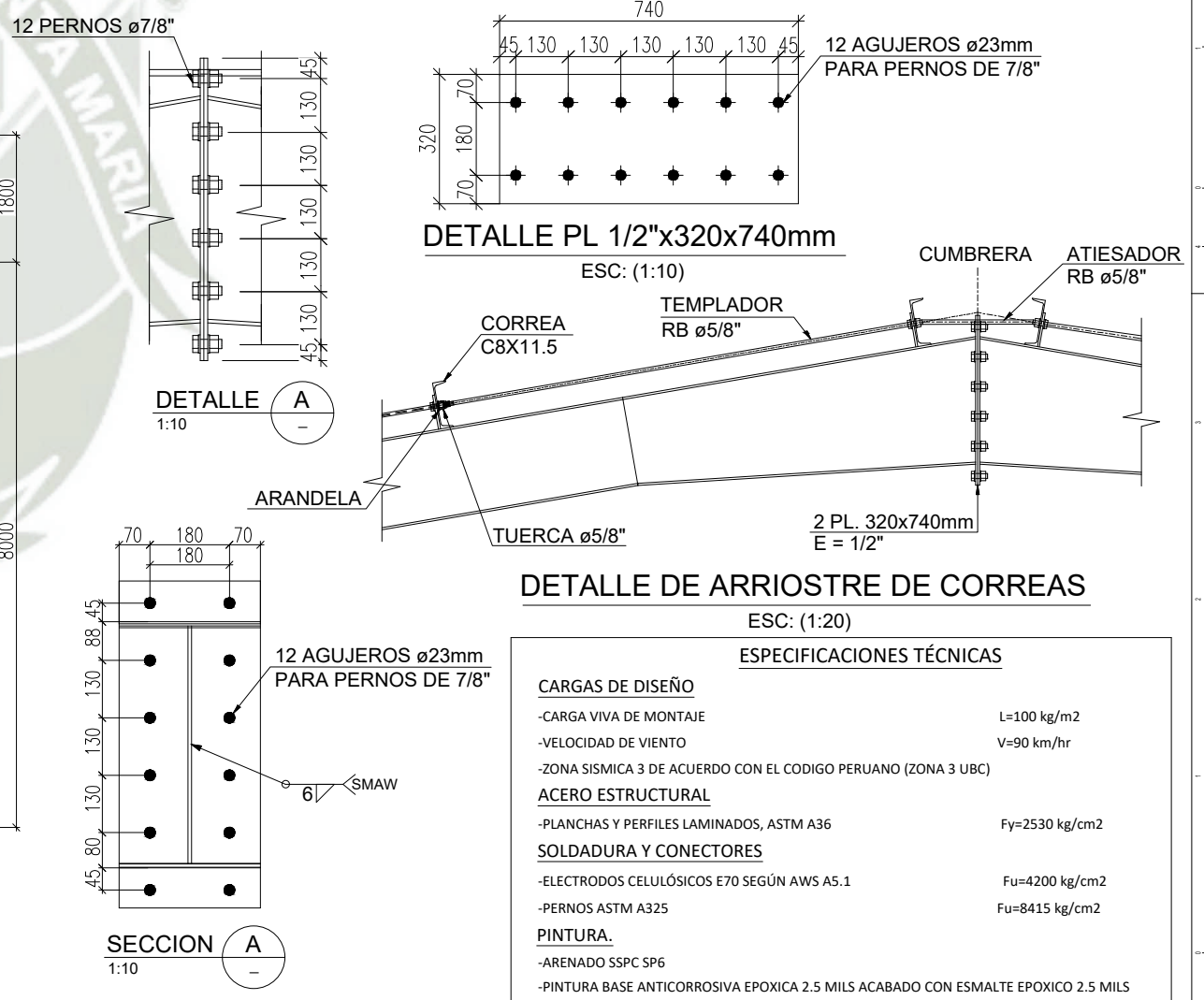


**TECHO - PLANTA**  
ESC: (1:100)



**ELEVACION EJE 1**  
ESC: (1:50)

**NOTAS:**  
1. Todas las dimensiones están en milímetros.



**DETALLE DE ARRIOSTRE DE CORREAS**  
ESC: (1:20)

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

CARGAS DE DISEÑO	
-CARGA VIVA DE MONTAJE	L=100 kg/m <sup>2</sup>
-VELOCIDAD DE VIENTO	V=90 km/hr
-ZONA SISMICA 3 DE ACUERDO CON EL CODIGO PERUANO (ZONA 3 UBC)	
ACERO ESTRUCTURAL	
-PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36	F <sub>y</sub> =2530 kg/cm <sup>2</sup>
SOLDADURA Y CONECTORES	
-ELECTRODOS CELULÓSICOS E70 SEGÚN AWS A5.1	F <sub>u</sub> =4200 kg/cm <sup>2</sup>
-PERNOS ASTM A325	F <sub>u</sub> =8415 kg/cm <sup>2</sup>
PINTURA	
-ARENADO SSPC SP6	
-PINTURA BASE ANTICORROSIVA EPOXICA 2.5 MILS ACABADO CON ESMALTE EPOXICO 2.5 MILS	

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			P.M.		-	-					
			R.T.		-	-					
					-	-					

**E.P. INGENIERIA MECANICA,  
MECANICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA**

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
FILENET/ --

**APROBADO**

DISENADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahuja	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahuja	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -

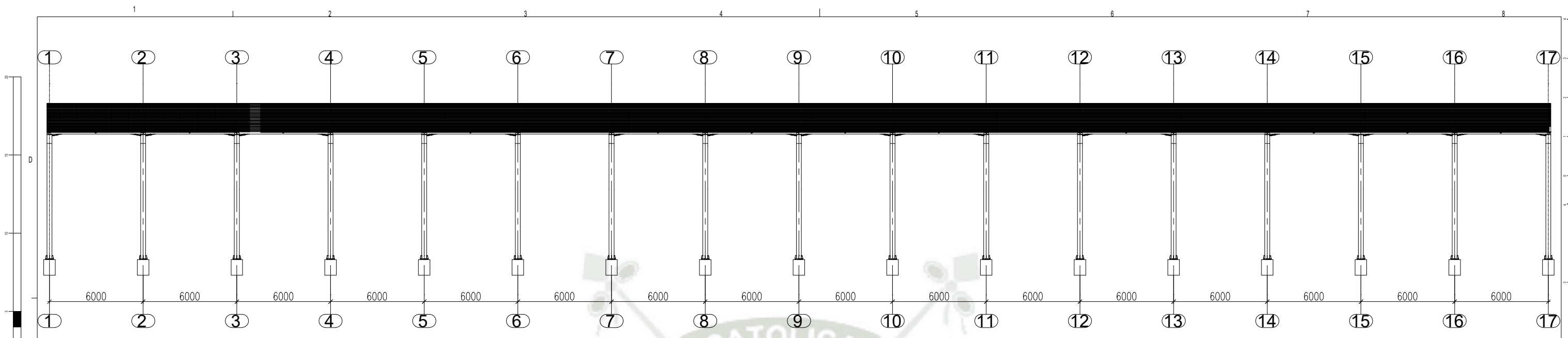
PLANO

ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
SECCIONES Y DETALLES DE TENSORES Y CUMBRERA

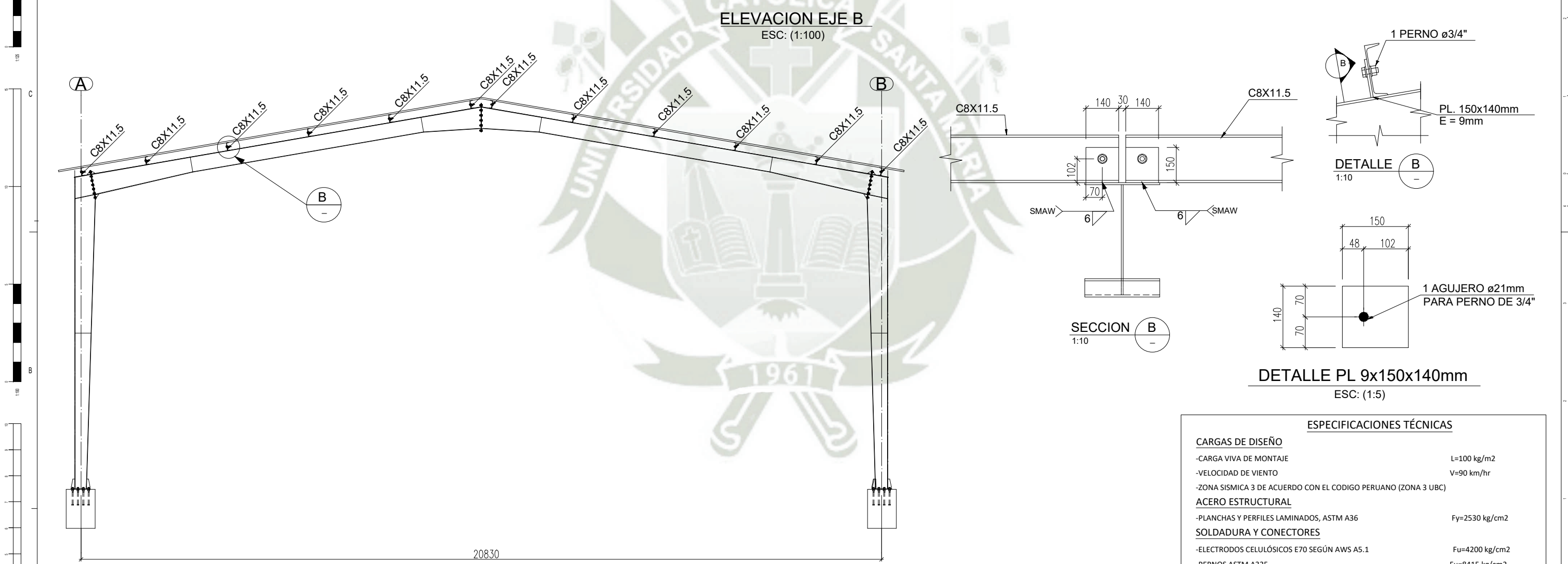
ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-01

**Universidad Católica  
de Santa María**

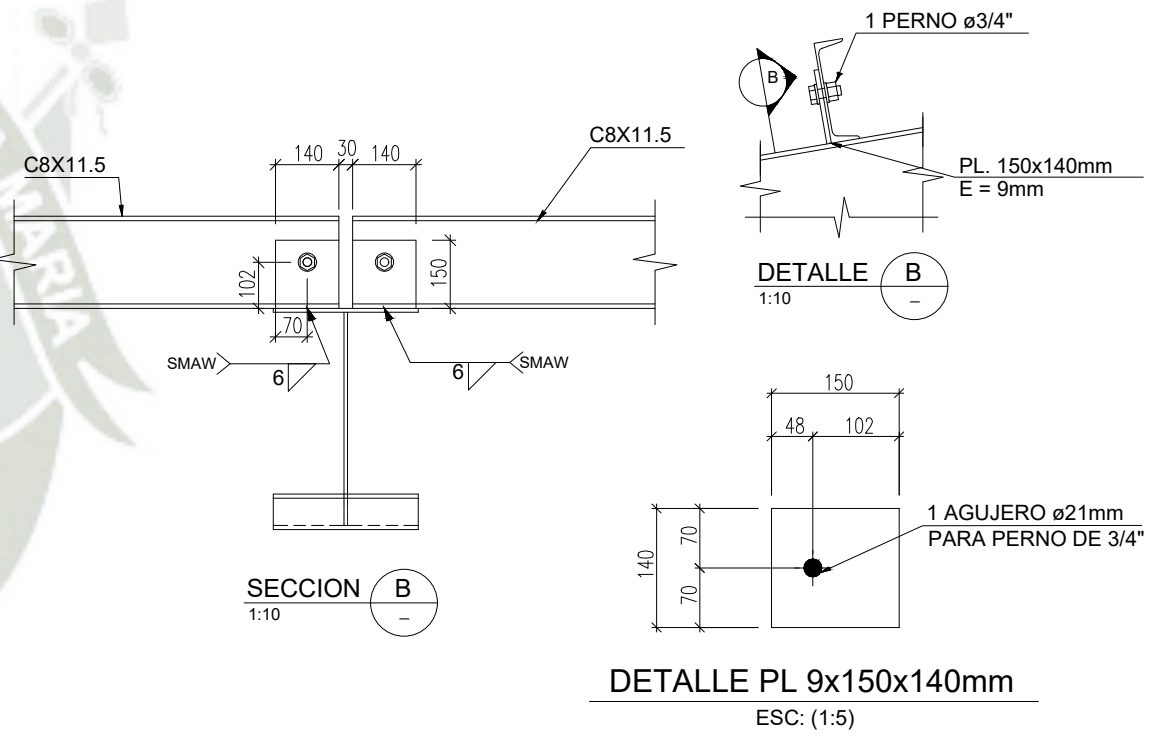


**ELEVACION EJE B**  
ESC: (1:100)



**ELEVACION EJE 1**  
ESC: (1:50)

**NOTAS:**  
1. Todas las dimensiones están en milímetros.



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
<b>CARGAS DE DISEÑO</b>	
-CARGA VIVA DE MONTAJE	L=100 kg/m <sup>2</sup>
-VELOCIDAD DE VIENTO	V=90 km/hr
-ZONA SISMICA 3 DE ACUERDO CON EL CODIGO PERUANO (ZONA 3 UBC)	
<b>ACERO ESTRUCTURAL</b>	
-PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36	Fy=2530 kg/cm <sup>2</sup>
<b>SOLDADURA Y CONECTORES</b>	
-ELECTRODOS CELULÓSICOS E70 SEGÚN AWS A5.1	Fu=4200 kg/cm <sup>2</sup>
-PERNOS ASTM A325	Fu=8415 kg/cm <sup>2</sup>
<b>PINTURA.</b>	
-ARENADO SSPC SP6	
-PINTURA BASE ANTICORROSIVA EPOXICA 2.5 MILS ACABADO CON ESMALTE EPOXICO 2.5 MILS	

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NÚMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			P.M.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-

**M**  
E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
DISEÑADO POR: --  
REVISADO POR: --  
PLENET/

APROBADO	
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -

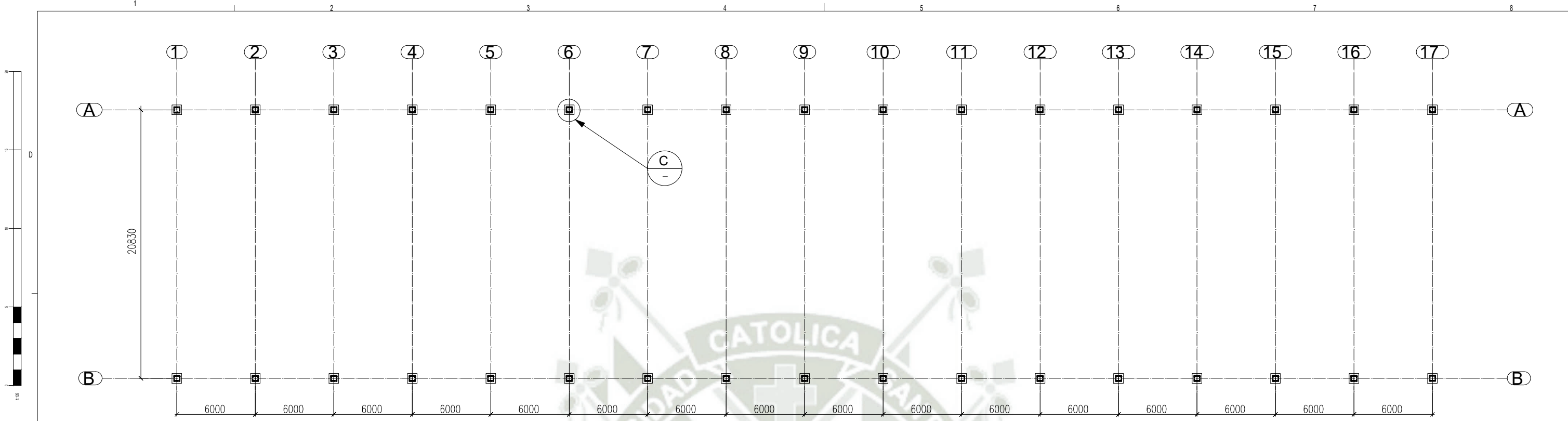
**Universidad Católica de Santa María**

PLANO  
ESTRUCTURAS METÁLICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
SECCIONES Y DETALLES DE CORREAS

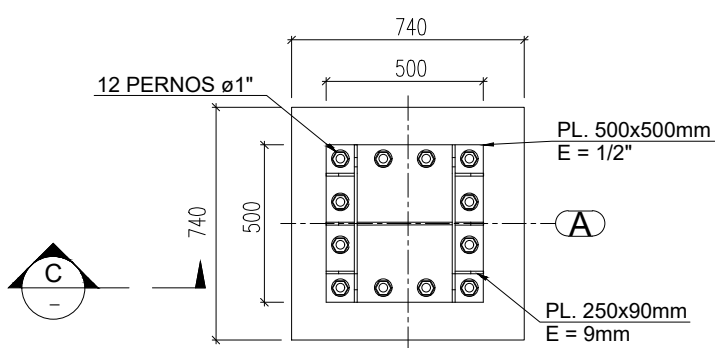
ESCALA:  
INDICADA

NÚMERO DE PLANO:  
A3-02

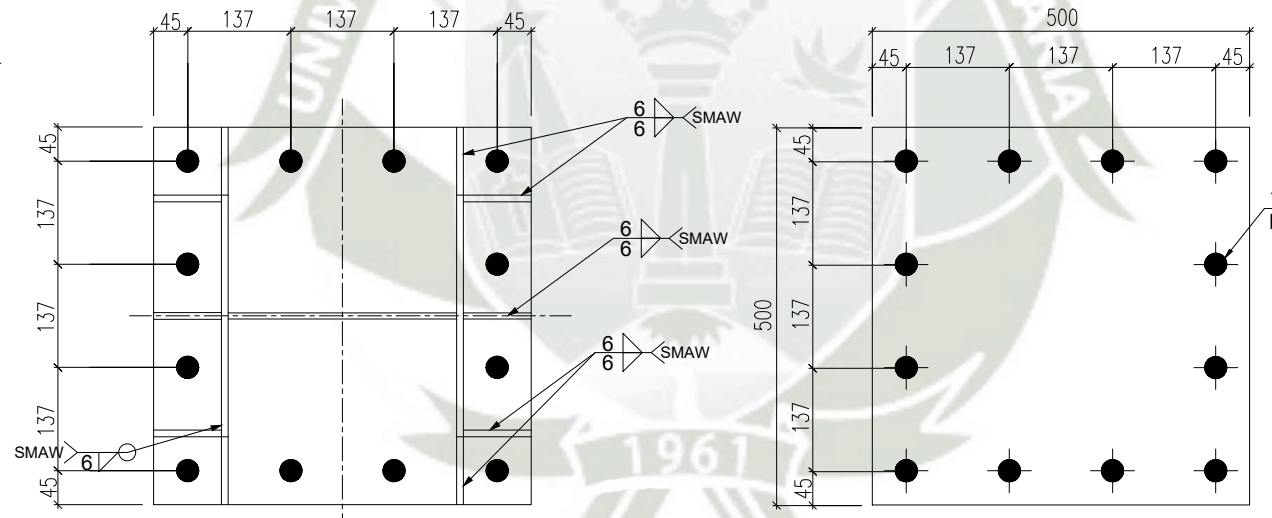
REV: 1



VISTA DE PLANTA  
ESC: (1:100)

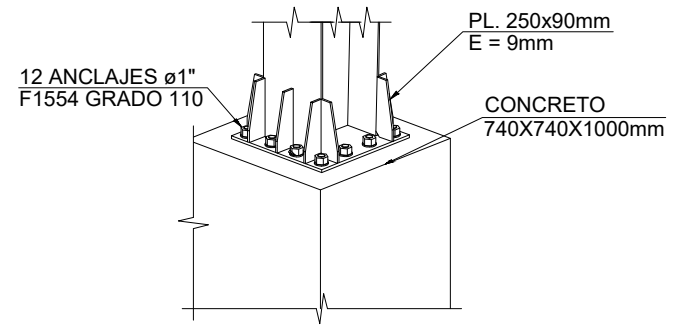


DETALLE C  
1:10

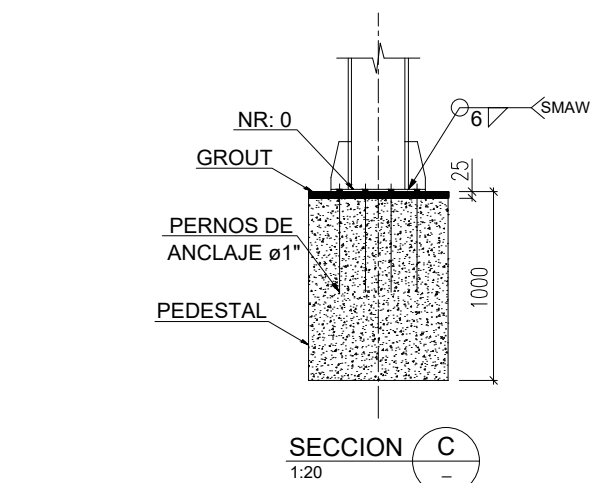


DETALLE DE PLACA BASE  
ESC: (1:5)

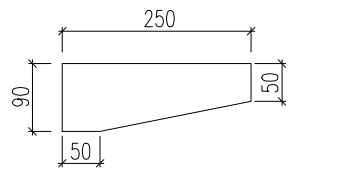
DETALLE PL 1/2"x500x500mm  
ESC: (1:5)



DETALLE ISOMETRICO DE PLACA BASE  
ESC: (1:20)



SECCION C  
1:20



DETALLE PL 9x250x90mm  
ESC: (1:5)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

<b>CARGAS DE DISEÑO</b>		
-CARGA VIVA DE MONTAJE		L=100 kg/m <sup>2</sup>
-VELOCIDAD DE VIENTO		V=90 km/hr
-ZONA SISMICA 3 DE ACUERDO CON EL CODIGO PERUANO (ZONA 3 UBC)		
<b>ACERO ESTRUCTURAL</b>		
-PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36		Fy=2530 kg/cm <sup>2</sup>
<b>SOLDADURA Y CONECTORES</b>		
-ELECTRODOS CELULÓSICOS E70 SEGÚN AWS A5.1		Fu=4200 kg/cm <sup>2</sup>
<b>PINTURA</b>		
-ARENADO SSPC SP6		
-PINTURA BASE ANTICORROSIVA EPOXICA 2.5 MILS ACABADO CON ESMALTE EPOXICO 2.5 MILS		
<b>ANCLAJES</b>		
-ANCLAJES F1554 GRADO 110		
<b>CONCRETO</b>		
-BLOQUE DE CIMENTACION		Fc=210 kg/cm <sup>2</sup>

NOTAS:  
1. Todas las dimensiones están en milímetros.

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			P.M.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-

**M**  
E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
PLENEO: --

APROBADO	
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -

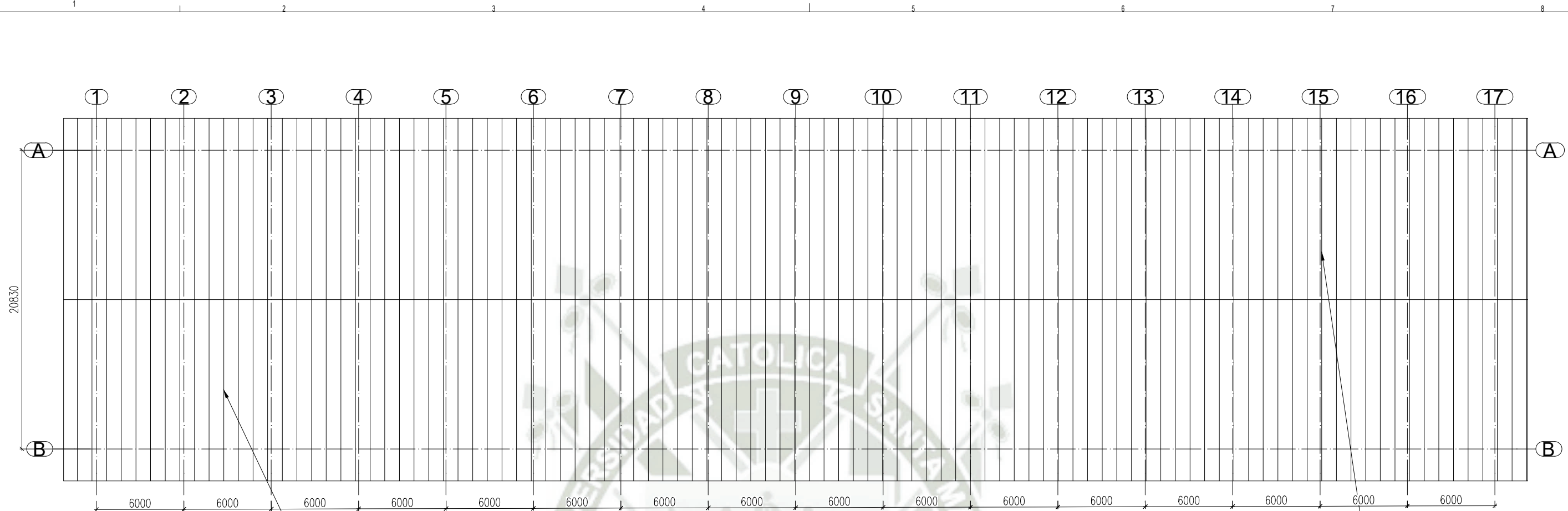
**Universidad Católica de Santa María**

PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
SECCIONES Y DETALLES DE PLACA BASE

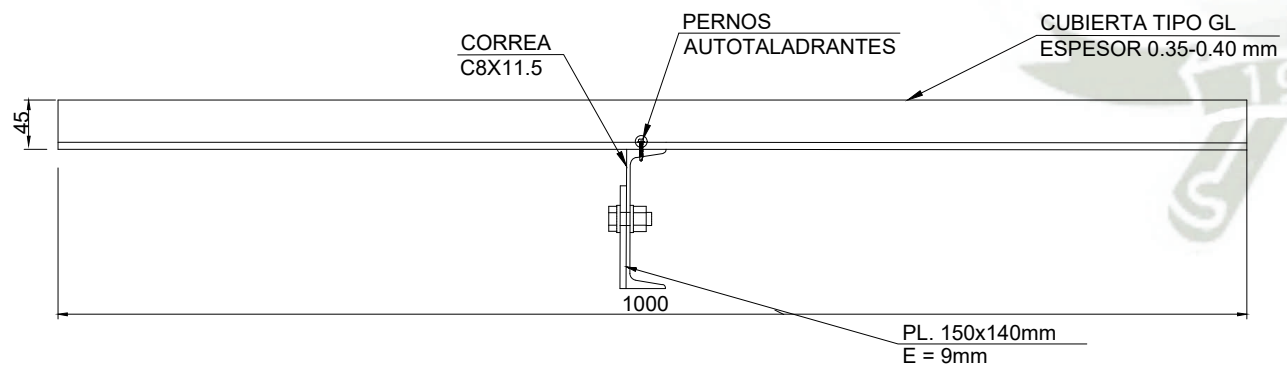
ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-03

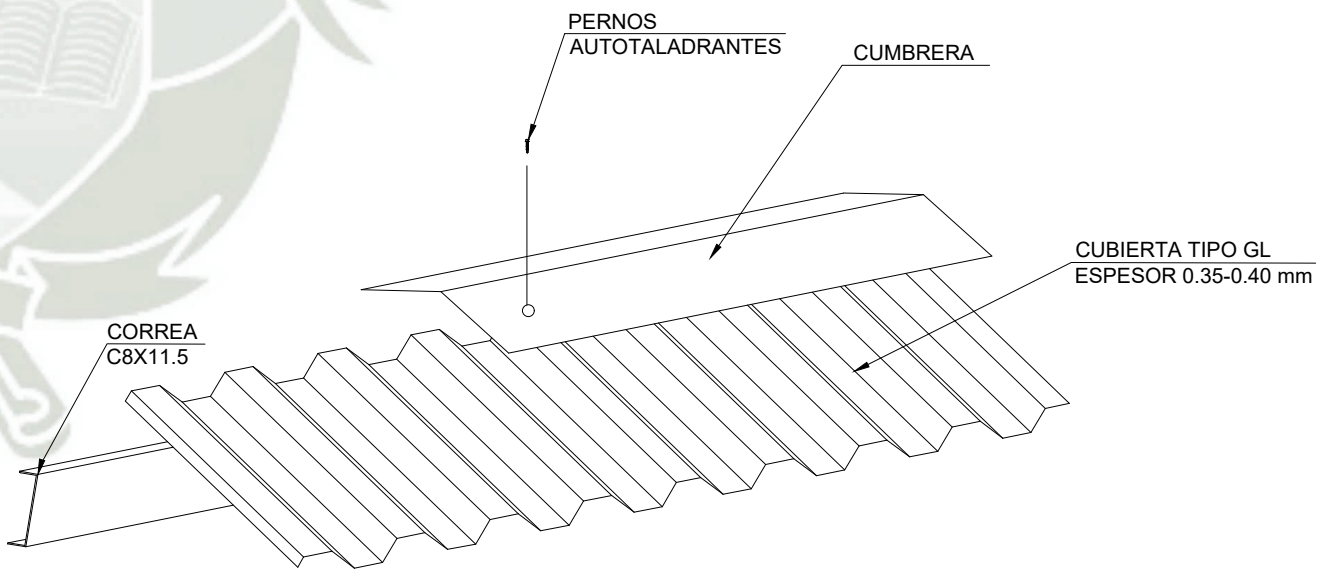
REV. 1



**PLANTA DE TECHOS**  
ESC: (1:100)



**DETALLE CORREA-CUBIERTA**  
ESC: (1:10)



**DETALLE DE CUMBRERA**  
ESC: (1:10)

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			P.M.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			-	/	-	-		-	/	-	-
			-	/	-	-		-	/	-	-

**M**  
E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
PLENERY: --

APROBADO	
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -

**Universidad Católica de Santa María**

PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
COBERTURA

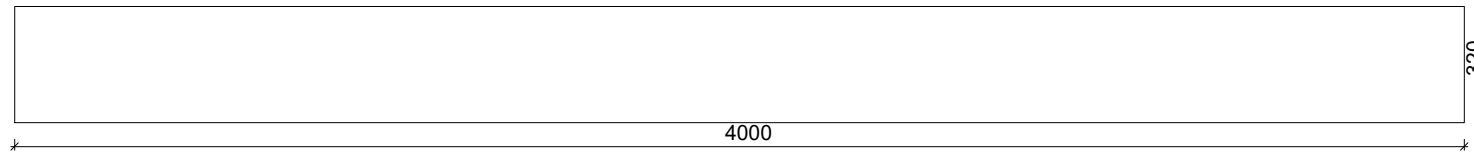
ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-04

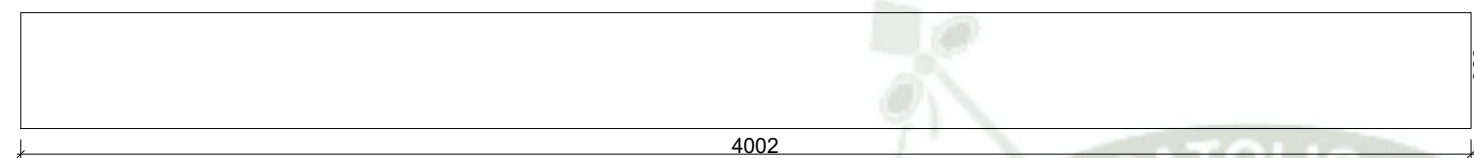
REV. 1



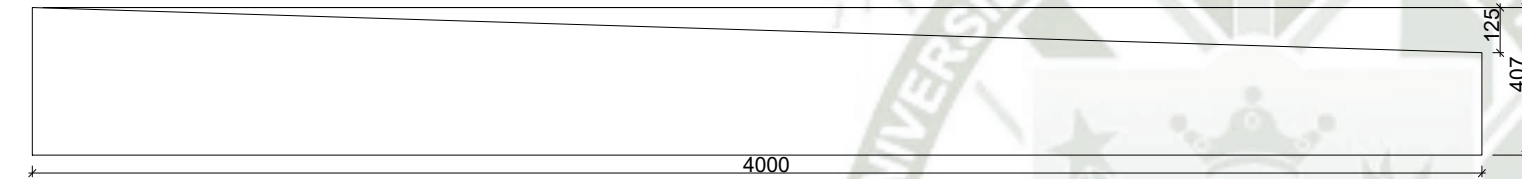
2x **PL01** PL 9x4000x320mm  
A36 - 1:10



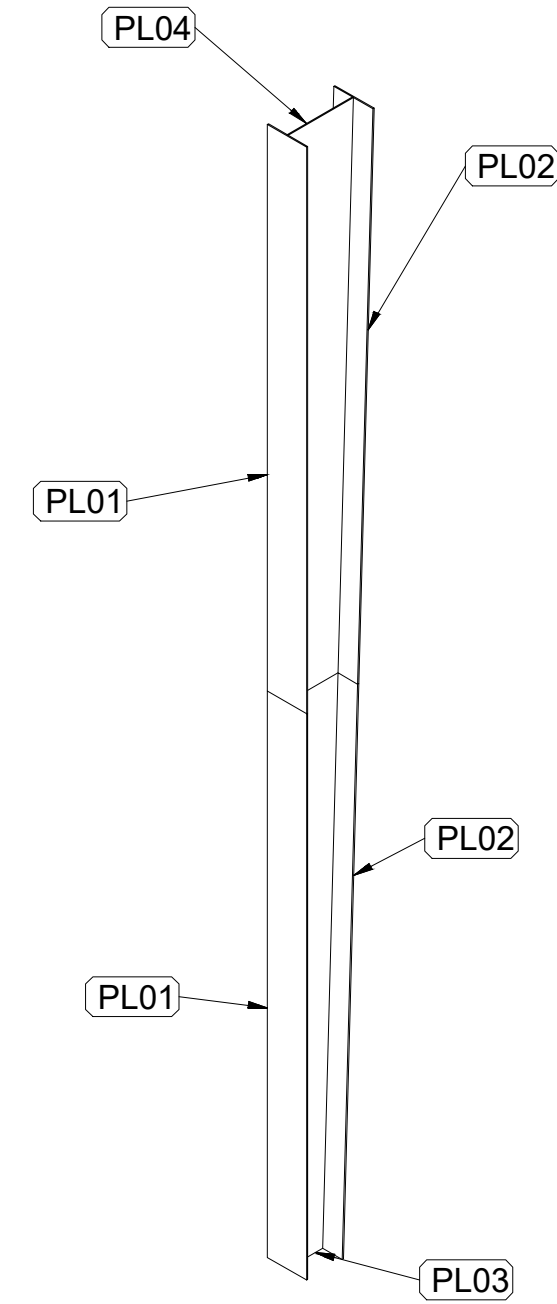
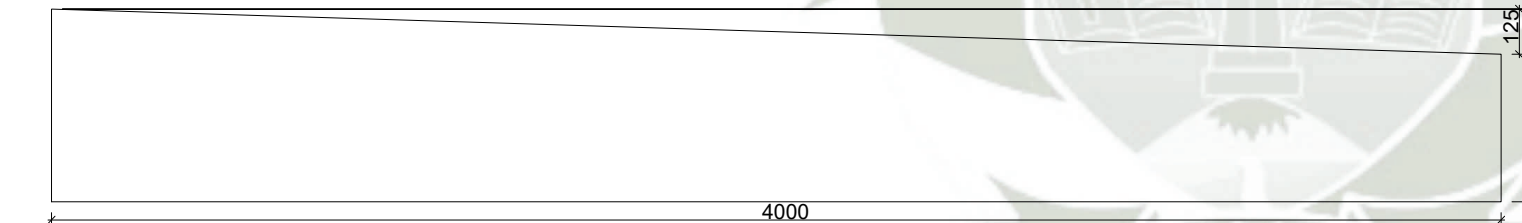
2x **PL02** PL 9x4002x320  
A36 - 1:10



1x **PL03** PL 8x4000x407  
A36 - 1:10



1x **PL04** PL 8x4000x532  
A36 - 1:10



**DETALLE DE COLUMNA**  
ESC: (1:20)

Marca	Cantidad	Nombre	Calidad	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Peso de la pieza (kg/pieza)	Total Peso (Kg)	Superficie Superficie (m2/pieza)	Total Superficie (m2)
<b>1 COLUMNA ARMADA</b>									
PL04	1	PL 8x4000x532	A36	4,000	532	117.9	117.9	3.827	3.827
PL01	2	PL 9x4000x320	A36	4,000	320	90.4	180.9	2.638	5.276
PL02	2	PL 9x4002.23x320	A36	4,002	320	90.5	181	2.639	5.278
PL03	1	PL 8x4000x407	A36	4,000	407	86.5	86.5	2.825	2.825
							566.3		17.207
							566.3		17.207

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			P.M.	/	-	-		-	/	-	-
			R.T.	/	-	-		-	/	-	-
			-	/	-	-		-	/	-	-
			-	/	-	-		-	/	-	-

E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
PLENEO: --

APROBADO	
DISENADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: --

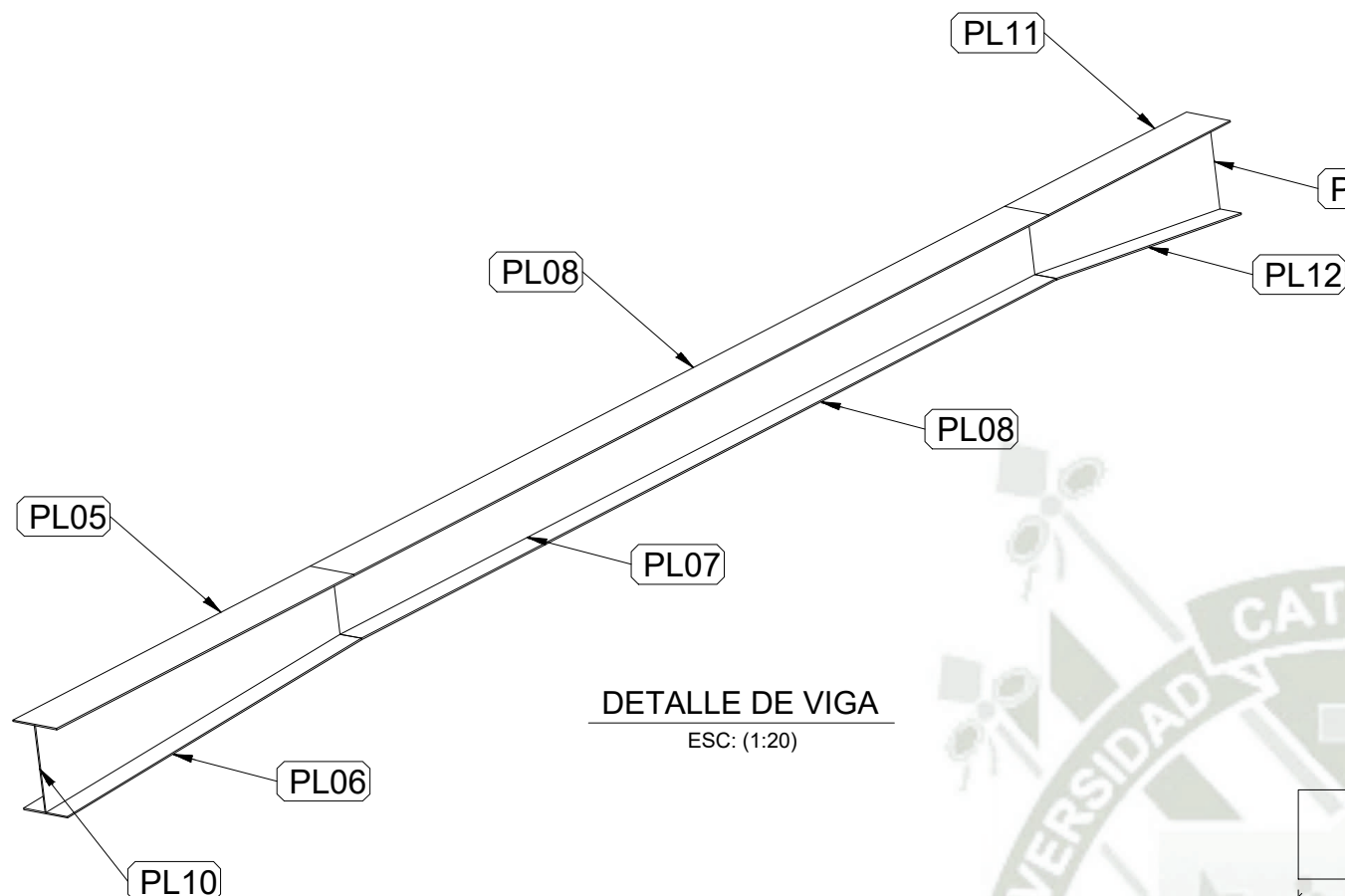
Universidad Católica  
de Santa María

PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
COLUMNA ARMADA

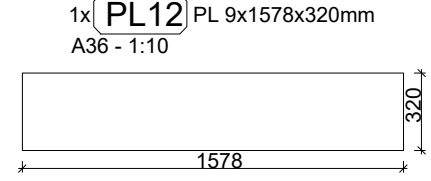
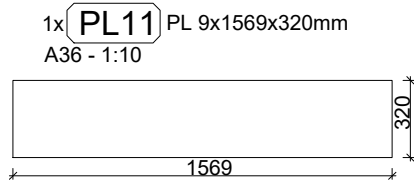
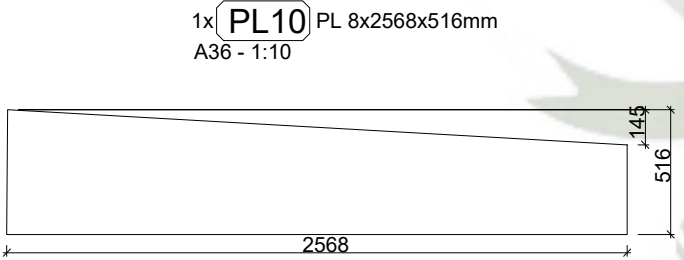
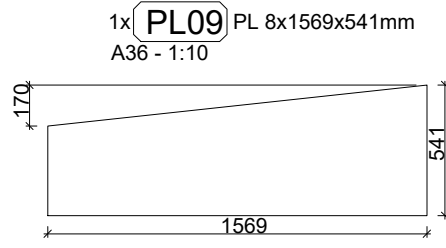
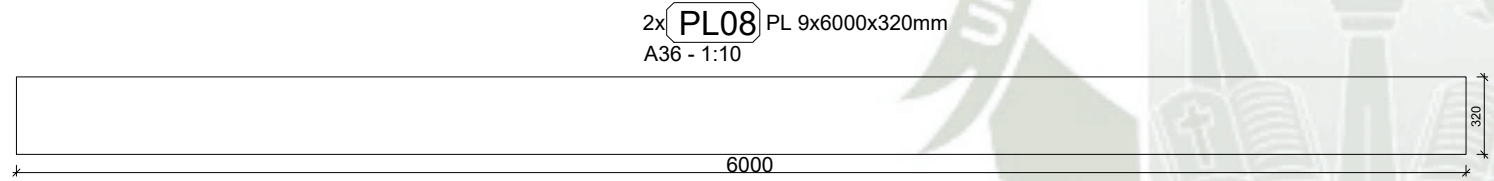
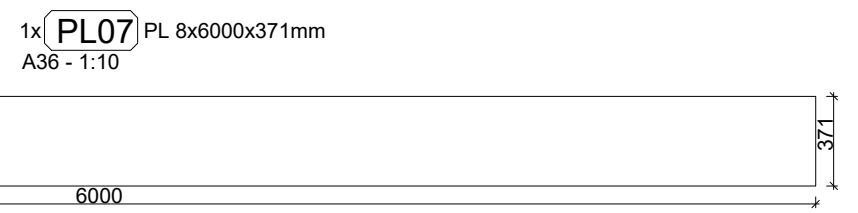
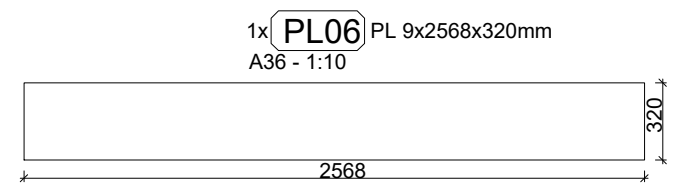
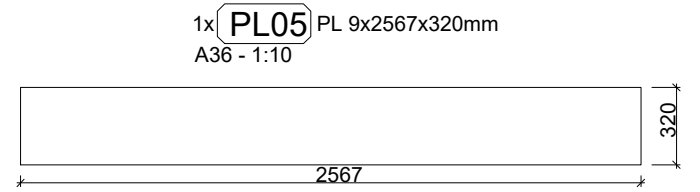
ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-06

REV. 1




**DETALLE DE VIGA**  
ESC: (1:20)



Marca	Cantidad	Nombre	Calidad	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Peso de la pieza (kg/pieza)	Total Peso (Kg)	Superficie Superficie (m2/pieza)	Total Superficie (m2)
<b>1 VIGA ARMADA</b>									
PL07	1	PL 8x6000x371	A36	6,000	371	139.8	139.8	4.554	4.554
PL08	2	PL 9x6000x320	A36	6,000	320	135.6	271.3	3.954	7.908
PL09	1	PL 8x1569.4x541	A36	1,569	541	44.9	44.9	1.464	1.464
PL10	1	PL 8x2567.55x516.3	A36	2,568	516	71.5	71.5	2.325	2.325
PL11	1	PL 9x1569.4x320	A36	1,569	320	35.5	35.5	1.038	1.038
PL12	1	PL 9x1577.61x320	A36	1,578	320	35.7	35.7	1.044	1.044
PL05	1	PL 9x2567.61x320	A36	2,568	320	58	58	1.695	1.695
PL06	1	PL 9x2568.22x320	A36	2,568	320	58.1	58.1	1.696	1.696
							<b>714.8</b>		<b>21.724</b>
							<b>714.8</b>		<b>21.724</b>

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			P.M.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-



**E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

**APROBADO**


DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON  
FECHA: 14/01/2023

DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON  
FECHA: 14/01/2023

REVISADO POR: J. Donayre Cahua  
FECHA: 14/01/2023

APROBADO POR: J. Donayre Cahua  
FECHA: 14/01/2023

JEFE DE PROYECTO: -  
FECHA: -



**Universidad Católica  
de Santa María**

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

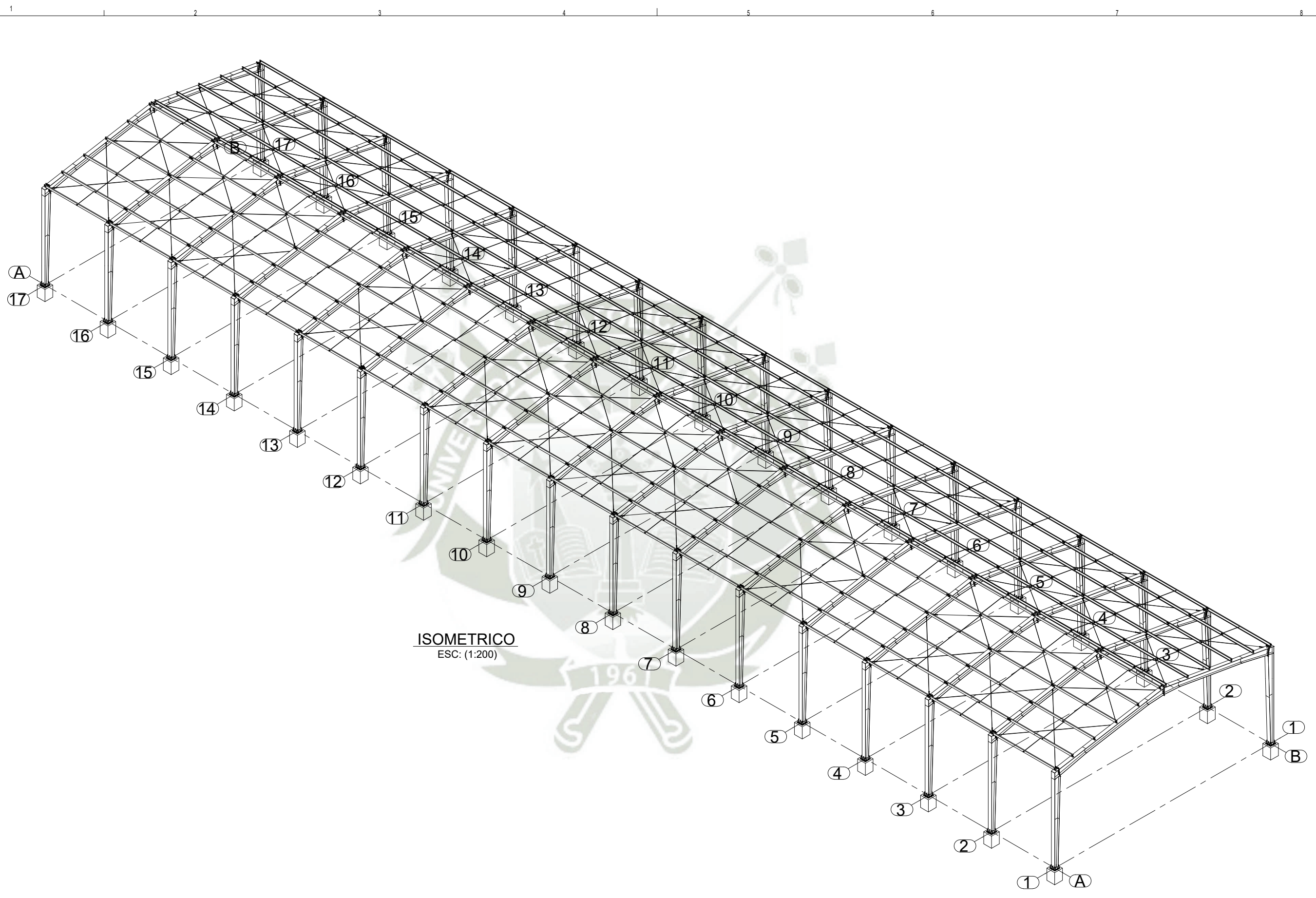
PLANO

ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
VIGA ARMADA

ESCALA: INDICADA

NUMERO DE PLANO: A3-07

REV. 1



ISOMETRICO  
ESC: (1:200)

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	-	-	-					
			R.T.	-	-	-					
			C.O.	-	-	-					
			R.T.	-	-	-					
			C.O.	-	-	-					
			R.T.	-	-	-					
			C.O.	-	-	-					
			R.T.	-	-	-					
			P.M.	-	-	-					
			R.T.	-	-	-					
			-	-	-	-					
			-	-	-	-					

E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
DISEÑADO POR: --  
REVISADO POR: --

APROBADO	
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -

Universidad Católica  
de Santa María

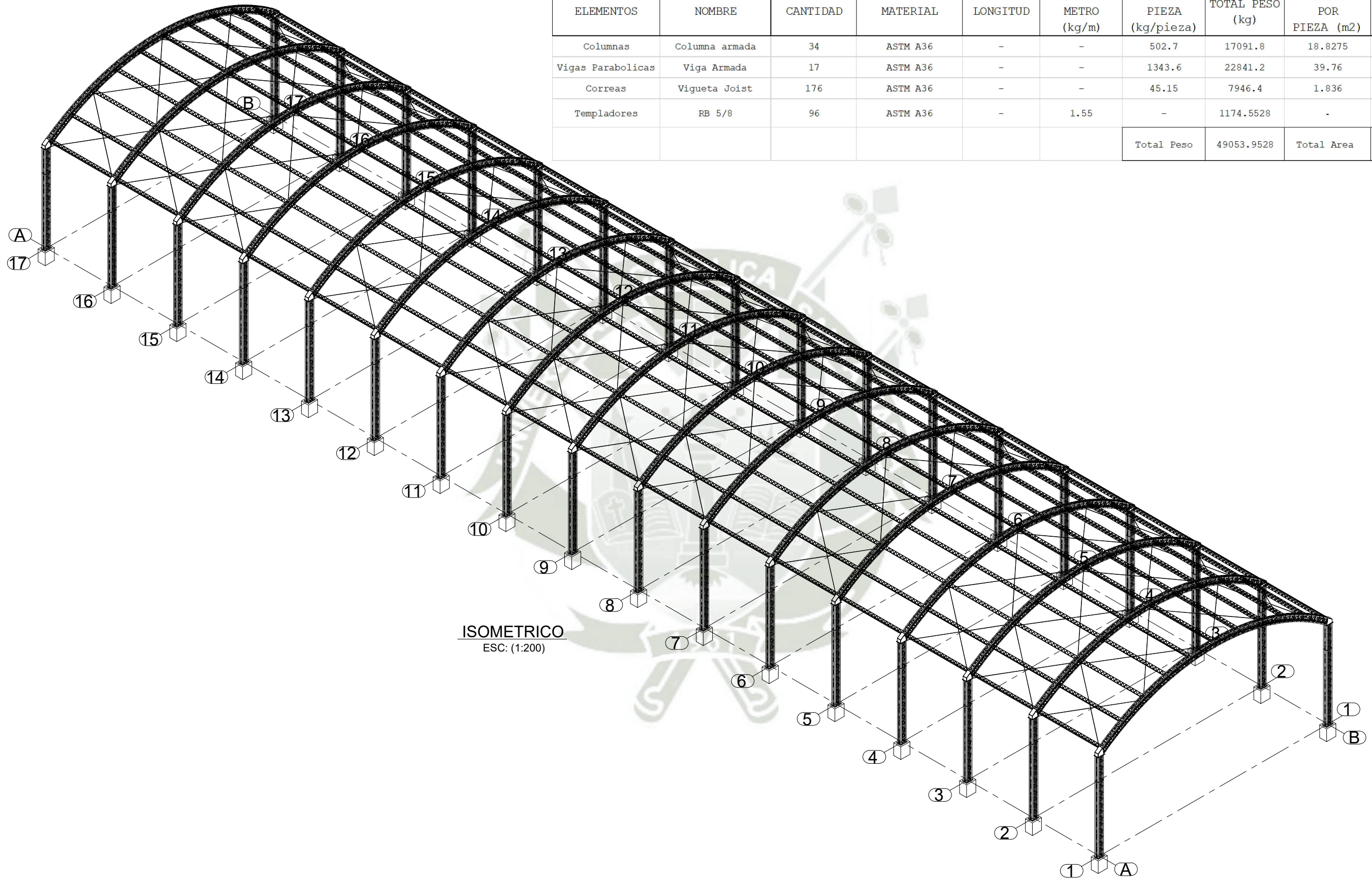
PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA DE ALMA LLENA  
ISOMETRICO GENERAL

ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-08

REV. 1

METRADO DE ESTRUCTURA									
ELEMENTOS	NOMBRE	CANTIDAD	MATERIAL	LONGITUD	PESO POR METRO (kg/m)	PESO POR PIEZA (kg/pieza)	TOTAL PESO (kg)	SUPERFICIE POR PIEZA (m2)	TOTAL SUPERFICIE (m2)
Columnas	Columna armada	34	ASTM A36	-	-	502.7	17091.8	18.8275	640.135
Vigas Parabolicas	Viga Armada	17	ASTM A36	-	-	1343.6	22841.2	39.76	675.92
Correas	Vigueta Joist	176	ASTM A36	-	-	45.15	7946.4	1.836	323.136
Templadores	RB 5/8	96	ASTM A36	-	1.55	-	1174.5528	-	38.078244
Total Peso							49053.9528	Total Area	1677.269244



ISOMETRICO  
ESC: (1:200)

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			P.M.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-



E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
DISEÑADO POR: --  
REVISADO POR: --  
JEFE DE PROYECTO: --

APROBADO	
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -



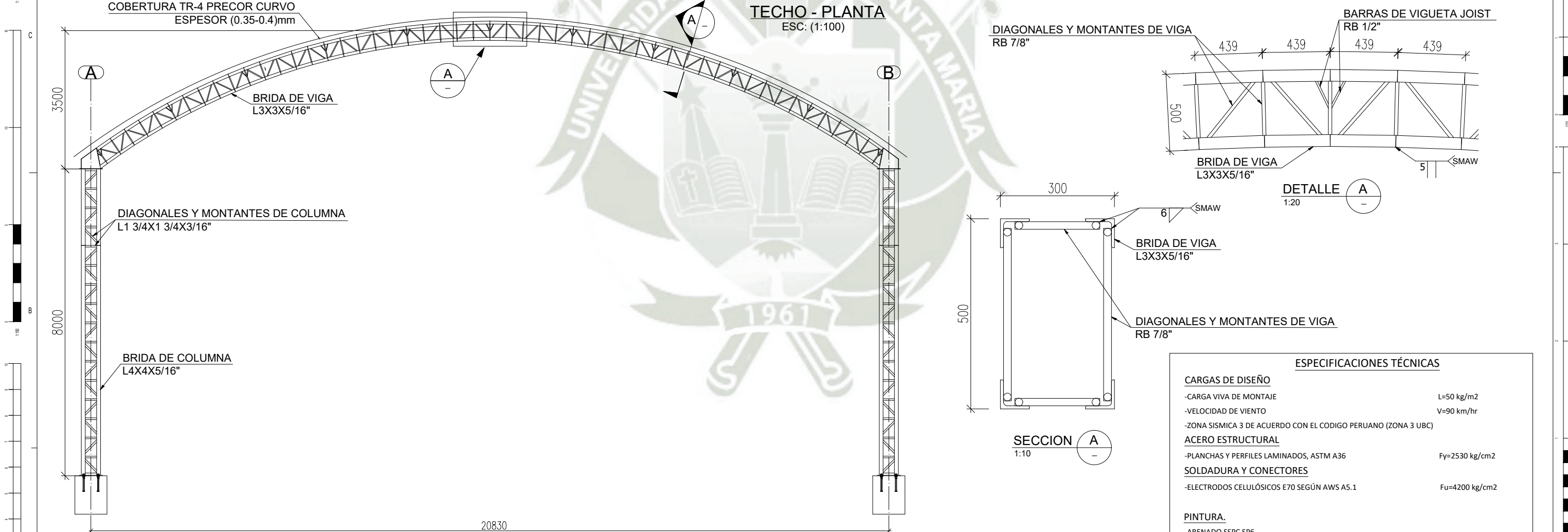
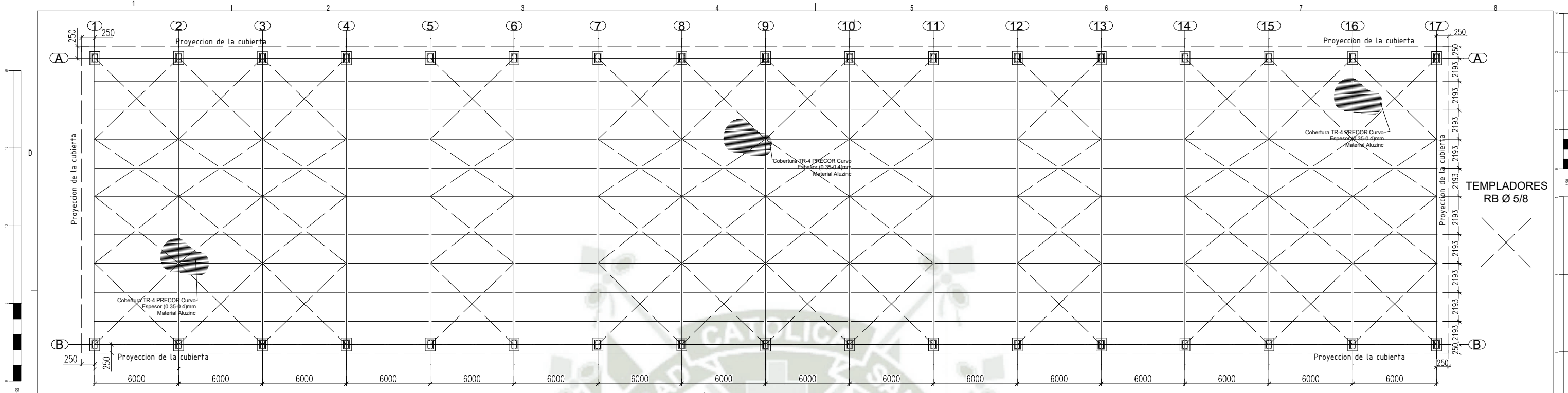
Universidad Católica  
de Santa María

PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA PARABOLICA  
ISOMETRICO GENERAL

ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-01

REV. 1



**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

<b>CARGAS DE DISEÑO</b>	
-CARGA VIVA DE MONTAJE	L=50 kg/m <sup>2</sup>
-VELOCIDAD DE VIENTO	V=90 km/hr
-ZONA SISMICA 3 DE ACUERDO CON EL CODIGO PERUANO (ZONA 3 UBC)	
<b>ACERO ESTRUCTURAL</b>	
-PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36	Fy=2530 kg/cm <sup>2</sup>
<b>SOLDADURA Y CONECTORES</b>	
-ELECTRODOS CELULÓSICOS E70 SEGÚN AWS A5.1	Fu=4200 kg/cm <sup>2</sup>
<b>PINTURA</b>	
-ARENADO SSPC SP6	
-PINTURA BASE ANTICORROSIVA EPOXICA 2.5 MILS ACABADO CON ESMALTE EPOXICO 2.5 MILS	

**NOTAS:**  
1. Todas las dimensiones están en milímetros.

**ELEVACION EJE 1**  
ESC: (1:50)

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			P.M.		-	-					
			R.T.		-	-					
					-	-					

**M**  
E.P. INGENIERÍA MECÁNICA,  
MECÁNICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

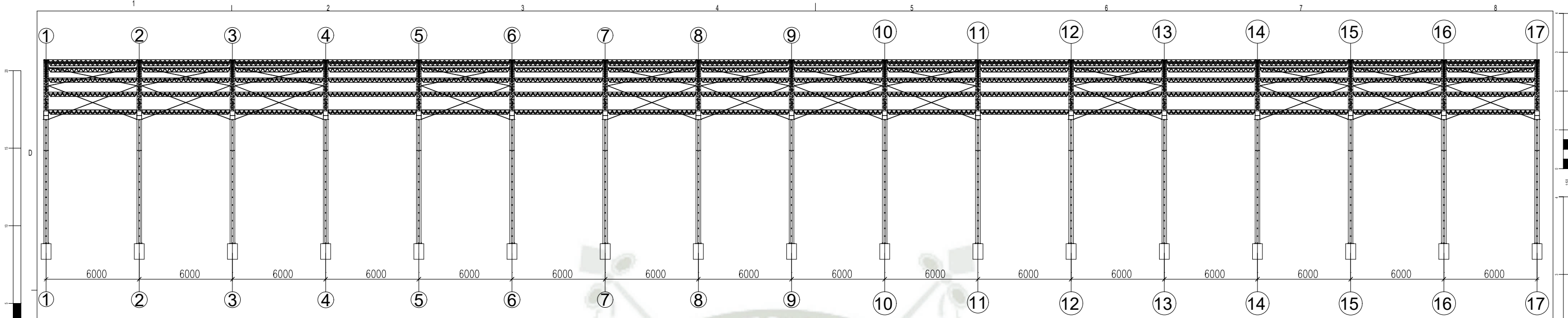
FECHA: --  
DISEÑADO POR: --  
REVISADO POR: --  
JEFE DE PROYECTO: --

APROBADO	FECHA:
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: --	FECHA: --

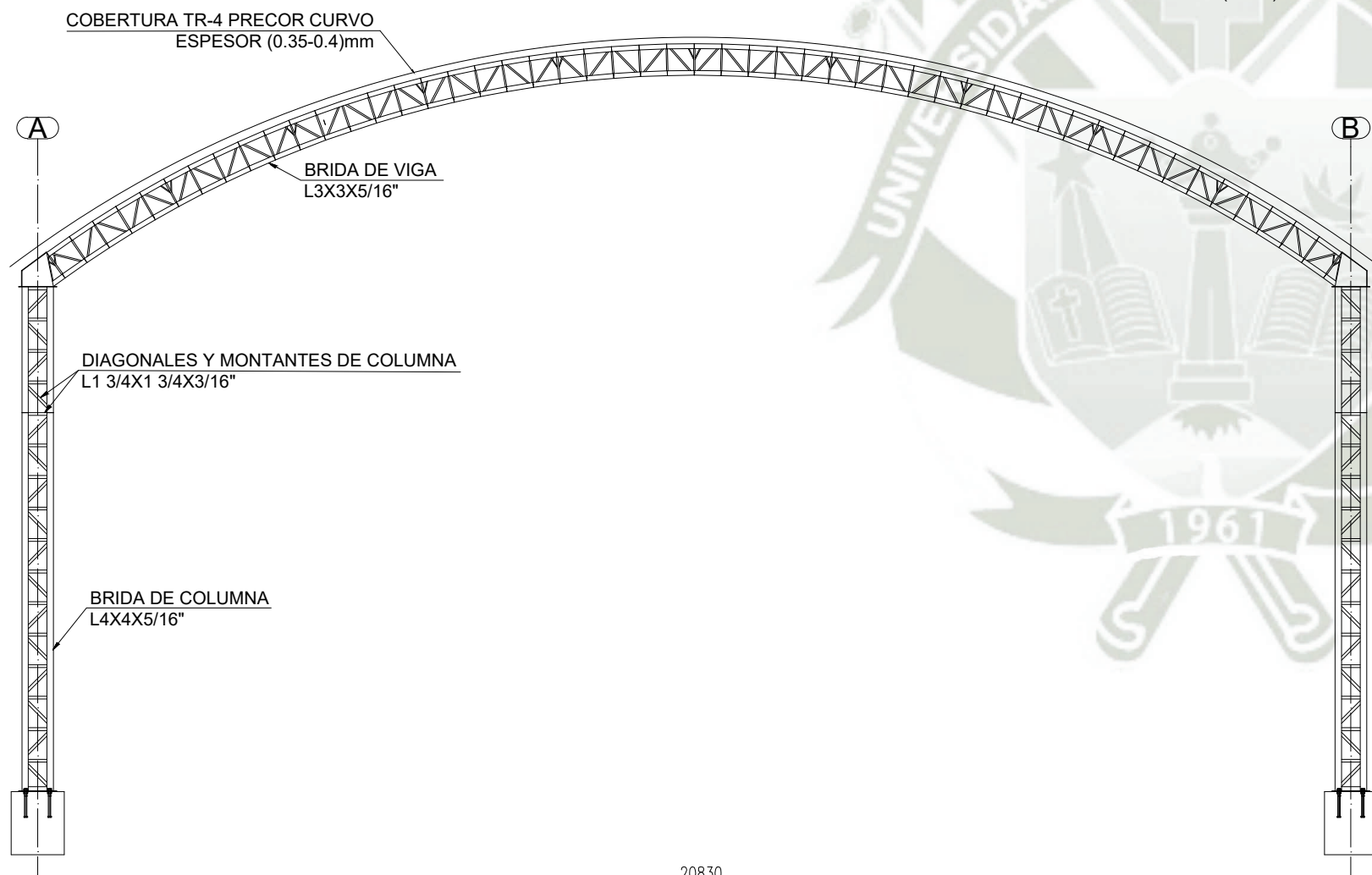
**Universidad Católica de Santa María**

PLANO: ESTRUCTURAS METÁLICAS  
ESTRUCTURA PARABOLICA  
SECCIONES Y DETALLES DE VIGAS CURVAS

ESCALA: INDICADA  
NUMERO DE PLANO: A3-02

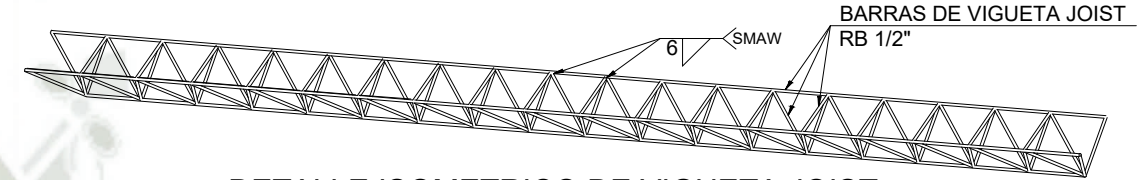


**ELEVACION EJE B**  
ESC: (1:100)

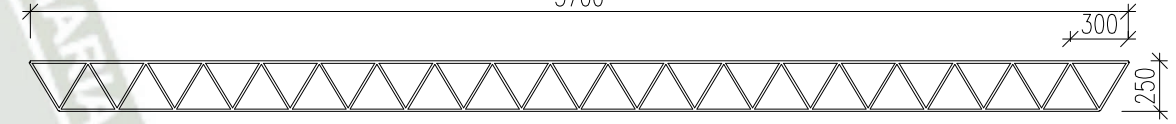


**ELEVACION EJE 1**  
ESC: (1:50)

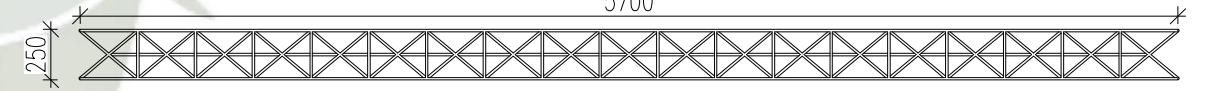
**NOTAS:**  
1. Todas las dimensiones están en milímetros.



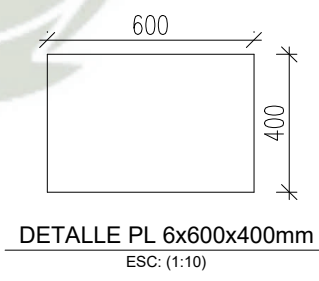
**DETALLE ISOMETRICO DE VIGUETA JOIST**  
ESC: (1:20)  
5700



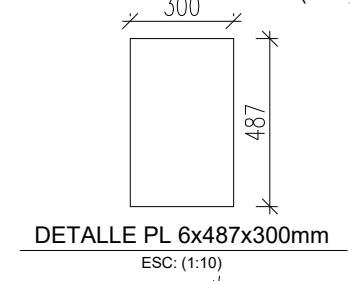
**DETALLE VISTA FRONTAL DE VIGUETA JOIST**  
ESC: (1:20)  
5700



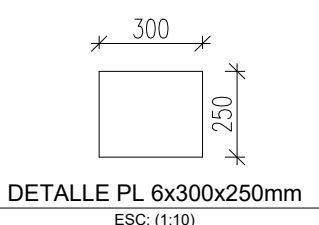
**DETALLE VISTA SUPERIOR DE VIGUETA JOIST**  
ESC: (1:20)



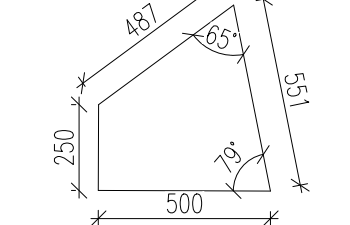
**DETALLE PL 6x600x400mm**  
ESC: (1:10)



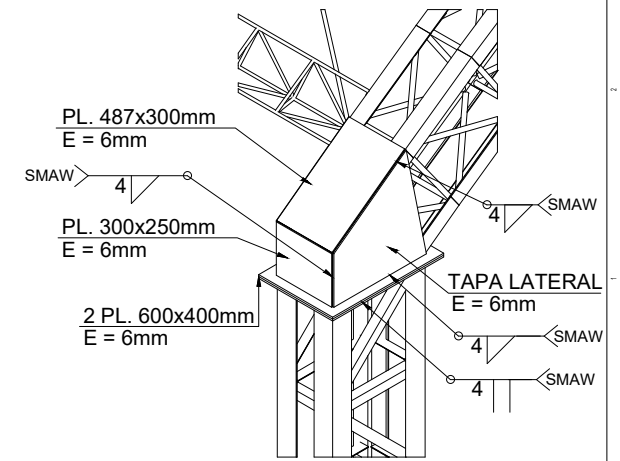
**DETALLE PL 6x487x300mm**  
ESC: (1:10)



**DETALLE PL 6x300x250mm**  
ESC: (1:10)



**DETALLE TAPA LATERAL E=6mm**  
ESC: (1:10)



**DETALLE DE ALERO**  
ESC: (1:20)

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			C.O.		-	-					
			R.T.		-	-					
			P.M.		-	-					
			R.T.		-	-					
					-	-					

**CONFIDENCIAL**  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
RELENEN: --

**E.P. INGENIERIA MECANICA, MECANICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA**

APROBADO	FECHA
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	14/01/2023
DIBUJADO POR: C. SALAS BAYLON	14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	14/01/2023
APROBADO POR: J. Donayre Cahua	14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: --	

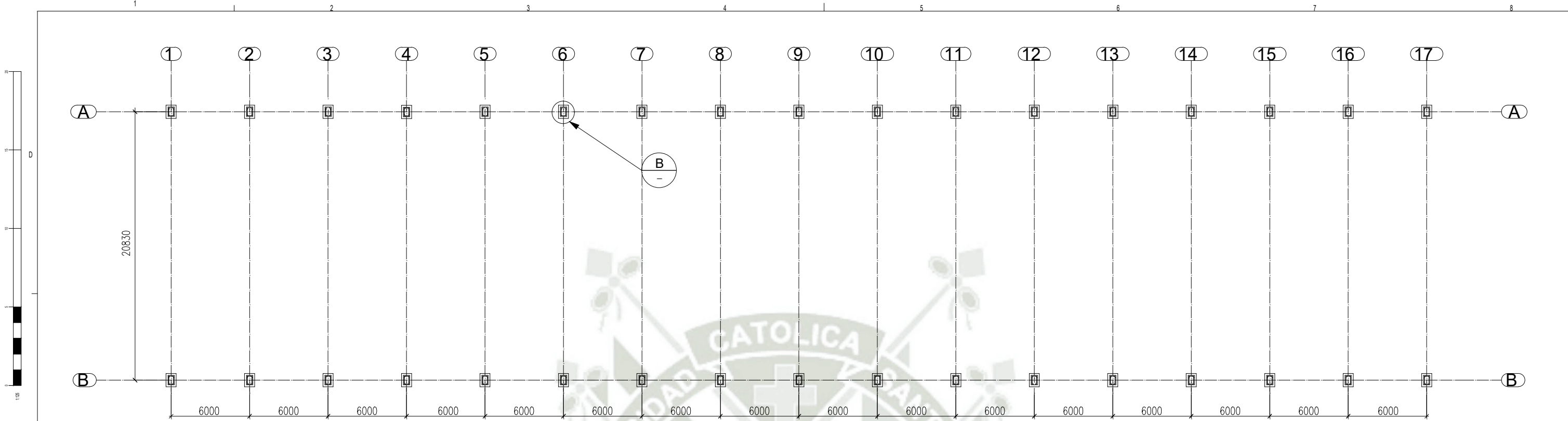
**Universidad Católica de Santa María**

PLANO: ESTRUCTURAS METALICAS ESTRUCTURA PARABOLICA SECCIONES Y DETALLES DE ALERO Y CORREAS

ESCALA: INDICADA

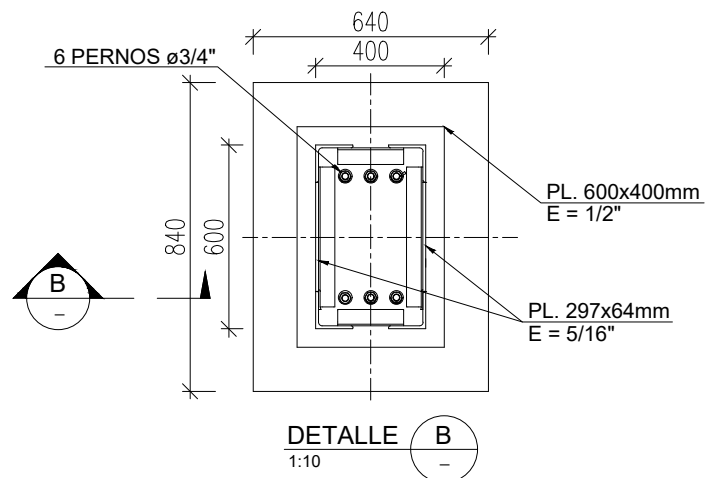
NUMERO DE PLANO: A3-03

REV: 1



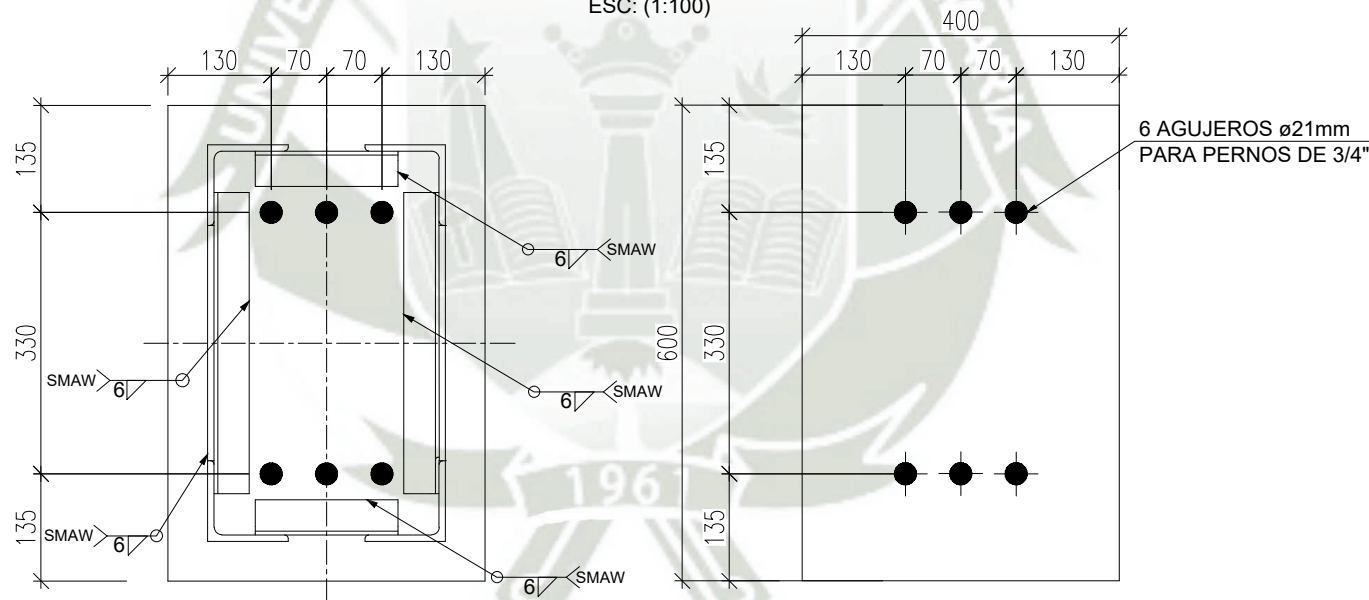
VISTA DE PLANTA

ESC: (1:100)



DETALLE B

1:10

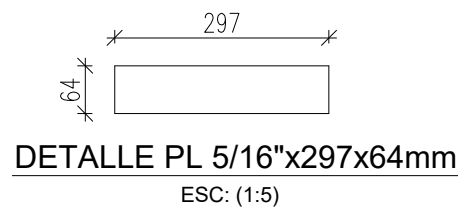


DETALLE DE PLACA BASE

ESC: (1:5)

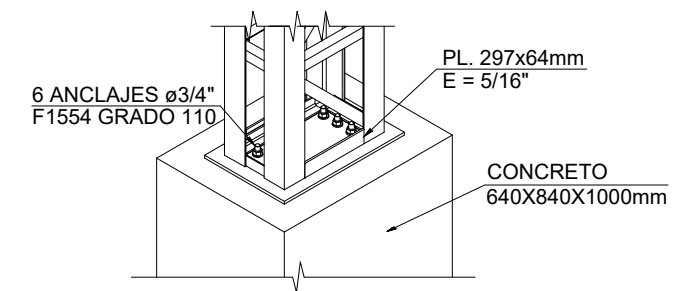
DETALLE PL 1/2"x600x400mm

ESC: (1:5)



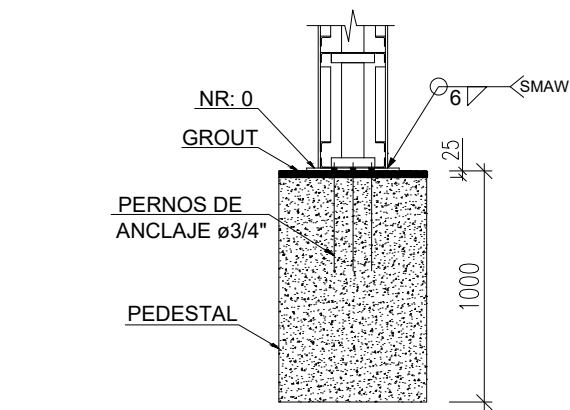
DETALLE PL 5/16"x297x64mm

ESC: (1:5)



DETALLE ISOMETRICO DE PLACA BASE

ESC: (1:20)



SECCION B

1:20

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

CARGAS DE DISEÑO	
-CARGA VIVA DE MONTAJE	L=50 kg/m <sup>2</sup>
-VELOCIDAD DE VIENTO	V=90 km/hr
-ZONA SISMICA 3 DE ACUERDO CON EL CODIGO PERUANO (ZONA 3 UBC)	
ACERO ESTRUCTURAL	
-PLANCHAS Y PERFILES LAMINADOS, ASTM A36	Fy=2530 kg/cm <sup>2</sup>
SOLDADURA Y CONECTORES	
-ELECTRODOS CELULÓSICOS E70 SEGÚN AWS A5.1	Fu=4200 kg/cm <sup>2</sup>
PINTURA	
-ARENADO SSPC SP6	
-PINTURA BASE ANTICORROSIVA EPOXICA 2.5 MILS ACABADO CON ESMALTE EPOXICO 2.5 MILS	
ANCLAJES	
-ANCLAJES F1554 GRADO 110	
CONCRETO	
-BLOQUE DE CIMENTACION	Fc=210 kg/cm <sup>2</sup>

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			C.O.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			P.M.	/	-	-			/	-	-
			R.T.	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-
			-	/	-	-			/	-	-

E.P. INGENIERIA MECANICA,  
MECANICA ELÉCTRICA Y MECATRONICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
DISEÑADO POR: --  
REVISADO POR: --  
PLENET/

APROBADO	
DISEÑADO POR:	FECHA:
C. SALAS BAYLON	14/01/2023
DISEÑADO POR:	FECHA:
C. SALAS BAYLON	14/01/2023
REVISADO POR:	FECHA:
J. Donayre Cahua	14/01/2023
APROBADO POR:	FECHA:
J. Donayre Cahua	14/01/2023
JEFE DE PROYECTO:	FECHA:
-	-

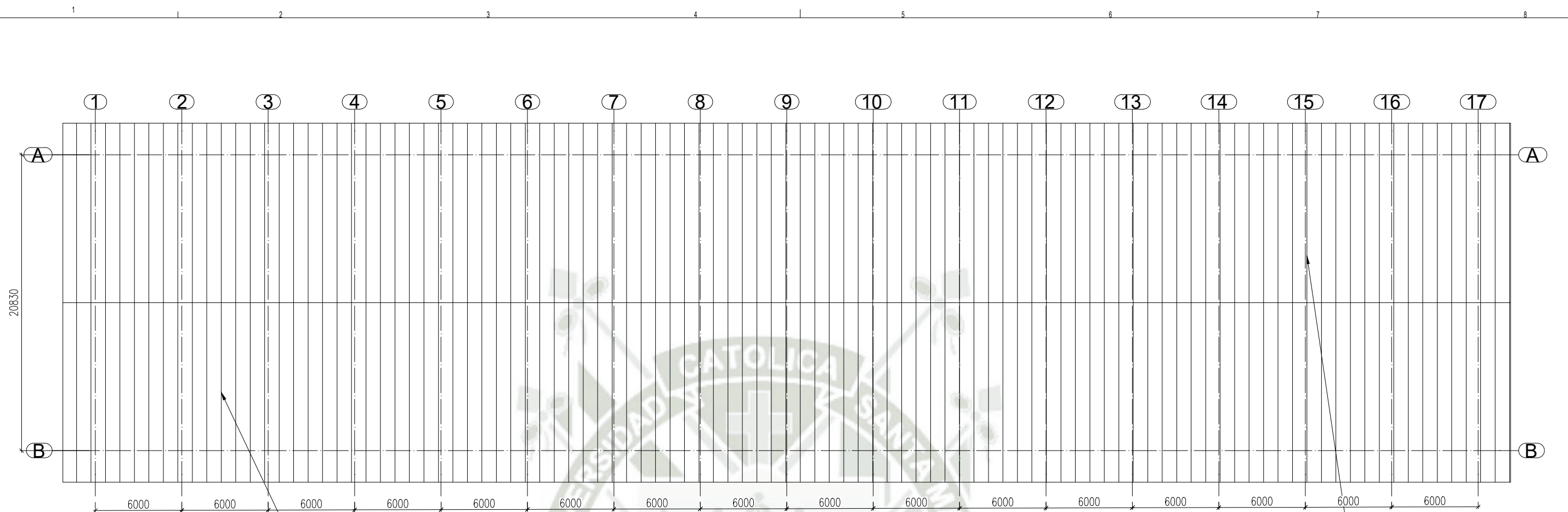
Universidad Católica  
de Santa María

PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA PARABOLICA  
SECCIONES Y DETALLES DE PLACA BASE

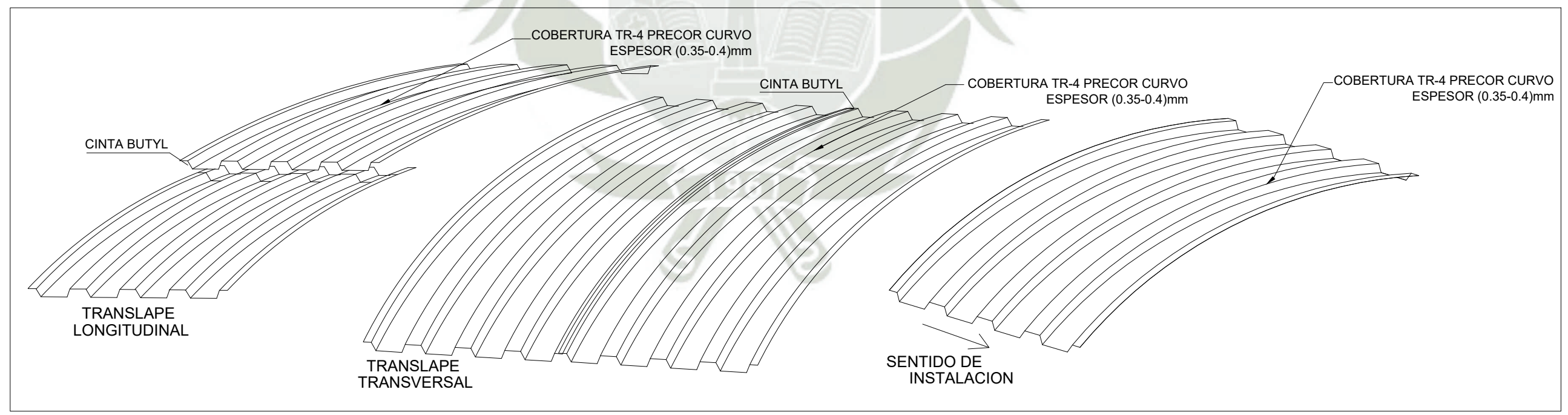
ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-04

REV. 1



**PLANTA DE TECHOS**  
ESC: (1:100)



**DETALLE DE COBERTURA**  
ESC: (1:10)

REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	REV.	FECHA	DESCRIPCION	DES. REV.	APROBADO	NUMERO DE PLANOS	REFERENCIAS DE PLANOS
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.I.T.	/	-	-		-	/	-	-
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.I.T.	/	-	-		-	/	-	-
			C.O.	/	-	-		-	/	-	-
			R.I.T.	/	-	-		-	/	-	-
			P.M.	/	-	-		-	/	-	-
			R.I.T.	/	-	-		-	/	-	-
			-	/	-	-		-	/	-	-
			-	/	-	-		-	/	-	-

E.P. INGENIERIA MECANICA,  
MECANICA ELÉCTRICA Y MECATRÓNICA

CONFIDENCIAL  
ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL, SON PROPIEDAD DEL TESISISTA C. SALAS BAYLON  
SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION PREVIA, ESTAN PROHIBIDOS.

FECHA: --  
DISEÑADO POR: --  
REVISADO POR: --

APROBADO	
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
DISEÑADO POR: C. SALAS BAYLON	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
REVISADO POR: J. Donayre Cahua	FECHA: 14/01/2023
JEFE DE PROYECTO: -	FECHA: -

Universidad Católica  
de Santa María

PLANO  
ESTRUCTURAS METALICAS  
ESTRUCTURA PARABOLICA  
COBERTURA

ESCALA:  
INDICADA

NUMERO DE PLANO:  
A3-05

REV. 1

**BIBLIOGRAFÍA**

- ACI. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete ACI 318-19*.
- American Institute of Steel Construction AISC. (2010). *Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications AISC 358*.
- American Institute of Steel Construction AISC. (2016). *Seismic Provisions for Structural Steel Buildings AISC 341*.
- American Institute of Steel Construction AISC. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings AISC 360*.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures ASCE 7-10*.
- Arguellez, R. (1975). *La Estructura Metálica Hoy* (Primera ed.). Librería Técnica Bellisco.
- Caceres, A., & Valencia, M. (2020). Diseño de un caldero para una empresa en Arequipa. *Revista de ciencias aplicadas*, 10-12.
- CSI SPAIN. (2021). Retrieved from <https://www.csiespana.com:https://www.csiespana.com/software/2/sap2000#>
- Donayre, J. (2021). *Ingeniería de Costos y Presupuestos Metal Mecánicos*. Arequipa, Arequipa: Universidad Católica de Santa María.
- El Peruano. (2006). *E.020 Cargas*.
- El Peruano. (2006). *E.090 Estructuras Metálica*.
- El Peruano. (2018). *E.030 Diseño Sismorresistente*.
- Escuela de Estructuras Metálicas. (2020). *Montaje de Estructuras Metálicas*. Lima.
- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de Materiales*. Pearson.
- IBC. (2009). *International Building Code*.
- IBERICA, F. (2010). *Canales Sectoriales*. Retrieved from <https://www.interempresas.net>
- IDEA STATICA. (2022). Retrieved from <https://www.ideastatica.com/es:https://www.ideastatica.com/es>

Inmoking. (2017, 04 25). *Inmoking - Industria y logística*. Retrieved from <https://inmoking.com/actualidad/otros-usos-las-naves-industriales/>

Lopez de Heredia, O. (1988). *Estructuras de Acero - Comportamiento y diseño*. Distrito Feredal Mexico: Limusa.

Luxe Digital. (2021). Retrieved from [peru.angloamerican.com: https://peru.angloamerican.com/es-ES/empleo/oportunidades-de-trabajo](https://peru.angloamerican.com/es-ES/empleo/oportunidades-de-trabajo)

Malagutti, M., Nunes , C., & Pavan, R. (2015). Comparação teórica e experimental da resistência a flexão de perfis metálicos laminados e formados a frio. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*.

McCormac, J., & Csernak, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero* (Quinta ed.). Alfaomega.

MORAVIO. (2013). *RSBP*. Retrieved from <https://www.rsbp.cz/eS>

Panel y Acanalados Monterrey. (2021, 11 17). *Panelyacanalados*. Retrieved from <https://panelyacanalados.com/blog/que-es-una-nave-industrial/>

Segui, W. (2006). *Stell Design* (Cuarta ed.). Thomson Engineering.

Senamhi. (2020). Retrieved from <https://www.senamhi.gob.pe: https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0018>

Siegenthaler, M. (2019). *Estudio paramétrico de soluciones para el diseño de naves industriales a dos aguas en base a criterios económicos*. Universitat Jaume I.

Soria, H. (2020). *Análisis tecno económico entre galpones con cubiertas autoportantes y cubiertas a dos aguas con luces de 20 metros fabricadas en acero estructural*. Escuela Politécnica Nacional.

Trimble. (2021). Retrieved from <https://www.tekla.com: https://www.tekla.com/la/productos/tekla-structures>

Vinnakota, S. (2006). *Estructuras de acero: comportamiento y LRDF*. McGraw Hill.

Zapata, L. (2018). *Diseño Estructural En Acero* (Tercera ed.). Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.

## ANEXOS

Anexo A, especificaciones técnicas y propuesta de diseño por empresa privada de Arequipa.

### MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL

#### 1. GENERALIDADES

El presente estudio corresponde a la memoria de cálculo estructural de un techo metálico de dimensiones 20.16m X 96.2m.

El techo cubre un área de 1939 m<sup>2</sup> y una altura máxima de 9.3m.

#### 2. UBICACION

El techo se encuentra ubicado en el departamento de Arequipa.

#### 3. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

El sistema estructural consiste:

-Columnas Metálicas (Perfil de Angulo 4"x4"x1/4") unidos entre sí mediante barras redondas de 5/8"

-Armadura (Perfiles de Angulo 2 1/2"x2 1/2"x3/16", Angulo 2 1/2"x2 1/2"x1/4", Angulo 2"x2"x3/16" y barra Ø3/4") unidas a las columnas metálicas.

-Viguetas de techo (Perfiles de Angulo 2"x2"x3/16", barra Ø5/8", barra Ø1/2") soldadas entre las armaduras.

-Arriostres laterales (Perfiles de Angulo 2 1/2"x2 1/2"x1/4") unidas a las columnas metálicas.

-tensores en techo (barra Ø3/4") unidas entre armaduras.

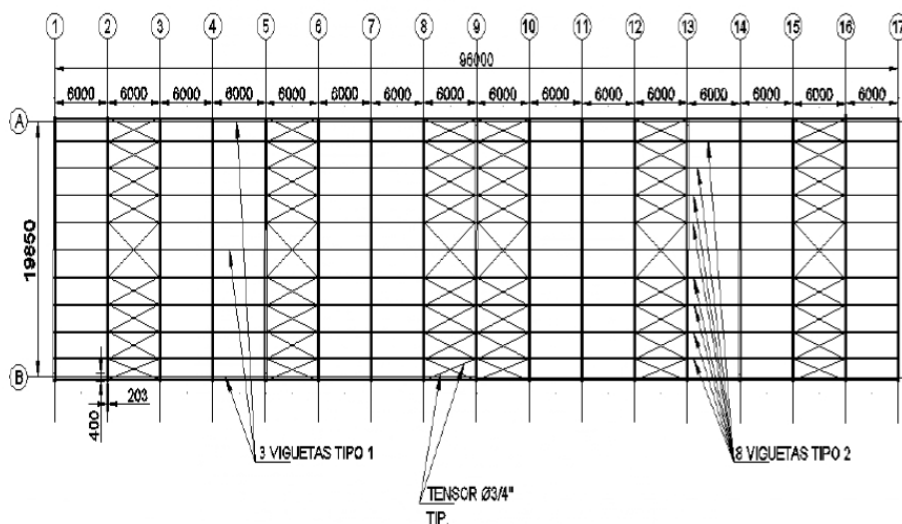


Figura 1.- vista de planta

Anexo B, vistas del modelo estructural propuesto.

**MEMORIA DE CALCULO ESTRUCTURAL**

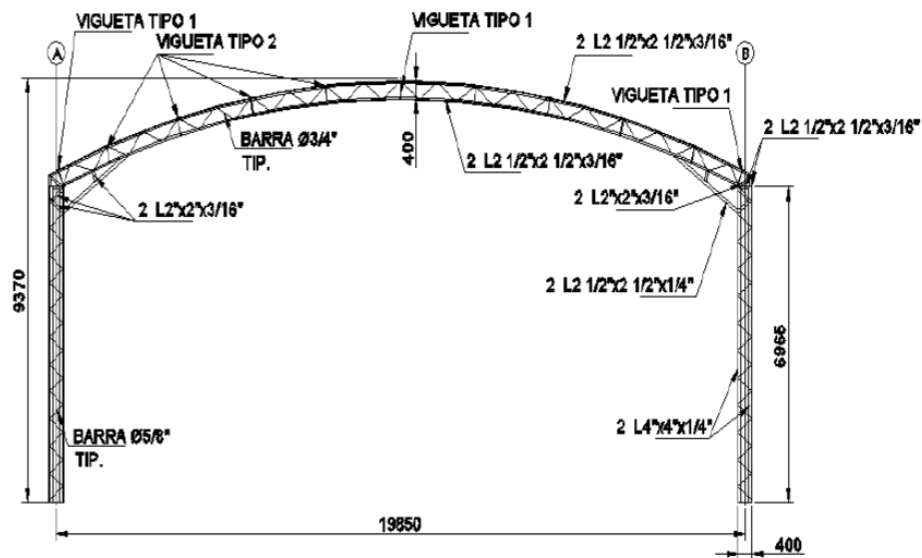


Figura 2.- Estructura de techo Elevación Típica.

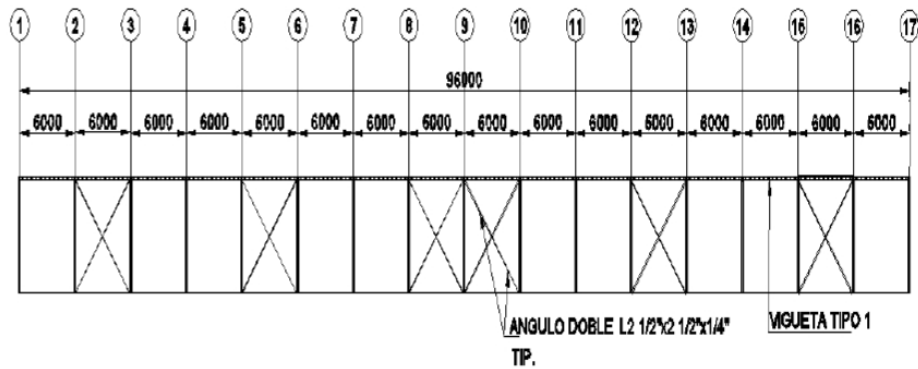


Figura 3.- Estructura de techo Elevación Lateral.

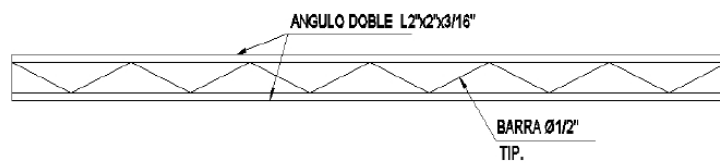


Figura 4.- Detalle vigueta tipo 1

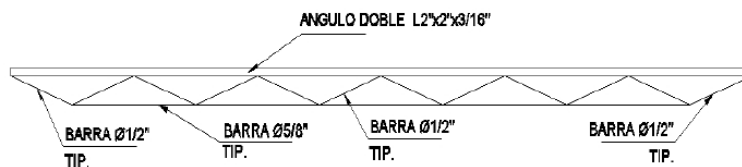


Figura 5.- Detalle vigueta tipo 2

Anexo C, combinaciones de carga para el diseño estructural en acero de la e090 según la metodología LRDF.

$$1,4D \quad (1.4 -1)$$

$$1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (1.4 -2)$$

$$1,2D + 1,6(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) + (0,5L \text{ ó } 0,8W) \quad (1.4 -3)$$

$$1,2D + 1,3W + 0,5L + 0,5(L_r \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (1.4 -4)$$

$$1,2D \pm 1,0E + 0,5L + 0,2S \quad (1.4 -5)$$

$$0,9D \pm (1,3W \text{ ó } 1,0E) \quad (1.4 -6)$$

Anexo D, límites para la distorsión del entrepiso para el análisis sísmico según la e030.e

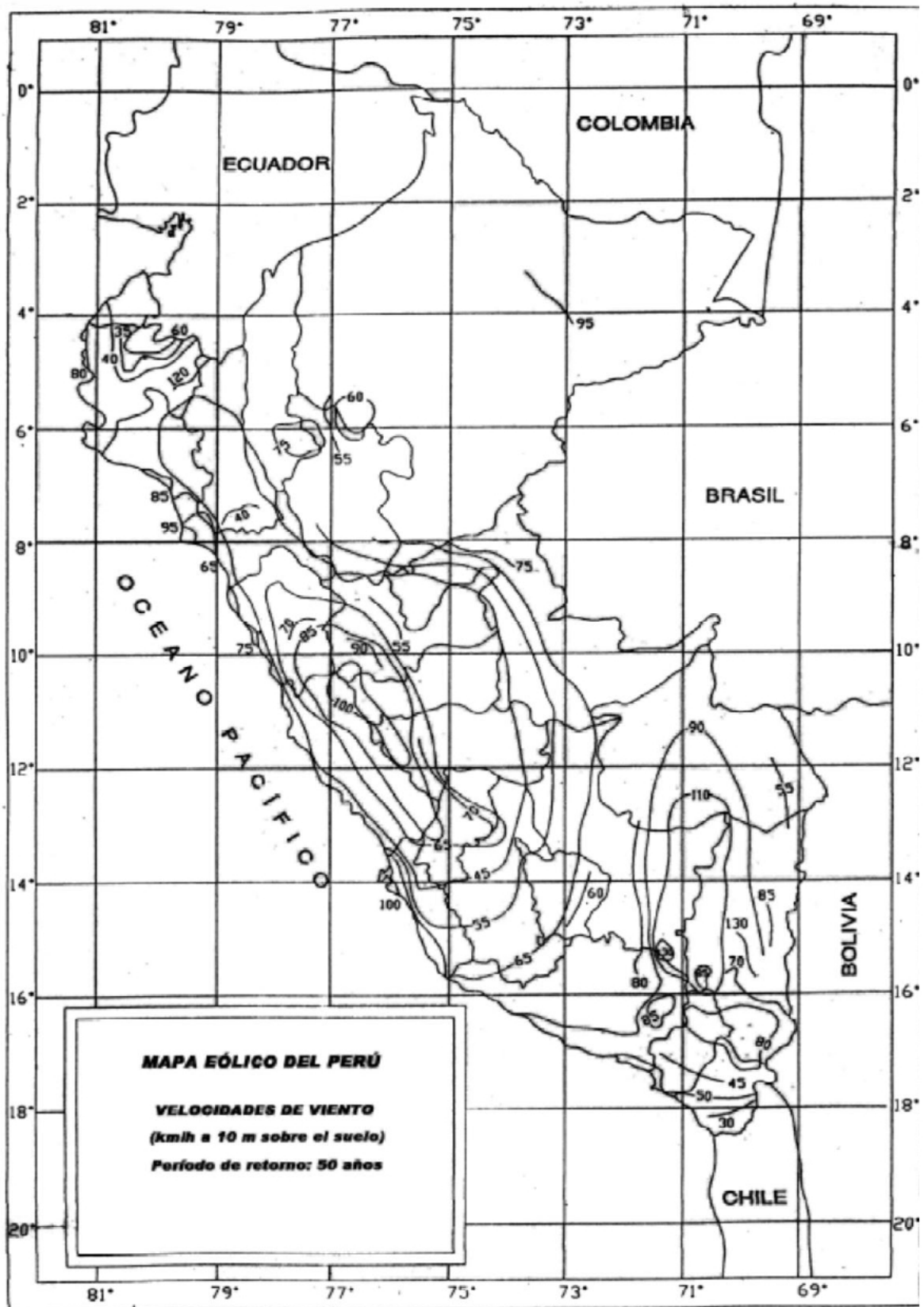
Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	$(\Delta_i / h_{ei})$
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Anexo E, flechas máximas recomendadas para miembros sujetos a diversos patrones de carga según la IBC 2009.

Límites de deflexión tomados del IBC 2009			
Miembros	Condiciones de carga		
	L	D + L	S o W
Para miembros de piso	$\frac{L}{360}$	$\frac{L}{240}$	—
Para miembros de techo que soportan plafón de yeso*	$\frac{L}{360}$	$\frac{L}{240}$	$\frac{L}{360}$
Para miembros de techo que soportan plafones que no son de yeso*	$\frac{L}{240}$	$\frac{L}{180}$	$\frac{L}{240}$
Para miembros de techo que no soportan plafones*	$\frac{L}{180}$	$\frac{L}{120}$	$\frac{L}{180}$

\*Todos los miembros de techo deberán investigarse en cuanto al encharcamiento.

Anexo F, mapa eólico del Perú para la determinación de cargas de viento según la e020.



Anexo G, propiedades geométricas de perfil barra lisa de 5/8” en unidades S.I.

**Circle Section**

Section Name: Barilla de 5/8" Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions: Diameter (t3): 0,0159

Section:

Material: A36

Property Modifiers:

Properties:

---

**Property Data**

Section Name: Barilla de 5/8"

Properties:

Cross-section (axial) area	1,979E-04	Section modulus about 3 axis	3,928E-07
Moment of Inertia about 3 axis	3,118E-09	Section modulus about 2 axis	3,928E-07
Moment of Inertia about 2 axis	3,118E-09	Plastic modulus about 3 axis	6,668E-07
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	6,668E-07
Shear area in 2 direction	1,781E-04	Radius of Gyration about 3 axis	3,969E-03
Shear area in 3 direction	1,781E-04	Radius of Gyration about 2 axis	3,969E-03
Torsional constant	6,235E-09	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Anexo H, propiedades geométricas de perfil barra lisa de 1/2” en unidades S.I.

**Circle Section**

Section Name: Barra Lisa de 1/2" Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions: Diameter (t3): 0,0127

Section:

Material: A36

Property Modifiers:

Properties:

---

**Property Data**

Section Name: Barra Lisa de 1/2"

Properties:

Cross-section (axial) area	1,267E-04	Section modulus about 3 axis	2,011E-07
Moment of Inertia about 3 axis	1,277E-09	Section modulus about 2 axis	2,011E-07
Moment of Inertia about 2 axis	1,277E-09	Plastic modulus about 3 axis	3,414E-07
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	3,414E-07
Shear area in 2 direction	1,140E-04	Radius of Gyration about 3 axis	3,175E-03
Shear area in 3 direction	1,140E-04	Radius of Gyration about 2 axis	3,175E-03
Torsional constant	2,554E-09	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Anexo I, propiedades geométricas de perfil barra lisa de 7/8” en unidades S.I.

**Circle Section**

Section Name: Barra Lisa de 7/8" Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions: Diameter (t3): 0,0222

Section:

Material: A36

Property Modifiers:

Properties:

---

**Property Data**

Section Name: Barra Lisa de 7/8"

Properties:

Cross-section (axial) area	3,879E-04	Section modulus about 3 axis	1,078E-06
Moment of Inertia about 3 axis	1,198E-08	Section modulus about 2 axis	1,078E-06
Moment of Inertia about 2 axis	1,198E-08	Plastic modulus about 3 axis	1,830E-06
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	1,830E-06
Shear area in 2 direction	3,492E-04	Radius of Gyration about 3 axis	5,556E-03
Shear area in 3 direction	3,492E-04	Radius of Gyration about 2 axis	5,556E-03
Torsional constant	2,395E-08	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Anexo J, propiedades geométricas de perfil estructural C 8x11.5” en unidades S.I.

**Channel Section**

Section Name: C8X11.5

Section Notes: Modify/Show Notes...

Extract Data from Section Property File

Open File... c:\program files\computers and structures\sap2000 21\aisc14.pro Import...

**Dimensions**

Outside depth (t3) 0,2032

Outside flange width (t2) 0,0574

Flange thickness (tf) 9,906E-03

Web thickness (tw) 5,588E-03

**Material** A36

**Property Modifiers** Set Modifiers...

**Section**

**Properties** Section Properties... Time Dependent Properties...

**Property Data**

Section Name

**Properties**

Cross-section (axial) area	2,174E-03	Section modulus about 3 axis	1,331E-04
Moment of Inertia about 3 axis	1,353E-05	Section modulus about 2 axis	1,272E-05
Moment of Inertia about 2 axis	5,453E-07	Plastic modulus about 3 axis	1,578E-04
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	2,573E-05
Shear area in 2 direction	1,135E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,0789
Shear area in 3 direction	1,137E-03	Radius of Gyration about 2 axis	0,0158
Torsional constant	5,411E-08	Shear Center Eccentricity (x3)	0,0321

Anexo K, propiedades geométricas de perfil L 3x3x5/16” en unidades S.I.

**Angle Section**

Section Name: L3X3X5/16

Section Notes: Modify/Show Notes...

Extract Data from Section Property File

Open File... c:\program files\computers and structures\sap2000 21\aisc14.pro Import...

**Dimensions**

Outside vertical leg (t3) 0,0762

Outside horizontal leg (t2) 0,0762

Horizontal leg thickness (tf) 7,950E-03

Vertical leg thickness (tw) 7,950E-03

**Material** A36

**Property Modifiers** Set Modifiers...

**Section**

**Properties** Section Properties... Time Dependent Properties...

**Property Data**

Section Name

**Properties**

Cross-section (axial) area	1,148E-03	Section modulus about 3 axis	1,149E-05
Moment of Inertia about 3 axis	6,243E-07	Section modulus about 2 axis	1,149E-05
Moment of Inertia about 2 axis	6,243E-07	Plastic modulus about 3 axis	2,065E-05
Product of Inertia about 2-3	3,721E-07	Plastic modulus about 2 axis	2,065E-05
Shear area in 2 direction	6,058E-04	Radius of Gyration about 3 axis	0,0233
Shear area in 3 direction	6,058E-04	Radius of Gyration about 2 axis	0,0233
Torsional constant	2,465E-08	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Anexo L, propiedades geométricas de perfil L 4x4x5/16” en unidades S.I.

**Angle Section**

Section Name: L4X4X5/16

Section Notes: Modify/Show Notes...

Extract Data from Section Property File

Open File... c:\program files\computers and structures\sap2000 21\aisc14.pro Import...

**Dimensions**

Outside vertical leg (t3) 0,1016

Outside horizontal leg (t2) 0,1016

Horizontal leg thickness (tf) 7,950E-03

Vertical leg thickness (tw) 7,950E-03

**Material** A36

**Property Modifiers** Set Modifiers...

**Section**

**Properties** Section Properties... Time Dependent Properties...

**Property Data**

Section Name

**Properties**

Cross-section (axial) area	1,548E-03	Section modulus about 3 axis	2,081E-05
Moment of Inertia about 3 axis	1,528E-06	Section modulus about 2 axis	2,081E-05
Moment of Inertia about 2 axis	1,528E-06	Plastic modulus about 3 axis	3,703E-05
Product of Inertia about 2-3	9,216E-07	Plastic modulus about 2 axis	3,703E-05
Shear area in 2 direction	8,077E-04	Radius of Gyration about 3 axis	0,0314
Shear area in 3 direction	8,077E-04	Radius of Gyration about 2 axis	0,0314
Torsional constant	3,463E-08	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

Anexo M, propiedades geométricas de perfil L 1 3/4"x1 3/4"x3/16" en unidades S.I.

The image shows two software dialog boxes. The 'Angle Section' dialog on the left has the following fields: Section Name (L 1 3/4x1 3/4x3/16), Section Notes (Modify/Show Notes...), Dimensions (Outside vertical leg (t3): 0,0445; Outside horizontal leg (t2): 0,0445; Horizontal leg thickness (tf): 6,350E-03; Vertical leg thickness (tw): 6,350E-03), Material (A36), and Property Modifiers (Section Properties..., Time Dependent Properties...). The 'Property Data' dialog on the right lists the following properties for the L 1 3/4x1 3/4x3/16 section:

Section Name: L 1 3/4x1 3/4x3/16			
<b>Properties</b>			
Cross-section (axial) area	5,242E-04	Section modulus about 3 axis	3,049E-06
Moment of inertia about 3 axis	9,456E-08	Section modulus about 2 axis	3,049E-06
Moment of inertia about 2 axis	9,456E-08	Plastic modulus about 3 axis	5,496E-06
Product of inertia about 2-3	5,516E-08	Plastic modulus about 2 axis	5,496E-06
Shear area in 2 direction	2,823E-04	Radius of Gyration about 3 axis	0,0134
Shear area in 3 direction	2,823E-04	Radius of Gyration about 2 axis	0,0134
Torsional constant	6,647E-09	Shear Center Eccentricity (x3)	0

Anexo N, ficha técnica de perno estructural de alta resistencia ASTM A-325

## FICHA TÉCNICA

### PERNO ESTRUCTURAL CABEZA HEXAGONAL ASTM A-325 TIPO 1 ASME/ANSI B18.2.6 2006

ØD Diámetro	F Entre Caras	H Altura Cabeza	LR (Largo Rosca)	L (Largo Total)
1/2 - 13	7/8	5/16	1	1.1/4 a 5
5/8 - 11	1.1/16	25/64	1.1/4	1.1/4 a 5
3/4 - 10	1.1/4	15/32	1.3/8	1.1/2 a 6
7/8 - 9	1.7/16	35/64	1.1/2	1.3/4 a 8
1 - 8	1.5/8	39/64	1.3/4	2.1/4 a 8
1.1/8 - 7	1.13/16	11/16	2	2.1/2 a 8
1.1/4 - 7	2	25/32	2	2.1/2 a 8
1.1/2 - 6	2.3/8	15/16	2.1/4	3 a 8

TOLERANCIAS DE LARGO (ASME B18.2.6)				
Medida Nominal	1/2	5/8	3/4 a 1	1.1/8 a 1.1/2
Hasta 6	+0.00 -3.05	+0.00 -3.05	+0.00 -4.83	+0.00 -6.35
Sobre 6	+0.00 -4.83	+0.00 -6.35	+0.00 -6.35	+0.00 -6.35

**LARGOS DE INCREMENTO DE 1/4"**  
 CLASE DE ROSCA : UNIFICADA CORRIENTE UNC CLASE 2B (ASME B1.1 - 2002).  
 RECUBRIMIENTO : GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE (ASTM F-2329 Similar A-153-2000 CLASE C).  
 : CINCADO ELECTROLÍTICO (ASTM B-633 -1998).  
 TERMINACIÓN : PAVONADO NEGRO.  
 \* CUALQUIER MODIFICACION EN EL LARGO DE LA ROSCA PRODUCE QUE EL PERNO SEA REGIDO POR LA NORMA ASTM A-449 TIPO 1.

NORMA	MATERIAL	DIAMETRO NOMINAL	RESISTENCIA MIN. A LA TRACCION	DUREZA Hrc
ASTM A 325 TIPO 1	Acero Medio Carbono Templado y Revenido	1/2" HASTA 1" SOBRE 1" HASTA 1.1/2"	120 KSI 105 KSI	25-34 19-30

# ANÁLISIS COMPARATIVO DE ESTRUCTURA METÁLICA DE ALMA LLENA DE SECCIÓN VARIABLE Y ESTRUCTURA PARABÓLICA PARA LA COBERTURA DE 2000 m<sup>2</sup> PARA LOS HORNOS DE UNA EMPRESA LADRILLERA

## INFORME DE ORIGINALIDAD

4%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
2	<a href="http://www.construccionenacero.com">www.construccionenacero.com</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="http://kipdf.com">kipdf.com</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="http://www.upbvirtual.net">www.upbvirtual.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="http://www.ebertconst.com">www.ebertconst.com</a> Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado