

Universidad Adolfo Ibáñez

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Programa de Ingeniería Civil

Optimización Diseño de Módulos Base para Edificios Habitacionales

por Ignacia Cortés Maturana

Santiago, 2023

RESUMEN EJECUTIVO

La empresa chilena Promet, fundada en 1998, se destaca en el mercado de la ingeniería y construcción modular en acero, siendo un socio estratégico clave para la industria minera en Chile. En 2020, se incorporó al Grupo CINTAC, fortaleciendo su posición en el mercado. Con una misión orientada a brindar servicios de ingeniería, construcción y arriendo de infraestructura eficiente y respetuosa con el medio ambiente, Promet se distribuye en cuatro unidades de negocio.

La unidad de Promet I+C se especializa en el diseño y construcción de edificios modulares para diversas industrias, siendo la minería su principal cliente. La construcción modular, un proceso eficiente llevado a cabo en condiciones controladas, ha sido impulsada por la creciente demanda en la minería chilena, donde Promet ha encontrado su nicho.

Ante la competencia creciente, la eficiencia en la gestión de costos se vuelve esencial. En este contexto, el proyecto se centra en optimizar el diseño de módulos para edificios de campamentos mineros, buscando reducir los costos de construcción.

La metodología seleccionada para este proyecto es Design for Manufacture (DFM), que busca diseñar productos simples y de bajo costo sin sacrificar la calidad. Se ha identificado una oportunidad de mejora en la estructura principal actual de Promet, especialmente en la reducción del peso del módulo y la eliminación de tabiques transversales.

El análisis de riesgos ha identificado posibles obstáculos, como cambios en los alcances del proyecto, problemas de suministro y restricciones de transporte, para los cuales se ha desarrollado un plan de mitigación.

Los resultados preliminares muestran una reducción en el peso de las estructuras principales del módulo y una disminución en los costos de construcción. Se sugiere un análisis más detallado de otros componentes y una base de datos para perfiles disponibles, además de fomentar la colaboración interdisciplinaria.

En resumen, el proyecto de optimización de Promet representa una oportunidad valiosa para mejorar la eficiencia, reducir costos y fortalecer su posición en el competitivo mercado de construcción modular en Chile.

ABSTRACT

The Chilean company Promet, founded in 1998, stands out in the market for steel modular engineering and construction, serving as a key strategic partner for the mining industry in Chile. In 2020, it became part of the CINTAC Group, strengthening its position in the market. With a mission focused on providing efficient and environmentally friendly engineering, construction, and infrastructure rental services, Promet is organized into four business units.

The Promet I+C unit specializes in the design and construction of modular buildings for various industries, with mining being its primary client. Modular construction, an efficient process carried out in controlled conditions, has gained momentum due to the growing demand in the Chilean mining sector, where Promet has found its niche.

Faced with increasing competition, cost management efficiency becomes essential. In this context, the project focuses on optimizing the design of modules for mining camp buildings, aiming to reduce construction costs. The selected methodology for this project is Design for Manufacture (DFM), which aims to design simple, low-cost products without sacrificing quality. An opportunity for improvement has been identified in Promet's current main structure, particularly in reducing module weight and eliminating transverse partitions.

Risk analysis has identified potential obstacles, such as changes in project scopes, supply issues, and transportation constraints, for which a mitigation plan has been developed. Preliminary results show a reduction in the weight of the main module structures and a decrease in construction costs. A more detailed analysis of other components and a database for available profiles is suggested, along with encouraging interdisciplinary collaboration.

In summary, Promet's optimization project represents a valuable opportunity to enhance efficiency, reduce costs, and strengthen its position in the competitive modular construction market in Chile.

ÍNDICE

1. CONTEXTO	6
1.1. LA EMPRESA	6
1.2. PROMET I+C	6
1.3. CONSTRUCCIÓN MODULAR	7
1.4. OPORTUNIDAD	8
2. OBJETIVOS SMART	10
2.1. OBJETIVO GENERAL (SMART)	10
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. ESTADO DEL ARTE	10
3.1. TIPOS DE OPTIMIZACIÓN	10
3.1.1. OPTIMIZACIÓN DE PROPIEDADES	10
3.1.2. OPTIMIZACIÓN DE FORMA	11
3.1.3. OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA	11
3.2. MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL	11
3.2.1. MÉTODO INCREMENTAL	11
3.2.2. MÉTODO HEURÍSTICO	12
3.2.3. MÉTODOS INDIRECTOS	12
4. SOLUCIÓN	12
5. METODOLOGÍA	13
6. MÉTRICAS	15
6.1. MÉTRICA OBJETIVO GENERAL	15
6.2. MÉTRICAS OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
7. DESARROLLO	16
7.1. EL PROYECTO	16
7.2. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN (CARTA GANTT)	19
8. ANÁLISIS DE RIESGOS	19
8.1. ANÁLISIS DE RIESGO	19
8.2. IDENTIFICACIÓN	19
8.3. MATRIZ DE RIESGO	20
8.4. REGISTRO DE EVENTOS	22
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
10. REFERENCIAS	25
11. ANEXOS	27

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama Holding Grupo CAP	27
Anexo 2: Catálogo perfiles CINTAC para uso estructural - Rectangulares y Cuadrados	28
Anexo 3: Combinaciones de Carga	31
Anexo 4: Memoria de Cálculo	32

TABLAS

Tabla 1. Matriz Comparación Soluciones	13
Tabla 2. Factor de Utilización de Perfiles Proyecto 1331. Fuente. Promet	17
Tabla 3. Registro de Eventos. Fuente: Elaboración propia	22
Tabla 4 . Comparación Peso Módulo	23

FIGURAS

Figura 1. Estructura Metálica Proyecto 1331. Fuente: Promet	8
Figura 2. Factor de Ocupación de Perfiles Estructura Principal Proyecto 1331. Fuente: Promet	9
Figura 3. Metodología DFM.	15
Figura 4. Panel de techo. Fuente: Promet	17
Figura 6. Secciones de Perfiles Proyecto	18
Figura 7. Carta Gantt. Fuente: Elaboración propia	19
Figura 8. Estructura Módulo.	22

1. CONTEXTO

1.1. LA EMPRESA

Promet es una compañía chilena fundada en 1988, dedicada al mercado de la ingeniería y construcción modular en acero. Con más de 30 años en la industria, la compañía se ha posicionado como socio estratégico de la minería en el mercado chileno, siendo este su principal cliente.^[1] Mercado el cual es uno de los principales motores de la economía del país.^[2]

En 2020 se incorpora al Grupo CINTAC, pasando así también a conformar parte del grupo CAP, mayor productor siderúrgico en Chile y el más importante procesador de acero del país^[3] (ver detalle del holding en anexo 1), con la finalidad de establecer una integración vertical de materiales utilizados en sus sistemas constructivos. Su misión y visión está orientada a dar respuesta a los requerimientos de servicios de ingeniería, construcción y arriendo de infraestructura de apoyo para la minería y otras áreas de manera oportuna y eficiente a sus clientes, ofreciendo servicios de calidad, innovadores, seguros y respetuosos con el medio ambiente. Actualmente está distribuida en cuatro unidades de negocio, Promet Rental, Promet Montajes, Promet Hotelería y Promet I + C. Donde se trabajará con esta última.

Hoy en día, cuenta con más de 2.000.000 m² de infraestructura modular construida, más de 60 millones de HH ejecutadas, con un promedio de 2.500 trabajadores y cero fatalidades en su historia.

En 2010, se abre una filial en Perú, abriendo dos plantas en Lima (Planta en Villa el Salvador y Planta en Lurín). Logrando un total de tres plantas a nivel sudamericano, de las cuales la planta principal se encuentra en Chile, en la provincia de Chacabuco. Sumado a esto, cuenta con 5 hoteles mineros de administración propia, ubicados en distintos sectores del país.

1.2. PROMET I+C

Promet I+C (Ingeniería y Construcción) es la unidad de negocios de PROMET que se dedica al diseño y construcción de edificios de apoyo, salas de control, campamentos y oficinas. En la cual, a través de un equipo multidisciplinario conformado por distintas especialidades (Arquitectura, Mecánica, Sanitario, Climatización, Estructural) se llevan a cabo los distintos proyectos, ofreciendo soluciones a través de la construcción de unidades modulares en acero atendiendo a diferentes industrias: Construcción, Educación, Energía, Hidrocarburos, Salud, Retail, Agropecuaria y Minería, siendo esta última su principal cliente con empresas como Codelco, Minera Escondida, Anglo American y Sierra Gorda. El método de trabajo de la empresa consiste en la adjudicación de licitaciones tanto públicas como privadas, estando, actualmente, enfocada en la venta y arriendo de

campamentos mineros, ofreciendo soluciones habitacionales a la industria minera a través de edificaciones de hasta cuatro pisos, los cuales son especialmente diseñados para cumplir con todos los requerimientos del cliente y proyecto. Esto debido a la versatilidad que entrega la construcción modular de Promet que permite módulos completamente personalizables.

1.3. CONSTRUCCIÓN MODULAR

La construcción modular, según lo define el *instituto de construcción modular*, se refiere al proceso constructivo que se lleva a cabo fuera de sitio, bajo condiciones de planta controladas, utilizando los mismos materiales, códigos y estándares que las construcciones tradicionales (aquella que se lleva a cabo en el mismo lugar donde será emplazada) pero logrando un proceso constructivo más rápido y eficiente, ya que al permitir el trabajo simultáneo en sitio como los trabajos de fundaciones mientras se construye en planta, se logra reducir el tiempo de construcción entre un 30% a 50%. Además, al ser un proceso cuya construcción ocurre entre un 60% a un 90% en planta, es capaz de mitigar los retrasos por condiciones climáticas al no tener la construcción en la intemperie, logrando entregar proyectos en menor tiempo, generando un retorno de la inversión más rápido. Asimismo, el proceso de condiciones controladas permite reducir el desperdicio de materiales y reduce el riesgo de accidentes de los trabajadores.^[4]

Otra característica de este método constructivo son los altos estándares de calidad que se pueden obtener en el producto final, ya que están sometidos a altos controles de calidad en cada etapa de la construcción. Sumado a eso, al trabajar en un entorno de construcción estable y controlado, se reducen los riesgos de accidentes, brindando mayor seguridad a los trabajadores.^[5]

Como resultado de este proceso, se obtienen módulos completamente ensamblados, los cuales posteriormente son transportados al sitio donde serán ubicados. Estas soluciones pueden crear desde espacios monomodulares hasta edificios de gran escala para diferentes usos y aplicaciones.

Cabe destacar que los edificios modulares ofrecen la posibilidad de reubicarse o renovarse para nuevos usos, reduciendo la demanda de materias primas y minimizando la cantidad de recursos requeridos para fabricar una unidad nueva.

En Chile, la construcción modular presenta un gran desarrollo y penetración, y la minería ha sido el gran catalizador de esta industria debido a la enorme dificultad que supone construir en altura y en condiciones climáticas extremas^[6]. Por lo que seguir desarrollando estos procesos constructivos y mejorando las condiciones, supone una oportunidad de mercado para la empresa.

1.4. OPORTUNIDAD

Ante el constante aumento de la competencia, la gestión eficiente de costos se ha vuelto esencial para maximizar ingresos y mejorar procesos, buscando así aumentar la participación en el mercado. Por lo que la reducción de costos se convierte en una estrategia clave para optimizar recursos en las organizaciones^[7]. Es por esto que saber administrar los recursos mediante la reducción de costos, no solo permite obtener una mayor presencia en un mercado competitivo, sino que también logra distinguir a las empresas por sus estrategias de precios más atractivas, manteniendo o mejorando la calidad de sus productos o servicios.

Actualmente, Promet realiza para sus edificios de arriendo, una estructura metálica de acero compuesta por vigas, columnas y tabiques estructurales en ambos sentidos, longitudinal y transversal (figura 1). La cual se replica para formar los edificios que ofrecen como soluciones habitacionales para campamentos mineros. Sin embargo, cuando se efectúa un análisis de diseño estructural, se obtienen secciones que poseen factores de utilización lejanos a su ocupación total (figura 2). Dando indicios de que hay oportunidad de mejora.

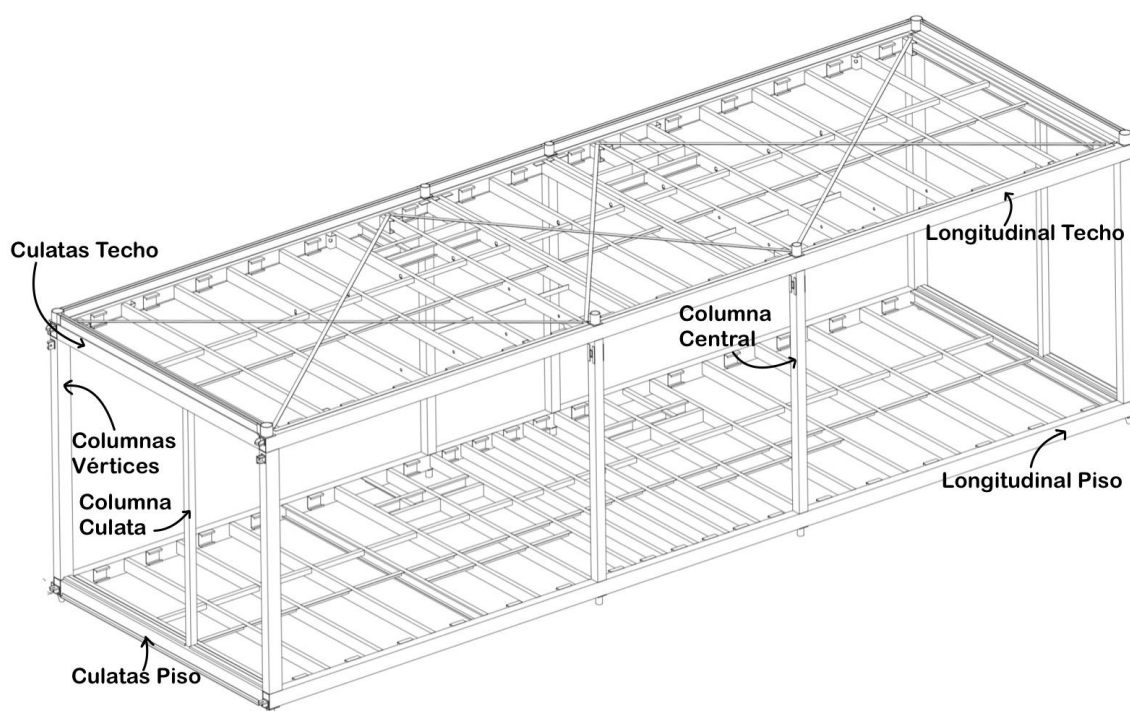


Figura 1. Estructura Metálica Proyecto 1331. Fuente: Promet

El costo de fabricación de un módulo, hoy en día, es del orden de 13.5 UF/m^2 , de los cuales 4.5 UF/m^2 corresponden a costos estructurales, lo que representa más de un 30% del costo total de fabricación. Es por esta razón que se da la oportunidad de analizar la estructura y su diseño para

poder ocupar los recursos de manera más eficiente, con el objetivo de reducir el costo de fabricación de la estructura.

Como se mencionó anteriormente, al ser parte del grupo CAP, este análisis está sujeto a una serie de restricciones, las cuales limitan las posibles variables a modificar. El proveedor debe seguir siendo CINTAC, por lo que el material se restringe solo al uso de acero, y los perfiles se limitan a los disponibles en su catálogo. De la mano de esto, surge la restricción de las especialidades mencionadas anteriormente, esto debido a que, de generarse interferencias entre la estructura y estas, se generaría un costo extra para la empresa al tener que involucrar a las otras especialidades para su solución. Debido a lo anterior, se decide respetar la geometría de los perfiles, limitándose solo a cuadrados y rectangulares, los cuales están listados en el anexo 2.

Con el fin de poder cuantificar, se tomará el último proyecto realizado con esta estructura base, que corresponde al proyecto 1331 - CODELCO RT - Arriendo Temporal de Pabellones, el cual consiste en siete edificios de 3 pisos, donde cada piso estaba constituido por 19 módulos. Para establecer un margen, el análisis estará centrado en un edificio en particular, el cual se denominará *edificio dormitorio 240*.

Descripción	Sección	Relación
<u>1.Columna Culata</u>	CAJON 75X75X3	0.18
<u>2.Columnas Centrales</u>	CAJON 100X100X3	0.25
<u>3.Columnas Vertices</u>	CAJON 150X100X3	0.52
<u>4.Longitudinal Piso</u>	CAJON 150X100X3	0.90
<u>5.Longitudinal Techo</u>	CAJON 150X100X3	0.48
<u>6.Culatas Techo</u>	CAJON 150X150X3	0.55
<u>7.Culatas Piso</u>	CAJON 150X150X3	0.52

Figura 2. Factor de Ocupación de Perfiles Estructura Principal Proyecto 1331. *Fuente: Promet*

Por otro lado, el intercambio de información entre la planta y la oficina central ha demostrado no ser eficiente. Si bien, en la empresa se está implementando BIM para la solución definitiva de la falta de información Planta-Oficina, vale la pena verificar si existen otros métodos que solucionen este problema, sin aumentar el costo de fabricación.

2. OBJETIVOS SMART

2.1. OBJETIVO GENERAL (SMART)

Optimizar el diseño de un módulo del edificio dormitorio de 3 pisos destinado a campamentos mineros, reduciendo los costos de construcción en comparación con el proyecto base en un periodo de 3 meses.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Reducir el peso en estructuras principales.
2. Reducir el peso en estructuras secundarias.
3. Reducir el tiempo de fabricación en la planta.

3. ESTADO DEL ARTE

La importancia en la ingeniería estructural, de hacer más eficientes las estructuras sin comprometer sus características mecánicas, ha llevado a la aplicación de conceptos de optimización al proceso de diseño estructural dando origen a la disciplina de *optimización de estructuras*^[8]. Donde el objetivo es encontrar el mínimo o máximo de una función, que, cumpliendo con todas las restricciones y limitaciones impuestas, resulte ser mejor en cuanto a criterios de diseño previamente definidos con el fin de reducir costos, materiales y tiempo en los procesos de diseño^[9]. En el caso particular de las estructuras, las características de interés se centran en el peso de la estructura, su rigidez, la forma y cantidad de material utilizado^[10].

Es importante señalar que, antes de realizar una modificación en el material o proceso de una estructura, resulta relevante saber si está ya ha sido optimizada. Esto implica saber si el enfoque de diseño cumple con el límite máximo de diseño definido.

3.1. TIPOS DE OPTIMIZACIÓN

3.1.1. OPTIMIZACIÓN DE PROPIEDADES

Esta optimización, también llamada paramétrica, se centra en las dimensiones de las secciones transversales, buscando determinar las medidas óptimas de los elementos que constituyen la estructura de forma predefinida^[11].

En el caso de estudio de vigas de acero para modelos de puentes, se obtiene que dependiendo de la metodología utilizada (LRFD y ASD) resultan áreas transversales de secciones de vigas

diferentes. En donde para vigas de 15 m. Se obtuvo una reducción en la sección de acero de un 16% utilizando el método LRFD^[12].

3.1.2. OPTIMIZACIÓN DE FORMA

La optimización de forma se centra en la modificación de la geometría y dimensiones de los elementos que componen una estructura con propósito de aumentar su rendimiento mecánico, disminuyendo las concentraciones elevadas de esfuerzos que puedan surgir^[13].

En el caso de estudio de la optimización de la forma de un tubo de pared delgada, para minimizar su deflexión en un punto dado, se obtuvo que, cambiando su forma, el desplazamiento del punto en estudio, se redujo de 4.333×10^{-4} m. a 3.310×10^{-4} m. reduciendo su desplazamiento en un 24%, disminuyendo así, su deflexión^[9].

3.1.3. OPTIMIZACIÓN TOPOLÓGICA

La optimización topológica busca la distribución óptima de material dentro de una región de diseño, generando cavidades que reduzcan la cantidad de material en los elementos para lograr estructuras más livianas y eficientes, eliminando material innecesario y redistribuyendo cargas aplicadas. Por lo general, este proceso solo requiere información relacionada con condiciones de carga, restricciones de volumen a mantener y restricciones de apoyo^[10].

En un caso de estudio de la Universidad Nacional Autónoma de México, se desarrolló la optimización topológica de un chasis para vehículo donde se logró reducir la masa de la estructura en un 15%^[10].

3.2. MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN ESTRUCTURAL

3.2.1. MÉTODO INCREMENTAL

Este método requiere el cálculo de la derivada de una función objetivo con sus respectivas restricciones. Se asume que su solución existe y que los métodos incrementales aseguran la obtención de un óptimo. A pesar de su capacidad para adaptarse y de su flexibilidad para permitir cambios continuos, presenta una convergencia lenta, requiriendo posiblemente un alto número de iteraciones, resultando en un alto costo computacional. Además, la efectividad de este método depende de la correcta selección de los incrementos y otros parámetros de ajuste, requiriendo un cierto nivel de experiencia^[13].

3.2.2. MÉTODO HEURÍSTICO

Procedimiento mediante una aproximación intuitiva, no se adhieren a métodos ni reglas de búsqueda predefinidas. Sin embargo, a pesar de prescindir de un método deductivo directo, tienen la capacidad de encontrar soluciones efectivas en un intervalo de tiempo razonable. Su principal desventaja es que no garantiza el óptimo absoluto, por lo que se deben llevar a cabo múltiples ejecuciones para obtener este resultado^[14].

3.2.3. MÉTODOS INDIRECTOS

Se caracteriza por emplear funciones secundarias que buscan abarcar diferentes propiedades estructurales, el proceso se desarrolla de manera iterativa, realizando ajustes sucesivos de los parámetros de diseño. En cada iteración, la evaluación del rendimiento se efectúa ajustando los parámetros correspondientes para mejorar la eficiencia o cumplir con criterios específicos solicitados. Una ventaja clave de este procedimiento, recae en la adaptabilidad a condiciones cambiantes, siendo particularmente útil en situaciones donde los parámetros y restricciones del diseño cambian. Sin embargo, al igual que el método anterior, no garantiza la obtención de un óptimo global^[10].

4. SOLUCIÓN

Según lo revisado en el estado del arte, se plantean las siguientes alternativas de solución:

1. Análisis de la estructura principal basándose en la optimización de propiedades.
2. Análisis de la estructura principal basándose en la optimización de forma.
3. Análisis de la estructura principal basándose en la optimización topológica.

Para seleccionar la alternativa de solución que mejor se ajusta a los objetivos planteados, se realiza una matriz de selección:

Opción	Observaciones	Resolución
1	Sustituir perfiles por aquellos cuyas medidas cumplan con los requerimientos, utilizando la menor cantidad posible de material.	Califica
2	Cambiar la forma de los perfiles con el fin de utilizar una sección cuya geometría permita una capacidad mayor sin comprometer el peso podría perjudicar la arquitectura ya definida para este proyecto, generando más costos al tener que solucionar posibles interferencias.	No califica
3	Modificar la topología de los perfiles no es viable para este caso, ya que se restringió al uso de los perfiles trabajados por CINTAC y realizar cambios posteriores por cuenta propia, no asegura la calidad de resistencia del perfil, incumpliendo normas, además de generar un costo adicional a la empresa.	No califica

Tabla 1. Matriz Comparación Soluciones

Determinando que la manera en la que se abordará el proyecto será a través de la optimización de propiedades.

5. METODOLOGÍA

En línea con los objetivos planteados en este proyecto, y en vista que el método heurístico no se adhiere a métodos ni reglas predefinidas, se resuelve utilizar la metodología DFM (Design For Manufacture) para el desarrollo del proyecto. Esta metodología aplicada a un proceso particular, tiene como objetivo diseñar productos que resulten fáciles de comprender, confiables, en menos tiempo y más simples^[15], es decir, la utilización de DFM conduce a bajos costos de fabricación sin sacrificar la calidad del producto^[16]. Para esto, se debe tener en cuenta los siguientes principios de la metodología:

- Reducir el número total de partes
- Usar materiales y componentes estandarizados
- Rediseñar componentes para eliminar pasos del proceso
- Diseñar para fácil fabricación
- Desarrollar un diseño modular
- Diseñar partes multifuncionales
- Evitar partes separadas

- Minimizar el número de operaciones
- Evitar operaciones secundarias
- Minimizar las operaciones que no añadan valor
- Diseñar para el proceso

Previo al inicio del proceso, se debe considerar previamente las características de los factores que influyen en este, como las propiedades de los materiales, forma, tamaño y peso de las piezas. Luego, se sigue el diagrama propuesto en la figura 3, el cual consiste en cinco pasos más iteración:

1. Estimar los costos de fabricación
2. Reducir los costos de los componentes
3. Reducir los costos de ensamblaje
4. Reducir los costos de apoyo a la producción
5. Considerar los impactos de DFM en otros factores

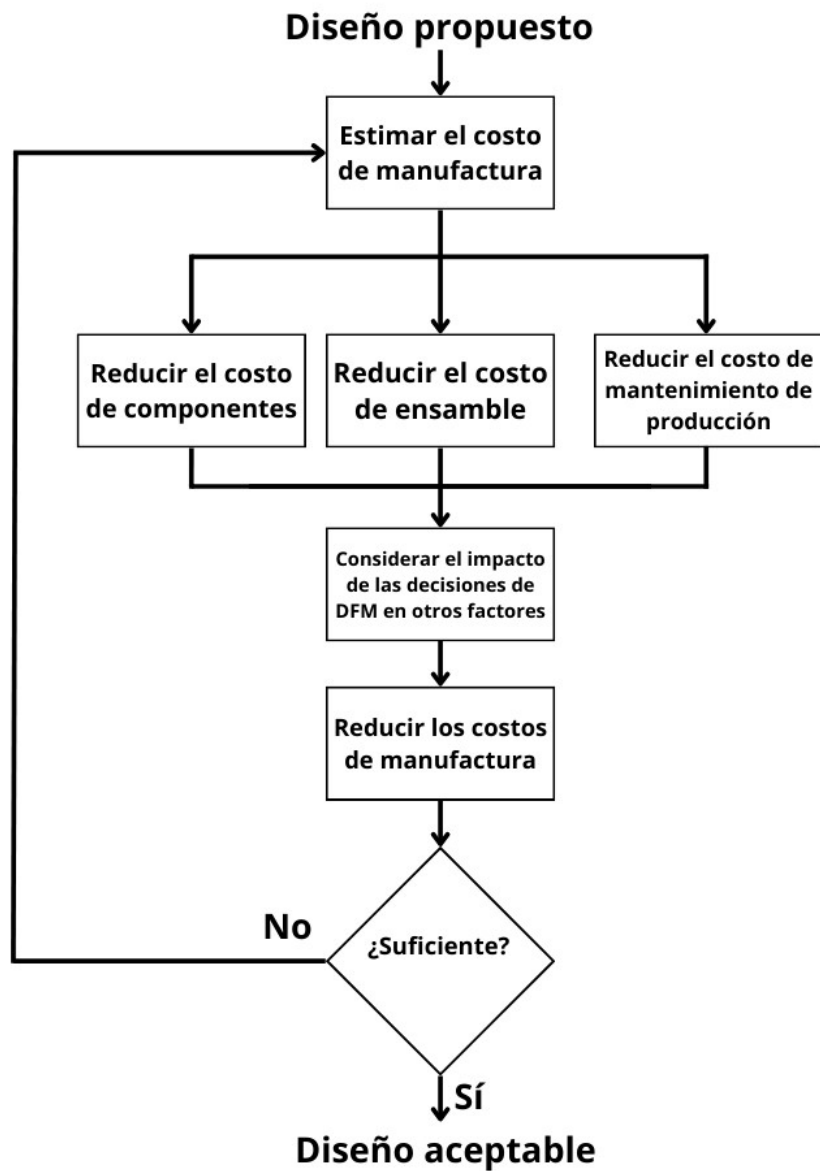


Figura 3. Metodología DFM.

6. MÉTRICAS

6.1. MÉTRICA OBJETIVO GENERAL

→ Reducir costos de construcción de un módulo.

KPI: porcentaje reducción de costo

$$\frac{Costo_{Inicial} - Costo_{Final}}{Costo_{Inicial}} \cdot 100$$

6.2. MÉTRICAS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

→ Reducir el peso en estructuras principales.

KPI: porcentaje reducción de peso.

$$\frac{Peso_{Inicial} - Peso_{Final}}{Peso_{Inicial}} \cdot 100$$

→ Reducir el peso en estructuras secundarias.

KPI: porcentaje reducción de peso.

$$\frac{Peso_{Inicial} - Peso_{Final}}{Peso_{Inicial}} \cdot 100$$

→ Reducir el tiempo de fabricación en la planta.

KPI: promedio de módulos construidos por día.

$$\frac{N^{\circ} \text{ módulos fabricados}}{\text{Días de producción}}$$

7. DESARROLLO

7.1. EL PROYECTO

El primer paso para desarrollar un diseño estructural, consiste en entender la estructura en sí. Definiendo los objetivos y alcances del proyecto, conociendo las necesidades y requerimientos del cliente, además de requisitos y restricciones correspondientes. Donde es de suma importancia tener claros los factores como el uso de la estructura, ubicación geográfica, normas, códigos, etc. Con el entendimiento de lo anterior, se procede al desarrollo del proyecto.

En primera instancia, se identifican los componentes para decidir las posibles sustituciones a los perfiles actuales, se analizó su estado de ocupación para todas las combinaciones de cargas (anexo 3), obteniendo para las más solicitadas los siguientes valores:

Elemento	Perfil	Factor de Ocupación
Columna Culata	Cajón 75x75x3	0.18
Columnas Verticales	Cajón 100x100x3	0.25
Columnas Vértices	Cajón 150x100x3	0.52
Longitudinal Piso	Cajón 150x100x3	0.82

Longitudinal Techo	Cajón 150x100x3	0.48
Culata Techo	Cajón 150x150x3	0.54
Culata Piso	Cajón 150x150x3	0.52

Tabla 2. Factor de Utilización de Perfiles Proyecto 1331. *Fuente: Promet*

Luego, con el fin de reducir complejidad en el proceso de manufactura, se decide cambiar el sistema transversal actual del módulo, correspondiente a un tabique estructural, por un marco arriostrado. Esto debido a la cantidad de requerimientos constructivos que requiere este para que soporte las cargas para las cuales fue diseñado. Por otro lado, se decide eliminar los perfiles LT1 (figura 4) los cuales permitían la prefabricación del techo, optando por ensamblar el techo directamente en su soporte (figura 5).

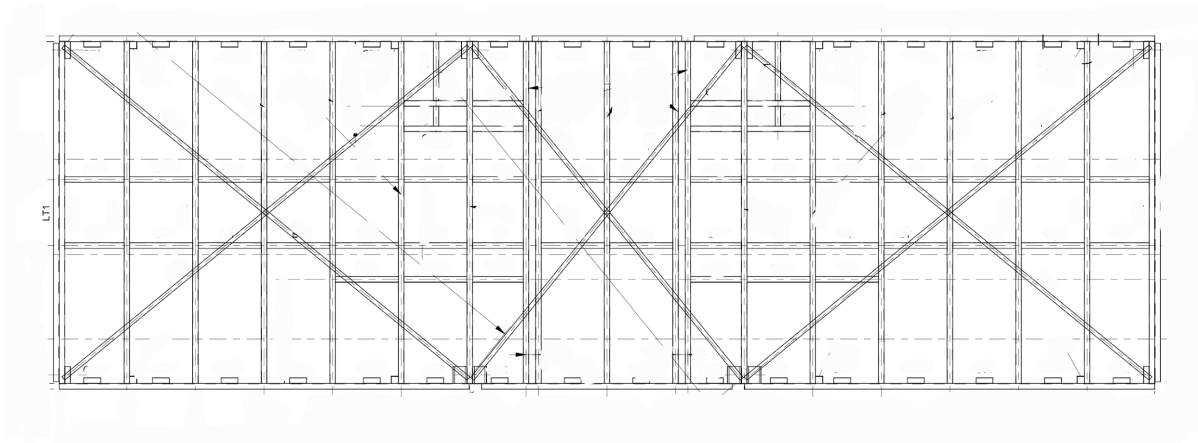


Figura 4. Panel de techo. *Fuente: Promet*

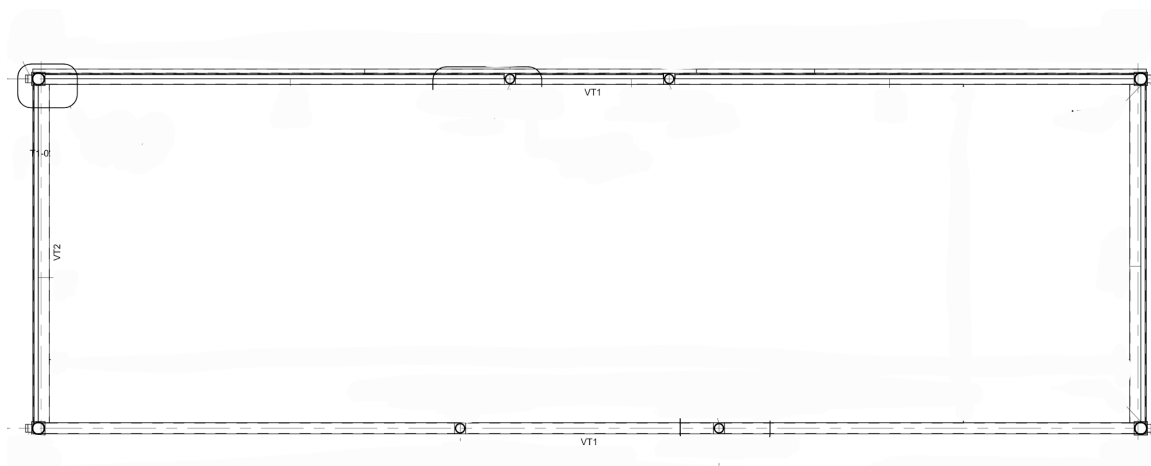


Figura 5. Soporte Techo. *Fuente: Promet*

Ya con los cambios estructurales definidos se procede a sustituir los perfiles, donde el primer criterio de selección fue que pertenecieran al catálogo de CINTAC, luego que cumplieran con la esbeltez mínima requerida por la norma NCH 427. Luego, con el fin de no alterar la arquitectura, se agruparon los perfiles que cumplían con las restricciones arquitectónicas por descripción y se ordenaron de manera ascendente por peso. El cambio de la columna por riostra en la culata del módulo generó un aumento de sollicitación a nivel de piso en donde se apoyan estas últimas. Lo que requirió un aumento de espesor del perfil. Como esto provoca un aumento en el peso, se decidió diferenciar los elementos por pisos, ya que al tener menor sollicitación de carga los niveles superiores, se puede reducir su capacidad, quedando de la siguiente manera:

Descripción	Sección	Relación
<u>1.Columnas Centrales 1P</u>	CAJON 100X100X2	0.40
<u>2.Columnas Centrales 2P</u>	CAJON 100X100X2	0.24
<u>3.Columnas Centrales 3P</u>	CAJON 100X100X2	0.12
<u>4.Columnas Vértices 1P</u>	CAJON 100X100X3	0.70
<u>5.Columnas Vértices 2P</u>	CAJON 100X100X2	0.63
<u>6.Columnas Vértices 3P</u>	CAJON 100X100X2	0.22
<u>7.Culata Techo</u>	CAJON 150X100X3	0.41
<u>8.Culata Piso</u>	CAJON 150X100X3	0.21
<u>9.Diagonal Culata 1P</u>	CAJON 75X75X4	0.88
<u>10.Diagonal Culata 2P</u>	CAJON 75X75X3	0.74
<u>11.Diagonal Culata 3P</u>	CAJON 75X75X2	0.48
<u>12.Longitudinal Piso</u>	CAJON 150X100X3	0.84
<u>13.Longitudinal Techo</u>	CAJON 150X100X3	0.49

Figura 6. Secciones de Perfiles Proyecto

Finalmente, se verifica que cumplan con las condiciones y restricciones dispuestas anteriormente, mediante un análisis estructural.

7.2. PLAN DE IMPLEMENTACIÓN (CARTA GANTT)

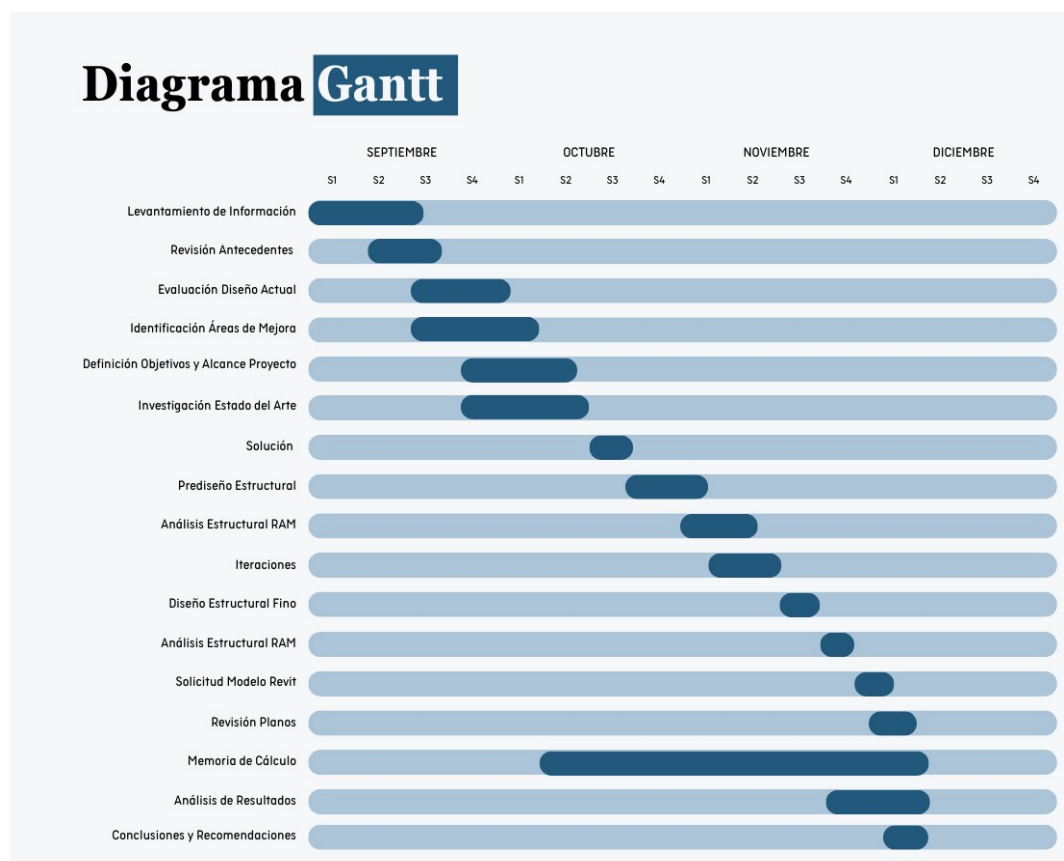


Figura 7. Carta Gantt. Fuente: Elaboración propia

8. ANÁLISIS DE RIESGOS

8.1. ANÁLISIS DE RIESGO

De acuerdo con los riesgos asociados a la implementación de la solución escogida, se realiza un análisis cualitativo de riesgos a través de una matriz de riesgo y un registro de eventos con el objetivo de poder tener un plan de mitigación en caso de que estos se presenten.

8.2. IDENTIFICACIÓN

Se identifican los posibles riesgos que podrían afectar negativamente el desarrollo del proyecto a través de conversaciones con la empresa.

→ **Cambios en los Alcances del Proyecto:** Cambios en los alcances del proyecto que puedan generar retrasos, aumento de costos, etc.

- **Cambios en Normativas o Regulaciones:** Cambios o adiciones a las normas de diseño utilizadas.
- **Problemas de Suministro:** Problemas asociados a la falta de los perfiles de acero requeridos según el diseño realizado.
- **Restricciones de Transporte:** El transporte del módulo se ve afectado debido a restricciones atinentes a esta área.
- **Tolerancias y Alineaciones:** Problemas en terreno debido al diseño de conexiones o alineación entre módulos
- **Cambio en la Calidad del Acero:** Cambios en la calidad del acero que entrega el proveedor (CINTAC)
- **Integración de Servicios:** Problemas con la instalación de servicios debido a cambios en el diseño de la estructura.
- **Interferencia con Arquitectura:** Interferencias entre la arquitectura y la estructura debido a cambios en el diseño de esta última.
- **Costos imprevistos:** Costos imprevistos debido a cambios en el alcance, problemas de fabricación, cambio en condiciones de transporte, etc.
- **Falta de Información Histórica:** Escasez de información precisa sobre la estructura inicial, tales como planos, detalles constructivos, peso real, costos asociados, entre otros.
- **Evaluación Imprecisa de la Estructura Inicial:** La evaluación incorrecta de la condición inicial de la estructura, provocando estimaciones y cambios inadecuados.
- **Restricción de Tiempo:** Recorte de tiempo en los plazos resultando en toma de decisiones apresuradas u omisión de procedimientos
- **Interrupción de Operaciones:** Interrupción de las operaciones de la planta, generando retrasos en la fabricación.

8.3. MATRIZ DE RIESGO

Para cada uno de los riesgos encontrados anteriormente se identifica y analiza de manera cualitativa la probabilidad de que ocurran. Posteriormente, se define prioridad de cada uno basándose en su probabilidad de ocurrencia y su potencial de perjudicar con mayor intensidad el éxito del proyecto. Donde se creará un plan de respuesta para aquellos riesgos presenten un nivel de riesgo tolerable, alto o extremo, ya que son los que tienen mayor potencial de perjudicar el proyecto. Se formula este plan de respuesta ante la ocurrencia de los riesgos detectados, con el fin de abordarlos rápidamente en caso de que surjan y mitigar los efectos que causarían al proyecto.

La probabilidad de ocurrencia y el nivel de riesgo fueron definidos en conversaciones con la empresa, según la experiencia que esta presenta ante tales sucesos.

Con el fin de generar una matriz de riesgo con calificaciones únicas, y poder posteriormente priorizar según el nivel de riesgo, es que se asignan tales valores a la consecuencia asociada.

		MATRIZ DE RIESGOS				
		CONSECUENCIA				
		Mínima	Menor	Moderada	Mayor	Máxima
PROBABILIDAD		1	2	4	8	16
Muy Alta	5	5	10	20	40	80
Alta	4	4	8	16	32	64
Media	3	3	6	12	24	48
Baja	2	2	4	8	16	32
Muy Baja	1	1	2	4	8	16

NIVEL DE RIESGO	COLOR
Riesgo Aceptable	
Riesgo Tolerable	
Riesgo Alto	
Riesgo Extremo	

Tabla 2. Matriz de Riesgos. Fuente: elaboración propia

8.4. REGISTRO DE EVENTOS

EDINTIFICACIÓN DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN	PROBABILIDAD	CONSECUENCIA	NIVEL DE RIESGO	MITIGACIÓN
Cambios en los Alcances del Proyecto	Cambios en los alcances del proyecto que puedan generar retrasos, aumento de costos, etc.	Baja	Máxima	Riesgo Extremo	Reprogramar y rediseñar de acuerdo a las nuevas condiciones y los recursos disponibles
Restricción de Tiempo	Recorte de tiempo en los plazos resultando en toma de decisiones apresuradas u omisión de procedimientos	Alta	Moderada	Riesgo Alto	Buena organización desde el inicio, utilización de metodos de planificación
Cambios en Normativas o Regulaciones	Cambios o adiciones a las normas de diseño utilizadas	Muy Baja	Máxima	Riesgo Alto	Estudio de las nuevas ormativas y rediseño y planificación
Falta de Información Histórica	Escasez de información precisa sobre la estructura inicial tales como planos, detalles constructivos, peso real, costos asociados, entre otros	Baja	Mayor	Riesgo Alto	Asumir supuestos coherentes y buscar referencias en proyectos de similares características
Problemas de Suministros	Problemas asociados a la falta de los perfiles de acero requeridos según el diseño realizado	Baja	Mayor	Riesgo Alto	Rediseñar a los suministros disponibles
Restricciones de Transporte	El transporte del módulo sin escolta se ve afectado debido a restricciones dimensionales	Muy Baja	Máxima	Riesgo Alto	asumir costos y tiempo extra de transporte especial
Interrupción de Operaciones	Interrupción de operaciones de la planta, generando retrasos en la fabricación	Baja	Mayor	Riesgo Alto	-
Interferencia con Arquitectura	Interferencias entre la arquitectura y la estructura debido a cambios en el diseño de esta última	Media	Moderada	Riesgo Tolerable	Estar en constante conversación con el área de arquitectura
Evaluación Imprecisa de la Estructura Inicial	La evaluación incorrecta de la condición inicial de la estructura provocando estimaciones y cambios inadecuados	Baja	Moderada	Riesgo Tolerable	recibir asesoría de encargados proyecto base
Cambios en la Calidad del Acero	Disminución en la calidad del acero que entrega el proveedor (CINTAC)	Muy Baja	Mayor	Riesgo Tolerable	Rediseñar de acuerdo a las nuevas condiciones
Integración de Servicios	Problemas con la instalación de servicios debido a cambios en el diseño de la estructura	Muy Baja	Moderada	Riesgo Aceptable	estar en constante conversacion con las especialidades
Cambio de Software	Cambio en el software de análisis estructural	Muy Baja	Moderada	Riesgo Aceptable	capacitarse en el nuevo software de análisis estructural

Tabla 3. Registro de Eventos. Fuente: Elaboración propia

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los cambios realizados (detallados en el anexo 4) se obtuvo una nueva disposición de la estructura (figura 7) con la cual se redujo en un 3% en el peso del módulo (tabla 4). Lo que se traduce en un ahorro del costo de la estructura metálica.

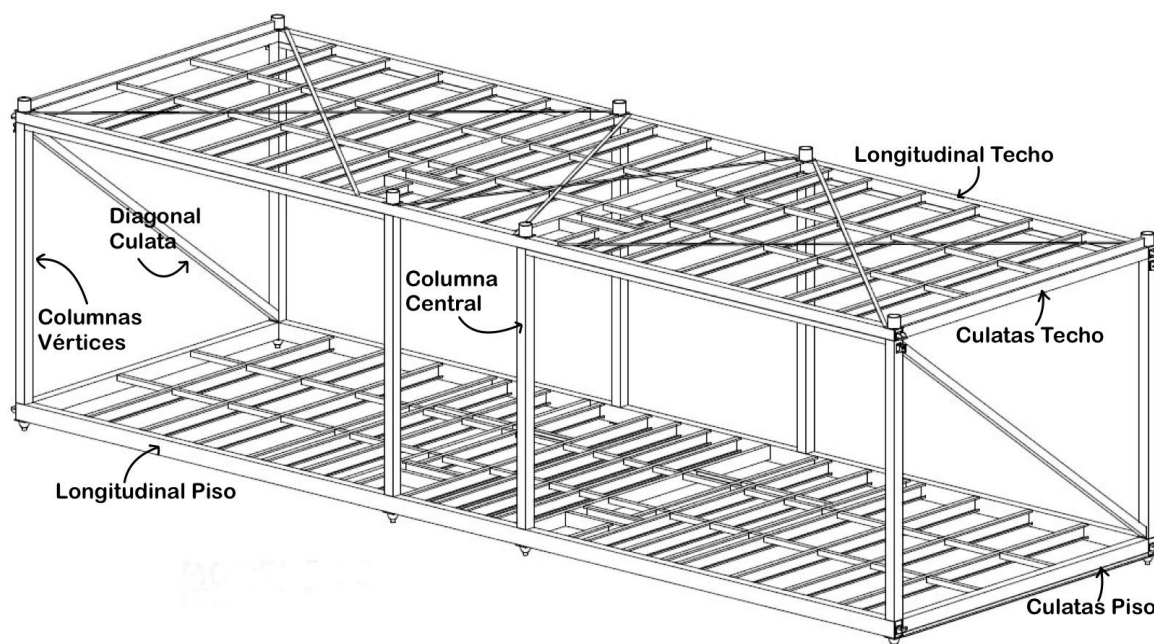


Figura 8. Estructura Módulo.

Peso Inicial x Módulo	Peso Final x Módulo
181[Kg/m ²]	175 [Kg/m ²]

Tabla 4 . Comparación Peso Módulo

Con el nuevo diseño estructural, se logra la eliminación del uso de tabiques estructurales en el sentido transversal del módulo.

Con los cambios realizados, se obtuvo una reducción de costos de un 1% asociado a estructuras principales.

Costo Inicial	Costo Final
13.5 UF/m ²	13.3 UF/m ²

Se sugiere llevar a cabo un análisis exhaustivo de los demás componentes del módulo como parte integral del proceso de optimización del proyecto. Los cambios en la culata pueden ser indicativos de una disminución en la necesidad de elementos arquitectónicos, lo que, a su vez, contribuiría a una reducción adicional en el peso del módulo. Esta disminución de peso podría llevar a una revisión de las fundaciones previamente definidas, ofreciendo así otra oportunidad para reducir costos.

Es crucial destacar la importancia del trabajo colaborativo en este contexto. La colaboración entre diferentes disciplinas puede ayudar a evitar posibles sobre dimensionamientos en los procesos de fabricación futuros. Esta colaboración permitiría realizar ajustes más significativos en la estructura sin limitaciones impuestas por otras especialidades, brindando así flexibilidad para optimizar los costos sin comprometer la estabilidad.

Además, se recomienda la creación de una base de datos que contenga los perfiles disponibles de CINTAC con sus respectivas características. Esta base de datos facilitará la selección de perfiles más económicos sin poner en riesgo la estabilidad estructural. Discriminar adecuadamente entre los perfiles disponibles en cada diseño podría ser la clave para lograr una eficiencia económica.

En resumen, el proyecto 1331 presenta oportunidades para minimizar los costos de construcción del módulo. Se aconseja realizar un análisis completo de la estructura para

identificar más opciones de reducción. Este enfoque holístico podría revelar oportunidades adicionales para optimizar el proyecto desde diferentes perspectivas, asegurando así una gestión eficiente de los recursos y una construcción más económica.

10. REFERENCIAS

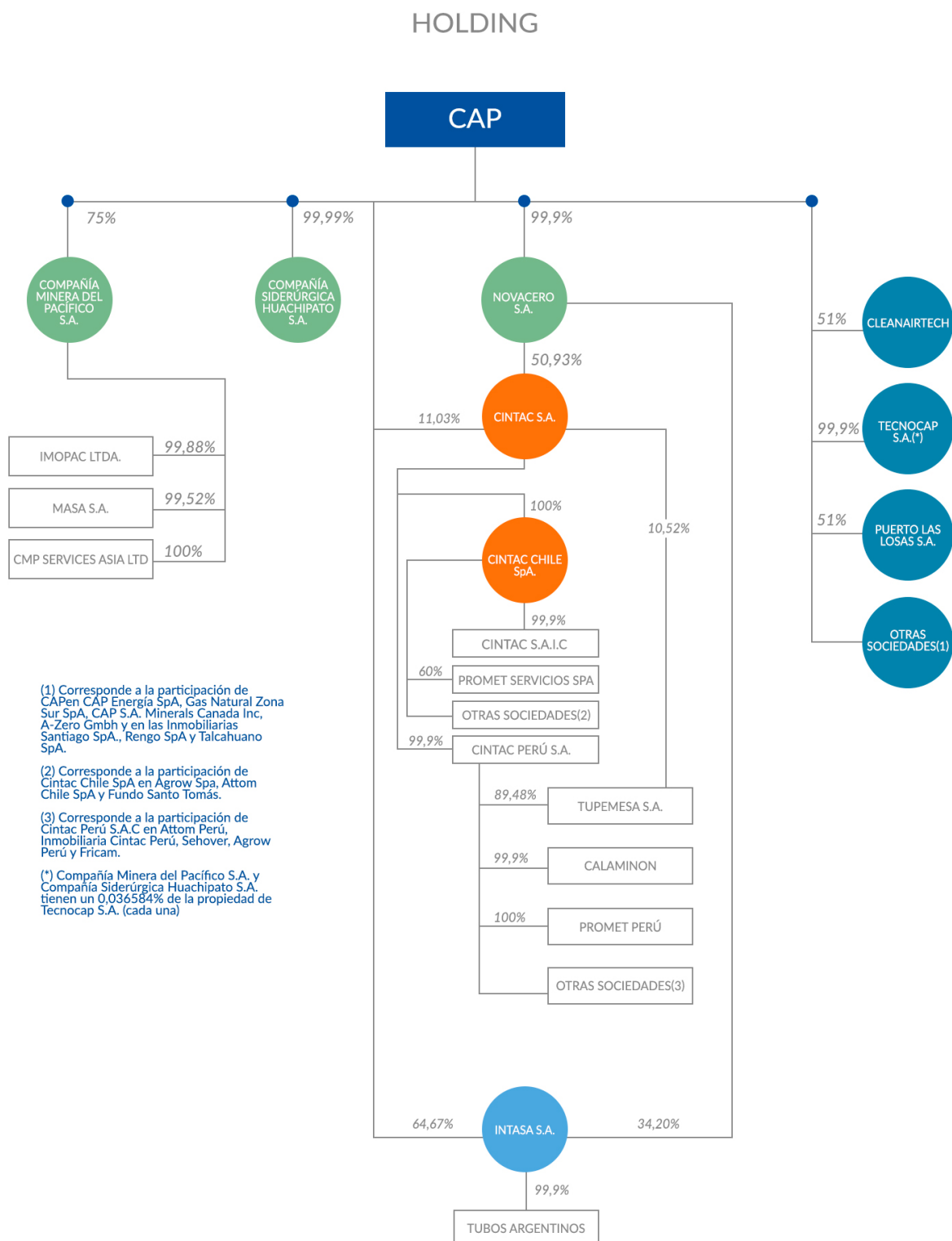
- [1] «PROMET | BROCHURE CORPORATIVO».
- [2] S. García, «Microambiente y macroambiente de una empresa: ejemplos», ABCO Gestión y Medioambiente. Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://abcoconsultores.es/microambiente-y-macroambiente-de-una-empresa-ejemplos/>
- [3] «CAP S.A. Principal Grupo Minero Siderúrgico de Chile». Accedido: 6 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.cap.cl/>
- [4] «What is Modular Construction - Benefits of Modular Construction». Accedido: 7 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.modular.org/what-is-modular-construction/>
- [5] «10 beneficios de la construcción modular | Calaminon». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.calaminon.com/blog/beneficios-de-la-construccion-modular/>
- [6] «La construcción modular tiene gran potencial desde el punto de vista de la arquitectura – Consejo de Construcción Industrializada». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://construccionindustrializada.cl/2022/11/13/la-construccion-modular-tiene-gran-potencial-desde-el-punto-de-vista-de-la-arquitectura/>
- [7] «CT Control y reducción de costos.pdf». Accedido: 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.eafit.edu.co/escuelas/administracion/consultorio-contable/Documents/CT%20Control%20y%20reduccion%20de%20costos.pdf>
- [8] «61896867.pdf». Accedido: 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://core.ac.uk/download/pdf/61896867.pdf>
- [9] W. Annicchiarico, «Una metodología para la optimización estructural de formas usando principios de evolución flexible distribuida», *Bol. Téc.*, vol. 45, n.º 1, pp. 35-52, mar. 2007.
- [10] «Diseño Óptimo con Materiales Compuestos para Soporte de Suspensión de Vehículo Eléctrico». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000687972/3/0687972.pdf>
- [11] «TFM Marco Cisneros.pdf». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/190037/TFM_Marco%20Cisneros.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [12] «Larenas, Eduardo Yamil. Diseño y optimización paramétrica de superestructuras de puentes con vigas de acero simplemente apoyadas.pdf». Accedido: 5 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:

<https://repositoriobibliotecas.uv.cl/bitstream/handle/uvsc1/12976/Larenas%2c%20Eduardo%20Yamil.%20Dise%c3%b1o%20y%20optimizaci%c3%b3n%20param%c3%a9trica%20de%20superestructuras%20de%20puentes%20con%20vigas%20de%20acero%20simplemente%20apoyadas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- [13] «La optimización estructural y sus aplicaciones». Accedido: 4 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en:
<https://www.boletin.upiita.ipn.mx/index.php/ciencia/916-cyt-numero-82/1889-la-optimizacion-estructural-y-sus-aplicaciones>
- [14] S. Sánchez-Caballero, «OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS».
- [15] C. Sánchez y C. Cortes, «Concepts of design for manufacturing (DFM) of lost wax parts», *Ing. E Investig.*, vol. 25, pp. 49-60, dic. 2005, doi: 10.15446/ing.investig.v25n3.14657.
- [16] G. Boothroyd, P. Dewhurst, y W. A. Knight, *Product design for manufacture and assembly*, 2nd ed., rev.Expanded. en Manufacturing engineering and materials processing, no. 58. New York: Marcel Dekker, 2002.

11. ANEXOS

Anexo 1: Diagrama Holding Grupo CAP



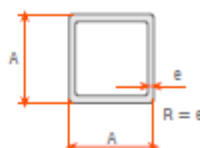
Anexo 2: Catálogo perfiles CINTAC para uso estructural - Rectangulares y Cuadrados

PERFILES PARA USOS ESTRUCTURALES

Perfiles cuadrados ASTM A500

Especificaciones Generales

Largo normal:	6 mts. Otros largos previa consulta.
Recubrimiento:	Negro.
Extremos:	Lisos de máquina.
Calidades normales:	ASTM A36 / NCH 203 G A240ES, SAE 1010 • SAE 1008
Otras dimensiones:	A pedido, previa consulta a CINTAC.



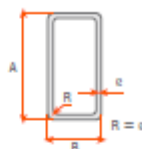
Dimensiones nominales			Peso teórico	SAP
A	A	Espesor e		
mm	mm	mm	Kg/m	
15	15	1	0,42	34000069
15	15	1,5	0,59	34000070
20	20	1	0,58	34000071
20	20	1,5	0,83	34000072
20	20	2	1,05	34000073
25	25	1,5	1,06	34000074
25	25	2	1,36	34000075
30	30	1,5	1,3	34000076
30	30	2	1,68	34000077
40	40	1,5	1,77	34000079
40	40	2	2,31	34000080
40	40	3	3,3	34000081
50	50	1,5	2,24	34000082
50	50	2	2,93	34000083
50	50	3	4,25	34000084
50	50	4	5,45	34000085
50	50	5	6,56	34000086
75	75	2	4,5	34000087
75	75	3	6,6	34000088
75	75	4	8,59	34000089
75	75	5	10,48	34000090
100	100	2	6,07	34000091
100	100	3	8,96	34000092
100	100	4	11,73	34000093
100	100	5	14,41	34000094
100	100	6	16,98	34000095

PERFILES PARA USOS ESTRUCTURALES

Perfiles rectangulares ASTM A500

Especificaciones Generales

Largo normal:	6 mts. Otros largos previa consulta.
Recubrimiento:	Negro.
Extremos:	Lisos de máquina.
Calidades normales:	ASTM A36 / NCH 203 G A240ES, SAE 1010 • SAE 1008
Otras dimensiones:	A pedido, previa consulta a CINTAC.



Dimensiones nominales			Peso teórico	SAP
A	B	Espesor e		
mm	mm	mm	Kg/m	
25	15	1,5	0,83	34000097
30	20	1	0,73	34000098
30	20	1,5	1,06	34000099
30	20	2	1,36	34000100
40	20	1,5	1,3	34000102
40	20	2	1,68	34000103
40	30	1,5	1,53	34000104
40	30	2	1,99	34000105
50	20	1,5	1,53	34000106
50	20	2	1,99	34000107
50	30	1,5	1,77	34000108
50	30	2	2,31	34000109
50	30	3	3,3	34000110
60	40	2	2,93	34000111
60	40	3	4,25	34000112
70	30	2	2,93	34000113
70	30	3	4,25	34000114
80	40	2	3,56	34000115
80	40	3	5,19	34000116
80	40	4	6,71	34000117
100	50	2	4,5	34000118
100	50	3	6,6	34000119
100	50	4	8,59	34000120
100	50	5	10,48	34000121
150	50	2	6,07	34000122
150	50	3	8,96	34000123
150	50	4	11,73	34000124
150	50	5	14,41	34000125

PERFILES PARA USOS ESTRUCTURALES

TUBULARES GRANDES DIMENSIONES

Especificaciones Generales

Largo normal:	6 y 12 mts. Según disponibilidad de stock
Calidad normal:	ASTM A500

Cuadrados

Dimensiones nominales			Peso teórico	SAP	
A	B	Espesor e		6 m	12 m
mm	mm	mm	Kg/m		
150	150	3	13,70	43002772	43002771
150	150	4	18,00	43002773	43002801
150	150	5	22,30	43002776	43002777
150	150	6	25,38	34000158	-
200	200	3	18,40	34000149	34000163
200	200	4	24,30	34000150	34000164
200	200	5	30,10	34000157	34000172
200	200	6	35,80	34000151	34000165
250	250	4	30,60	34000156	34000171
250	250	5	38,00	34000152	34000166
250	250	6	45,20	34000153	34000167
300	300	5	45,80	-	34000169
300	300	6	54,70	34000154	34000168

Rectángulos

Dimensiones nominales			Peso teórico	SAP	
A	B	Espesor e		6 m	12 m
mm	mm	mm	Kg/m		
150	100	3	11,3	34000182	34000195
150	100	4	14,9	34000174	34000187
150	100	5	18,3	34000175	34000188
200	100	3	13,72	43002779	43002780
200	100	4	18	43002774	43002802
200	100	5	22,3	43002807	43002808
200	150	3	16	34000184	34000197
200	150	4	21,4	34000185	34000198
200	150	5	26,4	34000179	34000192
250	100	5	26,20	34000178	34000191
250	200	5	30,40	34000180	34000193

Anexo 3: Combinaciones de Carga

- | | |
|---------------------------|----------------------------------|
| 1. DS1=CM | 15. DS19=CM+0.75sc+0.75Lr+0.75Vx |
| 2. DS2=CM+sc | 16. DS20=CM+0.75sc+0.75Lr+0.75Vz |
| 3. DS3=CM+Lr | 17. DS25=CM+0.75sc+0.75Sx |
| 4. DS6=CM+0.75sc+0.75Lr | 18. DS26=CM+0.75sc+0.75Sz |
| 5. DS7=CM+Vx | 19. DS27=CM+0.75sc-0.75Sx |
| 6. DS8=CM+Vz | 20. DS28=CM+0.75sc-0.75Sz |
| 7. DS9=CM+Sx | 21. DS29=0.6CM+Vx |
| 8. DS10=CM+Sz | 22. DS30=0.6CM+Vz |
| 9. DS11=CM-Sx | 23. DS31=0.6CM+Sx |
| 10. DS12=CM-Sz | 24. DS32=0.6CM+Sz |
| 11. DS15=CM+0.75sc+0.75Vx | 25. DS33=0.6CM-Sx |
| 12. DS16=CM+0.75sc+0.75Vz | 26. DS34=0.6CM-Sz |
| 13. DS17=CM+0.75Lr+0.75Vx | |
| 14. DS18=CM+0.75Lr+0.75Vz | |

*Anexo 4: Memoria de Cálculo***ÍNDICE**

1. OBJETIVO Y ALCANCE	33
2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA	33
3. CRITERIOS DE DISEÑO	34
3.1. MATERIALES	34
3.2. REFERENCIAS Y NORMATIVAS	34
3.2.1. NORMAS CHILENAS OFICIALES	34
3.2.2. NORMAS Y REFERENCIAS EXTRANJERAS	34
3.3. SOFTWARES	34
3.3.1. RAM ELEMENTS	34
3.4. CARGAS	35
3.4.1. PESO PROPIO	35
3.4.2. SOBRECARGAS DE USO	35
3.4.2.1. SOBRECARGA DE PISO	35
3.4.2.2. SOBRECARGA DE TECHO	35
3.4.3. CARGAS DE VIENTO	36
3.4.3.1. DIRECCIÓN X	37
3.4.3.2. DIRECCIÓN Z	38
3.4.4. CARGAS DE SISMO	38
3.4.4.1. DIRECCIÓN X	40
3.4.4.2. DIRECCIÓN Z	40
3.5. ESTADOS Y COMBINACIONES DE CARGA	40
3.5.1. ESTADOS DE CARGA	40
3.5.2. COMBINACIONES DE CARGA	40
3.6. DEFORMACIONES ADMISIBLES	41
4. DISEÑO ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO	41
4.1. DEFINICIÓN ELEMENTOS PRINCIPALES	41

1. OBJETIVO Y ALCANCE

La presente memoria tiene como objetivo la descripción y justificación de los procesos aplicados para el cálculo de elementos estructurales principales que componen la base del *edificio dormitorio 240*, las que corresponden a vigas y columnas.

Para el desarrollo de este documento, si bien no se considera el diseño de estructuras secundarias, tabiques y fundaciones, si se incluirán las cargas y efectos correspondientes de estas sobre la estructura.

2. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA

Edificio de tres pisos destinado al uso habitacional, donde cada piso está compuesto por 19 unidades modulares transportables de 3.25 m. x 10.07 m. Proporcionando un total de 57 unidades totales en la estructura.

La estructura de cada módulo se compone de columnas y vigas, con marcos diagonalmente arriostrados en el eje transversal (culata) y de tabiques estructurales en el eje longitudinal (ver figura 1).

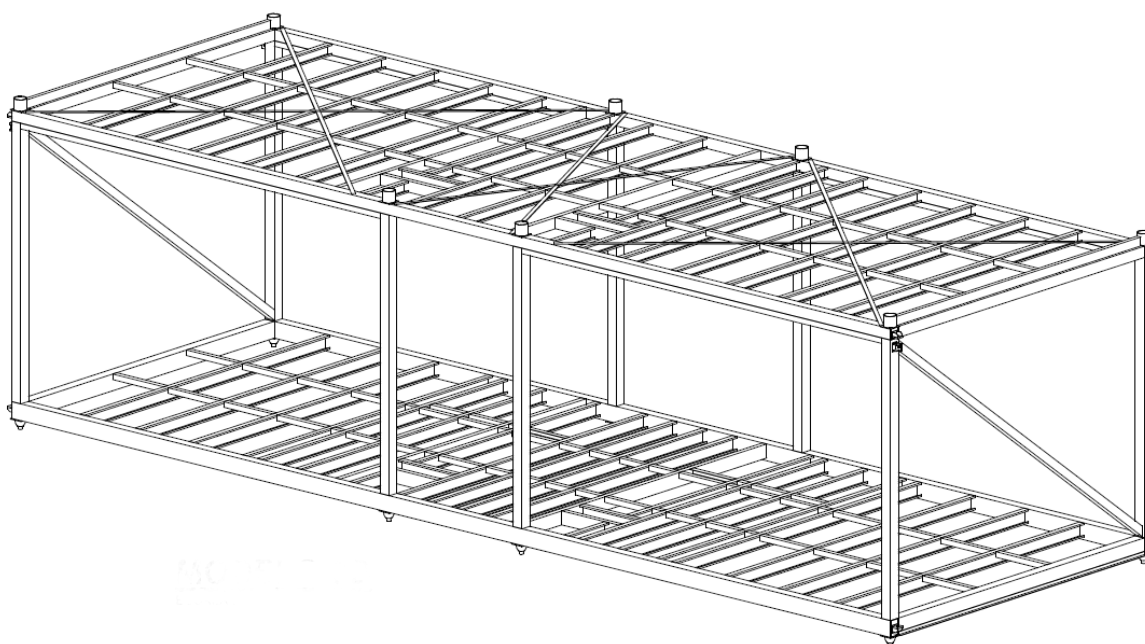


Figura 1. Estructura metálica módulo

3. CRITERIOS DE DISEÑO

3.1. MATERIALES

<i>Material</i>	<i>Calidad</i>	<i>Uso</i>	<i>Límite Elástico</i>	<i>Límite de Fluencia</i>
Acero	ASTM A 36	Estructural	250 MPa	400 MPa

3.2. REFERENCIAS Y NORMATIVAS

3.2.1. NORMAS CHILENAS OFICIALES

- NCh 427/2 Of. 2019 “Construcción - Estructuras de Acero - Parte 2: Diseño de Miembros Estructurales de Acero Conformados en Frío”
- NCh 430 Of. 2008. “Hormigón Armado - Requisitos de Diseño y Cálculo”
- NCh 432 Of. 2010 “Diseño Estructural - Cargas de Viento”
- NCh 433 Of. 1996 Mod 2012. “Diseño Sísmico de Edificios”
- NCh 1537 Of. 2009. “Diseño Estructural - Cargas Permanentes y Cargas de Uso”
- NCh 3171 Of. 2017. “Diseño Estructural - Disposiciones Generales y Combinaciones de Carga”
-

3.2.2. NORMAS Y REFERENCIAS EXTRANJERAS

- American Institute of Steel Construction, “Specifications for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Building” (9ª Edition).
- American Iron and Steel Institute, “Cold-Formed Steel Design Manual” (1996).
- American Society of Civil Engineers & Structural Engineers Institute, “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” (ASCE/SEI 7-05).

3.3. SOFTWARES

3.3.1. RAM ELEMENTS

Software de diseño y análisis estructural en 3D de elementos finitos desarrollado por Bentley Systems.

3.4. CARGAS

3.4.1. PESO PROPIO

Se incluyen a este grupo el peso propio de elementos estructurales, paneles verticales, perfiles de acero y paneles de cubierta.

3.4.2. SOBRECARGAS DE USO

Cargas asociadas al uso de la estructura.

3.4.2.1. SOBRECARGA DE PISO

<i>Tipo</i>	<i>Sobrecarga Piso [Kg/m^2]</i>
<i>Piso Dormitorios</i>	200
<i>Piso Pasillos</i>	400

No se considera reducción de cargas de uso para pisos por no cumplir con las condiciones necesarias.

3.4.2.2. SOBRECARGA DE TECHO

<i>Tipo</i>	<i>Sobrecarga Techo [Kg/m^2]</i>
<i>Techo Accesible Solo Para Mantenición</i>	100

No se considera reducción de cargas de uso por pendiente o área por no cumplir, en ambos casos, con las condiciones necesarias.

No se considera carga de nieve.

3.4.3. CARGAS DE VIENTO

Carga ambiental producida por la incidencia del viento sobre los elementos expuestos a él. Se considera que esta actúa perpendicularmente a la superficie expuesta con una presión estática de P que se expresa como:

$$P = q \times G \times C_p - q_i \times (GC_{pi})$$

Donde:

q = Distribución de velocidades

G = Factor de efecto ráfaga

C_p = Coeficiente de presión externa

GC_{pi} = Producto del coeficiente de presión interna y factor de efecto ráfaga

Para efectos de cálculos, se utiliza el *método 2: procedimiento analítico* descrito en la norma NCh 432. Con los datos de entradas descritos en la tabla 1. Además, conservadoramente, se determina la velocidad del viento (V) igual a 35 m/s en ambas direcciones (figura 2).

TECHO PLANO

Edificio Cerrado o Parcialmente cerrado

PENDIENTE CUBIERTA < 10° (17.6%)

LARGO X	Lx	19,67	[m]
LARGO Z	Lz	9,97	[m]
ALTO	H	8,19	[m]
VELOCIDAD VIENTO	V	35	[m/s]
FACTOR DE IMPORTANCIA	I	II (Habitacional)	1
EXPOSICIÓN		Campamento. Exposición C	
FACTOR DE EXPOSICIÓN	Kz	0,960	Para Caso 2. Para SPRFV
FACTOR TOPOGRÁFICO	Kzt	1	1 para condición plana
FACTOR DE RÁFAGA	G	0,85	0,85 para edificios rígidos
FACTOR DE DIRECCIONALIDAD	Kd	0,85	0,85 Para SPRFV
COEFICIENTE PRESIÓN INTERNA	Gcpi	Edificio Cerrado	0,18
DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES	qz	61,3	[kg/m2] (qh)
PRESIÓN INTERNA	Pi	11,0	[kg/m2]

PRESION PARA CUALQUIER ALTURA

$$P = q \times G \times C_p - q_i \times (Gcpi)$$

Tabla 1. Parámetros de Entrada

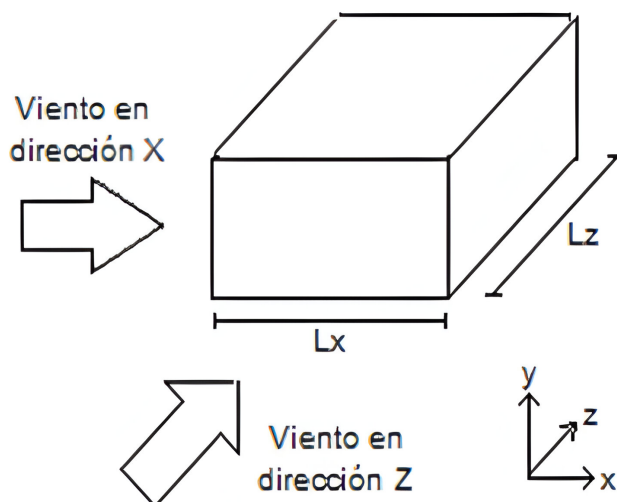


Figura 2. Direcciones de Viento

3.4.3.1. DIRECCIÓN X

Viento longitudinal al edificio.

VIENTO EN DIRECCION X

L_x (m) = 19,67

B (m) = 9,97

L_x/B = 1,97

PRESION EN MUROS [kg/m ²]	CP	P externa	Pext * fx
Muro Sotavento	-0,305	-15,9	-15,9
Muros Laterales	-0,7	-36,4	-36,4
Muro Barlovento	0,8	Variable en función de la altura	

Factor por presión mínima

fx = 1

MURO BARLOVENTO				
z [m]	Kz	qz	P externa	Pext * fx
0	0,00	0,0	0,0	0,0
2,94	0,85	54,3	36,9	36,9
5,74	0,89	56,8	38,7	38,7
8,54	0,97	61,8	42,0	42,0

PRESION EN CUBIERTA (kg/m²)

h (m) = 8,19

L_x (m) = 19,67

h/L_x = 0,42

SI $H/L_x \leq 0.5$ Distancias en metros	Distribución a lo largo del techo			Cp	P externa	Pext * fx
	0,00	a	4,10	-0,9	-46,9	-46,9
	4,10	a	8,19	-0,9	-46,9	-46,9
	8,19	a	16,38	-0,5	-26,0	-26,0
	16,38	a	19,67	-0,3	-15,6	-15,6

NOTA: Por presión mínima de 48(kg/m²) se tiene un corte en x de:

3,9 (ton)

3.4.3.2. DIRECCIÓN Z

Viento transversal al edificio.

VIENTO EN DIRECCION Z

Lz (m) = 9,97

B (m) = 19,67

Lz/B = 0,51

PRESION EN MUROS (kg/m²)

	CP	P externa	Pext * fz
Muro Sotavento	-0,500	-26,0	-26,0
Muros Laterales	-0,7	-36,4	-36,4
Muro Barlovento	0,8	Variable en función a la altura	

Factor por presión mínima

fz = 1

MURO BARLOVENTO				
z [m]	Kz	qz	P externa	Pext * fx
0	0,00	0,0	0,0	0,0
2,94	0,85	54,3	36,9	36,9
5,74	0,89	56,8	38,7	38,7
8,54	0,97	61,8	42,0	42,0

PRESION EN CUBIERTA (kg/m²)

h (m) = 8,19

Lz (m)= 9,97

h/Lz = 0,82

Si $0.5 < h/Lz < 1$ Distancias en metros	Distribución a lo largo del techo			Cp	P externa	Pext * fz
	0,00	a	4,10	-1,01	-52,7	-52,7
	4,10	a	8,19	-0,77	-40,2	-40,2
	8,19	a	9,97	-0,63	-32,7	-32,7
	0,00	a	0,00	-0,56	-29,0	-29,0

NOTA: Por presión mínima de 48(kg/m²) se tiene un corte en z de:

7,7 (ton)

3.4.4. CARGAS DE SISMO

Para la determinación de las acciones sísmicas se considera la norma Chilena para diseño sísmico de edificios, la cual define ciertos parámetros según el tipo de suelo y estructura a analizar.

Al tener como fin ser un edificio para arriendo, se diseña para una zonificación 3, para abarcar todas las zonas sísmicas. Asimismo, se considera un suelo tipo C, al ser el más común en zona minera del norte del país.

Se utiliza el análisis estático para el cálculo del corte sísmico basal (Q_0), el cual está dado por:

$$Q_0 = CIP$$

en que:

$C = \text{coeficiente sísmico}$

$I = \text{coeficiente relativo al edificio}$

$P = \text{peso total del edificio sobre el nivel basal}$

Donde para el cálculo del peso sísmico del edificio, se considera la totalidad del peso propio más el 25% de la sobrecarga de piso correspondiente. Obteniendo un peso sísmico total, considerando un módulo sobre otro para conformar los tres pisos de:

$$P = 23.215 \text{ [Ton]}$$

Además, se consideran los siguientes parámetros para su cálculo:

Parámetro	Valor
Zonificación sísmica (Z)	Zona 3
Tipo de Suelo	C
Categoría de Ocupación	II
Coeficiente Relativo al edificio (I)	1
Aceleración efectiva máxima del suelo (A_0)	0.4g
Factor de modificación de respuesta (R)	Según sistema estructural

Parámetros que dependen del tipo de suelo:

Tipo de Suelo	S	$T_0(S)$	$T'(S)$	n	p
C	1.05	0.40	0.45	1.40	1.6

3.4.4.1. DIRECCIÓN X

Para el cálculo del esfuerzo de corte basal (Q_0) de un marco concéntrico corriente (OCBF), se utiliza un factor de modificación de la respuesta (R) = 3. Se obtiene un corte basal máximo de:

$$Q_{0\text{ máx}} = 5.850 [Ton]$$

Se divide la carga en proporción a la altura y se aplica al modelo en ocho nudos.

3.4.4.2. DIRECCIÓN Z

Para el cálculo del esfuerzo de corte basal (Q_0) de un tabique, no se encuentran valores para el factor de modificación de la respuesta (R), por lo que, basándose en las especificaciones de la norma estadounidense, se define $R = 6$.

$$Q_{0\text{ máx}} = 3.412 [Ton]$$

Se divide la carga en proporción a la altura y se aplica al modelo en ocho nudos.

3.5. ESTADOS Y COMBINACIONES DE CARGA

De acuerdo con la norma NCh 1537 y a la norma NCh 3171, se consideran lo siguiente:

3.5.1. ESTADOS DE CARGA

CM: Carga Muerta.

sc: Sobrecarga de Piso.

Lr: Sobrecarga de techo

S: Sismo.

V: Viento.

3.5.2. COMBINACIONES DE CARGA

De dichos estados de carga se considera las siguientes combinaciones para el diseño en acero:

1. DS1=CM

2. DS2=CM+sc

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 3. $DS3=CM+Lr$ | 16. $DS20=CM+0.75sc+0.75Lr+0.75Vz$ |
| 4. $DS6=CM+0.75sc+0.75Lr$ | 17. $DS25=CM+0.75sc+0.75Sx$ |
| 5. $DS7=CM+Vx$ | 18. $DS26=CM+0.75sc+0.75Sz$ |
| 6. $DS8=CM+Vz$ | 19. $DS27=CM+0.75sc-0.75Sx$ |
| 7. $DS9=CM+Sx$ | 20. $DS28=CM+0.75sc-0.75Sz$ |
| 8. $DS10=CM+Sz$ | 21. $DS29=0.6CM+Vx$ |
| 9. $DS11=CM-Sx$ | 22. $DS30=0.6CM+Vz$ |
| 10. $DS12=CM-Sz$ | 23. $DS31=0.6CM+Sx$ |
| 11. $DS15=CM+0.75sc+0.75Vx$ | 24. $DS32=0.6CM+Sz$ |
| 12. $DS16=CM+0.75sc+0.75Vz$ | 25. $DS33=0.6CM-Sx$ |
| 13. $DS17=CM+0.75Lr+0.75Vx$ | 26. $DS34=0.6CM-Sz$ |
| 14. $DS18=CM+0.75Lr+0.75Vz$ | |
| 15. $DS19=CM+0.75sc+0.75Lr+0.75Vx$ | |

3.6. DEFORMACIONES ADMISIBLES

Las deformaciones máximas admisibles para condiciones normales de carga serán las siguientes:

- | | |
|------------------------------------|--------------------|
| - Vigas de Piso y Techo: | 1/300 de la luz |
| - Costaneras y Elementos de Techo: | 1/240 de la luz |
| - Columnas: | 1/200 de la altura |

4. DISEÑO ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO

4.1. DEFINICIÓN ELEMENTOS PRINCIPALES

A continuación, se presenta un resumen de los elementos principales más solicitados, considerando la combinación de cargas predominante para cada caso.

Descripción	Sección	Miembro	Relación
<u>Columnas Centrales 1P</u>	CAJON 100X100X2	6488	0.40
<u>Columnas Centrales 2P</u>	CAJON 100X100X2	6489	0.24
<u>Columnas Centrales 3P</u>	CAJON 100X100X2	6522	0.12
<u>Columnas Vértices 1P</u>	CAJON 100X100X3	9220	0.70
<u>Columnas Vértices 2P</u>	CAJON 100X100X2	9248	0.63
<u>Columnas Vértices 3P</u>	CAJON 100X100X2	9406	0.22
<u>Culata Techo</u>	CAJON 150X100X3	9218	0.41
<u>Culata Piso</u>	CAJON 150X100X3	9250	0.21
<u>Diagonal Culata 1P</u>	CAJON 75X75X4	10538	0.88
<u>Diagonal Culata 2P</u>	CAJON 75X75X3	10539	0.74
<u>Diagonal Culata 3P</u>	CAJON 75X75X2	10540	0.48
<u>Longitudinal Piso</u>	CAJON 150X100X3	1672	0.84
<u>Longitudinal Techo</u>	CAJON 150X100X3	2153	0.49