



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE MECÁNICA**

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CERCHAS  
DE ACERO TIPO HOWE PARA FORTALECER LA PRODUCTIVIDAD DE  
LA EMPRESA FYMSA, DEL CANTÓN SALCEDO–ECUADOR**

---

**AUTOR:** Luis Alfredo Redrobán Amores

**TUTOR:** Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.

**AMBATO – ECUADOR**

**Febrero - 2024**

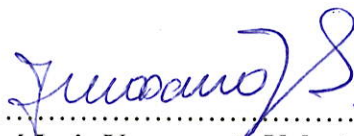
## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema: **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CERCHAS DE ACERO TIPO HOWE PARA FORTALECER LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA FYMSA, DEL CANTÓN SALCEDO–ECUADOR.”**, elaborado por el señor Luis Alfredo Redrobán Amores, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1803815982, estudiante de la Carrera de Mecánica, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2024



.....  
**Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.**  
**TUTOR**

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Luis Alfredo Redrobán Amores**, con C.I. 1803815982, declaro que todas las actividades y contenidos expuesto en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CERCHAS DE ACERO TIPO HOWE PARA FORTALECER LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA FYMSA, DEL CANTÓN SALCEDO–ECUADOR.”**, así como también los análisis, diseño, parámetros, criterios, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del Trabajo Experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2024



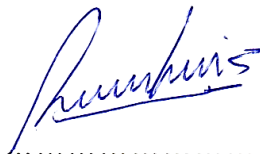
.....  
**Luis Alfredo Redrobán Amores**  
**C.I. 1803815982**  
**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2024



---


**Luis Alfredo Redroban Amores**  
**C.I. 1803815982**  
**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Luis Alfredo Redrobán Amores, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **“ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE CERCHAS DE ACERO TIPO HOWE PARA FORTALECER LA PRODUCTIVIDAD DE LA EMPRESA FYMSA, DEL CANTÓN SALCEDO-ECUADOR”**.

Ambato, febrero 2024

Para constancia firman:



.....  
**Ing. Oscar Iván Analuiza Maiza, Mg.**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**



.....  
**Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc.**  
**MIEMBRO CALIFICADOR**

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias infinitas a mi madre y a mi padre que me cuida desde el cielo, por su amor incondicional y su apoyo moral. Su fe en mí, incluso en los momentos más difíciles, ha sido el pilar de este logro. También expreso mi gratitud a mis hermanas, quienes supieron brindarme su tiempo para escucharme y apoyarme, su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico, también a la empresa Fymosa S.A, quienes me abrieron las puertas y me facilitaron la recopilación de datos, los comentarios de mejora, las sugerencias de bibliografía. Sin ustedes, todo esto no habría sido posible.

Luis Redrobán.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN EJECUTIVO .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I ANTECEDENTES.....	1
1.1. Antecedentes investigativos .....	1
1.2. Justificación.....	4
1.3. Fundamentos teóricos.....	5
1.3.1. Acero.....	5
1.3.2. Estructuras Metálicas .....	9
1.3.3. Cercha .....	14
1.3.4. Normas de Construcción .....	15
1.3.5. Optimización de Geometría en Estructuras.....	17
1.3.6. Diagrama de Esfuerzos Cremona-Maxwell o Método de los Nodos...	18
1.3.7. Método de Ritter o Método de las Secciones.....	18
1.3.8. Método de Culmann.....	19
1.3.9. Métodos de Optimización para Celosías.....	20
1.3.10. Configuración de Miembros Estructurales.....	21
1.3.11. Elementos de una Armadura .....	23
1.3.12. Tipos de Armaduras .....	24
1.3.13. Principios Constructivos y Cálculo en las Celosías Indeformables .	27

1.3.14. Componentes de las Vigas de Celosía.....	28
1.4. Objetivos .....	30
1.4.1. Objetivo general .....	30
1.4.2. Objetivos específicos .....	30
1.5. Hipótesis .....	30
<b>CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....</b>	<b>31</b>
2.1. Ubicación.....	31
2.2. Materiales .....	31
2.3. Métodos .....	32
2.3.1. Enfoque .....	32
2.3.2. Modalidad .....	32
2.3.3. Tipos de investigación.....	33
2.3.4. Técnicas.....	33
2.3.5. Diagrama de la metodología .....	34
2.3.6. Proceso de fabricación de cerchas empresa FYMSA .....	36
2.3.7. Normativas NEC y AISC .....	43
2.3.8. Dimensionamiento de la nave industrial .....	48
2.3.9. Modelamiento de la estructura en SAP .....	49
<b>CAPÍTULO III RESULTADOS .....</b>	<b>57</b>
3.1. Control de deriva .....	57
3.2. Deflexión .....	60
3.3. Análisis Pushover .....	61
3.4. Periodo fundamental y modos de vibración .....	64
3.5. Reacciones .....	66
3.6. Peso de la estructura .....	66
3.7. Comparación económica .....	66
3.8. Resultados entrevista, encuesta y ficha de observación .....	67
3.8.1. Entrevista.....	67
3.8.2. Encuesta .....	71
3.8.3. Ficha de observación.....	74
3.9. Aceptación de la hipótesis .....	75
<b>CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>77</b>



Recomendaciones.....	78
BIBLIOGRAFÍA .....	79
ANEXOS .....	89

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Composición química del acero A36.....	6
Tabla 2.- Recursos y materiales asignados .....	31
Tabla 3.- Factores de reducción .....	44
Tabla 4.- Peso de la cercha.....	45
Tabla 5.- Cargas vivas cubierta.....	45
Tabla 6.- Características ASTM A36.....	48
Tabla 7.- Características Acero A572 Gr50.....	48
Tabla 8.- Parámetros de diseño nave industrial .....	49
Tabla 9.- Resultados de desplazamientos y derivas .....	59
Tabla 10.- Periodos fundamentales Warren .....	64
Tabla 11.- Reacciones de la estructura Warren.....	64
Tabla 12.- Periodos fundamentales Howe .....	65
Tabla 13.- Modos de partición cercha Howe .....	65
Tabla 14.- Reacciones de la estructura.....	66
Tabla 15.- Peso de la estructura .....	66
Tabla 16.- Costos de elementos estructurales Howe.....	67
Tabla 17.- Costos de elementos estructurales Warren .....	67

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Estructura metálica curva .....	10
Figura 2.- Viga hiperestática .....	14
Figura 3.- Resolución de una celosía por el método de los nodos .....	18
Figura 4.- Resolución de una celosía por medio del método de las secciones.....	19
Figura 5.- Resolución de celosía por medio del método de Culmann .....	19
Figura 6.- Categorías de optimización de celosías: (a) Optimización Paramétrica. .	20
Figura 7.- Malla En Base A Las Líneas Isostáticas .....	21
Figura 8.- Configuración completa .....	22
Figura 9.- Configuración incompleta .....	22
Figura 10.- Configuración redundante .....	23
Figura 11.- Partes de una Armadura tipo Howe.....	23
Figura 12.- Armadura tipo “A” .....	24
Figura 13.- Armadura de montante maestro .....	24
Figura 14.- Armadura tipo Howe .....	24
Figura 15.- Armadura tipo Pratt .....	25
Figura 16.- Armadura tipo Warren.....	25
Figura 17.- Armadura tipo Belga .....	25
Figura 18.- Armadura tipo Fink .....	25
Figura 19.- Armadura tipo dientes de sierra.....	26
Figura 20.- Armadura Polonceau .....	26

Figura 21.- Otros tipos de armadura .....	26
Figura 22.- Primer principio del cálculo de celosías.....	27
Figura 23.- Segundo principio del cálculo de celosías.....	28
Figura 24.- Tercer principio del cálculo de celosías .....	28
Figura 25.- Construcción atornillada para cordones .....	29
Figura 26.- Construcción soldada para cordones .....	29
Figura 27.- Construcción atornillada para montantes y diagonales .....	29
Figura 28.- Construcción soldada para montantes y diagonales.....	30
Figura 29.- Plan de procesamiento y análisis.....	35
Figura 30.- Proceso de fabricación de la cercha .....	36
Figura 31.- Recepción de materia prima .....	37
Figura 32.- Proceso de trazado y preparación.....	38
Figura 33.- Proceso de corte cercha .....	39
Figura 34.- Armado de la Cercha.....	41
Figura 35.- Inspección de soldadura .....	42
Figura 36.- Pintura de cerchas en el taller.....	43
Figura 37.- Dimensiones nave industrial .....	49
Figura 38.- Líneas de referencia SAP 2000 .....	50
Figura 39.- Especificación del material de la cercha .....	51
Figura 40.- Perfiles estructurales de la cercha .....	51
Figura 41.- Esquema general de la cubierta .....	52

Figura 42.- Cargas definidas en SAP 2000 .....	52
Figura 43.- Espectro de diseño .....	53
Figura 44.- Definición de casos de carga .....	54
Figura 45.- Combinaciones de carga.....	54
Figura 46.- Cargas a las cuales se encuentra sometida la cubierta.....	55
Figura 47.- Distribución de cargas en la cercha .....	55
Figura 48.- Desempeño aceptable de la cercha Warren .....	56
Figura 49.- Desempeño aceptable de la cercha Howe .....	56
Figura 50.- Parámetro de esfuerzos sismos X.....	57
Figura 51.- Análisis de esfuerzos plano x-z .....	57
Figura 52.- Desplazamiento según el Sx cercha Warren .....	58
Figura 53.- Desplazamiento según el Sx cercha Howe.....	58
Figura 54.- Desplazamiento según el Sy cercha Warren .....	58
Figura 55.- Desplazamiento según el Sy cercha Howe.....	59
Figura 56.- Deformación máxima cercha Warren.....	61
Figura 57.- Deformación máxima cercha Howe .....	61
Figura 58.- Análisis Pushover cercha Warren.....	62
Figura 59.- Análisis Pushover cercha Howe .....	62
Figura 60.- Curva de capacidad Pushover cercha Warren .....	63
Figura 61.- Curva de capacidad Pushover cercha Howe.....	63
Figura 62.- Pregunta 1 .....	71

Figura 63.- Pregunta 2.....	72
Figura 64.- Pregunta 3.....	72
Figura 65.- Pregunta 4.....	73
Figura 66.- Pregunta 5.....	73
Figura 67.- Pregunta 6.....	74

## RESUMEN EJECUTIVO

En busca de nuevas alternativas de diseño para las industrias de la construcción, es fundamental que los ingenieros mecánicos, conozcan criterios de mejora para un buen análisis en estructuras metálicas, interpretar una normativa es un obstáculo que generan problemas en el desarrollo de estos proyectos, provocando en algunos casos incumplimiento de la norma, acciones arbitrarias, decisiones erróneas que incluso ha provocado daños en las infraestructuras y en la seguridad de las personas es por ello que la presente investigación es de carácter experimental por lo que se planteó la siguiente hipótesis: es factible el uso de cerchas tipo Howe en la empresa FYMSA como una alternativa en el uso de naves industriales considerando su diseño fabricación y montaje. Para lo cual se realizó un análisis comparativo con las cerchas que son las que se utiliza normalmente en la fabricación de naves industriales, a través de un análisis cualitativo se describió la situación en la empresa y se determinó falencias en el proceso de fabricación, pero para determinar la eficacia del uso de cerchas Howe se realizó un análisis no lineal Pushover determinando el grado de ductilidad de la estructura lo que identificamos que los elementos al estar sometidos ante cargas sísmicas críticas estos no sufrieron una ruptura y el límite del Sut reflejado en las curvas de desempeño se prolongó en un 80 por ciento menos que las cerchas tipo Warren.

Como resultado se determinó que es factible el uso de cerchas tipo Howe.

**Palabras clave:** Estructuras metálicas, cerchas Howe, cerchas Warren, análisis Pushover, normas NEC y AISC.

## ABSTRACT

In the search for new design alternatives for the construction industry, it is crucial for mechanical engineers to understand improvement criteria for a thorough analysis of metal structures. Interpreting regulations is a challenge that generates problems in the development of these projects, leading to non-compliance with standards, arbitrary actions, and erroneous decisions that have, in some cases, resulted in damage to infrastructure and compromised safety. Therefore, this research is experimental in nature, and the following hypothesis was proposed: the use of Howe-type trusses in FYMSA company is feasible as an alternative in the construction of industrial warehouses, considering their design, fabrication, and assembly. A comparative analysis was conducted with the trusses commonly used in the construction of industrial warehouses. Through qualitative analysis, the situation in the company was described, and deficiencies in the manufacturing process were identified. To determine the effectiveness of using Howe trusses, a non-linear Pushover analysis was performed, determining the ductility of the structure. It was found that the elements, when subjected to critical seismic loads, did not experience rupture, and the ultimate strength ( $S_{ut}$ ) limit reflected in the performance curves was extended by 80 percent less than Warren-type trusses.

As a result, it was determined that the use of Howe-type trusses is feasible.

**Keywords:** Metal structures, Howe trusses, Warren trusses, Pushover analysis, NEC and AISC standards.



# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1. Antecedentes investigativos**

En el artículo científico de Nilesh [1] la que tiene como objetivo optimizar y analizar una armadura de acero tipo Howe. Las armaduras de acero de la estructura existente se optimizaron para un peso mínimo, restringidas con tensiones y deflexiones permitidas. El espacio de la sección transversal de los miembros de la armadura se toma como variable de estilo. Se creó una comparación de las cerchas evaluando el margen mínimo de seguridad de todos los miembros de la cercha. Para realizar un buen análisis, todas las armaduras tienen geometrías y condiciones de carga idénticas. La intención es comprobar que la armadura es mucho más económica una vez que se construye.

Según esta revisión la armadura Howe tiene menos peso en comparación con las armaduras Pratt y Warren para cargas similares, el margen de seguridad es similar e igual en todas las armaduras y, además, satisface la restricción de apariencia; en cuanto a los desplazamientos en los nodos estos se encuentran en los límites y estos son mínimos, la resistencia de masas es mucho mayor para la armadura de estudio debido a la geometría que presenta.

En un análisis comparativo propuesto por Kalyanshetti [2] que involucra estructuras de acero tradicionales y estructuras tubulares de acero, se exploran múltiples configuraciones de naves industriales. Sin embargo, en este estudio, se enfoca en la evaluación de diversas disposiciones de cobertizos industriales, abarcando opciones que incluyen cobertizos de acero laminado en caliente, armaduras Howe, armaduras de pórtico, entre otras. Este documento tiene como objetivo proporcionar una guía para la selección de la configuración más adecuada de un cobertizo industrial, logrando esto a través del diseño y comparación de diferentes configuraciones de naves industriales y utilizando el software SAP2000, que ofrece resultados precisos y veloces en el diseño de galpones industriales.

Los resultados de la investigación indican que la utilización de secciones tubulares resulta ser una alternativa económica, con un ahorro total de aproximadamente entre

el 50% y el 60% en costos. Sin embargo, dado los desafíos relacionados con la conexión de secciones de tubos circulares, se recomienda considerar el uso de secciones cuadradas o rectangulares en lugar de las circulares. Este análisis se enfoca en una zona específica con un área de 800 metros cuadrados y una estructura de tipo Howe modificada. A partir de las observaciones y resultados previos, se puede concluir que asignar secciones tubulares a los elementos estructurales que tienen longitudes sin soporte más extensas generará un ahorro económico en el conjunto del proyecto.

En la investigación de Patel [3] análisis y diseño de armaduras de techo industriales convencionales, muchos de los edificios de acero están formados por secciones ortodoxas de acero diseñadas y construidas mediante enfoques convencionales. Esto apunta a estructuras pesadas o demasiado caras. La fabricación de cerchas de diferente tipología es una de las alternativas posible frente al convencional con sus especificaciones comparativamente mejores. El peso muerto tiende a disminuir en muchos miembros estructurales, por lo que está claro que, debido a la configuración geométrica, ayuda a reducir los costes generales. Los resultados muestran que se logra un ahorro de gastos de entre el 15 y el 25 % utilizando cerchas howe.

En la investigación de Malagón [4] sobre la Cerchas y Celosías identifica que las cerchas de tipo Howe de estructuras es que las barras trabajan predominantemente a compresión y tracción presentando comparativamente flexiones pequeñas en comparación con los que trabajado de la forma tradicional o convencional; en la ejecución de sus procesos se utilizan, diferentes softwares, los cuales son complejos y extensos; de estos procesos tradicionales obtenemos como resultado un análisis y diseño confiable y correcto.

Según Rivera *et al.* [5], autores de una investigación realizada en Costa Rica, la mayoría de los profesionales dedicados a la construcción considera que el acero es un material viable para la construcción, respaldando la facilidad de uso en proyectos constructivos. No obstante, se considera que existe una falta de conocimiento generalizado sobre la fabricación de cerchas tipo Howe, se resalta que el 90 % tiene conocimiento del uso de placas metálicas en la construcción de cerchas. De este último grupo, el 40 % considera que el uso de placas metálicas es una opción tecnológica e ingenieril sólida. Estos resultados iniciales fundamentan la necesidad de un análisis

más profundo del proceso de fabricación de cerchas de acero tipo Howe en la empresa FYMSA y sus implicaciones para fortalecer la productividad.

Según la investigación de Ghosh & Jana [6] sobre el diseño estructural de la geometría de armadura de techo de acero utilizada en el cobertizo de fábricas, indica que los tipos de estructuras de acero se vuelven más populares debido a su alta apariencia estética. Entre estas estructuras de acero, las armaduras de techo se usan ampliamente para cubrir grandes áreas abiertas sin columnas, como centros comerciales, auditorios, estacionamientos de automóviles, estadios, así como cobertizos de fábricas, etc. En las presentes investigaciones se consideran varios tipos de geometrías de armadura como la armadura Howe y la armadura Fink con diferentes relaciones de aspecto.

Entre los tipos de armadura analizada en esta investigación, se determinó que las vigas y los miembros de tirantes requieren secciones de acero más bajas en comparación con las secciones requeridas para los miembros principales. Cabe destacar que en esta investigación a los ingenieros de diseño es fundamental elegir la geometría de armadura Howe para usarla como estructura de techo en un cobertizo de naves industriales por su resistencia y sus bajos costos.

Por otra parte, en la investigación de grado de Haro [7] el enfoque principal de este tema se centra en el diseño estructural y la evaluación de costos unitarios de naves industriales en celosía y de naves industriales de alma llena. Esto permitirá a los constructores tomar decisiones informadas sobre la opción más adecuada para sus necesidades, considerando factores como restricciones de tiempo y recursos. En el mundo empresarial, a menudo es crucial contar con naves industriales en un plazo específico, independientemente de los costos involucrados. Por otro lado, la limitación de recursos también es común, lo que impulsa la búsqueda de opciones económicas, sin importar el tiempo necesario para completar la construcción.

En lo que respecta a los hallazgos de la investigación, se observó que las estructuras de celosía resultan ser más económicas que las estructuras de alma llena, presentando una diferencia del 15%. No obstante, es importante que el constructor tome en consideración el tiempo necesario para llevar a cabo la construcción. Esto se debe a que las estructuras de alma llena exhiben un mayor peso por metro cuadrado en comparación con las de celosía, principalmente debido a la necesidad de soportar

grandes luces, lo que a su vez conlleva un aumento significativo en la altura de la viga. En consecuencia, se puede deducir que, con las dimensiones establecidas durante la fase de prediseño utilizando el programa SAP 2000, estas estructuras mantendrán su integridad bajo las cargas naturales que actúen sobre ellas.

En la investigación de Durán & Narváez [8] un análisis comparativo consideró tanto los aspectos estructurales como los económicos de una cubierta construida con estructura metálica. En este análisis, se puso énfasis en la variación en el costo del acero, que depende exclusivamente de la ubicación del proyecto. Además, se realizaron pruebas de carga y descarga para evaluar cada uno de los seis diseños de cerchas propuestos.

En todos los escenarios, se aplicaron cargas a todos los puntos de conexión en la parte inferior de las cerchas. La discrepancia más significativa entre las deformaciones teóricas y las observadas en la realidad se encontró en el caso del modelo de cercha de tipo Howe Básica, con un 66%. Por otro lado, la menor discrepancia se registró en el modelo de cercha de tipo puente Baltimore, con un 20%. El análisis general sugiere que las cerchas con un mayor número de puntos de conexión tienden a mostrar una menor discrepancia en las deformaciones.

## **1.2. Justificación**

Actualmente, la modelización y los cálculos matemáticos en el campo de la construcción no suponen demasiados problemas para los ingenieros civiles y mecánicos, porque existen programas que permiten una optimización a largo plazo. Pero el trabajo de un ingeniero no es solo modelar, sino también interpretar los datos y valores (factores) ingresados en el sistema de diseño. En tal virtud, el propósito de las normas para el diseño de estructuras en acero es establecer parámetros y condiciones mínimos para garantizar que las estructuras se comporten adecuadamente bajo los requisitos de carga esperados.

En términos del éxito de un proyecto de construcción, es fundamental que tanto diseñadores, evaluadores e inspectores conozcan estos parámetros y especificaciones. Las deficiencias en las normas como: falta de claridad y orden, falta de información (deficiencias técnicas), duplicidad, etc. son obstáculos que generan problemas en el

desarrollo de estos proyectos, provocando en algunos casos incumplimiento de la norma, acciones arbitrarias, decisiones e incluso desmotivación en el uso del producto evaluado en el sistema estructural o material.

Además, el desarrollo de las tecnologías de materiales metálicos ha permitido crear una amplia variedad de productos de este tipo, que son los más demandados en la edificación actual, aunque fueron desarrollados hace mucho tiempo. Actualmente el crecimiento de las estructuras metálicas en Ecuador ha incrementado en un 12.82% en relación con las estructuras de hormigón, por lo cual la producción de acero se ha visto beneficiada y su incremento ha sido del 15.7%, las cuales cumplen con estándares de normalización internacional y nacional.

Los beneficiarios en general del presente trabajo lo constituyen los fabricantes y constructores para quienes uno de los aspectos más importantes de la construcción es la optimización de recursos. Pequeñas diferencias en el diseño estructural pueden suponer un ahorro considerable de dinero con la misma eficiencia técnica. En este estudio se define el tipo de estructura más eficiente técnica y económicamente, en función del tipo de cerchas que la componen, a diferentes alturas.

### **1.3. Fundamentos teóricos**

#### **1.3.1. Acero**

El acero representa uno de los metales más comunes utilizados en aplicaciones estructurales debido a su fortaleza, resistencia, ductilidad, maleabilidad y capacidad de soldadura [9]. Dado que existen numerosos tipos de acero disponibles, cada uno con propiedades químicas y mecánicas únicas, es esencial familiarizarse con las características clave del acero A36.

El acero A36 se clasifica como un acero de bajo contenido de carbono. Esta característica permite que el acero A36 se pueda mecanizar, soldar y dar forma con facilidad, lo que lo convierte en un material extremadamente versátil en aplicaciones de uso general. La baja concentración de carbono también minimiza el impacto de los tratamientos térmicos en el acero A36. Además, suele contener pequeñas cantidades de otros elementos de aleación, como manganeso, azufre, fósforo y silicio como se

muestra en la Tabla 1. Estos elementos de aleación se incorporan para conferir al acero A36 sus propiedades químicas y mecánicas específicas [10]. Dado que el A36 no contiene cantidades significativas de níquel o cromo, su resistencia a la corrosión es limitada.

**Tabla 1.-** Composición química del acero A36  
Composición química

Composición química	
Carbono (C)	0,26% máximo
Manganeso (Mn)	No hay requisito
Fósforo (P)	0,04% máximo
Azufre (S)	0,05% máximo
Silicio (Si)	0,40% máximo *
Cobre (Cu) 0,20% mínimo	*Cuando se especifique

**Fuente.** [9]

### ***Acero Estructural***

El acero estructural, compuesto principalmente de hierro y con un contenido de carbono de hasta el 2.1% en peso, se utiliza ampliamente en aplicaciones estructurales. El carbono, después del hierro, es el componente más significativo en los aceros al carbono. El incremento en la cantidad de carbono en la composición del acero da lugar a materiales de alta resistencia, pero con menor ductilidad [11].

El acero de bajo contenido de carbono, también conocido como acero suave, es la variante más común del acero al carbono y la elección predilecta en la construcción. Este tipo de acero contiene generalmente entre un 0.04% y un 0.30% de carbono, lo que le confiere una mayor resistencia y ductilidad en comparación con otras variedades de acero con mayor contenido de carbono [11].

El acero estructural es una categoría de acero utilizada en la fabricación de diversos elementos de construcción. Las formas, tamaños, composición química y propiedades mecánicas del acero estructural, como su resistencia están reguladas por normas en la mayoría de los países industrializados [12]. Gracias a su ductilidad, es posible personalizar una amplia gama de formas, grosores y tamaños para satisfacer necesidades constructivas específicas.

### ***Evolución del Acero Estructural***

A medida que los sistemas de construcción han experimentado un rápido desarrollo, el acero estructural ha desempeñado un papel esencial en este progreso. Actualmente, el acero estructural se utiliza ampliamente debido a su alta relación resistencia-peso y su durabilidad, lo que lo convierte en una elección ideal para la construcción de edificios resistentes a los terremotos [13].

En comparación con el concreto armado, el acero se está convirtiendo en una opción más relevante, ya que requiere un volumen mucho menor para soportar las mismas cargas. Además, el proceso de construcción con acero es menos intensivo en mano de obra, lo que ha llevado a reducciones en el tiempo y los costos de construcción, permitiendo su uso en diversas aplicaciones constructivas [14].

### ***Propiedades del Acero Estructural***

Las propiedades del acero estructural derivan tanto de su composición química como de los procesos de fabricación, incluyendo el tratamiento térmico. Estas propiedades lo convierten en uno de los materiales más importantes en ingeniería y construcción. Entre las propiedades clave se encuentran su formabilidad, durabilidad, resistencia a la tracción y rendimiento [9].

El acero estructural es capaz de crear formas arquitectónicamente complejas de manera económica y con relativa facilidad. Según el manual de construcción de acero LRFD, los diseñadores deben considerar las siguientes propiedades del acero estructural al especificar productos de construcción de acero: esfuerzo de fluencia, resistencia última, módulo de elasticidad, módulo al corte, densidad, relación de Poisson y coeficiente de expansión térmica [15].

### ***Propiedades Mecánicas del Acero***

Las propiedades mecánicas del acero se derivan de su composición química, tratamiento térmico y procesos de fabricación. Aunque el hierro es el componente principal, pequeñas adiciones de otros elementos pueden tener un impacto significativo en sus propiedades. El acero se caracteriza por su alta resistencia, bajo peso, durabilidad, ductilidad y resistencia a la corrosión. Su resistencia y peso lo

convierten en un material de construcción excepcionalmente eficiente. Las propiedades físicas y mecánicas del acero, como su resistencia, elasticidad, ductilidad y tenacidad, lo hacen adecuado para aplicaciones estructurales [16].

### ***Ventajas del Uso del Acero en Estructuras***

El uso del acero en estructuras ofrece diversas ventajas, entre ellas [16]:

- Alta resistencia en relación al peso, lo que permite la construcción de estructuras relativamente ligeras.
- Comportamiento elástico lineal, especialmente bajo cargas elevadas.
- Propiedades homogéneas que no varían con el tiempo ni la ubicación en los elementos estructurales.
- Durabilidad, con estructuras de acero que pueden durar indefinidamente con mantenimiento adecuado.
- Rapidez de montaje en comparación con otros materiales.
- Facilidad de conexión mediante diversos tipos de conectores como remaches, soldaduras o pernos.
- Reciclaje y bajo costo de recuperación, ya que el acero es completamente reciclable.
- Eficiencia en la prefabricación y alta calidad en la fabricación en serie.
- Precisión dimensional en los perfiles laminados.
- Disponibilidad de una amplia variedad de secciones y tamaños.

### ***Desventajas del Acero Estructural***

A pesar de sus ventajas, el acero estructural presenta ciertas desventajas que deben considerarse en el diseño y construcción [16]:

- Susceptibilidad a la corrosión, que requiere protección con esmaltes o pinturas anticorrosivas en ambientes expuestos.
- Costos adicionales para la protección contra incendios, ya que el acero es un buen conductor de calor.
- Vulnerabilidad al pandeo, especialmente en perfiles largos y delgados sometidos a compresión.



- Fatiga cuando se somete a un gran número de ciclos de carga.
- Riesgo de fractura frágil en condiciones específicas.
- Costos de mantenimiento, incluyendo la necesidad de pintura anticorrosiva periódica.

### **1.3.2. Estructuras Metálicas**

Las estructuras metálicas son un método de construcción altamente preferido debido a su solidez, estabilidad y resistencia. En su mayoría, los componentes de estas estructuras se fabrican utilizando acero. Se emplean principalmente en la industria de la construcción debido a sus excepcionales propiedades, su eficacia funcional y su asequibilidad [17].

#### ***Estructuras Metálicas para Cubiertas***

Las cubiertas metálicas se componen de elementos estructurales interconectados con el propósito de transmitir fuerzas estáticas, creando un armazón rígido de diversas formas. Estas estructuras de cubierta, conformadas por miembros dispuestos en forma de triángulos o grupos de triángulos, tienen una doble función. Por un lado, actúan como soporte para la cubierta, brindando protección contra las inclemencias del clima, como la lluvia, la nieve y el viento. Por otro lado, deben ser capaces de soportar su propio peso [18].

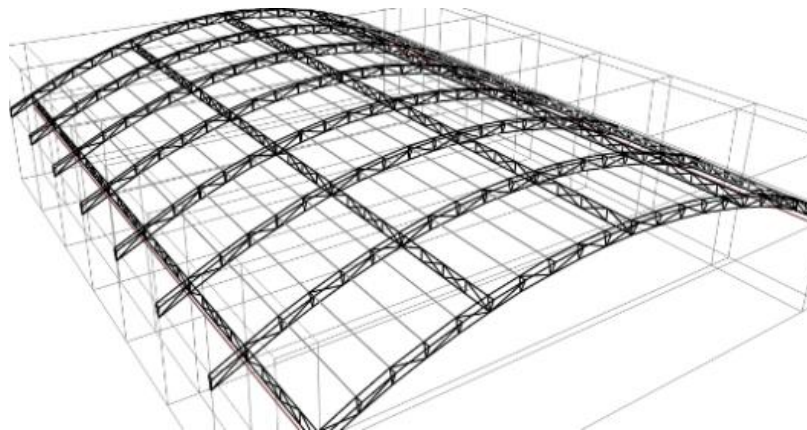
Las estructuras metálicas para cubiertas pueden presentar diferentes configuraciones, como trianguladas, rectas o curvas, y la elección depende de diversos factores, como el tipo de cubierta, las condiciones climáticas, los requisitos de iluminación, las cargas previstas y las necesidades del cliente. Las separaciones entre los elementos estructurales varían en función del material de cubierta, las dimensiones de la estructura y las condiciones de cimentación [19].

La armadura metálica se puede anclar a muros de concreto o a columnas de acero o concreto reforzado mediante pernos de anclaje [20]. El acero es un material estructural ampliamente utilizado, apreciado por su resistencia, ligereza, facilidad de fabricación y versatilidad. Permite la unión de distintos componentes mediante soldadura o pernos, además de garantizar un proceso de fabricación eficiente y un montaje rápido.

Las propiedades principales del acero en estructuras incluyen [17]:

- Alta resistencia: El acero es excepcionalmente resistente en relación a su peso, lo que resulta en estructuras livianas.
- Uniformidad: Las propiedades del acero no cambian con el tiempo ni varían en diferentes partes de la estructura.
- Elasticidad: El acero muestra un comportamiento elástico lineal hasta que se alcanzan esfuerzos considerables.
- Durabilidad: Con un mantenimiento adecuado, las estructuras de acero pueden durar mucho tiempo.
- Ductilidad: El acero puede soportar grandes deformaciones sin fallar, lo que ayuda a que las fallas sean previsibles.
- Tenacidad: Los aceros estructurales poseen resistencia y ductilidad, además de la capacidad de absorber grandes cantidades de energía en caso de deformación.

Las estructuras metálicas curvas que se observa en la Figura 1, conocidas por su diseño elegante y alta resistencia, son ideales para cubrir espacios con amplias luces y áreas sin obstáculos. Estas estructuras están compuestas por cerchas que pueden incluir una triangulación secundaria. Esta triangulación secundaria tiene como función reducir las longitudes de pandeo de las barras que están sometidas a compresión o disminuir la flexión en áreas donde se encuentren cargas puntuales. Estas estructuras de carga única poseen rigidez, estabilidad y un atractivo diseño que se puede personalizar utilizando una variedad de materiales [21].



**Figura 1.-** Estructura metálica curva  
**Fuente.** [11].

### ***Ventajas de las Estructuras Metálicas***

A lo largo del tiempo, las estructuras metálicas han ganado un lugar destacado en la construcción de edificios gracias a una serie de ventajas que ofrecen en comparación con otros tipos de estructuras. Algunas de las ventajas más notables son [17]:

- Tolerancia a grandes deformaciones tanto en compresión como en tensión, antes de que un elemento metálico falle.
- Elementos estructurales más ligeros que reducen significativamente el peso total de la estructura.
- Tienen una tenacidad alta capaz de absorber grandes cantidades de energía antes de experimentar fallos.
- Elementos estructurales prefabricados que facilitan un montaje rápido, lo que resulta en tiempos de construcción más cortos.
- La capacidad de reemplazar o añadir elementos sin afectar la resistencia o funcionalidad de la estructura.
- Posibilidad de reciclar y reutilizar elementos estructurales en otras construcciones metálicas, siempre que mantengan sus propiedades y características originales [17].

### ***Desventajas de las Estructuras Metálicas***

Sin embargo, es importante mencionar algunas desventajas asociadas con las estructuras metálicas [17]:

- La mayoría de los componentes son metálicos y, al estar expuestos a factores atmosféricos como el aire y el agua, son propensos a la corrosión. Esto implica la necesidad de un mantenimiento periódico y, por ende, costos adicionales.
- Las propiedades de los elementos disminuyen significativamente cuando se enfrentan a altas temperaturas, especialmente en casos de incendio, lo que en ocasiones puede llevar al colapso.
- La resistencia de estas estructuras se ve afectada por cargas cíclicas, lo que puede provocar fatiga en el material.

- Se requiere un cumplimiento estricto de parámetros estructurales en su diseño, fabricación y montaje, lo que exige la participación de profesionales especializados.
- Las conexiones, tanto empernadas como soldadas, necesitan un riguroso control de calidad durante la fabricación y el montaje de la estructura.

### ***Montaje de Estructuras Metálicas***

El montaje, se refiere a la acción de ensamblar una estructura o un objeto. Una estructura es un conjunto de piezas interconectadas que crean un cuerpo o forma capaz de resistir las fuerzas que actúan sobre ella. Cuando se habla de estructuras metálicas, se hace referencia a aquellas en las que más del 80% de su composición generalmente es de acero [22].

Antes de proceder al montaje, es fundamental seguir las indicaciones detalladas en los planos. Posteriormente, se deben realizar mediciones y verificar que la posición sea la correcta. Es esencial que el equipo utilizado para el ensamblaje no se retire hasta que las condiciones sean seguras [22].

El acero es una aleación de hierro (Fe) y carbono (C), con un contenido de carbono que generalmente varía entre el 0,05% y un máximo del 2%. El acero ofrece tres ventajas significativas en la construcción de estructuras [23]:

- Puede soportar grandes cargas sin fracturarse.
- Es flexible y puede doblarse hasta cierto punto sin romperse.
- Posee plasticidad, lo que significa que puede deformarse sin fracturarse. Esta propiedad permite que las estructuras de acero se flexionen, sirviendo de advertencia a los ocupantes para evacuar en caso de deformación.

Las estructuras de acero rara vez colapsan, ya que el acero demuestra un desempeño superior en comparación con la mayoría de los otros materiales durante un terremoto, debido a sus propiedades. No obstante, una desventaja del acero es su pérdida de propiedades a altas temperaturas, lo que lo hace menos adecuado en situaciones de incendio [24].

Dado que las estructuras constan de un conjunto de componentes, deben cumplir con ciertas condiciones universales:

- Deben ser rígidas, es decir, no deben deformarse bajo la aplicación de fuerzas.
- Deben ser estables y resistir cargas máximas.
- Cada uno de los elementos que conforma la estructura debe ser resistente, capaz de soportar las fuerzas sin fracturarse o deformarse.

Según el AISC (American Institute of Steel Construction), los materiales se dividen en categorías conforme a las normas ASTM (Asociación Americana de Ensayos de Materiales) [25]:

Para estructuras: se emplea ASTM A36/A36M.

Para tuberías: se utiliza ASTM A53/A53M, GR.B.

### ***Estructuras Isostáticas***

Las estructuras isostáticas se consideran estáticamente determinadas cuando cuentan con el mismo número de ecuaciones que de incógnitas, lo que permite resolverlas mediante ecuaciones lineales [26]. Para calcular las fuerzas de reacción en estas estructuras, es esencial que la suma de las fuerzas y momentos sea igual a cero. Para asegurarnos de que una estructura sea estática, debe mantenerse en equilibrio, lo que implica que las fuerzas y momentos internos y externos deben ser nulos. En el contexto de la estática, es necesario que las siguientes ecuaciones estén igualadas a cero para determinar las reacciones internas y externas de la estructura [7].

Ecuaciones de equilibrio:

$$\sum F_x = 0 \quad (1)$$

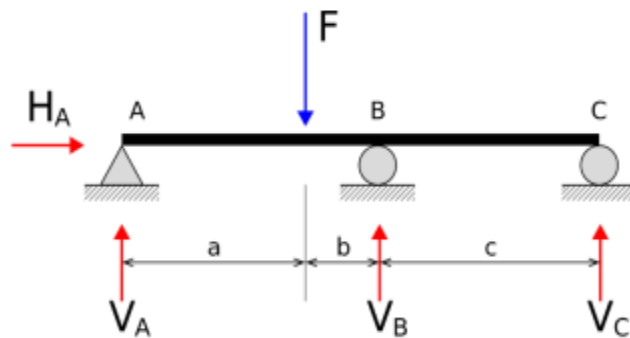
$$\sum F_y = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_x = 0 \quad (3)$$

$$\sum M_y = 0 \quad (4)$$

### *Estructuras Hiperestáticas*

Las estructuras hiperestáticas se consideran indeterminadas cuando el número de incógnitas supera al de ecuaciones fundamentales de la estática. En la Figura 2 se muestra una viga que se mantiene en equilibrio gracias a la presencia de múltiples puntos de apoyo que les impiden desplazarse, lo que se denomina hiperestaticidad. Para resolver este tipo de estructuras, es necesario tener en cuenta las condiciones de contorno, que incluyen las deformaciones de ciertos elementos y las ubicaciones iniciales y finales de dichos elementos. Posteriormente, se igualan las incógnitas con diversas condiciones de equilibrio [27].



**Figura 2.-** Viga hiperestática  
Fuente. [12]

### **1.3.3. Cercha**

La característica fundamental de las cerchas radica en su construcción compuesta exclusivamente de elementos sujetos a fuerzas axiales, lo que significa que sus componentes solo experimentan cargas en esta dirección. Para lograr esta condición, es esencial que las cargas se apliquen exclusivamente en los nodos de la estructura [28].

Debido a su comportamiento, funcionamiento y peso reducido, las cerchas se emplean principalmente en la construcción de estructuras de cubierta y entrepisos livianos.

Asimismo, se utilizan en la edificación de puentes como elementos de soporte para el tablero, y por lo general se apoyan en estribos de concreto armado.

#### **1.3.4. Normas de Construcción**

Las normas de construcción surgieron con la intención de proporcionar a las empresas constructoras una guía que garantizara la seguridad y calidad en las nuevas construcciones. Estas normativas fueron el resultado de la investigación llevada a cabo por expertos de todo el mundo. A lo largo del tiempo, estas normas han evolucionado, corrigiendo sus deficiencias. En la actualidad, Ecuador se ha adaptado a las tendencias mundiales y ha promulgado normas específicas adaptadas a nuestras necesidades, como es el caso de las Normas NEC-2015 [7].

A nivel global, diversas organizaciones se encargan de regular y proponer soluciones para abordar los nuevos desafíos que surgen, como el cambio climático, que ha dado lugar a la desaparición de costas marinas, la erosión del suelo, y la imprevisibilidad de los vientos, entre otros desastres naturales que causan daños y perjuicios. En este contexto, se destacan varias organizaciones que han investigado y propuesto normativas para la construcción de diversas edificaciones en distintas partes del mundo, incluyendo a Ecuador. Estas organizaciones incluyen [29]:

- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015
- Standard American Engineering SAE
- American Iron and Steel Institute AISI
- Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN
- Organización Internacional para la Normalización ISO
- Sociedad Americana de Pruebas y Ensayos ASTM
- Sociedad Americana de Soldadura AWS
- Instituto Nacional Americano de Normas ANSI.

#### ***Load Resistance Factor Design (LRFD)***

Actualmente, el Método LRFD es la opción más eficaz y ampliamente empleada en el diseño de estructuras metálicas debido a su rendimiento sobresaliente y su capacidad para optimizar el uso de materiales. Este método establece que la resistencia requerida

para una estructura se calcula en función de combinaciones de cargas, asegurando que dichas cargas no excedan las capacidades de resistencia de los elementos estructurales que componen la estructura [30].

$$R_a = \sum Y_i Q_i \leq \phi R_n \quad (5)$$

Donde:

$Y_i$ : Factor de carga con dependencia i

$Q_i$ : Efecto de carga con dependencia i

$Y_i Q_i$ : Carga de la estructura i

$R_a$ : Factor de carga i

$\phi$ : Factor de resistencia

$R_n$ : Resistencia nominal

$\phi R_n$ : Resistencia de la estructura

### ***Allowable Stress Design (ASD)***

El Método ASD es una técnica estructural de larga data que ha sido ampliamente empleada en construcciones con luces reducidas. En este enfoque, se diseñan las capacidades de resistencia de los elementos estructurales para que sean iguales o superiores a las cargas nominales [31].

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (6)$$

Donde:

$R_a$ : Resistencia requerida de la estructura

$R_n$ : Resistencia nominal de los elementos



$\Omega$ : Factor de seguridad

$\frac{R_n}{\Omega}$ : Resistencia admisible de la estructura

Es fundamental entender que solo se debe emplear un método específico para cada estructura en proceso de diseño. No se debe recurrir a un enfoque distinto para cada componente, ya que cada método posee combinaciones de cargas particulares.

### **1.3.5. Optimización de Geometría en Estructuras**

La optimización de la geometría en estructuras es un proceso crucial que se puede abordar a través de varios enfoques. Aquí se presentan tres enfoques clave [32]:

#### ***Optimización del Tamaño***

Este enfoque se centra en buscar las dimensiones óptimas de los elementos o secciones que componen la estructura, siguiendo una configuración predefinida. Es un enfoque relativamente sencillo, ya que implica un número limitado y reducido de variables de diseño.

#### ***Optimización de la Forma***

En este caso, se busca la forma óptima de una estructura con una topología previamente definida. Se parte de una forma preestablecida y se busca mejorarla mediante la modificación de la conectividad de elementos o la eliminación de algunos de ellos.

#### ***Optimización de Topología***

Este enfoque se concentra en encontrar la distribución ideal del material dentro de una estructura. Implica la supresión de elementos y/o la modificación de la conectividad de estos elementos. Es un enfoque más complejo, ya que involucra una gran cantidad de variables de diseño.

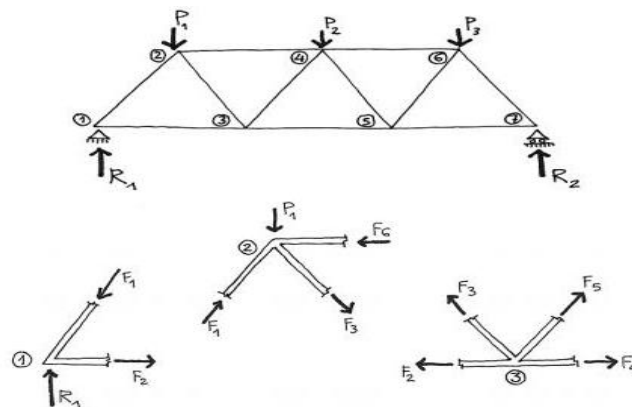
Además, se aborda la optimización de forma y tamaño utilizando un pseudo-algoritmo genético en el contexto de estructuras metálicas tipo cercha a dos aguas, con morfologías claramente definidas por dominios de 3 nodos.

### ***Optimización de Estructuras Tipo Cercha***

El análisis estructural de las cerchas está estrechamente vinculado a la estática gráfica, que proporciona varios métodos de análisis enfocados en diferentes aspectos estructurales de estas celosías. Los primeros métodos de análisis se centraron en determinar el estado de los diversos elementos que conforman la estructura.

#### **1.3.6. Diagrama de Esfuerzos Cremona-Maxwell o Método de los Nodos**

Este método se basa en un estudio sistemático de los diferentes nodos en equilibrio lo que se observa en la Figura 3. Es una herramienta valiosa en el análisis de estas estructuras, aunque su aplicabilidad se limita a estructuras isostáticas, ya que no se puede utilizar en problemas en los que un nodo contiene más de dos barras con fuerzas desconocidas [32].

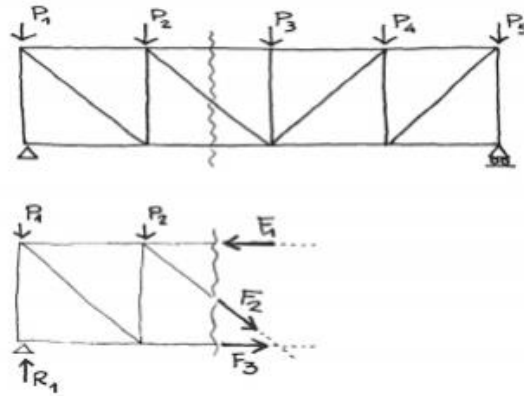


**Figura 3.-** Resolución de una celosía por el método de los nodos  
Fuente. [32]

#### **1.3.7. Método de Ritter o Método de las Secciones**

Este método se basa en subdividir la celosía en secciones mediante cortes como se muestra en la Figura 4, lo que permite la obtención de un nuevo diagrama de cuerpo libre en el cual las únicas incógnitas son los estados de fuerzas de las barras cortadas. Sin embargo, es importante destacar que este método solo es aplicable de manera

efectiva cuando se analizan tres barras o menos simultáneamente. Si se supera este número, el problema se vuelve indeterminado [32].

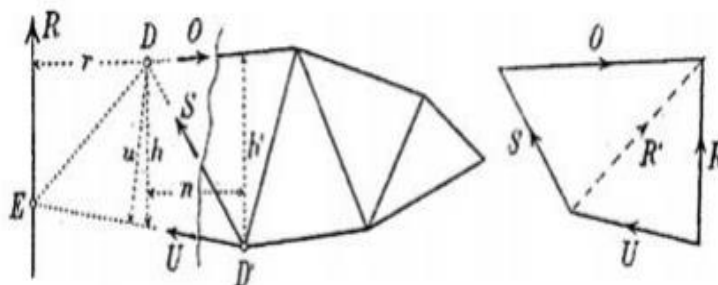


**Figura 4.-** Resolución de una celosía por medio del método de las secciones  
**Fuente.** [13]

### 1.3.8. Método de Culmann

El Método de Culmann es una aproximación gráfica equivalente al Método de las Secciones. Con este enfoque, es posible calcular los esfuerzos internos en las barras debido a las fuerzas que actúan en la estructura, sin necesidad de resolver todo el sistema estructural. Este método ofrece una forma efectiva de analizar las celosías [32].

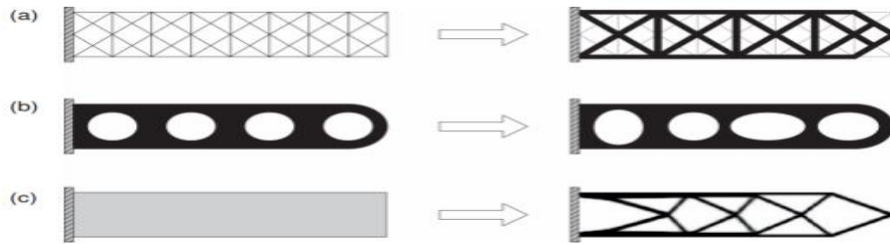
Estos métodos son fundamentales en el análisis de estructuras tipo celosía, ya que se centran en el comportamiento de los elementos estructurales sometidos a cargas específicas en un espacio definido como se observa en la Figura 5. Buscan optimizar la disposición de estos elementos en dicho espacio para lograr un rendimiento óptimo en función del objetivo de optimización deseado.



**Figura 5.-** Resolución de celosía por medio del método de Culmann  
**Fuente.** [13]

### 1.3.9. Métodos de Optimización para Celosías

La optimización de celosías, en el contexto de maximizar su eficiencia estructural, se clasifica en tres categorías principales, cada una de las cuales aborda un aspecto particular de la optimización. Estas categorías se observan en la Figura 6 y se detallan a continuación [32]:



**Figura 6.-** Categorías de optimización de celosías: (a) Optimización Paramétrica.  
(b) Optimización de Forma. (c) Optimización Topológica

Fuente. [33]

#### ***Optimización Paramétrica***

Este enfoque se basa en la discretización de un dominio de diseño continuo. Implica la creación de una malla de nodos conectados entre sí, lo que genera diversas geometrías posibles. Al ajustar parámetros específicos, se busca optimizar la estructura para lograr un rendimiento deseado.

#### ***Optimización Topológica***

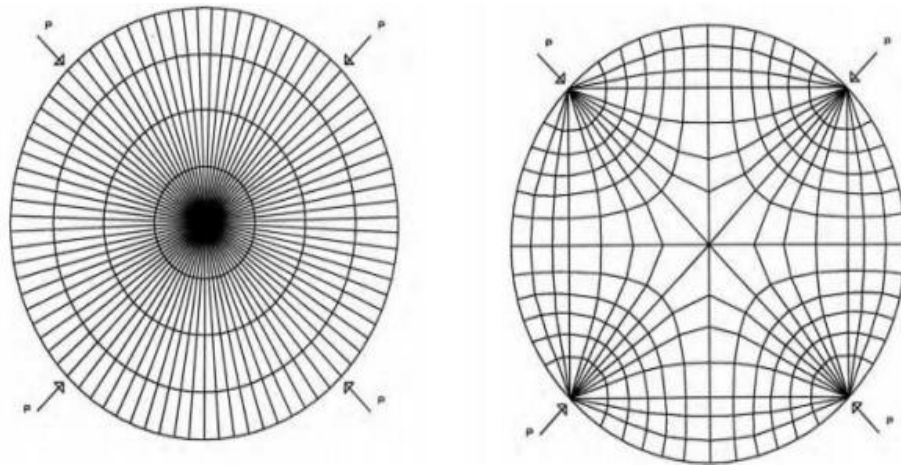
El propósito de este método es identificar la distribución más eficiente del material en un volumen de diseño predefinido. Se logra eliminando material en áreas no críticas según la distribución de esfuerzos, lo que se obtiene al someter la estructura a cargas y retirar material en consecuencia. La optimización topológica implica la selección de celdas según los criterios de esfuerzos aplicados.

#### ***Líneas Isostáticas***

Este método se basa en el estudio de la distribución de esfuerzos en un dominio bajo una carga específica. Emplea líneas que atraviesan el diseño y muestran valores uniformes de esfuerzos detallados en la Figura 7. Esto facilita la comprensión de cómo

los esfuerzos internos se distribuyen en el dominio y proporciona información sobre su comportamiento [32].

Estos métodos se utilizan para mejorar la eficiencia y el rendimiento de las celosías al maximizar su capacidad de carga y resistencia estructural. Cada uno de ellos aborda aspectos específicos del proceso de optimización y se elige según los objetivos y restricciones del proyecto.



**Figura 7.-** Malla En Base A Las Líneas Isostáticas  
**Fuente.** [13]

### 1.3.10. Configuración de Miembros Estructurales

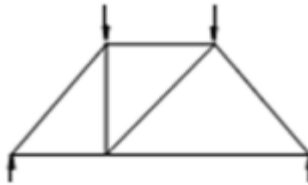
Cuando se requiere construir un techo metálico para una estructura con amplios espacios entre columnas o muros, sin soportes intermedios en distancias superiores a 40 pies, es conveniente emplear sistemas estructurales capaces de soportar las cargas previstas y, al mismo tiempo, ser más económicos que una viga simplemente apoyada. La configuración de miembros estructurales más adecuada para este propósito se llama una "armadura para techo" [34].

Una armadura se compone de elementos conectados entre sí, y su diseño proporciona una configuración estructural óptima. Por lo general, estas armaduras se apoyan solo en sus extremos y están formadas por una serie de elementos o miembros rectos conectados de tal manera que distribuyen las cargas de tensión o compresión generadas en la armadura de un miembro a otro [35]. La forma geométrica más idónea para soportar esfuerzos sin deformarse es el triángulo. Por lo tanto, una armadura óptima e

ideal se compone esencialmente de un sistema de triángulos, asegurando que los elementos estén ubicados de manera que solo experimenten esfuerzos de tensión.

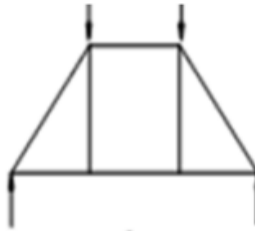
Existen varios tipos de configuraciones de armaduras, que se dividen en [34]:

a) Configuración completa: Este tipo de armadura que se muestra en la Figura 8 se compone del número mínimo de elementos necesarios para formar una estructura completamente de triángulos conectados entre sí.



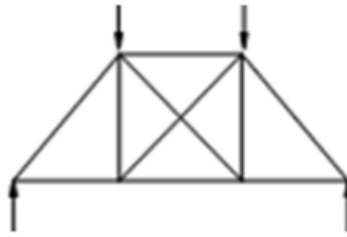
**Figura 8.-** Configuración completa  
**Fuente.** [13]

b) Configuración incompleta: En este tipo de armadura mostrada en la Figura 9, las uniones de sus elementos no forman total o parcialmente un triángulo. Sin embargo, las armaduras con configuración incompleta pueden resultar inestables en presencia de cargas asimétricas o perpendiculares a los elementos.



**Figura 9.-** Configuración incompleta  
**Fuente.** [22]

c) Configuración redundante: En este caso, los elementos que forman la armadura son más de los necesarios para el número mínimo de triángulos. A menudo, uno de los elementos se considera redundante y no contribuye significativamente a la resistencia de la estructura como se muestra en la Figura 10.

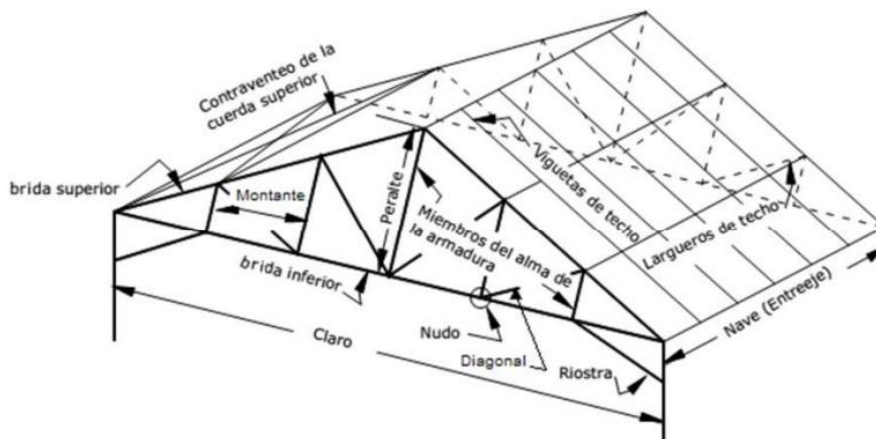


**Figura 10.-** Configuración redundante  
Fuente. [13]

### 1.3.11. Elementos de una Armadura

Las armaduras, utilizadas en la construcción, están compuestas por una serie de elementos conectados mediante soldadura o empernado. Los componentes clave de una armadura incluyen la brida superior, la brida inferior y los miembros del alma, que consisten en montantes y diagonales [24]. La brida superior se refiere a la línea de elementos ubicados en la parte más alta de la armadura, que se extiende de un soporte a otro, pasando por la cumbrera. Por otro lado, la brida inferior comprende la línea de elementos en la parte más baja que se extiende de un soporte a otro. Los miembros del alma conectan tanto la brida superior como la brida inferior y, dependiendo de su posición, se denominan montantes o diagonales.

Los miembros de compresión en una armadura se denominan puntales, mientras que los que experimentan fuerzas de tensión se llaman tirantes, detalladas en la Figura 11. La junta en el apoyo de una armadura triangular se llama junta de talón, y la junta en el punto más alto se llama cumbrera. Además, los puntos de unión de los miembros del alma a las cuerdas se denominan nudos [36].



**Figura 11.-** Partes de una Armadura tipo Howe  
Fuente. [14]

### 1.3.12. Tipos de Armaduras

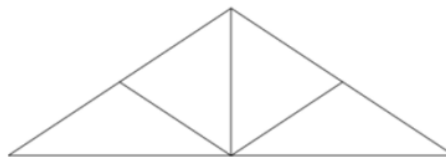
En cuanto a los tipos de armaduras, se pueden clasificar en diversas categorías, dependiendo de cómo se combinan los sistemas de triangulación [34]:

a) Armadura tipo “A”: Se considera la más sencilla y básica de las armaduras como se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.-** Armadura tipo “A”  
**Fuente.** [15]

b) Armadura de montante maestro: Similar a la armadura tipo “A” y también bastante como se observa en la Figura 13.



**Figura 13.-** Armadura de montante maestro  
**Fuente.** [15]

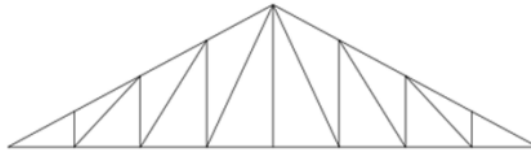
c) Armadura tipo Howe: Comúnmente utilizada para techos a dos aguas, con una capacidad para cubrir claros de hasta 30 metros. Sus diagonales trabajan en compresión y los montantes en tensión se ejemplifica en la Figura 14.



**Figura 14.-** Armadura tipo Howe  
**Fuente.** [15]

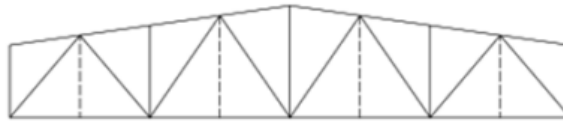
d) Armadura tipo Pratt: Similar a la armadura tipo Howe, pero con direcciones de miembros diagonales diferentes como se muestra en la Figura 15. Suelen utilizarse económicamente en techos planos para claros de entre 12 y 38 metros.





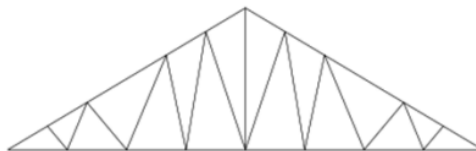
**Figura 15.-** Armadura tipo Pratt  
**Fuente.** [15]

e) Armadura tipo Warren: Común en techos metálicos y generalmente más eficiente que la Pratt se ejemplifica en la Figura 16. Puede utilizarse económicamente en techos planos para claros de 12 a 38 metros o, para techos completamente planos, para claros de hasta 9 o 12 metros.



**Figura 16.-** Armadura tipo Warren  
**Fuente.** [15]

f) Armadura tipo Belga: Se caracterizan por tener diagonales perpendiculares a las bridas superior e inferior como se muestra en la Figura 17, que están sometidas a tensión. Pueden cubrir claros de hasta 30 metros.



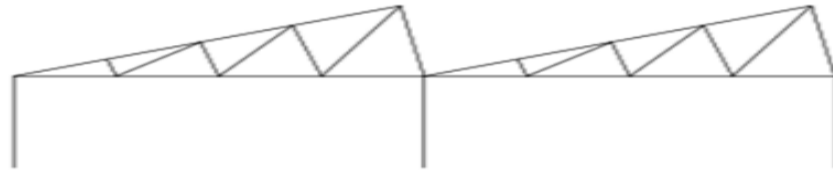
**Figura 17.-** Armadura tipo Belga  
**Fuente.** [15]

g) Armadura tipo Fink: Utilizada para claros de alrededor de 36.5 metros. Se vuelve más económica al tener la mayoría de sus miembros en tensión. Las armaduras Fink se dividen en una gran cantidad de triángulos y pueden adaptarse a diferentes espaciamientos de largueros esto se ejemplifica en la Figura 18. Son populares en techos con pendientes fuertes, que varían entre 12.7 y 15.2 centímetros por metro.



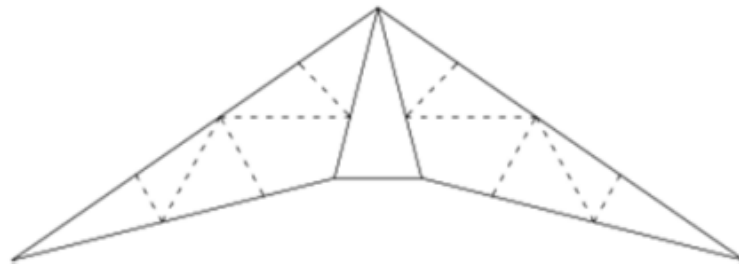
**Figura 18.-** Armadura tipo Fink  
**Fuente.** [15]

h) Armadura tipo Dientes de Sierra: Principalmente utilizada en talleres para distribuir la luz natural sobre áreas de piso cubiertas como se detalla en la Figura 19. Ayuda a cubrir claros de hasta 15 metros.



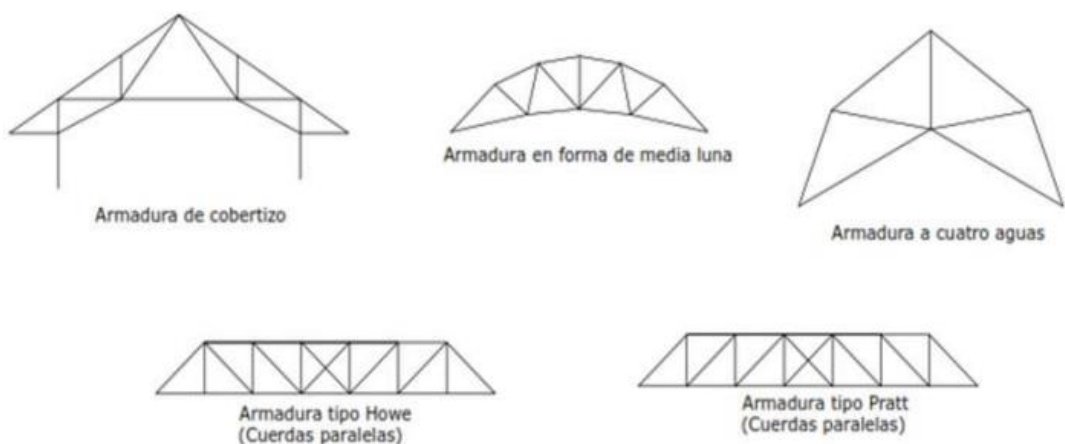
**Figura 19.-** Armadura tipo dientes de sierra  
**Fuente.** [15]

i) Armadura Polonceau: Puede emplearse para cubrir claros de hasta 24 metros como se muestra en la Figura 19.



**Figura 20.-** Armadura Polonceau  
**Fuente.** [15]

j) Otras Armaduras: Además de las mencionadas anteriormente, existen otras formas de armaduras que presentan variaciones en sus configuraciones como las que se detallan en la Figura 21.

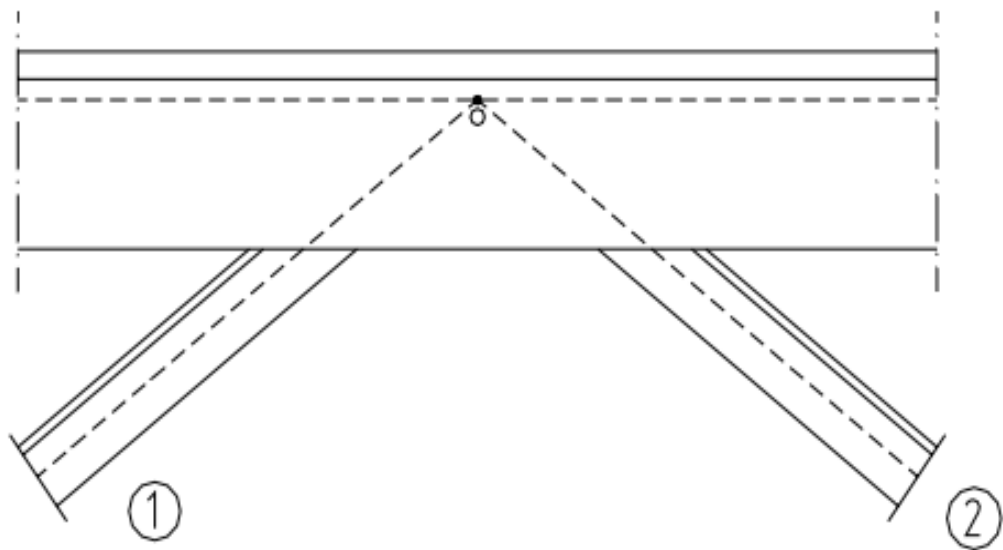


**Figura 21.-** Otros tipos de armadura  
**Fuente.** [15]

### 1.3.13. Principios Constructivos y Cálculo en las Celosías Indeformables

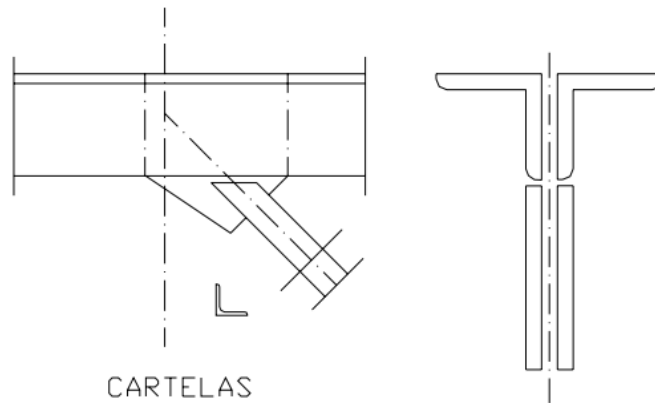
El cálculo simplificado de las celosías indeformables, que es el enfoque comúnmente adoptado, se basa en tres principios simplificadores respaldados por la experiencia [37].

a) Primer principio: En un nudo, los ejes (las líneas de los centros de gravedad) de los perfiles que se encuentran deben coincidir en un mismo punto como se muestra en la Figura 22.



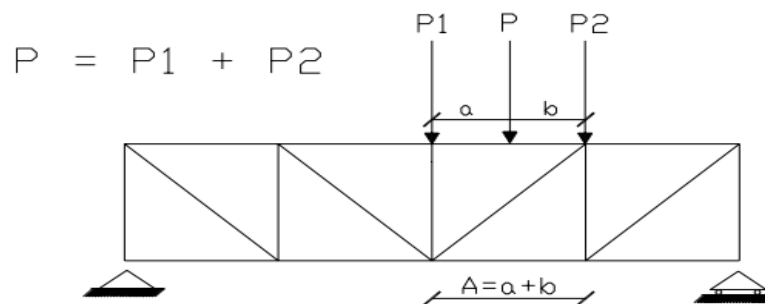
**Figura 22.-** Primer principio del cálculo de celosías  
**Fuente.** [35]

b) Segundo principio: Las cargas deben estar contenidas en el plano de la viga, y la disposición de los perfiles debe ser simétrica con respecto al plano de la cercha mostrada en la Figura 23. Esta condición se cumple fácilmente al utilizar dos perfiles simétricos para formar cada cordón. En casos de cerchas o vigas de celosía de menor relevancia, un solo perfil podría ser suficiente, aunque se prefiere utilizar dos perfiles para mantener la simetría con respecto al plano vertical de la celosía. Aunque esta elección implica una mayor mano de obra en los detalles constructivos, ofrece la ventaja de reducir el riesgo de que los elementos comprimidos puedan sufrir pandeo debido a la flexión-torsión.



**Figura 23.-** Segundo principio del cálculo de celosías  
**Fuente.** [35]

c) Tercer principio: Los sistemas de cálculo de estructuras trianguladas, como Cremona o Wiliot, requieren que las cargas se apoyen directamente en los nudos. Si esto no es posible, se descomponen las cargas en varias partes, distribuyéndolas en diferentes nudos de manera que la suma de las cargas coincida con la carga total esto se detalla en la Figura 24. Otra alternativa es dimensionar el cordón superior de manera que sea capaz de soportar estas cargas en cualquier punto de su longitud.



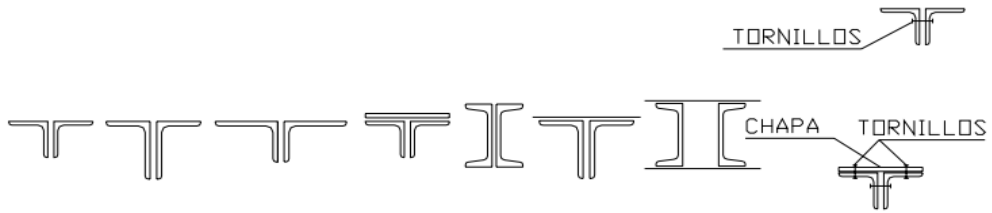
**Figura 24.-** Tercer principio del cálculo de celosías  
**Fuente.** [35]

#### 1.3.14. Componentes de las Vigas de Celosía

Tanto las vigas de celosía en su forma tradicional como las cerchas se componen de dos elementos principales: los cordones, que constan de una parte superior e inferior, y los elementos de relleno, que incluyen montantes y diagonales. A continuación, se detallan los perfiles que generalmente se emplean para cada uno de estos componentes [38]. Para los cordones, se utilizan los siguientes perfiles:

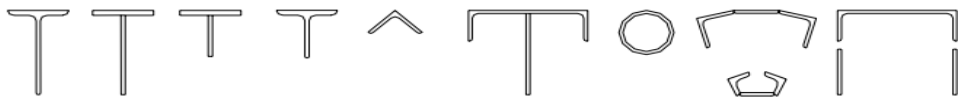
a) En el caso de construcción atornillada, se recurre a la utilización de dos angulares, dos UPN, entre otros. La unión puede llevarse a cabo mediante el atornillado directo

de los perfiles o mediante el uso de cartelas intermedias, como se ilustra en el esquema de la Figura 25.



**Figura 25.-** Construcción atornillada para cordones  
**Fuente.** [16]

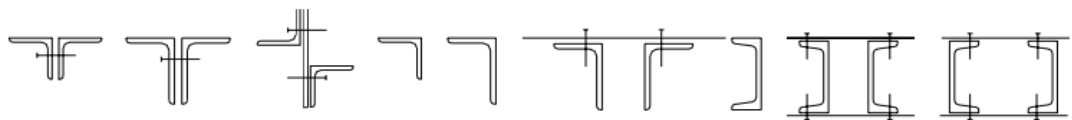
b) En construcción soldada, además de los perfiles mencionados para la construcción atornillada, se emplean perfiles en T simple, IPN, HE, así como otros que se detallan a continuación en la Figura 26.



**Figura 26.-** Construcción soldada para cordones  
**Fuente.** [16]

En cuanto a los montantes y diagonales, se emplean los siguientes perfiles:

a) En construcción atornillada, es común utilizar uno o dos angulares (iguales o desiguales en lados, con o sin cartela intermedia) y uno o dos UPN (con o sin cartela intermedia) esto se detalla en la Figura 27.



**Figura 27.-** Construcción atornillada para montantes y diagonales  
**Fuente.** [16]

b) En construcción soldada, se pueden emplear uno o dos angulares (colocados en la posición deseada), perfiles cuadrados, redondos, tubulares, T simple, IPN, UPN, y otros perfiles similares correspondientes a la Figura 28.



**Figura 28.-** Construcción soldada para montantes y diagonales  
**Fuente.** [16]

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar las consideraciones de diseño, fabricación y montaje de cerchas de acero tipo Howe para validar criterios de diseños en la nave oriental del mercado mayorista del cantón Salcedo a cargo de la empresa FYMSA S.A.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Estudiar los requerimientos de construcción en acero aplicando la norma NEC y AISC para conocer los criterios de diseño en la nave A del mercado mayorista del cantón Salcedo a cargo de la empresa FYMSA.
- Determinar las variables para el diseño de cerchas de acero tipo Howe en la norma NEC y AISC para comprobar criterios de diseño en la construcción de cerchas de Acero en la nave A del mercado mayorista del cantón Salcedo.
- Analizar la incidencia de las variables significativas en el proceso de diseño de las naves industriales (cerchas de acero) mediante SAP 2000 para optimizar el proceso de fabricación en la nave oriental del mercado mayorista del cantón Salcedo a cargo de la empresa FYMSA.

## **1.5.Hipótesis**

H1: Es factible el uso de cerchas tipo Howe en la empresa FYMSA como una alternativa en el uso de naves industriales considerando su diseño fabricación y montaje.

H0: No es factible el uso de cerchas tipo Howe en la empresa FYMSA como una alternativa en el uso de naves industriales considerando su diseño fabricación y montaje.

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

### 2.1.Ubicación

El sitio de interés donde se desarrolló la presente investigación es la ciudad de Salcedo, provincia de Cotopaxi, en una nave industrial cuya configuración estructural está proyectada por cerchas de acero tipo Howe.

### 2.2.Materiales

Los materiales que se utilizaron en la presente investigación son fundamentales para establecer las consideraciones de diseño, fabricación y montaje de cerchas de acero tipo Howe para validar criterios de diseños en naves industriales, en la Tabla 2 se detallan los materiales para la investigación.

**Tabla 2.- Recursos y materiales asignados**

<b>Denominación</b>	<b>Detalle</b>
Ordenador	Se utilizó como medio físico para el desarrollo del trabajo técnico, el cual es una herramienta fundamental, ya que contiene diversos softwares, además de almacenar toda la información disponible en los diferentes buscadores en revistas científicas y repositorios que se encuentran en la web.
Software de análisis y cálculo estructural	Se empleó un software de análisis estructural disponible para el desarrollo del proyecto.
Material de Oficina	Elementos donde se pudo tomar apuntes, escribir, imprimir: hojas, cuadernos, bloc de notas, agenda, calendario, etc.
Flexómetro	Elemento que permitió tomar medidas de las dimensiones de la nave industrial oriental del mercado mayorista.

## 2.3.Métodos

### 2.3.1. Enfoque

El proyecto empleará un enfoque cuantitativo, ya que es necesario expresar los resultados de la investigación sobre la fabricación de cerchas de acero tipo Howe y su productividad en FYMSA en términos de cantidades y porcentajes. Este enfoque sigue un proceso secuencial en el que se recopila información para luego formular una hipótesis basada en las mediciones efectuadas, todo con el propósito de establecer directrices y corroborar las teorías previamente establecidas.

### 2.3.2. Modalidad

Este estudio se basa en dos modalidades que se describen a continuación:

**De campo:** que se utilizará para realizar un estudio correspondiente a los procesos utilizados dentro de la empresa FYMSA desde el punto de vista de la recopilación de datos. Agudelo *et al.*, [40] indica que la investigación de campo es un procedimiento que, mediante la aplicación del método científico permite obtener información al respecto de un determinado tema. Asimismo, habilita el examen de la situación con el propósito de identificar necesidades y desafíos, y aplicar los hallazgos con objetivos prácticos.

**Bibliográfico–documental:** mediante la búsqueda en recursos de información que incluyen documentos como libros, revistas y sitios web especializados, se pueden identificar criterios y conceptos útiles para respaldar la toma de decisiones eficaces con el fin de mejorar los procesos en la organización FYMSA. Bueno [39] asegura que la investigación basada en fuentes bibliográficas es una valiosa fuente de información y constituye un paso inicial esencial en el proceso de investigación. Esta etapa ofrece detalles acerca de estudios previos, teorías, hipótesis, experimentos, resultados, y otros aspectos cruciales, lo que la convierte en el punto de partida fundamental para llevar a cabo una investigación eficaz.



### **2.3.3. Tipos de investigación**

El presente estudio está basado en tres tipologías de investigación; cada una de ellas se enlista a continuación:

- Descriptiva, puesto que se desea definir el comportamiento de las cerchas tipo Howe en una nave industrial.
- Exploratorio, ya que se indaga para encontrar las falencias que existen dentro de los procesos productivos de FYMSA y su impacto en la productividad.
- Aplicada, debido a la necesidad de información en torno al tema de interés para la verificación y validación de resultados obtenidos

### **2.3.4. Técnicas**

En cuanto a la técnica se utiliza la observación, esta se define por técnicas de estudio e investigación que permiten apreciar la ejecución de procesos y/o actividades basándose en sus características intrínsecas; cuyo instrumento será la ficha de observación. La observación, es usada en investigación para determinar cuantitativamente la productividad en la fabricación cerchas de acero tipo Howe para el mercado mayorista, para detectar cuáles son los problemas que manifiestan y qué medidas o correctivos tomar para mejorar esta condición. Lo que para Muguira [40] corresponde a una valoración de campo de sus capacidades de producción frente a una serie de actividades consistentes en ítems a ser observados.

La encuesta se enfoca en técnicos operativos y personal de nivel operativo, lo que implica que el investigador persigue un objetivo específico y bien definido. Con esta técnica, el objetivo es recopilar opiniones relacionadas con las variables de estudio. Por un lado, se pretende describir el problema que se presenta en el proceso de producción y su impacto en la productividad, Hernández *et al.*, [29], plantea que el investigador usa su marco de referencia, sus metas, sus habilidades; pero busca aumentar el proceso de encuesta mediante el uso de una herramienta o un instrumento de cuestionario estructurado, que orienta el registro de opiniones mediante opciones de respuesta.

Para evaluar la influencia de las variables relevantes en el proceso de diseño de naves industriales, específicamente cerchas de acero, se aplicará el software SAP 2000. Esto permitirá utilizar el análisis de elementos finitos para determinar la respuesta en términos de fuerzas, esfuerzos y deformaciones en las áreas y sólidos, presentando los resultados de manera gráfica y en forma de tablas. Este enfoque convierte a esta herramienta en una valiosa utilidad para ingenieros estructurales que se dedican a la investigación, desarrollo de proyectos y construcción.

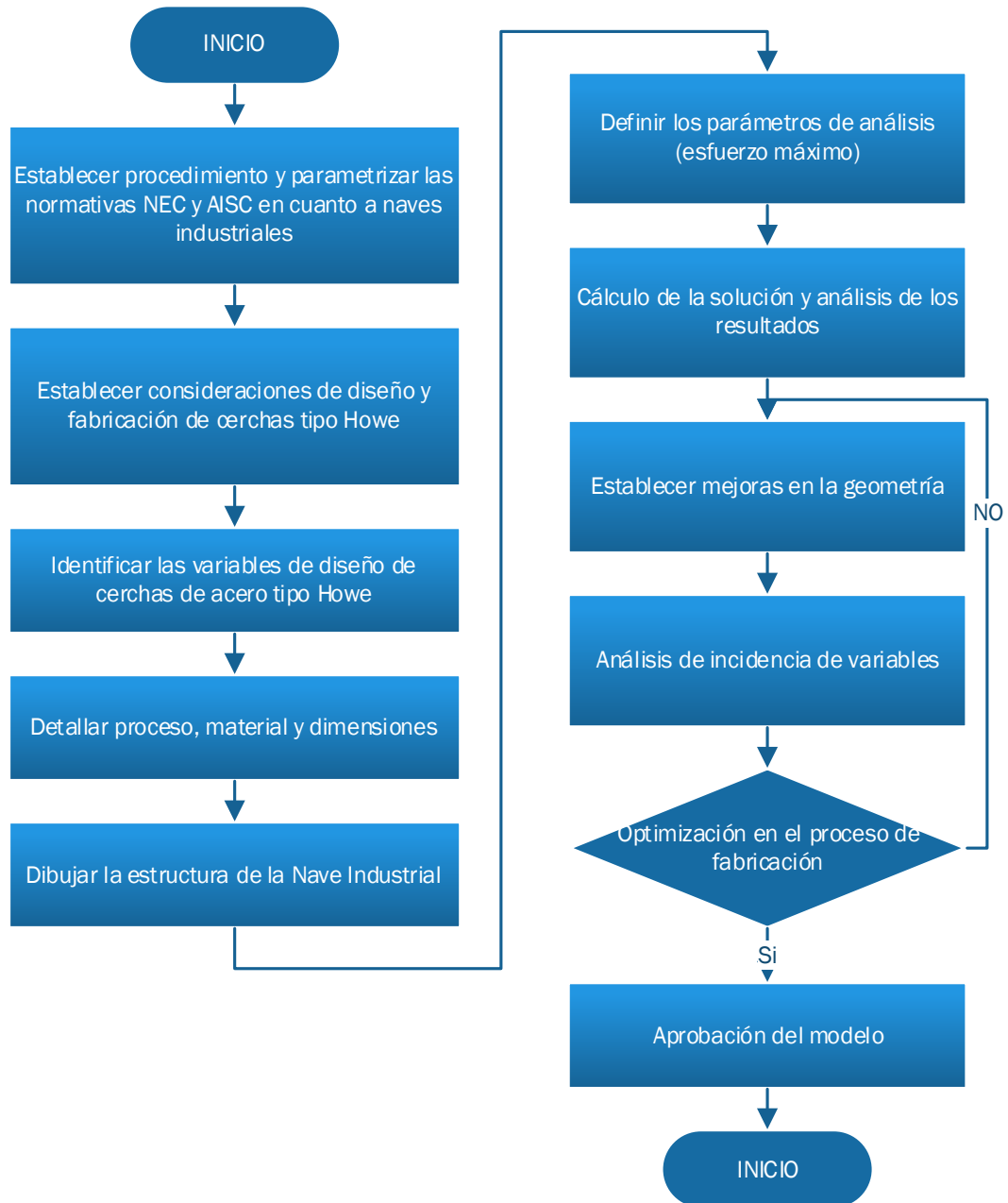
La entrevista se llevará a cabo con directivos y personal administrativo, y con este propósito, se desarrollará un conjunto de preguntas diseñadas para obtener información a través de una conversación fluida con los participantes. Esta técnica de entrevista, que utiliza un guión e preguntas abiertas como instrumento, se ha diseñado con el objetivo de promover un diálogo que permita a los entrevistados expresar sus opiniones e ideas de manera detallada. Para ello, Rekalde *et al.*, [41] la investigadora toma contacto personal con docentes para plantear un diálogo y motivar la secuencia de preguntas para recabar información pertinente y relevante, para profundizar en el conocimiento del tema planteado.

### **2.3.5. Diagrama de la metodología**

El proceso empleado en la presente investigación se detalla en la Figura 29 denotada a continuación. Es necesario destacar que para la construcción de cerchas de acero se deben cumplir con las normativas y códigos de construcción. Dentro de los parámetros generales a considerar se enlistan los siguientes:

- Cargas y fuerzas: Es necesario determinar las cargas que actuarán sobre la cercha, como las cargas de viento, nieve, lluvia, y las cargas vivas y muertas asociadas con el uso previsto de la estructura.
- Material: Especificar las propiedades del acero que se utilizará en la cercha, incluyendo el límite elástico, la resistencia a la tracción, la ductilidad, entre otros.
- Geometría de la cercha: Definir la altura, longitud y configuración de la cercha. Esto incluye la distancia entre los nodos y la inclinación de los miembros.
- Conexiones: Diseñar las conexiones entre los miembros de la cercha, asegurando que sean capaces de transmitir las fuerzas de manera eficiente y segura.

- Soldaduras y pernos: Especificar los métodos de unión, ya sea mediante soldaduras o pernos, y garantizar que cumplan con los estándares de calidad y seguridad.
- Deflexiones y deformaciones: Limitar las deflexiones y deformaciones dentro de los límites permisibles para garantizar la estabilidad y seguridad estructural.



**Figura 29.-** Plan de procesamiento y análisis

### 2.3.6. Proceso de fabricación de cerchas empresa FYMSA

Los procesos de fabricación en general para la empresa FYMSA siguen los lineamientos que se muestran en la Figura 30.

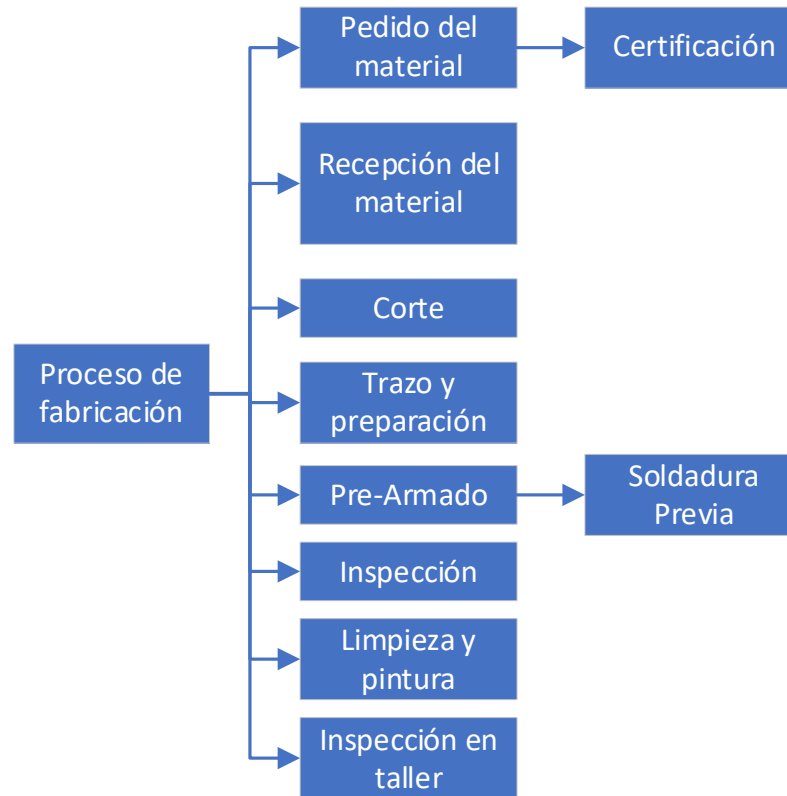


Figura 30.- Proceso de fabricación de la cercha

#### 2.3.6.1. Pedido del material

La compañía FYMSA considera cuidadosamente las dimensiones, tolerancias, juntas y ajustes requeridos para las piezas, con el objetivo de evitar desperdicios tanto desde una perspectiva estructural como económica. En términos de material, se busca que este se ajuste a las medidas comerciales, entendiendo como tales las dimensiones estándar de fabricación de cada componente necesario para la estructura.

Es fundamental contar con el Certificado de Conformidad de la Producción del Acero; de lo contrario, se deben llevar a cabo pruebas de laboratorio para determinar la composición del material.

### **2.3.6.2.Recepción del material al taller**

FYMSA cuenta con un espacio apropiado para el almacenamiento como se muestra en la Figura 31, el cual se compone de dos áreas. La primera se destina al resguardo de los elementos estructurales, es decir, la materia prima. La segunda se utiliza para almacenar herramientas y equipos de seguridad, como guantes y cascos.



**Figura 31.-** Recepción de materia prima

### **2.3.6.3.Trazo y preparación**

El procedimiento de trazado implica replicar sobre una superficie metálica las dimensiones o referencias necesarias para los subsiguientes procesos de fabricación. La ejecución del trazado se llevará a cabo de acuerdo con las indicaciones detalladas en los planos del taller. El trazador también asumirá la responsabilidad de preparar las piezas para la soldadura como se detalla en la Figura 32, incluyendo la preparación de biseles, cortes especiales, entre otros.

Con el fin de lograr una mayor precisión en el acople de las juntas, se lleva a cabo un perforado simultáneo en las partes mediante equipos automáticos de trazado y perforado. La aprobación de este procedimiento recae en el jefe de taller.



**Figura 32.-** Proceso de trazado y preparación

#### **2.3.6.4. Corte del material**

El corte de los elementos estructurales se realiza teniendo en cuenta las siguientes indicaciones:

- Si el corte es recto se controla mediante topes, en el caso de cortes con forma curva se los realiza por control numérico o con fotocélulas que siguen las figuras trazadas a escala.
- Los bordes del corte deben estar libres de rebabas, filos o irregularidades.
- Los cortes realizados deben regirse a los planos de taller.

#### ***Corte con cizalla (guillotina)***

Este procedimiento implica la separación de las piezas al aplicar fuerzas opuestas de igual magnitud sobre el elemento o la chapa metálica. El uso de la cizalla está autorizado para chapas pequeñas y delgadas, tanto planas como angulares, siempre que el espesor sea inferior a 15 mm ( $e < 15 \text{ mm}$ ) como se observa en la Figura 33.



**Figura 33.-** Proceso de corte cercha

### ***Proceso Oxicorte***

El procedimiento se fundamenta en la rápida formación de óxido de hierro, generado al introducir una corriente de oxígeno puro a alta presión en el área de corte. La oxidación acelerada del hierro se produce debido al oxígeno de alta pureza, desencadenando una reacción que genera calor. El flujo de oxígeno y los gases de combustión desplazan el óxido fundido, y el metal se inflama a su paso, resultando en un corte estrecho.

El oxicorte se presenta como una opción rentable para cortar láminas, ya sea con o sin preparación. Sin embargo, su aplicación se limita al acero al carbono y de baja aleación. El oxicorte manual puede manejar espesores de entre 1,6 mm y 10,2 mm, según la AWS C4.6M se encuentra en una tolerancia de  $\pm 1,3$  mm, mientras que espesores mayores se pueden cortar eficientemente mediante máquinas de corte.

### ***Inspección de proceso de Corte***

Es necesario verificar la adecuada ejecución del proceso de corte; en caso de detectarse alguna falla en el procedimiento, se llevará a cabo el registro de no conformidades.

Dimensiones y Tolerancias: Las piezas cortadas deben cumplir con las dimensiones especificadas en los planos y las tolerancias permitidas. Se establecen rangos aceptables para las dimensiones para garantizar la precisión requerida.

- **Ángulos y Biselados:** En caso de que el proceso de corte requiera ángulos particulares o biselados, es necesario verificar y cumplir con las directrices del proyecto. Se establecerán parámetros para la aceptación o rechazo en función de estos ángulos y biselados.
- **Acabado de la Superficie:** La calidad de la superficie cortada es esencial. Se deben especificar criterios para la rugosidad o irregularidades permitidas en la superficie cortada.
- **Inspección Visual:** Se puede realizar una inspección visual para detectar defectos evidentes, como grietas, inclusiones de escoria u otras imperfecciones en la zona cortada.
- **Pruebas No Destructivas (NDT):** En algunos casos, se pueden realizar pruebas no destructivas, como la inspección por partículas magnéticas o ensayos ultrasónicos, para detectar posibles defectos internos o discontinuidades.
- **Documentación y Marcado:** Asegurar que las piezas cortadas estén marcadas correctamente con información de identificación y cumplan con los requisitos documentales establecidos en los estándares y especificaciones del proyecto.
- **Soldabilidad:** Si las piezas cortadas se utilizarán en soldaduras, se pueden establecer criterios específicos para garantizar la calidad y la soldabilidad de los bordes cortados.

#### **2.3.6.5.Limpieza y preparación de juntas**

Antes de aplicar la pintura, es imperativo eliminar cualquier residuo de grasa, aceite, polvo u otros contaminantes presentes en la superficie preparada. En el caso de que aparezcan áreas oxidadas después de la preparación, es necesario realizar una nueva limpieza.

La superficie debe estar completamente desprovista de aceite, grasa, polvo, óxido y cualquier resto de pintura, sin excepciones. Se pueden emplear uniones mediante soldadura o pernos, pero la determinante será el diseño, la utilización de elementos



complementarios (como ángulos, barras de conexión, nervaduras de refuerzo, etc.), la disposición de los elementos de conexión y las holguras o elementos que permitan la rotación relativa entre dos componentes. Las siguientes actividades constituyen los pasos fundamentales de este proceso:

- Verificar tolerancias
- Verificar biseles
- Verificar perpendicularidad

#### **2.3.6.6. Armado de cerchas en taller**

Esta fase representa el paso más crucial en el proceso de fabricación de elementos estructurales, ya que su objetivo principal es el ensamblaje de las piezas elaboradas en la posición relativa que mantendrán al realizar las uniones definitivas.

En cuanto a las técnicas de unión, se deben seguir las siguientes pautas:

- Si la unión se va a realizar mediante tornillos calibrados o de alta resistencia, estos se fijarán con tornillos de armado, cuyo diámetro será menor que el diámetro nominal del agujero correspondiente.
- Para las piezas que se unirán mediante soldadura, se asegurarán entre sí con medios apropiados que garanticen, sin ejercer una coacción excesiva, su inmovilidad durante el proceso de soldadura y el subsiguiente enfriamiento. Esto se hace con el propósito de lograr precisión en la posición y facilitar el trabajo de soldadura, como se observa en la Figura 34.



**Figura 34.- Armado de la Cercha**

### **2.3.6.7. Inspección de la soldadura**

Después de completar el proceso de soldadura, unión o conexión de las piezas, es necesario llevar a cabo una inspección exhaustiva del procedimiento como se muestra en la Figura 35. Esta revisión debe abarcar cada unión, teniendo en cuenta aspectos como el tamaño de la soldadura o unión, incluyendo su longitud y apariencia exterior. Se debe verificar que no haya distorsiones que excedan los límites permitidos según las normas de aceptación o rechazo del proceso.



**Figura 35.-** Inspección de soldadura

En la empresa FYMSA se efectúan pruebas de ultrasonido e inspección visual, según la AWS basándose en la Tabla 8.3 y 10.15 del código D1.1, los criterios de aceptación y rechazo se muestra en el Anexo 5 y Anexo 6.

### **2.3.6.8. Pintura en taller**

Las pinturas y disolventes deberán ser almacenados en lugares con buena ventilación y alejados del calor, del fuego y de las chispas como se observa en la Figura 36. El mezclado de los componentes de la pintura se realizará de acuerdo con las instrucciones del fabricante el mismo que indicará el periodo de caducidad de los productos mezclados. La pintura debe mantenerse en buenas condiciones de homogeneidad.

La National Association of Corrosion Engineers (NACE) proporciona directrices y estándares en el campo de la protección contra la corrosión, los espesores recomendados pueden depender del tipo de ambiente, en lugares de clima frío es recomendable utilizar un espesor de 0.5 mm.



**Figura 36.-** Pintura de cerchas en el taller

### 2.3.7. Normativas NEC y AISC

Según la AISC 360-16 el método de diseño LRFD ideal para los factores de carga que por lo general es mayor a 1.0, denominándose carga factorizada. Se busca encontrar la envolvente de estos valores mayorados ya sea en el cálculo para los momentos, cortantes, fuerzas axiales entre otras; los cuales no deben superar a la resistencia nominal del elemento multiplicado por su factor de reducción ( $\phi$ ). La ecuación que rige para este método viene a ser el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Factor de reducción } (\phi) \times \text{Resistencia nominal} & \quad (7) \\ & \geq \text{fuerza factorizada calculada} \end{aligned}$$

$$\phi R_n \geq R_u \quad (8)$$

Las combinaciones de carga que se aplican para el método LRFD se hicieron considerando la condición más desfavorable en el elemento.

$$1) U = 1.4D \quad (9)$$

$$2) U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L \text{ o } S \text{ o } R) \quad (10)$$

$$3) U = 1.2D + 1.6(L \text{ o } S \text{ o } R) + 0.5(L * \text{ o } 0.5W) \quad (11)$$

$$4) U = 1.2D + 1.0W + L * + 0.5(L \text{ o } S \text{ o } R) \quad (12)$$

$$5) U = 0.9D + 1.0W \quad (13)$$

Donde:

L = Carga Viva

D = Carga Muerta

W = Carga de Viento

S = Carga de Granizo

Los factores de reducción dependerán del esfuerzo al que se esté sometiendo el elemento, para ello se presenta la siguiente Tabla 3 resumen:

**Tabla 3.-** Factores de reducción

Factor de reducción ( $\phi$ )	Elemento o Conexión
0.9	Sección total en tracción
0.75	Sección neta de conexión en tracción
0.9	Elementos en flexión
0.85	Elementos en compresión axial
0.75	Pernos en tracción

### 2.3.7.1. Estimación de cargas

#### Carga Muerta

La carga muerta se considera el peso propio de los elementos a continuación en la Tabla 4 se muestra los elementos de la cercha con el peso de cada uno de los elementos estructurales.

**Tabla 4.-** Peso de la cercha

Especificación	Longitud	Cant.	Peso unitario (Kg/m)	Peso total (Kg)
Cercha				
40x40x3	36.05	100	3.54	12761.70
40x40x3	0.80	2450	4.48	8780.80
150x50x2	1.07	2400	4.48	11504.64
50x50x3	0.65	2450	4.48	7134.40
Total				40181.54

El peso total de la cercha con todos sus elementos es de 40181.54Kg lo que corresponde a la carga muerta.

#### Carga Viva

La carga viva se tomará la establecida por la NEC 2015 para cubiertas y la acumulación de ceniza y granizo por la región sierra en la que se implantará el proyecto como se observa en la Tabla 5:

**Tabla 5.-** Cargas vivas cubierta

<b>Cargas Vivas</b>		
<b>NEC 2015</b>		
Ocupación	Cubierta	
CV	70	kg/m <sup>2</sup>
Granizo	Pendiente menor al 5%	
CV	10	kg/m <sup>2</sup>
<b>CV</b>	<b>80</b>	<b>kg/m<sup>2</sup></b>

$$CV_{Cubiertas} = 70\text{kg/m}^2$$

$$CV_{Cubiertas/Granizo} = 50\text{kg/m}^2$$

$$CV = 120\text{kg/m}^2$$

Por tanto, la carga final es igual a:

$$Cf = CM + CV \quad (14)$$

$$Cf = 30 + 120$$

$$Cf = 150\text{kg/m}^2$$

### **Carga de viento**

De acuerdo con la normativa NEC 2015, la velocidad de diseño para el viento a alturas de hasta 10 metros deberá ajustarse a la velocidad máxima correspondiente a la zona de la construcción, asegurándose de que no sea inferior a 21m/s o 75km/h.

Se debe tomar en cuenta la velocidad corregida del viento, la cual se determina con la velocidad instantánea máxima del viento, se multiplicará por un coeficiente de corrección  $\sigma$  que depende de la altura y de las características topográficas.

Para el caso de nuestro análisis se toma a consideración una cubierta en un espacio abierto para lo cual el coeficiente de corrección es de 0.91.

$$Vb = V * \sigma \quad (15)$$

$$Vb = 21 * 0.91$$

$$Vb = 19.11\text{m/s}$$

Posteriormente se calcula la presión del viento que determinará la resistencia del elemento frente al empuje del viento.

$$P = \frac{1}{2} \rho V_b^2 C_e C_f \quad (16)$$

El coeficiente de entorno  $C_e$  se considera a la nave industrial ubicada en Salcedo en un lugar a fachadas de longitud menor que el doble de la altura por lo que el coeficiente se considera de 1,3.

El coeficiente  $C_f$  se toma a considerar criterios de barlovento y sotavento, para el criterio de sotavento se considera que arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda a los  $45^\circ$  se toma el valor de  $-0.5$  y para el barlovento es de  $0.8$  porque cumplen el mismo criterio del sotavento.

### ***Barlovento***

Indica la dirección desde la cual viene el viento, es decir, la dirección hacia la cual se desplaza el viento.

$$P = 1/2(1.25)(19.11)^2(0.8)(1.3) \quad (17)$$

$$P = 237.37 \text{ kgf/m}^2$$

### ***Sotavento***

Es la dirección hacia la cual el viento se desplaza o el lado que está protegido de la acción directa del viento.

$$P = 1/2(1.25)(19.11)^2(0.5)(1.3) \quad (18)$$

$$148.35 \text{ kgf/m}^2$$

### ***Distribución de cargas***

Según lo establecido por la Comisión Federal de Electricidad CFE [42] para la distribución de cargas de viento se utiliza un factor de presión local y se aplicará sobre la presión exterior, las cuales se combinarán con los interiores, lo que permitirá tener los efectos más adversos, por consiguiente, la presión exterior será distribuida en toda la cubierta o techo.

### **Cargas de granizo**

Para la nave industrial que se encuentra en la ciudad de Salcedo que está a una altura de  $2683\text{msnm}$  se toma a consideración la carga de granizo S.

Se toma a consideración que la cubierta tiene una pendiente menor al 5% lo que se considera una carga de granizo mínima de  $1.0\text{kN/m}^2$ .

$$S = \rho_s * H_s \quad (19)$$

$$S = 50\text{kg/m}^2$$

### 2.3.7.2. Especificaciones de materiales

Los materiales a ser empleados son: acero A36 en la fabricación de los paneles estructurales y cerchas en tubería cuadrada de acero de  $50*3\text{mm}$ .; acero A572 Gr50 para ser usado en columnas cuadradas, placas base, placas tipo U, rigidizadores. A continuación, se muestran en la Tabla 6 y Tabla 7 las principales características de los materiales:

**Tabla 6.-** Características ASTM A36

Propiedades Mecánicas			Composición Química	
Descripción	Valor	Unidad	%C	$\leq 0,26$
Fy	2,530	Kg/cm <sup>2</sup>	%Mn	$< 0,80-1,20$
Fu	4,080	Kg/cm <sup>2</sup>	%Si	$\leq 0,40$
Coef. De Poisson	0.27-0.30	S/U	%P	$\leq 0,04$

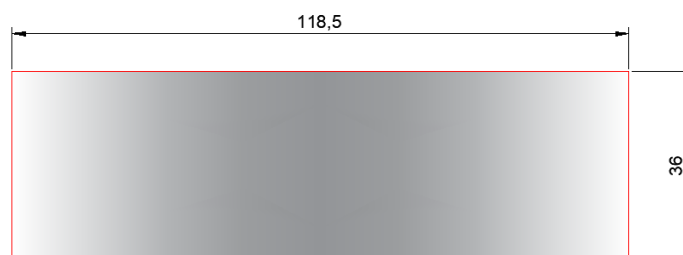
**Tabla 7.-** Características Acero A572 Gr50

Acero ASTM A572 Gr50				
Propiedades Mecánicas			Composición Química	
Descripción	Valor	Unidad	%C	0,230
Fy	3,515	Kg/cm <sup>2</sup>	%Mn	1,350
Fu	4,570	Kg/cm <sup>2</sup>	%Si	0,050
Coef. De Poisson	0.27-0.30	S/U	%P	0,040

### 2.3.8. Dimensionamiento de la nave industrial

La nave industrial cuenta con una longitud de 118.5m en la cual se distribuirán 25 cerchas de 36m las cuales se encuentran separadas una de la otra por una distancia de 4m, en la Figura 37 se detalla las dimensiones del área total de la Nave Industrial.





**Figura 37.-** Dimensiones nave industrial

### 2.3.9. Modelamiento de la estructura en SAP

El uso de software SAP2000 puede ser utilizado en diferentes trabajos de análisis y diseño, incluyendo pequeños problemas cotidianos, complejos modelos estructurales, pueden ser generados y desarrollados con las potentes plantillas predefinidas que vienen por defecto del software. Las técnicas analíticas avanzadas permiten, análisis paso a paso de grandes deformaciones, análisis de valores y vectores propios, análisis de cables, análisis de pandeo, entre otros.

Para un prediseño preliminar se establecen las siguientes consideraciones don el factor de importancia se le considera 1.3, factor de reducción y la relación de amplificación espectral de 2.48, por otra parte, los valores de irregularidad de planta y de elevación de  $\phi$  es de 0.9, en la Tabla 8 se muestran otros parámetros a considerar en el diseño.

**Tabla 8.-** Parámetros de diseño nave industrial

<b>Parámetros</b>	<b>Valores</b>	<b>Referencia</b>
Factor de Importancia (I)	1.3	Tabla 6, Sec. 4.1
Factor de reducción de respuesta (R)	3	Tabla 16, Sec. 6.3.4
Relación de amplificación espectral n	2.48	Sec 3.3.1
Zona sísmica	V	Fig1, Sec. 3.1.1
Tipo de Suelo	D	Tabla 2, Sec 3.2.1
Factor de zona (z)	0.4	Tabla 1, Sec. 3.3.1
Factor de sitio (Fa)	1.2	Tabla 3, Sec.3.2.2.a
Factor de sitio (Fd)	1.19	Tabla 4, Sec.3.2.2.a
Factor de comportamiento inelástico del suelo (Fs)	1.28	Tabla 5, Sec.3.2.2.a
Periodo crítico Tc	0.70	Sec.3.3.1
Factor en el espectro para diseño elástico ( r )	1	Sec.3.3.1

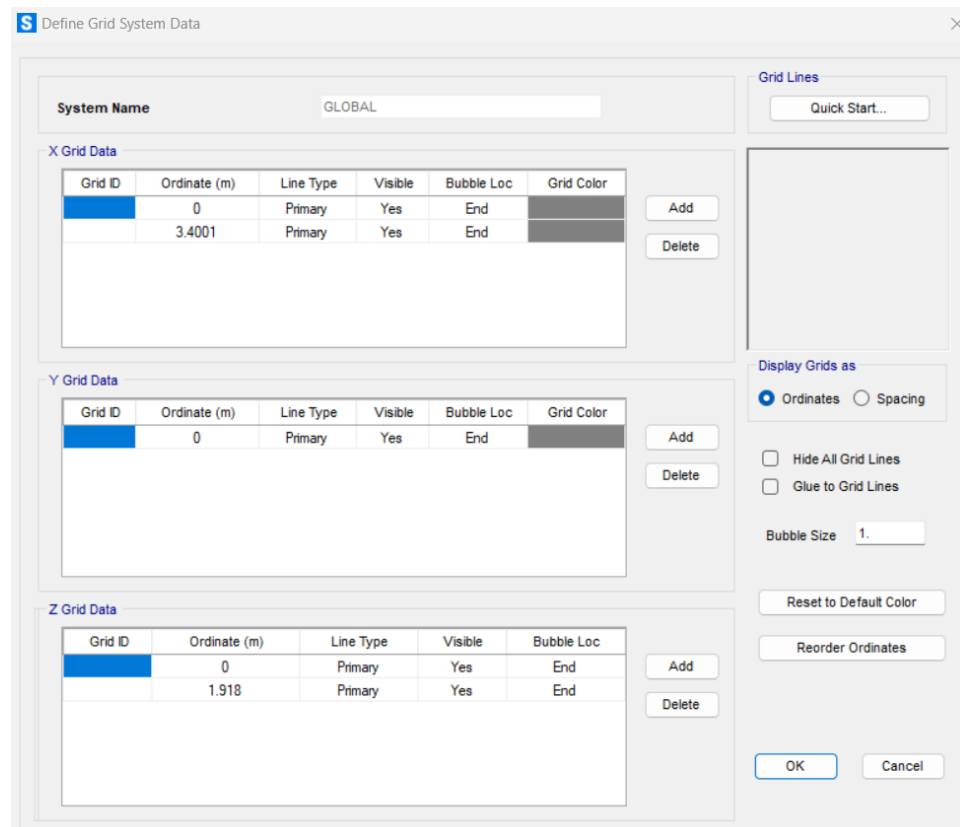
El factor de importancia 1.3 se toma como referencia a las estructuras de ocupación especial por lo que las naves industriales de mercados albergan a más de cinco mil personas.

La relación de amplificación espectral se toma de 2.48 por lo que la cubierta se encuentra localizada en la región céntrica del país, por otra parte, la del tipo del perfil del subsuelo se encuentra en el nivel D y la zona sísmica V dando el factor de comportamiento inelástico del suelo de 1.28.

El factor de R permite la reducción de las fuerzas sísmicas de diseño lo que previene de fallas y permite una adecuada ductilidad, en estructuras de acero en conformado en frío se utiliza un valor R de 3.

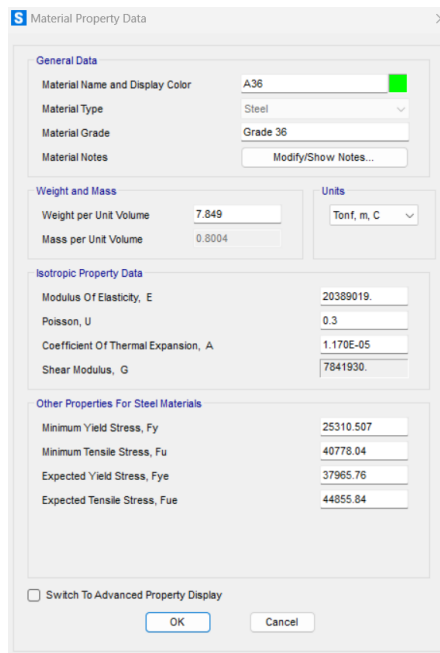
## Warren

Para la nave industrial de Salcedo se procede con el análisis de la cubierta, la cual se inicia con las líneas de referencia o grid con las dimensiones de algunos elementos considerados como la longitud de la cubierta y de la cercha, datos que se observan en la Figura 38.



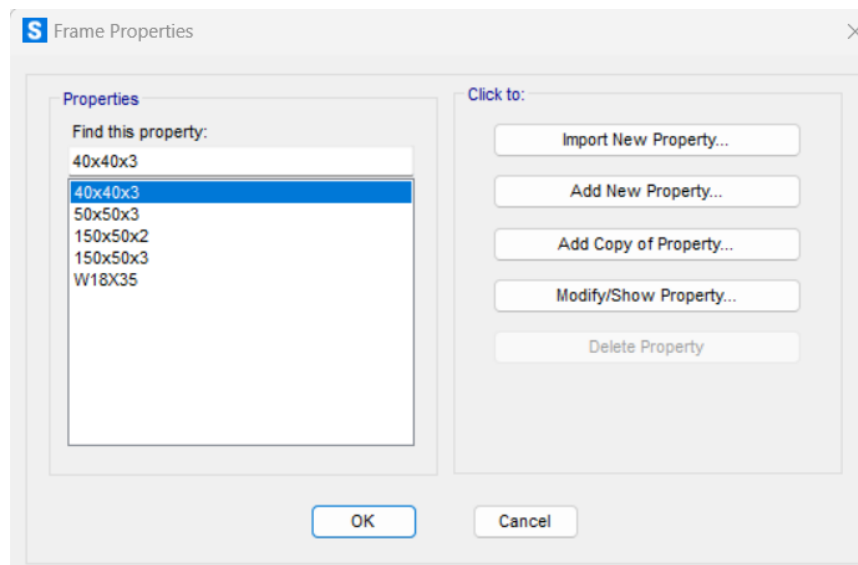
**Figura 38.-** Líneas de referencia SAP 2000

En las condiciones iniciales se especificaron todos los materiales y sus propiedades para el diseño de la cubierta y la cercha, mostradas en la Figura 39.



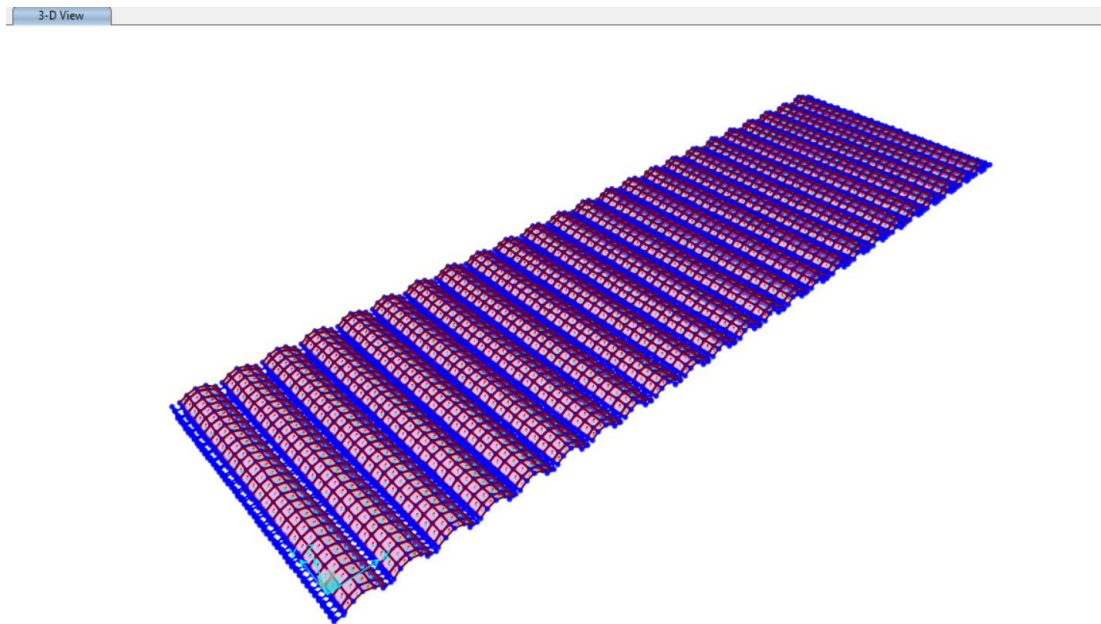
**Figura 39.-** Especificación del material de la cercha

En el programa se establece la configuración de los elementos que se utilizó para el diseño de la cercha en este caso los perfiles que se muestran en la Figura 40 según los planos del diseño preliminar que se muestran en el apartado de anexos.



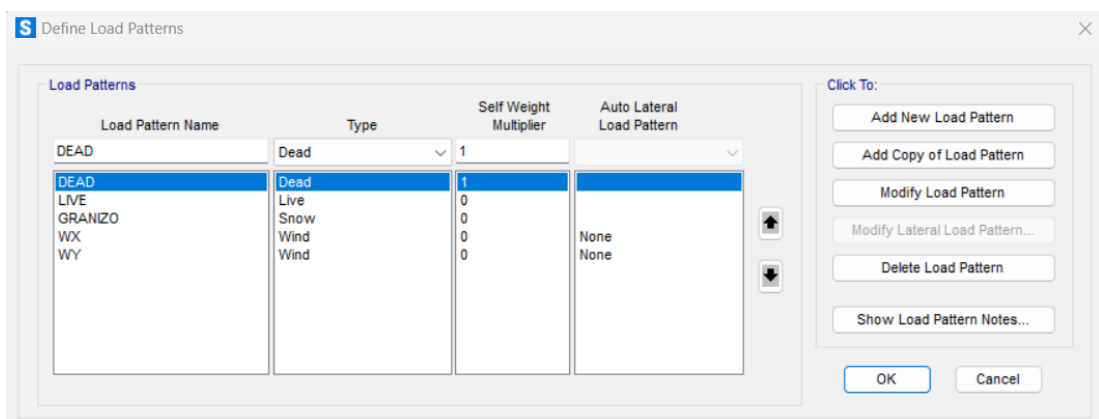
**Figura 40.-** Perfiles estructurales de la cercha

Una vez determinado todos los materiales y elementos se proceden con la esquematización de la cubierta y de la cercha, lo que se observa en la Figura 41.



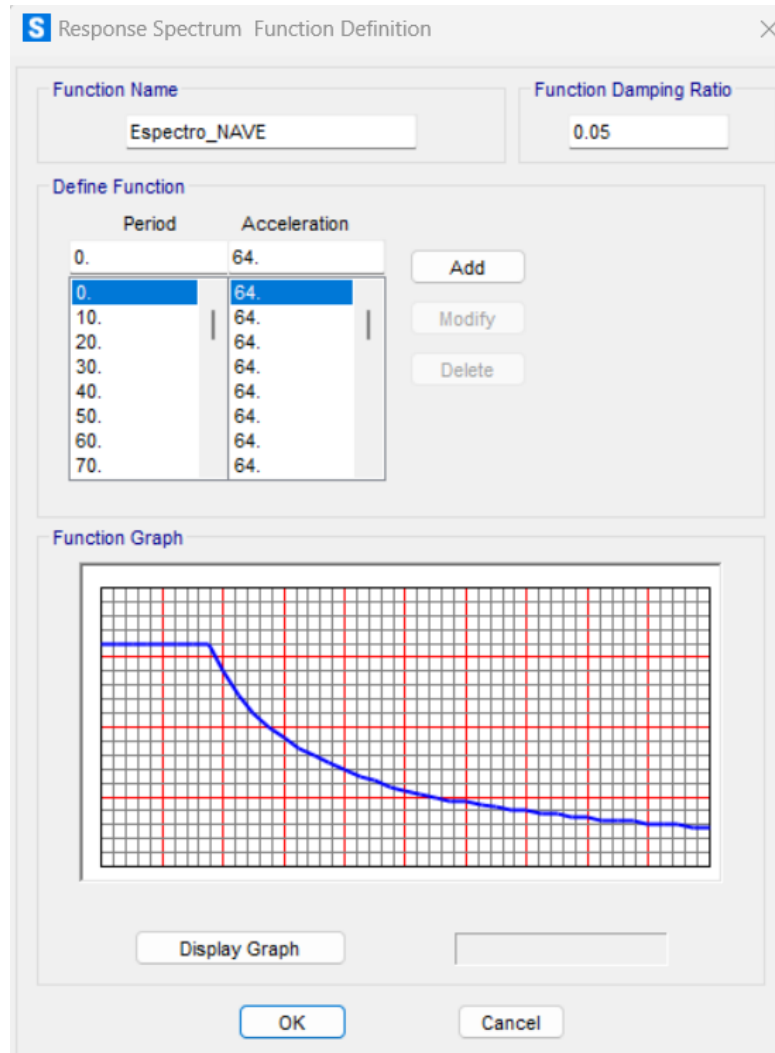
**Figura 41.-** Esquema general de la cubierta

Según lo especificado por la normativa NEC 2015 se colocan los patrones de carga como las cargas de viento, granizo, el peso de los elementos, como se muestra en la Figura 42.



**Figura 42.-** Cargas definidas en SAP 2000

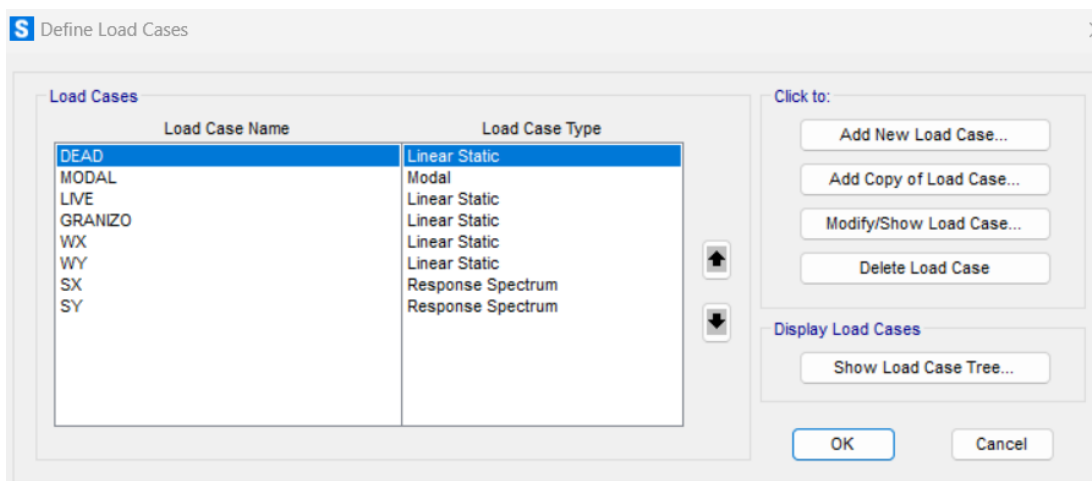
Se estable el espectro sísmico mostrado en la Figura 43 según la NEC 2015, para precisar de mejor forma el comportamiento sísmico en X y Y.



**Figura 43.-** Espectro de diseño

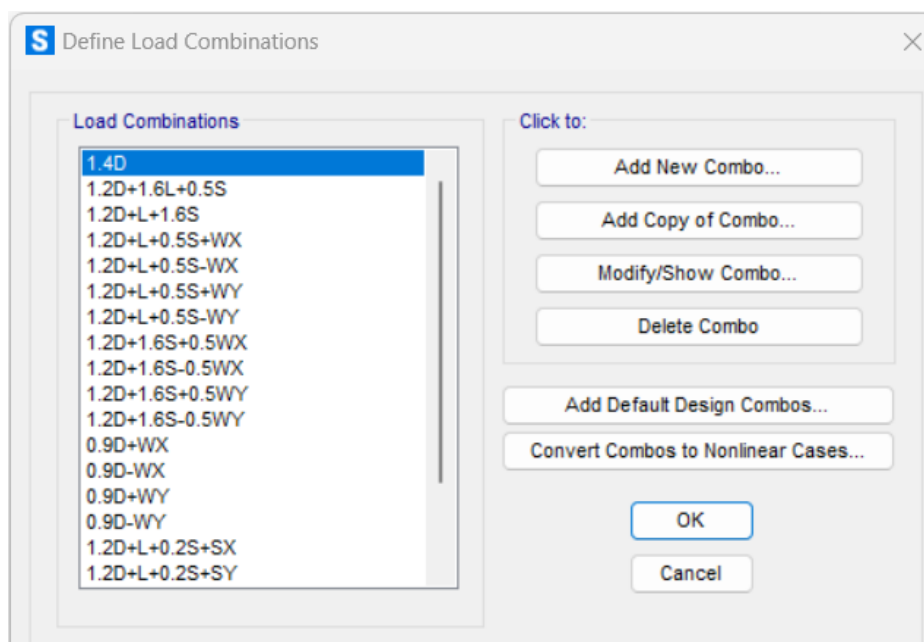
En relación con la contribución de las masas durante un sismo, la normativa NEC 2015 establece que las masas fijas deben participar al 100 % en el patrón de carga, mientras que las cargas vivas deben participar en un 25 % en sistemas estructurales de nivel bajo a medio, como viviendas y otras estructuras no consideradas como edificaciones importantes. Es por esta razón que se introduce esta masa de referencia en cumplimiento con la normativa.

Se definen los casos de carga indicados en la Figura 44 con un análisis lineal en las diferentes cargas de diseño, y el espectro sísmico tanto en x como en y.



**Figura 44.-** Definición de casos de carga

Se efectúan 21 combinaciones según los estados de carga lo que permitirá realizar una simulación de acuerdo con las condiciones de viento, granizo, carga muerta y carga viva como se muestra en la Figura 45.



**Figura 45.-** Combinaciones de carga

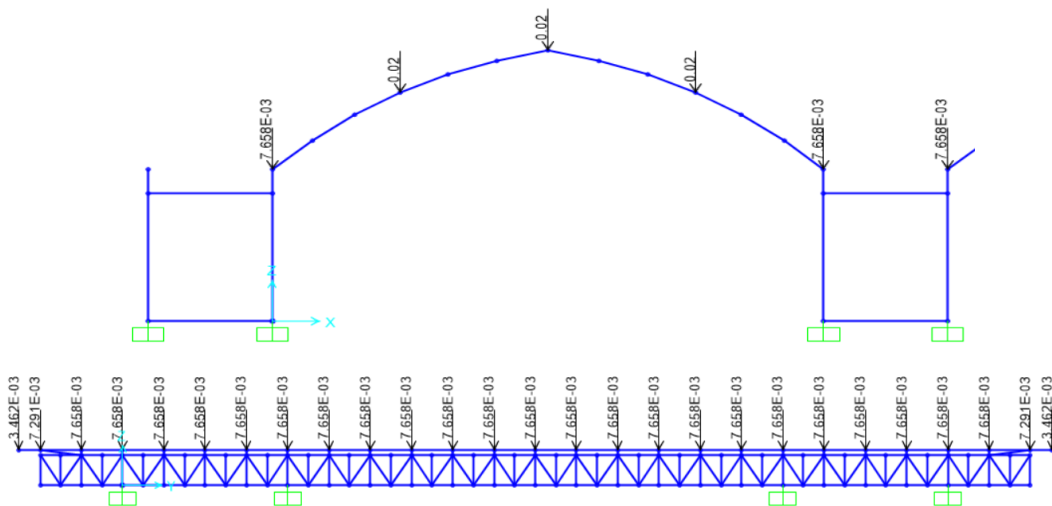
Se establecen las cargas en toda el área de la cubierta de  $0.3 \text{ ton/m}^2$  para carga muerta,  $0.07 \text{ ton/m}^2$  para carga viva,  $0.05 \text{ ton/m}^2$  para carga de granizo y para carga de viento  $0.024 \text{ ton/m}^2$ , esto se muestra en la Figura 46.

<b>Load Pattern</b>	<b>DEAD</b>
<b>Uniform to Frames</b>	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	0.03
Distribution Type	Two Way
<b>Load Pattern</b>	<b>LIVE</b>
<b>Uniform to Frames</b>	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	0.07
Distribution Type	Two Way
<b>Load Pattern</b>	<b>GRANIZO</b>
<b>Uniform to Frames</b>	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	0.05
Distribution Type	Two Way
<b>Load Pattern</b>	<b>WX</b>
<b>Uniform to Frames</b>	
Coordinate System	GLOBAL
Load Direction	Gravity
Force/Area	0.024
Distribution Type	Two Way

Double click white background cell to edit item.

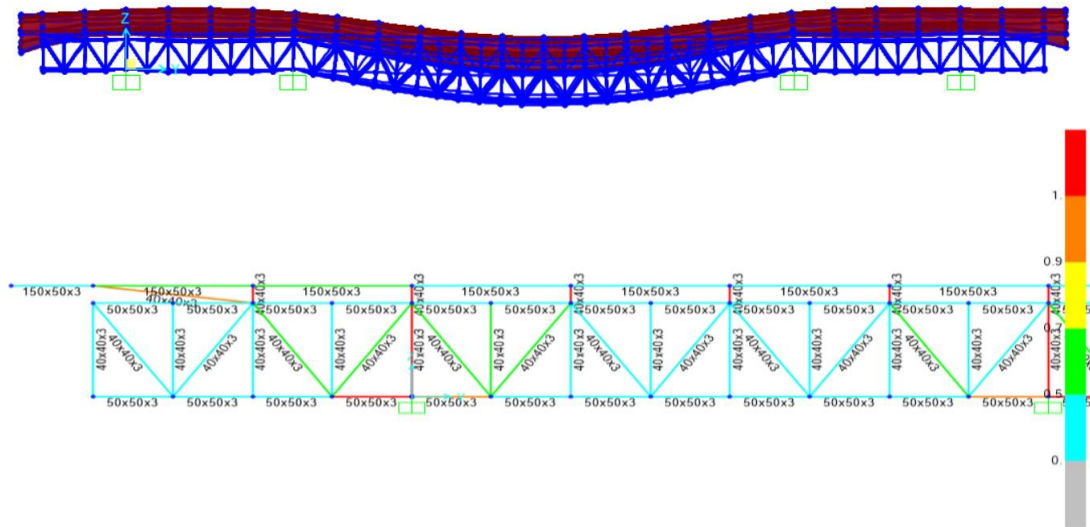
**Figura 46.-** Cargas a las cuales se encuentra sometida la cubierta

Aplicando las cargas de viento en la cubierta nos muestra en la Figura 47 las siguientes consideraciones.



**Figura 47.-** Distribución de cargas en la cercha

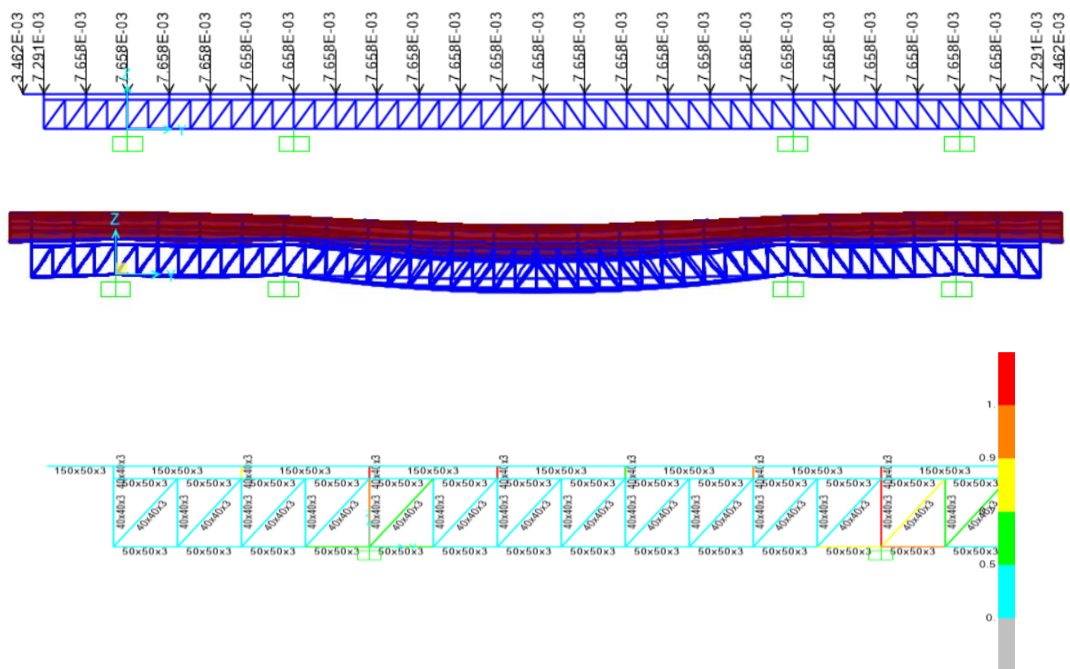
Las cargas de viento se muestran en toda el área de la cubierta y se encuentran aplicadas según las condiciones de sotavento y barlovento, el análisis se observa en la Figura 48.



**Figura 48.-** Desempeño aceptable de la cercha Warren

Las cargas de viento se muestran en el área de la cubierta tipo Howe aplicadas según las condiciones de sotavento y barlovento, el análisis se observa en la Figura 49.

### Howe



**Figura 49.-** Desempeño aceptable de la cercha Howe

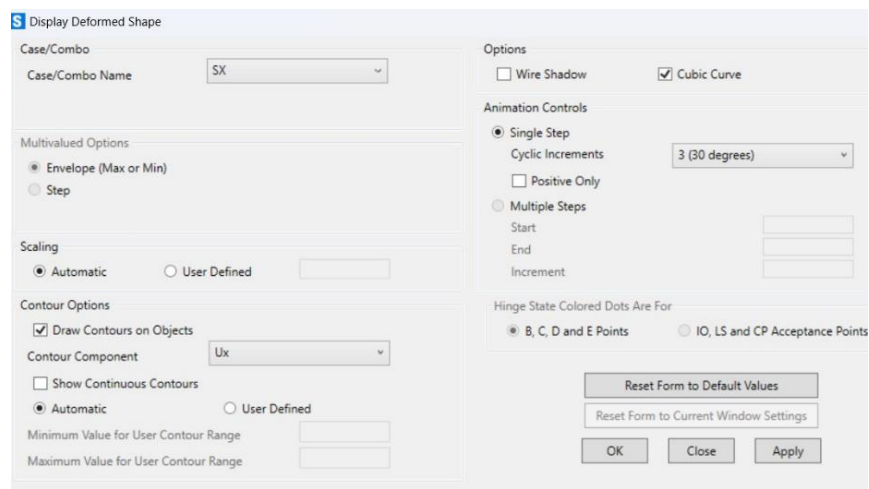
Según las consideraciones el programa Sap2000 el diseño muestra un desempeño aceptable.



## CAPÍTULO III RESULTADOS

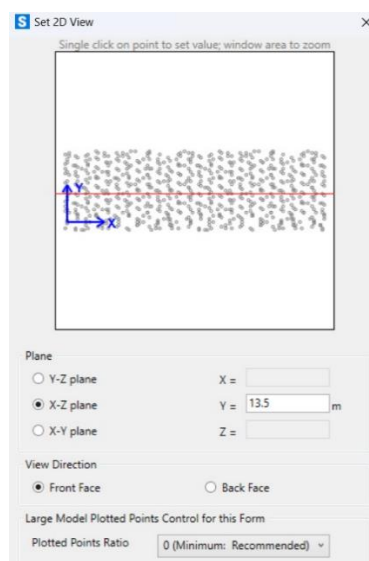
### 3.1. Control de deriva

El valor límite de la norma NEC-SE-DS es de 0.02, para determinar la deriva de piso de la estructura se utilizó el sismo dinámico y se evaluó las derivas en los sentidos X los cuales se muestran a continuación en la Figura 50.



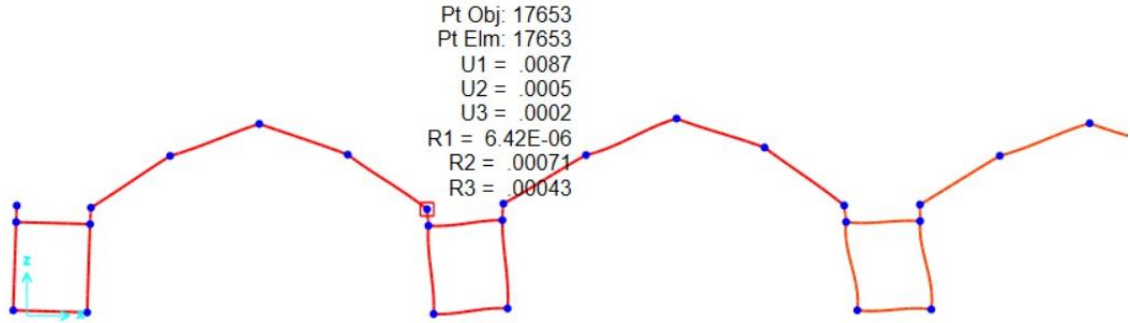
**Figura 50.-** Parámetro de esfuerzos sismos X

Se realiza un análisis en la estructura tomando como referencia el eje central del área de la cubierta por considerarse el más crítico en comparación con los otros puntos que dan en el ancho de la nave industrial, como se observa en la Figura 51.

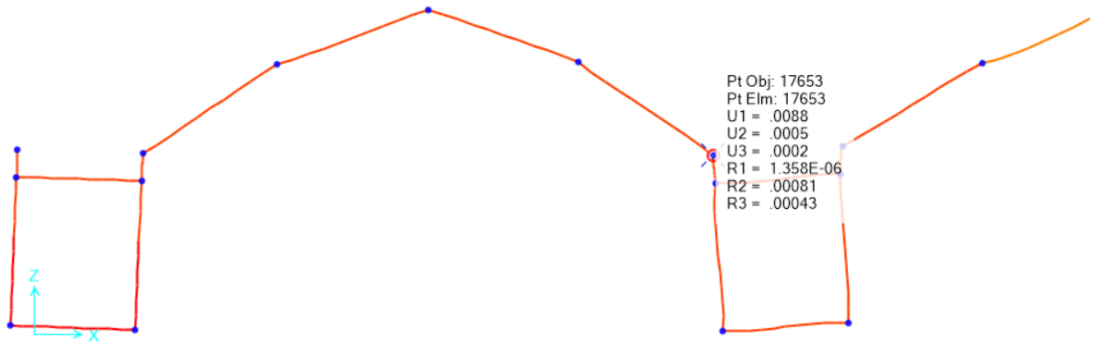


**Figura 51.-** Análisis de esfuerzos plano x-z

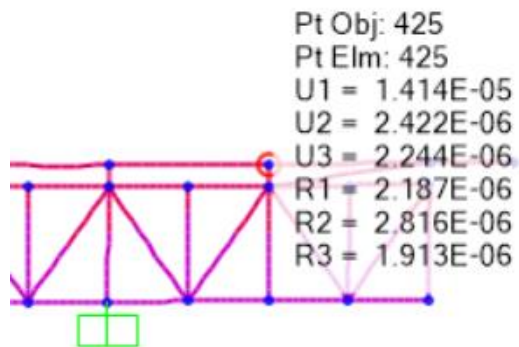
Posteriormente se ejecuta el programa y se determina los desplazamientos en plano X-Z lo que se muestra en la siguiente Figura 52, Figura 53, Figura 54 y Figura 55.



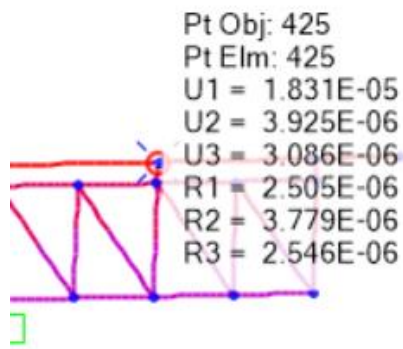
**Figura 52.-** Desplazamiento según el Sx cercha Warren



**Figura 53.-** Desplazamiento según el Sx cercha Howe



**Figura 54.-** Desplazamiento según el Sy cercha Warren



**Figura 55.-** Desplazamiento según el Sy cercha Howe

Una vez establecidos los desplazamientos se procede a determinar la deriva máxima inelástica, lo que permite identificar los elementos estructurales y no estructurales en donde podría existir peligro para la seguridad y la integridad personal, a continuación, se detalla en la Tabla 9.

**Tabla 9.-** Resultados de desplazamientos y derivas

Descripción	Formula	Valor Obtenido	Unidades
Warren			
Desplazamiento en X	Dx	0.0087	cm
Altura de cubierta	H	200	cm
Deriva elástica en X	$\Delta Ex = Dx/H$	0.000435	N/A
Coefficiente de respuesta sísmica	R	3	N/A
Desplazamiento en Y	Dy	1.41x10 <sup>-5</sup>	cm
Derivas máximas inelásticas en X	$\Delta M = \Delta DX \times R \times 0.75$	0.0195	N/A
Derivas máximas inelásticas en Y	$\Delta M = \Delta DY \times R \times 0.75$	3.17 x10 <sup>-5</sup>	N/A
Howe			
Desplazamiento en X	Dx	0.0088	cm
Altura de cubierta	H	200	cm
Deriva elástica en X	$\Delta Ex = Dx/H$	4.4x10 <sup>-5</sup>	N/A
Coefficiente de respuesta sísmica	R	3	N/A
Desplazamiento en Y	Dy	1.83x10 <sup>-5</sup>	cm

Descripción	Formula	Valor Obtenido	Unidades
Derivas máximas inelásticas en X	$\Delta M = \Delta DXxRX0.75$	0.0198	N/A
Derivas máximas inelásticas en Y	$\Delta M = \Delta DYxRX0.75$	4.11 x10-5	N/A

Al evaluar las derivas en el sentido x, se pudo observar, que los valores fueron menores al límite normativo de 2%, y la deriva máxima se presenta en el sentido de X con una magnitud de 1.9% por lo que se espera un buen comportamiento ante una carga dinámica tanto en las cerchas tipo Warren como el tipo Howe.

### 3.2.Deflexión

La deflexión, en el contexto de la ingeniería y la mecánica de materiales, se refiere al desplazamiento o deformación que experimenta un elemento estructural cuando se aplica una carga externa sobre él. En otras palabras, es la medida de la flexión o curvatura que sufre una estructura bajo la acción de fuerzas externas.

Fórmula de deflexión

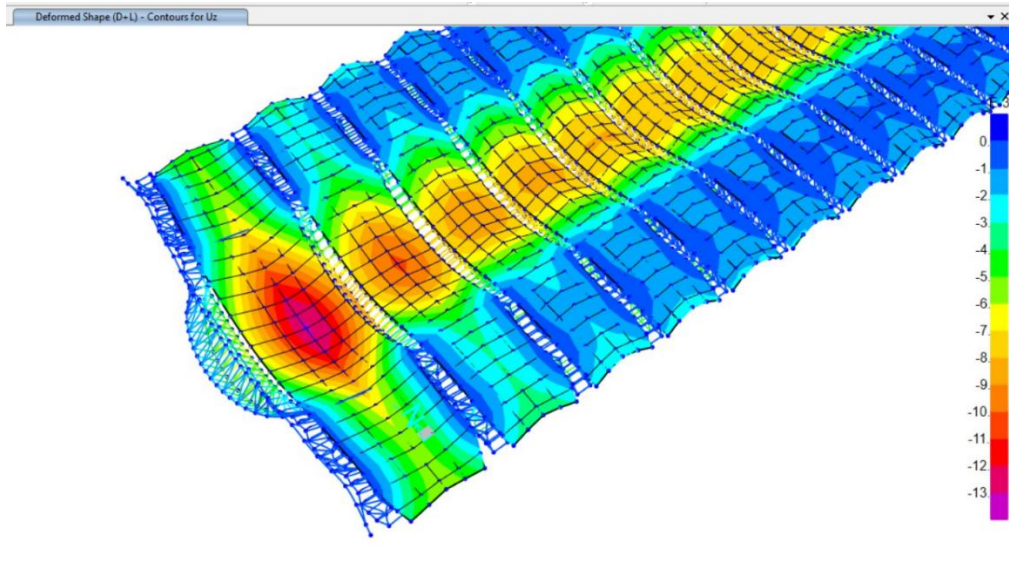
$$\delta = \frac{L}{360} \quad (20)$$

$$\delta = \frac{36}{360}$$

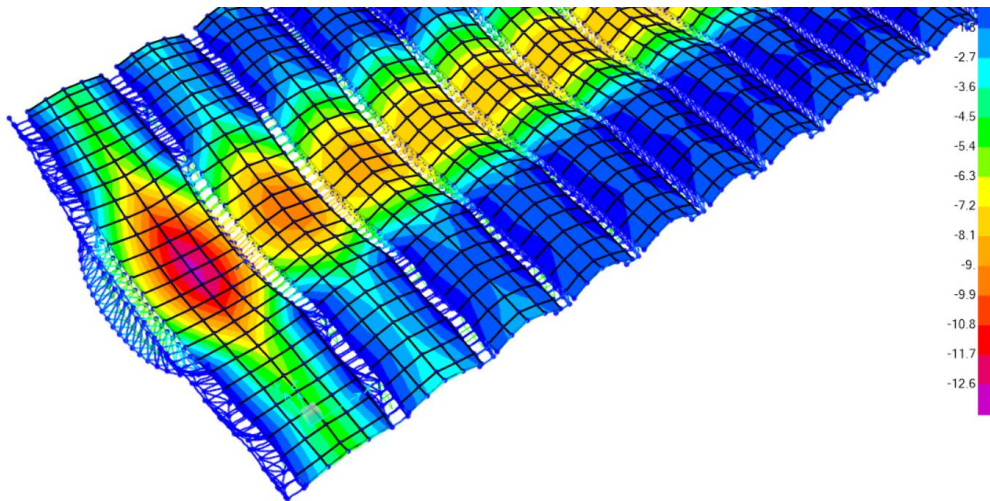
$$\delta = 0.1m$$

$$\delta = 10cm$$

La deformación máxima según el SAP manifiesta que es de 1.3 cm en la cercha tipo Warren y 1.26 cm tipo Howe pintándose de color morado en el gráfico de las Figura 56 y Figura 57, este dato nos demuestra que si llegara a ocurrir esta deformación deberían estar en el peor de los casos 144 personas simultáneamente subidas en la parte superior del techo.



**Figura 56.-** Deformación máxima cercha Warren



**Figura 57.-** Deformación máxima cercha Howe

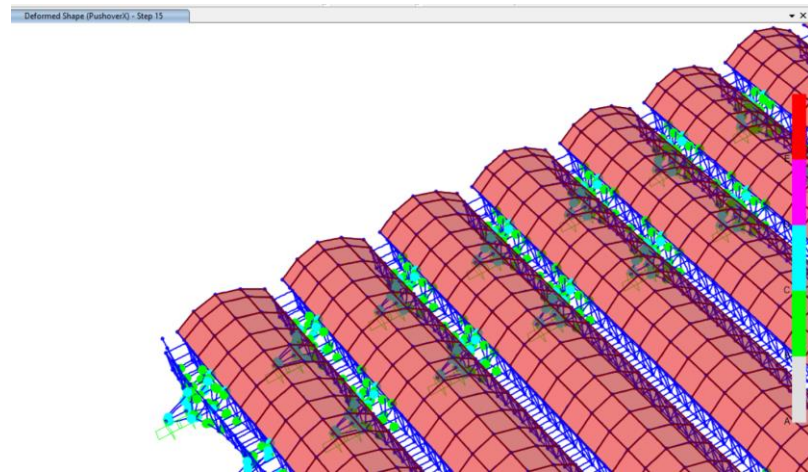
Se puede distinguir entre los dos tipos de cercha que la Howe tiene una menor deflexión, pero de igual forma ambas cumplen con el parámetro permisible máximo de 10 cm.

### 3.3. Análisis Pushover

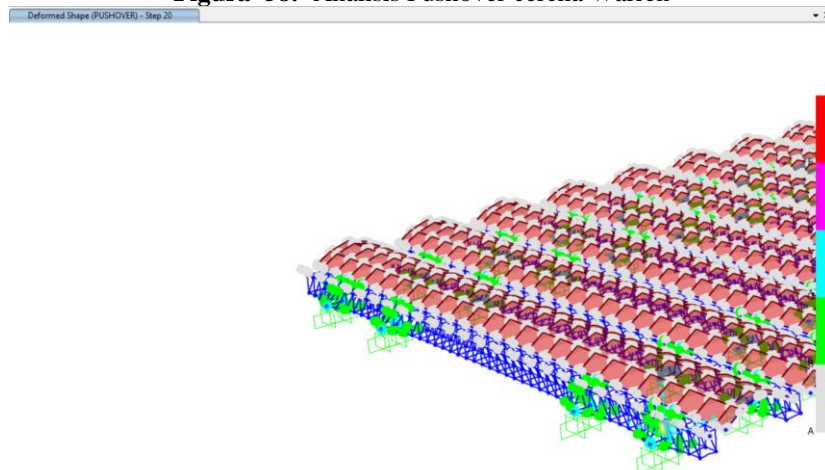
El pushover es un método de análisis estático-no lineal en el cual una estructura está sujeta a una carga de gravedad y un patrón de carga lateral monótona controlada por desplazamiento que aumenta continuamente mediante un comportamiento elástico e inelástico hasta alcanzar una condición final. La carga lateral puede representar el

rango de cortante basal inducido por la carga sísmica, y su configuración puede ser proporcional a la distribución de masa a lo largo de la altura de la nave industrial, formas modales u otros medios prácticos.

Creamos una carga pushover en sentido X en un factor de escala de -1 el desempeño puede relacionar el nivel de resistencia alcanzado en ciertos miembros con el desplazamiento lateral en la parte superior de la estructura, o el momento flector puede trazarse contra la rotación plástica. Los resultados proporcionan información sobre la capacidad dúctil del sistema estructural e indican el mecanismo, el nivel de carga y la deflexión en la que se produce la falla, esto se muestra en la Figura 58 y Figura 59 de los dos tipos de cercha.



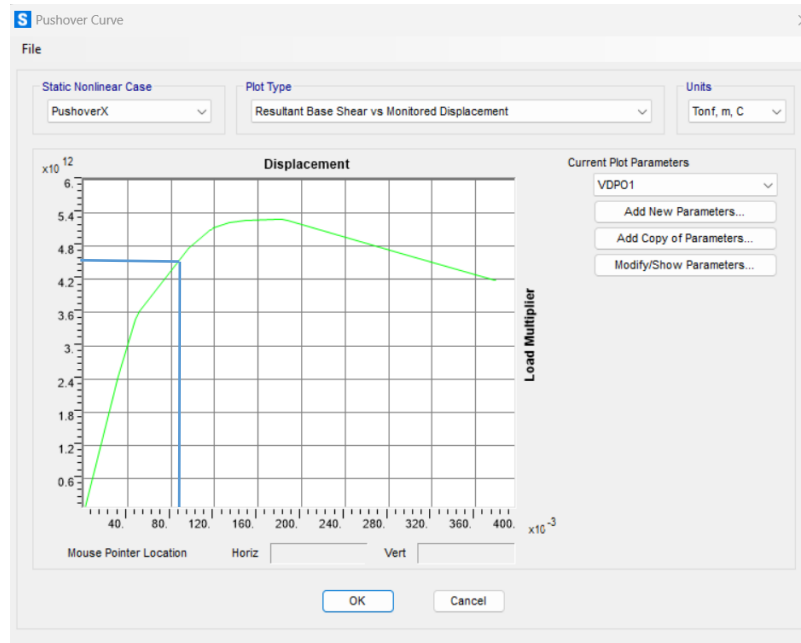
**Figura 58.-** Análisis Pushover cercha Warren



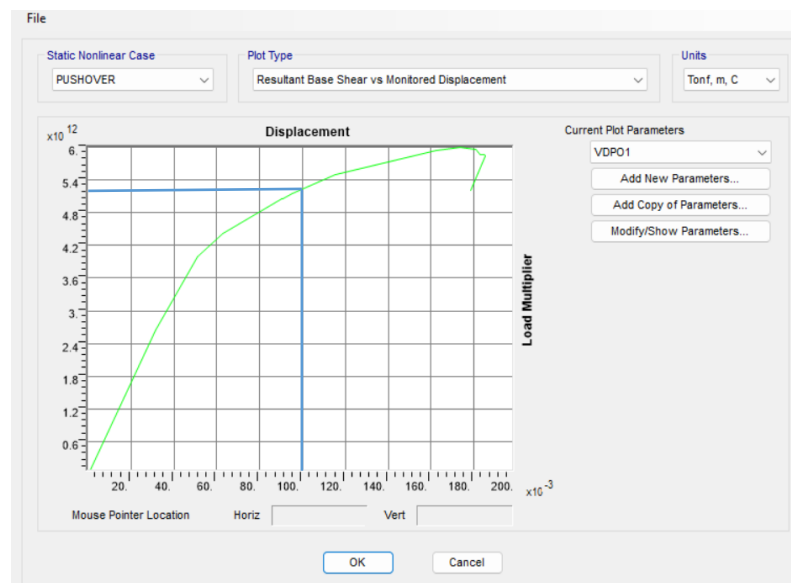
**Figura 59.-** Análisis Pushover cercha Howe

En el análisis Pushover se aplican cargas de desplazamiento en dirección a X donde se pudo apreciar que la cercha tipo Warren ante cargas máximas tiene un excelente comportamiento y la estructura no llega a colapsar.

De la misma forma la cercha tipo Howe presenta características similares, pero tiene una mayor capacidad para deformarse.



**Figura 60.-** Curva de capacidad Pushover cercha Warren



**Figura 61.-** Curva de capacidad Pushover cercha Howe

El desempeño puede relacionar el nivel de resistencia alcanzado en ciertos miembros con el desplazamiento lateral en la parte superior de la estructura, o el momento flector puede trazarse contra la rotación plástica. Los resultados proporcionan información sobre la capacidad dúctil del sistema estructural e indican el mecanismo, el nivel de carga y la deflexión en la que se produce la falla.

La curva de capacidad mostrada en la Figura 60 y Figura 61 permite identificar que la estructura de la cubierta de la nave industrial se comporta de forma dúctil de esa forma determinamos que tiene un alto nivel de seguridad en cuanto al peligro sísmico.

### 3.4.Periodo fundamental y modos de vibración

En el análisis, es crucial tener en cuenta todas las formas de vibración que tengan un impacto significativo en la respuesta general de la estructura. Esto implica considerar los diferentes períodos de vibración y también todos los modos que incluyan la contribución de una masa modal que sea menor al 90% de la masa total de la estructura en cada una de las direcciones horizontales principales que se están evaluando. El período fundamental de la estructura corresponde al primer modo de vibración.

**Tabla 10.-** Periodos fundamentales Warren

<b>Modos</b>	<b>Periodo</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>UZ</b>
1	7.47E-07	0.951	0	0
2	7.37E-07	0	0	0.0002711
3	7.17E-07	0.012	1.39E-20	2.74E-18
4	6.88E-07	2.17E-20	2.55E-18	0.0003737
5	6.54E-07	0.0009388	2.56E-16	1.61E-15
6	6.18E-07	5.50E-17	5.40E-17	0.0003809
7	5.84E-07	0.0001172	6.46E-17	2.59E-15
8	5.53E-07	2.62E-18	1.42E-16	0.0003538
9	5.26E-07	2.14E-06	6.16E-19	1.76E-14
10	5.03E-07	1.18E-15	4.37E-14	0.0002754

**Tabla 11.-** Reacciones de la estructura Warren

<b>Modos</b>		<b>Porcentaje Estático</b>	<b>Porcentaje Dinámico</b>
Aceleración	UX	99.8293	96.4181
	UY	2.06E-10	4.46E-12
	UZ	2.1467	0.1749



La NEC-SE-DS especifica que se deben tener en cuenta en el análisis todos los modos que implican la división de al menos el 90% de la masa total de la estructura. En este caso, se evaluaron 10 modos y se logró el 90% de la masa acumulada en las direcciones X, Y y Z. En la Tabla 10 se presentan los modos de vibración de la estructura, siendo el modo fundamental de vibración el primero con un período de 7.47E-07 segundos y en la Tabla 11 se presenta el modo de participación en dirección x con un porcentaje del 96.4%

**Tabla 12.-** Periodos fundamentales Howe

<b>Modos</b>	<b>Periodo</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>UZ</b>
1	7.23E-07	0.950927	0	0
2	7.14E-07	0	0	0.000252
3	6.95E-07	0.013741	5.41E-20	6.39E-19
4	6.68E-07	2.86E-19	5.02E-19	0.000354
5	6.36E-07	0.001039	2.16E-18	3.98E-18
6	6.02E-07	1.62E-18	9.09E-17	0.000361
7	5.70E-07	0.000113	6.91E-16	2.00E-16
8	5.41E-07	9.28E-16	1.06E-15	0.00033
9	5.16E-07	1.12E-07	1.10E-15	4.42E-14
10	4.95E-07	3.68E-15	1.28E-14	0.000236

**Tabla 13.-** Modos de partición cercha Howe

<b>Modos</b>		<b>Porcentaje Estático</b>	<b>Porcentaje Dinámico</b>
Aceleración	UX	99.8049	96.5925
	UY	4.526E-10	1.154E-11
	UZ	1.9315	0.1589

En la Tabla 12 se muestran los modos de vibración de la estructura, donde se identifica el modo fundamental como el primero, con un período de 7.23E-07 segundos. Además, en la Tabla 13 se expone la contribución del modo en la dirección x, con una participación del 96.5%.

### 3.5.Reacciones

Las reacciones que se producen se encuentran en dirección al eje Z según las cargas de granizo, viento, peso propio de la estructura y cargas vivas, en la Tabla 14 se detallan las reacciones de la estructura.

**Tabla 14.-** Reacciones de la estructura

Cargas	Warren		Howe
	Fx (tonf)	Fy (tonf)	Fz (tonf)
DEAD	-9.497E-13	-1.433E-13	130.3501
LIVE	-2.22E-12	-3.516E-13	297.0306
GRANIZO	-1.59E-12	-2.507E-13	212.1647
WX	-7.243E-13	-1.162E-13	82.7392
Total			722.2846

En las cerchas de tipo Warren y Howe existen reacciones en dirección X y Y pero son mínimas y se considera reacciones en el eje Z ya que soportan toda la carga de la estructura la mayor reacción se encuentra en la carga suministrada viva con un valor de 297.03 tonf.

### 3.6.Peso de la estructura

La cubierta de acero tiene un peso propio de 129350.1 Kg esto correspondiente a las cerchas tipo Warren, mientras que las cerchas tipo Howe tiene una carga total de 127298.84 Kg. Lo que implica que la estructura Howe es más ligera por 5.12 T. Tal y como se observa en la Tabla 15.

**Tabla 15.-** Peso de la estructura

Resumen peso de la cubierta			
	Warren	Howe	Unidades
Peso Propio	129350.1	127298.84	Kg

### 3.7.Comparación económica

En la Tabla 16 y Tabla 17 se detallan los costos de los dos tipos de estructuras para un posterior análisis donde se identificó la diferencia de económica.

**Tabla 16.-** Costos de elementos estructurales Howe

#	Rubro	Longitud (m)	Costo estándar 6 metros	Costo aproximado por metro	Costo Total
1	40x40x3	6561	12 \$	2 \$	13122\$
2	50x50x3	8541.02122	15.80 \$	2.63 \$	22462.88\$
3	150x50x2	3050.29159	17.20 \$	2.86 \$	8723.82\$
4	150x50x3	1953.12	19.40 \$	3.23 \$	6308.57\$
Total					50617.29\$

**Tabla 17.-** Costos de elementos estructurales Warren

#	Rubro	Longitud (m)	Costo estándar 6 metros	Costo aproximado por metro	Costo Total
1	40x40x3	6561	12 \$	2 \$	13122\$
2	50x50x3	8677.60178	15.80 \$	2.63 \$	22822.09\$
3	150x50x2	3050.29159	17.20 \$	2.86 \$	8723.83\$
4	150x50x3	1953.12	19.40 \$	3.23 \$	6308.57\$
Total					50976.50\$

La cubierta con cercha tipo Howe es más económica que la cubierta con cercha tipo Warren la que normalmente se utiliza en la empresa FYMSA, la empresa tiene un ahorro del 0.7% lo que es significativo para mejorar las utilidades en la industria de fabricación de cerchas.

### **3.8.Resultados entrevista, encuesta y ficha de observación**

#### **3.8.1. Entrevista**

1. ¿Qué tipo de cercha son las que más son utilizados por la empresa?

Según la encuesta aplicada en la empresa FYMSA el tipo de cercha que se utilizó es el tipo Warren, por su configuración y además es fácil de ensamblar.

2. ¿Qué tipo de acero utiliza en la fabricación de cerchas?

El material utilizado específicamente para la cubierta es el A36 por su versatilidad al momento de cortar y su bajo costo en el mercado.

3. ¿Cuál es el proceso de soldadura que utiliza en la fabricación de cerchas?

En el proceso de soldadura en la fabricación de cerchas es común la utilización de una soldadora SMAW, ya que los soldadores se encuentran calificados en dicho proceso.

4. ¿Cuáles son los beneficios en el proceso de soldadura SMAW para soldar los elementos estructurales de la cercha?

**Versatilidad:** La soldadura SMAW se puede utilizar en una amplia gama de espesores y tipos de metales, lo que la hace adecuada para diferentes aplicaciones de cerchas estructurales.

**Portabilidad:** Este proceso es relativamente portátil, ya que solo requiere de una fuente de alimentación eléctrica y el equipo de soldadura, lo que facilita su uso en diversas ubicaciones, incluso en áreas remotas o de difícil acceso.

**Eficacia en diferentes posiciones:** La soldadura SMAW es efectiva en diversas posiciones de soldadura, incluyendo horizontal, vertical y sobrecabeza, lo que permite unir elementos estructurales de cerchas en cualquier orientación necesaria.

**Costo:** En comparación con algunos otros métodos de soldadura, el equipo y los consumibles necesarios para la soldadura SMAW tienden a ser relativamente económicos, lo que puede resultar en costos de fabricación más bajos para las cerchas.

**Capacidad de penetración:** La soldadura SMAW proporciona una buena capacidad de penetración en el metal base, lo que garantiza una unión fuerte y duradera entre los elementos estructurales de la cercha.

**Resistencia y durabilidad:** Cuando se realiza correctamente, la soldadura SMAW produce uniones fuertes y duraderas que pueden soportar cargas estructurales significativas, lo que contribuye a la resistencia y estabilidad general de la cercha.

**Amplia disponibilidad de electrodos:** Existe una amplia variedad de electrodos disponibles para diferentes tipos de metales base y condiciones de soldadura, lo que permite adaptar el proceso a las necesidades específicas de la cercha y optimizar la calidad de la soldadura.

5. ¿Qué tipo de electrodos son los que utiliza para soldar la cercha?

Los electrodos 6011 para puntear y sujetar los elementos de la cercha y el 7018 para soldar dan una mayor resistencia a las juntas soldadas, de esta forma permite calificar y seguir lo establecido en el plano.

6. ¿Cuál es el tiempo estimado que demora un soldador en constituir un tramo de 10 metros de una cercha?

FYMSA se caracteriza por la rápida gestión que tienen al momento de fabricar una cercha, por la alta demanda una cercha se construye entre tres trabajadores el primero encargado de corta la perfilería establecida en un diseño previo posteriormente se realiza el proceso de preparación de las juntas y con la ayuda de un soldador calificado se realiza la unión de las partes de la cercha con el punteo utilizando electrodo 6011 para luego realizar el cordón de soldadura con un electrodo 7018.

7. ¿Cuál es el tipo de perfil que más utiliza para el cordón superior e inferior en la fabricación de cerchas?

El tipo de perfilería utilizado son tubos cuadrados de 50x50x3 las cuales son ubicados en el cordón superior e inferior de las cerchas, además para las diagonales se utiliza tubos cuadrados de 40x40x3 ya que son elementos con menores dimensiones eficientes para la construcción de cerchas, este tipo de material es el más usual en la fabricación de la empresa FYMSA.

8. ¿Cuál es el tipo de perfil que más utiliza para los montantes y diagonales, en la fabricación de cerchas?

El tipo de perfil más utilizado para los montantes en la fabricación de cerchas suele ser el perfil en forma de "I" o también conocido como perfil "IPN" (IPE en algunos países), debido a su capacidad para soportar cargas verticales y resistir fuerzas de compresión. Este tipo de perfil proporciona una buena relación resistencia-peso, lo que lo hace ideal para aplicaciones estructurales como las cerchas.

9. ¿Se verifica el procedimiento de acabado superficial mediante la limpieza en las cerchas?

En la fabricación de cerchas es importante verificar el procedimiento de acabado superficial mediante la limpieza. La limpieza de las superficies de soldadura es crucial para garantizar una unión fuerte y duradera. Se suelen utilizar métodos como la limpieza con solventes, el cepillado y el lijado para eliminar cualquier contaminante que pueda afectar la calidad de la soldadura.

10. ¿Qué tipo de pintura utilizan en la fabricación de cerchas?

En la fabricación de cerchas, se suelen utilizar pinturas anticorrosivas que proporcionen protección contra la intemperie y la corrosión. Estas pinturas suelen ser a base de zinc, epoxi o poliuretano, dependiendo de los requisitos específicos de resistencia y durabilidad del proyecto.

11. ¿Los soldadores cumplen con la calificación respectiva de operación para trazado, corte y medición de materiales?

Es importante que los soldadores estén calificados y capacitados para realizar tareas de trazado, corte y medición de materiales en el taller de fabricación de cerchas. Estas habilidades son fundamentales para garantizar la precisión y la calidad en la fabricación de los componentes estructurales.

12. ¿En el taller se cuentan con auxiliares de soldadura mismos que cumplen con equipos de seguridad?

Los desafíos que presenta la empresa FIMSA durante la fabricación de cerchas son las normativas ya que sus trabajadores no cuentan con una capacitación previa, en muchos de los casos no toman en cuenta los criterios de diseño y el proceso no se controlados por un inspector.

13. ¿Piensa usted que existe la posibilidad de estandarizar ciertos procesos de fabricación para simplificar la producción de cerchas de acero y aumentar la consistencia en la calidad del producto?

Los trabajadores manifiestan en su mayoría que hay procesos que son irrelevantes y que lo importante es que se termine rápido el trabajo, además no son muy comunicativos y que ellos están seguros de la calidad del trabajo.

### 3.8.2. Encuesta

La encuesta fue aplicada a 25 trabajadores que se encuentran en el proceso de fabricación de cerchas de la empresa FYMSA, entre los que tenemos soldadores, pintores, cortadores y personas encargadas de transportar los diferentes materiales para la construcción.

En la Figura 62, se puede analizar que uno de los principales desafíos que enfrenta la empresa es el tiempo de producción de una cercha, ya que actualmente se demoran entre dos y tres días en completar una de aproximadamente 15 metros. Además, los costos representan un desafío, ya que la variabilidad en los precios de la materia prima en el mercado afecta los costos de producción y también influye en los tiempos de entrega, lo que resulta en una pérdida de capacidad de producción necesaria.

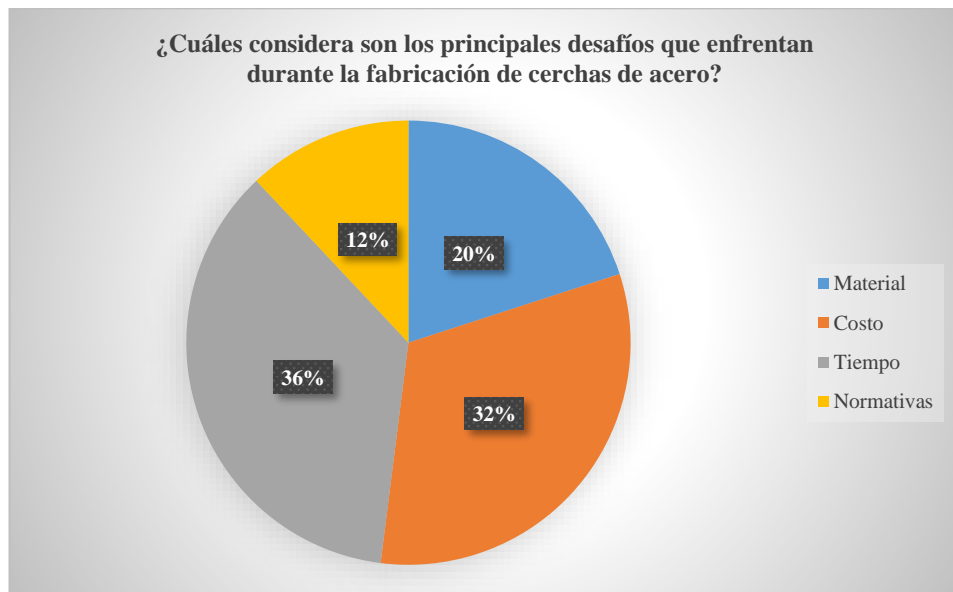
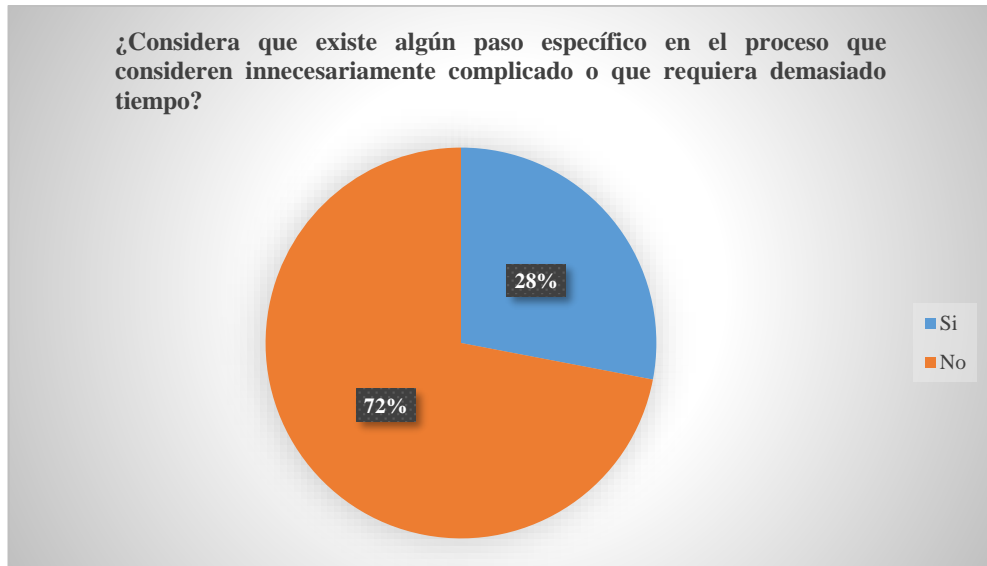


Figura 62.- Pregunta 1

En la Figura 63 sugiere que todos los procesos realizados en la empresa FYMSA son correctos y que ninguno puede ser excluido. Sin embargo, hay margen de mejora en cuanto al tiempo de producción. Esto se puede lograr manteniendo material en stock y realizando la toma de tiempos en cada proceso para identificar y reducir posibles cuellos de botella.



**Figura 63.-** Pregunta 2

En la Figura 64 se puede observar que no hay mucha variedad en cuanto a la respuesta de los trabajadores ya que un porcentaje considera que se debe mejorar la comunicación y la coordinación, muchos de los trabajadores critican el hecho de que sus compañeros no trabajan de una manera apropiada y hasta que lleguen a una buena coordinación se pierde tiempo.

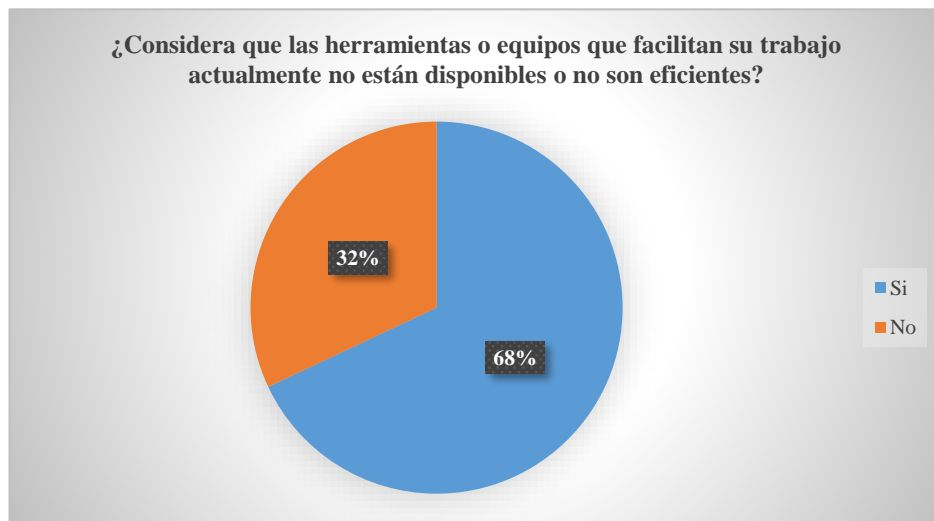


**Figura 64.-** Pregunta 3

Según la Figura 65 las herramientas no se encuentran en buen estado y estas pueden ocasionar algún accidente, además no tienen una buena coordinación con las personas que facilitan los equipos según la ficha de observación esto se corrobora ya se

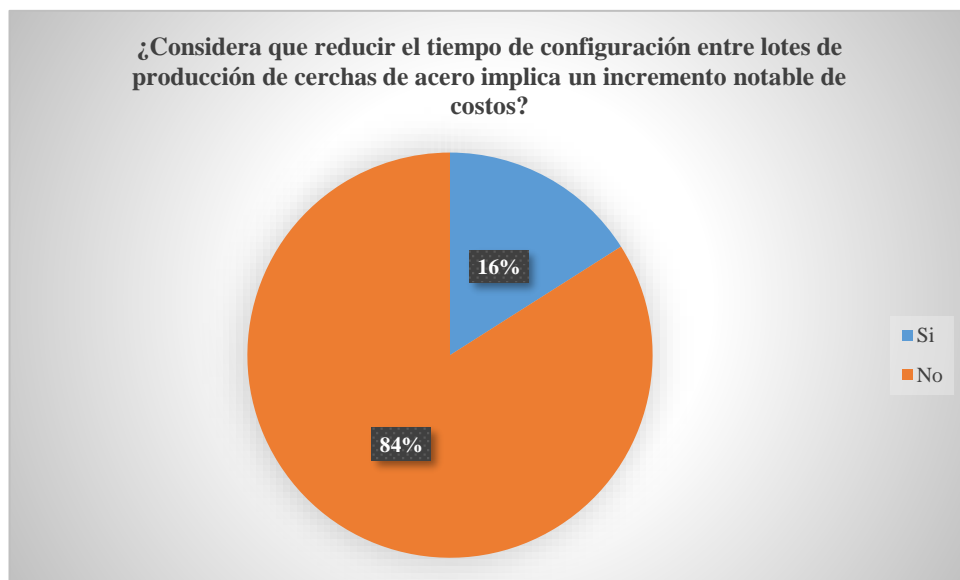


determinó que muchas veces los equipos no se encuentran en la bodega u otros no están disponibles porque están en mantenimiento.



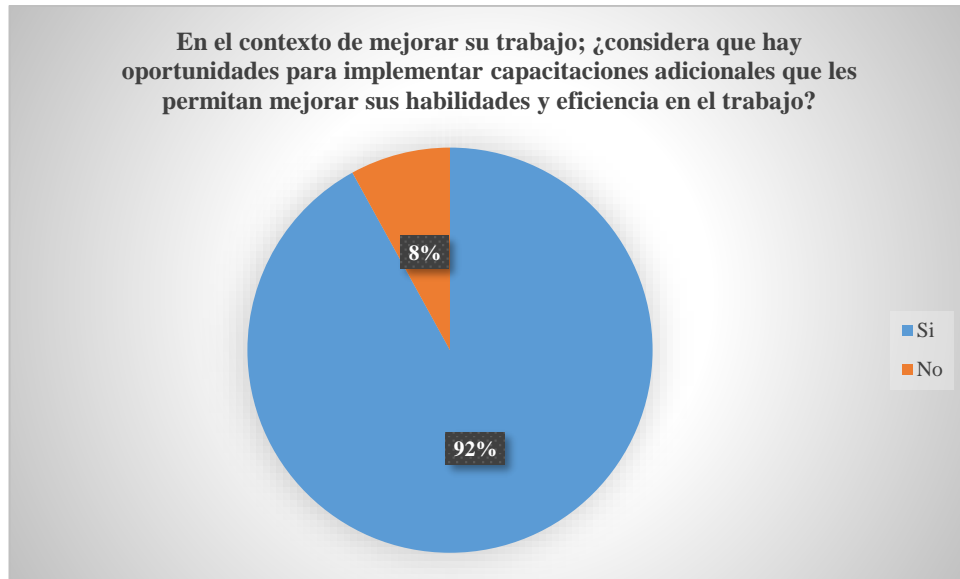
**Figura 65.-** Pregunta 4

En la Figura 66 se puede determinar que el tiempo de configuración de la cercha en diferentes lotes no representa un incremento significativo en los costos, según la opinión de los trabajadores. Además, se sugiere que una distribución más eficiente de la empresa podría mejorar el tiempo de producción.



**Figura 66.-** Pregunta 5

En la Figura 67 los trabajadores tienen una gran acogida al momento de hablar de capacitaciones ya que con ello podrían mejorar su trabajo, además ellos siempre están dispuestos algún cambio para mejorar el tiempo de producción.



**Figura 67.-** Pregunta 6

### **3.8.3. Ficha de observación**

1. Condición del material: El estado del material es el más apropiado ya que se encuentra sin rastros de oxidación y no se encuentra golpeado esto garantiza que los materiales son los de mejor calidad y que los proveedores son de excelencia en la industria ecuatoriana.
2. Soldaduras: Cada soldador es calificado, pero no se encuentra certificado de acuerdo con lo que establecen los reglamentos para construcción, además cuentan con auxiliares que les ayudan a mantener firmes los perfiles y que estos se encuentren a nivel para no fallar en el proceso.
3. Conexiones: Las conexiones en las cerchas se visualizó que no existen juntas sueltas ni desplazamientos por lo que la cerchas están alineadas.
4. Altura y longitud de la cercha: Las dimensiones y la geometría en las estructuras de la empresa FYMSA cumplen con los lineamientos de diseño, son aspectos críticos que afectan directamente en la seguridad de la estructura para lo cual la empresa tiene en sus líneas a los mejores ingenieros y arquitectos.
5. Inclinación de los miembros: Se encuentran dentro de las especificaciones de diseño.

6. Deformaciones Excesivas: No se encontraron deformaciones visibles, ya que con mediante el programa de análisis de estructura se analizan de mejor manera las deformaciones.
7. Presencia de cargas adicionales: Mediante el diseño, se analizó la carga de diseño que consta de, carga viva, carga muerta, carga de granizo, se verifico que no existen cargas adicionales.
8. Protección contra corrosión: El estado de protección y acabado en la fabricación de cerchas implica la implementación efectiva de medidas preventivas y prácticas que garanticen la resistencia a la corrosión y la durabilidad de las estructuras metálicas, por ello en la empresa FYMSA cumple con los estándares de calidad en cuanto a un buen recubrimiento superficial.
9. Acabado superficial: Según lo establecido por gerencia la limpieza de la cercha es algo que no se ha tomado en cuenta en muchos de los casos de fabricación, los soldadores no realizan una limpieza previa antes de soldar y al finalizar ellos solo limpian los cordones para eliminar la salpicadura y proceden a pintar los elementos con pinturas anticorrosivas para una buena presentación del trabajo.

### **3.9. Aceptación de la hipótesis**

La utilización de cerchas tipo Howe es una buena alternativa en cuanto al diseño ya que tiene una menor índice de deflexión en comparación a las cerchas tipo Warren, por otra parte, se puede señalar que, es factible fabricar este tipo de cerchas ya que, las diagonales se colocan en una sola dirección. Por lo que se acepta la hipótesis alternativa, que menciona que, es factible el uso de cerchas tipo Howe en la empresa FYMSA como una alternativa en el uso de naves industriales considerando su diseño fabricación y montaje, debido a que, se analizaron los diferentes factores claves como el control de deriva, deflexión, análisis pushover, modos de vibración, comparación de peso de las estructuras, comparación económica.

En función de esto, se puede mencionar que, la hipótesis fue aceptada a través de los resultados que se dieron en cuanto a las derivas ya que se obtuvo que las cerchas de tipo Howe tienen una participación del 96.59 % lo que demuestra que es más segura ante eventos sísmicos a diferencia de la Warren, por otra parte, con el análisis Pushover

se determinó que tiene un mejor comportamiento en cuanto a la dúctil del sistema estructural.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La nave industrial del mercado de Salcedo es un clave ejemplo de que se puede mejorar de forma efectiva con un nuevo diseño en la cubierta, cambiando la tipología de la cercha, de tal manera que el proceso de diseño y construcción de elementos tipo Howe es una alternativa para este tipo de estructuras, aplicando un análisis estático no lineal Pushover se pudo determinar el grado de ductilidad de la estructura lo que identificamos que los elementos al estar sometidos ante cargas sísmicas críticas estos no sufrieron una ruptura y el límite del Sut reflejado en las curvas de desempeño se prolongó en un 80% que las cerchas tipo Warren, de tal forma que es factible el uso de cerchas de estudio.
- Con la información facilitada por la empresa se consiguió diagnosticar la situación actual en los procesos de fabricación de cerchas metálicas es óptimo, pero se diagnosticó que con la utilización de cerchas tipo Howe los elementos se reducen y por obvias razones el tiempo de constitución se reduce mejorando la situación empresarial de FYMSA.
- El peso en cuanto a la cubierta utilizando las cerchas tipo Howe es de 127.29 toneladas menor que las de tipo Warren con una diferencia de 5.12 toneladas lo que le hace una estructura sea más ligera y económica, para corroborar el análisis económico lo que determinó que hay un ahorro significativo del 0.7%.
- Los requerimientos de la construcción en acero tomando en cuenta la norma NEC y AISC con la finalidad de asegurar la seguridad y calidad en la construcción del presente proyecto en la nave A del mercado mayorista del cantón Salcedo a cargo de la empresa FYMSA, es la forma más adecuada para realizar este tipo de análisis lo que nos permitió identificar las derivas, deflexiones y la ductilidad relacionados en la construcción nacional para salvaguardar la integridad de la ciudadanía.

## **Recomendaciones**

- Para futuros estudios es recomendable comparar con otro tipo de cerchas de esta manera podemos llegar a determinar mejoras en el desarrollo de naves industriales.
- Cumplir con la especificación de las normativas, con el fin de evitar riesgos y salvaguardar la integridad de la ciudadanía.
- El uso de cerchas tipo Howe es factible en naves industriales, pero para utilizar en otro tipo de estructuras es necesario un análisis previo.
- Revisar el análisis financiero, considerando el mes y año previsto para la construcción, dado que cambios en las políticas económicas podrían influir en el porcentaje del valor del presupuesto referencial establecido en el estudio actual.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Nilesh y Nalawade, «A Review on Optimization of Industrial Trusses,» *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, vol. V, n° 1, pp. 237-242, 2022.
- [2] Kalyanshetti y Mirajkar, «Comparison between conventional steel structures and tubular steel structures,» *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. II, n° 6, pp. 1460-1464, 2018.
- [3] Y. Patel y S. Gohil, «Analysis and design of conventional industrial roof truss and compare it with tubular industrial roof truss,» *IJSTE*, vol. II, n° 10, pp. 943-948, 2016.
- [4] D. Malagón , «Cerchas y celosías,» etsa, Granada, 2018.
- [5] M. Rivera, D. Camacho y R. Moya, «Percepción del mercado costarricense acerca del uso cerchas prefabricadas con madera de plantaciones forestales y unidas con placas metálicas.,» *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, vol. 16, n° 38, 2019.
- [6] A. Ghosh, «On structural design of steel roof truss geometry used in factory shed,» *ASPS Conference Proceedings*, vol. I, n° 1, pp. 321-329, 2022.
- [7] C. Haro, Análisis comparativo técnico y económico entre el proceso de fabricación de los elementos estructurales de una nave industrial metálica tipo celosía versus los de alma llena: diseño estructural y el análisis de precios unitarios de la nave industrial en c, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2023.
- [8] B. Durán y N. Rudy, «Diseño y construcción de prototipo para pruebas de cargas y evaluación de las deformaciones elásticas en cerchas,» Corporación universitaria minuto de Dios , Girardot, 2017.

- [9] G. Lupaca, Análisis sismorresistente de una edificación de estructura metálica convencional frente a un Sistema Diagrid en la región Tacna, Tacna: Universidad Proveda de Tacna, 2019.
- [10] O. Pontón, El criterio de un ingeniero civil frente a los programas de análisis estructural, simulación contra realidad, Ciudad de México: Universidad Autónoma del Estado de México, 2021.
- [11] A. Reyna, Análisis microestructural del acero al carbono 1 010 después de ser sometido un proceso de corte por oxicorte y por plasm, Moa: Instituto Superior Minero Metalurgico Moa, 2019.
- [12] L. Beltrán y A. Fernández, Análisis comparativo de propiedades mecánicas de bloques de concreto no estructurales para diferentes dosificaciones de mezcla elaborados en el departamento del Atlántico, Barranquilla: Universidad de la Costa, 2022.
- [13] A. Muguruza, Contribución a las tecnologías de fabricación aditiva para la obtención de piezas multimaterial, combinando la impresión 3D por máscara con la impresión funcional mediante sistemas InkJet, Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2019.
- [14] I. Cervera, Estrategias de sostenibilidad aplicadas a la construcción hospitalaria. Comparativa entre la construcción tradicional y la construcción industrializada, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2022.
- [15] J. Peñaloza y J. Téllez, GUÍA METODOLÓGICA PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES DE COLUMNA-PLACA, Cúcuta: Universidad Francisco de Paula Santander, 2019.
- [16] C. Arroyo, Análisis comparativo del diseño estructural de una edificación con sistema de acero convencional y acero con amortiguadores, en la ciudad de Chiclayo, Chiclayo: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2018.
- [17] D. Shigüi, Diseño y construcción de la estructura de una máquina de pruebas para conexiones metálicas viga-columna, Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2023.



- [18] H. Abad y G. León, Evaluación estructural de un domo de acero de grandes luces con cobertura flexible en Paita, Piura, Lima: Universidad Ricardo Palma, 2020.
- [19] P. Sandoval y J. Viera, Gestión de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente en la construcción de domo en la empresa minera Quellaveco, Moquegua, Perú, 2022, Piura: Universidad Nacional de Piura, 2022.
- [20] L. Poll y A. Bocanegra, Análisis comparativo presupuestal entre los diseños en concreto armado y en acero de la institución educativa N° 82629 del caserío totorillas, distrito de Guzmango - Contumaza - Cajamarca como aporte social, Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2021.
- [21] Á. Pozo, Diseño interior y readecuación de un inmueble a centro de creación, exhibición y distribución de alta costura, Quito: Universidad de Las Américas, 2018.
- [22] J. Yance, Implementación de un sistema de gestión de calidad para el montaje eficiente de estructuras metálicas en la Empresa Inpromayo E.I.R.L., Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.
- [23] R. Hincapie, Influencia del tiempo de revenido en la resistencia al desgaste abrasivo, sobre un acero de bajo carbono y contenido de manganeso superior al 1%, Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2019.
- [24] A. García y S. Quiroz, Evaluación y comparación del desempeño sísmico del proyecto residencial los Tulipanes utilizando disipadores Shear Link Bozzo respecto a reforzamiento con muros de corte - Trujillo, Trujillo: Universidad Privada Antenor Orrego, 2021.
- [25] D. Barrera, Implementación de un plan de calidad para obras metal mecánicas en la empresa VYP ICE Sac., Huancayo: Universidad Nacional del Centro de Perú, 2018.
- [26] E. Barrientos, J. Cárdenas y N. Calixto, Bases para el diseño estructural., Bogotá: Universidad Francisco de Paula Santander, 2020.

- [27] M. Ruiz, *Estática y rotura de estructuras: Lógica, herramientas y actitudes para el pensamiento resistente*, BibliotecaOnline SL, 2022.
- [28] K. Guerrero y N. García, *La característica fundamental de las cerchas radica en su construcción compuesta exclusivamente de elementos sujetos a fuerzas axiales, lo que significa que sus componentes solo experimentan cargas en esta dirección. Para lograr esta condición, es esencia*, Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2022.
- [29] R. Hernández, C. Fernández y P. Baptista, *Metodología de la investigación*, Cuarta ed., Mexico DF: McGraw-Hill, 2014.
- [30] G. Pannillo, M. Chacón y H. Riera, «Desarrollo y programación de conexiones sismorresistentes tipo BFP y RBS conforme a la normativa Ansi/Aisc 358-16,» *Gaceta Técnica*, vol. 19, núm. 2, Julio-, pp. 51-68, 2018. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5703/570360789006/570360789006.pdf>.
- [31] Ó. Agudelo, L. Molina y J. Prieto, «La pregunta por el método: derecho y metodología de la investigación,» 2018. [En línea]. Available: <https://0110o1zrz-y-https-elibro-net.uta.metaproxy.org/es/lc/uta/titulos/197064>.
- [32] J. Gil, *Optimización de forma y tamaño mediante un pseudo-algoritmo genético de estructuras metálicas tipo cercha a dos aguas morfológicamente definidas por dominios de 3 nodos*, Medellín: Universidad Santo Tomás, 2020.
- [33] J. Paredes, «Planificación y control de la producción,» IDIUC, Instituto de Investigaciones, Universidad de Cuenca, 2019. [En línea]. Available: <https://biblioteca.clacso.edu.ar/Ecuador/diuc-ucuenca/20121115114754/teoria.pdf>.
- [34] E. Llazca, *Análisis y Diseño de Techos con Tijerales Metálicos Tipo Howe Mediante el Visual C# y el Api del Sap2000*, Huancayo: Universidad Peruana de los Andes, 2021.

- [35] J. Fuentes y J. Cañavera, Efecto de los tratamientos térmicos en la microestructura y en las propiedades mecánicas de aceros de alta resistencia y baja aleación - HSLA, Córdoba: Universidad de Córdoba, 2020.
- [36] G. S. Administration, «Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings,» Air Force Civil Engineer Support Agency (AFCEA), 2006. [En línea]. Available: <https://www.wbdg.org/FFC/DHS/fema547.pdf>.
- [37] I. Trénor, Optimización de la estructura de la cubierta de un edificio de grandes luces resuelta con mallas espaciales de acero., Valencia: Universitat Politècnica de València, 2022.
- [38] K. Medina, Optimización del peso en rinoceroceros 3d de coberturas metálicas conformadas por armaduras espaciales., Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2022.
- [39] E. Bueno, La investigación científica: teoría y metodología, Zacatecas: Unidad Académica de Ciencias Sociales, 2016.
- [40] A. Muguirra, «¿Qué es la investigación descriptiva?,» 2022.
- [41] I. Rekalde, M. Vizcarra y A. Macazaga, «La observación como estrategia de investigación para construir contextos de aprendizaje y fomentar procesos participativos,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/706/70629509009.pdf>.
- [42] CFE, Diseño por viento, Mexico: CFE, 2020.
- [43] M. Cortés y M. Iglesias, Generalidades sobre Metodología de la Investigación (Vol. 1), México: Universidad Autónoma del Carmen, 2017.
- [44] C. Camison, Gestión de la Calidad: Conceptos, enfoques, modelos y sistemas, Pearson, 2018.
- [45] C. Bernal, Metodología de la Investigación: administración, economía, humanidades y ciencias sociales, Prentice Hall, 2018.

- [46] R. Carriel, Sistema de gestión y control de la calidad: Norma ISO 9001:2015, 2018.
- [47] A. Núñez, «Cercha tipo Howe,» Prezzi, 2019. [En línea]. Available: <https://prezi.com/5un71qa6jdd4/cercha-tipo-howe/?frame=36117c4e695095743b10128cddb0d593fb6f7fb2>.
- [48] R. Paredes, «Estructura Howe,» Resumen sobre la Armadura Howe, 2018. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/312260258/Estructura-Howe>.
- [49] A. Ticona, «Comparación, diferencias, ventajas, desventajas de cerchas tipo Howe y Pratt,» Universidad Javier Carlos Sucapuca. Materia CIV 413 construcciones III, 2020. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/510672189/COMPARACION#>.
- [50] J. Quinde, «Revisión de Normas de Diseño para Mampostería Confinada en Latinoamérica: Propuestas para la Norma Ecuatoriana de Construcción,» Revista Politécnica. (Quito) vol.51 no.1 Quito feb./abr, 2023. [En línea]. Available: [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1390-01292023000100077](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292023000100077).
- [51] M. Herrera, «Análisis del reforzamiento de una estructura construida informalmente mediante el uso de enchapes,» Gaceta Técnica. vol.23 no.2 Barquisimeto dic, 2022. [En línea]. Available: [http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1856-95602022000200004&script=sci\\_arttext](http://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S1856-95602022000200004&script=sci_arttext).
- [52] L. Zambrano, R. Alava, W. Ruíz y E. Menéndez, «Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón,» Gaceta Técnica. vol.23 no.1 Barquisimeto jun, 2022. [En línea]. Available: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1856-95602022000100035](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1856-95602022000100035).
- [53] P. Martínez y E. Reinoso, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca,» Ingeniería sísmica. no.94 Ciudad de México ene./jun, 2016. [En línea]. Available:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2016000100001](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100001).

- [54] R. Dos Santos y J. Palomino, «Coupling SAP 2000 with ABC algorithm for truss optimization,» DYNA, vol. 87, no. 212, 2020. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/496/49663642013/49663642013.pdf>.
- [55] MIDUVI, «Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción),» Seguridad estructural de las edificaciones. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2023. [En línea]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>.
- [56] American Institute of Steel Construction, «Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, 2016,» Supplement No. 1. American Institute of Steel Construction. Approved by the Connection Prequalification Review Panel, 2018. [En línea]. Available: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a358-18w.pdf>.
- [57] Standards NZ, «NZS 3101.1&2:2006 (Inc A1, A2 A3),» Concrete structures standard, 2006. [En línea]. Available: <https://www.standards.govt.nz/shop/nzs-3101-1-and-22006-inc-a1-a2-a3/>.
- [58] ALACERO, «Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero,» Asociación Latinoamericana del Acero, 2010. [En línea]. Available: [https://aceroplatea.es/docs/comites/documento5\\_86.pdf](https://aceroplatea.es/docs/comites/documento5_86.pdf).
- [59] FONDONORMA, «Proyecto y construcción de obras en concreto estructural,» FONDONORMA 1753:200 (1ra Revisión). Fondo para la normalización y certificación de la calidad, 2006. [En línea]. Available: [http://www.funvisis.gob.ve/old/archivos/pdf/normas/norma\\_dise%C3%B1o\\_concreto\\_vigente/Covenin%201753-2006%20Proyecto%20Construccion%20Obras%20Concreto%20Estructural.pdf](http://www.funvisis.gob.ve/old/archivos/pdf/normas/norma_dise%C3%B1o_concreto_vigente/Covenin%201753-2006%20Proyecto%20Construccion%20Obras%20Concreto%20Estructural.pdf).
- [60] INN Chile, «Norma chilena oficial. Diseño sísmico de edificios,» NCh 433.Of96 Instituto nacional de normalización, 1999. [En línea]. Available: [https://www.preventionweb.net/files/28726\\_normachilenadisenosismico.pdf](https://www.preventionweb.net/files/28726_normachilenadisenosismico.pdf).

- [61] American National Standard, «Seismic Provisions for Structural Steel Buildings,» Approved by the Committee on Specifications. American institute of steel construction, 2016. [En línea]. Available: <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/seismic-provisions-for-structural-steel-buildings-ansi-aisc-341-16.pdf>.
- [62] ANSI/AISC 358, «Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications,» Reduced beam section. Welded unreinforced flange-welded web (WUF-W), 2022. [En línea]. Available: <https://www.aisc.org/publications/steel-standards/ansiaisc-358/>.
- [63] P. Cadena, R. Rendón, J. Aguilar y E. Salinas, «Métodos cuantitativos, métodos cualitativos o su combinación en la investigación: un acercamiento en las ciencias sociales,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/2631/263153520009.pdf>.
- [64] M. Pérez, «Diseño y cálculo de la estructura metálica y de la cimentación de una nave industrial,» Universidad Carlos III de Madrid. Escuela Politécnica Superior. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras, 2009. [En línea]. Available: [https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7572/pfc\\_marta\\_perez\\_rodriguez.pdf?sequence=1](https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/7572/pfc_marta_perez_rodriguez.pdf?sequence=1). [Último acceso: 10 septiembre 2023].
- [65] K. Merchán y J. Vásquez, «Diseño de la estructura metálica de un galpón para almacenes TÍA con metodología BIM, ubicado en Caluma, Bolívar,» Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2021. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52204/1/T-70574%20VASQUEZ%20-%20MERCHAN.pdf>. [Último acceso: 11 septiembre 2023].
- [66] M. Miranda, «Comparacion de cercha en funcion del material,» Universidad Mayor de San Andres. Facultad de Tecnologia. Carrera de Construcciones Civiles, 2018. [En línea]. Available: [https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiNvqyjw\\_uBAxX8m2oFHfcADxUQFnoECBgQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.umsa.bo%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F21310%2FEG-2196.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&us](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiNvqyjw_uBAxX8m2oFHfcADxUQFnoECBgQAQ&url=https%3A%2F%2F repositorio.umsa.bo%2Fbitstream%2Fhandle%2F123456789%2F21310%2FEG-2196.pdf%3Fsequence%3D1%26isAllowed%3Dy&us). [Último acceso: 12 septiembre 2023].

- [67] R. Giráldez y A. Hernández, «Análisis dinámico de la capacidad portante del puente km,» Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 14, núm. 1. Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba, 2020. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/1939/193962633003/193962633003.pdf>.
- [68] Endereco, «El SAP2000,» La versatilidad en modelar estructuras, 2022. [En línea]. Available: <https://www.csiespana.com/software/2/sap2000>.
- [69] J. Irurita y P. Villanueva, «Sistemas de gestión de la calidad,» Escuela técnica superior de ingenieros técnicos industriales y de telecomunicación. Industriales y de telecomunicación, 2012. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/10851013.pdf>.
- [70] A. Ruiz, «Introducción al proceso de auditoría de gestión,» La eficacia de la gestión administrativa, 2020. [En línea]. Available: [http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4\\_ven\\_intro\\_proc\\_aud\\_ges.pdf](http://www.oas.org/juridico/PDFs/mesicic4_ven_intro_proc_aud_ges.pdf).
- [71] C. Zambrano, «Descargar Etabs 2016 v16 para windows (32 y 64 bit),» Algunas novedades en Etabs 2016, 2017. [En línea]. Available: <https://aportesingecivil.com/descargar-etabs-2016-v16/>.
- [72] H. Cárcamo, P. Méndez y A. Rebolledo, «Tendencias de los enfoques cualitativos y cuantitativos,» 2009. [En línea]. Available: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1011-22512009000200012](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1011-22512009000200012).
- [73] L. Ortiz, «Análisis y diseño de un galpón metálico en el programa Sap 2000, bajo las normas del AISC-360 y la NEC-15, ubicado en el km 1 ½ vía Durán Jujan, en el cantón Durán, de la provincia del Guayas,» Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería Civil, 2018. [En línea]. Available: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/29313/1/TESIS-DISE%c3%91O%20Y%20AN%c3%81LISIS%20DE%20UN%20GALP%c3%93N%20MET%c3%81LICO-final.pdf>.

- [74] A. Paz, Optimización de forma y tamaño mediante un pseudo-algoritmo genético de estructuras metálicas tipo cercha a dos aguas morfológicamente definidas por dominios de 3 nodos, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2020.



## **ANEXOS**

Toca ser más específicos y realizar pregunta sobre el procedimiento para la fabricación de cerchas

### **Anexo 1 entrevista**

#### **Entrevista al gerente general de la empresa FYMSA S.A del cantón Salcedo**

**Entrevistador:**

**Fecha:**

**Entrevistado:**

**Hora:**

Agradecemos su disposición a participar en esta entrevista enfocada optimizar el proceso de fabricación de cerchas de acero

1. ¿Qué tipo de cercha son las que más son utilizados por la empresa?
2. ¿Qué tipo de acero utiliza en la fabricación de cerchas?
3. ¿Cuál es el proceso de soldadura que utiliza en la fabricación de cerchas?
4. ¿Cuáles son los beneficios en el proceso de soldadura SMAW para soldar los elementos estructurales de la cercha?
5. ¿Qué tipo de electrodos son los que utiliza para soldar la cercha?
6. ¿Cuál es el tiempo estimado que demora un soldador en constituir un tramo de 10 metros de una cercha?
7. ¿Cuál es el tipo de perfil que más utiliza para el cordón superior e inferior en la fabricación de cerchas?
8. ¿Cuál es el tipo de perfil que más utiliza para los montantes en la fabricación de cerchas?
9. ¿Cuál es el tipo de perfil que más utiliza para las diagonales en la fabricación de cerchas?
10. ¿Se verifica el procedimiento de acabado superficial mediante la limpieza en las cerchas?
11. ¿Qué tipo de pintura utilizan en la fabricación de cerchas?
12. ¿Los soldadores cumplen con la calificación respectiva de operación para trazado, corte y medición de materiales?
13. ¿En el taller se cuentan con auxiliares de soldadura mismos que cumplen con equipos de seguridad?

14. ¿Piensa usted que existe la posibilidad de estandarizar ciertos procesos de fabricación para simplificar la producción de cerchas de acero y aumentar la consistencia en la calidad del producto?

## **GRACIAS POR LA ATENCIÓN PRESTADA**

### **Anexo 2 Encuesta**

#### **Encuesta**

Agradecemos su participación en esta encuesta que tiene como objetivo optimizar el proceso de fabricación de cerchas de acero

#### **Instrucciones:**

- Lea cada pregunta atentamente
- Selecciona una única respuesta por pregunta, a menos que se indique lo contrario.
- Si alguna pregunta no es aplicable para ti, puedes dejarla en blanco.

1. ¿Cuáles considera son los principales desafíos que enfrentan durante la fabricación de cerchas de acero?

Material

Costo

Tiempo

Normativas

2. ¿Considera que existe algún paso específico en el proceso que consideren innecesariamente complicado o que requiera demasiado tiempo?

Si

No

¿Cuál?

3. ¿Considera que se debería mejorar la eficiencia en la comunicación y coordinación entre los diferentes equipos que participan en la fabricación de cerchas de acero?

Si

No

4. ¿Considera que las herramientas o equipos que facilitan su trabajo actualmente no están disponibles o no son eficientes?

Si

No

5. ¿Considera que reducir el tiempo de configuración entre lotes de producción de cerchas de acero implica un incremento notable de costos?

Si

No

6. En el contexto de mejorar su trabajo; ¿considera que hay oportunidades para implementar capacitaciones adicionales que les permitan mejorar sus habilidades y eficiencia en el trabajo?

Si

No

### Anexo 3. Ficha de observación

#### Ficha de observación

Ficha de Observación del Estado de Cerchas de Acero:

**Fecha de Observación:**

**Ubicación de las Cerchas:**

**Equipo de Observación:**

#### Estado General de las Cerchas:

##### 1. Condición del Material:

- Buen estado
- Oxidación leve
- Oxidación moderada
- Oxidación severa
- Otro (especificar): \_\_\_\_\_

##### 2. Soldaduras:

- Sin defectos aparentes
- Grietas
- Porosidad
- Desprendimiento de soldadura
- Otro (especificar): \_\_\_\_\_

##### 3. Conexiones:

- Bien alineadas y aseguradas
- Juntas sueltas
- Desplazamiento en las conexiones
- Otro (especificar): \_\_\_\_\_

#### Dimensiones y Geometría:

##### 4. Altura de la Cercha:

- Dentro de las especificaciones
- Mayor a las especificaciones
- Menor a las especificaciones

**5. Longitud de la Cercha:**

- Dentro de las especificaciones
- Mayor a las especificaciones
- Menor a las especificaciones

**6. Inclinación de los Miembros:**

- Dentro de las especificaciones
- Mayor a las especificaciones
- Menor a las especificaciones

**Cargas y Deformaciones:**

**7. Deformaciones Excesivas:**

- No hay deformaciones visibles
- Deformaciones evidentes (especificar ubicación):  
\_\_\_\_\_

**8. Presencia de Cargas Adicionales:**

- Cumple con las cargas de diseño
- Presencia de cargas adicionales no previstas

**Estado de Protección y Acabado:**

**9. Protección contra Corrosión:**

- Recubrimiento anti-corrosión en buen estado
- Recubrimiento anti-corrosión dañado

**Acabado Superficial:**

- Superficie en buen estado
- Imperfecciones en la superficie (especificar): \_\_\_\_\_

---

**Observaciones Adicionales:** [Espacio para anotaciones y detalles específicos]

---

**Acciones Recomendadas:** [Enumerar las acciones recomendadas basadas en las observaciones]

Nota: esta ficha de observación puede ser utilizada para realizar evaluaciones periódicas del estado de las cerchas de acero, identificar posibles problemas, y definir las acciones correctivas necesarias para garantizar la integridad y seguridad de la estructura.

#### Anexo 4. Cargas viva de cubierta NEC 2015

**Tabla 1**

*Carga viva mínima para cubiertas.*

Ocupación o uso	Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> )	Carga concentrada (kN)
<b>Cubiertas</b>		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0,70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3,00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patio de reunión	4,80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y Carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0,24 (no reduc.)	
Toldos de mas	1,00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8,90
Carga Puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubierta sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1,40
todas los otros usos		1,40

Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores

## Anexo 5. Criterios de aceptación y rechazo Ultrasonido

**Table 8.3**  
**UT Acceptance-Rejection Criteria (Cyclically Loaded Nontubular Connections in Tension)**  
**(see 8.13.2 and C-8.25.6)**

Discontinuity Severity Class	Weld Size <sup>a</sup> in inches [mm] and Search Unit Angle										
	5/16 through 3/4 [8-20]	> 3/4 through 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 through 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 through 4 [65-100]			> 4 through 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Class A	+10 & lower	+8 & lower	+4 & lower	+7 & lower	+9 & lower	+1 & lower	+4 & lower	+6 & lower	-2 & lower	+1 & lower	+3 & lower
Class B	+11	+9	+5 +6	+8 +9	+10 +11	+2 +3	+5 +6	+7 +8	-1 0	+2 +3	+4 +5
Class C	+12	+10	+7 +8	+10 +11	+12 +13	+4 +5	+7 +8	+9 +10	+1 +2	+4 +5	+6 +7
Class D	+13 & up	+11 & up	+9 & up	+12 & up	+14 & up	+6 & up	+9 & up	+11 & up	+3 & up	+6 & up	+8 & up

<sup>a</sup> Weld size in butt joints shall be the nominal thickness of the thinner of the two parts being joined.

**Notes:**

- Class B and C discontinuities shall be separated by at least 2L, L being the length of the longer discontinuity, except that when two or more such discontinuities are not separated by at least 2L, but the combined length of discontinuities and their separation distance is equal to or less than the maximum allowable length under the provisions of Class B or C, the discontinuity shall be considered a single acceptable discontinuity.
- Class B and C discontinuities shall not begin at a distance less than 2L from weld ends carrying primary tensile stress, L being the discontinuity length.
- Discontinuities detected at "scanning level" in the root face area of CJP double groove weld joints shall be evaluated using an indication rating 4 dB more sensitive than described in 8.25.6.5 when such welds are designated as "tension welds" on the drawing (subtract 4 dB from the indication rating "d"). This shall not apply if the weld joint is backgouged to sound metal to remove the root face and MT used to verify that the root face has been removed.
- For indications that remain on the display as the search unit is moved, refer to 8.13.2.1.

Class A (large discontinuities)  
Any indication in this category shall be rejected (regardless of length).

Class B (medium discontinuities)  
Any indication in this category having a length greater than 3/4 in [20 mm] shall be rejected.

Class C (small discontinuities)  
Any indication in this category having a length greater than 2 in [50 mm] in the middle half or 3/4 in [20 mm] length in the top or bottom quarter of weld thickness shall be rejected.

Class D (minor discontinuities)  
Any indication in this category shall be accepted regardless of length or location in the weld.

Scanning Levels	
Sound path <sup>b</sup> in [mm]	Above Zero Reference, dB
through 2-1/2 [65 mm]	20
> 2-1/2 through 5 [65-125 mm]	25
> 5 through 10 [125-250 mm]	35
> 10 through 15 [250-380 mm]	45

<sup>b</sup> This column refers to sound path distance; NOT material thickness.

## Anexo 6. Criterios de aceptación y rechazo Inspección Visual

**Table 10.15**  
**Visual Inspection Acceptance Criteria (see 10.24)**

Discontinuity Category and Inspection Criteria	Tubular Connections (All Loads)										
<b>(1) Crack Prohibition</b> Any crack shall be unacceptable, regardless of size or location.	X										
<b>(2) Weld/Base Metal Fusion</b> Complete fusion shall exist between adjacent layers of weld metal and between weld metal and base metal.	X										
<b>(3) Crater Cross Section</b> All craters shall be filled to provide the specified weld size, except for the ends of intermittent fillet welds outside of their effective length.	X										
<b>(4) Weld Profiles</b> Weld profiles shall be in conformance with 7.23.	X										
<b>(5) Time of Inspection</b> Visual inspection of welds in all steels may begin immediately after the completed welds have cooled to ambient temperature. Acceptance criteria for ASTM A514, A517, and A709 Grade HPS 100W [HPS 690W] steels shall be based on visual inspection performed not less than 48 hours after completion of the weld.	X										
<b>(6) Undersized Welds</b> The size of a fillet weld in any continuous weld may be less than the specified nominal size (L) without correction by the following amounts (U):  <table style="margin-left: auto; margin-right: auto; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center;">L,</td> <td style="text-align: center;">U,</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">specified nominal weld size, in [mm]</td> <td style="text-align: center;">allowable decrease from L, in [mm]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≤ 3/16 [5]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/16 [2]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1/4 [6]</td> <td style="text-align: center;">≤ 3/32 [2.5]</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">≥ 5/16 [8]</td> <td style="text-align: center;">≤ 1/8 [3]</td> </tr> </table> In all cases, the undersize portion of the weld shall not exceed 10% of the weld length. On web-to-flange welds on girders, underrun shall be prohibited at the ends for a length equal to twice the width of the flange.	L,	U,	specified nominal weld size, in [mm]	allowable decrease from L, in [mm]	≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]	1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]	≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]	X
L,	U,										
specified nominal weld size, in [mm]	allowable decrease from L, in [mm]										
≤ 3/16 [5]	≤ 1/16 [2]										
1/4 [6]	≤ 3/32 [2.5]										
≥ 5/16 [8]	≤ 1/8 [3]										
<b>(7) Undercut</b> (A) For material less than 1 in [25 mm] thick, undercut shall not exceed 1/32 in [1 mm], with the following exception: undercut shall not exceed 1/16 in [2 mm] for any accumulated length up to 2 in [50 mm] in any 12 in [300 mm]. For material equal to or greater than 1 in [25 mm] thick, undercut shall not exceed 1/16 in [2 mm] for any length of weld. (B) In primary members, undercut shall be no more than 0.01 in [0.25 mm] deep when the weld is transverse to tensile stress under any design loading condition. Undercut shall be no more than 1/32 in [1 mm] deep for all other cases.	X										
<b>(8) Porosity</b> (A) CJP groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no visible piping porosity. For all other groove welds and for fillet welds, the sum of the visible piping porosity 1/32 in [1 mm] or greater in diameter shall not exceed 3/8 in [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in [20 mm] in any 12 in [300 mm] length of weld. (B) The frequency of piping porosity in fillet welds shall not exceed one in each 4 in [100 mm] of weld length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in [2.5 mm]. Exception: for fillet welds connecting stiffeners to web, the sum of the diameters of piping porosity shall not exceed 3/8 in [10 mm] in any linear inch of weld and shall not exceed 3/4 in [20 mm] in any 12 in [300 mm] length of weld. (C) CJP groove welds in butt joints transverse to the direction of computed tensile stress shall have no piping porosity. For all other groove welds, the frequency of piping porosity shall not exceed one in 4 in [100 mm] of length and the maximum diameter shall not exceed 3/32 in [2.5 mm].	X										

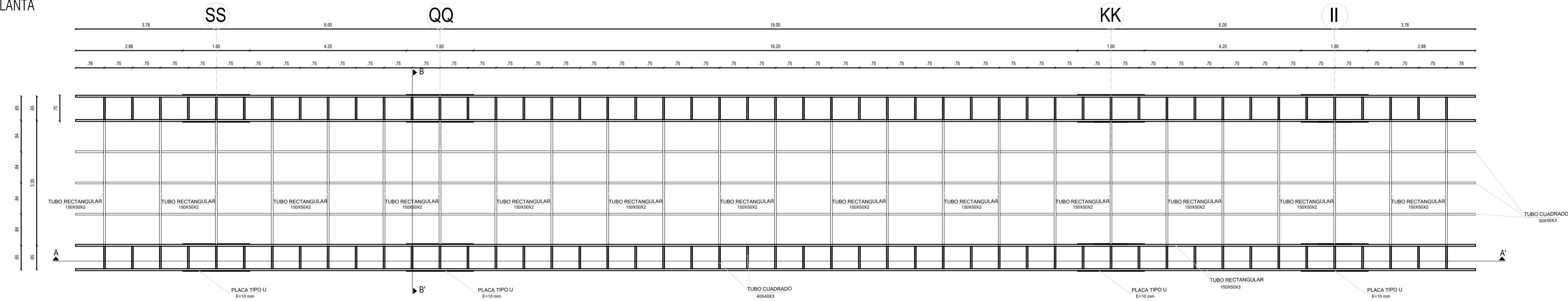
Note: An "X" indicates applicability for the connection type; a shaded area indicates non-applicability.



ARMADO DE COLUMNAS - NAVE INDUSTRIAL ORIENTAL

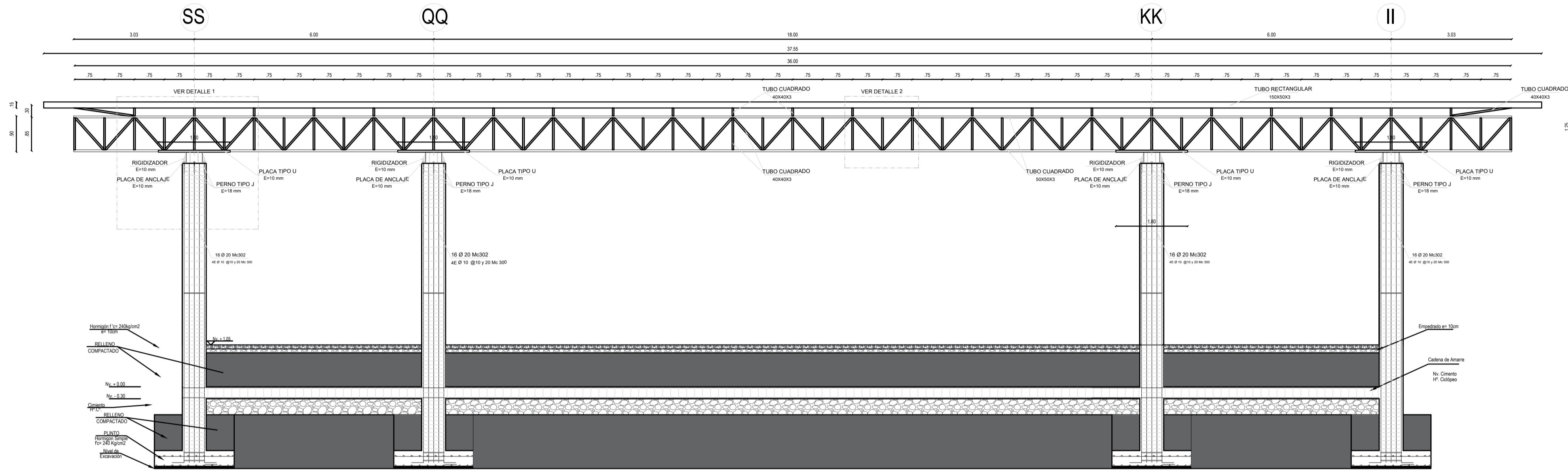
VISTA EN PLANTA

ESCALA: 1:75



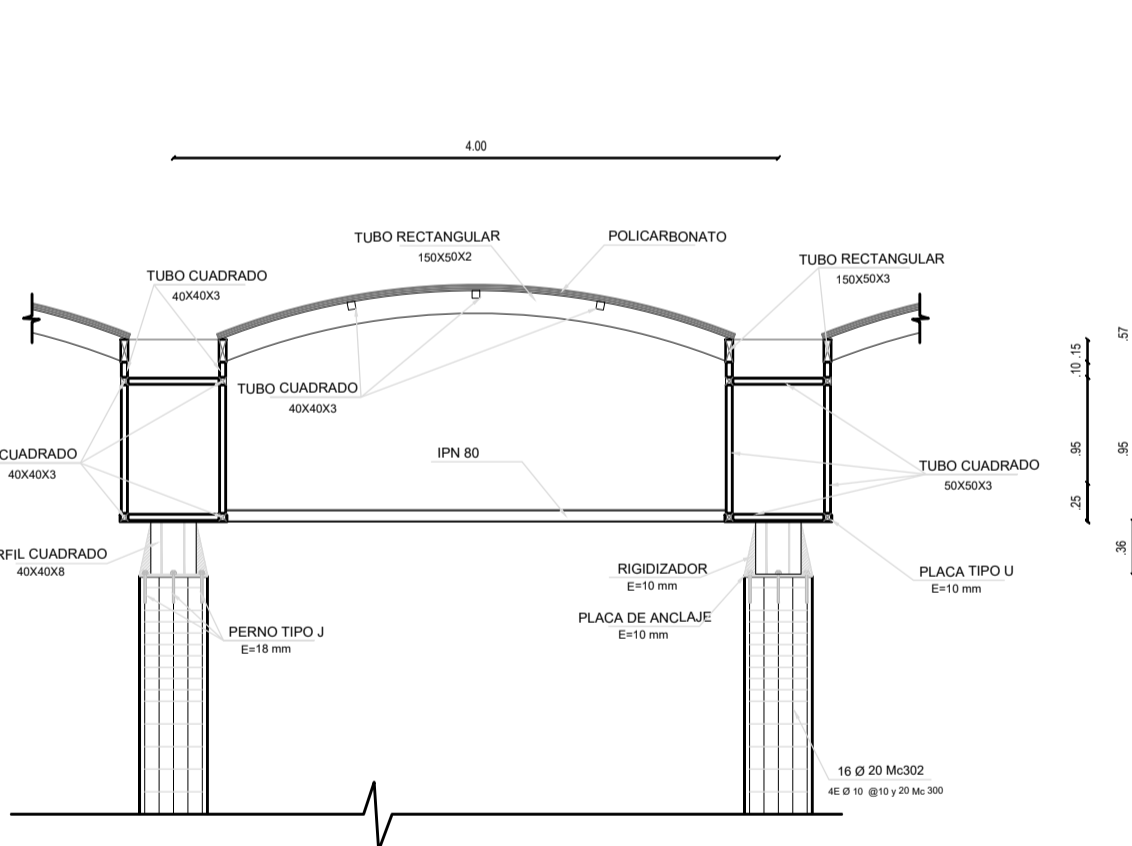
CORTE A - A'

ESCALA: 1:75



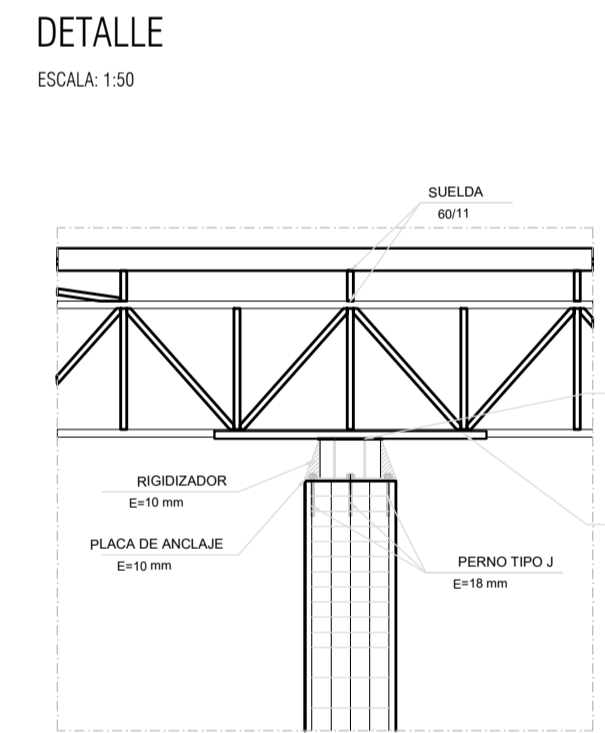
CORTE B - B'

ESCALA: 1:75



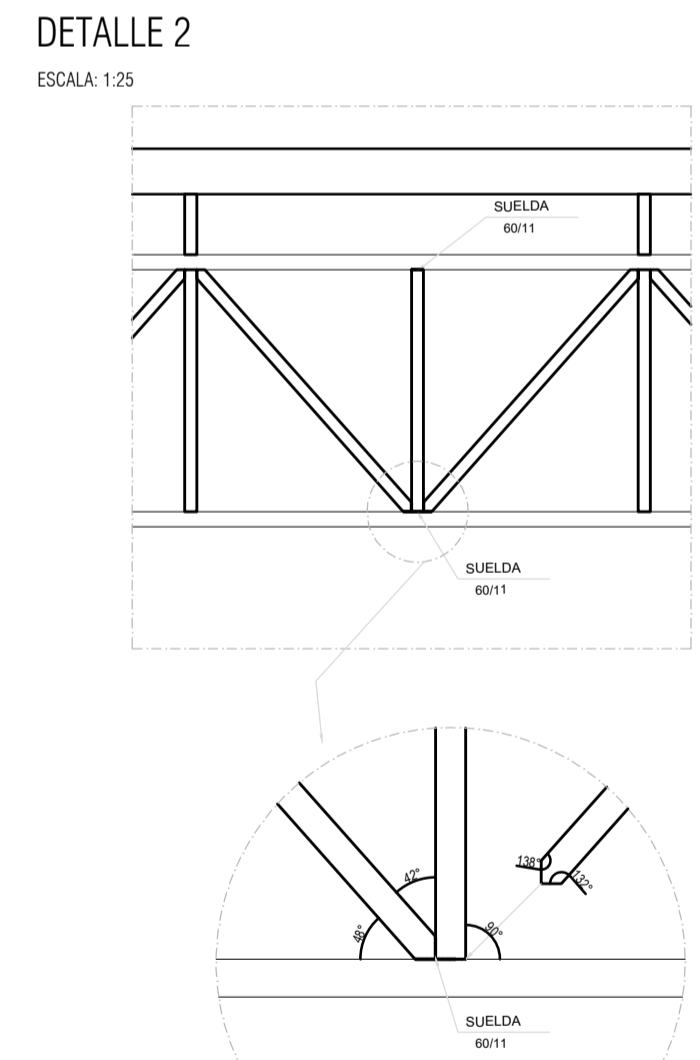
DETALLE

ESCALA: 1:50



DETALLE 2

ESCALA: 1:25

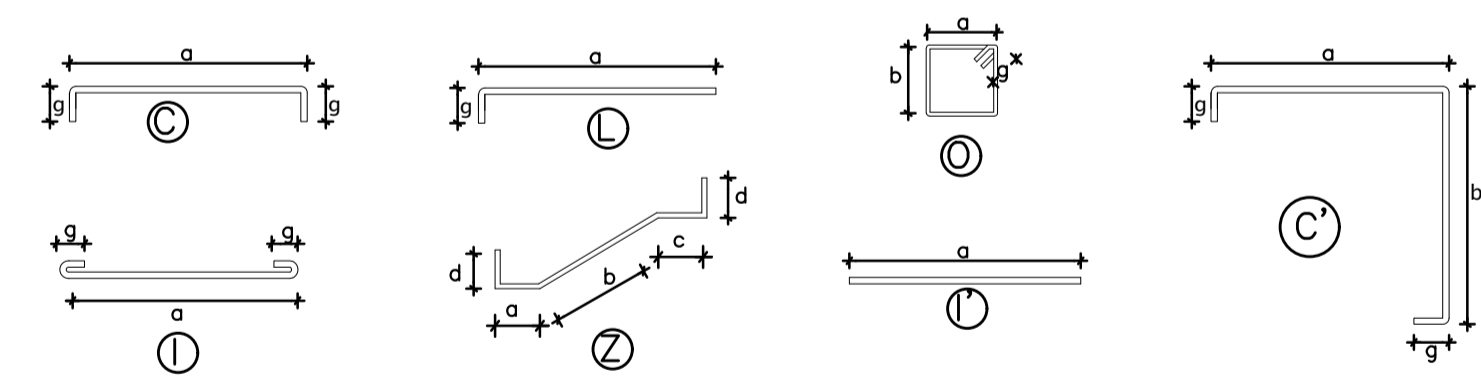


ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- 1.- El hormigón deberá tener un esfuerzo unitario último a la compresión a los 28 días de edad  $f'c=240 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 2.- El acero deberá tener un esfuerzo unitario a la fluencia  $f_y=4200 \text{ Kg/cm}^2$ , además el acero para estribos se usara  $f_y=2800 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 3.- Los niveles mínimos de cimentación serán los indicados.
- 4.- La capacidad portante del suelo se ha asumido en  $20 \text{ Tn/m}^2$ , particular que será obligación del constructor verificar que se cumple en el sitio antes de iniciar la construcción.
- 5.- El recubrimiento mínimo y traslapes mínimos serán los señalados.
- 6.- Cualquier cambio o modificación estructural será autorizado por el Ing. Calculista.

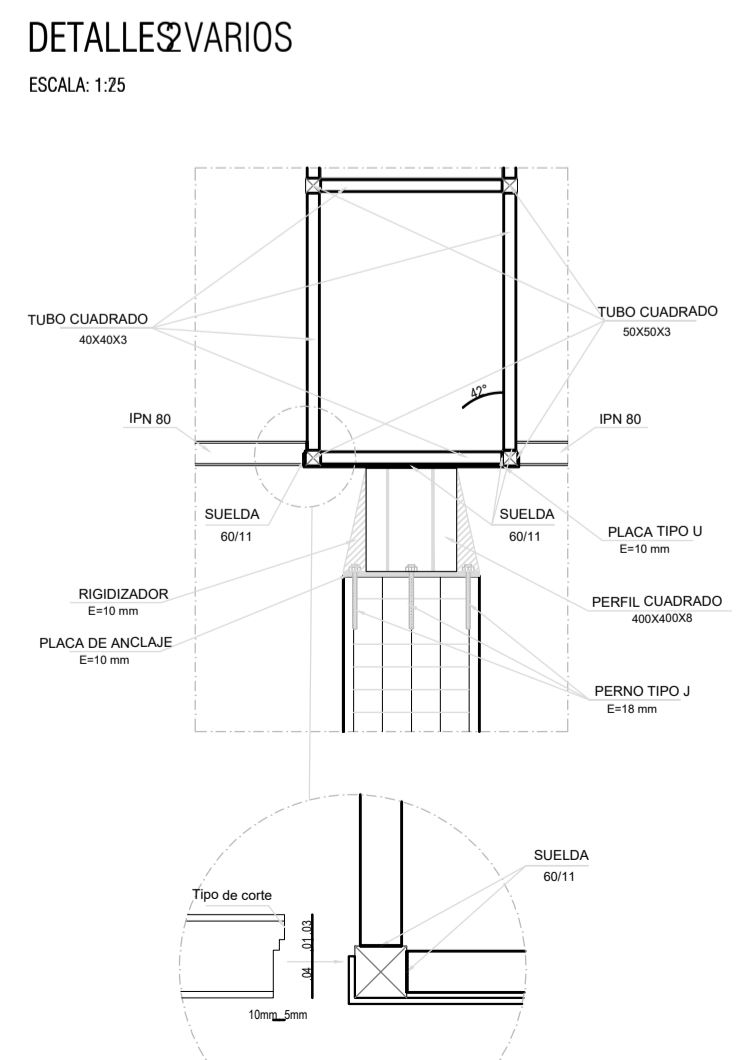
TIPOS DE DOBLADO

D.O. DOBLADO EN OBRA



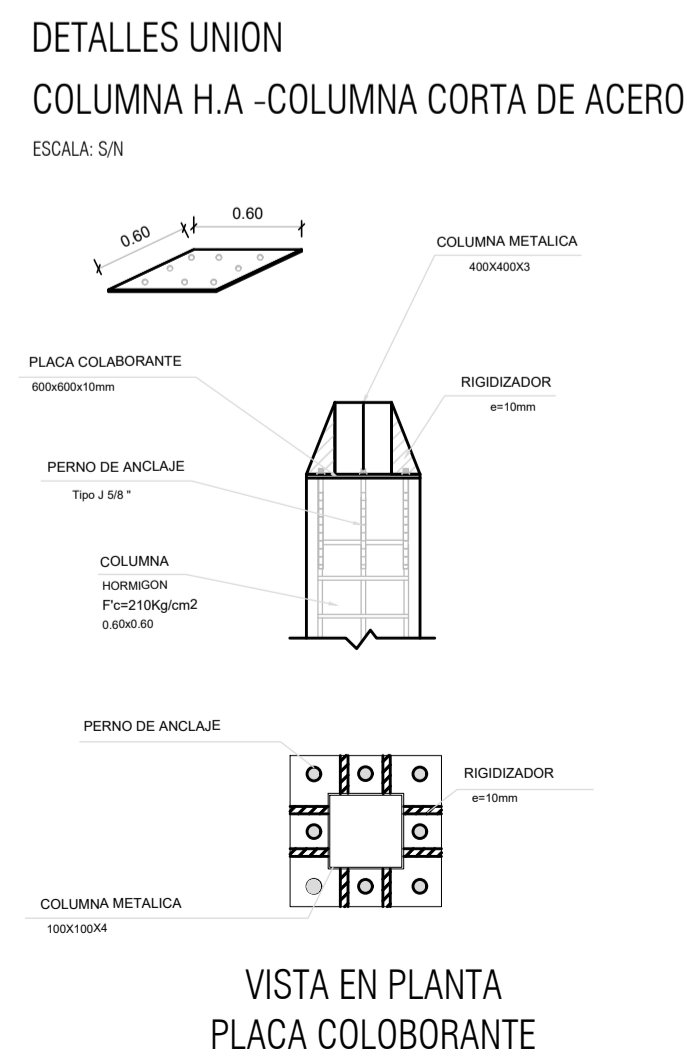
DETALLES VARIOS

ESCALA: 1:25



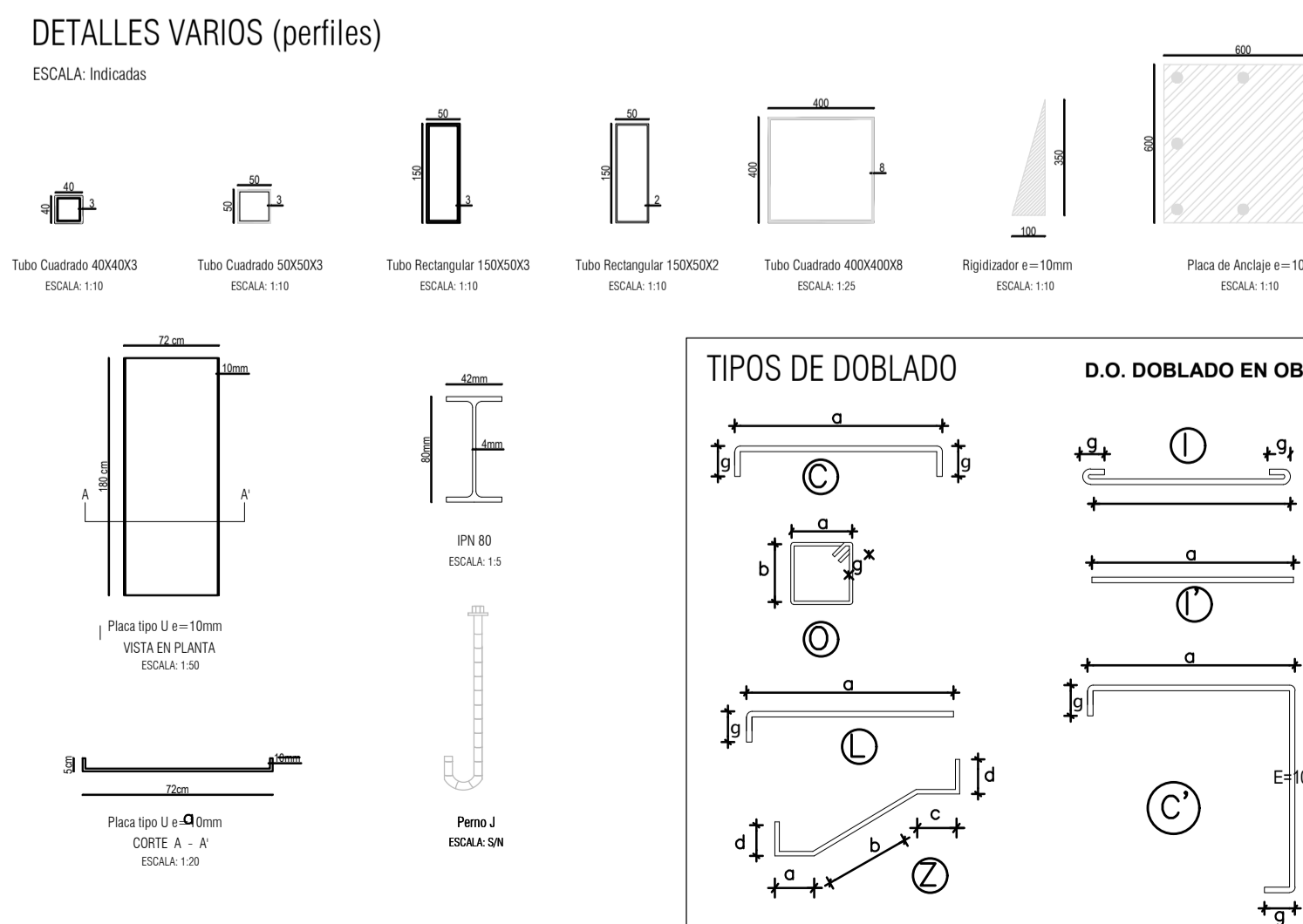
DETALLES UNION COLUMNA H.A - COLUMNA CORTA DE ACERO

ESCALA: 5:1



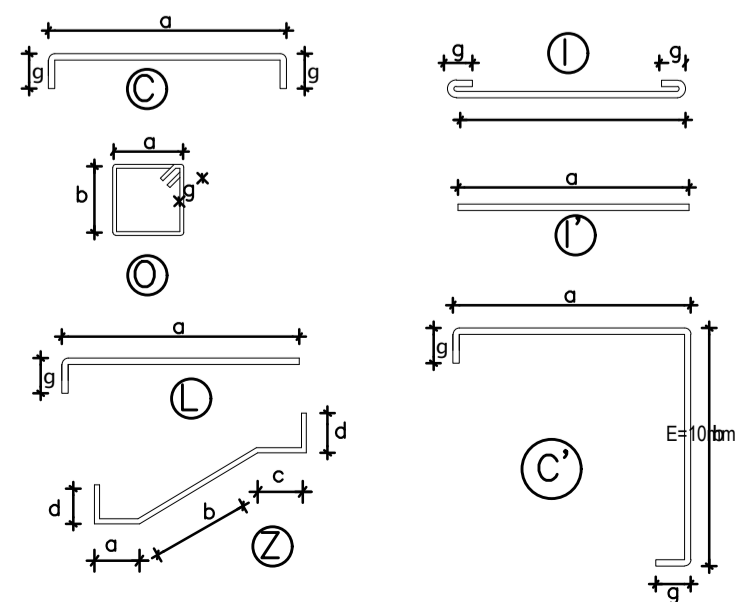
DETALLES VARIOS (perfiles)

ESCALA: Indicadas



TIPOS DE DOBLADO

D.O. DOBLADO EN OBRA



RESUMEN DE ACERO ESTRUCTURAL

ESPECIFICACION	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	AREA (m²)	CANT.	PESO UNITARIO (Kg/m)	PESO TOTAL (Kg)
<b>CERCHA</b>						
40x40x3	36.05			100.00	3.54	12761.70
50x50x3	0.80			2450.00	4.48	8780.80
50x50x3	1.07			2400.00	4.48	11504.64
50x50x3	0.65			2450.00	4.48	7134.40
<b>SOPORTE CUBIERTA</b>						
150x50x3	37.55			50.00	9.17	17216.68
40x40x3	0.20			1150.00	3.54	814.20
150x50x2	3.48			600.00	6.17	12882.96
50x50x3	37.55			72.00	4.48	12112.13
<b>RIOSTRA HORIZONTAL</b>						
IPN 80	3.30			312.00	5.95	6126.12
<b>COLUMNA CORTA DE ANCLAJE</b>						
40x40x8			0.56	100.00	35.79	2004.24
<b>PLACAS DE ANCLAJE</b>						
60x60x10			0.3600	100.00	28.76	1035.36
<b>RIGIDIZADOR</b>						
			0.0175	800.00	1.40	19.60
<b>PLACA SOPORTE TIPO U</b>						
E=10mm			1.4400	100.00	115.03	16564.32
					TOTAL kg	108957.14

SELLOS MUNICIPALES



**DIRECTOR DE PROYECTO:**  
 ARQ. JUAN PABLO NAVAS, MTR. MGPCA  
 CAE: P-6365 CI: 0502400112  
 Registro SENESCYT: MGPCA 7138R-12-6514 - March 7502R-13-9603 - ARQ 1027-07-793616

**CONSULTOR ESTRUCTURAL:**  
 ING. SANTIAGO ALBERTO NAVAS ROMERO  
 CI: 1705589941  
 Registro SENESCYT: ING CIVIL 1001-09-949730

**ENTIDAD CONTRATANTE:**  
 ARQ. ALVARO DAVID VILLOTA ACOSTA  
 ADMINISTRADOR DEL CONTRATO  
 Dirección de Planificación del GAD Municipal del Cantón Salcedo

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN SALCEDO  
 Msc. Willam Polivio Naranjo Torres  
 ALCALDE

ESTUDIOS PARA LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL CENTRO DE COMERCIALIZACIÓN PARA LOS PRODUCTORES DEL CANTÓN SALCEDO

**CONTIENE:**  
**NAVE ORIENTAL ESTRUCTURA CUBIERTA**

**DATOS GENERALES DEL PREDIO**  
 GAD MUNICIPAL DEL CANTÓN SALCEDO  
 Clave Catastral: 05 05 50 03 02 70 020 Nº de predio: 020  
 Parroquia: SAN MIGUEL Sector: SAN MARCOS - ANCHILVÍ  
 Área Proyecto Estructural: 7.080 m2

**DATOS GENERALES DE LA CONTRATACIÓN**  
 GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO DEL CANTÓN SALCEDO  
 Código del proceso: CD-GADMCS-2018-02

**DIBUJO:** LSGC/HFGA  
**FECHA:** AGOSTO/2019  
**ESCALA:** INDICADAS

**LÁMINA:** ES-15  
**DE:** ES-25