



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Prefabricados de poliestireno
aplicados a sistemas de
entrepiso y sistemas de
fachadas**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Daniel Mendoza Garza

ASESOR DE INFORME

Ing. Marcos Trejo Hernández



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



Dedicatoria

Agradezco profundamente a mi madre y padre por darme la posibilidad de continuar mis estudios, por su apoyo incondicional. También agradezco a mi hermano Joel por su cariño y acompañamiento en toda mi vida. Gracias a la familia Garza, los amo.

A mi amada Beatriz por ser mi amiga, soporte y compañera de vida. Por el crecimiento en amor de pareja, por el caminar recorrido y los nuevos caminos por recorrer. Te amo.

A mi familia Ulloa Montemayor, por recibirme como un hijo y mostrarme su cariño día con día. Por estar al pendiente de nosotros y siempre animarnos.

A mis comunidades de fe, Jerusalén y Shalom. Agradezco profundamente a todas mis hermanas y hermanos que me han visto crecer, me acompañaron en oración y brindaron sus palabras de apoyo.

A mis compañeros de amistad y de lucha Samuel, Joel, Alonso, Ezequiel, Emilio y Andrés, gracias.

Gracias Mayis por tu apoyo incondicional.

A mis compañeras y compañeros colegas de la carrera por vivir esta experiencia a su lado.

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, porque desde los 15 años me abriste tus aulas y ha sido una experiencia única. Agradezco a mis maestros y maestras que me inspiraron a lo largo de la carrera.

En especial agradezco profundamente al Ing. Marcos Trejo Hernández, por su paciencia, por sus enseñanzas y guía a lo largo de este proceso de titulación.



Índice

INTRODUCCIÓN	5
 CAPÍTULO 1 Antecedentes	7
1.1 Explosión demográfica en América Latina	7
1.2 Economía Urbana en México	11
1.3 Industrialización de la Construcción	15
1.4 Prefabricados	20
Conclusiones del capítulo.....	24
 CAPÍTULO 2 Aplicaciones de prefabricados	25
2.1 Aplicaciones de prefabricados	25
2.2 Prefabricados de poliestireno	27
2.3 Sistemas de entrepiso (losas)	36
2.4 Sistemas de fachadas (muros exteriores)	40
Conclusiones del capítulo.....	44
 CAPÍTULO 3 Sistemas de entrepiso	45
3.1 Paneles de poliestireno aplicado en losas	45
3.1.1 Características de paneles de poliestireno	47
3.1.2 Componentes del sistema	52
3.2 Criterios de Diseño	56
3.2.1 Concreto	59
3.2.2 Acero	60
3.2.3 Flexión.....	62
3.2.4 Cortante.....	64
3.2.5 Estados límites de servicio	66
3.3 Caso de estudio	70
3.3.1 Memoria de cálculo	71
Consideraciones Generales	71
Datos	71
Propiedades Mecánicas de los materiales	71



Diseño por Estados Límite de falla y de servicio	72
Modelo Estructural	72
Análisis de Cargas.....	73
Diseño Estructural	74
Nervadura 1.....	77
Nervadura 2.....	89
3.3.2 Detalles constructivos	94
Conclusiones del capítulo.....	97
 CAPÍTULO 4 Sistemas de fachadas	98
4.1 Paneles de poliestireno aplicado en fachadas	98
4.1.1 Características de paneles de poliestireno	99
4.1.2 Componentes del sistema	101
4.2 Criterios de diseño	108
4.2.1 Acero	109
4.3 Manual de Diseño de Obras Civiles	110
4.3.1 Diseño por viento.....	110
4.3.2 Análisis Estático.....	125
4.3.3 Condiciones de servicio.....	133
4.4 Caso de estudio.....	134
4.4.1 Memoria de cálculo.....	135
Consideraciones generales.....	135
Datos	135
Propiedades mecánicas de los materiales	137
Diseño por estados límite de falla y de servicio.....	137
Análisis de cargas por viento.....	137
Aplicación paneles de poliestireno en fachadas	143
4.4.2 Detalles constructivos	145
Conclusiones del capítulo.....	150
 CAPÍTULO 5 Conclusiones.....	151
REFERENCIAS	156



INTRODUCCIÓN

El uso de paneles de poliestireno en los sistemas de entrepiso y de fachadas es una alternativa viable para la construcción de vivienda e infraestructura de servicios que demanda el incremento demográfico en las ciudades del país y a su vez cumple con la normatividad mexicana de análisis y diseño. Esto se ve favorecido por las características y propiedades del poliestireno que moldeado en paneles brinda beneficios como aislamiento térmico, reducción de cargas, versatilidad de aplicaciones y un proceso constructivo más eficiente y rápido.

El objetivo general es exponer las actividades laborales realizadas en el Área Técnica de la empresa Novidesa, donde se aplicaron las bases y teorías de la Ingeniería Civil que me permitieron analizar y desarrollar los parámetros de diseño que se aplican en el uso de paneles de poliestireno para sistemas de entrepiso y sistemas de fachadas.

Para cumplir con dicho objetivo fue necesario comprender algunos objetivos específicos tales como entender el contexto, así como las causas y el proceso de evolución de los materiales y sistemas constructivos desde una perspectiva socioeconómica; por ello se revisaron temas como el crecimiento poblacional en los centros urbanos y sus proyecciones para América Latina y el Caribe y específicamente en México. También se estudiaron las técnicas de industrialización que buscan ser un recurso para afrontar estos retos. Se analizaron las características e implicaciones de usar la prefabricación de materiales de construcción, el tipo de prefabricados que existen y algunas de sus características principales. Se hace énfasis en los prefabricados de poliestireno, su fabricación y sus propiedades generales. Finalmente, se describen los parámetros de diseño aplicables a los sistemas de entrepiso y de fachada, así como el estudio de un caso para cada sistema. Para sistemas de entrepiso se empleó el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal publicado en el 2017 y sus respectivas normas técnicas y para los sistemas de fachada se hace un análisis de viento estático con base en los lineamientos del Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por viento, cabe señalar que en ambos casos no se incluye análisis por efecto de sismo.



Este trabajo consta de cinco capítulos los cuales consisten en los antecedentes, contexto y causas socioeconómicas (Capítulo 1). Las aplicaciones y tipos de prefabricados (Capítulo 2), sistemas de entrepiso empleando paneles de poliestireno y su caso de estudio (Capítulo 3), Sistemas de fachadas empleando paneles de poliestireno y su caso de estudio (Capítulo 4) y finalmente las conclusiones.

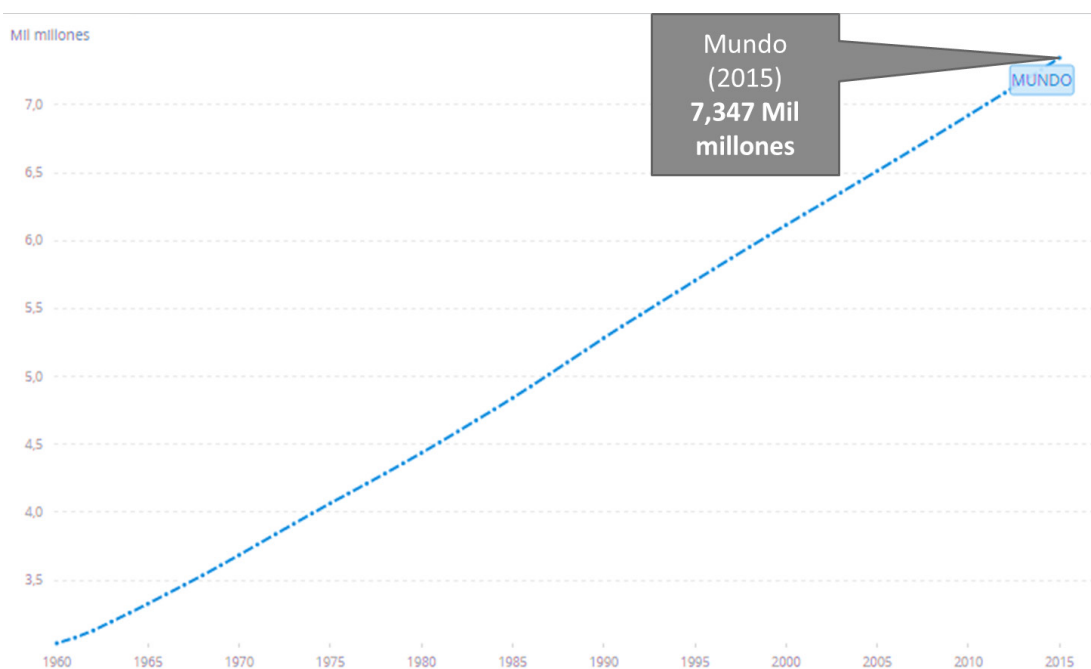




CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES

1.1 Explosión demográfica en América Latina

Las proyecciones sobre el crecimiento poblacional informadas por Naciones Unidas aumentarán mil millones en los próximos doce años. Para el año de 2050 se proyecta una población de 9,600 millones actualmente la población supera los 7,000 millones. En el informe “Perspectivas de la Población Mundial” (United Nations, 2019) se menciona que la mayor parte de ese crecimiento se reportará en los países en desarrollo. A continuación, se muestra el crecimiento constante que se han tenido a lo largo de los últimos 55 años.



Gráfica 1.1 Crecimiento poblacional total en el mundo, 1960 – 2015 (Banco Mundial, 2015)



Históricamente se observa que las tasas de crecimiento posterior a la Segunda Guerra Mundial se incrementaron exponencialmente. Los motivos de este aumento están vinculados al mejoramiento de las condiciones de vida; condiciones que involucran un progreso en la educación, la salud y la alimentación. Esto ha dado pie a que el índice de supervivencia superé ampliamente el índice de mortalidad.

En América Latina y el Caribe esta no fue la excepción, esta región ha experimentado un proceso de urbanización económica y demográfica sin precedentes.

Desde la época Precolombina había centros urbanos desarrollados, con la llegada de los españoles y portugueses nuevas ciudades fueron creciendo. Para finales del siglo XIX la llegada de migrantes europeos del sur, alemanes, libaneses y judíos se sumarían a la población que habitaba en las ciudades de América Latina.

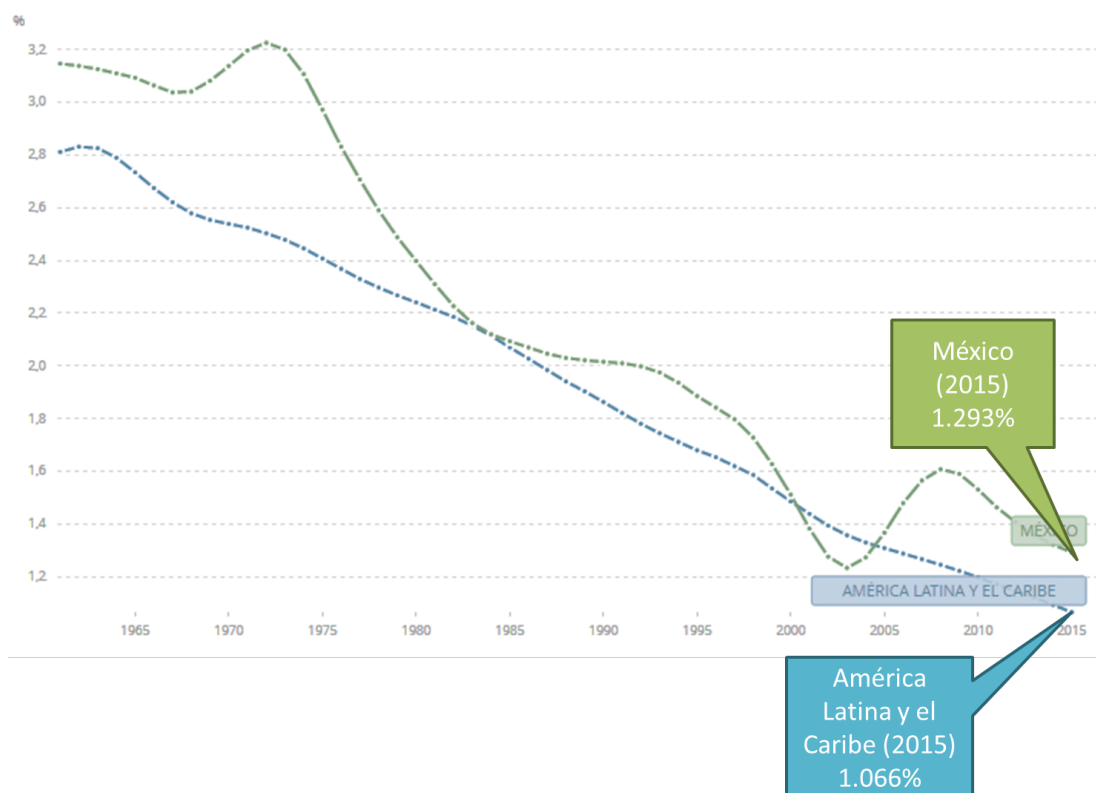
En la nueva era demográfica se proyecta que la población de la región de América Latina continuará creciendo y que escalará posiciones en el contexto mundial. Para 2040, con 757 millones de personas, superará a la población de Europa y pasará a ocupar el tercer lugar en cantidad de población después de Asia y África; en 2070 se estima que llegará a los 788 millones.

Una etapa particular de desarrollo en la región fue durante los años treinta y cuarenta. Con el crecimiento de la industrialización, hubo una gran redistribución rural – urbana de la población. Además, en esta misma etapa la población alcanzó su mayor crecimiento demográfico (5.1%) presentándose principalmente en las zonas urbanas y metropolitanas. A partir de ese momento la tasa ha venido descendiendo en forma interrumpida, lo mismo paso con la tasa de crecimiento total. Este fenómeno se aprecia en la Gráfica 2 donde se compara la tasa de crecimiento anual de la población en América Latina y México y en la Gráfica 3 se observan las tasas de crecimiento poblacional nacional y por áreas urbanas y rurales para México.

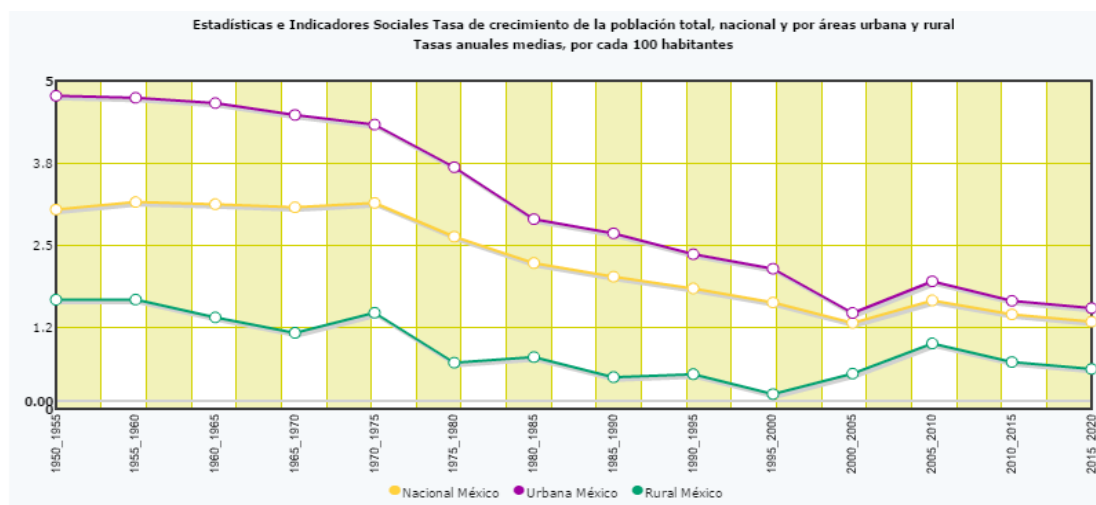
El descenso de las tasas no debe empobrecer la dimensión del crecimiento urbano; en valores absolutos ha continuado el incremento de este sector de la población y se estima



que para el siguiente siglo empiece a disminuir. El aumento ha sido a tal dimensión que actualmente supera el propio crecimiento de la población total.



Gráfica 1.2 Crecimiento de la población (% anual) en América Latina y México, 1960 – 2015 (Banco Mundial, 2015)



Gráfica 1.3 Tasa de crecimiento de la población (% anual medio) nacional y por áreas urbanas y rurales en México, 1950 – 2020 (Banco Mundial, 2015).





El hecho más significativo del crecimiento poblacional en América Latina, para efectos de esta investigación es que la población urbana presenta una tendencia a concentrarse en las áreas metropolitanas.

De acuerdo con estudios del Banco Interamericano de Desarrollo, en América Latina, el 80% de los habitantes viven en zonas urbanas y se prevé que para el 2050 este porcentaje crezca en un 86%. Del año 1950 con 70 millones de personas viviendo en zonas urbanizadas creció para el año 2015 en 500 millones, lo que representa un crecimiento en más de siete veces. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016)

Otros factores posibles para entender este fenómeno aunado a los relacionados con los niveles de fecundidad y tasas de mortalidad son los factores *impelentes* y de *arrastre* de migración.

Los factores *impelentes* o *impulsores* se entienden como aquellos factores locales que se presentan dentro de las zonas que promueven la migración a zonas de mayor crecimiento económico. Dichos factores son: desempleo en el campo, cambios en la agricultura, pobreza rural, desplazamiento y violencia.

Los factores de *arrastre* se definen como aquellas causas que promueven que la gente de las comunidades rurales vea a la ciudad como destino para mejorar sus condiciones de vida. Estos factores son: concentración de escuelas y hospitales, oportunidades de trabajo, mayor oferta académica, mejores servicios públicos y posibilidad de movilidad socioeconómica.

Este crecimiento urbano acelerado y esta sobrecarga demográfica traen consigo implicaciones tanto positivas como negativas:

Implicaciones positivas:

- Población nueva que propicia el crecimiento económico.
- Transición a una economía industrial y de servicios.
- Población al alcance de mejores servicios de salud.





- Integración a la democracia.
- Población mejor informada debido a los servicios de comunicaciones (periódicos, televisión, radio, internet, etc.).

Implicaciones negativas:

- Trasplantación de pobreza rural a pobreza urbana.
- Escasez de vivienda formal.
- Auge de asentamientos informales.
- Gobiernos locales y nacionales con presupuestos pequeños para atender desafíos complicados y grandes.
- Demandas crecientes de personas nuevas.
- Generar inequidad, segregación y desigualdad social.
- Problemas ambientales debido a los asentamientos informales.

Es de destacar que América Latina crece tres veces más rápido que Estados Unidos y Europa, pero con recursos per cápita de menos de la décima parte, lo que provoca una notable carencia de vivienda formal y adecuada. 37% de los hogares tienen un déficit de vivienda ya sea de carencias cualitativas: infraestructura, electricidad, agua, paredes, piso, techos, etc. O de carencias cuantitativas: faltante natural de la vivienda, viviendas que no son recuperables (zonas de deslizamientos o inundación). Esto provoca que un 24% de la población urbana viva en asentamientos informales. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016)

1.2 Economía Urbana en México

América Latina experimentó un proceso de urbanización demográfica y económica sin precedentes; México no quedó exento de este fenómeno en el transcurso del siglo XX. Durante este periodo la economía mexicana se cree que tuvo un crecimiento de treinta veces. Las áreas metropolitanas son las que han experimentado un crecimiento mayor y acelerado, económica y poblacionalmente hablando. Para el caso de la Ciudad de México se estima que la última generación creció cinco veces la economía de la región.



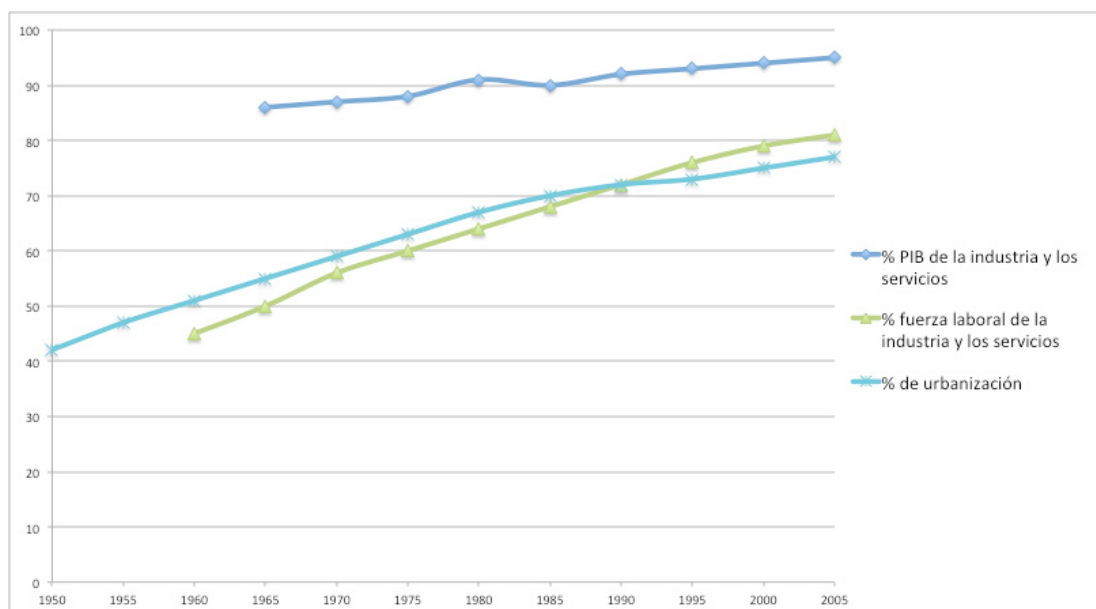
Es incuestionable que la economía de nuestro país (así como las economías de los países en desarrollo) ha estado sufriendo un proceso de migración de lo agrícola a lo industrial. Las actividades industriales han acaparado los recursos humanos e ingieren con mayor peso que las actividades económicas primarias.

Esta lógica industrial contempla la generación de infraestructura: ciudades mejor conectadas, mejores beneficios y servicios como lo son las redes de transporte, aeropuertos, autopistas, hospitales, etc. También contempla la concentración del capital social: diversidad cultural, universidades, organizaciones no gubernamentales que a su vez inyectan creatividad y dinamismo. Las ciudades conforman los centros de desarrollo y motor de cada país; en ellos se concentran el talento, la inversión y el emprendimiento de proyectos que hacen crecer las mismas ciudades. Difícilmente estos proyectos llegan a ser dirigidos a las zonas rurales y conurbadas.

El cambio urbano y económico también se ve influenciado por la estructura de gobierno, en especial por la división del poder y los recursos entre los distintos niveles de gobierno. Las autoridades locales y nacionales, en conjunto con los actores públicos y privados, deben promover el crecimiento en las ciudades con estrategias y políticas públicas sustentables y sostenibles.

Actualmente el PIB (Producto Interno Bruto: indicador representativo que ayuda a medir el crecimiento o decrecimiento de la producción de bienes y servicios producidos por una economía en un periodo de tiempo y área geográfica determinada) se conforma en su mayoría con un aproximado del 67% con actividades correspondientes al sector terciario que son, por ejemplo, los comercios y servicios. Para la segunda partida con mayor participación en la conformación de este indicador se encuentra las actividades pertenecientes al sector secundario que conciernen a las industrias, manufactureras y construcción con un 27%. Y finalmente con una muy pobre aportación se encuentran las actividades primarias, como lo son la minería, la pesca y ganadería, y agricultura, que figuran con 6% aproximado. En la gráfica 4 se aprecia una comparativa de los cambios en la proporción del PIB de la industria y los servicios, de la mano de obra que participa en estos sectores y de la población en las zonas urbanas en periodo de tiempo de 1950 al año 2005.





Gráfica 1.4 Cambios en la proporción del PIB de la industria y los servicios, de la mano de obra que trabaja en la industria y los servicios y de la población en las zonas urbanas, 1950-2005. (Satterthwaite, 2008)

Para entender este proceso de transición a una economía industrial es necesario revivir la experiencia industrial vivida en el siglo XIX. Especialistas que han estudiado el crecimiento económico en México señalan que el gran auge de la economía mexicana se gestó durante la Segunda Guerra Mundial, pues fue durante este periodo que las manufacturas provenientes del extranjero eran inaccesibles. A este hecho se complementa la idea de que durante el porfiriato se fundaron los gigantes industriales que conocemos hoy en día, y para la época proveyó la capacidad industrial que permitiría el rápido desarrollo que se presentó en las décadas de 1940 a 1960 aproximadamente.

Fue durante el porfiriato que se instaló gran parte de la capacidad industrial de México para diferentes industrias de las cuales destacan la industria del algodón, industria de la cerveza, del cemento, del acero y del vidrio. Para la década de 1890, la inclusión de los ferrocarriles, la realización de nuevos caminos, los beneficios de los primeros puertos marítimos y las primeras plantas de energía eléctrica hicieron posible la industrialización a gran escala, lo cual provocó un verdadero proceso de inversión industrial a lo largo de todo el territorio mexicano.





Durante estos años el gobierno mexicano empezó a seguir una política de sustitución de importaciones; los líderes se dieron cuenta de los beneficios que obtendría el país al expandir su capacidad industrial y tomaron las medidas políticas necesarias para acelerar el proceso. Las empresas más grandes recibieron algún tipo de protección de tarifas o de subsidios federales. Las industrias más importantes de México también tenían el poder de dirigir las políticas gubernamentales, es decir, la mayor parte del capital de inversión para la manufactura mexicana provenía de los grandes negociantes y financieros del país.

Los especialistas identifican dos etapas contemporáneas de la transformación económica vivida en México. La primera, se conoce como “desarrollista” durante los años de 1960 a 1981 en la cual se presentó la mayor aceleración en el crecimiento económico, promediando una tasa anual de crecimiento de más del 6%. Todo esto dio pie a diversos factores como el proceso de acumulación del capital, aumento en los niveles de productividad laboral, expansión de la demanda interna, incentivos a la inversión privada y subsidios a diversos sectores sociales y productivos. Como consecuencias hubo una reducción en los niveles de analfabetismo, así como abatimiento considerable en los niveles de pobreza. (Olmos Lugo, 2004)

La segunda etapa, de 1982 a la actualidad, se caracteriza por la experiencia de una secuencia de crisis económicas que provocaron un estancamiento general. El descenso de la tasa de crecimiento, estancamiento en los indicadores de desarrollo social, aumento en la tasa de desocupación y desempleo, fueron derivaciones de este estancamiento. El gobierno en su lucha por atenuar la crisis y el desequilibrio con las economías externas aplica políticas macroeconómicas comerciales, fiscales y crediticias y crece la exportación.

En los países en desarrollo de América Latina, las áreas metropolitanas son concentradoras tanto de las actividades industriales, la nueva infraestructura y el equipamiento urbano, por lo tanto, también concentran la mayor parte de los recursos de la nación. En contraparte las zonas rurales y suburbanas sufren de un rezago tecnológico y económico.

En la parte ambiental, ha sido un deterioro intenso durante y desde la etapa de desarrollo del país, y se ha sostenido relativa inercia a pesar de los esfuerzos públicos y privados para





contrarrestarla. Prácticamente ha sido imposible desarticular el crecimiento económico y los efectos nocivos al ambiente. Este deterioro ambiental ya es un factor limitante para el crecimiento económico y del bienestar social, por lo que la metrópoli afronta desafíos en materia ambiental como son: renovar los recursos naturales, conservación de los ecosistemas, preservación de los servicios ambientales y avance de tecnologías sustentables y sostenibles aplicables al desarrollo urbano.

1.3 Industrialización de la Construcción

En el país se tiene como objetivo la producción de un gran número de unidades habitacionales que responde a la explosión demográfica que se mencionó anteriormente. Para dar solución a su déficit de vivienda tanto cualitativamente como cuantitativamente y al incremento en el nivel de vida es necesario la creación de nuevos espacios urbanos y el equipamiento de estos; se podría cumplir este objetivo con la implementación de tecnologías industrializadas aplicadas a la construcción buscando un mayor número de edificios, más baratos, de mayor calidad y que cumplan brindando los servicios básicos.

Estas mismas variables y la búsqueda de darles solución fueron el motor impulsor a este proceso de transformación económico, social y tecnológico que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en el Reino Unido mejor conocido como Revolución Industrial. Este cambio tenía como premisa sustituir la mano de obra basada en el trabajo manual y en el uso de tracción animal, por la maquinaria para la fabricación industrial y el transporte de mercancías y pasajeros.

La introducción de métodos usados para la producción en serie, mecanización de los procesos, mejoras en las etapas de planeación y logística para el trabajo realizado en planta y en obra, fueron las bases requeridas para la transformación de la construcción. A su vez logró otros beneficios, como una mayor eficacia de horas hombre, reducción en los tiempos de duración de operaciones, manteniendo estándares de calidad y seguridad para los usuarios finales. (Inzunza Monzón, 2009)





“La industrialización de la construcción va directamente definida por la forma de emplear los materiales de construcción en la totalidad del hecho constructivo de forma racional y mecanizada, y no por la perfección de fabricación de todos o parte de los elementos constructivos que la componen. Se busca renovar y estandarizar las técnicas para aumentar la eficiencia y productividad del método constructivo empleado”.

Para Gerard Blachère (Mac Donell & Mac Donell, 1999), ingeniero francés destacado por interpretar la industria de la construcción desde una óptica científica y tecnológica, se puede definir la industrialización como una ecuación:

$$\text{Industrialización} = \text{Racionalización} + \text{Mecanización} + \text{Automatización}$$

Es decir, es un recurso técnico que *tiene como objetivo aumentar la producción por medio de una mayor productividad*. Optimizando costos, tiempos y esfuerzos bajo una gran planeación de actividades sucesivas, mecanizando y automatizando las operaciones de fabricación, manipulación y montaje en la mayor medida posible. No necesariamente involucra el uso de sofisticadas tecnologías, pero sí de más supervisión y control en calidad, producción, inventario, maniobras de montaje, diseño, etc.

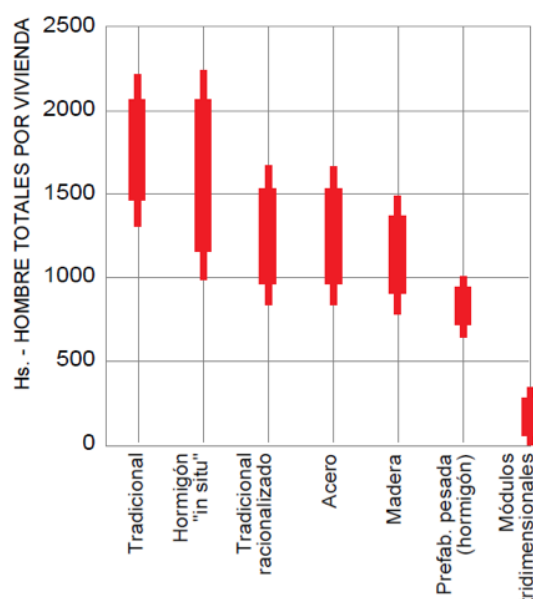
En nuestros días, la computarización se ha vuelto casi una herramienta indispensable que ha permitido la posibilidad de seleccionar diferentes componentes o alternativas, así como su integración a la etapa de diseño con rapidez y seguridad. Se ha vuelto tan indispensable que es difícil visualizar el concepto de industrialización sin la parte computarizada.

Al igual que en el siglo XVIII, se podría pensar que en nuestros días la industrialización carga con una imagen frecuente y generalizada de que disminuye la demanda de mano de obra y reducción de los salarios. No obstante, al igual que en la época de la Revolución Industrial, sucedería todo lo contrario; la mayor productividad generó un mayor consumo y por ende mayor ocupación. Se describió anteriormente de la gran necesidad que tiene nuestro país por una mejora sustantiva de su infraestructura básica, tanto en lo que se refiere a la cobertura y acceso a los servicios prestados, como a su calidad y precios, todo en pro de mejorar la calidad de vida de la población.





Para el estudio, análisis y comparación de los sistemas constructivos, hacemos uso de dos elementos que permiten establecer parámetros y criterios para tomar decisiones sobre las ventajas del uso de cada caso: estos son el índice y el *grado* de industrialización. El primero consiste exclusivamente en indicar la cantidad de industrialización de un sistema, este refleja la cantidad de mano de obra empleada en fábrica; no se evalúan otras prestaciones como la calidad obtenida, relación costos, inversiones, consumo energético, y otros parámetros que en nuestra actualidad no pueden ser no tomados en cuenta. La gráfica 5 representa el resultado de un cálculo de los índices en horas-hombre en obra y por vivienda, según la tecnología empleada en Inglaterra. Los trazos gruesos corresponden al 80% de los casos estudiados y los finos, 20%, el de los casos extremos. Las viviendas analizadas tienen las mismas características.



Gráfica 1.5 Índices en horas – hombres totales en ejecución en obra por vivienda para distintas tecnologías en Inglaterra. (Mac Donell & Mac Donell, 1999)

El concepto de *grado* de industrialización es un indicador de características cualitativas con el objetivo de dar criterios orientativos para la ejecución de una obra determinada o la adecuación de parámetros de los sistemas en comparación. También brinda datos para la elaboración de políticas públicas o empresariales integrales, no solo contemplando el aspecto tecnológico sino manteniendo el objetivo de aumentar la productividad a través de un grado de industrialización adecuado a las situaciones o necesidades.



El resultado constructivo de la industrialización puede clasificarse de dos formas que permiten una primera subdivisión: sistemas de construcción cerrados y sistemas de construcción abiertos. Los sistemas de construcción cerrados se caracterizan principalmente por no poder intercambiar elementos constructivos entre diferentes fábricas o marcas, no siendo compatibles con otros sistemas constructivos; entran en esta clasificación los sistemas de grandes paneles prefabricados de concreto, cimbras para colados monolíticos y módulos tridimensionales pesados y ligeros. En tanto que los sistemas de construcción abiertos permiten en una misma edificación el uso de diferentes elementos realizados en diferentes industrias y que son montadas en obra. Por lo regular estos sistemas manejan uniones cada vez más universales y sencillas, pero a su vez requiere de una mayor coordinación de todos los participantes en la edificación en lo que respecta en dimensiones, tolerancias, selección de módulos y montajes. En la figura 1 se presenta un resumen de esta primera clasificación de la industrialización.



Figura 1.1 Clasificación básica de los sistemas constructivos industrializados.
(Mac Donell & Mac Donell, 1999)





En México la industrialización tuvo un auge en la década de los setenta, viéndose limitada y postergada por políticas gubernamentales donde se hacía uso de materiales prefabricados en proyectos de gobierno pues se le temía a la desocupación de la abundante mano de obra no calificada para el uso de estas nuevas tecnologías.

La construcción industrializada no debe verse ni considerarse como un sustituto de los procesos artesanales de construcción. Adicional a que en nuestro país se dispone de una mano de obra abundante y barata que provoca que sea generalizado el uso de sistemas tradicionales de construcción, ambas formas deben coexistir y ofrecer soluciones conjuntas para las alternativas de vivienda y edificación requeridas en México. Se industrializa cuando se necesita hacerlo, o lo hará gradualmente de acuerdo con esa necesidad. El reto primordial es que cumpla con los retos de una construcción más sostenible y sustentable.

A continuación, se mencionan algunos de los retos que se consideran importantes y que no deben pasar por alto al hacer uso de nuevas tecnologías y procesos constructivos:

- Medioambientales
 - Mayor durabilidad
 - Menor generación de residuos
 - Optimización del consumo de materias primas
 - Mejor comportamiento térmico
 - Menor consumo de energía
 - Aumentar incentivos a la investigación, desarrollo e innovación
- Sociales
 - Fomento del empleo local
 - Espacios más confortables y habitables
 - Conservación del Patrimonio Cultural
 - Mayor seguridad en los procesos constructivos para los trabajadores
- Económicos
 - Reducción en los tiempos y costos de obra
 - Mejorar la competitividad
 - Crecimiento de la industria





1.4 Prefabricados

Anteriormente se definió la industrialización como un medio para aumentar la producción, optimización de costos y tener un grado aceptable de calidad, dirigido a elevar el nivel de vida de la población. La prefabricación, confundida etimológicamente con industrialización, hace referencia solo a los componentes de un sistema constructivo.

La prefabricación se define como la técnica constructiva que produce elementos en un lugar distinto al de su posición final dentro de la estructura o edificación, cumpliendo en ocasiones con métodos industriales, para formar un sistema constructivo coherente que, de satisfacción a las necesidades de resistencia, durabilidad, confort, cumpla los requerimientos de acuerdo con la ubicación del proyecto y un mínimo de mantenimiento. Puede combinarse en la construcción con sistemas tradicionales o remplazar totalmente estos sistemas, pudiendo emplearse en diferentes niveles de prefabricación a lo largo de toda la etapa constructiva del proyecto.

Desde épocas antiguas se ha hecho uso de la prefabricación como técnica constructiva, habiendo un gran número de obras que usaron elementos como los tabiques, losetas, adoquines, azulejos, etcétera. Estos elementos fueron usados principalmente en la construcción de viviendas ya que estas son una necesidad básica humana y por lo tanto siempre estarán en constante demanda. Los requisitos humanos para el espacio varían ampliamente dependiendo de las condiciones climáticas y geográficas, así como de los aspectos socioeconómicos y culturales de la población. Por ello, el uso de prefabricados debe ser analizado y estudiado previamente a la aplicación para formar un sistema constructivo afín a las necesidades.

La calidad de un producto o servicio se podría definir como la aptitud para satisfacer las demandas o exigencias que se imponen de acuerdo con las necesidades del usuario. En el campo de la vivienda, los requisitos o necesidades básicas que debe satisfacer y que deben ser asumidas como los objetivos de las innovaciones tecnológicas y el uso de materiales prefabricados. Estos pueden dividirse en cinco rubros:





1. Seguridad

- Protección ante los fenómenos naturales.
- Reducción de riesgos físicos y de salud.
- Resguardo de las personas y bienes frente a otras personas y animales.

2. Habitabilidad

- Espacios de tamaño suficiente. Accesibles y dispuestos de manera funcional.
- Medioambiente con condiciones estables y adecuadas de temperatura, humedad, sonido, luz y calidad del aire.
- Equipamiento necesario e higiénico familiar.

3. Durabilidad

- Materiales que requieran la menor y más económica mantención y remodelación
- Puesta en obra que asegure la permanencia estable y máxima de lo construido e instalado.

4. Estética

- Habitar espacios y ambientes armónicos.
- Buenas condiciones de diseño.
- Proporciones.

5. Sustentabilidad

- Reemplazo de materiales sintéticos por naturales.
- Flexibilidad de uso.
- Reciclaje de componentes.
- Mínimo impacto ambiental.

El uso de materiales prefabricados ha ido evolucionando con el paso del tiempo, resolviendo necesidades puntuales en cada época de la historia de la humanidad y, bajo diferentes contextos económicos y sociales. Se impulsa la prefabricación y el uso de nuevas tecnologías constructivas como respuesta a la gran demanda de viviendas debido a las devastaciones que las guerras dejaban a su paso. En el siglo XX, el proceso





de reconstrucción de Europa posterior a la Primera Guerra Mundial requería de nuevas técnicas que aceleraran la respuesta a la demanda de viviendas sumando la falta de mano de obra. Sobre sale Francia, Alemania y algunos países del este del continente europeo en los que se generalizó la aplicación de prefabricados pesados de concreto en un sistema que no permitía variaciones a los módulos de vivienda de concreto armado. Estos módulos permitieron una construcción en serie que marcó las bases para nuevas tecnologías con mayor índice de industrialización y prefabricación. (Inzunza Monzón, 2009)

La prefabricación es un instrumento de la industrialización y sus mayores ventajas se obtienen a partir de una normalización o tipificación que permite una mayor productividad. A continuación, se describen algunas de las ventajas del uso de elementos prefabricados:

- Aumento de la calidad. Gracias a la producción en fábrica o taller bajo mejores condiciones, controles y normas. También un aumento en la eficacia de los operadores.
- Reducir los tiempos. El uso de máquinas mecanizadas, automatizadas y computarizadas en fabricación de elementos, traslado, manipulación y montaje en obra ha hecho que reduzcan los tiempos en comparación con técnicas tradicionales. Optimizando las horas hombre empleados en diferentes etapas del sistema constructivo.
- Economizar en los costos. La prefabricación también ha traído consigo un uso eficiente de los materiales, la disminución de desperdicio en la etapa de fabricación, producción programada, reúso de algunos elementos dándole mayor periodo de vida útil; estimulan la disminución de costos. Estos se deben propiciar en la reducción de horas hombre en fábrica y en obra.

Al hacer uso de materiales prefabricados, también va implícito el hecho de ciertos factores que podrían traducirse en aumento de algunos costos en comparación con sistemas constructivos tradicionales. Por ejemplo, el factor de una mayor inversión inicial en el uso de tecnología moderna aumentaría considerando si es importada al país; mayor control de supervisión y programación de obra, también en las conexiones y juntas entre sistemas prefabricados y combinación de estos; diseño especializado, tanto de elementos prefabricados como de diseño arquitectónico y estructural; también requiere de un grado mayor de conocimiento distinto a los empleados en sistemas tradicionales.





En la figura 2 se aprecia un diagrama que compara los sistemas constructivos en una escala de innovación tecnológica en donde se relaciona los costos de inversión inicial y los costos de ejecución o construcción. En primer lugar, se parte de un sistema constructivo tradicional en donde solo algunos elementos son prefabricados y un uso de tecnología menor. En segundo lugar, se tiene el sistema tradicional incorporando cierto grado de tecnología, mecanizando algunos procesos con el objetivo de optimizar tiempos y costos. El siguiente paso es el uso de más elementos prefabricados desarrollándolos al pie de la obra debido a la corta inversión; en su mayoría los elementos prefabricados tienen instalaciones al alcance de la supervisión tradicional. En cuarto lugar, corresponde a sistemas prefabricados elaborados en una fábrica ajena al lugar de la obra, para luego ser transportados e instalados en el sitio. Por último, tenemos los sistemas prefabricados ampliamente industrializados, que su objetivo es minimizar los trabajos realizados en sitio por medio del uso de gran tecnología aplicada integralmente; por lo regular son elementos de gran formato por lo cual tratan de disminuir las distancias de traslado.

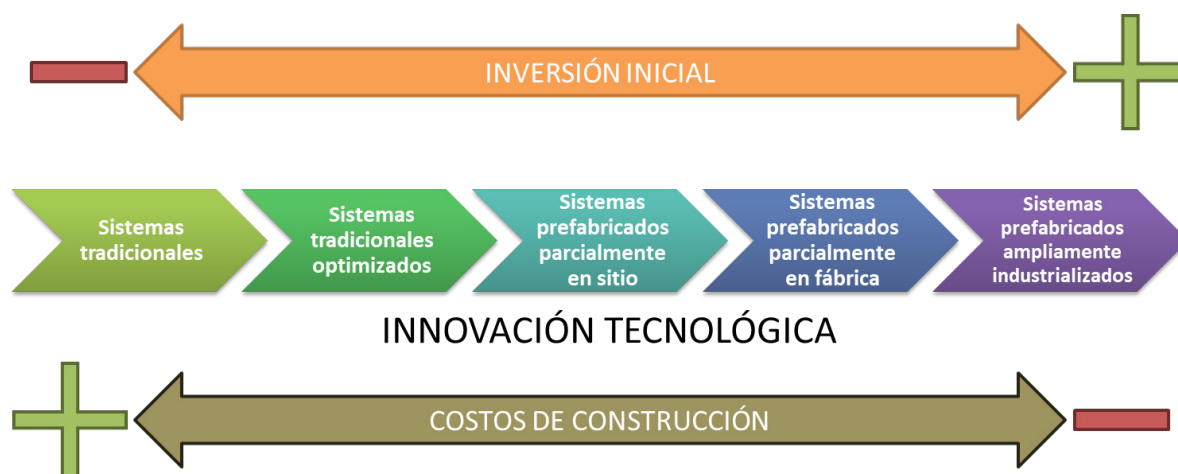


Figura 1.2 Sistemas constructivos con diferente escala de innovación tecnológica. (Wogau Chong, 2008)



CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Los países en vías de desarrollo, como México, necesitan estar innovando y mejorando los procesos constructivos, así también la aplicación de nuevas tecnologías y técnicas de industrialización, como la prefabricación de materiales de construcción, para satisfacer la demanda creciente de edificación de vivienda y servicios que viven en las zonas urbanas y suburbanas. Como se mencionó, se debe afrontar el reto de nuevas tecnologías para romper con paradigmas que se llevan presentando en el área de la construcción y no han permitido entender la demanda de vivienda como una necesidad básica y derecho fundamental.





CAPÍTULO 2: APLICACIONES DE PREFABRICADOS

2.1 Aplicaciones de prefabricados

En el capítulo anterior se definió a los elementos prefabricados como una técnica constructiva que consiste en fabricar los elementos en un lugar fuera y distinto de la obra y de su posición final. En ocasiones, esta fabricación puede hacer uso de la industrialización para aumentar eficacia y optimización de los recursos, y también hacer uso o no de tecnología de vanguardia. Esta técnica de prefabricación puede emplearse en diferentes niveles y en diferentes etapas constructivas del proyecto. Por tal motivo se han desarrollado una gran diversidad de elementos prefabricados, extraídos de una gran variedad de materiales base, y finalmente con un sinfín de aplicaciones.

Existen diferentes clasificaciones de los elementos prefabricados que tienen como objetivo el mostrar características cualitativas dando criterios útiles para la toma de decisiones para la ejecución de una obra ya establecida. Estos criterios siempre serán subjetivos, ya que depende de quién evalúe las opciones y cuales sean las necesidades que lo han acercado a los materiales prefabricados.

A continuación, se presenta una clasificación de prefabricados con respecto a su peso, ya que es una caracterización rápida de su tipo de construcción, así mismo simula un agrupamiento de tecnologías e importancia de materiales y elementos:

- Ligera
- Mediana
- Pesada





- Ligera
 - No aplica en usos estructurales.
 - Por lo general es de uso arquitectónico – decorativo.
 - Utiliza líneas de distribución medianas.
 - Montaje manual.
 - Hasta un máximo de 100 kg.
 - Mayor diversidad de materiales y tecnologías.
 - Menores costos en transportación.

- Mediana
 - Tiene aplicaciones estructurales y decorativas.
 - Dimensiones da mayor formato.
 - Transportación pesada.
 - Mayor cuidado en maniobras de montaje.
 - Peso de 101 kg a 500 kg.
 - Mayor análisis de uniones ante acciones.

- Pesada
 - Aplicación en superestructuras.
 - Medios de transporte especializados.
 - Menor mantenimiento.
 - Mayor inversión inicial.
 - Mayor protección del personal durante montaje.
 - Reducción en el número de juntas.
 - Elementos de más de 500 kg.





En la siguiente tabla se muestra una clasificación de acuerdo con diversas características y fines que se pueden obtener:

Características estructurales	Unidireccionales	
	Bidireccionales	
	Tridireccionales	
Peso de los elementos	Liviano	Los elementos no sobrepasan los 100 kg.
	Semi pesado	Los elementos tienen un peso máximo entre 101 y 500 kg.
	Pesado	El peso máximo de los elementos es superior a 500 kg.
Finalidad en la obra	Viviendas	Unifamiliares, multifamiliares, vivienda vertical, etc.
	Servicios	Escuelas, hospitales, oficinas, etc.
	Naves	Industriales y agrícolas
	Otros	Estacionamientos, silos, puentes, etc.
Material de origen	Concreto	Armado, pretensado, ligero, alveolar, etc.
	Pétreos	Plásticos, poliestireno expandido, polietileno, etc.
	Otros materiales	Acero, aluminio, madera, etc.
Lugar de fabricación de los elementos	Pre-moldeo	Elementos preparados previamente
	Pref. Semipermanente	Fábrica semipermanente de prefabricación
	Prefabricación fija	Fábrica fija de prefabricación
	Convencional	Fábrica industrial
	Mixto	Combinación de las anteriores
	En sitio	Parte de la obra hecha en el lugar de la construcción
Función	Resistente	Vigas prefabricadas, columnas, muros, etc.
	Envolvente	Paneles ligeros, láminas, tableros, etc.
	Ornamental	Molduras, acabados, etc.

Tabla 2.1 Clasificación de materiales con diversas finalidades. (Mac Donell & Mac Donell, 1999)

2.2 Prefabricados de poliestireno

La exigencia de los nuevos mercados de la construcción obliga a producir nuevos materiales y sistemas mucho más eficientes destinados a lograr un ahorro tanto en el proceso de construcción, así como beneficios adicionales al usuario final.





Estos nuevos mercados renuevan el proceso de diseño de las nuevas edificaciones a contemplar espacios agradables, durables, confortables y adicionalmente deben ser sustentables. Hoy se busca aprovechar nuestros recursos naturales de tal modo que disminuyan el impacto ambiental que los edificios ejercen sobre el medio ambiente y sus habitantes. Destaca la eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción que consuman, tanto en su obtención, transformación y aplicación, un bajo contenido energético frente a los convencionales que por lo general son de alto contenido de energía a un bajo costo.

La ingeniería química enfocada al desarrollo de nuevos y mejores plásticos para la industria de la construcción ha impulsado el uso del poliestireno expandido (EPS) el cual presenta facilidad de manipulación, así como óptimas características físicas y químicas. Su uso varía como pueden ser placas y paneles de aislamiento termoacústico, casetones y bovedillas para losas aligeradas, moldes para cimbra, juntas de dilatación, elementos decorativos interiores, bloques de EPS para ofrecer ligereza a terraplenes de carreteras, pantanales flotantes, islas artificiales, etc.

De las cualidades y propiedades de este material, entre las que destacan, son su elevada capacidad de aislamiento térmico, su ligereza, sus propiedades de resistencia mecánica, su adecuado comportamiento frente al agua y resistencia a la difusión del vapor de agua, su versatilidad de moldeo y formas, geometrías y prestaciones que se concretan en una amplia gama de soluciones. Otras ventajas son su facilidad de uso y su costo relativamente bajo, así como la reducción del consumo de energía para calefacción, aire acondicionado, refrigeración, iluminación, salubridad y otros equipamientos, la disminución del balance energético global de la edificación comprendiendo las fases de diseño, construcción durante utilización y final de su vida útil.

Origen del EPS

El alemán químico orgánico Hermann Staudinger publica en 1922 sus teorías sobre polímeros. Afirmaba que los cauchos naturales estaban formados por largas y repetitivas cadenas de monómeros que daban elasticidad al caucho. Él continuó escribiendo que los





materiales fabricados por el procesamiento térmico de estireno eran similares al caucho. Eran los polímeros altos, incluido el poliestireno. En 1953, Staudinger ganó el Premio Nobel de Química por su investigación. También en 1925, otro científico alemán, el Dr. Strasky, del grupo químico alemán BASF (Badische Anilin und Soda Fabrik, en español Fábrica badense de bicarbonato de sodio y anilina), realizó la primera expansión del poliestireno, creando el poliestireno expandido. (Bellis, 2020)

El Poliestireno Expandido o EPS (Expandable Polystyrene), es un polímero en forma de perlas esféricas, obtenido a partir del estireno y un agente de expansión llamado pentano. Este polímero, después de pasar por los procesos de expansión, maduración y moldeo, se convierte en los productos de poliestireno expandido que se aplican en la construcción.

Al igual que cualquier otro tipo de material plástico, el poliestireno expandible deriva del petróleo. El diagrama a continuación muestra los componentes y las diferentes etapas desde la destilación del petróleo hasta la obtención del poliestireno expandible.

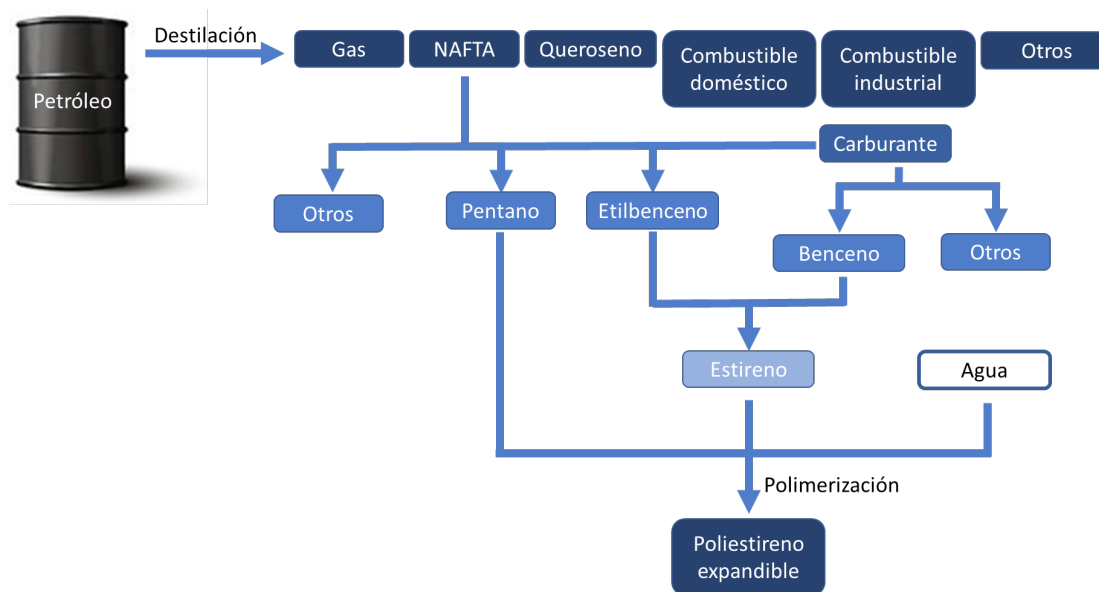


Diagrama 2.1 Esquema de etapas de fabricación de poliestireno expandible (Elaboración propia con base a información de Manual de Departamento Técnico NOVIDESA, 2012)





Esta materia prima se presenta en forma de pequeñas perlas de poliestireno que contienen en su interior un agente expandible, que es un hidrocarburo de bajo punto de ebullición denominado pentano.

Las perlas de poliestireno expandible se presentan en forma esférica con un diámetro que oscila en el intervalo 0.2 milímetros a los 3.0 milímetros y se tratan con diferentes aditivos para influir en las propiedades del material expandido.

A continuación, se presenta el proceso de fabricación del poliestireno expandido.

Etapas 1: Polimerización

La polimerización consiste en la obtención de macromoléculas basadas en largas cadenas de monómero. En el caso del poliestireno expandible el monómero es el estireno. La polimerización se realiza mediante suspensión en agua del estireno en unos reactores equipados con mecanismos agitadores que producen la división del estireno en pequeñas gotas suspendidas en el agua. Los reactores están recubiertos por un sistema de calefacción que permite regular la temperatura interna del reactor.

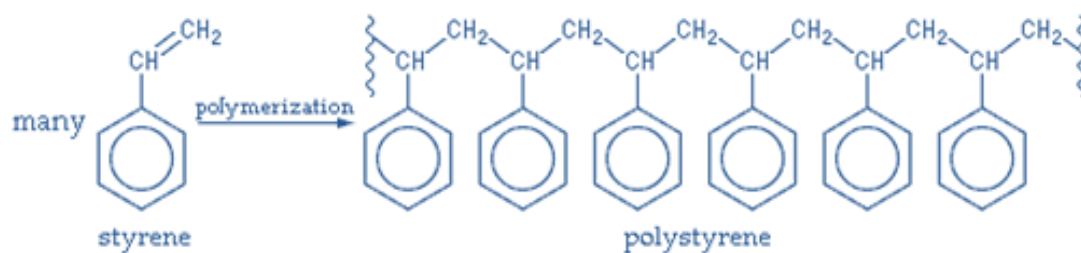


Imagen 2.1 Cadena química de poliestireno (Área Técnica Novidesa, 2010)

Durante el proceso de fabricación de EPS se utilizan además aditivos con la finalidad de estabilizar la suspensión, regulación del diámetro de las perlas, catalizar para iniciar la reacción de polimerización y la adición de agentes ignífugos.

Al finalizar esta etapa se obtiene una mezcla de perlas de poliestireno expandible y agua que es enviada a unos tanques de homogeneización.





Etapa 2: Secado y acabado

En esta etapa la mezcla resultante es secada por aire y por centrifugación, se traslada a una cierta altura para su posterior cribado a diferentes granulometrías ya que siempre existe una cierta diferencia en el diámetro de las perlas obtenidas.

Después de un almacenamiento intermedio en silos, la materia prima producida se envasa principalmente en sacos plásticos, contenedores de cartón recubiertos en su interior por una pantalla plástica, aunque también pueden emplearse contenedores metálicos. El producto debe conservarse a una temperatura moderada (inferior a 20°C) para evitar la volatilización del pentano.

Etapa 3: Pre-expansión

El poliestireno expandible, en forma de mini perlas, se calienta en expulsores de vapor con agua a temperaturas situadas entre 80°C y 110°C aproximadamente haciendo que el volumen aumente hasta 50 veces el volumen original. Durante esta etapa las perlas son agitadas continuamente.

En esta etapa es donde la densidad final del EPS es determinada en función de la temperatura y del tiempo de exposición. La densidad aparente del material disminuye de unos 630 kg/m³ a densidades que oscilan entre los 10 - 30 kg/m³. Luego de la pre-expansión, las perlas expandidas son enfriados y secados antes de que sean transportados a los silos.

Etapa 4: Reposo intermedio y estabilización.

Durante esta etapa del proceso, las perlas pre-expandidas, conteniendo 90% de aire, son estabilizadas durante 24 horas.

Al enfriarse las partículas recién expandidas, se crea un vacío interior que es preciso compensar con la penetración de aire por difusión. De este modo las perlas alcanzan una mayor estabilidad y mejoran su capacidad de expansión, lo que resulta ventajoso para la





siguiente etapa de transformación. Este proceso se desarrolla durante el reposo intermedio del material pre expandido en silos ventilados. Al mismo tiempo se secan las perlas.

Etapa 5: Expansión y moldeo final.

En esta etapa las perlas pre expandidas y estabilizadas se transportan a moldes donde nuevamente se les inyecta vapor de agua y las perlas se ligan entre ellas. Las perlas se ablandan, el pentano se volatiliza y el vapor entra de nuevo en las cavidades. En consecuencia, las perlas se expanden, como están comprimidas en el interior del volumen fijo del molde, se empaquetan formando un bloque sólido cuya densidad viene determinada en gran parte por el alcance de la expansión en la etapa pre-expansión. Durante la operación se aplican ciclos de calentamiento y enfriamiento para conseguir una densidad homogénea en el bloque, así como una buena consolidación de las perlas. En la siguiente imagen se representa este proceso de expansión dentro de molde final.

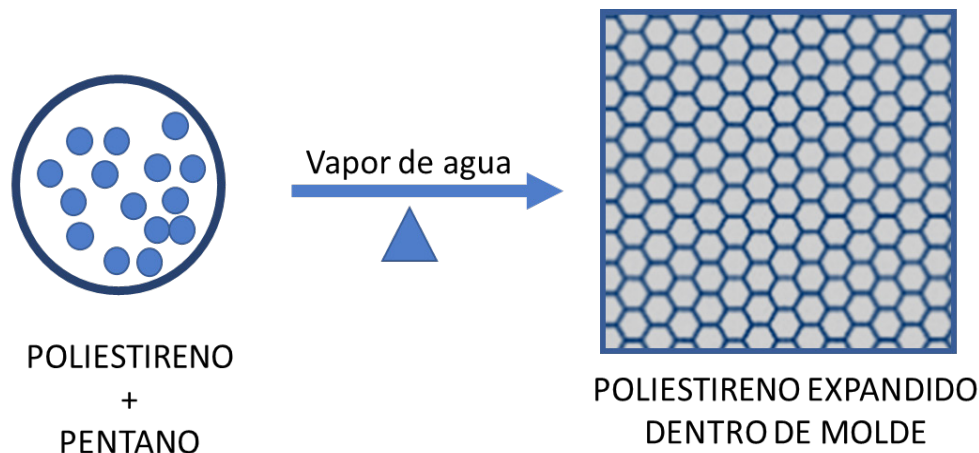


Imagen 2.2 Expansión del poliestireno. (Área Técnica Novidesa, 2010)

Características y propiedades

Los productos de poliestireno expandido se usan en un gran número de aplicaciones en ingeniería por sus características de ligereza, dúctiles, rígidos y resistentes, esto se debe en gran medida a que está compuesto de un 98% de aire mismo que se conserva dentro la estructura de la perla. En función de su aplicación las densidades varían y se sitúan en el





intervalo que va desde los 10 Kg/m³ hasta los 50 Kg/m³. Se aplica como aislante térmico dada su baja conductividad térmica, como embalaje ya que absorben grandes cantidades de energía, para sustentar estructuras flotantes debido a sus propiedades de flotabilidad y a que algunos de estos materiales no se ven afectados por el agua, como aislante acústico en el caso de materiales de tipo celda cerrada ya que el aire encapsulado en cada celda permite absorber el sonido, y como material filtrante. Su uso se extiende a la elaboración de materiales de construcción simples o compuestos con finalidades estructurales y térmicas, como parte del fuselaje de aviones, automóviles y barcos debido a su baja densidad y alta resistencia, como implantes óseos, materiales refractarios, entre otros. (Ossa López, 2009)

El EPS es un material constituido por una doble estructura micro en el interior de un entramado con parecido a los nidos de las abejas, permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones y por lo mismo cuenta con buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico.

El EPS es un material perenne, es decir es durable e imperecedero que conserva sus propiedades con el tiempo. Tiene una resistencia al ataque de agentes químicos y biológicos, y a las características de impermeabilidad de estos materiales sintéticos, lo cual permite el desarrollo de proyectos sustentables.

La radiación ultravioleta es prácticamente el único factor que reviste importancia en el deterioro del EPS. Bajo la acción prolongada de la luz UV, la superficie del EPS se torna amarillenta y se vuelve frágil, de manera que la lluvia y el viento logran erosionarla.

La densidad del material guarda una estrecha correlación con las propiedades de resistencia mecánica. La resistencia a los esfuerzos mecánicos de los productos de EPS se evalúa generalmente a través de las siguientes propiedades:

- Resistencia a la compresión para una deformación del 10%
- Resistencia a la flexión
- Resistencia a la tensión
- Resistencia al esfuerzo cortante

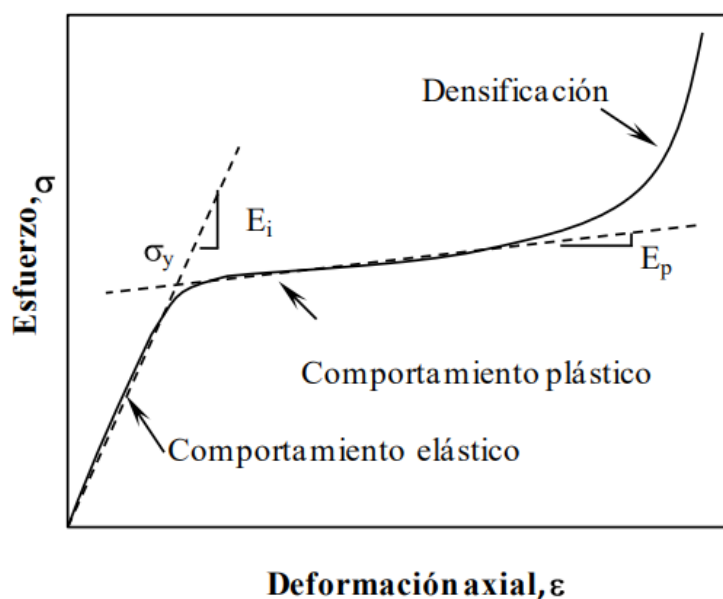




Los gráficos a continuación muestran los valores alcanzados sobre estas propiedades en función de la densidad aparente de los materiales de poliestireno expandido, adicional se muestra la curva esfuerzo deformación del EPS:

	UND	DENSIDAD						
		10	12	15	20	25	30	35
Resistencia a la compresión para una deformación del 10%	kg/cm ²	0,3	0,4	0,65	1,02	1,5	2,00	2,5
Resistencia a la flexión	kg/cm ²	0,5	0,6	1,00	1,5	2,00	2,75	3,82
Resistencia a la tensión	kg/cm ²	-	<1	1, 1-2,9	1,7 - 3,5	3,2 -4,1	3 - 4,8	4,2 - 5,8
Resistencia al esfuerzo cortante	kg/cm ²	0,25	0,35	0,5	0,75	11,00	1,35	1,88
Módulo de Elasticidad	kg/cm ²	-	<0,015	0,016 - 0,052	0,035 - 0,071	0,059 - 0,072	0,077 - 0,095	0,092 - 0,11

Tabla 2.2 Propiedades mecánicas del EPS en diferentes densidades (Área Técnica Novidesa, 2010)



Gráfica 2.1 Comportamiento esfuerzo deformación del poliestireno expandido EPS por sus siglas en ingles. (Ossa López, 2009)

En la gráfica de comportamiento esfuerzo deformación del EPS se aprecia en la primera zona se presenta un comportamiento elástico lineal que integra la ley de Hooke, las deformaciones presentadas no sobrepasan al 1% - 2% dependiendo de la densidad del material. En la segunda zona de la curva, el material presenta un comportamiento plástico





cuyo inicio está definido por el esfuerzo de fluencia, tal como se muestra en gráfica. Esta zona se extiende ampliamente hasta valores de deformaciones cercanas al 70%, también se caracteriza porque en ella ocurre el colapso de la estructura celular cerrada, las paredes de las celdas se flexionan ocurriendo en la mayoría de los casos un pandeo.

El aire atrapado al comienzo se comprime y luego empieza a traspasar las paredes de poliestireno, finalmente ocurre el rompimiento de algunas de las paredes de las celdas dando inicio al colapso de la estructura. En esta etapa las deformaciones son de carácter irreversible, se nota una pérdida apreciable del volumen de la muestra.

En cuanto a las propiedades químicas del EPS, éste no se destruye con la acción prolongada de sustancias como solución salina, jabones, lejías ácidas diluidos, alcoholes, y soluciones alcalinas. Por otro lado, sí se disuelve con la acción de ácidos concentrados, disolventes orgánicos, aceites, diésel y carburantes.

El poliestireno al ser uno de los mejores aislantes térmicos debido a su estructura de células cerradas y rellenas de aire que dificultan la conducción del calor o del frío que se traduce en una alta capacidad de aislamiento térmico. El EPS se usa ampliamente en la construcción de edificios ahorradores de energía. Un edificio aislado adecuadamente con espuma de poliestireno puede reducir la energía utilizada para climatizarlo hasta un 40%, de esta manera se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero. (Área Técnica Novidesa, 2010)

La capacidad de conducción de calor a través de un material está definida por su coeficiente de conductividad térmica (K) que en el caso de los productos de EPS varía, al igual que las propiedades mecánicas, con la densidad aparente. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(m \cdot K)$ y a continuación se presenta una tabla con valores K para diferentes materiales empleados en la construcción.





Valores K típicos para diversos materiales (W/m K)	
Ladrillo	1.15
Vidrio	1.05
Concreto	1.25
Tablero Plástico (19 mm)	0.225
Madera	0.144
Aglomerado	0.06
Fibra de Vidrio	0.05
EPS (20 kg/m ³)	0.034

Tabla 2.3 Valores K de diferentes materiales empleados en la construcción (Área Técnica Novidesa, 2010)

2.3 SISTEMAS DE ENTREPISO (LOSAS)

Los sistemas de entrepisos son los elementos que cumplen la función de dividir verticalmente el espacio de una construcción. Cada sistema cuenta con diferentes características y cumplen ciertos requerimientos solicitados por el usuario como pueden ser propiedades de aislamiento térmico, aislamiento acústico, etc. Sus características estructurales deben desempeñar la distribución de las cargas a los elementos principales como son trabes y columnas de acuerdo con las demandas de servicio, con deflexiones y agrietamiento que mantenga un comportamiento aceptable y adecuado.

Existe una amplia variedad de sistemas de entrepisos prefabricados en edificaciones y depende del uso de la edificación, de la longitud del claro a cubrir, así como de las facilidades para el montaje o requerimientos especiales del proyecto. De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto (NTC-CONCRETO, 2017), las losas o sistemas de entrepisos se clasifican de acuerdo con el tipo de apoyo empleado para sostener la losa: losas perimetralmente apoyadas y losas planas.

1. Losas perimetralmente apoyadas.

Consiste en tableros de losas con trabes o vigas en todo el perímetro permitiendo la distribución de las cargas hacia las trabes y posteriormente a columnas y cimentación. Estos tableros pueden ser direccionados en una sola orientación o de manera ortogonal.





2. Losas planas.

Básicamente son entrepisos en que la losa se conserva de un solo espesor y que se soporta solamente de columnas. Este sistema trabaja transmitiendo las cargas de manera generalizada o en todas direcciones, a las columnas de soporte. En estas losas es común y casi obligatorio reforzar las columnas con capiteles para evitar las fallas por fuerzas de cortante en la losa.

Adicional, los sistemas de losas pueden ser losas macizas que corresponden a losas de concreto armado con espesor constante y una sección transversal rectangular; y losas aligeradas por medio de la inserción de elementos de menor densidad, como plásticos u otros materiales. Estos elementos funcionan a manera de moldes durante el vertido de concreto dando forma a las nervaduras o elementos de carga y manteniendo una capa de compresión por encima de los moldes, esto sin comprometer la capacidad de carga de las losas. El aligeramiento de las losas permite un incremento en el espesor de las losas sin incrementar la carga de peso propio del elemento y permitiendo alcanzar claros de mayores distancias. Estos elementos de disminución de peso pueden ser fabricados de diferentes materiales como son poliestireno, polietileno, fibra de vidrio y en diferentes formas como lo son paneles, bloques, esferas y casetones.

Otra característica de los sistemas de pisos o losas son la orientación que adquieren los esfuerzos de acuerdo con la configuración y orientación geométrica de las losas. Estas se clasifican en:

- Losas unidireccionales

Los esfuerzos se distribuyen en una sola dirección, por lo habitual al claro más corto donde encontrará una trabe o viga de estructura principal.

Algunos ejemplos del mercado de estas losas son:

- a. Losa Makros Novidesa
- b. Losa Vigüeta y bovedilla
- c. Losa alveolar



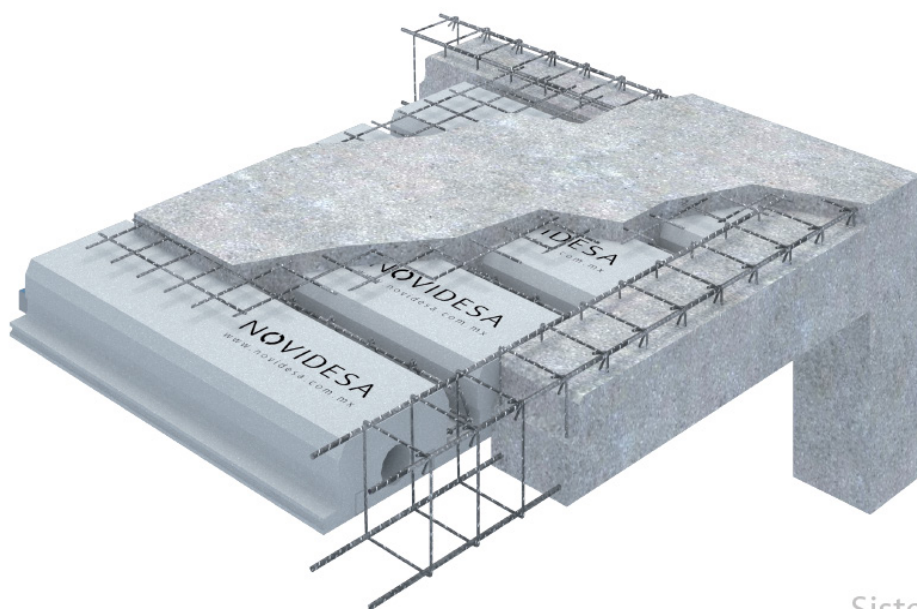


Imagen 2.3 Sistema de entepiso Novidesa, losa Makros. (Área Técnica Novidesa, 2010)



Imagen 2.4 Losa de vigueta y bovedilla. (CEMPOSA, 2014)



Imagen 2.5 Losa alveolar (CEMPOSA, 2014)





- Losas bidireccionales

En este caso los esfuerzos se distribuyen en sentidos ortogonales. Estos tableros están confinados en el perímetro por trabes o vigas principales. Algunos ejemplos del mercado de estas losas son:



Imagen 2.6 Losa bidireccional con casetón de fibra de vidrio. (Cilimex, 2019)

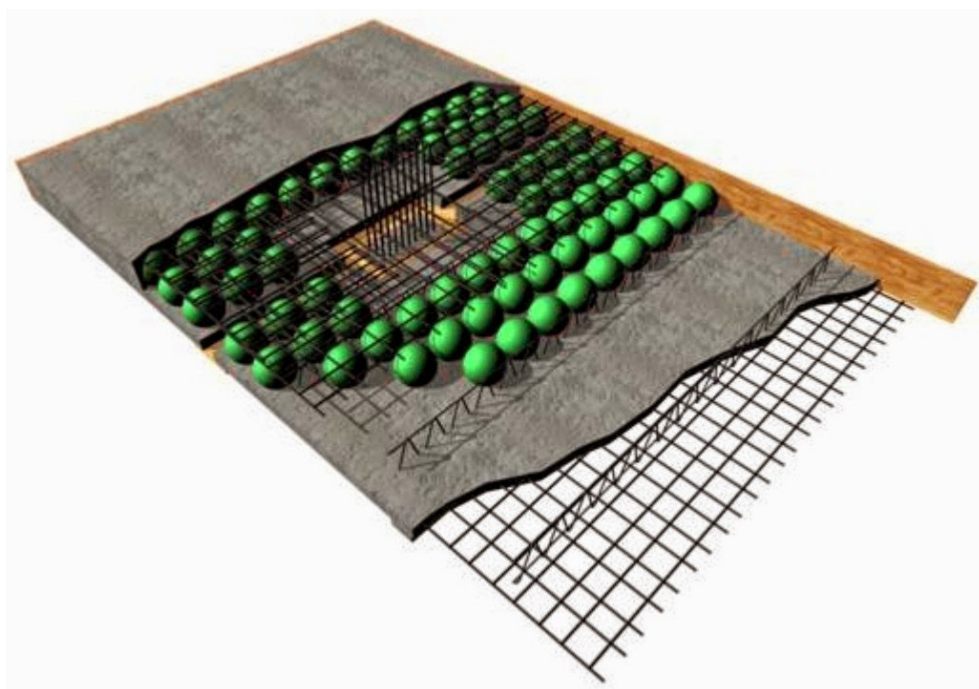


Imagen 2.7 Losa Bubbledeck. (Bubbledeck UK , 2008)





2.4 SISTEMAS DE FACHADAS (MUROS EXTERIORES)

Los sistemas de fachadas, también llamados muros exteriores, constituyen los elementos que envuelven una edificación. Es la transición entre el interior del edificio y el exterior, dando seguridad y protección contra las variaciones del tiempo meteorológico. Como todo sistema consta de una serie de elementos ordenados que trabajan conjuntamente para cumplir un objetivo; en el caso de los sistemas de fachadas sería dar seguridad, confort, estética, eficiencia energética y control climático al interior.

En este trabajo nos interesa el uso de paneles prefabricados aplicados a los sistemas de fachadas, su comportamiento frente a los efectos de viento, su proceso constructivo y sus propiedades.

El proceso constructivo se define de acuerdo con las características de los materiales prefabricados como son dimensiones del módulo, peso propio y materiales. Se utilizan estos parámetros para diseñar las fachadas por viento dando paso a la creatividad e ingenio de los profesionistas involucrados.

A continuación, se mencionan algunos de los sistemas de fachadas prefabricadas:

- Tabique rojo o ladrillo

Estos muros se conforman por un número de tabiques o ladrillos. Estos son fabricados por moldeo, secado y cocción a altas temperaturas de una pasta arcillosa. El módulo más demandante tiene las dimensiones 24x12x5 cm. Podríamos mencionarlo como los primeros elementos prefabricados en la historia de la humanidad para la fabricación de muros exteriores.



Imagen 2.8 Tabique rojo (Sodimac, 2018)

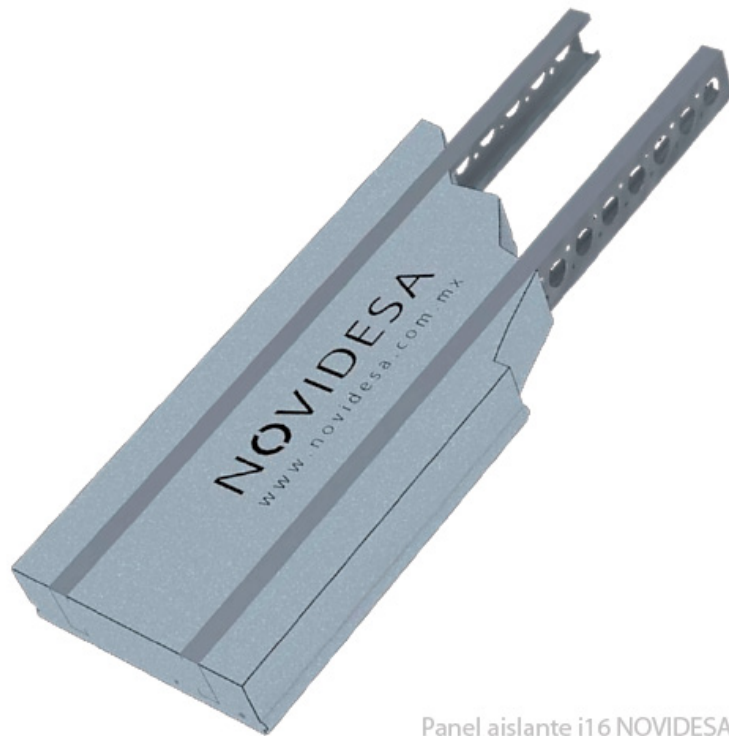




- Panel Ikos Novidesa

Es un panel prefabricado de espuma de poliestireno expandido. Cuenta con un agente ignífugo que no propaga la flama y está estructurado con dos postes metálicos de acero galvanizado con sección tipo C en calibre 20, separados a 30 centímetros.

Este sistema de fachada permite contar con ciertos beneficios como son contar con piezas cortadas a la medida del proyecto, aislamiento térmico que propicia un uso más eficiente de energía, reducción en tiempos de obra, así como aligeramiento de cargas muertas del edificio.



Panel aislante i16 NOVIDESA

Imagen 2.9 Panel Ikos (Área Técnica Novidesa, 2010)

- Tabique de block hueco

El block hueco es un tipo de ladrillo que tiene la característica de tener unos orificios constantes en su interior, en el sentido longitudinal del mismo. La finalidad de estos orificios es disminuir peso al ladrillo, aumentando así la manejabilidad por parte del operario, así como aumentar sus propiedades térmicas.





Existen diferentes dimensiones de ladrillos huecos. Se presenta a continuación, una tabla con algunas características:

Tipo de Tabique	Medidas	Piezas por m ² (junta 1 cm)	Peso Pieza kg/m ²	Resistencia kg/cm ²	Conductividad Térmica (W/m ² °K)	Resistencia Térmica (m ² K/W)
6	6×120×24	57.1	92	140	0.744	1.344
10	10×120×24	32	83	140	0.794	1.259
12	12×120×24	30.7	102	140	0.744	1.344
15	15×120×24	13.5	121	140	0.692	1.445

Tabla 2.4 Propiedades geométricas, de resistencia y térmicas de tabiques de block hueco (Área Técnica Novidesa, 2010)

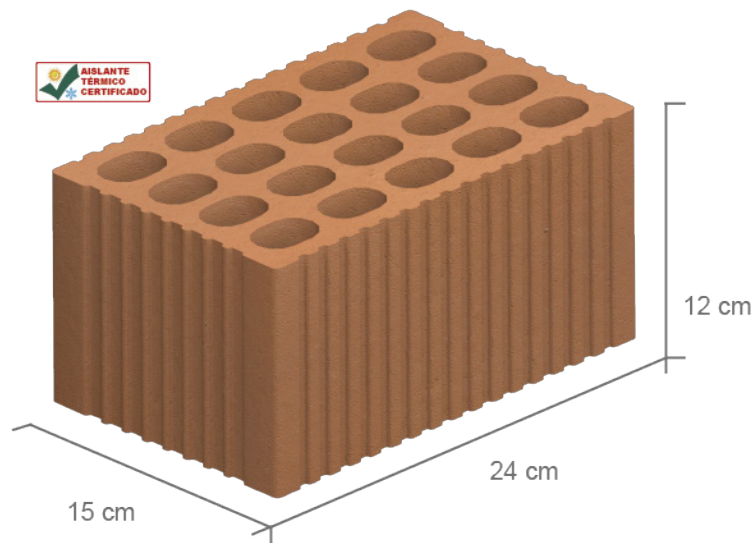


Imagen 2.10 Block hueco Tabimax 15 (Novaceramic, 2015)

- Bloque de concreto

El bloque de concreto es una mampostería prefabricada, elaborado de concretos con agregados finos o morteros de cemento. Su aplicación es en muros divisorios y muros exteriores. Los bloques tienen forma prismática, con dimensiones normalizadas, y suelen ser esencialmente huecos. Sus dimensiones habituales en centímetros son 10x20x40, 20x20x40, 22,5x20x50. En la construcción de mampostería de bloques de concreto el módulo a respetar es de 20 cm, medida que es la mitad de la longitud nominal del bloque e igual a su altura. Por lo tanto, todo proyecto constructivo debe ser pensado en función de dicho módulo. De este modo se minimiza el cortado





de bloques, las operaciones de montaje, adaptación de la mampostería en obra y complicadas tareas de terminación, que implican costo en tiempo y dinero.

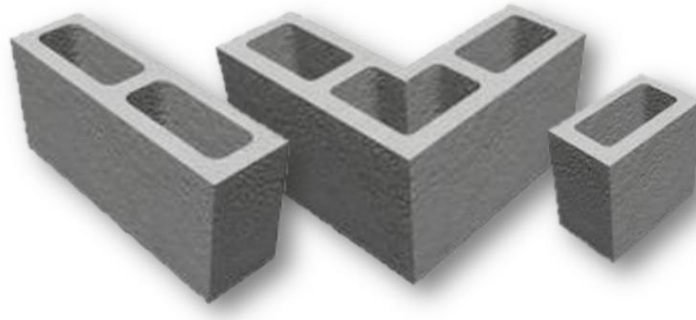


Imagen 2.11 Block de concreto (APCadoquin, 2010)

- Panel tridimensional con alma de poliestireno

Este panel está compuesto por una placa de poliestireno expandido y una estructura tridimensional conformada por dos mallas de acero galvanizado de alta resistencia en ambas caras del panel. Dichas mallas están unidas por electrosoldadura a armaduras de dos alambres paralelos soldados a un tercero en forma de zigzag, resultando así retículas. Este tipo sistema consiste en la integración de alambres de acero, mortero o concreto, generando un cuerpo monolítico de muros y losas armadas con capacidad estructural para permitir la construcción a edificaciones de hasta dos niveles.

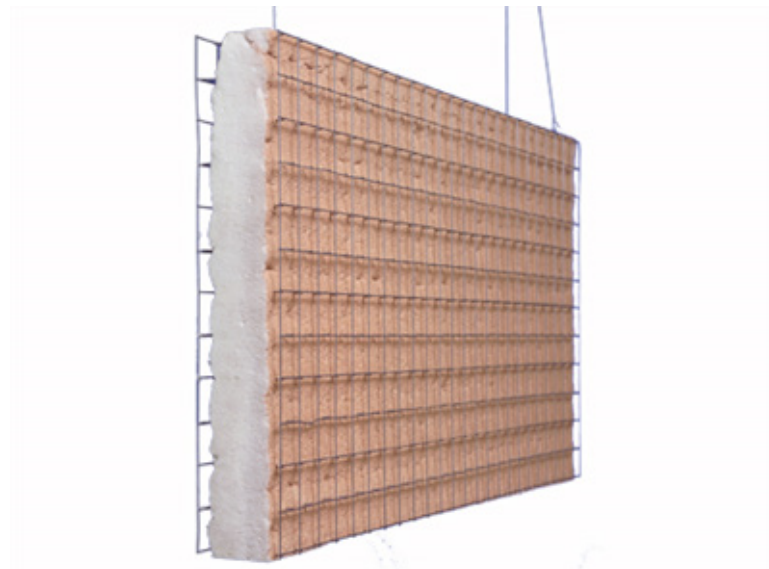


Imagen 2.12 Panel W PREMIUM POLYURETHANE (Panel W, 2012)





CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

La construcción lleva varios años siendo una industria que ha crecido exponencialmente a la par de la demanda de infraestructura y vivienda por lo que ha constituido un mercado competitivo lleno de materiales, procesos y tecnologías constructivas. El ejemplo revisado en este capítulo muestra la gama de materiales y sistemas aplicados a losas de entrepiso y azotea, como a las fachadas y muros exteriores. Haciendo énfasis en los productos fabricados de poliestireno que han sido una alternativa para brindar ventajas como su peso ligero, nula absorción de agua, variedad de moldeo final, su vida útil y principalmente sus propiedades térmicas.





CAPÍTULO 3: SISTEMAS DE ENTREPISO

3.1 Paneles de poliestireno aplicado en losas

Los sistemas de entrepiso consisten en el uso de paneles prefabricados de espuma de poliestireno expandido (EPS) aplicados como una cimbra permanente a las losas de entrepiso, dando forma a las nervaduras unidireccionales integradas por una capa de compresión formando un diafragma monolítico de concreto armado. Existen dos formatos de paneles para losas: MAKROS y M16.

Algunas de las ventajas de emplear los paneles de poliestireno aplicados en losas son:

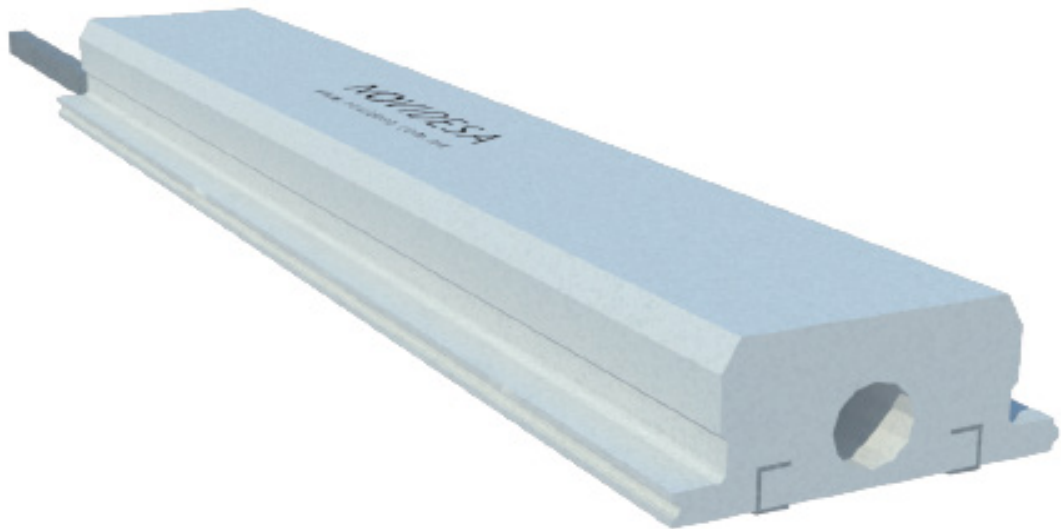
- Construcción rápida, sencilla y limpia.
- Aislamiento térmico.
- Confort acústico.
- Ahorro en consumo de energía.
- Facilidad para alojar instalaciones.
- Fácil instalación.
- Piezas cortadas a la medida de proyecto.
- Compatibilidad con todos los sistemas estructurales (concreto, acero, etc.).

Los paneles MAKROS y M16 se fabrican con espuma de poliestireno expandido, cuentan con un agente ignífugo que no propaga la flama y está conformado por dos postes troquelados de acero galvanizado con sección tipo C calibre 22 y separados a 30 centímetros. Estos últimos ayudan a soportar el peso del concreto y del personal durante las etapas de colado. Por su diseño modular, al unir los paneles forman una cavidad a cada 60 centímetros donde se colocará el acero de refuerzo de las nervaduras. Y finalmente por encima del panel se instalará el acero de refuerzo para la capa de compresión de espesor mínimo de 5 centímetros.





A continuación, se presenta una imagen mostrando los paneles y se describen las especificaciones de cada tipo de panel que cubren todos los sectores del mercado de la edificación de vivienda, servicios, comercios, etc.



Sistema MAKROS NOVIDESA

Imagen 3.1 Panel para entepiso de poliestireno Makros. (Área Técnica Novidesa, 2019)



Panel aislante m16

Imagen 3.2 Panales para entepiso de poliestireno M16. (Área Técnica Novidesa, 2019)





3.1.1 Características de paneles de poliestireno

El panel M16 es un panel prefabricado que se caracteriza por tener una densidad de 16 kg/m³ y pretende ser solución para construcción de vivienda de nivel interés social, así como proyectos con claros menores a 3.70 metros. Este panel solo está disponible en un espesor de 15 centímetros permitiendo una losa de espesor total mínimo de 20 centímetros considerando una capa de compresión de 5 centímetros. Este panel se corta a la longitud requerida de las áreas de losa del proyecto. (Área Técnica Novidesa, 2010)

Propiedades m16 Panel aislante para entrepiso	
Peralte panel	15 cm
Capa de compresión	5 cm
Peralte total de losa	20 cm
Ancho	60 cm
Longitud máx. fabricación	12 m
Peso del panel	4.88 kg/m ²
Peso EPS	1.87 kg/m ²
Peso del sistema	178.00 kg/m ²
Cantidad de concreto	0.0743 m ³ /m ²
Separación máx. apuntalamiento	1.50 m
Conductividad térmica	0.0316 W/m*K
Permeabilidad de vapor de agua	0.05 ng/Pa*s*m
Adsorción de humedad (peso)	0.43 %
Adsorción de humedad (volumen)	0.01 %
Densidad aparente EPS	17.2 kg/m ³
Aislamiento térmico M	2.91 m ² *K/W
Aislamiento térmico R	16.52 h*ft ² *°F/BTU

Tabla 3.1 Propiedades del panel m16. (Área Técnica Novidesa, 2019)





El panel prefabricado MAKROS es de igual manera cortado a la medida del claro a cubrir. Dentro de sus diferencias con el panel M16 es la densidad y los espesores disponibles. La densidad de estos paneles ronda los 19 kg/m³ y se encuentra en los siguientes espesores: 18, 20, 25, 29 y 32 centímetros más la capa de compresión. Al contar con secciones de nervaduras más peraltadas estos sistemas aplican para todo tipo de losa de entepiso (vivienda, comercio, servicios, estacionamientos, etc.). (Área Técnica Novidesa, 2010)

Propiedades

Peralte panel (cm)	Peralte total (cm)	Cantidad de concreto (m ³ /m ²)	Peso del sistema (kg/m ²)	Apuntalamiento (m)
18	23	0.083	205	1.30
20	25	0.091	224	1.25
25	30	0.103	255	1.25
29	34	0.114	280	1.20
32	37	0.121	299	1.20

Peralte panel (cm)	Aislamiento térmico M (m ² *K/W)	Aislamiento térmico R (h*ft ² *°F/BTU)
18	3.30	18.79
20	4.64	26.37
25	4.87	27.67
29	5.65	32.09
32	5.92	33.64

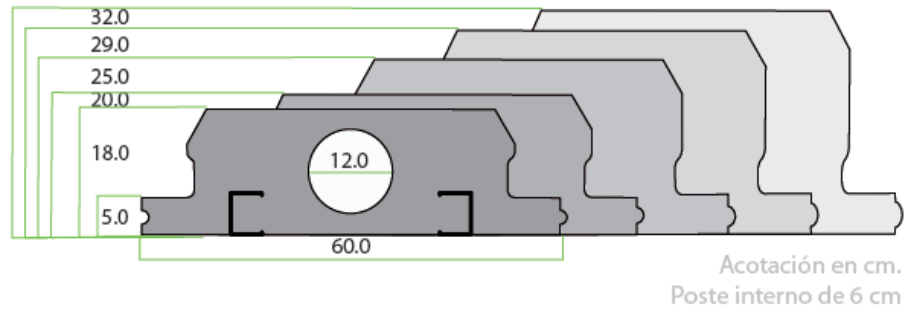
Conductividad térmica	0.0344 W/m*K
Permeabilidad de vapor de agua	0.049 ng/Pa*s*m
Adsorción de humedad (peso)	1.03 %
Adsorción de humedad (volumen)	0.02 %
Densidad aparente EPS	19.05 kg/m ³
Ancho	60 cm
Longitud máx. fabricación	12 m

Tabla 3.2 Propiedades del panel Makros. (Área Técnica Novidesa, 2019)





Disponibilidad del panel MAKROS



Disponibilidad del panel m16

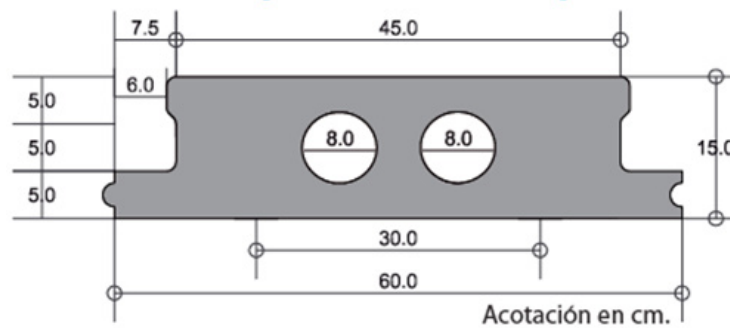


Imagen 3.3 Disponibilidad del panel Makros y M16. (Área Técnica Novidesa, 2019)

Para el proceso de análisis y diseño de los sistemas de entrepiso que se conforman por paneles de poliestireno hacemos uso de las teorías para analizar la acción estructural de una losa unidireccional. Las losas unidireccionales o en una sola dirección son aquellas que trabajan únicamente en la dirección perpendicular a los apoyos. Estos apoyos pueden ser las vigas o trabes principales de un marco, vigas secundarias que se apoyan a su vez en vigas principales o muros, o muros de mampostería que soportan la losa directamente.





Se ilustran en la imagen siguiente ejemplos de los apoyos mencionados anteriormente.

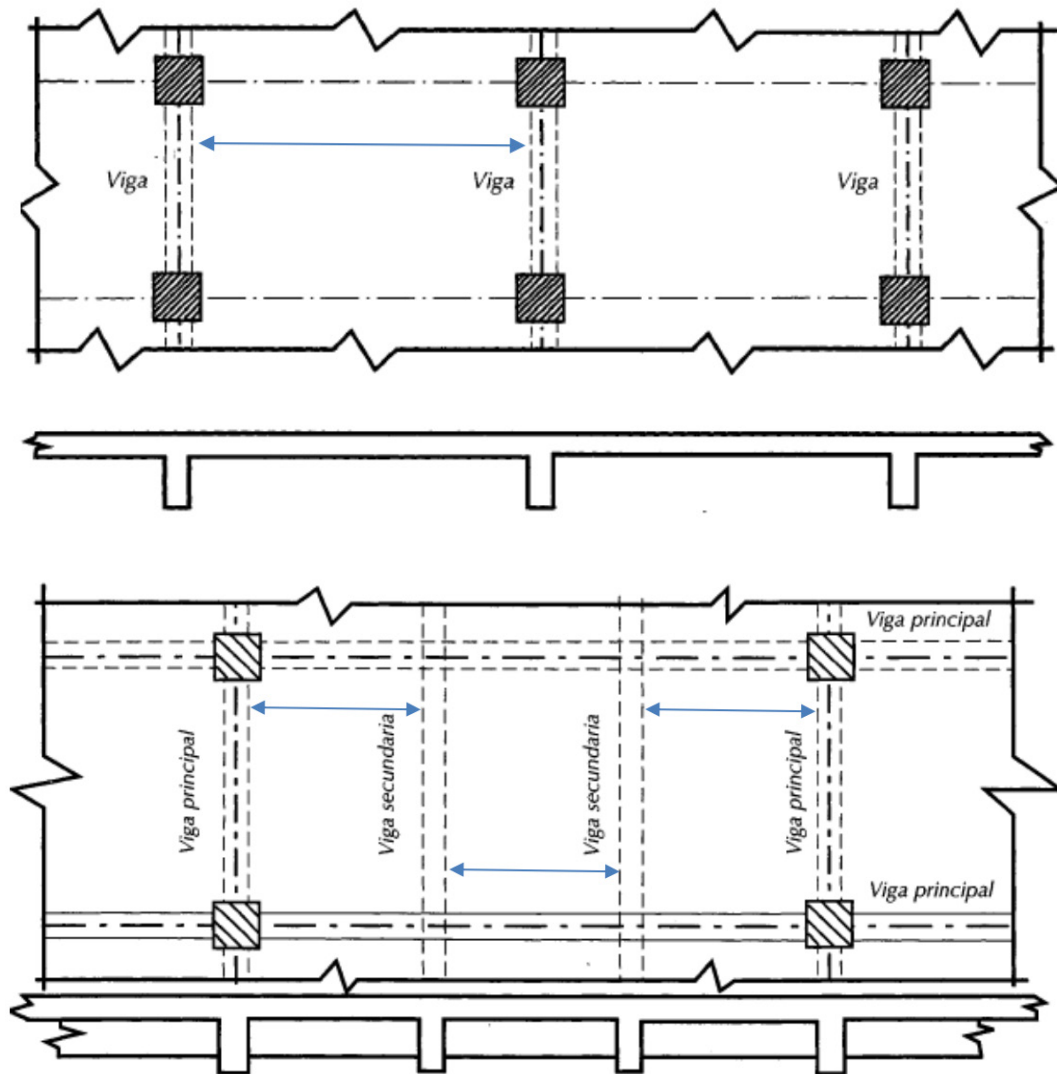


Imagen 3.4 Ejemplos de losas unidireccionales. (Gonzáles, 2005)

El comportamiento de estos sistemas de entrepisos es fundamentalmente como traveses o vigas paralelas e independientes de cada una de un ancho unitario pero que se flexionan de manera análoga. (Gonzáles, 2005) Usualmente estas traveses se consideran de un metro de ancho, pero para el caso del módulo empleado por los paneles de poliestireno se hace uso de un ancho de sesenta centímetros que es la separación a ejes de las nervaduras.





El diseño de estas losas es, por consiguiente, similar al diseño de las vigas o trabes prestando mayor atención al comportamiento de las flexiones. Para el Ing. Óscar Gonzáles Cuevas en su libro “Aspectos fundamentales del concreto reforzado” hace mención de que tomar el criterio de considerar la losa como un conjunto de franjas de ancho unitario es un tanto conservador debido a la restricción de deformación de la losa en el sentido perpendicular a las franjas; se desarrollan esfuerzos de compresión normales a las franjas aumentando ligeramente la resistencia en la dirección considerada (Gonzáles, 2005). A continuación, se muestra una imagen en isométrico del sistema de entepiso donde se aprecia la colocación de los paneles de manera consecutiva, el armado longitudinal de cada nervadura, el refuerzo de la capa de compresión y el anclaje con las trabes principales.

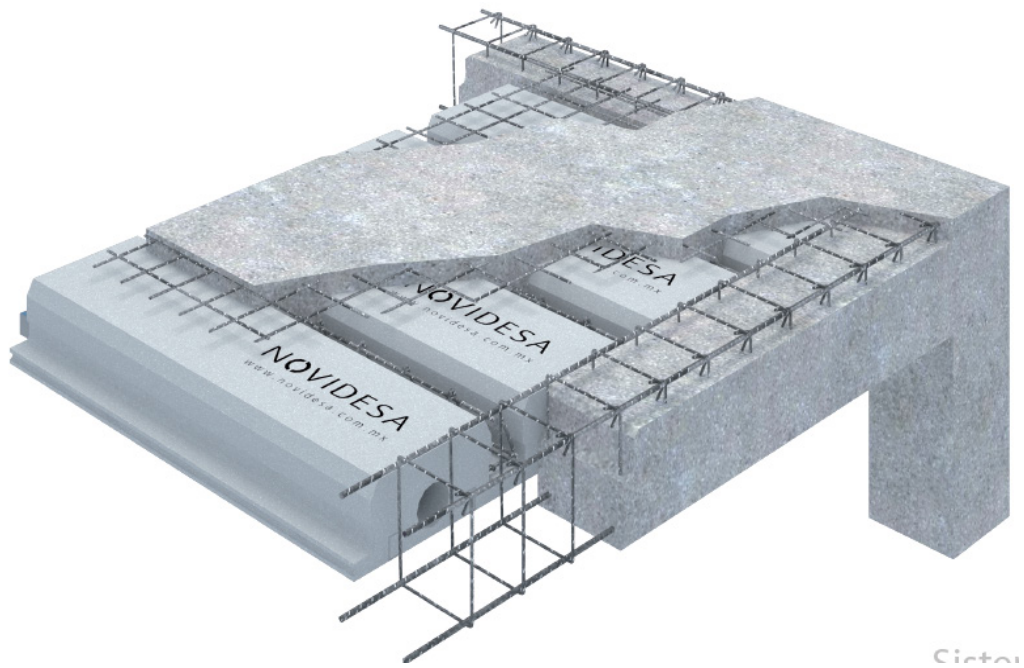


Imagen 3.5 Sistema de entepiso Novidesa, losa Makros. (Área Técnica Novidesa, 2010)



3.1.2 Componentes del sistema

En la siguiente imagen se muestra una sección transversal del sistema de entrepiso. En este ejemplo se considera un panel de veinte centímetros con capa de compresión de cinco centímetros.

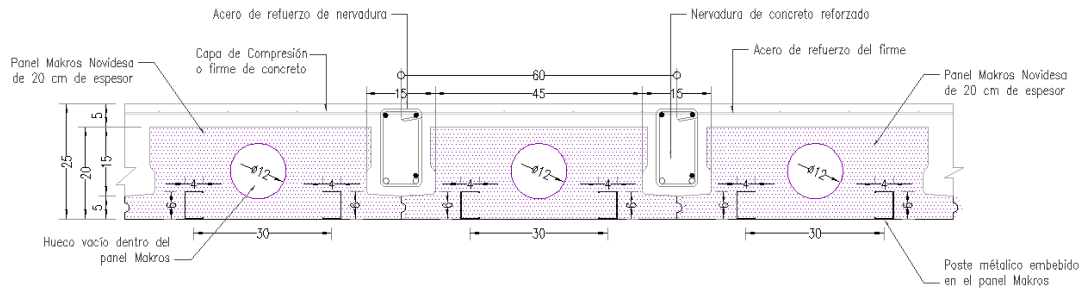


Imagen 3.6 Sección transversal de panel de poliestireno con acero de refuerzo y concreto.
(Elaboración propia)

El sistema de entrepiso está compuesto por los siguientes elementos:

- Panel M16 y Makros. Es el elemento aligerante y cimbra no recuperable del sistema fabricado con espuma de poliestireno expandido conformado por dos postes troquelados de acero galvanizado con sección tipo C calibre 22 y separados a 30 centímetros. Estos postes ayudan a soportar el peso del concreto y del personal durante el proceso de habilitación y colado del sistema de entrepiso. El diseño de los paneles forma una cavidad entre ellos en el cual se colocará el acero de refuerzo de nervaduras y posteriormente el vaciado de concreto. Por encima del panel se desplantará el acero de refuerzo del firme de concreto o capa de compresión que tendrá un mínimo de 5 centímetros.



Imagen 3.7 Secciones transversales del panel M16 y panel MAKROS de 18 cm, 20 cm, 25 cm, 29 cm y 32 cm de peralte. (Elaboración propia)





Los paneles cuentan con varias certificaciones y acreditaciones que otorgan un valor adicional en diferentes campos de la construcción que se traduce en seguridad y confort al usuario final. Se mencionan a continuación las certificaciones y acreditaciones:

- NOM-018-ENER-2011. Esta norma oficial mexicana de carácter obligatorio establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los productos, componentes y elementos termoaislantes para techos, plafones y muros de las edificaciones, producidos y comercializados con ese fin.
 - NMX-405-ONNCCE-2014. Esta norma indica especificaciones y pruebas de ensayo que deben cumplir los paneles para uso estructural en sistemas constructivos.
 - NMX-460-ONNCCE-2009. Señala especificaciones de resistencia térmica (Valor R) que aplican a envolventes de vivienda para mejorar habitabilidad y ahorro energético.
 - UL-E94. Marca los estándares para la seguridad de la inflamabilidad de materiales plásticos.
 - Sello FIDE. Este se otorga a los productos que inciden directa o indirectamente en el ahorro de energía.
- Acero de refuerzo de nervaduras. Este elemento está conformado por acero de refuerzo longitudinal el cual está para soportar los diferentes estados de carga bajo los que estará sometida la nervadura durante su vida útil. También se incluye acero de refuerzo transversal para los efectos de cortante presente en la nervadura.

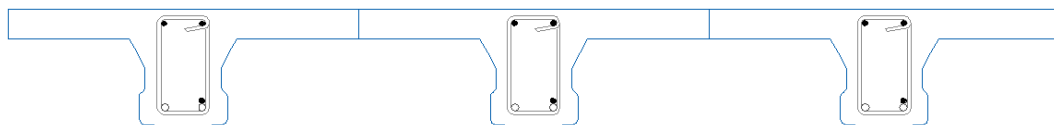


Imagen 3.8 Sección transversal de nervaduras con acero de refuerzo longitudinal y transversal.
(Elaboración propia)





- Firme o capa de compresión. Este tiene dos funciones principales, la primera permite totalizar y dar continuidad al sistema de entrepiso distribuyendo las cargas actuantes en el sistema. La segunda función es como diafragma rígido para la solicitud de cargas laterales permitiendo la distribución de la carga a elementos verticales.

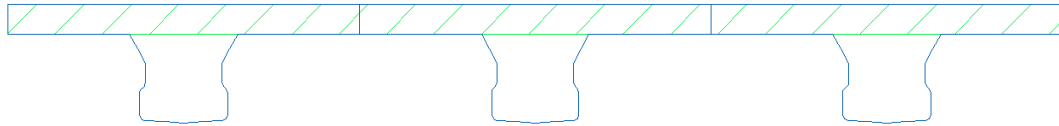


Imagen 3.9 Sección transversal de nervaduras indicando la zona de capa de compresión.
(Elaboración propia)

Acero de refuerzo de firme. Cumple la función del control de agrietamiento en el firme por cambios volumétricos y el agrietamiento por flexión bajo cargas de servicio. Ayuda a garantizar la durabilidad y la apariencia del sistema de entrepiso.

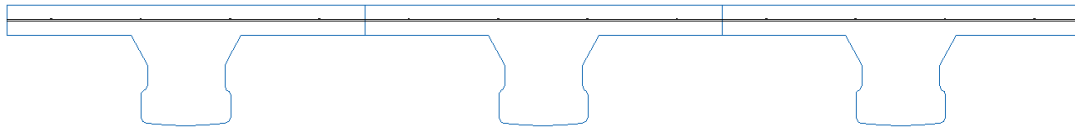


Imagen 3.10 Sección transversal de nervaduras con acero de refuerzo en capa de compresión.
(Elaboración propia)

Haciendo análisis de la sección de concreto que se compone con la unión consecutiva de paneles Makros detectamos que se genera una losa nervada con la siguiente geometría.

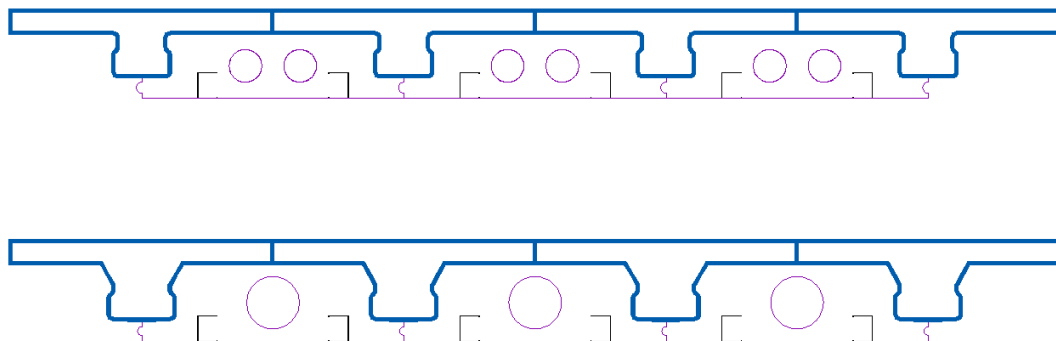


Imagen 3.11 Sección transversal de nervaduras con panel M16 y panel Makros. (Elaboración propia)





Para efectos de análisis y diseño para este documento se consideran las siguientes geometrías para la sección de concreto. Las nervaduras, en todos los casos, son colados monolíticamente con la capa de compresión de cinco centímetros; resultando en módulos tipo “t” con un ancho de patín superior de sesenta centímetros. En la siguiente imagen se visualiza las medidas de los paneles de losas:

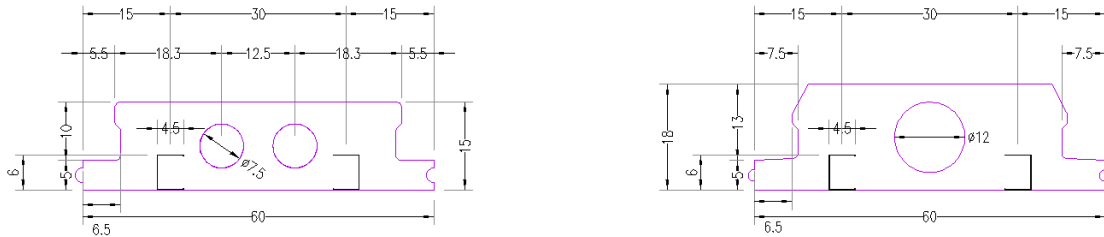


Imagen 3.12 Sección transversal de panel M16 y panel Makros. (Área Técnica Novidesa, 2019)

Para el panel m16 se contemplará el ancho siguiente:

$$b = \frac{13 + 13 + (2 \times 11)}{4} 12 \text{ cm}$$

Para el panel Makros se contemplará el ancho siguiente:

$$b = \frac{15 + 15 + (2 \times 13)}{4} 14 \text{ cm}$$

Secciones de nervaduras:

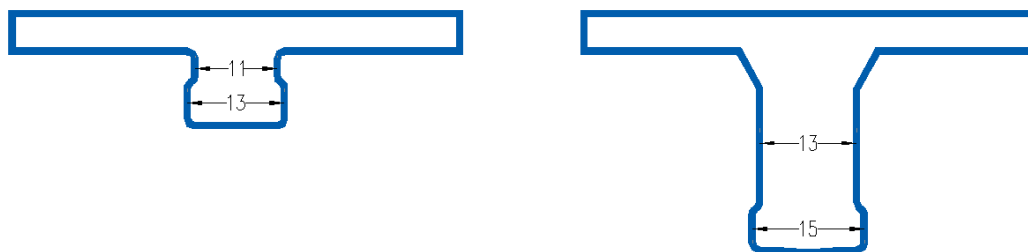


Imagen 3.13 Sección transversal de concreto con medidas en alma. (Elaboración propia)



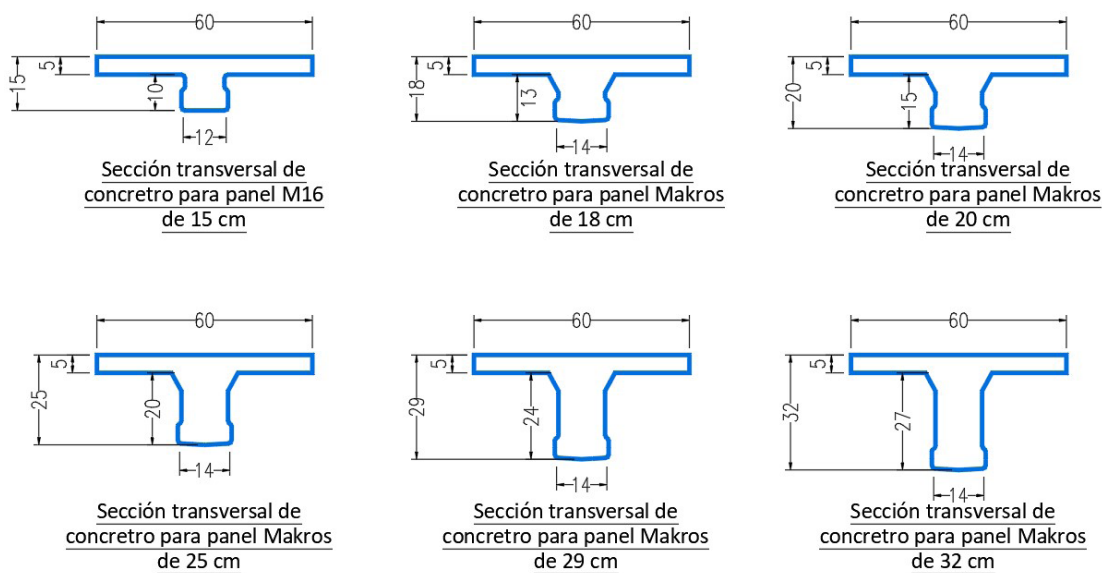


Imagen 3.14 Secciones transversales de concreto nominales para todos los peraltes de losas.
(Elaboración propia)

Considerando estas secciones se puede determinar el peso de los sistemas por metro cuadrado, así como sus inercias. Se presenta a continuación una tabla con la información.

Peso propio del sistema		Inercia X [cm ⁴]
Makros	w [kg/m ²]	
M16	178	6,694.17
18	205	12,330.28
20	224	16,849.07
25	255	32,418.99
29	280	49,783.73
32	299	65,983.12

Tabla 3.3 Pesos e inercias por peralte de panel de poliestireno. (Elaboración propia)

3.2 Criterios de Diseño

Las fuerzas y momentos internos producidos por las acciones a que están sujetas las estructuras se determinarán de acuerdo con los criterios prescritos tanto en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo como en las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones





y en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. (NTC-CRITERIOS, 2017)

El dimensionamiento y el detallado se harán de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio, así como de durabilidad, establecidos en el Título Sexto del Reglamento y en las normas ya mencionadas. (RCDF, 2017)

Según el criterio de estados límite de falla, las estructuras deben dimensionarse de modo que la resistencia de diseño de toda sección con respecto a cada fuerza o momento interno que en ella actúe, sea igual o mayor que el valor de diseño de ficha fuerza o momentos internos.

Las resistencias de diseño deben incluir el correspondiente factor de resistencia, F_r . Las fuerzas y momentos internos de diseño se obtienen multiplicando por el correspondiente factor de carga.

Sea que aplique el criterio de estados límite de falla o algún criterio optativo, deben revisarse los estados límite de servicio, es decir, se comprobará que las respuestas de la estructura (deformación, agrietamiento, etc.) queden limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio.

Las estructuras deberán diseñarse para una vida útil de al menos 50 años, de acuerdo con los requisitos establecidos en el capítulo de Durabilidad de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. (NTC-CONCRETO, 2017)

A continuación, se presenta un diagrama de flujo indicando el proceso que se requiere para el diseño de nervaduras de concreto usando paneles de poliestireno. Dicho diagrama de flujo se basa en los lineamientos señalados por la reglamentación anteriormente mencionada:

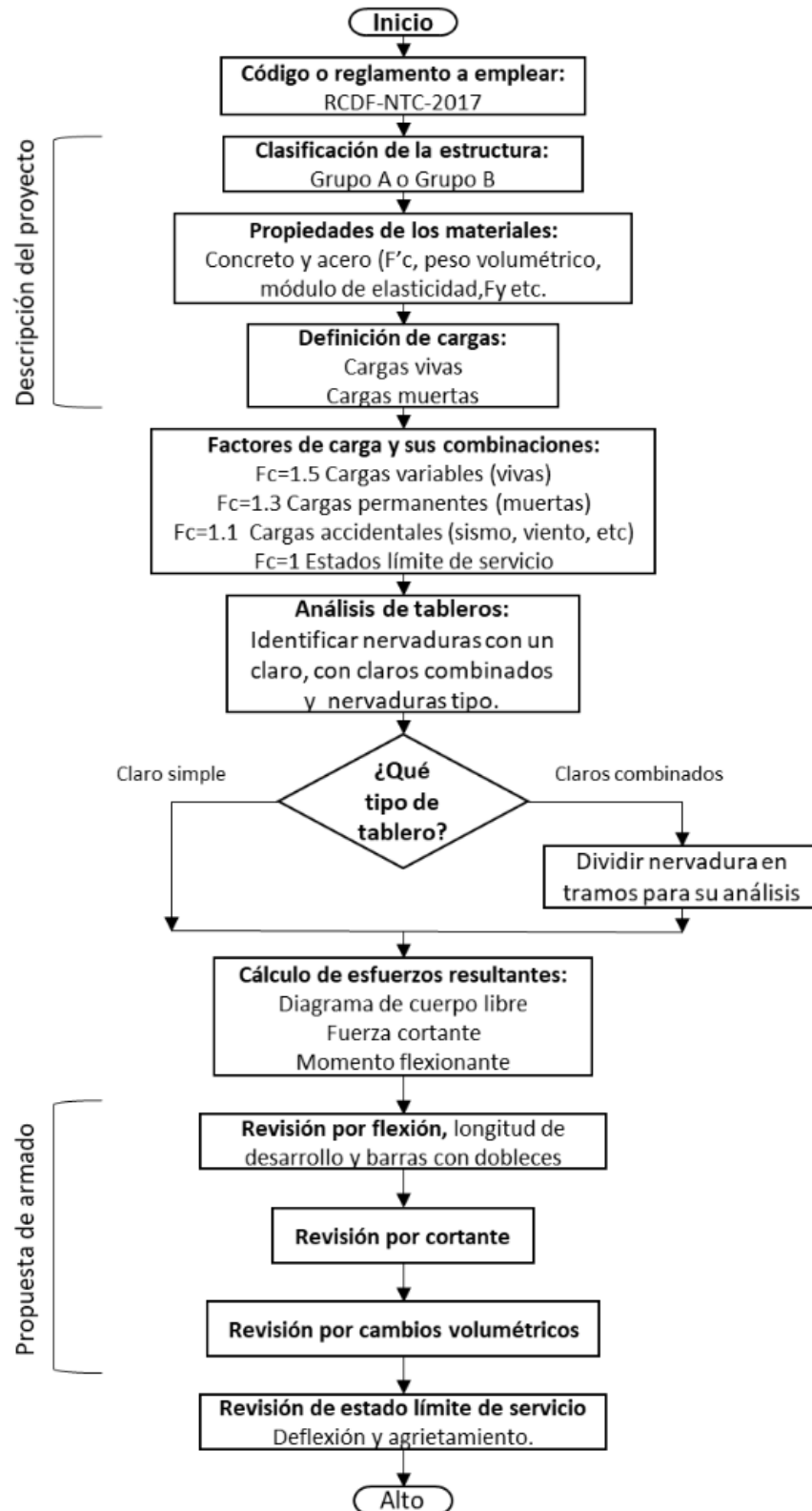


Figura 3.1 Diagrama de flujo para diseño de nervaduras (Elaboración propia)





3.2.1 Concreto

El concreto de resistencia normal empleado para fines estructurales puede ser de dos clases: clase 1 con peso volumétrico en estado fresco superior a 2.2 t/m^3 y clase 2 con peso volumétrico en estado fresco comprendido entre 1.9 y 2.2 t/m^3 .

De acuerdo con las normas técnicas para la Ciudad de México (NTC-CONCRETO, 2017) el concreto a emplear para obras clasificadas como del grupo A o B1, según se definen en el artículo 139 del Reglamento (RCDF, 2017), se usará concreto de clase 1.

El concreto clase 1 se fabrica de agregados gruesos con peso específico superior a 2.6 (caliza, basalto, etc.) con la posibilidad de emplear arena andesítica u otra de mejores características. Para el concreto clase 2 se usarán agregados gruesos con peso específico superior a 2.3. El agua de mezclado deberá ser limpia y cumplir con los requisitos de la norma NMX-C-122.

Para concretos clase 1 deberán contar con una resistencia especificada (f'_c) igual o mayor a 250 kg/cm^2 . En el caso de concretos clase 2 la resistencia especificada será menor a 250 kg/cm^2 , pero no menor a 200 kg/cm^2 .

Todo concreto estructural debe mezclarse por medios mecánicos. El de clase 1 debe proporcionarse por peso; el de clase 2 puede proporcionarse por volumen.

Se hace hincapié en que la proporción de un concreto debe hacerse para una resistencia media, mayor que la especificada, y depende del grado de control que se tenga al fabricar el concreto.

Con respecto al módulo de elasticidad la normativa establece dos criterios de cálculo de acuerdo con el tipo de agregado grueso a utilizar. Para agregados gruesos calizos y concretos clase 1 se hace uso de las siguientes expresiones:

$$14,000 \sqrt{f'_c}$$





Para concretos con agregados gruesos basálticos la expresión a utilizar es:

$$11,000 \sqrt{f'_c}$$

Y para concretos clase 2:

$$8,000 \sqrt{f'_c}$$

3.2.2 Acero

El acero de refuerzo empleado en las nervaduras y en el firme de concreto de los sistemas de entepiso con paneles de poliestireno, se componen por refuerzo superior e inferior y con estribos. Según las características del proyecto se puede agregar acero adicional.

En tema del acero a utilizar las normas técnicas (NTC-CONCRETO, 2017) establecen que deben utilizarse barras de acero y/o malla de alambre soldado. Estas barras deberán ser corrugadas y deberán cumplir con normas mexicanas: NMX-C-407-ONNCCE o NMX-B-457 CANACERO. La malla cumplirá con la norma NMX-B-290 CANACERO.

Se admite el uso de barra lisa de 6.4 mm de diámetro (número 2) para estribos donde así se indique en las normas (NTC-CONCRETO, 2017), conectores de elementos compuestos y como refuerzo para esfuerzos a cortante por fricción.

Para elementos secundarios y losas apoyadas en su perímetro, se permite el uso de barras que cumplan con las normas NMX-B-18, NMX-B-32 y NMX-B-72.

El módulo de elasticidad del acero de refuerzo ordinario, E_s , se supondrá igual a 2×10^6 kg/cm². En el cálculo de resistencias se usarán los esfuerzos de fluencia mínimos, f_y , establecidos en las normas (NTC-CONCRETO, 2017).

Factores de resistencia y de carga

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-CRITERIOS, 2017), las resistencias deben





afectarse por un factor de reducción, Fr . Y las cargas deberán revisarse por una combinación de probabilidad de ocurrencia empleando un factor de carga. A continuación, se presentan los valores:

Flexión	$Fr = 0.9$
Cortante y torsión	$Fr = 0.75$
Transmisión de flexión y cortante en losas	$Fr = 0.65$
Cargas permanentes (muertas)	$Fc = 1.3/1.5$
Cargas variables (vivas)	$Fc = 1.5/1.7$
Cargas accidentales (sismo, viento, etc.)	$Fc = 1.1$
Estados límite de servicio	$Fc = 1$

Para el diseño de las nervaduras de los sistemas de entepiso se aplican las especificaciones de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-CONCRETO, 2017). A continuación, se da un resumen de las expresiones y parámetros utilizados.

La determinación de resistencias de secciones de cualquier forma sujetas a flexión, carga axial o una combinación de ambas, se efectuará a partir de las condiciones de equilibrio y de las siguientes hipótesis:

- La distribución de deformaciones unitarias longitudinales en la sección transversal de un elemento es plana
- Existe adherencia entre el concreto y el acero de tal manera que la deformación unitaria del acero es igual a la del concreto adyacente
- El concreto no resiste esfuerzos a tensión
- La deformación unitaria del concreto en compresión cuando se alcanza la resistencia de la sección es 0.003
- La distribución de esfuerzos de compresión en el concreto, cuando se alcanza la resistencia de la sección, es uniforme con un valor igual a $\beta_1 c$ hasta una profundidad de la zona de compresión igual a $\beta_1 c$

$$\beta_1 = 0.85; \quad \text{si } f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 1.05 - \frac{f'_c}{1400} \geq 0.65; \quad \text{si } f'_c > 280 \text{ kg/cm}^2$$





La resistencia determinada con estas hipótesis, multiplicada por el factor correspondiente, da la resistencia de diseño.

Firme / capa de compresión

Dentro de las normas (NTC-CONCRETO, 2017) en el apartado 7.8.3 indica que el espesor del firme en claros mayores o iguales a 6.00 metros será de 6 centímetros como mínimo, y en ningún caso será menor a 3 centímetros siempre quedando a criterio del estructurista el espesor óptimo para la edificación. En áreas de estacionamiento la recomendación es añadir 2 centímetros por desgaste.

Claro (L)	Espesor firme (t)
$L \leq 6.00 \text{ m}$	$t \geq 3.00 \text{ cm}$
$L > 6.00 \text{ m}$	$t \geq 6.00 \text{ cm}$

3.2.3 Flexión

Acorde con el punto 5.1.1.2 de las normas de concreto (NTC-CONCRETO, 2017), para las secciones L y T el ancho del patín que se considera trabajando a compresión es el menor de tres valores propuestos:

- La octava parte del claro menos la mitad del ancho del alma
- La mitad de la distancia al paño del alma del miembro más cercano
- Ocho veces el espesor del patín

Se aplican las fórmulas para calcular resistencias a flexión del apartado 5.1.3 para secciones T en el cual se estipula que si la profundidad del bloque de esfuerzos, a , calculada con la ecuación 5.1.11 no es mayor que el espesor del patín, t , el momento resistente se puede calcular con las expresiones para secciones rectangulares usando el ancho del patín a compresión como b . Si a resulta mayor que t , el momento resistente puede calcularse con la expresión 5.1.12.

$$a = \frac{A_s f_y}{f_c'' b} \quad (5.1.11)$$





Por lo tanto, si se cumple esta condición: $a \leq t$; se debe emplear la siguiente ecuación para calcular el momento resistente de la sección:

$$M_R = F_R b d^2 f_c'' q (1 - 0.5q)$$

Donde:

$$q = \frac{\rho f_y}{f_c''}$$

$$\rho = \frac{A_s}{b d}$$

b: ancho del patín

d: peralte efectivo

f_c'' : esfuerzo uniforme de compresión

A_s : área del refuerzo a tensión

F_R : factor de reducción de resistencia

F_y : esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo

Si $a > t$; el momento resistente puede calcularse con la expresión 5.1.12.

$$M_R = F_R \left[A_{sp} f_y \left(d - \frac{t}{2} \right) + (A_s - A_{sp}) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \right] \quad (5.1.12)$$

donde:

$$A_{sp} = \frac{f_c'' (b - b') t}{f_y} \quad (5.1.13)$$

$$a = \frac{(A_s - A_{sp}) f_y}{f_c'' b'} \quad (5.1.14)$$

b: ancho del patín

b': ancho del alma

La ecuación 5.1.12 es válida si el acero fluye cuando se alcanza la resistencia. Esto se cumple si

$$\rho - \rho_{sp} \leq \frac{6000 \beta_1 f_c''}{6000 + f_y f_y} \quad (5.1.15)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b' d}$$

$$\rho_{sp} = \frac{A_{sp}}{b' d} \quad (5.1.16)$$





El área mínima de refuerzo de tensión en secciones rectangulares de concreto reforzado de peso normal, puede calcularse aproximadamente con la ecuación 5.1.18

$$A_{s,min} = \frac{0.7\sqrt{f'_c}}{f_y} bd \quad (5.1.18)$$

El área máxima de refuerzo de acero de tensión en secciones de concreto reforzado no excederá el 75 por ciento del área balanceada calculada de acuerdo con la ecuación 5.1.1.

$$A_s = \frac{f'_c}{f_y} \frac{6000\beta_1}{f_y + 6000} bd \quad (5.1.1)$$

3.2.4 Cortante

Para secciones T o I se usará el ancho del alma (b') para las siguientes ecuaciones. Si el patín está a compresión, al producto pueden sumarse las cantidades t^2 , siendo t el espesor del patín.

Siguiendo los lineamientos para vigas sin presfuerzo (NTC-CONCRETO, 2017), se considera la fuerza cortante del concreto con las siguientes variables y expresiones:

Si $\rho < 0.015$

$$V_{cR} = F_R(0.2 + 20\rho)\sqrt{f'_c}bd \quad (5.3.1)$$

Si $\rho \geq 0.015$

$$V_{cR} = F_R 0.5\sqrt{f'_c}bd \quad (5.3.2)$$

Estas expresiones aplican para elementos con relación claro peralte total, L/h , no menor que 5. En el caso particular de los sistemas de entrepiso con paneles de poliestireno esta relación se cumple en la mayoría de los casos, salvo cuando tenemos los peraltes mayores y claros muy cortos en los cuales podría solucionarse empleando un peralte menor de panel Makros.





Así mismo se indica en el apartado 2.5.2 los requisitos y especificaciones generales para el refuerzo por cortante. Este debe ser formado por estribos cerrados perpendiculares u oblicuos al eje del elemento, barras dobladas o una combinación de estos medios.

Cuando $V_u < V_{cr}$ se debe proporcionar un refuerzo mínimo por tensión diagonal que estará formado por estribos verticales de diámetro mínimo de 7.9 mm (número 2.5), cuya separación máxima será de medio peralte efectivo ($d/2$). Se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{v,min} = 0.30 \sqrt{f'_c} \frac{bs}{f_y} \quad (5.3.32)$$

Cuando , la separación s , del refuerzo por tensión diagonal requerido se determinará con las siguientes expresiones:

$$s = \frac{F_R A_v f_y d (\sin \theta + \cos \theta)}{V_{sR}} \quad (5.3.29)$$

$$V_{sR} = V_u - V_{cr} \quad (5.3.30)$$

A_v Área transversal del refuerzo por tensión diagonal comprendido en una distancia S

θ ángulo que dicho refuerzo forma con el eje de la pieza

V_{sR} Fuerza cortante de diseño que toma el acero transversal

Las normas establecen estos límites máximos:

$$V_{cr} \leq F_R 1.5 \sqrt{f'_c} b d \quad (5.3.4)$$

$$V_u \leq F_R 2.5 \sqrt{f'_c} b d \quad (5.3.27)$$





Acero por cambios volumétricos

El acero requerido por cambios volumétricos indicado en el apartado 6.7 de las normas (NTC-CONCRETO, 2017) nos indica que para elementos con longitudes mayores a 1.5 metros, el acero que se coloque no será menor que

$$a_{s1} = \frac{660x_1}{f_y(x_1 + 100)} \quad (6.7.1)$$

Y si el elemento se encuentra expuesto a la intemperie no debe ser menor a $1.5a_{sI}$

a_{sI} Área transversal del refuerzo colocado en la dirección que se considera, por unidad de ancho en cm^2/cm .

x_1 Dimensión mínima medida perpendicularmente al refuerzo en cm.

3.2.5 Estados límites de servicio

Las Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones (NTC-CRITERIOS, 2017), en el capítulo 14 menciona los estados límites de desplazamientos que deberán cumplir las edificaciones comunes sujetas a acciones permanentes o variables.

En cuestión de deflexiones en elementos de concreto reforzado deben estar dentro de los límites que, considerando efectos a largo plazo, el desplazamiento vertical en el centro de las trabes de concreto reforzado no deberá ser mayor al claro entre 240. Para elementos en voladizo el límite se duplica. Por tal motivo las dimensiones de elementos de concreto reforzado deben ser tales que las deflexiones que puedan sufrir bajo condiciones de servicio o trabajo se mantengan dentro de los límites prescritos anteriormente.

$$\text{Deflexión máx.} = L / 240$$





Las amplitudes tolerables de los desplazamientos debidos a vibraciones no podrán exceder los valores establecidos anteriormente. Además, deberán imponerse límites a las amplitudes máximas de las vibraciones, de acuerdo con su frecuencia, de manera de evitar condiciones que afecten seriamente la comodidad de los ocupantes o que puedan causar daños a equipo sensible a las excitaciones citadas.

Los esfuerzos producidos en el acero y el concreto por acciones exteriores en condiciones de servicio pueden estimarse haciendo uso de las hipótesis usuales de la teoría elástica de vigas.

La deflexión total del elemento será la suma de las deflexiones inmediatas más la diferida.

$$Y_t = Y_i + Y_d$$

Las deflexiones que ocurren inmediatamente al aplicar la carga se calcularán con los métodos o fórmulas usuales para determinar deflexiones elásticas. Estas deflexiones se calcularán con un módulo de elasticidad congruente con los parámetros aplicables de las normas técnicas y con el momento de inercia efectivo (I_e). Para simplificación del proceso se puede emplear el momento de inercia de la sección transformada agrietada (I_{ag}).

$$I_e = \left(\frac{M_{ag}}{M_{max}} \right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{ag}}{M_{max}} \right)^3 \right] I_{ag} \quad (14.2.1)$$

$$M_{ag} = \frac{\bar{f}_f I_g}{h_2} \quad (14.2.2)$$

M_{max} Momento flexionante máximo correspondiente al nivel de carga para el cual se estima la deflexión.

h_2 Distancia entre el eje neutro y la fibra más esforzada a tensión.

Se hace el uso de la sección transformada para el cálculo de esfuerzos, agrietamientos y deflexiones en elementos viga sujetos a carga de servicio. Este concepto sirve para





calcular algunas propiedades geométricas como el eje neutro y el momento de inercia de las secciones resultantes considerando un comportamiento elástico de los materiales, para reducir el problema a una sección homogénea. (González, 2005)

Para vigas continuas se utiliza el valor promedio del momento de inercia calculado con la expresión:

$$I = \frac{I_1 + I_2 + 2I_3}{4} \quad (14.2.3)$$

I_1 e I_2 son los momentos de inercia efectiva de los extremos del claro con continuidad analizado.

I_3 es el momento de inercia efectivo de la sección central.

Si la viga es continua únicamente en uno de los extremos, el momento de inercia correspondiente al tramo discontinuo se supone igual a cero y como denominador de la expresión del momento de inercia efectivo se utiliza 3.

Para el cálculo de las deflexiones bajo cargas de servicio de larga duración se aplica un método fundamentalmente igual al reglamento ACI (ACI-318, 2011), pero distinguen entre concretos clase 1 y clase 2.

Las deflexiones a largo plazo se obtienen multiplicando las inmediatas por un factor:

Concretos clase 1:

$$\frac{2}{1 + 50\rho'} \quad (14.2.4)$$

Concretos clase 2:

$$\frac{4}{1 + 50\rho'}$$

Para tramos continuos se indica que se utilice un valor promedio de ρ' determinado en forma semejante a la aplicada para determinar un valor promedio del momento de inercia I .

En la práctica profesional se emplea la contraflecha para compensar las deformaciones con límite máximo de $L/400$.





Otro tema que revisar es el agrietamiento en elementos no presforzados que trabajan en una dirección cuando en el diseño se use un esfuerzo de fluencia mayor a 3,000 kg/cm² para el refuerzo a tensión.

El reglamento (NTC-CONCRETO, 2017) marca los límites para la condición de agrietamiento de manera que la cantidad:

$$f_s \sqrt[3]{d_c A} \frac{h_2}{h_1} \quad (14.3.1)$$

sea menor que los valores de la siguiente tabla de acuerdo con la agresividad del medio a que se encuentre expuesta la estructura:

Clasificación de exposición (tabla 4.1)	Valores máximos de la ecuación 14.3.1 en kg/cm
A1	40 000
A2	30 000
B1	30 000
B2	30 000
C	20 000
D	20 000

donde

- f_s Esfuerzo en el acero en condiciones de servicio
- d_c Recubrimiento de concreto medido desde la fibra extrema en tensión al centro de la barra más próxima a ella
- A Área de concreto a tensión que rodea el refuerzo principal de tensión y cuyo centroide coincide con el de dicho refuerzo, dividida entre el número de barras.
- h_1 Distancia entre el eje neutro y el centroide del refuerzo principal de tensión.
- h_2 Distancia ente el eje neutro y la fibra más esforzada en tensión.

El último criterio para el diseño por estados límite de servicio es la resistencia al fuego. Las estructuras de concreto deben tener una resistencia al fuego mínima de 4 horas para lograr la citada resistencia se permite utilizar cualquier sistema de protección contra el fuego de calidad comprobada.





El diseño se basará en el capítulo ACI 216R01 “Guide for determining the fire endurance of elements of concrete”.

3.3 Caso de estudio

A continuación, se presenta un estudio de caso el cual servirá para ejemplificar el proceso de diseño de losas unidireccionales empleando panel de poliestireno MAKROS.

ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO

- USO: Oficinas
- Numero de niveles: 6 + 2 sótanos
 - Altura de planta baja: 4 m
 - Altura de entresijos superiores: 3.5 m
 - Altura de dos sótanos para bodegas y equipos especiales 3.0 m
- GEOMETRÍA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
 - Columnas: 75 x 75 cm
 - Trabes principales

TP1: 50 x 70 cm	TP2: 50 X 70 cm
-----------------	-----------------
 - Trabes secundarias

TS: 30 x 50 cm	
----------------	--
 - Losas: panel de entresijo de poliestireno Makros de 25 cm + 6 cm capa de compresión.
 - Muro de concreto reforzado en todos los pisos:

Eje 3 entre ejes B y C	Eje E entre ejes 6' y 7
Eje 5 entre ejes B y C	Eje C entre ejes 3 y 5
Eje E entre ejes 1 y 1'	
- ANÁLISIS DE CARGA
 - Propuesta de cargas para uso oficinas.
- ANÁLISIS SÍSMICO
 - El análisis sísmico del edificio no entra dentro del alcance de este documento.
 - Se supondrá que el edificio ya existe, no se tienen los planos estructurales y no se conoce el armado existente.





- Se propondrán todos los nervios de carga correspondientes al sistema de entrepiso que cumplan con los lineamientos vigentes.
- Se hace uso del programa de diseño estructural Staad Pro para modelar la estructura y obtener las acciones de diseño.
- Se emplean hojas de cálculo para el diseño de elementos de concreto.

3.3.1 MEMORIA DE CÁLCULO

CONSIDERACIONES GENERALES

Para el cálculo del proyecto estructural de losas del edificio de uso de oficinas ubicado en la Ciudad de México; se siguieron los lineamientos del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF, 2017). Así mismo, se utilizan las siguientes normas: Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC-CONCRETO, 2017), Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC-CRITERIOS, 2017).

DATOS

Descripción: Se trata del diseño de una losa unidireccional **“MAKROS”**, que servirá de sistema de piso. El uso del sistema de piso será entrepiso y azotea, de acuerdo con la información de los tableros resultantes, se resolvió con **“MAKROS de 25 cm”** y capa de compresión de 6 cm.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Concreto:

Se empleará concreto Clase I, mezclado con agregados gruesos con peso específico superior a $2,600 \text{ kg/m}^3$ (caliza, basalto, etc.). Todo concreto estructural debe mezclarse con medios mecánicos y proporcionarse por peso.

- Resistencia a la compresión a 28 días (f'_c): 250 kg/cm^2





- Peso volumétrico (concreto reforzado): $2,400 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad (E): $221,359.436 \text{ kg/cm}^2$
- Relación de Poisson: 0.2
- Módulo de Cortante (G): $92,233 \text{ kg/cm}^2$

Acero:

- Clasificación: *Varillas Grado 42*
- Resistencia a la tensión: $4,200 \text{ kg/cm}^2$
- Peso volumétrico: $7,800 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de Elasticidad (E): $2'039,000 \text{ kg/cm}^2$
- Relación de Poisson: 0.3
- Módulo de Cortante (G): $784,230 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO POR ESTADOS LÍMITE DE FALLA Y DE SERVICIO

Factores de carga

- Acciones gravitacionales: $1.3/1.5$
- Servicio: 1.0

Factores de reducción de resistencia

- Material: *Concreto*
- Flexión: 0.90
- Cortante y torsión: 0.75

Estados límite de servicio

- Deflexión trabes bi-apoyadas: $L/240$

Estados límite de falla

Se revisó que las resistencias reducidas fueran mayores que las cargas máximas probables factorizadas.

MODELO ESTRUCTURAL

De acuerdo con lo anterior, se elaboró un modelo matemático con las condiciones geométricas de los elementos estructurales y las características mecánicas de los





materiales que los constituyen. El modelo estructural definido, simuló el comportamiento ante las condiciones de carga que se presentarán durante la vida útil de la construcción.

El dimensionamiento y detallado de elementos estructurales se hizo de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite falla y servicio establecidos en el Título Sexto del reglamento (RCDF, 2017).

La estructura se dimensionó y detalló de modo que la resistencia de diseño en cualquier sección sea al menos mayor que el valor de los elementos mecánicos actuantes en algún momento de su vida útil, que será de 50 años. La determinación de las fuerzas y momentos internos en los elementos estructurales se hizo por medio de un análisis elástico de primer orden.

Se diseña para proporcionar la rigidez, resistencia, capacidad de deformación (ductilidad) y disipación de energía necesaria. Así mismo, se dota de la suficiente rigidez al sistema de piso para evitar vibraciones que produzcan incomodidad en los ocupantes para el estado límite de servicio.

ANÁLISIS DE CARGAS

Cargas muertas

Esta estructura se someterá a las siguientes cargas muertas:

Análisis de carga losa de entrepiso			
Concepto		Operación	Peso (kg/m ²)
Sistema MAKROS (25+5)	30 cm	----	255.00
Sobre espesor	1 cm	----	24.00
Acabados		----	80.00
Muros		----	100.00
Plafón y yeso		----	40.00
Instalaciones		----	20.00
Sobrecarga (Inciso 5.1.2 NTC)		----	40.00
$W_m =$			559.00





Cargas vivas

De acuerdo con el uso, el RCDF-17 define las cargas vivas para las cuales se debe diseñar.

Cargas vivas unitarias (kg/m²)

Destino de piso o cubierta	Carga viva máxima (W _m)	Carga instantánea (W _a)	Carga media (W)
Oficinas	250	180	100

RCDF - 2017

Factores de carga

De acuerdo con el uso, el RCDF-17 precisa las combinaciones para cargas gravitacionales:

Carga máxima de diseño: $(\text{Carga muerta} * 1.3) + (\text{Carga viva máxima} * 1.5)$

Carga de servicio: $(\text{Carga muerta} * 1) + (\text{Carga viva máxima} * 1)$

Carga de servicio a largo plazo: $(\text{Carga muerta} * 1) + (\text{Carga viva media} * 1)$

DISEÑO ESTRUCTURAL

Modelo estructural

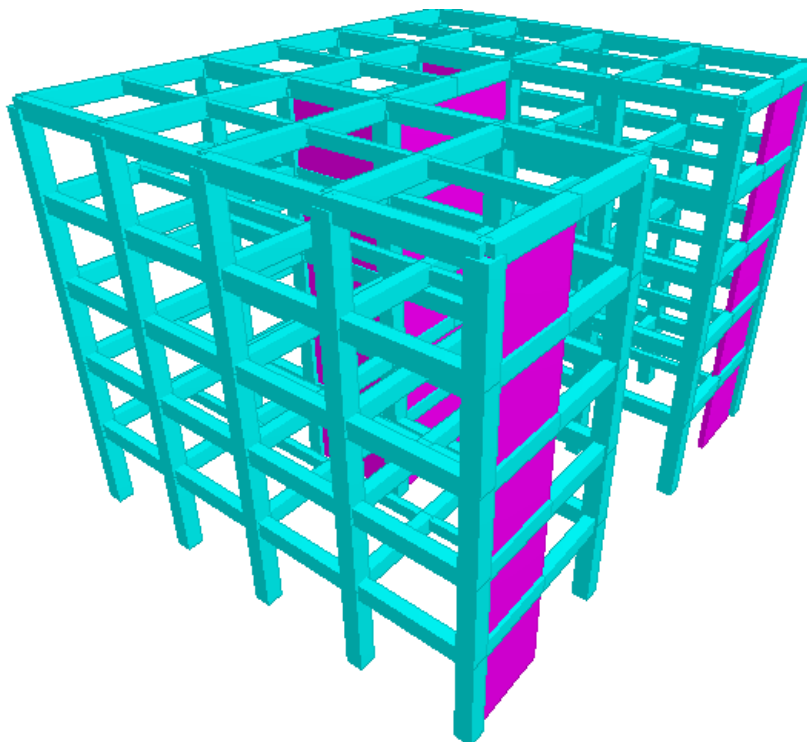


Fig. 3.1 Modelo estructural Isométrico, (Elaboración propia)



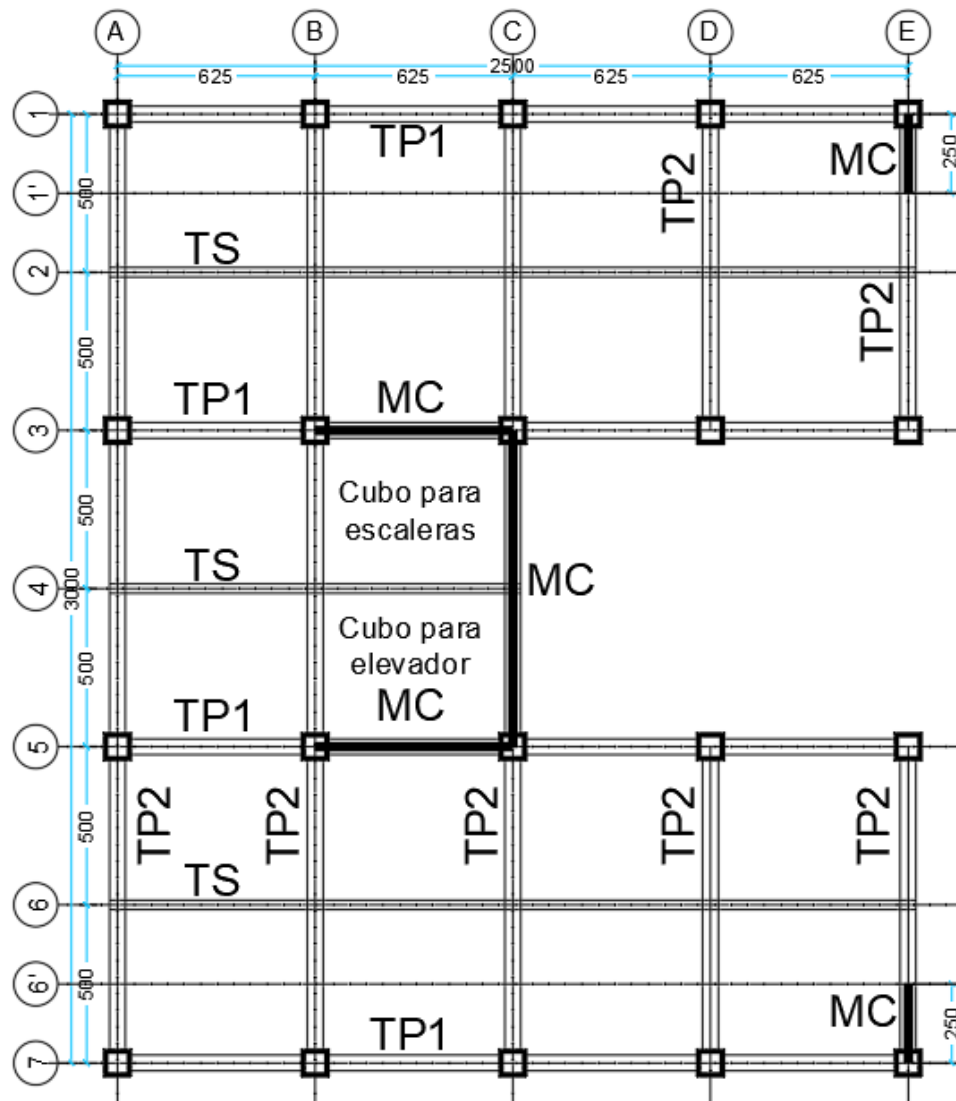


Fig. 3.2 Planta tipo (Elaboración propia)

TP1: Trabe principal 1

TS: Trabe secundaria

TP2: Trabe principal 2

MC: Muro de concreto



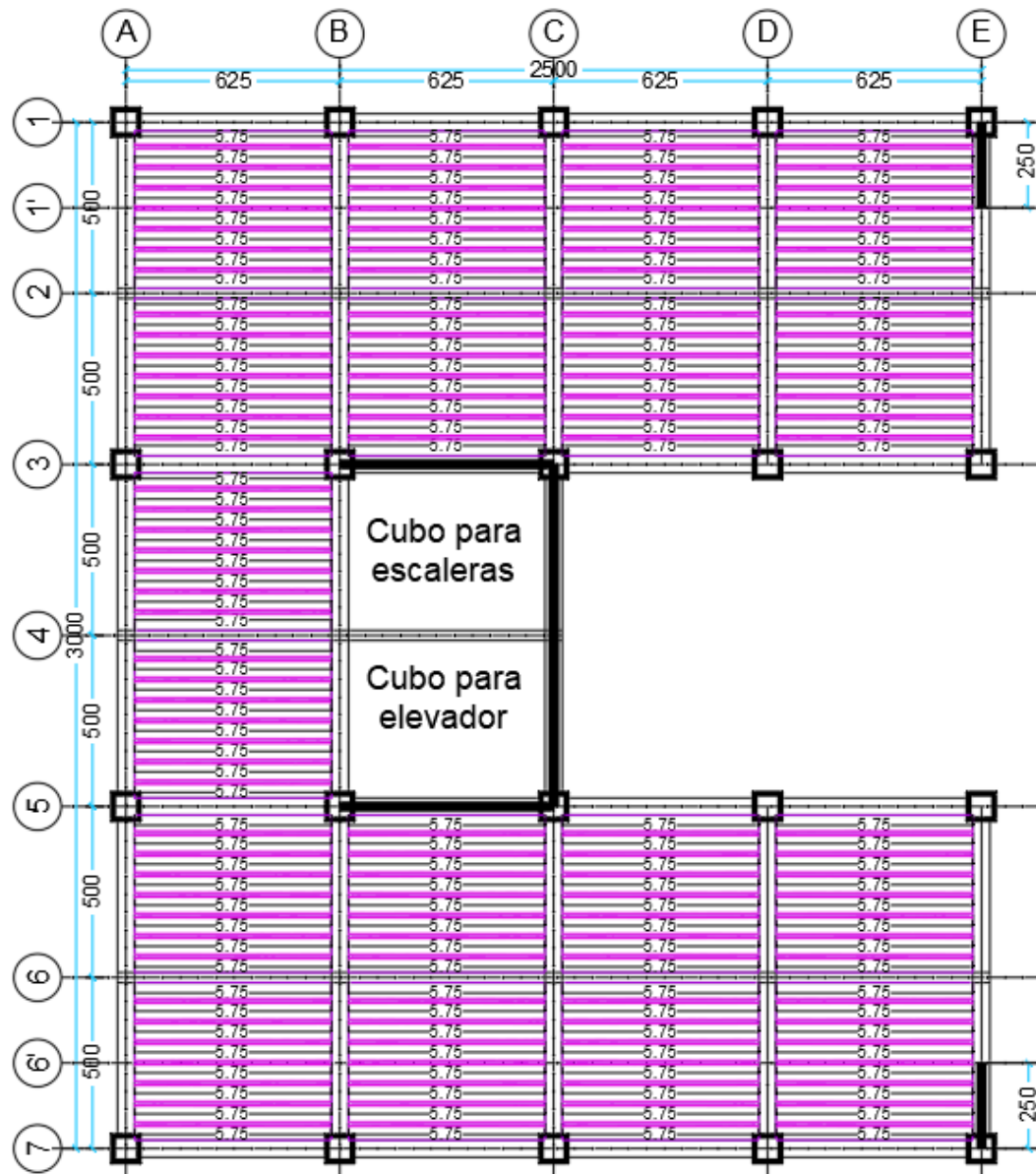


Fig. 3.3 Planta tipo con despiece de panel de poliestireno. (Elaboración propia)



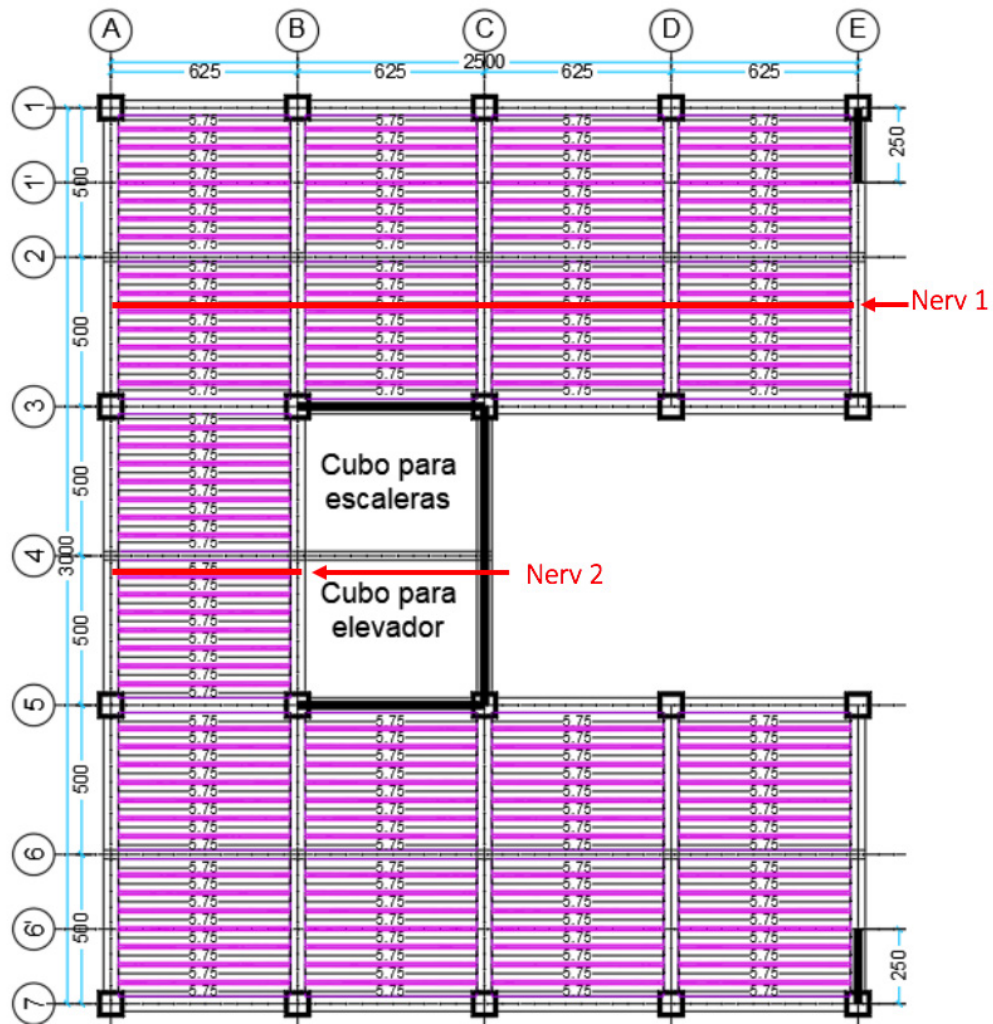
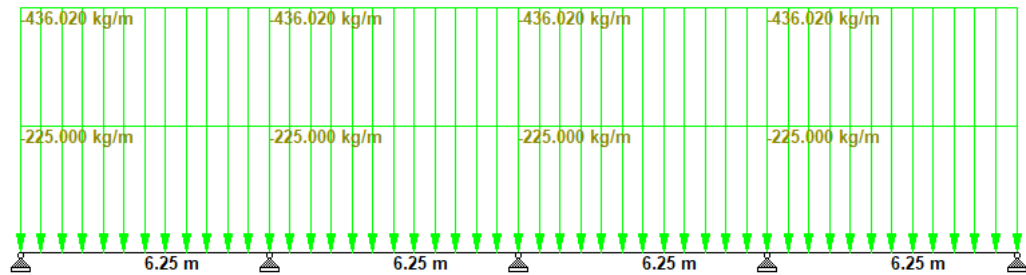


Fig. 3.4 Planta indicando nervadura tipo 1 y 2. (Elaboración propia)

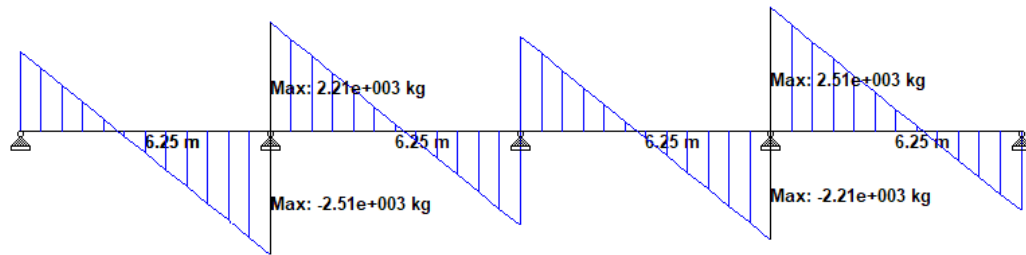
Nervadura 1

- Diagrama de cuerpo libre:
Carga viva máxima

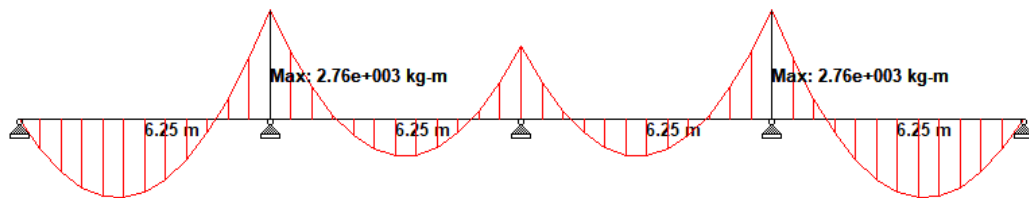




- Diagrama de fuerza cortante:



- Diagrama de momento flexionante:



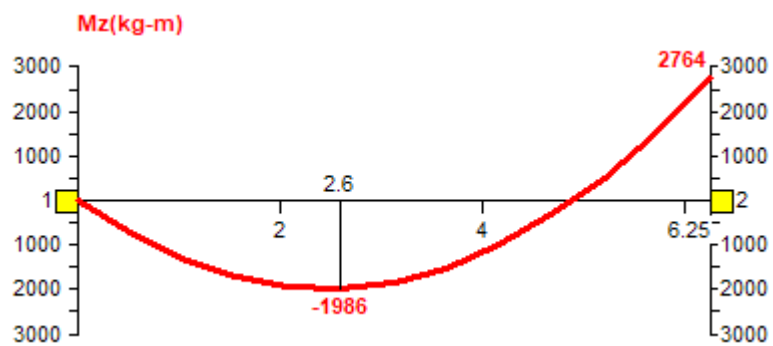
Revisión del nervio de carga por flexión, cortante y cambios volumétricos.

Ubicación: entre eje A y B

Longitud: 6.25 metros

Flexión

Se revisa el entre eje A y B de la nervadura 1 por flexión haciendo uso de hojas de cálculo y el diagrama flexionante correspondiente.





Hoja de cálculo de revisión de momento actuante versus momento resistente.

Peralte Makros	b' cm	d cm	f'c kg/cm ²	f'c kg/cm ²	f _y kg/cm ²	As (min.) cm ²	As (real) cm ²	As (max.) cm ²	q	ρ	M _n kg-cm	M _r kg-cm
26	14	24	250	212.5	4200	0.885	3.80	6.38	0.22	0.0113	340254	306,228
0 #3											2.764	3.062
3 #4											Relación de trabajo	90.26%
0 #5												
0 #6												

Peralte Makros	b' cm	d cm	f'c kg/cm ²	f'c kg/cm ²	f _y kg/cm ²	As (min.) cm ²	As (real) cm ²	As (max.) cm ²	q	ρ	M _n kg-cm	M _r kg-cm
26	14	24	250	212.5	4200	0.885	2.69	6.38	0.04	0.0080	266329	239,696
2 #3											1.986	2.397
1 #4											Relación de trabajo	82.85%
0 #5												
0 #6												

A continuación, se presenta la sección de concreto resultante:

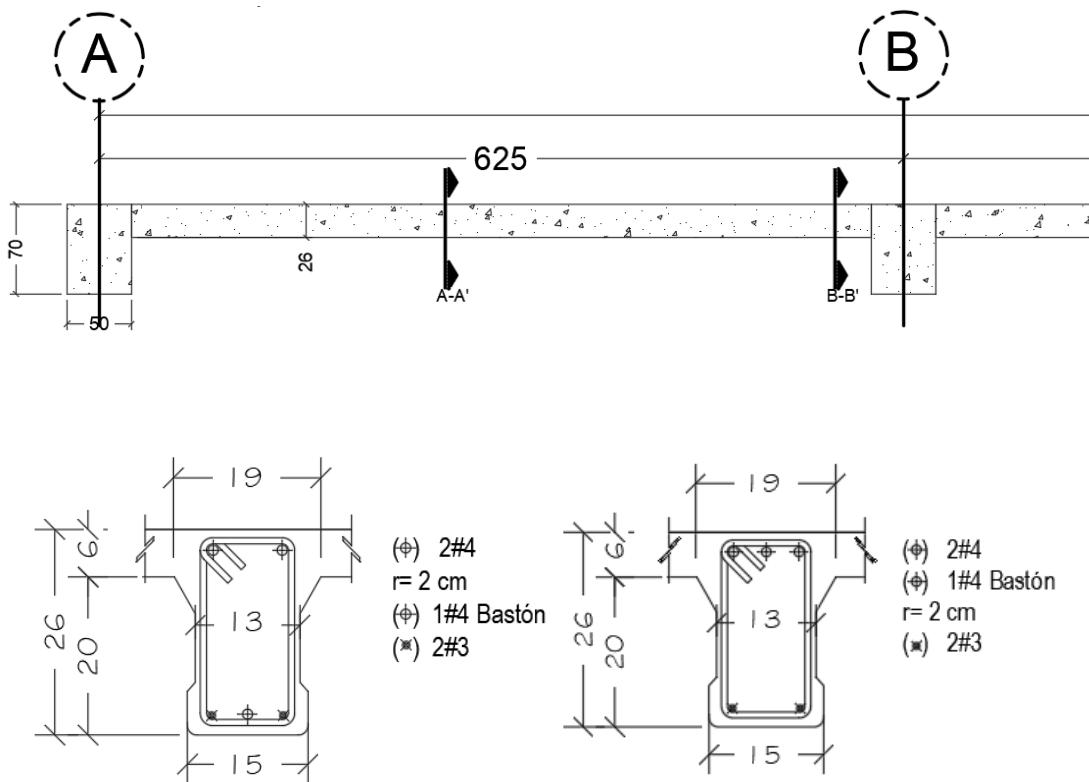


Figura 3.5 Secciones A-A' y B-B' de entre eje A y B de nervadura 1.
(Elaboración propia)





Se revisa la longitud de desarrollo sección A-A' (6.1.2) (NTC-CONCRETO, 2017) empleando hojas de cálculo:

Centroide del acero de la sección (A)

	No de bar	As	Diametro	C	
#3	2	0.71256	0.9525	2.47625	3.5289
#4	1	1.26677	1.27	2.635	3.3379
#5	0	1.97933	1.5875		0
#6	0	2.85023	1.905		0
				Σ	6.8669
				As total	2.69
				r:	2.551 cm
				d:	23.449 cm

	No de bar	As	Ldb				Factor	Ld	mR	X1	L	
#3	2	0.71256	27.89	>	27.83	Ok	30	1	30.00	1.269	178.6	202.1
#4	1	1.26677	49.59	>	37.11	Ok	49.589	0.8	39.67	1.128	168.4	191.9
#5	0	1.97933						0.8	0.00	0.000	0.0	0.0
#6	0	2.85023						0.8	0.00	0.000	0.0	0.0

Requisitos adicionales (6.1.6 inciso e) (NTC-CONCRETO, 2017)

	%As	Apoyo libre	Apoyo cmb
#3	53%	ok	ok
#4	47%	ok	ok
#5	0%	-	-
#6	0%	-	-

Se revisa la longitud de desarrollo sección B-B' (6.1.2) (NTC-CONCRETO, 2017) empleando hojas de cálculo:

Centroide del acero de la sección (B)

	No de bar	As	Diametro	C	
#3	0	0	0		0
#4	3	1.26677	1.27	2.635	10.014
#5	0	1.97933	1.5875		0
#6	0	2.85023	1.905		0
				Σ	10.014
				As total	3.80
				r:	2.635 cm
				d:	23.365 cm

	No de bar	Ldb					Factor	Ld	mR	X1	L
#3	0						0.8	0.00	0.000	0.0	0.0
#4	1	51.3927	>	37.1	Ok	51.39266	0.8	41.11	1.021	38.7	103.2
#5	0						0.8	0.00	0.000	0.0	0.0
#6	0						0.8	0.00	0.000	0.0	0.0





Requisitos adicionales (6.1.6 inciso e) (NTC-CONCRETO, 2017)

	%As	Apoyo libre	Apoyo cmb
#3	0%	-	-
#4	100%	ok	ok
#5	0%	-	-
#6	0%	-	-

Barras con dobleces (6.1.2.2) (NTC-CONCRETO, 2017)

	Barras con dobleces				
	12db (90°)	4db (180°)		Factor	Ld
#3	11.43	3.81	19.23	0.7	15.00
#4	15.24	5.08	25.64	0.7	17.95
#5	19.05	6.35	32.05	0.7	22.43
#6	22.86	7.62	38.46	0.7	26.92

A continuación, se presenta la sección de concreto resultante:

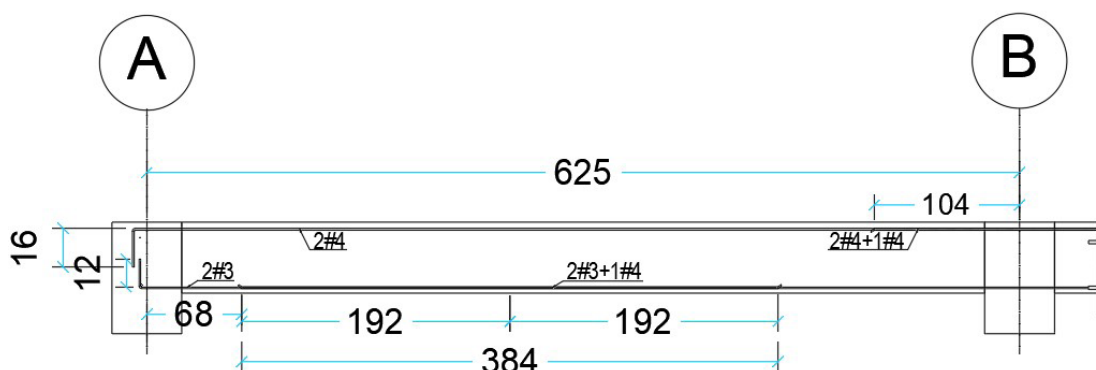
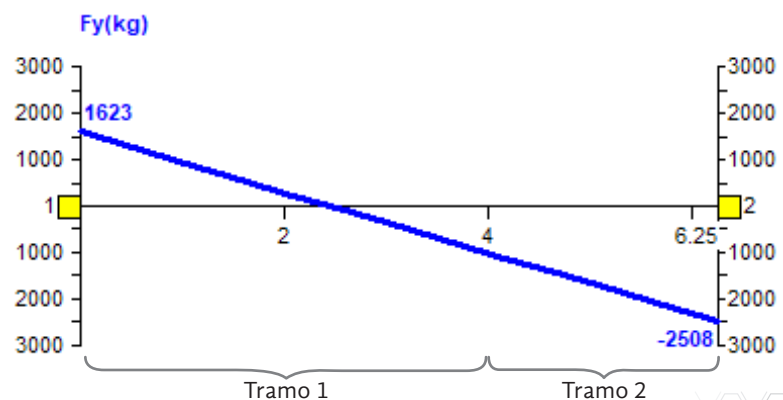


Figura 3.6 Corte de barras en sección entre ejes A y B. (Elaboración propia)

Cortante

Se revisa el entre eje A y B de la nervadura 1 por cortante, se compara el cortante resistente versus el cortante y se emplean estribos verticales con diámetro de 7.9 mm (#2.5)





El entre eje A y B se divide en dos tramos para su análisis.

Tramo 1 que corresponde a dos varillas del #3, $A_s=1.43 \text{ cm}^2$.

ρ	Vcr kg	Vu kg	As v cm	$f_y v$ kg/cm ²	S cm	S MAX cm	Vcr MAX Kg	Vr Kg	Vu MAX Kg	Relación de trabajo
0.0042	1,256	1623	0.99	2350	111.60	12	5977	4665	9961	34.8%

Tramo 2 que corresponde a dos varillas del #4, $A_s=2.53 \text{ cm}^2$.

ρ	Vcr kg	Vu kg	As v cm	$f_y v$ kg/cm ²	S cm	S MAX cm	Vcr MAX Kg	Vr Kg	Vu MAX Kg	Relación de trabajo
0.0075	1,548	2508	0.99	2350	42.4328	12	5977	4944	9961	50.7%

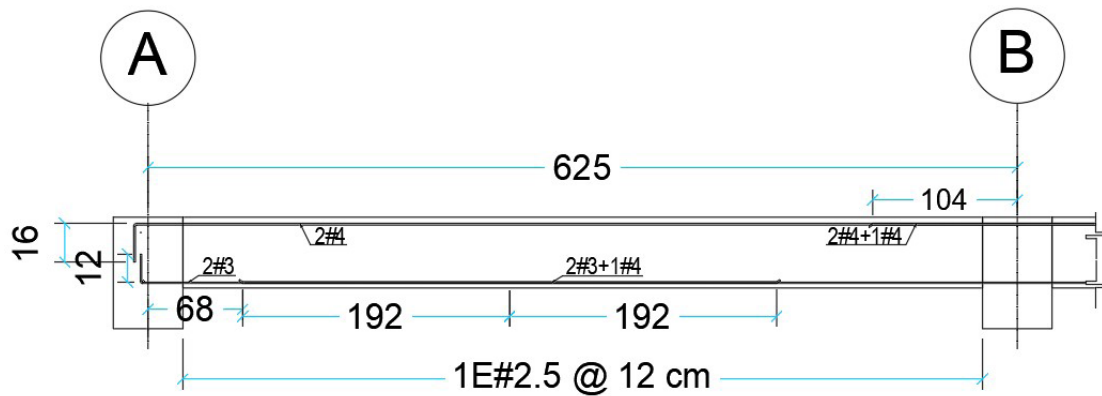


Figura 3.7 Corte de barras y separación de estribos en sección entre ejes A y B. (Elaboración propia)

Cambios volumétricos

Se revisa la cuantía de acero en la capa de compresión, ya que debe colocarse acero de refuerzo por cambios volumétricos ortogonalmente.

x1:	6	cm
f_y :	5000	kg/cm ²
b:	100	cm
f'_c :	250	kg/cm ²

as1:	0.74717	cm ² /cm
------	---------	---------------------

El área de acero necesario es de 0.747 cm^2 , por lo que se recomienda colocar malla electro soldada 6x6-8/8 con un área de $0.871 \text{ cm}^2/\text{m}$. Esta deberá ser colocada en el centro de la capa de compresión.





Revisión del nervio de carga por estados límite de servicio

Ubicación: entre eje A y B

Longitud: 6.25 metros

Deflexiones

L	δ Inmediata	δ Diferida	δ Total	δ Permisible	Contraflecha
625.00	1.74	2.15	3.89	2.60	1.30

cm.

En este caso se tiene que emplear una contraflecha de 1.30 cm para cumplir con la deformación permisible.

Agrietamiento

Para este caso se supone que las trabes no están expuestas a un ambiente agresivo.

Revisión de agrietamiento en la sección central de la trabe (sección A-A')

Z	21.104	cm			
fs	2568.215	kgf/cm ²	12,701.53	<	40,000
d	2.476	cm	kgf/cm ²		kgf/cm ²
A	33.613	cm ²			

Revisión de agrietamiento en la sección de apoyo de la trabe (sección B-B')

Z	21.029	cm			
fs	2540.207	kgf/cm ²	11,983.17	<	40,000
d	2.635	cm	kgf/cm ²		kgf/cm ²
Aa	24.593	cm ²			

Ambas secciones cumplen con el límite de condición de agrietamiento.

Revisión del nervio de carga por flexión, cortante y cambios volumétricos.

Ubicación: entre eje B y C

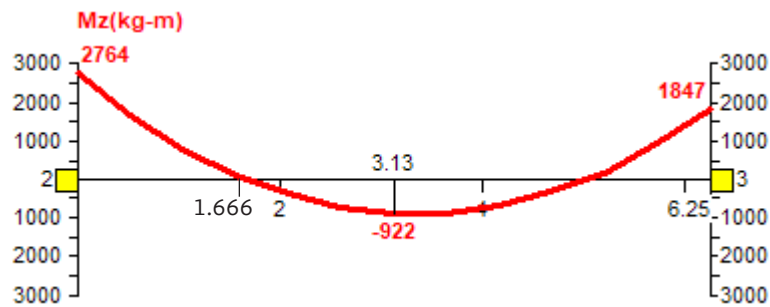
Longitud: 6.25 metros





Flexión

Se revisa el entre eje B y C de la nervadura 1 por flexión haciendo uso de hojas de cálculo y el diagrama flexionante correspondiente.



Hoja de cálculo de revisión de momento actuante versus momento resistente.

	b'	d	f'c	f'c	fy	As (min.)	As (real)	As (max.)	q	ρ	Mn	Mr	
Peralte Makros	cm	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	cm2	cm2	cm2			kg-cm	kg-cm	
26	14	24	250	212.5	4200	0.885	3.80	6.38	0.22	0.0113	340254	306.228	
							0 #3					2.764	3.062
							3 #4					Relación de trabajo	90.26%
							0 #5						
							0 #6						

	b'	d	f'c	f'c	fy	As (min.)	As (real)	As (max.)	q	ρ	Mn	Mr	
Peralte Makros	cm	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	cm2	cm2	cm2			kg-cm	kg-cm	
26	14	24	250	212.5	4200	0.885	2.53	6.38	0.03	0.0075	250940	225.846	
							0 #3					0.938	2.258
							2 #4					Relación de trabajo	41.53%
							0 #5						
							0 #6						

	b'	d	f'c	f'c	fy	As (min.)	As (real)	As (max.)	q	ρ	Mn	Mr	
Peralte Makros	cm	cm	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	cm2	cm2	cm2			kg-cm	kg-cm	
26	14	24	250	212.5	4200	0.885	2.53	6.38	0.03	0.0075	250940	225.846	
							0 #3					1.847	2.258
							2 #4					Relación de trabajo	81.78%
							0 #5						
							0 #6						





A continuación, se presenta la sección de concreto resultante:

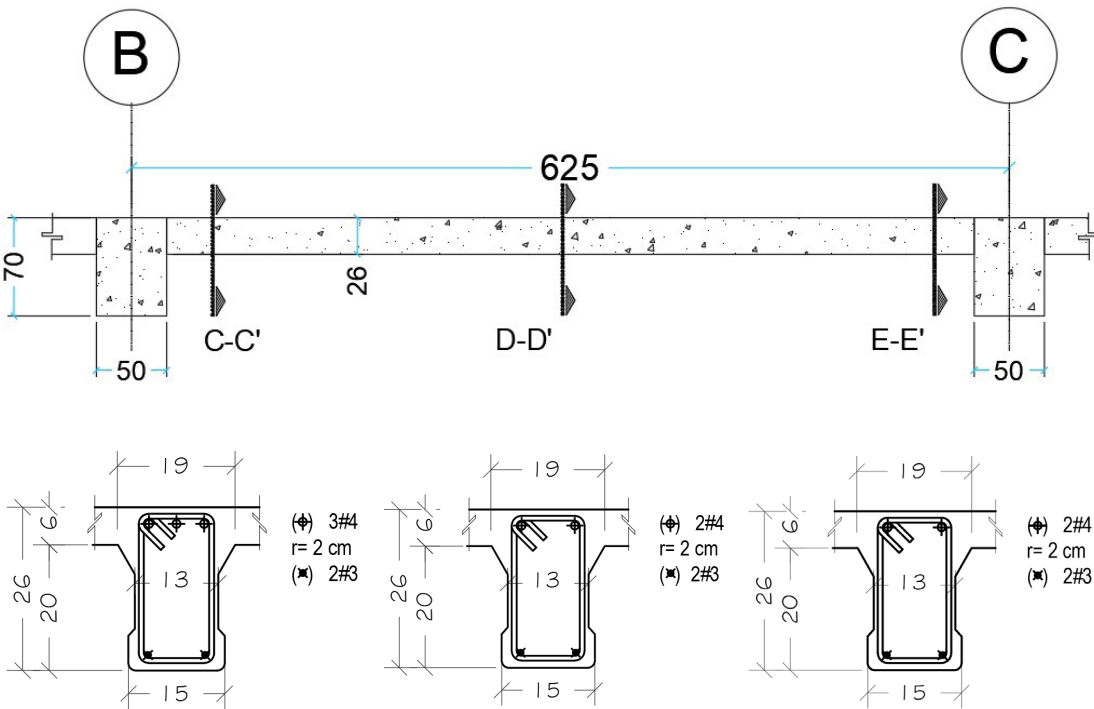


Figura 3.8 Secciones C-C', D-D' y E-E' de entre eje B y C de nervadura 1. (Elaboración propia)

Se revisa la longitud de desarrollo sección C-C' (6.1.2) (NTC-CONCRETO, 2017) empleando hojas de cálculo:

Centroide del acero de la sección (c)				
	No de bar	As	Diametro	C
#3	0	0	0	0
#4	3	1.26677	1.27	2.635
#5	0	0	0	0
#6	0	0	0	0
				Σ
				10.014
				As total
				3.80
				r:
				2.635 cm
				d:
				23.365 cm

	Ldb				Factor	Ld	mR	X1	L
#3					0.8	0.00	0.000	0.0	0.0
#4	51.3927	>	37.1	Ok	51.39266	0.8	41.11	1.021	47.9
#5					0.8	0.00	0.000	0.0	0.0
#6					0.8	0.00	0.000	0.0	0.0





Requisitos adicionales (6.1.6 inciso e) (NTC-CONCRETO, 2017)

	%As	Apoyo libre	Apoyo cmb
#3	0%	-	-
#4	100%	ok	ok
#5	0%	-	-
#6	0%	-	-

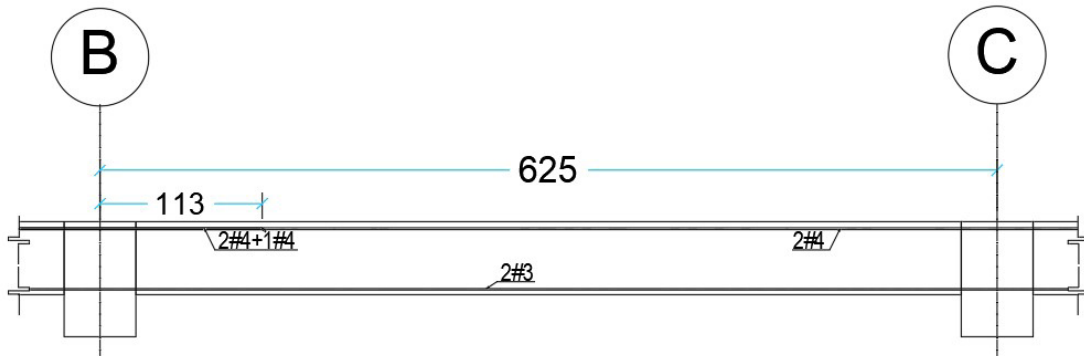
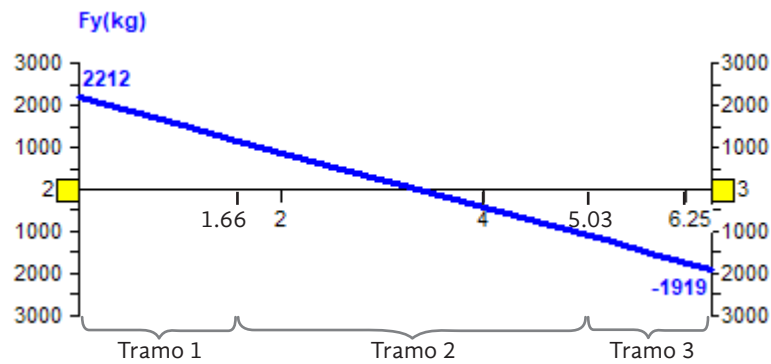


Figura 3.9 Corte de barras en sección entre ejes B y C. (Elaboración propia)

Cortante

Se revisa el entre eje B y C de la nervadura 1 por cortante, se compara el cortante resistente versus el cortante y se emplean estribos verticales con diámetro de 7.9 mm (#2.5)



El entre eje B y C se divide en tres tramos para su análisis.





Tramo 1 que corresponde a dos varillas del #4, $A_s=2.53 \text{ cm}^2$.

ρ	Vcr kg	Vu kg	As v cm	$f_y v$ kg/cm ²	S cm	S MAX cm	Vcr MAX Kg	Vr Kg	Vu MAX Kg	Relación de trabajo
0.0075	1,548	2212	0.99	2350	61.3354	12	5977	4944	9961	44.7%

Tramo 2 que corresponde a dos varillas del #3, $A_s=1.43 \text{ cm}^2$.

ρ	Vcr kg	Vu kg	As v cm	$f_y v$ kg/cm ²	S cm	S MAX cm	Vcr MAX Kg	Vr Kg	Vu MAX Kg	Relación de trabajo
0.0042	1,256	1115	0.99	2350	-289.85	12	5977	4676	9961	23.8%

Tramo 3 que corresponde a dos varillas del #4, $A_s=2.53 \text{ cm}^2$.

ρ	Vcr kg	Vu kg	As v cm	$f_y v$ kg/cm ²	S cm	S MAX cm	Vcr MAX Kg	Vr Kg	Vu MAX Kg	Relación de trabajo
0.0075	1,548	1919	0.99	2350	109.715	12	5977	4944	9961	38.8%

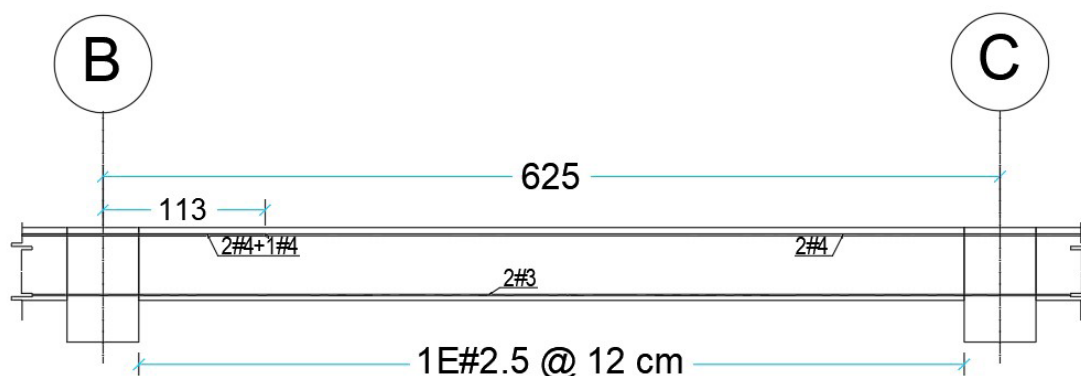


Figura 3.10 Corte de barras y separación de estribos en sección entre ejes B y C. (Elaboración propia)

Cambios volumétricos

Se revisa que la cuantía de acero en la capa de compresión, ya que debe colocarse acero de refuerzo por cambios volumétricos ortogonalmente.

x1:	6	cm
f_y :	5000	kg/cm ²
b:	100	cm
f'_c :	250	kg/cm ²

as1:	0.74717	cm ² /cm
------	---------	---------------------

El área de acero necesario es de 0.747 cm^2 , por lo que se recomienda colocar malla electro soldada 6x6-8/8 con un área de $0.871 \text{ cm}^2/\text{m}$. Esta deberá ser colocada en el centro de la capa de compresión.





Revisión del nervio de carga por estados límite de servicio

Ubicación: entre eje B y C

Longitud: 6.25 metros

Deflexiones

L	δ Inmediata	δ Diferida	δ Total	δ Permisible	Contraflecha
625.00	0.45	2.10	2.55	2.60	0.00

cm.

En este caso no se tiene que emplear una contraflecha para cumplir con la deformación permisible.

Agrietamiento

Para este caso se supone que las trabes no están expuestas a un ambiente agresivo.

Revisión de agrietamiento en la sección de apoyo de la trabe (sección C-C')

Z	21.029	cm	11,983.17	<	40,000
fs	2540.207	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
d	2.635	cm			
Aa	24.593	cm ²			

Revisión de agrietamiento en la sección central de la trabe (sección D-D')

Z	21.171	cm	11,128.39	<	40,000
fs	2243.829	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
d	2.476	cm			
A	34.668	cm ²			

Revisión de agrietamiento en la sección de apoyo de la trabe (sección E-E')

Z	21.029	cm	13,582.90	<	40,000
fs	2545.213	kgf/cm ²	kgf/cm ²		kgf/cm ²
d	2.635	cm			
Aa	36.890	cm ²			

Todas las secciones cumplen con el límite de condición de agrietamiento.



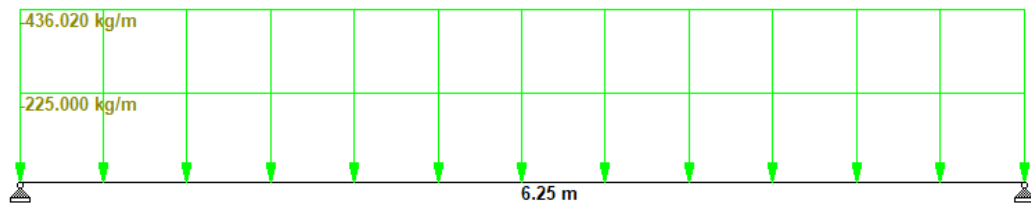


Los tramos de la Nervadura 1 correspondientes a los ejes C, D y E son equivalentes a los analizados anteriormente.

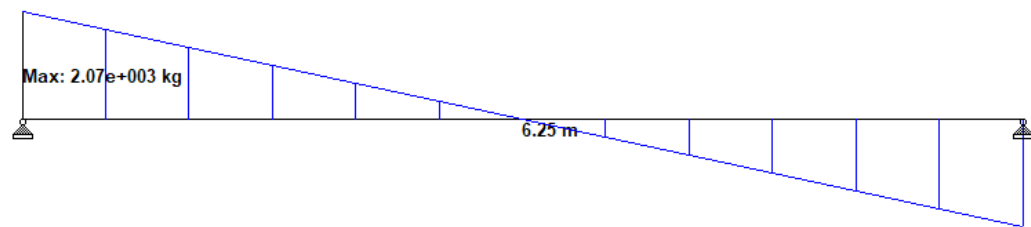
Nervadura 2

- Diagrama de cuerpo libre:

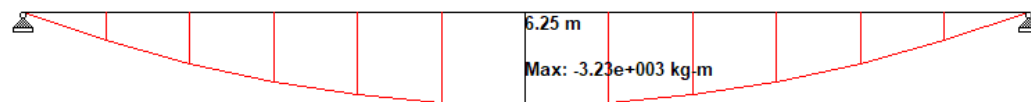
Carga viva máxima



- Diagrama de fuerza cortante:



- Diagrama de momento flexionante:



Revisión del nervio de carga por flexión, cortante y cambios volumétricos.

Ubicación: entre eje A y B

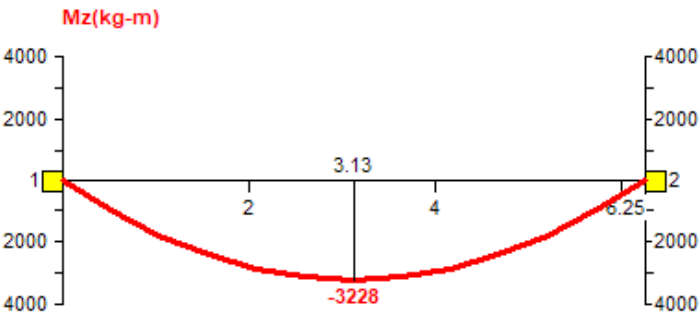
Longitud: 6.25 metros





Flexión

Se revisa el entre eje A y B de la nervadura 2 por flexión haciendo uso de hojas de cálculo y el diagrama flexionante correspondiente.



Hoja de cálculo de revisión de momento actuante versus momento resistente.

Peralte Makros	b' cm	d cm	f'c kg/cm2	f'c kg/cm2	fy kg/cm2	As (min.) cm2	As (real) cm2	As (max.) cm2	q	ρ	Mn kg-cm	Mr kg-cm
26	14	24	250	212.5	4200	0.885	5.07	6.38	0.07	0.0151	493000	443.700
											3.228	4.437
											Relación de trabajo 72.75%	
											0 #3 4 #4 0 #5 0 #6	

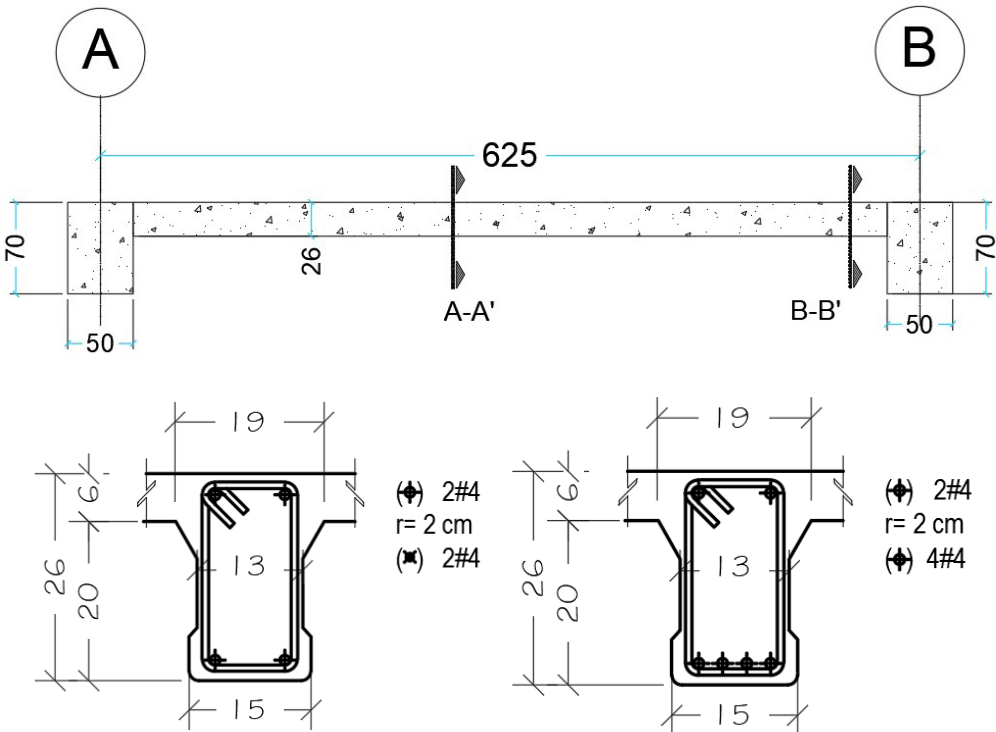


Figura 3.11 Secciones A-A' y B-B' de entre eje A y B de nervadura 2. (Elaboración propia)





Se revisa la longitud de desarrollo sección A-A' (6.1.2) (NTC-CONCRETO, 2017) empleando hojas de cálculo:

Centroide del acero de la sección (A)

	No de bar	As	Diametro	C	
#3	0	0	0	2	0
#4	4	1.26677	1.27	2.635	13.352
#5	0	0	0		0
#6	0	0	0		0
				Σ	13.352
				As total	5.07

r: 2.635 cm

d: 23.365 cm

	Ldb				Factor	Ld	mR	X1	L
#3	0.00	>	0.00	Ok	0	0.00	0.000	0.0	0.0
#4	77.09	>	37.11	Ok	77.089	0.8	61.67	2.218	221.0
#5					0.8	0.00	0.000	0.0	0.0
#6					0.8	0.00	0.000	0.0	0.0

Requisitos adicionales (6.1.6 inciso e) (NTC-CONCRETO, 2017)

	%As	Apoyo libre	Apoyo cmb
#3	0%	-	-
#4	50%	ok	ok
#5	0%	-	-
#6	0%	-	-

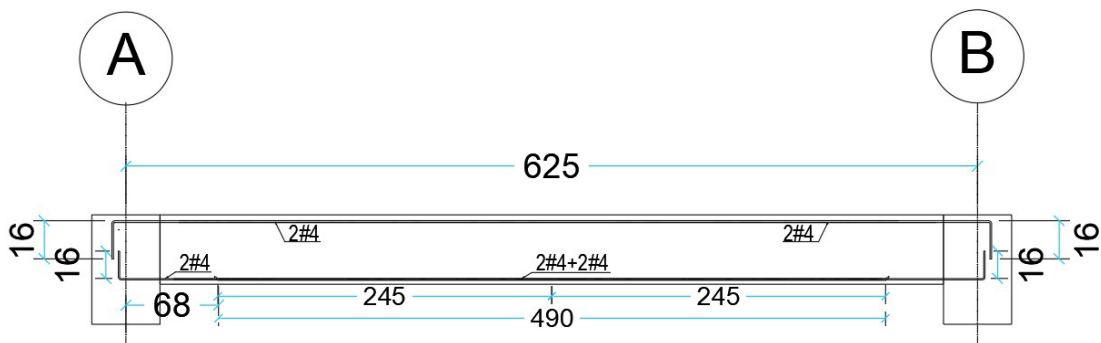


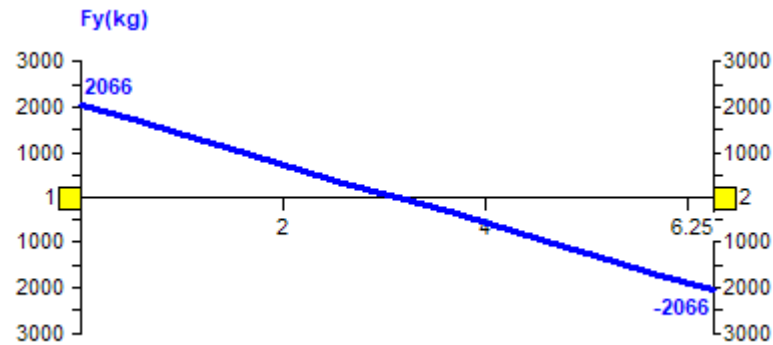
Figura 3.12 Corte de barras en sección entre ejes A y B. (Elaboración propia)





Cortante

Se revisa el entre eje A y B de la nervadura 2 por cortante, se compara el cortante resistente versus el cortante y se emplean estribos verticales con diámetro de 7.9 mm (#2.5)



Tramo que corresponde a dos varillas del #4, $A_s=2.53 \text{ cm}^2$.

ρ	Vcr kg	Vu kg	As v cm	fy v kg/cm2	S cm	S MAX cm	Vcr MAX Kg	Vr Kg	Vu MAX Kg	Relación de trabajo
0.0075	1,548	2066	0.99	2350	78.61	12	5977	4944	9961	41.8%

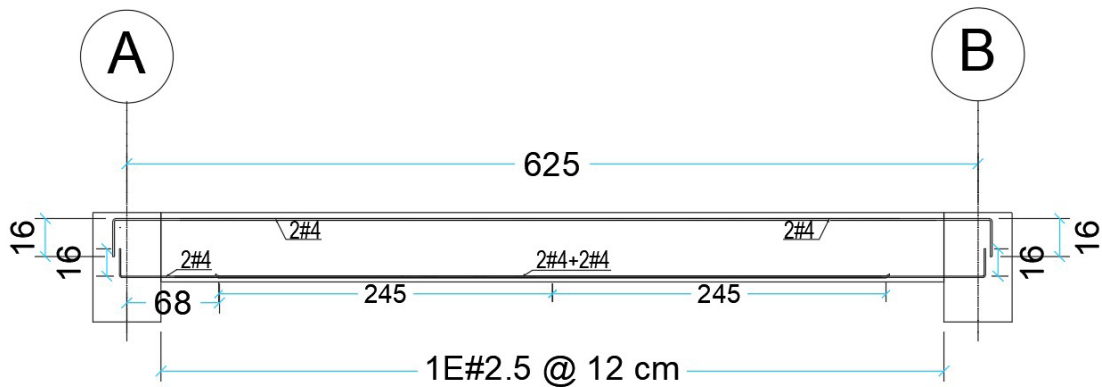


Figura 3.13 Corte de barras y separación de estribos en sección entre ejes A y B. (Elaboración propia)





Cambios volumétricos

Se revisa que la cuantía de acero en la capa de compresión, ya que debe colocarse acero de refuerzo por cambios volumétricos ortogonalmente.

x1:	6	cm
fy:	5000	kg/cm ²
b:	100	cm
f'c:	250	kg/cm ²

as1:	0.74717	cm ² /cm
------	---------	---------------------

El área de acero necesario es de 0.747 cm², por lo que se recomienda colocar malla electro soldada 6x6-8/8 con un área de 0.871 cm²/m. Esta deberá ser colocada en el centro de la capa de compresión.

Revisión del nervio de carga por estados límite de servicio

Ubicación: entre eje A y B

Longitud: 6.25 metros

Deflexiones

L	δ Inmediata	δ Diferida	δ Total	δ Permisible	Contraflecha
625.00	1.95	2.13	4.08	2.60	1.50

cm.

En este caso se tiene que emplear una contraflecha de 1.50 cm para cumplir con la deformación permisible.

Agrietamiento

Para este caso se supone que las trabes no están expuestas a un ambiente agresivo.

Revisión de agrietamiento en la sección central de la trabe (sección A-A')

Z	21.029	cm
f _s	2671.931	kgf/cm ²
d	2.635	cm
A	18.445	cm ²

11,171.98	<	40,000
kgf/cm ²		kgf/cm ²

La sección cumple con el límite de condición de agrietamiento.





3.3.2 Detalles constructivos

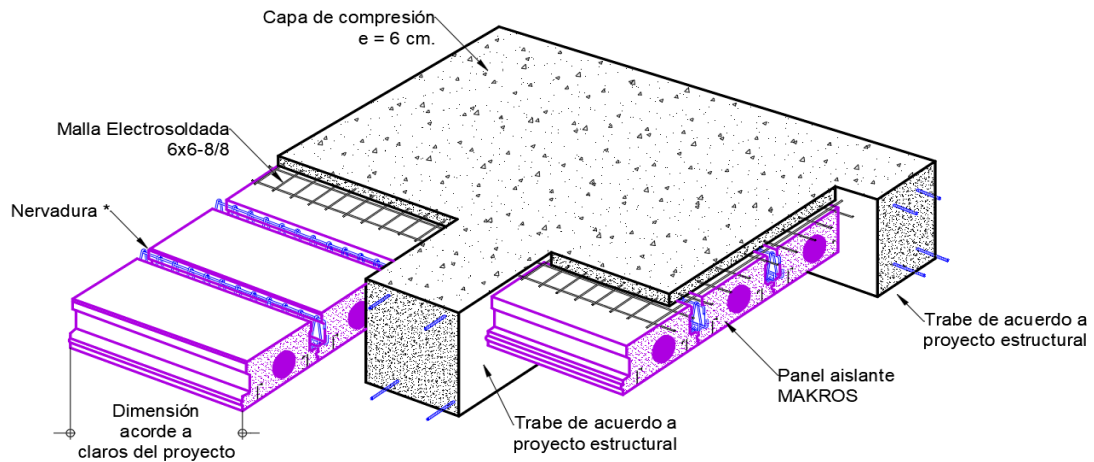


Imagen 3.15 Detalle en isométrico de componentes del sistema de entepiso con panel de poliestireno. (Área Técnica Novidesa, 2010)

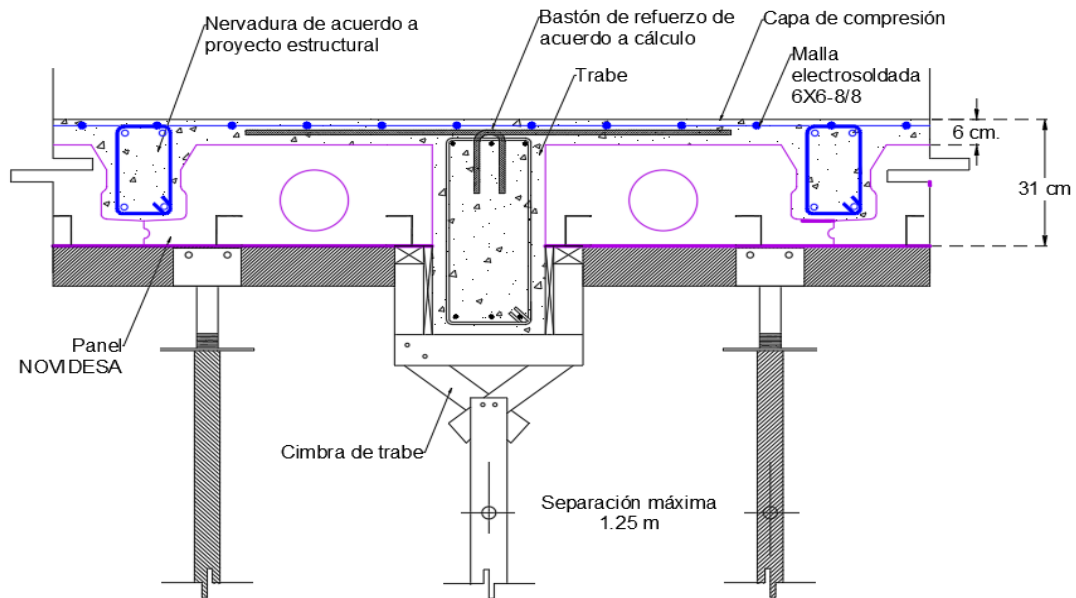


Imagen 3.16 Detalle en corte transversal del sistema de entepiso con panel de poliestireno. (Área Técnica Novidesa, 2010)

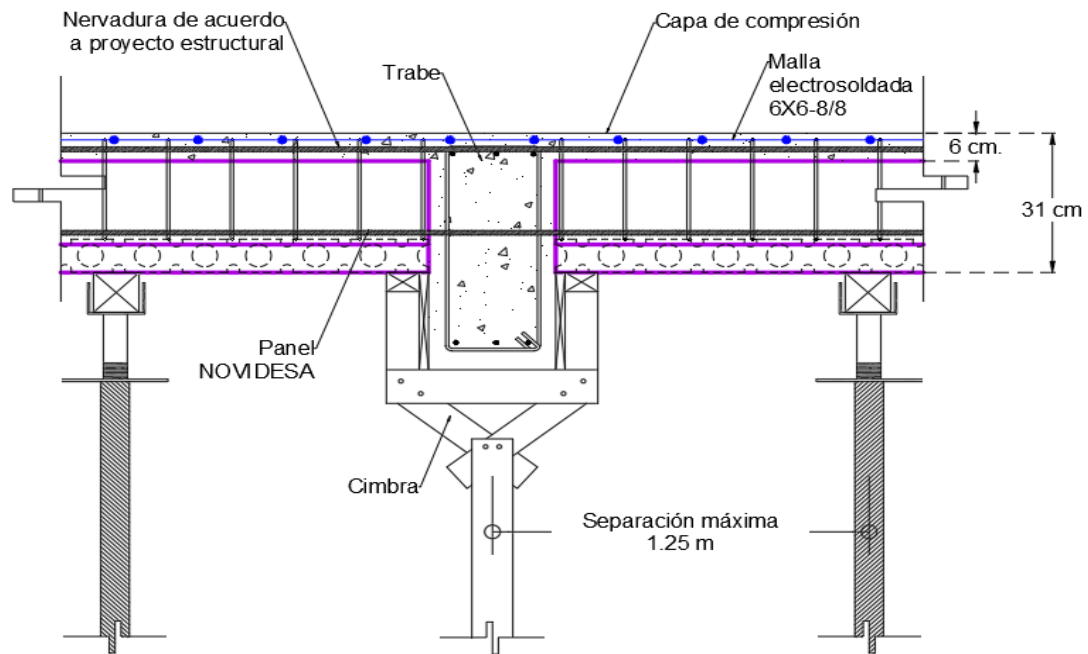


Imagen 3.17 Detalle en corte longitudinal del sistema de entrepiso con panel de poliestireno. (Área Técnica Novidesa, 2010)

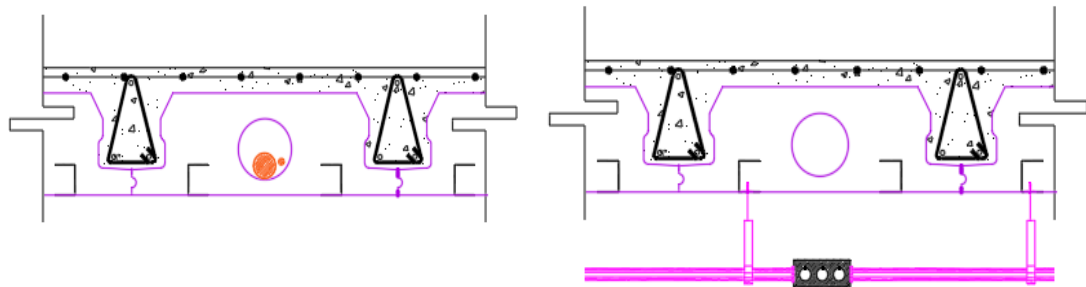


Imagen 3.18 Detalle en corte transversal de paso de instalaciones: opción a) por los huecos del panel de poliestireno. Opción b) colgar instalaciones fijadas a postes metálicos del panel. (Área Técnica Novidesa, 2010)



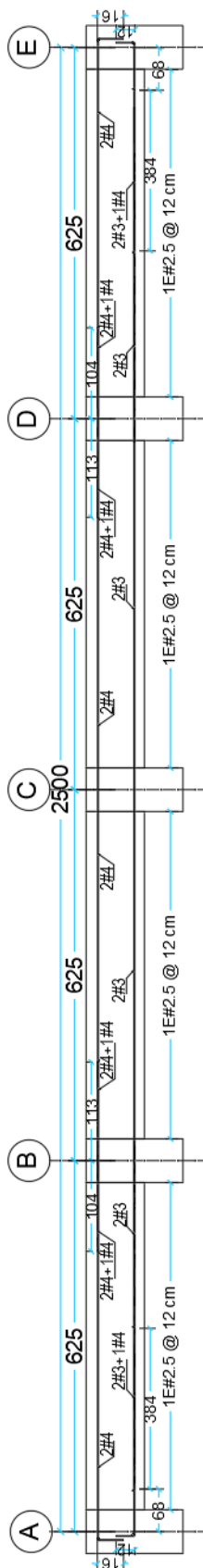


Figura 3.19 Armado de nervadura 1. (Elaboración propia)

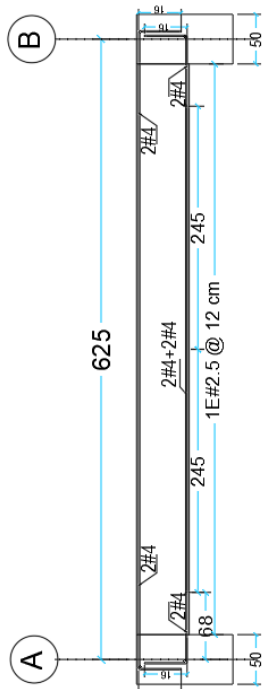


Figura 3.20 Armado de nervadura 2. (Elaboración propia)





CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Podemos concluir que los paneles de poliestireno aplicados a entresijos son una alternativa efectiva para la construcción de vivienda e infraestructura que da entero cumplimiento a los parámetros de diseño que indican las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto. Se generó un diagrama de flujo que indica el procedimiento para el diseño de los nervios de carga que son los que dan soporte al sistema de entresijo y finalmente se realizó el diseño de dos nervaduras en un caso de estudio de un edificio de uso de oficinas siguiendo el procedimiento planteado en el diagrama de flujo. Resultando un panel de 25 centímetros más capa de compresión de seis centímetros. Se llegan a resultados que satisfacen las demandas de resistencia y adicional el panel brinda atributos como el aislamiento térmico, disminución de desperdicio y una instalación más eficaz.





CAPÍTULO 4: SISTEMAS DE FACHADAS

4.1 Paneles de poliestireno aplicado en fachadas

La solución para los sistemas de fachadas consiste en el uso de paneles prefabricados de espuma de poliestireno expandido (EPS) aplicados como un muro ligero y aislante. Por su ligereza se considera una solución versátil para todo tipo de edificación o construcción. Las ventajas de hacer uso de los sistemas de construcción prefabricados son:

- Construcción rápida, sencilla y limpia.
- Aislamiento térmico.
- Confort acústico.
- Ahorro en consumo de energía eléctrica.
- Facilidad para alojar instalaciones.
- Rápida instalación.
- Piezas a la medida de proyecto.
- Versatilidad en aplicación de acabados.
- Compatibilidad con todos los sistemas estructurales (concreto, acero, etc.).

Los paneles Ikos e I16 se fabrican con espuma de poliestireno expandido, cuentan con un agente ignífugo que no propaga la flama y está conformado por dos postes troquelados de acero galvanizado con sección tipo C calibre 22 y 20; y separados a cada 30 centímetros. Por su diseño modular, al unir los paneles van formando el cuerpo del muro listo para recibir una base y posteriormente los acabados finales. Se muestra a continuación:



Imagen 4.1 Panel de poliestireno para fachada. (Área Técnica Novidesa, 2019)





4.1.1 Características de paneles de poliestireno

Dentro de las soluciones para fachadas se diferencian en dos tipos de paneles: los paneles I16 e Ikos. A continuación, se describen las especificaciones de cada tipo de panel que busca cubrir todos los sectores del mercado de la edificación de vivienda, servicios, comercios, etc. El panel I16 Novidesa es un panel prefabricado que se caracteriza por tener una densidad nominal de 16 kg/m³. Este panel puede contar con los postes internos en calibre 20 o 22. Este panel se corta a la medida requerida del proyecto.



Especificaciones

Conductividad Térmica*	0.0316 W/m•K
Permeabilidad de vapor de agua*	0.046 ng/Pa•s•m
Absorción de humedad (Peso)*	0.43%
Absorción de Humedad (Volumen)*	0.0071%
Densidad Aparente*	17.20 kg/m ³
Ancho	60 cm
Longitud**	Hasta 12 m
Aplicación	Fachada cortina Fachada tapón Muro interior Techumbre ligera

*Certificado bajo la NOM-018-ENER-2011

** Longitud de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.



Aislamiento térmico del panel

Espesor (cm)	M m ² • K/W	R (h•ft ² •°F/BTU)
6	1.89	10.77
8-6	2.35	13.39
8	2.41	13.70
10-8	2.87	16.34
10	2.92	16.60
12-10	3.39	19.29
12	3.16	17.99
15	3.93	22.33
20	3.86	21.98

Cálculos obtenidos con base en la metodología de la NMX-C-460-ONNCCE-2009

Tabla 4.1 Propiedades del panel I16. (Área Técnica Novidesa, 2019)





El panel prefabricado Ikos es de igual manera cortado a la medida de la altura a cubrir. La diferencia con el panel I16 es la densidad. La densidad de estos paneles ronda los 19 kg/m³ y pueden fabricarse en 6, 8, 10, 12, 15 y 20 cm de espesor por 60 cm de ancho, y una longitud de hasta 12 metros.



Especificaciones

Conductividad Térmica*	0.0344 W/m•K
Permeabilidad de vapor de agua*	0.049 ng/Pa•s•m
Absorción de humedad (Peso)*	1.03%
Absorción de Humedad (Volumen)*	0.0020%
Densidad Aparente*	19.05 kg/m ³
Ancho	60 cm
Longitud**	Hasta 12 m
Aplicación	Fachada cortina Fachada tapón Muro interior Techumbre ligera

*Certificado bajo la NOM-018-ENER-2011

** Longitud de acuerdo a las necesidades de cada proyecto.



Aislamiento térmico del panel

Espesor (cm)	M m ² • K/W	R (h•ft ² •°F/BTU)
6	2.03	11.56
8	2.60	14.77
10	3.16	17.95
12	3.66	20.81
15	4.23	24.03
20	4.08	23.19

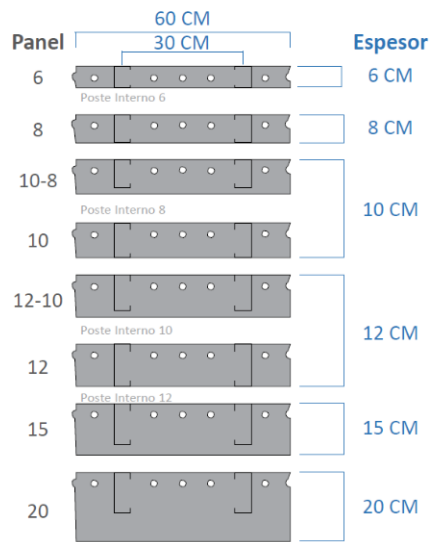
Cálculos obtenidos con base en la metodología de la NMX-C-460-ONNCCE-2009

Tabla 4.2 Propiedades del panel Ikos. (Área Técnica Novidesa, 2019)





Disponibilidad del panel i16



Disponibilidad del panel IKOS

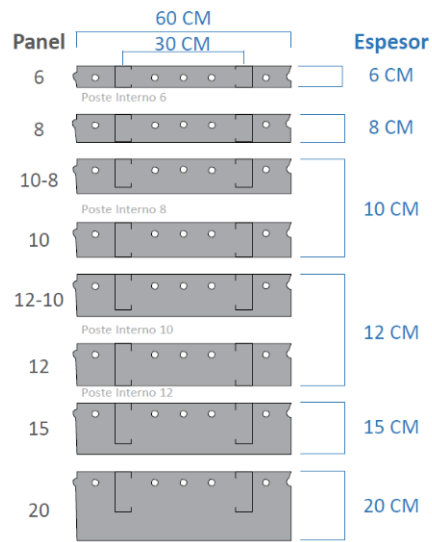


Imagen 4.2 Disponibilidad de panel i16 y panel Ikos. (Área Técnica Novidesa, 2019)

4.1.2 Componentes del sistema

El sistema de fachadas está compuesto por los siguientes elementos:

- Panel i16 e Ikos. Es el cuerpo y base del sistema fabricado con espuma de poliestireno expandido conformado por dos postes troquelados de acero galvanizado con sección tipo C y separados a 30 centímetros. Por la cara exterior de estos paneles debe llevar un recubrimiento impermeable para evitar filtraciones al interior del inmueble. Estos paneles de fachada tienen los espesores de 6, 8, 10, 12, 15 y 20 cm.



Imagen 4.3 Secciones transversales del panel Ikos de 6 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 15 cm y 20 cm. (Elaboración propia)

Los paneles de poliestireno cuentan con varias certificaciones y acreditaciones que otorgan un valor adicional en diferentes campos de la construcción que se traduce en seguridad y confort al usuario final. Se mencionan a continuación las certificaciones y acreditaciones:

- NOM-018-ENER-2011. Esta norma oficial mexicana de carácter obligatorio establece las características y métodos de prueba que deben cumplir los productos, componentes





y elementos termoaislantes para techos, plafones y muros de las edificaciones, producidos y comercializados con ese fin.

- NMX-460-ONNCCE-2009. Señala especificaciones de resistencia térmica (Valor R) que aplican a envolventes de vivienda para mejorar habitabilidad y ahorro energético.
- UL-E94. Marca los estándares para la seguridad de la inflamabilidad de materiales plásticos.
- Sello FIDE. Este se otorga a los productos que inciden directa o indirectamente en el ahorro de energía.
- ASTM A653. Especificación estándar para láminas de acero y galvanizado.

Poste Ikos. Son postes de lámina galvanizada con sección tipo C que traen un troquelado en el alma del perfil. Es un acero galvanizado G60 y el peralte viene de acuerdo con el espesor de panel deseado, así como el calibre de la lámina. Estos se encuentran a cada 30 centímetros a ejes y son rolados en frío. La función principal de estos postes es dar la rigidez necesaria del panel durante el proceso de habilitación del sistema de fachada y a soportar las cargas de acabados y de diseño por viento.

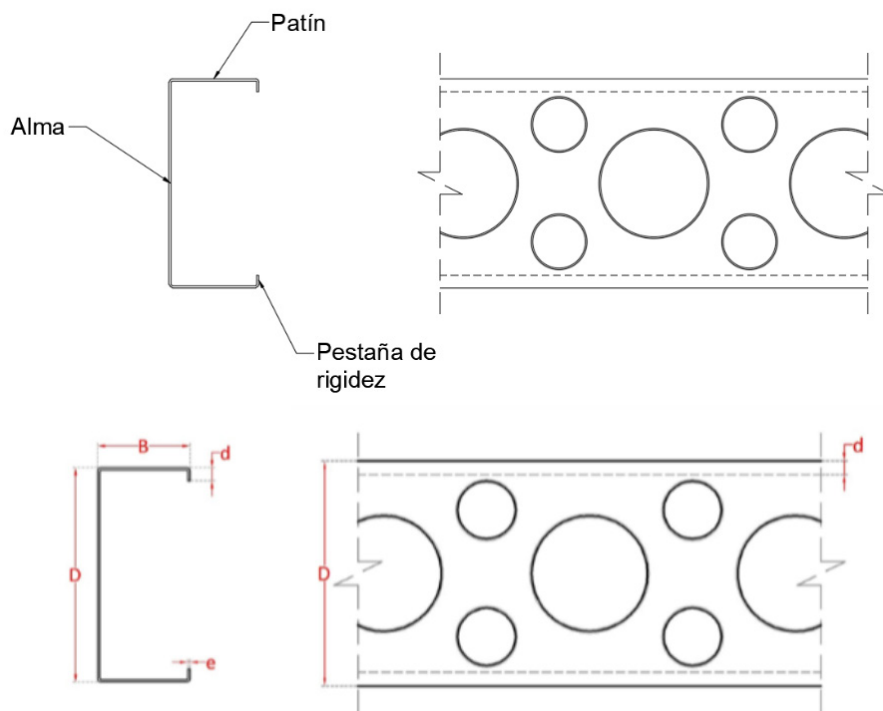


Figura 4.1 Postes Ikos. (elaboración propia)





La disponibilidad de los postes es la siguiente:

Poste	D (cm)	B (cm)	d (cm)	Calibre	e (cm)	Panel disponible		
P-6	5.7	4.2	0.61	22	0.076	lkos 6	lkos 8	-
P-8	8.0	4.2	0.5	22	0.076	lkos 8	lkos 10	-
P-10	9.8	4.2	0.6	22/20	0.076/0.091	lkos 10	lkos 12	-
P-12	11.8	4.2	0.6	22/20	0.076/0.091	lkos 12	lkos 15	lkos 20

Tabla 4.3 Propiedades geométricas de postes lkos. (Elaboración propia)

- **Canal.** Este elemento está conformado por lámina galvanizada el cual tiene la función de unir perimetralmente los muros Novidesa. Estos al ser anclados a los postes lkos aportan al conjunto una sujeción lateral continua de forma que el bastidor puede trabajar en conjunto. La sección de estos elementos consiste en una sección U con patines abiertos.

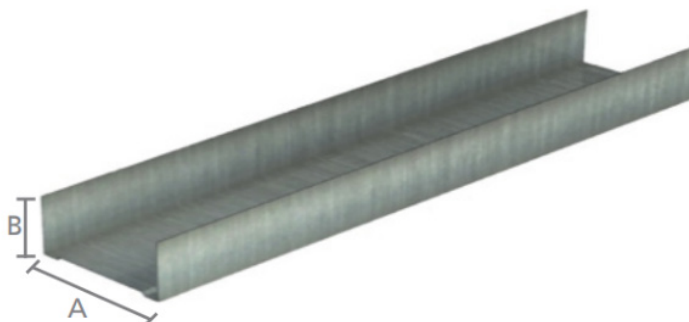


Imagen 4.4 Canal "U" de lámina galvanizada. (Área Técnica Novidesa, 2010)

Canal	A (cm)	B (cm)	Calibre	Longitud (m)
C-6	6.3	3.81	26/22	3.05
C-8	8.3	3.81	26/22	3.05
C-10	10.3	3.81	26/22/20	3.05
C-12	12.3	3.81	26/22/20	3.05

Tabla 4.4 Propiedades geométricas de canal U. (Elaboración propia)

- **Ángulos de fijación.** Este elemento tiene principalmente la función de anclar los postes lkos a la estructura principal, losa de entrepiso o bastidor secundario. De igual manera que los canales, están fabricados de lámina galvanizada. Existen dos tipos de ángulos que se distinguen por la aplicación y el calibre.



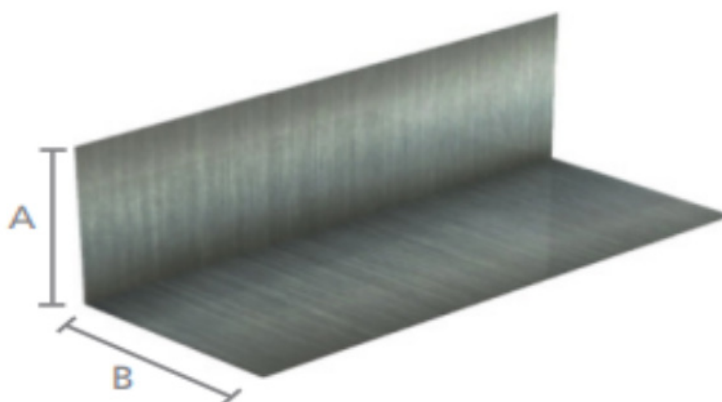


Imagen 4.5 Ángulo de lámina galvanizada. (Área Técnica Novidesa, 2010)

Ángulo	A (cm)	B (cm)	Calibre	Longitud (m)	Aplicación	
A - 1 3/4"	4.45	4.45	22	3.05	Interiores	-
A - 2"x4"	5.08	10.16	20	3.05	Interiores	Exteriores

Tabla 4.5 Propiedades geométricas de ángulos. (Elaboración propia)

- **Soleras o cinchos.** Son láminas planas que cumplen la función de trabajo a tensión. Ayudan a disminuir las deformaciones en los muros por acciones del viento permitiendo una mejor respuesta del sistema. Pueden hacer la función de sujeciones laterales horizontales y en diagonal tipo contravientos; impidiendo que los postes lcos sufran giros sobre su eje o que se descuadren.

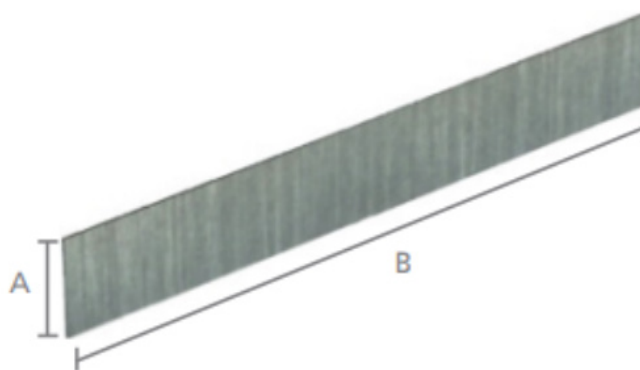


Imagen 4.6 Solera de lámina galvanizada. (Área Técnica Novidesa, 2010)

Solera	A (cm)	B (m)	Aplicación
A - 1 1/2"	3.81	3.05	Interiores

Tabla 4.6 Propiedades geométricas de solera. (Elaboración propia)





- **Tornillería.** Los tornillos y clavos son los elementos mecánicos de fijación entre los elementos que conforman el sistema de fachadas Novidesa. Con estos se unen los componentes entre sí, así como el anclaje de acabados o instalaciones. Existe una amplia diversidad de tornillería en el mercado, a continuación, se mencionan los más empleados con sus modos de aplicación:

- Clavo para fijación a concreto o acero.

Este tiene la función de unir el canal o ángulo a elementos de concreto o acero, como la losa de desplante, trabes perimetrales o narices de concreto de una losa de entrepiso. Dentro de sus características son un vástago de 4 mm de diámetro, estriado espiral en punta y punta balística. Para su aplicación requiere de una herramienta de fijación directa con pólvora.



Imagen 4.7 Clavo X-U. (HILTI, 2015)

- Tornillo Tek plano de ½”.

Es el tornillo más usado en los sistemas Novidesa ya que hace la función de unir metal con metal. Por ejemplo, unir el canal de desplante con los postes lkos ya sea por una cara o por ambas caras del panel. Es un tornillo con acabado galvanizado, cabeza plana y punta de broca para facilitar la colocación en el metal.



Imagen 4.8 Tornillo Tek plano. (USG, 2006)





- Tornillo Hex de 1".

Este tornillo tiene la función de unir metal con metal y se utiliza principalmente para fijar los canales o ángulos a un perfil metálico de mayor espesor, por ejemplo, bastidores secundarios o vigas IPR.



Imagen 4.9 Tornillo hexagonal de 1". (Homedepot, 2006)

- **Malla de fibra de vidrio.** Es un complemento que sirve como refuerzo para recubrimientos de pasta, cemento flexible y estuco aplicados a diversos acabados finales. Su función es prevenir fisuras y agrietamiento en los acabados permitiendo homogeneidad y continuidad, así aumenta su resistencia al impacto. Es fabricada con base a filamentos de sílice con aditivos de resinas sintéticas. Es resistente a la humedad y a los cambios de temperatura. También, desde su fabricación, incluye un agente ignífugo que evita la propagación de la flama.

Tiene un peso de 150 g/m², un ancho de un metro por 50 metros de largo.



Imagen 4.10 Malla de fibra de vidrio. (Área Técnica Novidesa, 2019)





- **Acabados.** El sistema de fachadas Novidesa se caracteriza por tener versatilidad en la aplicación de acabados que son la última capa del sistema. Estos pueden ser pastas, materiales pétreos, cerámicos, tableros de yeso o fibrocemento, entre otros.
- **Herramientas adicionales.** Adicional a los componentes ya mencionados del sistema de fachadas, también será necesario contar con herramienta básica para la instalación:
 - Atornillador eléctrico
 - Tijeras para lámina
 - Laser para plomeo de paneles
 - Cinta coloreada para trazo
 - Flexómetro
 - Pinzas industriales de presión
 - Cortadora de disco
 - Pistola de alto poder para aplicación de clavos
 - Nivel de 1.00 a 1.50 metros de longitud
 - Martillo con cabeza de hule



Imagen 4.11 Herramienta adicional. (Área Técnica Novidesa, 2010)





4.2 Criterios de diseño

Para el diseño de fachadas empleando paneles de poliestireno se realiza el análisis estático que publica la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en su apartado Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por viento o en su caso el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (2017) en su capítulo de diseño por viento, con los cuales se determinaran las fuerzas y momentos internos producidos por las acciones del viento.

La selección del panel a utilizar, así como el detallado se harán de acuerdo con los criterios relativos a los estados límite de falla y de servicio, así como de durabilidad, establecidos en las normas ya mencionadas.

Según el criterio de estados límite de falla, las estructuras deben dimensionarse de modo que la resistencia de diseño de toda sección con respecto a cada fuerza o momento interno que en ella actué, sea igual o mayor que el valor de diseño de ficha fuerza o momentos internos.

Las resistencias de diseño deben incluir el correspondiente factor de resistencia, F_r . Las fuerzas y momentos internos de diseño se obtienen multiplicando por el correspondiente factor de carga.

Sea que aplique el criterio de estados límite de falla o algún criterio optativo, deben revisarse los estados límite de servicio, es decir, se comprobará que las respuestas de la estructura (deformación, agrietamiento, etc.) queden limitadas a valores tales que el funcionamiento en condiciones de servicio sea satisfactorio.





4.2.1 Acero

Como ya se mencionó anteriormente, los soportes estructurales de los sistemas de fachadas con paneles de poliestireno Novidesa, son los postes Ikos de acero rolado en frío. Estos son secciones que se forman a través de un proceso de rolado efectuado a temperatura ambiente y sin adición de calor. Todos los perfiles dan cumplimiento a las siguientes normas y requerimientos para garantizar su función estructural:

- Lámina Galvanizada: Norma ASTM A653, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés, y esta enumeración determina la especificación estándar para láminas de acero y galvanizado. El galvanizado es un grado G60 con un valor de fluencia de $F_y = 2,530 \text{ kg/cm}^2$
- Para el cálculo de resistencias de los perfiles Ikos, así como sus propiedades geométricas, se siguieron los lineamientos y metodologías de cálculo del libro Cold-formed steel design (Yu, LaBoube, & Chen, 2010).

Esta referencia bibliográfica se desarrolló originalmente para el análisis y diseño de estructuras de acero roladas en frío y se basa en la experiencia en diseño, investigación y desarrollo del Instituto Americano del Hierro y el Acero (AISI por sus siglas en inglés) y los criterios de diseño de América del Norte. Adicionalmente se realizaron pruebas físicas en el Laboratorio Nacional de la Construcción (LANCO) en la Ciudad de México para corroborar los valores calculados obtenidos en las tablas de resistencias de diseño.

A continuación, se presentan las tablas de resistencias de diseño obtenidas de aplicar las teorías expuestas en la bibliografía mencionada. Las tablas de resistencias de diseño y la información técnica contenida en esta guía fueron desarrolladas por el Área Técnica de Novidesa.





PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL PERFIL IKOS NOVIDESA															
Peralte del Perfil H (Altura) (cm)	Ancho del Perfil B (Base) (cm)	Pestaña de Rigidez H (Muñón) (cm)	Área A (cm ²)	Calibre No.	Peso Teórico kg / m	Espesor de la Lamina e (cm)	Esfuerzo de Fluencia Fy (kg/cm2)	Momento de Inercia I (cm ⁴)		Radio de Giro R (cm)		Módulo de Sección			
								Ix	Iy	Rx	Ry	Sx	Sy		
P-6	5.7	4.2	0.61	0.88	22	0.69	0.076	2530	5.99	1.78	2.41	1.46	2.1	0.81	Mr = 26.57 kg-m Tr = 2,022.76 kg
P-8	8.0	4.2	0.5	1.04	22	0.82	0.076	2530	13.19	2.23	3.27	1.45	3.3	0.87	Mr = 43.65 kg-m Tr = 2,506.49 kg
P-10	9.8	4.2	0.6	1.11	22	0.88	0.076	2530	19.60	2.48	3.93	1.45	4.00	0.95	Mr = 54.55 kg-m Tr = 2,971.61 kg
P-10	9.8	4.2	0.6	1.33	20	1.05	0.091	2530	23.29	2.93	3.92	1.44	4.75	1.12	Mr = 73.58 kg-m Tr = 3,541.40 kg
P-12	11.8	4.2	0.6	1.28	22	1.01	0.076	2530	31.58	2.8	4.63	1.42	5.35	0.99	Mr = 76.69 kg-m Tr = 3,436.73 kg
P-12	11.8	4.2	0.6	1.52	20	1.19	0.091	2530	37.56	3.31	4.62	1.41	6.37	1.17	Mr = 100.98 kg-m Tr = 4,098.32 kg

Tabla 4.7 Propiedades geométricas y mecánicas de los postes Ikos. (Elaboración propia con base en información técnica de Novidesa (Área Técnica Novidesa, 2010))





4.3 Manual de Diseño de Obras Civiles

4.3.1 Diseño por viento

A continuación, se describen las metodologías recopiladas en el manual de la Comisión Federal de Electricidad (MDOC-Diseño por viento, 2008) para estimar las acciones producidas por el viento y sus efectos en las construcciones.

Para conocer los elementos mecánicos que actuarán en las fachadas con paneles de poliestireno, se realizará el análisis de viento para la obtención de las fuerzas siguiendo los procedimientos indicados en el Manual de Diseño de Obra Civil – Diseño por Viento (MDOC-Diseño por viento, 2008).

Se empleará el análisis estático para el diseño de construcciones y elementos estructurales pertenecientes al Tipo 1, así como los elementos de recubrimiento y sus anclajes que se emplean en las construcciones Tipo 1, 2 y 3. De acuerdo con el capítulo 4.4 Análisis Dinámico, apartado 4.4.1 Limitaciones. Las fuerzas y presiones actuantes sobre algunas de las partes o subsistemas, como tramos de muros o cubiertas, deben determinarse mediante el análisis estático (MDOC-Diseño por viento, 2008). La mayoría de las aplicaciones de los paneles Novidesa cae en estas condiciones de diseño por lo que solo se mencionará el análisis estático para efectos de este documento.

El manual desarrolla una serie de procedimientos para determinar las cargas por viento y que se deben seguir en un orden determinado. Para eso desarrolló un diagrama de flujo que se presenta a continuación:



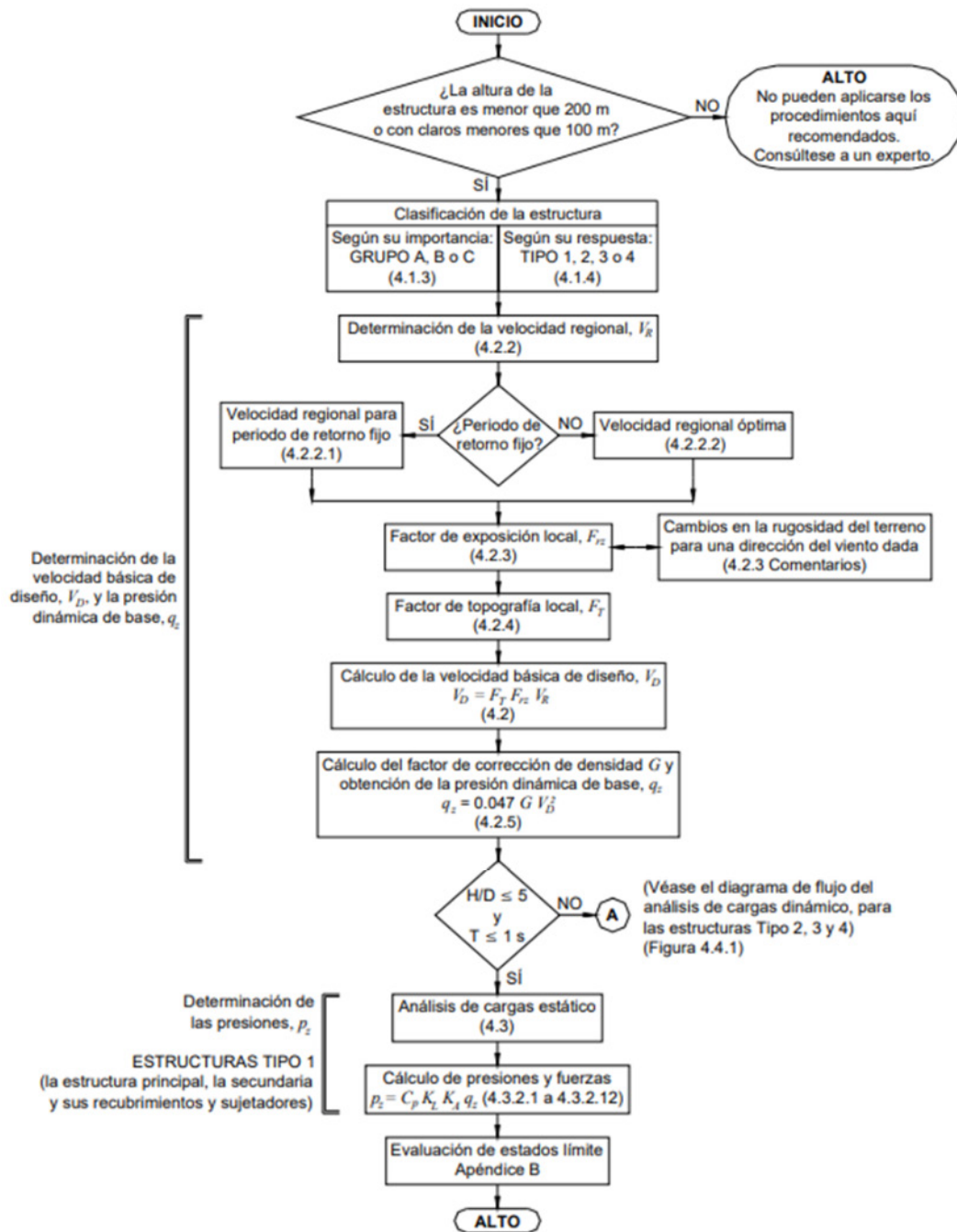


Figura 4.2 Diagrama de flujo para diseño por viento (MDOC-Diseño por viento, 2008)





Clasificación de la estructura

La seguridad de las construcciones para cumplir con los usos para las cuales estén destinadas va relacionada con el nivel de importancia del edificio. En la práctica, a cada uno de estos niveles de importancia se le establecen velocidades de diseño correspondientes a periodos de retorno constantes u óptimos.

Según el nivel de importancia seleccionado para una estructura, las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:

- **Grupo A.** Este nivel es para un grado de seguridad alto, debido a que en una posible falla cause la pérdida de un número importante de vidas, o daños económicos o culturales altos. También se incluyen construcciones y depósitos que puedan implicar un peligro significativo por almacenar o contener sustancias tóxicas o inflamables; asimismo, las construcciones cuyo funcionamiento es imprescindible y debe continuar después de la ocurrencia de un fenómeno devastador y las construcciones cuya falla impida la operación de plantas termoeléctricas, hidroeléctricas y nucleares.

Dentro de este grupo se encuentran áreas de reunión con capacidad mayor a doscientas personas, por ejemplo, salas de espectáculos, auditorios y centros de convenciones, locales y cubiertas que alojen equipo especialmente costoso, museos, templos, estadios, terminales de distribución de hidrocarburos, centrales telefónicas y de telecomunicaciones principales, terminales de transporte, estaciones de bomberos, de rescate y de policía, hospitales y edificios médicos con áreas de urgencias, escuelas y subestaciones eléctricas.

- **Grupo B.** Corresponde a un grado de seguridad moderado. Son construcciones que ante una posible falla, sea una baja pérdida de vidas humanas y que acarreen daños materiales de magnitud intermedia. También se consideran las construcciones que, al fallar, puedan poner en peligro a otras de este grupo o del grupo A.

Ejemplos de estructuras en este grupo son plantas industriales, bodegas ordinarias, gasolineras (menos los depósitos exteriores de combustibles pertenecientes al grupo A), comercios, restaurantes, casas habitación, viviendas, edificios de departamentos





y oficinas, hoteles y bardas cuya altura sea mayor que 2.5 metros. Igualmente se incluyen los recubrimientos, tales como cancelerías y elementos estructurales que formen parte de las fachadas, pertenecerán a este grupo siempre y cuando no causen daños corporales o materiales importantes al desprenderse, en caso contrario se analizarán como grupo A.

- **Grupo C.** Construcciones para las que se recomienda un grado de seguridad bajo. Son aquellas cuya falla no implica graves consecuencias, ni causa daños a construcciones del grupo A y B. se consideran dentro de este nivel elementos temporales con vida útil menor a tres meses, bodegas provisionales, cimbras, carteles, muros aislados y bardas con altura menor o igual que 2.5 metros. Las provisiones necesarias para la seguridad durante la construcción de estructuras se evaluarán para la importancia de este grupo.

Otra clasificación requerida es respecto a la respuesta de la estructura ante la acción del viento. Esta clasificación consta de cuatro tipos:

- **Tipo 1.** Estructuras que son poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento. Se consideran las estructuras que tengan una relación de esbeltez (λ), definida como la relación entre la altura y la menor dimensión en planta, menor o igual que cinco con periodo natural de vibración del primer modo, menor o igual que un segundo. La mayoría de las construcciones de vivienda, oficinas, bodegas, naves industriales, teatros y auditorios se consideran en esta clasificación.
- **Tipo 2.** Estructuras que son sensibles a la turbulencia del viento debido a su alta relación de esbeltez ($\lambda > 5$) y tienen periodos naturales que favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes por la acción del viento. Ejemplos de esta categoría serían chimeneas, celosías atirantadas, tanques elevados, antenas, bardas y anuncios.
- **Tipo 3.** Estas estructuras presentan todas las características del tipo 2 y adicional son sensibles al flujo del viento al aparecer vórtices o remolinos periódicos ocasionando oscilaciones importantes. Se incluyen las construcciones y estructuras cilíndricas o prismáticas esbeltos, tales como chimeneas, tuberías exteriores o elevadas, arbotantes para iluminación y postes de distribución.





- **Tipo 4.** Estructuras que, por su forma, dimensiones y por la magnitud de sus periodos de vibración (periodos naturales mayores que un segundo) presentan problemas aerodinámicos inestables. Algunos ejemplos son antenas parabólicas, tuberías colgantes y líneas de transmisión.

Una vez determinada la clasificación de la construcción o estructura podrá seleccionarse el método para evaluar las cargas de diseño provocadas por el viento. A continuación, se enlistan las acciones del viento que, según el tipo de construcciones, deben considerarse para su diseño:

- **Acción I.** Se consideran los empujes medios causados por presiones y succiones del flujo medio del viento, tanto exteriores como interiores y generan presiones globales, para el diseño de la estructura en conjunto, y locales para el diseño de un elemento estructural o de recubrimiento en particular.

En el diseño de construcciones Tipo 1, bastará analizar la respuesta de la estructura ante este tipo de acción del viento.

- **Acción II.** Corresponden las vibraciones generadas por ráfagas turbulentas en la dirección del viento. Son generadas por fuerzas variables, paralelas al flujo medio y presentan fluctuación en el tiempo que influye en la respuesta estructural.

Se contempla esta acción dinámica para el diseño de construcciones del Tipo 2.

- **Acción III.** Esta acción estima vibraciones transversales al flujo y torsión que se presentan en estructuras cilíndricas o prismáticas. Las estructuras Tipo 3 deben diseñarse con las acciones II y las acciones III.

- **Acción IV.** Inestabilidad generada por la amplificación dinámica de la respuesta estructural causada por la geometría de la construcción, los distintos ángulos de incidencia del viento, las propiedades dinámicas de la estructura y el cambio de amortiguamiento aerodinámico.

Para estructuras Tipo 4 se evaluarán los efectos mediante estudios analíticos y experimentales en túnel de viento.





Velocidad Regional

La velocidad regional de ráfaga puede especificarse de dos maneras. La primera sería empleando la importancia de la estructura que está relacionada con un periodo de retorno fijo. La otra manera está asociada con el costo relativo aceptable de las consecuencias en caso de producirse una falla estructural. Esta velocidad puede ser excedida en un cierto periodo de retorno, T , en años, en una zona o región determinada del país.

Para determinarse se toma en consideración tanto la importancia de la estructura como la localización geográfica de su sitio de desplante. A continuación, se muestran los mapas de isotacas regionales correspondientes a los periodos de retorno de 200, 50 y 10 años, recomendados para el diseño por viento de estructuras de los grupos A, B y C, respectivamente.

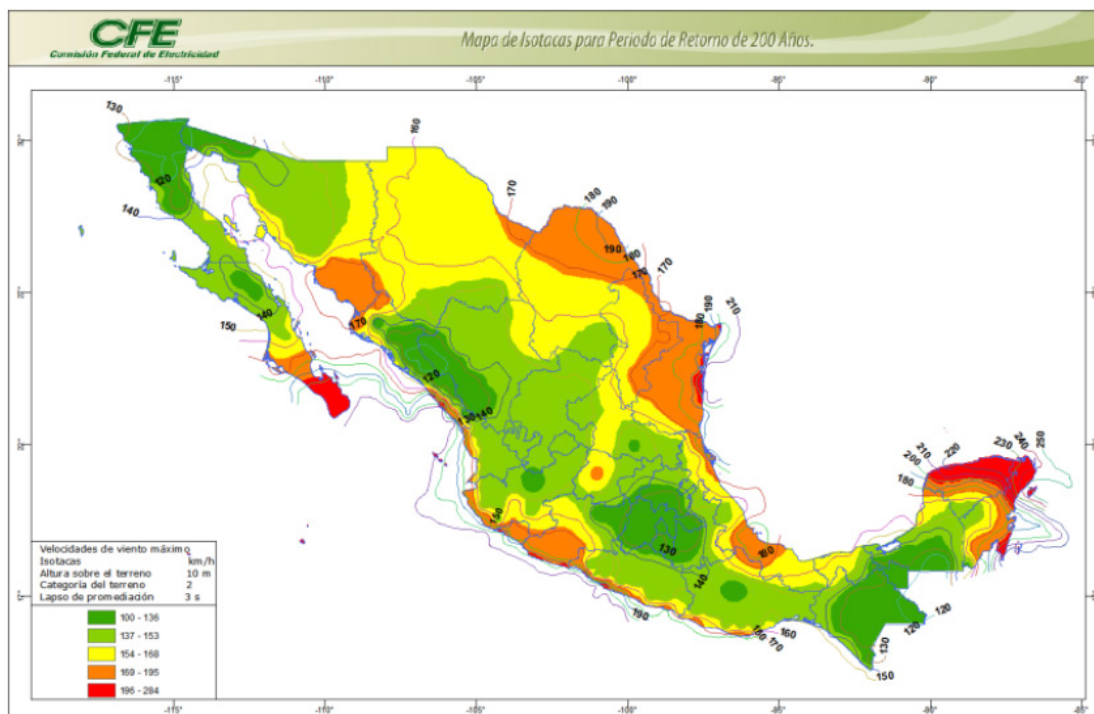


Figura 4.3 Mapa de isotacas de velocidades regionales con periodo de retorno de 200 años.



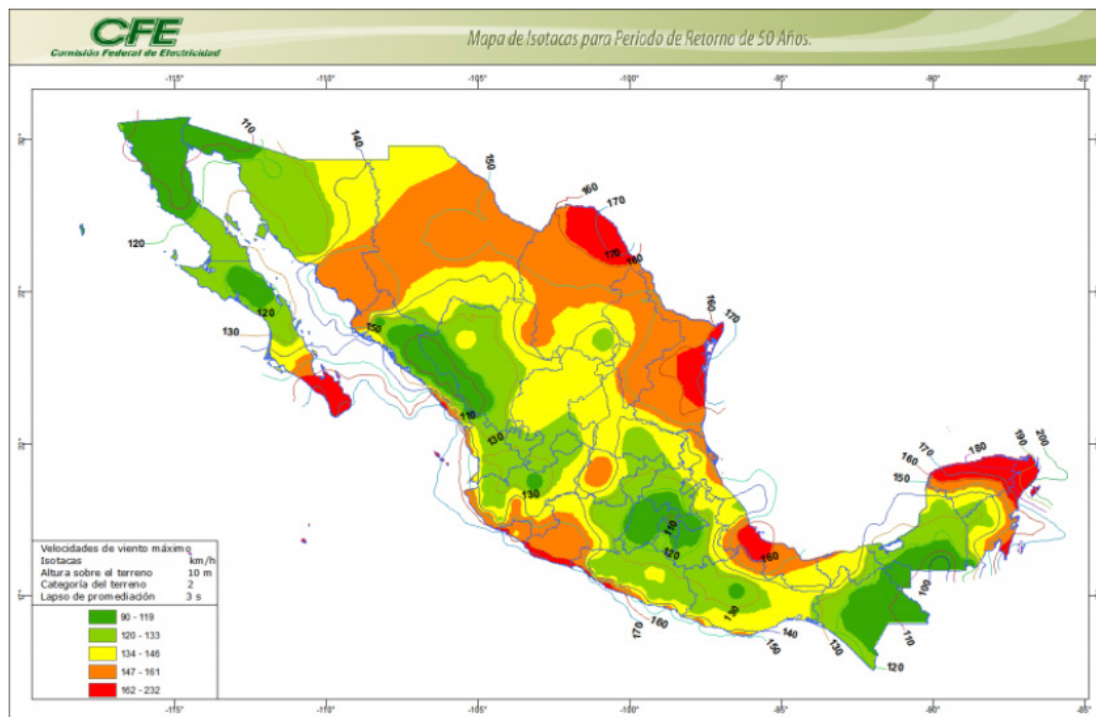


Figura 4.4 Mapa de isotacas de velocidades regionales con periodo de retorno de 50 años.

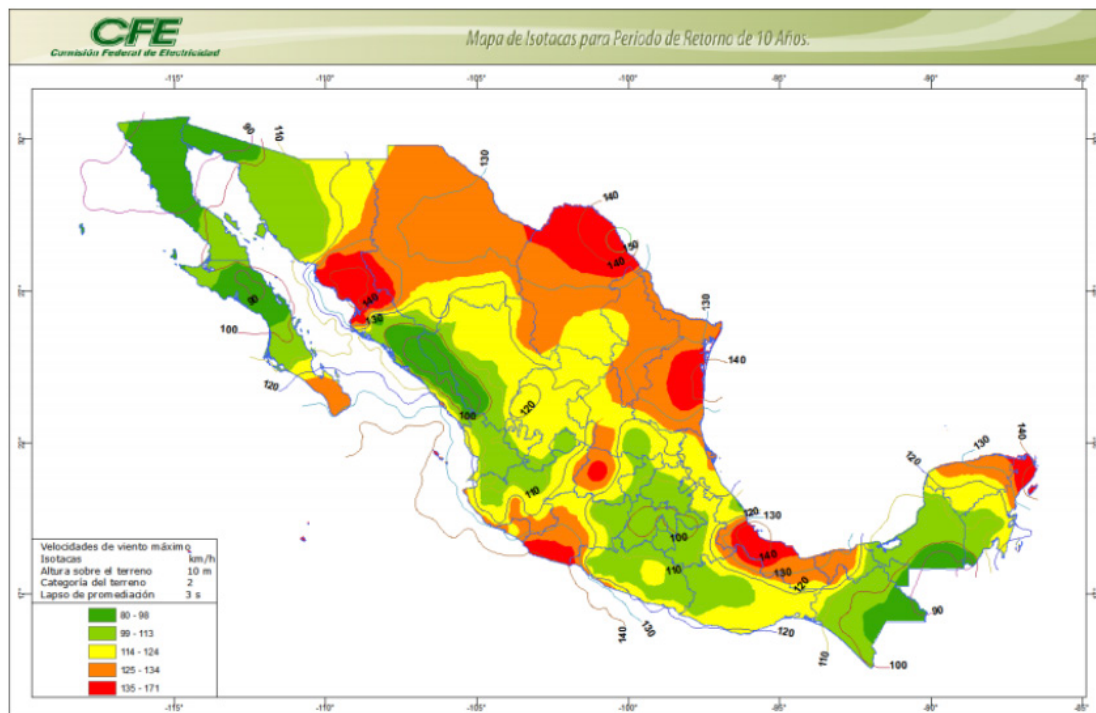


Figura 4.5 Mapa de isotacas de velocidades regionales con periodo de retorno de 10 años.





La velocidad regional óptima (V_{RO}) es la máxima velocidad para la cual se minimiza el costo total determinado con el costo inicial de la construcción más el costo de las reparaciones y de las pérdidas, directas o indirectas, en caso de presentarse una falla. El costo de la falla (reparaciones y pérdidas) se introduce en un parámetro adimensional (Q), llamado factor de importancia de las pérdidas:

$$Q = \frac{C_L}{C_I}$$

En donde:

C_I es el costo inicial de la construcción

C_L es el costo de las pérdidas directas e indirectas que se tendrían en caso de una falla estructural.

Para la aplicación simplificada de este procedimiento, se ha optado por asociar un valor de $Q = 15$ para el diseño de las estructuras del grupo A y de $Q = 5$ para las del grupo B.

En el Apéndice C del Manual de Diseño de Obras Civil (MDOC-Diseño por viento, 2008), se muestra una tabla con las principales ciudades del país y sus velocidades regionales para los diferentes periodos de retorno y las velocidades regionales óptimas para diferentes valores de Q . A continuación, se muestran los mapas de isotacas correspondientes a las velocidades regionales óptimas:



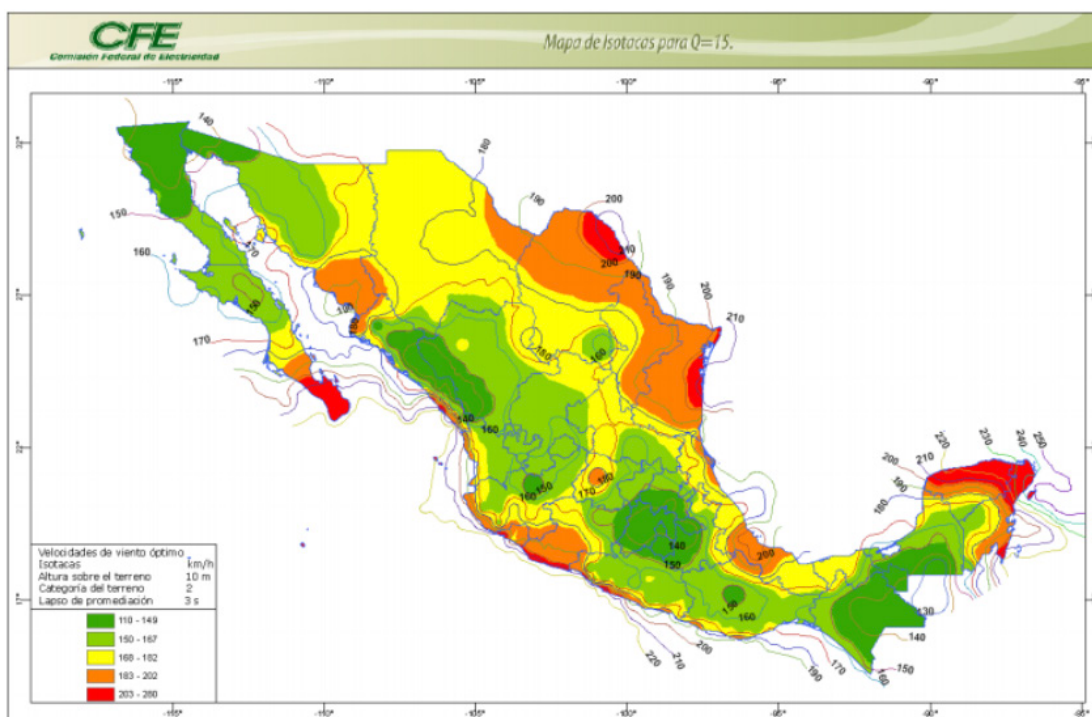


Figura 4.6 Mapa de isotacas para $Q=15$

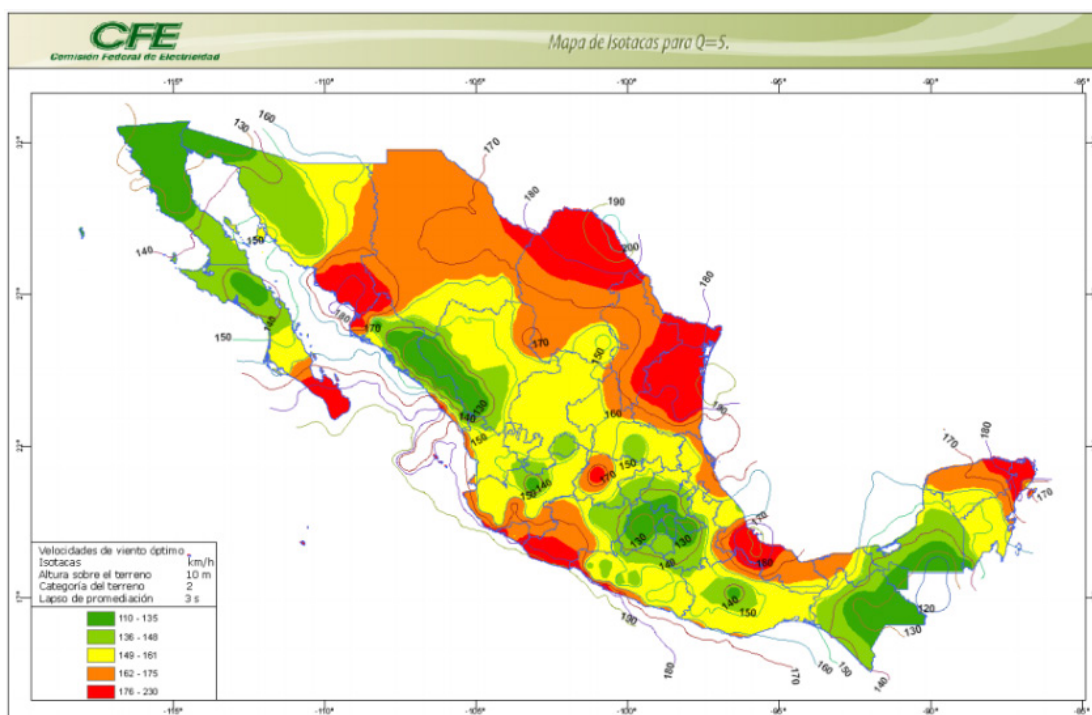


Figura 4.7 Mapa de isotacas para $Q=5$





Categorías de terreno según su rugosidad

Para el procedimiento de análisis estático, actúan factores que dependen de las condiciones topográficas y de exposición locales donde se desplantará la construcción. Estos son el factor de exposición y el factor de topografía.

A continuación, se presenta una tabla con las categorías de los terrenos según su rugosidad.

Cat.	Descripción	Ejemplos	Limitaciones
1	Terreno abierto, prácticamente plano, sin obstrucciones y superficies de agua	Franjas costeras planas, zonas de pantanos o de lagos, campos aéreos, pastizales y tierras de cultivo sin setos o bardas alrededor, superficies nevadas planas.	La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 2000 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar, la que sea mayor.
2	Terreno plano u ondulado con pocas obstrucciones	Campos de cultivo o granjas con pocas obstrucciones tales como setos o bardas alrededor, árboles y construcciones dispersas.	Las obstrucciones existentes, tienen alturas de 1.5 a 10 m, la longitud mínima debe ser la mayor entre 1500 m o 10 veces la altura de la construcción por diseñar.
3	Terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas	Áreas urbanas, suburbanas y de bosques, o cualquier terreno con numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. El tamaño de las construcciones corresponde al de las casas y viviendas.	Las obstrucciones existentes presentan alturas de 3 a 5 m. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser de 500 m o 10 veces la altura de la nueva construcción, la que sea mayor.
4	Terreno con numerosas obstrucciones largas, altas y estrechamente espaciadas	Centros de grandes ciudades y complejos industriales bien desarrollados.	Por lo menos el 50% de los edificios tiene una altura mayor que 20 m. Las obstrucciones miden de 10 a 30 m de altura. La longitud mínima de este tipo de terreno en la dirección del viento debe ser la mayor entre 400 m y 10 veces la altura de la nueva construcción.

Tabla 4.8 Categoría del terreno según su rugosidad. (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Factor de exposición

Este factor establece la variación de la velocidad del viento con la altura, en función de la categoría del terreno. Este factor se obtiene con base en la altura por encima del terreno natural a la cual se desea conocer la velocidad de diseño (z) y tres variables (α , δ y c) que





están en función de la rugosidad del terreno y el manual proporciona una tabla de valores recomendados. Estos valores son α exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura; δ es la altura gradiente, medida a partir del nivel del terreno de desplante, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante; y finalmente c el coeficiente de escala de rugosidad.

$$F_{rz} = c \quad \text{si} \quad z \leq 10$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad \text{si} \quad 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{\delta}{10} \right)^\alpha \quad \text{si} \quad z \geq \delta$$

Categoría del terreno	α	δ (m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1.000
3	0.156	390	0.881
4	0.170	455	0.815

Tabla 4.9 Valores de α , δ y c . (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Factor de Topografía (F_T)

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura. El manual incluye una tabla con valores recomendados de acuerdo con las características topográficas del sitio.

Sitios	Ejemplos de topografía local	F_T
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios topográficos importantes, con pendientes menores de 5%.	1.0
Expuestos	Promotorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas.	Véanse las ecuaciones (4.2.6) a (4.2.8)
	Terrapenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas.	

Tabla 4.10 Factor de topografía local (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Para efectos topográficos locales en condiciones de exposición, como promontorios y terraplenes, el factor de topografía se calcula de acuerdo con las siguientes condiciones y figuras de apoyo:



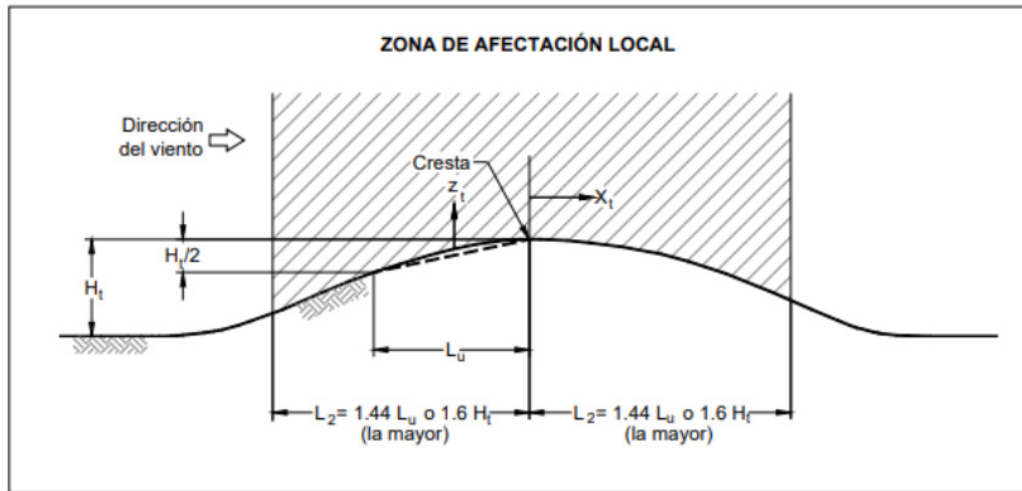


Figura 4.8 Promontorios (MDOC-Diseño por viento, 2008)

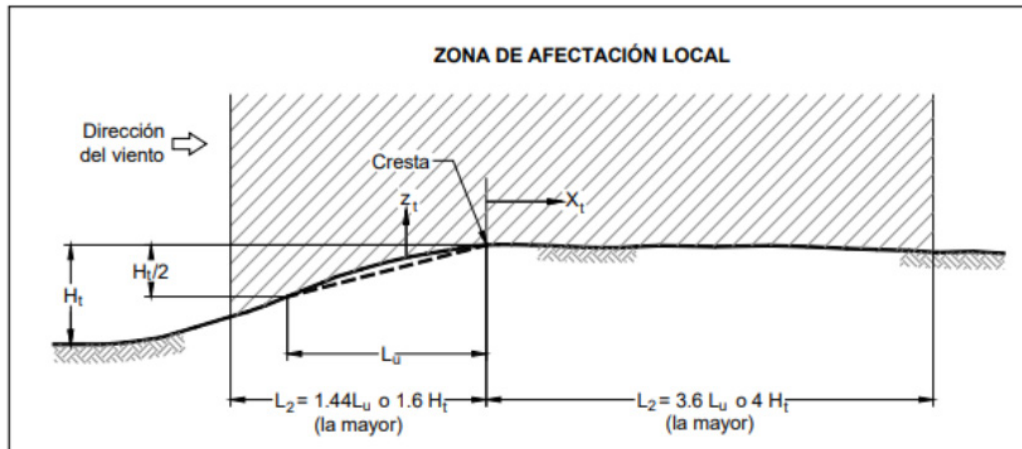


Figura 4.9 Terraplenes en la zona (MDOC-Diseño por viento, 2008)

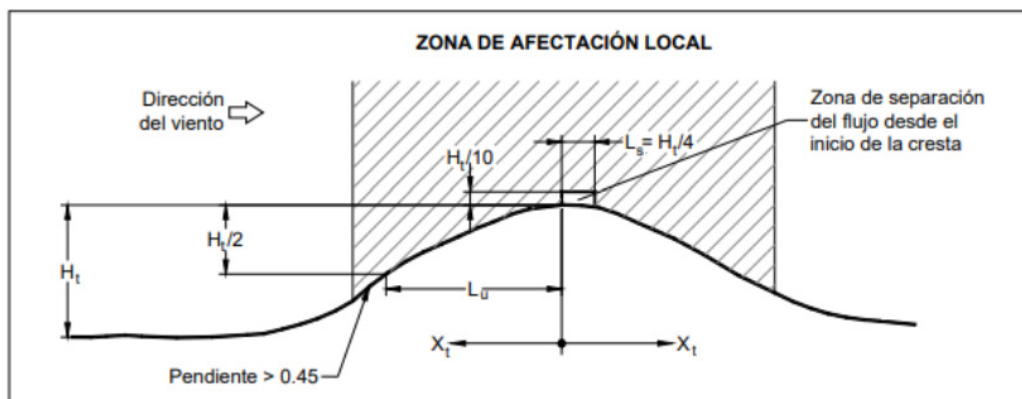


Figura 4.10 Zona de separación del flujo para pendientes mayores que 0.45 (MDOC-Diseño por viento, 2008)





a) Si $\frac{H_t}{2L_u} < 0.05 \rightarrow F_T = 1.00$

dentro de la zona achurada de afectación local (revisar Figuras 4.8 y 4.9)

b) Si $0.05 \leq \frac{H_t}{2L_u} \leq 0.45 \rightarrow F_T = 1.0 + \left[\frac{H_t}{3.5(Z_t + L_1)} \right] \left(1 - \frac{|X_t|}{L_2} \right)$

dentro de la zona achurada de afectación local (revisar Figuras 4.8 y 4.9)

c) Si $\frac{H_t}{2L_u} > 0.45 \rightarrow F_T = 1.0 + 0.71 \left(1 - \frac{|X_t|}{L_2} \right)$

dentro de la zona achurada de afectación local (revisar Figura 4.10)

Donde:

H_t Altura del promontorio o terraplén, medida verticalmente desde el inicio de la cuesta hasta la cresta, en metros.

L_u Distancia horizontal en barlovento medida $H_t/2$ hasta la cresta del promontorio o terraplén, en metros.

X_t Distancia horizontal en barlovento o sotavento, medida entre la estructura y la cresta del promontorio o terraplén con valor positivo o negativo, en metros.

L_1 Escala longitudinal para determinar la variación vertical de F_T , se toma el valor mayor entre $0.36L_u$ y $0.4H_t$, en metros.

L_2 escala longitudinal para determinar la variación horizontal de F_T , se toma igual a $4L_1$ para promontorio o terraplén en barlovento e igual a $10L_1$ para terraplenes en sotavento, en metros

Z_t Altura de referencia de la estructura medida desde el nivel promedio del terreno, en metros. Esta altura puede ser la altura total de la estructura o la altura promedio del techo inclinado de la construcción.





Velocidad Básica de Diseño (V_D)

Es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de esta. Y se calcula con base en variables definidas anteriormente.

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

Presión dinámica de base (q_z)

En toda construcción que este expuesta a los efectos del viento, producen presiones sobre sus superficies que varían según la intensidad de la velocidad y la dirección del viento. La presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él, se denomina presión dinámica de base q_z , y se determina con la siguiente ecuación:

$$q_z = 0.0048 G V_D^2 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

Donde:

V_D Velocidad básica de diseño

q_z Presión dinámica de base a una altura Z sobre el nivel del terreno

G Factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar:

$$G = \frac{0.329\Omega}{273 + \tau}$$

Ω Presión barométrica en mm de Hg con apoyo de la siguiente tabla

Altitud, h_m (msnm)	Presión barométrica, Ω (mm de Hg)
0	780
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Tabla 4.11 Presión barométrica con respecto altitud (MDOC-Diseño por viento, 2008)

τ Temperatura ambiental en $^{\circ}\text{C}$





Presión actuante sobre la estructura (p_z)

A esta presión también se le denomina empuje medio o estático y es producido por los efectos de la velocidad de ráfaga. Se obtiene tomando principalmente su forma y está dada, de manera general, por la ecuación en pascales (Pa):

$$p_z = C_p q_z$$

C_p se le denomina coeficiente de presión y es adimensional. Este se define como la relación de la presión actuante sobre la construcción o sobre una de sus superficies, con la presión dinámica de base, para una altura dada. También determina el efecto de la variación de la presión, según su geometría o forma de la construcción, así como de la intensidad de la velocidad y la turbulencia del flujo del viento.

Los coeficientes de presión se dividen en los siguientes tipos:

- Coeficientes de presión sobre superficies, determinan las presiones exteriores o interiores (empuje o succión).
- Coeficientes de arrastre sobre un cuerpo, determinan la fuerza de arrastre sobre construcciones o elementos estructurales.
- Coeficientes de presión neta sobre superficies, determinan el efecto combinado de empujes y succiones para evaluar las fuerzas resultantes.
- Coeficientes de fuerza sobre cuerpos, determinan las fuerzas generales (fuerzas o momentos) sobre un cuerpo.
- Coeficientes de presión local sobre superficies, determinan el efecto local pico de las presiones en zonas críticas de las construcciones.





4.3.2 Análisis Estático

Para llevar a cabo este tipo de análisis, las estructuras y/o construcciones, deben cumplir ciertos requisitos para garantizar una respuesta estructural adecuada. La construcción y elementos estructurales deben pertenecer al Tipo 1, así como de los elementos de recubrimiento y sus anclajes que se emplean en las construcciones corresponderán al Tipo 1, 2 y 3. Esta condición se satisface cuando:

- La relación $H/D \leq 5$, en donde H es la altura de la construcción y D es la dimensión mínima de la base, y
- El periodo fundamental de la estructura es menor o igual que un segundo.

Las fuerzas estáticas que se ejercen sobre los muros y techos de estructuras cerradas, que son las que se conforman una construcción prismática y pueden tener aberturas tales como ventanas y puertas (no impermeables), serán las resultantes de las presiones actuantes sobre sus superficies exteriores e interiores y deberán calcularse de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$F_{es} = p_z * A_z$$

$$p_z = (p_e - p_i) \quad \text{para construcciones cerradas}$$

$$p_z = p_n \quad \text{para el caso en el que aplique presión neta}$$

F_{es} es la fuerza estática resultante del viento que actúa perpendicularmente sobre las superficies o elementos estructurales de la construcción, en newtons (N).

p_z la presión de diseño a la altura z , en pascales (Pa).

p_e la presión exterior, en pascales (Pa)

p_i la presión interior, en pascales (Pa)

p_n la presión neta, en pascales (Pa)





A_z el área de la estructura o parte de ella, en metros cuadrados (m^2) a la altura z , sobre la que actúa la presión de diseño.

La convención de signos para presiones exteriores e interiores que deben considerarse es que serán positivas cuando ejerzan un empuje y negativas cuando desempeñen una succión en la superficie sobre la que actúan.

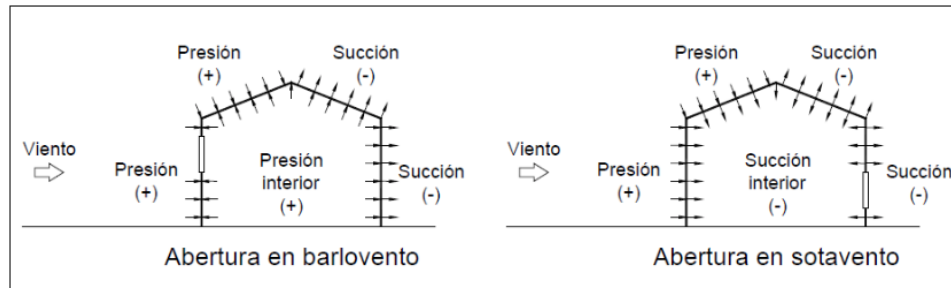


Figura 4.11 Convención de signos para una edificación con dos tipos de aberturas.
(MDOC-Diseño por viento, 2008)

Presiones exteriores

La presión exterior sobre una de las superficies de una construcción cerrada se calcula con la ecuación:

$$P_e = C_{pe} \times K_A \times K_L \times q_z$$

P_e Presión exterior, en Pa.

C_{pe} Coeficiente de presión exterior, adimensional.

K_A Factor de reducción de presión por tamaño de área, adimensional.

K_L Factor de presión local, adimensional.

q_z Presión dinámica de base del viento, en Pa.





En el manual se proporcionan valores del coeficiente de presión exterior, C_{pe} , para muros y techos de construcciones con planta rectangular cerrada en tablas con diferentes condiciones de diseño. En este documento solo mostraremos una tabla con los valores más utilizados en el diseño de sistemas de fachadas con paneles de poliestireno.

Muro	Dirección del viento θ , en grados	d/b	Inclinación del techo γ , en grados	C_{pe}
Barlovento	Normal ($\theta = 0^\circ$) o paralela ($\theta = 90^\circ$) a las generatrices	Cualquiera	Cualquiera	0.8
Sotavento	Normal ($\theta = 0^\circ$) o paralela ($\theta = 90^\circ$) a las generatrices, para techos a cuatro aguas.	≤ 1	$< 10^\circ$	-0.5
		$= 2$		-0.3
		≥ 4		-0.2
	Normal ($\theta = 0^\circ$) a las generatrices, para techos a una o dos aguas	Cualquiera	$10^\circ \leq \gamma \leq 15^\circ$	-0.3
			20°	-0.4
		≤ 0.1	$\geq 25^\circ$	-0.75
		≥ 0.3		-0.5
	Paralela ($\theta = 90^\circ$) a las generatrices, para techos a una o dos aguas	≤ 1	Cualquiera	-0.5
		$= 2$		-0.3
		≥ 4		-0.2

Tabla 4.12 Coeficientes de presión exterior. (MDOC-Diseño por viento, 2008)

La tabla anterior se complementa con la siguiente imagen. Para valores intermedios de d/b y γ , pueden interpolarse linealmente.



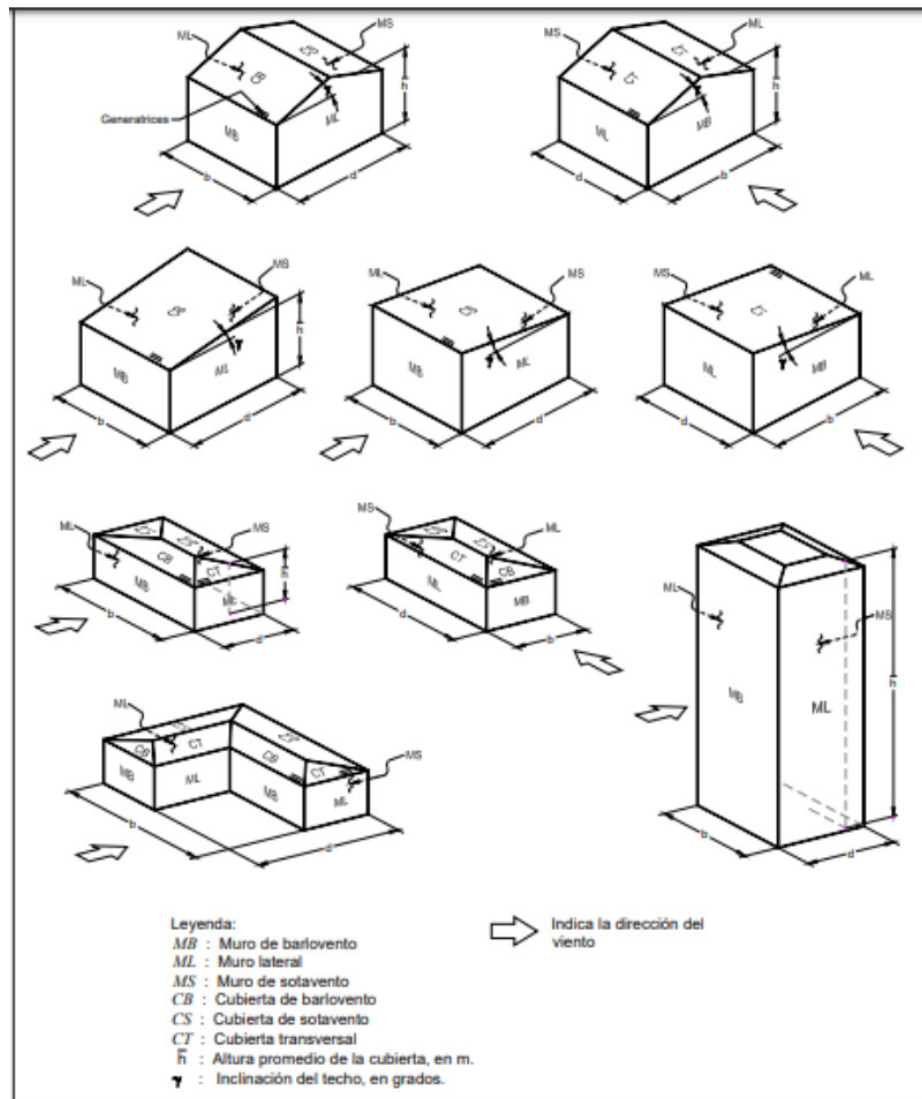


Figura 4.12 Definición de parámetros de construcciones con planta cerrada.
 (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Factor de reducción de presión por tamaño de área, K_A .

Es un factor que solo se aplica a presiones exteriores y depende del área tributaria de diseño. Esta área tributaria es la cual se considera que actúa la presión de diseño sobre estructura principal que sostiene techos y muros laterales, recubrimientos de techos y muros, elementos que sostienen los recubrimientos (tales como los largueros) y sistemas de sujeción de dichos recubrimientos. Este factor no interviene en el diseño de los muros de barlovento y sotavento, por lo que se considera igual a uno.





Área tributaria en m ² A	Factor de reducción K_A
≤ 10	1.0
25	0.9
≥ 100	0.8

Tabla 4.13 Factor de reducción para techos y muros laterales. (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Factor de presión local, K_L .

El factor de presión local también es un factor que se considera solamente en las presiones exteriores. Este factor se utiliza para el diseño de recubrimientos de techos y muros de barlovento y laterales, elementos que soportan los recubrimientos y sistemas de sujeción de los recubrimientos. En los casos que se diseñe la estructura principal de la construcción o se trate del muro de sotavento, este factor también se tomará igual a la unidad.

Para determinar del factor K_L se hace uso de la siguiente tabla con apoyo de las figuras a continuación.

Presión externa	Referencia de las áreas	$\bar{h}$ (m)	Área de afectación A_f (m ²)	Proximidad al borde	K_L
Empuje (+)	MBA1	Cualquiera	$\leq 0.25 a_0^2$	Cualquiera	1.25
Succión (-)	CBA1	Cualquiera	$\leq a_0^2$	$< a_0$	1.50
	CBA2	Cualquiera	$\leq 0.25 a_0^2$	$< 0.5 a_0$	2.00
	CSA3	Cualquiera	$\leq a_0^2$	$< a_0$	1.50
	CSA4	Cualquiera	$\leq 0.25 a_0^2$	$< 0.5 a_0$	2.00
	MLA1	≤ 25	$\leq a_0^2$	$< a_0$	1.50
	MLA2		$\leq 0.25 a_0^2$	$< 0.5 a_0$	2.00
	MLA3	> 25	$\leq 0.25 a_0^2$	$> a_0$	1.50
	MLA4		$\leq a_0^2$	$< a_0$	2.00
	MLA5		$\leq 0.25 a_0^2$	$< 0.5 a_0$	3.00
Todas las otras áreas, empuje o succión.	---	Cualquiera	---	---	1.00

Tabla 4.14 Factor de presión local para recubrimientos y soportes. (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Si un área de recubrimiento está sometida a más de un caso de los indicados en esta tabla, utilice el mayor valor obtenido para tales casos. También cuando el ángulo de inclinación



NOTA: La dimensión "a," debe tomarse como la mínima de 0.2b, 0.2d y $\bar{h}$.

Diagrama de un elemento de hormigón armado tipo "L" con las siguientes dimensiones y etiquetado:

- $\bar{h} \leq 25m$: Altura máxima del elemento.
- d : Longitud total del elemento.
- b : Ancho del elemento.
- a_0 : Distancia desde el extremo hasta el inicio de la zona de desarrollo.
- $a_0/2$: Distancia desde el extremo hasta el centro de la zona de desarrollo.
- $MLA1$, $MLA2$: Etiqueta para la armadura longitudinal superior.
- $MLA1$, $MLA2$: Etiqueta para la armadura longitudinal inferior.
- $CB1$, $CB2$: Etiqueta para la armadura transversal superior.
- $CB1$, $CB2$: Etiqueta para la armadura transversal inferior.
- $MB1$: Etiqueta para la armadura transversal superior.
- $MB1$: Etiqueta para la armadura transversal inferior.

NOTA: La dimensión " a_0 " debe tomarse como la mínima de $0.2b$, $0.2d$ y $\bar{h}$.

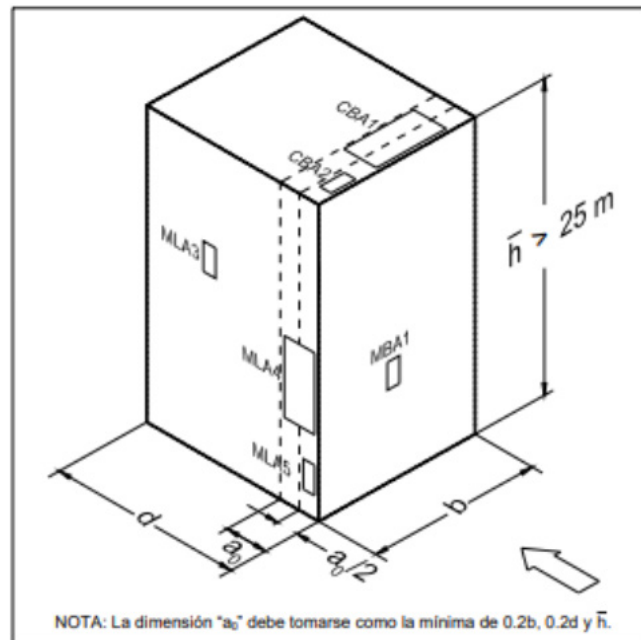


Figura 4.15 Zonas para determinar los factores de presión local para recubrimientos y sus soportes. Construcciones con techo plano y alturas mayores que 25 m. (MDOC-Diseño por viento, 2008)

Presiones interiores

Las presiones interiores se suponen constantes sobre todas las superficies interiores de la construcción y que, para diseñar las estructuras y sus recubrimientos, deberá tomarse en cuenta que las presiones actúan simultáneamente con las exteriores definidas anteriormente.

Para su cálculo se considera la altura promedio de la construcción y se emplea la siguiente ecuación:

$$P_i = C_{pi} \times q_z$$

En donde:

P_i Presión interior, en Pa.

C_{pi} Coeficiente de presión interior, adimensional

q_z Presión dinámica de base, en Pa.





Para el diseño de estas presiones se debe considerar la permeabilidad de la superficie que es el cociente entre el área de las aberturas y huecos y el área total de esa superficie. También se deben considerar aberturas o huecos pequeños como ventilas de ventanas, puertas y ventanas abiertas, ventilas para aire acondicionado y sistemas de ventilación, así como aberturas en los recubrimientos.

Adicionalmente se consideran las aberturas dominantes que se presentan sobre una superficie cuando la suma del área de sus aberturas excede la suma de las áreas de las aberturas de cualquiera de las otras superficies. En estas aberturas no se incluye la permeabilidad. También puede presentarse como resultado de un escenario particular al producirse una abertura mientras otras están cerradas.

Se presentan las tablas y las figuras de apoyo para las presiones interiores:

Condiciones de permeabilidad posibles	C_{pi}
1. Un muro permeable, los otros impermeables: a. Muro de barlovento permeable b. Muro de barlovento impermeable (casos a y b de la Figura 4.1.6, respectivamente)	0.6 -0.3
2. Dos o tres muros igualmente permeables, el (los) otro(s) impermeable(s): a. Muro de barlovento permeable b. Muro de barlovento impermeable (casos c y d de la Figura 4.1.6, respectivamente)	-0.1 o 0.2 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable. -0.3
3. Todos los muros igualmente permeables (caso e de la Figura 4.1.6)	-0.3 o 0.0 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable
4. Construcciones selladas eficientemente y que tengan ventanas que no puedan abrirse (caso f de la Figura 4.1.6)	-0.2 o 0.0 según lo que produzca la combinación de carga más desfavorable

Tabla 4.15 Coeficientes de presión interior para construcciones con planta rectangular cerrada y muros permeables. (MDOC-Diseño por viento, 2008)



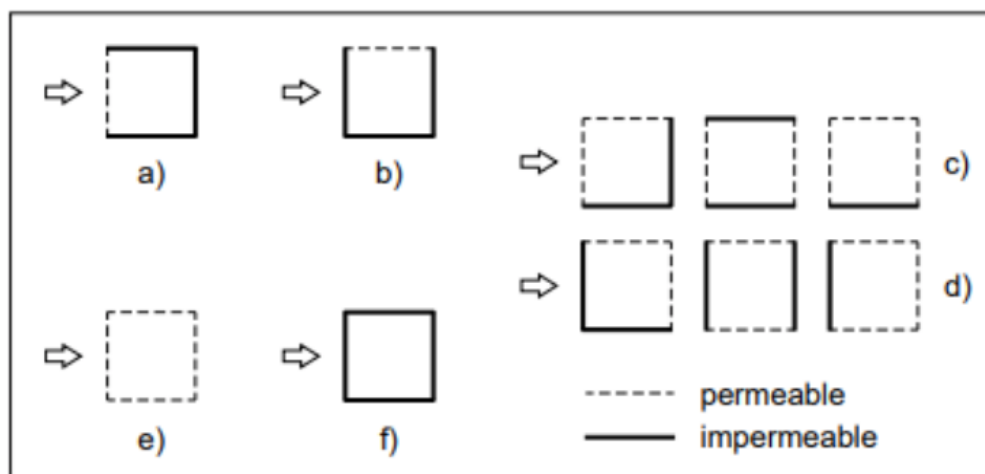


Figura 4.16 Ejemplos que muestran diferentes casos de permeabilidad en muros de edificaciones. La flecha indica dirección del viento. (MDOC-Diseño por viento, 2008)

4.3.3 Condiciones de servicio

Con el objetivo de que la estructura presente condiciones de servicio adecuadas para las funciones para la que fue proyectada, el manual indica un procedimiento para estimar los parámetros permitidos. Dichos parámetros son una guía de desplazamientos para el diseño por condiciones de servicio. Esta tabla hace referencia a varios elementos de la estructura como cubiertas y sus soportes, techumbres, elementos estructurales como columnas, vigas y recubrimientos de muros.

A continuación, se presentan solo los valores correspondientes a ventanas, fachadas y muros tipo cortina.

Elemento	Efecto que controlar	Parámetro de servicio	Acción Aplicada	Condición límite de servicio
Ventanas, fachadas y muros cortina	Daño de fachadas	Deflexión en el centro del claro	Cargas de viento obtenidas para una velocidad con periodo de retorno de 10 o 50 años.	Claro / 250

Tabla 4.16 Condiciones de servicio para elementos diseñados por viento. (MDOC-Diseño por viento, 2008)





4.4 Caso de estudio

A continuación, se presenta un estudio de caso el cual servirá para ejemplificar el proceso de diseño de fachadas empleando el sistema de fachada con paneles de poliestireno IKOS.

ESTRUCTURA DE CONCRETO REFORZADO

- USO: Múltiple vivienda y oficinas.
- UBICACIÓN: Monterrey, Nuevo León.
- NÚMERO DE NIVELES: 28 + 3 sótanos
- Se supondrá que el edificio ya existe, no se tienen los planos estructurales y no se conocen las dimensiones de diseño de los elementos principales (columnas y trabes).
- Se cuentan solo con planos arquitectónicos de alzados de las cuatro caras principales del edificio y un plano de planta tipo.
- GEOMETRÍA DEL EDIFICIO
 - Dimensiones en planta: 53.51 m × 23.70 m
 - Altura total del edificio: 98.65 m sobre el nivel de calle.
 - Altura de entrepisos: 3.5 m
 - Altura entre losas: 3.3 m
 - Altura pretil: 0.65 m
- ANÁLISIS DE CARGA
 - Cargas por viento con base en la metodología del Manual de Diseño de Obras Civiles de CFE.
- ANÁLISIS SÍSMICO
 - El análisis sísmico del edificio no entra dentro del alcance de este documento.
- En los muros que aplique, se propondrá el panel de poliestireno que cumpla con los requerimientos del reglamento elegido.
- Se hace uso de hojas de cálculo para la obtención de las acciones de diseño y de los resultados.





4.4.1 MEMORIA DE CÁLCULO

CONSIDERACIONES GENERALES

Para el cálculo del proyecto estructural del edificio de uso mixto (oficinas y vivienda) ubicado en Monterrey, Nuevo León, se siguieron los lineamientos del Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Viento de la Comisión Federal de Electricidad; (MDOC-Diseño por viento, 2008).

DATOS

Descripción: Se trata del diseño de una fachada con el sistema de paneles aislantes “IKOS”, que servirá de recubrimiento para una edificación cuya altura aproximada es de 98.65 m sobre el nivel de calle, con lo anterior y considerando la geometría, altura de los entresijos, ubicación regional, y la intensidad de los vientos de la zona se propone el uso del panel aislante “IKOS NOVIDESA de 15 cm de espesor y canal interno de 12 cm en CAL. 20”.

Ubicación: Monterrey, Nuevo León.



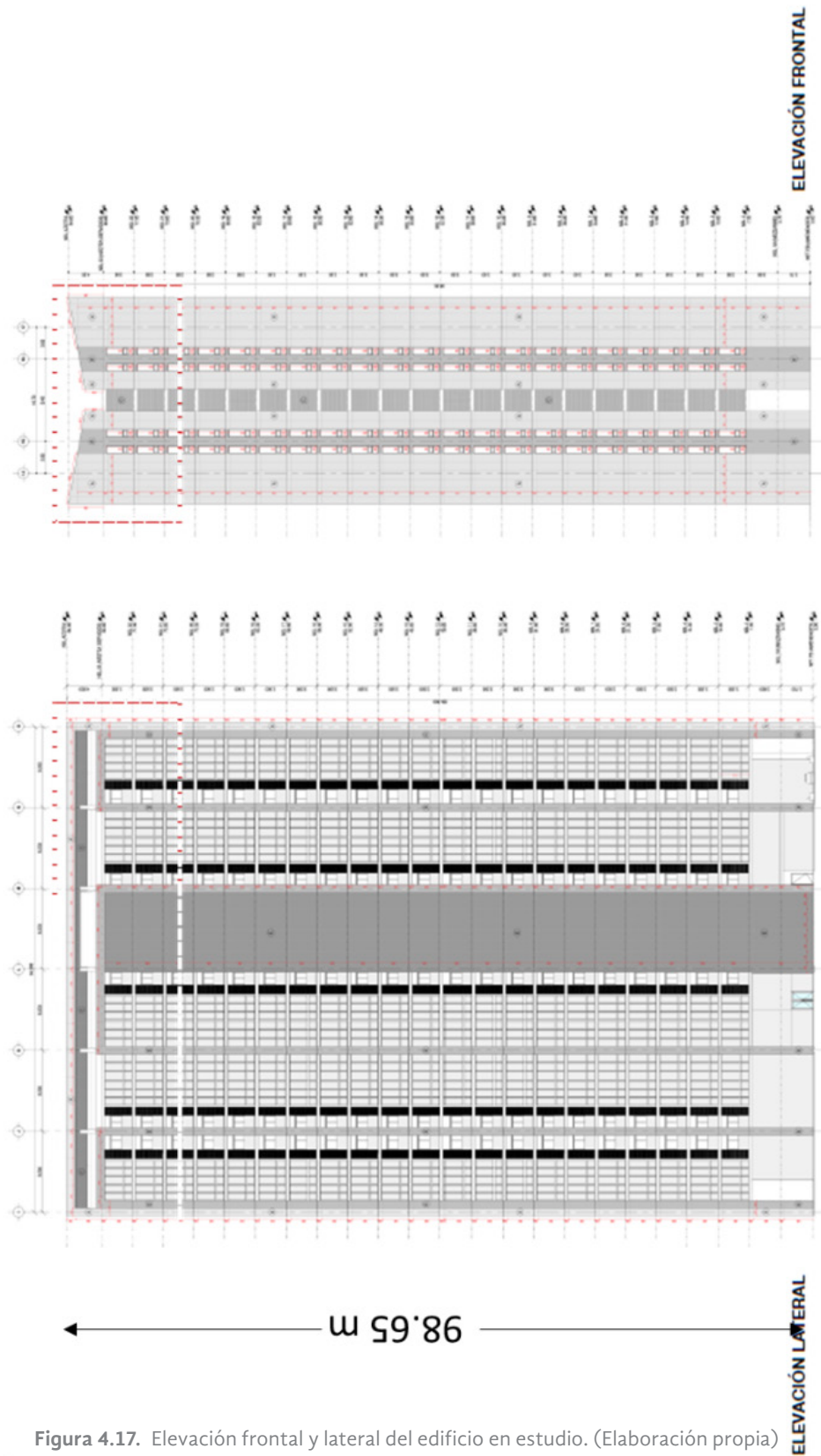


Figura 4.17. Elevación frontal y lateral del edificio en estudio. (Elaboración propia)





PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES

Acero:

- Clasificación del galvanizado: *G-60*
- Resistencia a la tensión: *2,530 kg/cm²*
- Peso volumétrico: *7,800 kg/m³*
- Módulo de Elasticidad (E): *2'039,000 kg/cm²*
- Coeficiente de Poisson: *0.3*
- Módulo de Cortante (G): *784,230 kg/cm²*

DISEÑO POR ESTADOS LÍMITE DE FALLA Y DE SERVICIO

Factores de carga

- Acciones gravitacionales: *1.3/1.5*
- Acciones accidentales: *1.1*

Factores de reducción de resistencia

- Material: *Concreto*
- Flexión: *0.90*
- Cortante y torsión: *0.75*

Estados límite de servicio

- Deflexión *L/250*

Estados límite de falla

Se revisó que las resistencias reducidas fueran mayores que las cargas máximas probables factorizadas.

ANÁLISIS DE CARGAS POR VIENTO

Análisis Estático

Para efecto de conocer los elementos mecánicos que actuarán en la fachada del inmueble, se realizará el análisis de viento para la obtención de las fuerzas siguiendo los procedimientos indicados en el MDOCV-2008.





1. Clasificación de la estructura

- Según su importancia Grupo B
- Según su respuesta Tipo 1

$$\lambda = \frac{\text{Altura total}}{\text{Menor dimensión en planta}} = \frac{98.65 \text{ m}}{23.70 \text{ m}} = 4.16 < 5$$



Figura 4.18 Vista en planta del edificio con sus dimensiones principales. (Elaboración propia)

2. Velocidad regional (V_R)

Se determina la velocidad regional de la ráfaga de acuerdo con el sitio en donde se construirá la estructura. Se considera un periodo de retorno de 50 años.

Estado:	NUEVOLEON	LONG	LATITUD	Tr10	Tr50	Tr200	Q5	Q15
Ciudad:	MONTERREY	-100.3	25.67	123	143	160	164	175

Tabla 4.17 Velocidad Regional (Elaboración propia)

$$V_r = 143 \text{ km/hr}$$

3. Categoría del terreno según su rugosidad

Se eligió un terreno *categoría 3*, el cual corresponde a un terreno cubierto por numerosas obstrucciones estrechamente espaciadas. Por ejemplo, zonas urbanas y suburbanas.





4. Factor de exposición (F_{rz})

Este factor establece la variación de la velocidad con la altura en función de la categoría del terreno.

$$F_{rz} = c \quad \text{si } z \leq 10$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad \text{si } 10 < z < \delta$$

$$F_{rz} = c \left(\frac{\delta}{10} \right)^\alpha \quad \text{si } z \geq \delta$$

dónde:

z es la altura de referencia por encima del terreno natural, en m,

α el exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura, adimensional, y

c el coeficiente de escala de rugosidad, adimensional.

Los valores seleccionados se muestran a continuación:

Categoría del terreno	α	δ (m)	c
1	0.099	245	1.137
2	0.128	315	1.000
3	0.15	390	0.881
4	0.170	455	0.815

Tabla 4.18 Valores de α , δ y c (MDOC-Diseño por viento, 2008)

5. Factor de topografía (F_T)

Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura. Los valores seleccionados se muestran a continuación:

Sitios	Ejemplos de topografía local	F_T
Protegidos	Valles cerrados	0.9
Normales	Terreno prácticamente plano: Campo abierto, ausencia de cambios totopográficos importantes, con pendientes menores de 5%.	1.0
Expuestos	Promotorios: Montes, cerros, lomas, cimas, colinas, montañas.	Véanse las ecuaciones (4.2.6 a 4.2.8)
	Terraplenes: Peñascos, acantilados, precipicios, diques, presas.	

Tabla 4.19 Factor de topografía local. (MDOC-Diseño por viento, 2008)





6. Determinación de la velocidad básica de diseño (V_D)

Esta es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre una componente de esta.

La velocidad básica de diseño en km/hr se obtiene con la siguiente ecuación:

$$V_D = F_T F_{rz} V_R$$

7. Presión dinámica de base (q_Z)

La presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él, se denomina presión dinámica de base, en Pa, y se determina con la siguiente ecuación.

$$q_Z = 0.047 G V_D^2$$

8. Presión actuante sobre la estructura (p_Z)

La presión actuante sobre una construcción determinada p_Z , en Pa, se obtiene tomando en cuenta su geometría y está dada por:

$$\begin{aligned} p_Z &= C_p q_Z \\ C_p &= (p_e - p_i) \\ p_e &= C_{pe} \times K_A \times K_L \end{aligned}$$

en donde C_p es el coeficiente de presión. Para el análisis de la fachada empleamos dos coeficientes de presión el coeficiente de presión exterior igual a 0.8 y el coeficiente de presión interior con un valor de -0.3.

Además de las consideraciones anteriores es necesario considerar en el diseño los coeficientes de reducción por tamaño del área K_A , y el factor de presión para recubrimientos y sus soportes K_L , con valores de 1.0 y 1.25 respectivamente.





Dentro del análisis se consideró una presión por acabados adicional del 15 kg/m² misma que se suma a la presión actuante del viento considerándolo la condición más desfavorable.

A continuación, se presenta una tabla resumiendo los resultados del análisis empleando los datos mencionados anteriormente y un gráfico de la curva de presión de viento.

H ENTREPISO 3.5 m

Nivel	z (m)	K_{rz}	Vd (km/hr)	q_z (Pa)	p_z (Pa)	p_a (Pa)	p_e (Pa)
1	3.50	0.881	125.98	713.38	927.39	147.15	1074.54
3	10.50	0.888	126.95	724.32	941.61	147.15	1088.76
5	17.50	0.961	137.48	849.47	1104.31	147.15	1251.46
7	24.50	1.013	144.88	943.49	1226.54	147.15	1373.69
9	31.50	1.054	150.68	1020.45	1326.58	147.15	1473.73
11	38.50	1.087	155.47	1086.38	1412.29	147.15	1559.44
13	45.50	1.116	159.57	1144.50	1487.86	147.15	1635.01
15	52.50	1.141	163.18	1196.76	1555.79	147.15	1702.94
17	59.50	1.164	166.39	1244.42	1617.75	147.15	1764.90
19	66.50	1.184	169.31	1288.36	1674.87	147.15	1822.02
21	73.50	1.203	171.97	1329.23	1728.00	147.15	1875.15
23	80.50	1.220	174.43	1367.50	1777.75	147.15	1924.90
25	87.50	1.236	176.71	1403.54	1824.60	147.15	1971.75
27	94.50	1.251	178.85	1437.65	1868.94	147.15	2016.09
28	98.00	1.258	179.86	1454.05	1890.27	147.15	2037.42
H max	98.65	1.259	180.05	1457.06	1894.17	147.15	2041.32

Tabla 4.20 Resultados de análisis estático. (Elaboración propia)



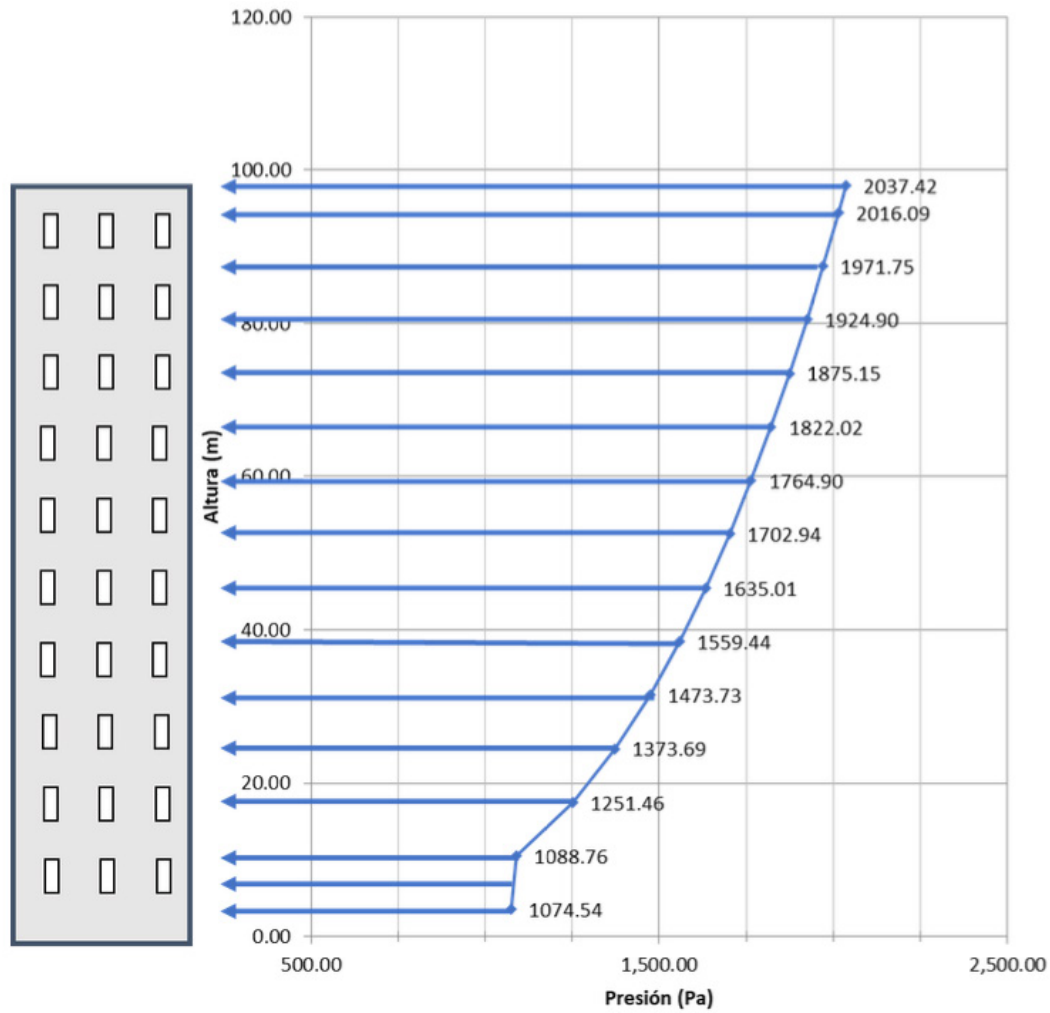


Figura 4.19 Curva de presión de viento. (Elaboración propia)

De acuerdo con el capítulo 4.4 Análisis Dinámico, apartado 4.4.1 Limitaciones. Las fuerzas y presiones actuantes sobre algunas de las partes o subsistemas, como tramos de muros o cubiertas, deben determinarse mediante el análisis estático.

Por lo que la información de la tabla de resultados de análisis estático se emplea para la evaluación de los efectos del viento sobre el muro exterior. Para la determinación de la resistencia de la sección se analizó considerando una franja unitaria de 0.3 m de ancho por 3.30 m de altura como máximo (altura entre losas), con lo que se logró obtener los esfuerzos y módulo de sección necesarios cumpliendo los requerimientos solicitados.





Aplicación paneles de poliestireno en fachadas

Cálculo de momento actuante sobre el muro IKOS de 15 cm inserto de 12 cm en CAL 20

P_z (pa)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Carga (N)
2041.32	3.30	0.30	0.99	2020.91

Carga (Kg)	Carga (Kg/m)	M máx (Kg - m)	Módulo de sección (cm ³)
226.68	68.69	93.51	6.63

Tabla 4.21 Momento actuante. (Elaboración propia)

Momento resistente del muro IKOS de 15 cm inserto de 12 cm en CAL 20

Cálculo de la resistencia a flexión de una sección C rolada en frío.		
Propiedades de la sección (cm)		
H =	11.80	cm
Bsup =	4.20	cm
Binf =	4.20	cm
Hsup =	0.60	cm
Hinf =	0.60	cm
t =	0.091	cm
Materiales		
fy =	2530	kg/cm ²
E =	2039000	kg/cm ²
Inercia de la sección		
Ix =	37.56	cm ⁴
Módulo de sección		
Sx =	6.37	cm ³
Determinación del momento resistente por el LRFD		
Mr =	100.98	kg-m

Tabla 4.22 Momento resistente. (Elaboración propia)





El momento máximo resistente es de 100.98 km-m, por lo que la propuesta inicial de emplear un panel **IKOS de 15 cm con poste metálico de 12 cm en CAL. 20**, es correcta. A continuación, se enlistan las propiedades geométricas y mecánicas del canal interno con que cuenta el panel.

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DEL PERFIL IKOS NOVIDESA														
Peralte del Perfil	Ancho del Perfil	Pestaña de Rigidez	Área	Calibre	Peso Teórico	Espesor de la Lamina	Esfuerzo de Fluencia	Momento de Inercia		Radio de Giro		Modulo de Sección		
H (Altura)	B (Base)	H (Muñón)	A (cm ²)	No.	kg / m	e (cm)	Fy (kg/cm ²)	I (cm ⁴)		R (cm)		S (cm ³)		
(cm)	(cm)	(cm)						Ix	Iy	Rx	Ry	Sx	Sy	
P-12	11.8	4.2	0.6	1.52	20	1.19	0.091	2530	37.56	3.31	4.62	1.41	6.37	1.17

Tabla 4.23 Propiedades del poste de 12 cm calibre 20. (Elaboración propia)

De las tablas anteriores observamos que el panel aislante IKOS NOVIDESA de 15 cm de espesor con canal interno de 12 cm en calibre 20, trabajara al 93% de su capacidad en función de la velocidad de viento de la región en estudio. Por lo que cumple con los requisitos de resistencia.

Con lo anterior se procede a realizar la revisión del canal interno por deformación.

Carga actuante				
W	0.624	kg/cm		
Propiedades de la sección				
E	2039000	kg/cm ²		
I _x	37.56	cm ⁴		

Perfil	Long. (cm)	Deformación (mm)	Ratio	L/250 (mm)
12 cm cal. 20	330	12.59	95.39%	13.2

Tabla 4.24 Revisión de estados límite de servicio. (Elaboración propia)

La deformación máxima permisible es de 13.2 mm, por lo que el canal interno propuesto cumple con los requerimientos de deformación, mismo que se delimitara hasta una altura máxima de 3.30 m.



4.4.2 Detalles constructivos



Figura 4.20 Render de proyecto (Elaboración propia)

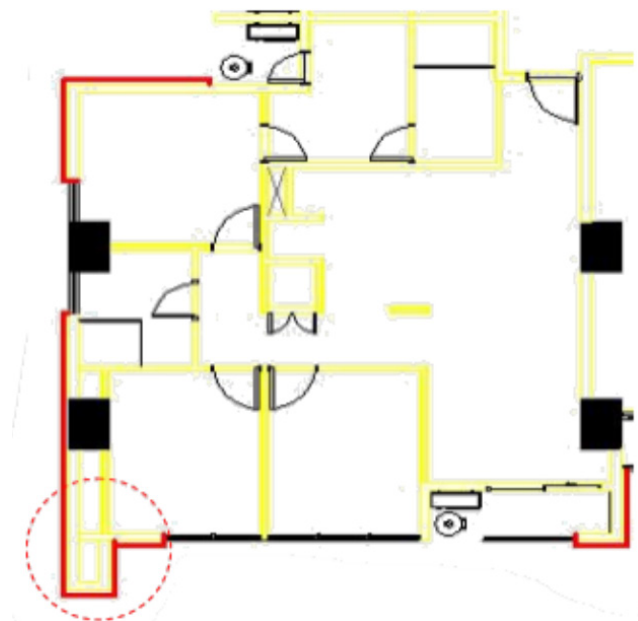


Figura 4.21 Vista en planta de área de aplicación de paneles para fachada. (Elaboración propia)

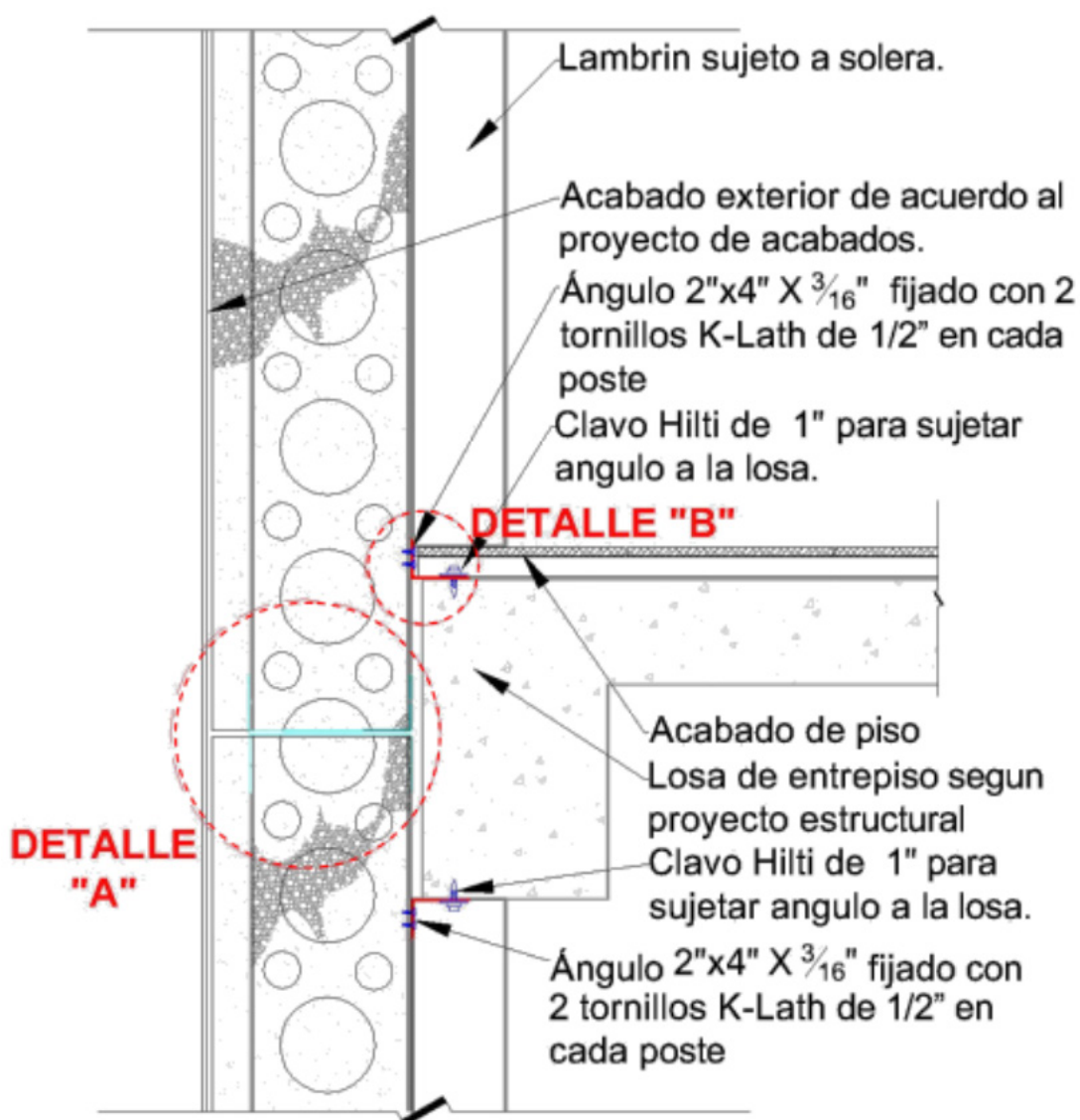


Figura 4.22 Sección en fachada. (Elaboración propia)



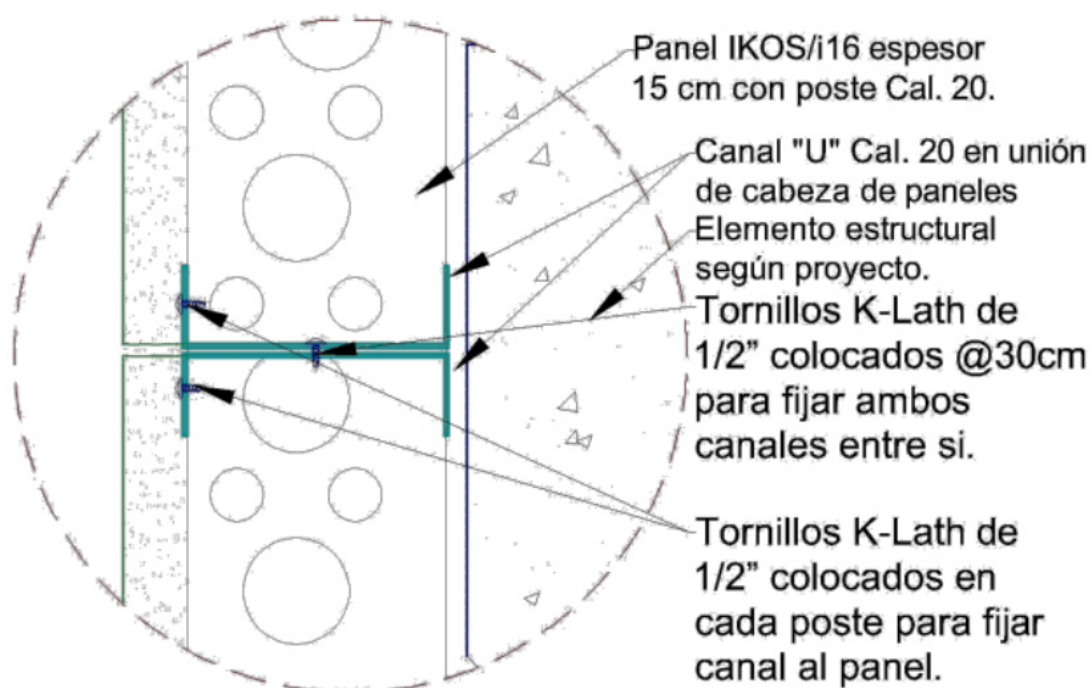


Figura 4.23 Detalle A. (Elaboración propia)

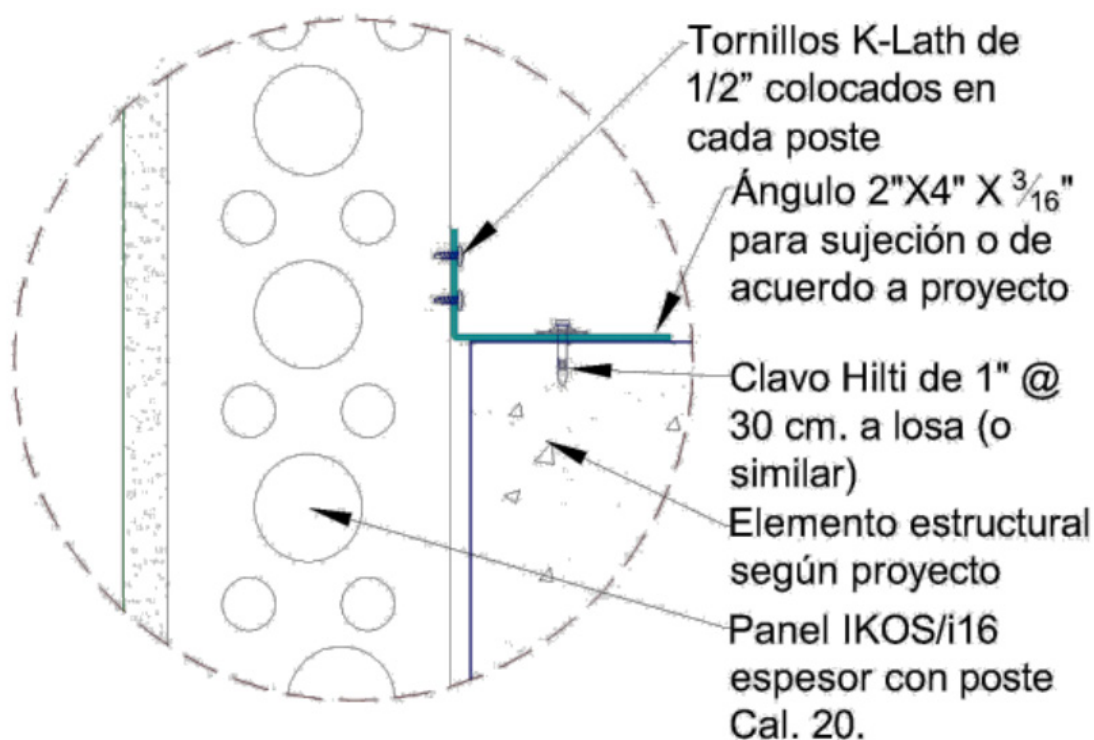


Figura 4.23 Detalle B. (Elaboración propia)



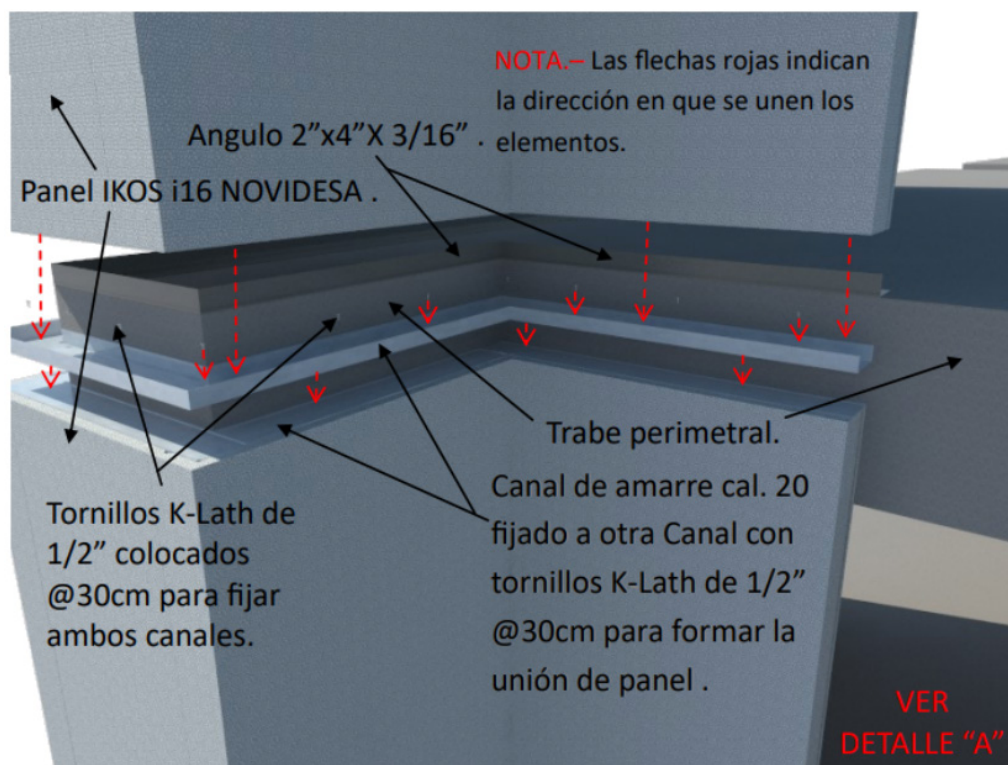


Figura 4.24 Vista exterior de elementos de fachada con paneles de poliestireno. (Elaboración propia)

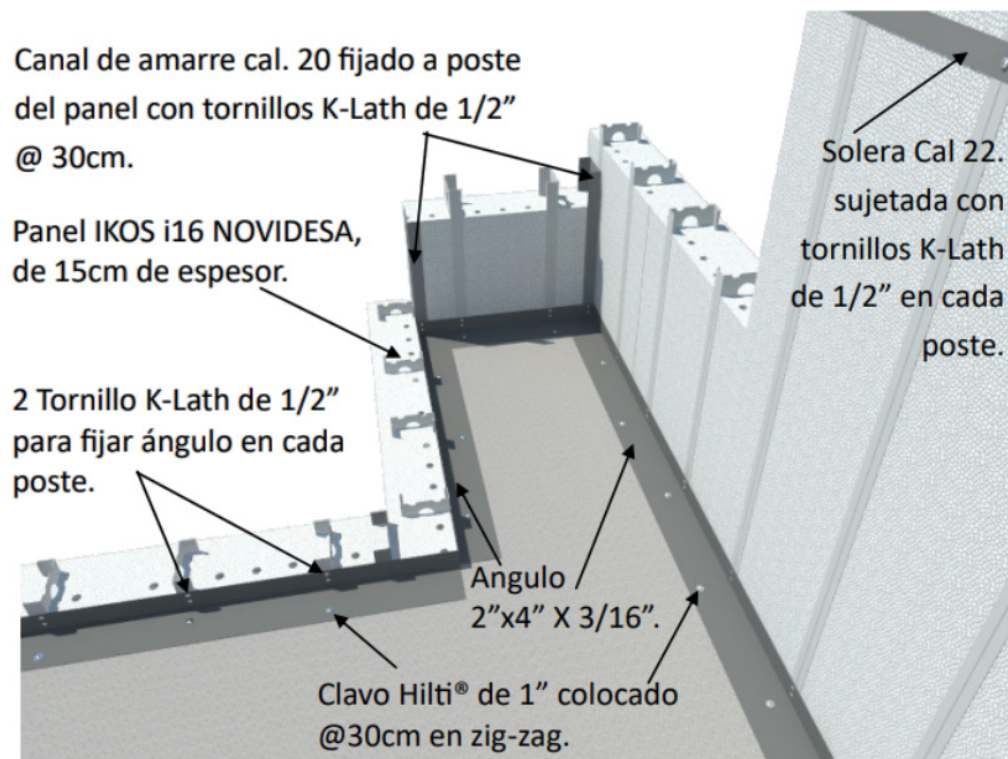


Figura 4.25 Vista interior de elementos de fachada con paneles de poliestireno. (Elaboración propia).



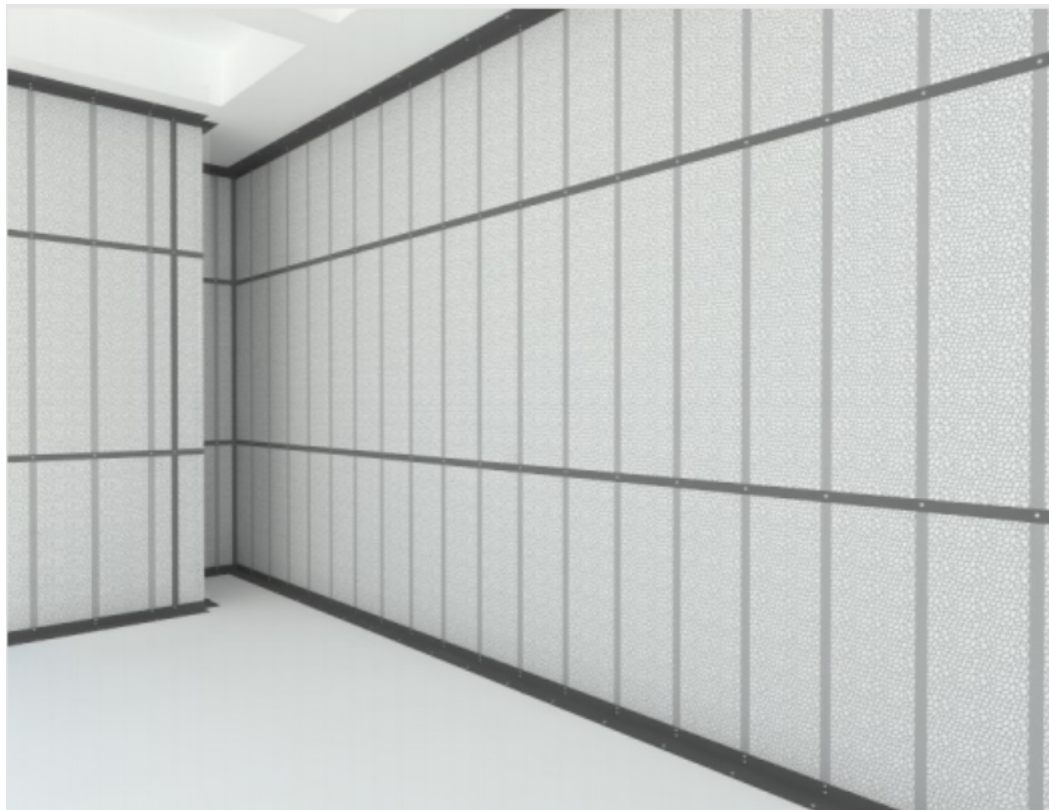


Figura 4.26 Vista interior de panel prefabricado de poliestireno aplicado en fachada. (Elaboración propia)



CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

Se evaluó la capacidad resistente del panel de poliestireno aplicado en fachadas para comprobar que cumple con los lineamientos de diseño por viento del Manual de Obras Civiles de la Comisión Federal de Electricidad. Dando pleno cumplimiento a dichos lineamientos podemos concluir que efectivamente los panales tienen la facultad de desempeñar las necesidades que les exija el mercado de la construcción de vivienda e infraestructura. Se vuelve un sistema competitivo al tener las características de termicidad, instalación rápida, menor desperdicio generado y el comfort acústico propio del material con el que se fabrican estos paneles.

En el estudio de caso se corrobora que el panel de poliestireno lcos de 15 centímetros con poste interno de 12 centímetros de calibre 20 cumple las condiciones de estados límite de servicio y de carga de viento teniendo una deformación al centro del panel de 12.59 mm considerando la altura más crítica que es de 98.65 metros sobre el nivel de calle.





CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES

La población mundial se estima en más de 7,000 millones de habitantes y tiene una proyección para el 2050 que supere los 9,600 millones de habitantes (United Nations, 2019). Principalmente se dará este crecimiento en países en desarrollo debido a mejores condiciones de vida, mejores condiciones de salud, educación y alimentación. Para América Latina y el Caribe este crecimiento poblacional ha sido destacadamente en los centros urbanos, acompañado por la llegada de migrantes europeos y el crecimiento económico que ha tenido la región. Las proyecciones indican que para el año 2040, la región de América Latina superará la población en Europa, tan solo detrás de Asia y África (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016). A pesar de que las tasas de crecimiento poblacional ha venido disminuyendo (Tasa de crecimiento anual en México 1.293% (Banco Mundial, 2015)), el crecimiento que se tuvo en la década de los treinta y cuarentas, ha mantenido en valores absolutos el crecimiento de la zona.

El crecimiento poblacional se asentó en las áreas metropolitanas (80% de los habitantes) por diversos factores impulsores (desempleo en la zona rural, cambios en la agricultura, desplazamiento, violencia, etc.) y factores de arrastre (acceso a mejores oportunidades de empleo, de educación, de servicios de salud y posibilidad de movilidad socioeconómico); este crecimiento económico demográfico en las zonas urbanas ha creado un déficit de infraestructura de servicio y principalmente de vivienda formal y adecuada (asentamientos informales).

Esta es una realidad que también se vive en las ciudades del país, el cambio de lo rural a lo urbano, de lo agrícola a lo industrial ha sido la constante. Las ciudades conforman los centros de desarrollo y motor de la economía del país, por lo tanto también concentran la mayor parte de los recursos de la nación. En contraparte las zonas rurales y suburbanas





sufren de un rezago económico notable. México también afronta el reto de la creación de nuevos espacios urbanos y el equipamiento de estos para responder a la explosión demográfica que se vive. Se planteó hacer uso de tecnologías industrializadas para la construcción, para afrontar este reto, para ello se utilizaron materiales de construcción de forma racional y mecanizada, producidos en serie, mejorando así las etapas de planeación y logística, aumentando la eficiencia y productividad del método constructivo, por ello es importante estudiar, analizar y comparar los sistemas constructivos para optimizar sus usos y aplicaciones.

A partir del uso de la tecnología industrializada la prefabricación ha jugado un papel predominante, esto consiste en la producción de un material o elemento en un lugar distinto al de su posición final. Este debe ser un sistema constructivo coherente que satisfaga las necesidades de resistencia, durabilidad, comfort y requerimientos normativos. Puede combinarse en la construcción con sistemas tradicionales o remplazar totalmente estos sistemas, pudiendo emplearse en diferentes niveles de prefabricación a lo largo de toda la etapa constructiva del proyecto.

La industria química ha impulsado el uso del poliestireno expandido (EPS) en la construcción aplicado en paneles prefabricados para sistemas de entrepiso y sistemas de fachadas, que, por su elevada capacidad térmica, su ligereza y sus propiedades mecánicas, lo hacen un material atractivo para los nuevos mercados. Entre sus principales características son: su peso ligero, nula absorción de agua, variedad de moldeo final, su vida útil, sus propiedades de aislamiento térmico, acústico y absorción de energía producidas por golpes y vibraciones.

Se cumplió el objetivo específico de describir las características, propiedades y aplicaciones de los sistemas de entrepiso que emplean prefabricados, así como los sistemas de fachadas que son más comunes en la construcción de nuestro país.

Se predominó el análisis y uso de los paneles de poliestireno aplicado a sistemas de entrepiso en el cual consisten en utilizar paneles de poliestireno expandido como una cimbra permanente en las losas moldeando el concreto estructural. Estos paneles permiten dar forma a las nervaduras unidireccionales integradas a una capa de compresión formando un





diafragma monolítico de concreto armado. Entre sus características principales destacan su peso por metro cuadrado de sistema con concreto que va desde los 180 kg/m² a los 300 kg/m², que corresponde al panel de 15 centímetros de peralte y al de 32 centímetros, respectivamente.

El análisis de este sistema en particular se hace a semejanza con una losa unidireccional, es decir, que trabaja en la dirección perpendicular de los apoyos principales. Su comportamiento es como trabes paralelas e independientes de un ancho unitario pero que se flexionan de manera análoga. Por lo tanto, su diseño es similar al de una trabe de concreto armado. Este sistema se compone del panel de poliestireno, acero de refuerzo de nervaduras y capa de compresión con acero de refuerzo.

Como resultado de este análisis de diseño de losas unidireccionales con paneles de poliestireno, se elaboró un diagrama de flujo con el proceso de diseño de nervaduras de este sistema. Que incluye en su parte inicial la etapa de descripción del proyecto que es la clasificación de este, las propiedades de los materiales a emplear y la definición de cargas. Posteriormente se emplean los factores de carga y sus combinaciones para determinar las más desfavorables. Se hace una revisión de los tableros para determinar nervaduras tipo y si son con claros combinados. A continuación, se determinan los esfuerzos resultantes y se propone un armado que cumpla la revisión por flexión, cortante, cambios volumétricos, y estados límite de servicio.

En el caso de estudio se buscó hacer una propuesta de panel y diseño de nervaduras para un edificio de uso de oficinas de seis niveles. La propuesta resultó en emplear un panel de 25 centímetros más una capa de compresión de 6 centímetros para cumplir con las demandas de carga y resistencia. En la nervadura 1 y 2, en el entre eje A y B, requirió emplear una contraflecha para equilibrar la deformación que se presentaba. Esta propuesta brinda las ventajas de una construcción rápida, con aislamiento térmico, confort acústico, instalación sencilla, piezas cortadas a la medida de los tableros y el cumplimiento de los lineamientos de diseño y análisis del Reglamento de Construcción del Distrito Federal y sus Normas Técnicas para los estados de falla y de servicio.





El sistema de fachadas se compone del panel de poliestireno expandido, el poste lkos metálico que le da la capacidad y resistencia, sus accesorios de fijación como el canal, los ángulos, solera y tornillería; y la malla de fibra de vidrio y los acabados finales del muro. Para su diseño y especificación correcta, se hace una revisión de resistencia por cargas de viento con base en los lineamientos estipulados en el Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por Viento (2008) de la Comisión Federal de Electricidad. Se emplea el análisis estático y la metodología expuesta en el manual para la selección del panel a utilizar y revisión de los estados límite de falla y de servicio que estén dentro de los rangos permisibles. Esta metodología incluye la clasificación de la estructura, determinación de la velocidad regional, así como de factores de exposición y topografía local, velocidad básica de diseño y establecer las presiones actuantes sobre la fachada de panel de poliestireno y su revisión de estados límites.

El caso de estudio consistió en proponer el panel de poliestireno expandido que cumpla los requerimientos para un edificio de vivienda en la ciudad de Monterrey en el estado de Nuevo León. El panel resultante fue uno de 15 centímetros de espesor con poste lkos de 12 centímetros en calibre 20 para el mayor esfuerzo resultante por la carga de viento. Este panel trabajará al 93% de su capacidad y tendrá una deformación máxima de 12.59 milímetros que está dentro de los rangos permisibles para fachadas y muros cortina. Finalmente se mostraron detalles constructivos afines al proyecto en estudio.

En el estudio de los paneles prefabricados de poliestireno expandido aplicados en sistemas de fachadas se constató que su aplicación es de un muro ligero y de recubrimiento, empleándolos consecutivamente uno del otro, dando cuerpo al muro exterior o fachada de la edificación. De sus características sobresaltan su ligereza, su aislamiento acústico y térmico, su facilidad para alojar instalaciones, piezas ajustadas al proyecto y su compatibilidad con otros sistemas.

Durante esta experiencia laboral las ventajas que detecto en el empleo de prefabricados de poliestireno son el aumento en la calidad de los materiales al fabricarse en una planta que sigue estándares de calidad en sus procesos de fabricación, también resalto la reducción de tiempos montaje y habilitación que se puede traducir en reducción de costos, esto





por la ligereza de los paneles. Se pudo comprobar, durante la experiencia en campo, que estos paneles fomentan una construcción rápida, sencilla y limpia. Así como una facilidad para su instalación por la reducción de pasos constructivos en comparación con sistemas similares. Igualmente, el poder alojar los ductos de instalaciones, los ajustes requeridos en obra y que las piezas se entregan cortadas a medida del proyecto son otra ventaja que detecto del uso de estos sistemas. Finalmente, puedo concluir que el uso de paneles de poliestireno en los sistemas de entrepiso y de fachadas son una alternativa viable para la construcción de vivienda e infraestructura de servicios que demandan las zonas urbanas y suburbanas de nuestro país debido a que cuentan con una gran compatibilidad constructiva con la mayoría de los sistemas constructivos y que su diseño da pleno cumplimiento a la normativa mexicana en materia de entrepisos y fachadas.

Se han expuesto las actividades realizadas durante la experiencia laboral en el Área Técnica en Novidesa donde se aplicaron los conocimientos adquiridos durante la formación académica en el área de matemáticas y física principalmente, la cuales proporcionaron las herramientas para desarrollar y afrontar los retos que demanda la vida profesional dentro de la Ingeniería Civil; tales como como la participación activa en las etapas de planeación, diseño, organización, construcción, operación y conservación de obras civiles y de infraestructura. Gracias a esta experiencia laboral se desarrollaron otro tipo de habilidades importantes dentro de la Ingeniería Civil como la comunicación, organización, el trabajo y estrategias de equipo y la gestión de proyectos enfocados en sus resultados.





REFERENCIAS

- Garza, G., & Rivera, S. (1990). Desarrollo económico y distribución de la población urbana en México, 1960-1990. *Revista Mexicana de Sociología*, 177-212.
- ACI-318. (2011). *Building code requirements for structural concrete and commentary*, American Concrete Institute. Estados Unidos: Farmington Hills.
- APCadoquin. (2010). *Block de concreto*. Obtenido de APCadoquin Web site: <https://www.apcadoquin.com.mx/>
- Área Técnica Novidesa. (2010). *Manual Técnico de Capacitación*. Ciudad de México: Novidesa.
- Área Técnica Novidesa. (2019). *Fichas técnicas Novidesa*. Obtenido de Novidesa Web site: <http://www.novidesa.com.mx>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). *Guía metodológica del Programa de Ciudades Emergentes y Sostenibles*. División de Vivienda y Desarrollo Urbano . Banco Interamericano de Desarrollo.
- Banco Mundial. (2015). *Acceso abierto y gratuito a datos sobre el desarrollo mundial*. Obtenido de Datos de libre acceso del Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/>
- Bellis, M. (6 de Enero de 2020). *A History of Polystyrene and Styrofoam*: . Obtenido de Thought Co. Web site: <https://www.thoughtco.com/invention-of-polystyrene-and-styrofoam-1992332>
- Blachère, G. (1977). *Tecnologías de la construcción industrializada*. Barcelona: Gustavo Gili.





Bubbledeck UK . (2 de Junio de 2008). *Bubbledeck Technical Manual & Documents*.
Obtenido de Bubbledeck Web site: <http://www.bubbledeck-uk.com/>

CEMPOSA. (30 de Enero de 2014). *Ficha Técnica losa alveolar*. Obtenido de CEMPOSA Web
site: <http://cemposa.mx/>

CEMPOSA. (30 de Enero de 2014). *Guía de instalación*. Obtenido de CEMPOSA Web site:
<http://www.cemposa.mx/>

CEPAL. (1996). *La producción de vivienda en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile:
CEPAL.

Cilimex. (23 de Febrero de 2019). *Casetón de fibra de vidrio*. Obtenido de Cilimex Web Site:
<https://cilimex.com/>

Contigiani Ziccardi, A. (1988). *Política urbana e Industria de la construcción: El caso de
la obra pública en la Ciudad de México 1976-1982 (Tesis de Doctorado)*. Ciudad de
México: Universidad Nacional Autónoma de México.

González, O. (2005). *Aspectos fundamentales de concreto reforzado*. Ciudad de México:
Limusa.

Hiernaux-Nicolas, D. (1998). La economía de la ciudad de México en la perspectiva de la
globalización. *Economía, Sociedad y Territorio*, 671-693. Obtenido de [https://www.
redalyc.org/articulo.oa?id=111/11110403](https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=111/11110403)

HILTI. (2015). *Ficha técnica Clavo X-U*. Ciudad de México.

Homedepot. (2006). *Productos: tornillería hexagonal punta de broca*. Obtenido de
Homedepot Web site: <https://www.homedepot.com.mx/>





- Institutro Mexicano del Transporte. (2016). *Evaluación de las propiedades mecánicas del poliestireno expandido*. Queretaro: Secretaria de Comunicaciones y Transporte.
- Inzunza Monzón, S. E. (2009). *Industrialización en la construcción de viviendas (Tesis de Maestría)*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mac Donell, H. M., & Mac Donell, H. P. (1999). *Manual de Construcción Industrializada*. Buenos Aires: REVISTA VIVIENDA SRL.
- MDOC-Diseño por viento. (2008). *Manual de Diseño de Obras Civiles: Diseño por viento*. México: Comisión Federal de Electricidad, Instituto de Investigaciones Eléctricas.
- Novaceramic. (2015). *Tabimax*. Obtenido de Novaceramic Web site: http://www.novaceramic.com.mx/R_5Tabimax%2015.html
- NTC-CONCRETO. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- NTC-CRITERIOS. (2017). *Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- NTC-SISMO. (2017). *Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ciudad de México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- Olmos Lugo, I. (2004). *Crecimiento económico, urbanización y concentración urbana en México 1970-2001: Una aproximación por series de tiempo (Tesis de Maestría)*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.





- Ossa López, A. (2009). *Comportamiento mecánico del poliestireno expandido (EPS) bajo carga de compresión (Tesis de Doctorado)*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Panel W. (2012). *Panel W Premium Polyurethane*. Obtenido de Panel W Web site: <http://panelw.com/>
- Perez Estañol, M., & Ochoa, R. (2006). Prefabricación, base del cambio en la construcción. *Construcción y tecnología*, 36-43.
- RCDF. (2017). *Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. Ciudad de México: Gaceta oficial de la Ciudad de México.
- Satterthwaite, D. (2008). La transición a un mundo predominantemente urbano. Tendencias y fundamentos. *Medio Ambiente y Urbanización (Mayu)*.
- Sodimac. (2018). *Productos: Tabique rojo*. Obtenido de Sodimac Web site: <https://www.sodimac.com.mx/>
- United Nations. (2019). *World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423)*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. United Nations.
- USG. (2006). *Productos: Tornillo tipo S marca Tornirock*. Obtenido de USG Web site: <https://www.usg.com/content/usgcom>
- Wogau Chong, H. W. (2008). *Ingresos extras para la industrialización de la construcción, análisis de una propuesta: La pequeña generación eléctrica dentro de la construcción de vivienda en México (Tesis de Maestría)*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Yu, W., LaBoube, R. A., & Chen, H. (2010). *Cold-formed steel design*. Missouri: John Wiley & Sons, Inc.

