

UNIVERSIDAD AUTONOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA



“DESCRIPCION DE DAÑOS MENORES DE UNA ESTRUCTURA DE  
ACERO AFECTADA POR EL HURACAN WILLMA, EN CANCÚN QUINTANA  
ROO, MÉXICO”

M E M O R I A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

PRESENTA:

IGNACIO VENANCIO RAMÍREZ

ASESOR:

INGENIERO JOSÉ ALBERTO GUTIÉRREZ PALACIOS

TOLUCA MÉXICO

OCTUBRE DE 2013



**UAEM** | Universidad Autónoma  
del Estado de México

DEPTO. EVAL. PROFESIONAL

No. Oficio: 010/2014

Toluca, Edo. de México a 4 de Marzo del 2014

**C. IGNACIO VENANCIO RAMÍREZ  
PASANTE DE INGENIERÍA CIVIL  
PRESENTE**

En respuesta a su solicitud, a continuación transcribo el tema aprobado por esta Dirección, que propuso el **ING. JOSÉ ALBERTO GUTIÉRREZ PALACIOS**, con el fin de que lo desarrolle en la modalidad de **MEMORIA DE EXPERIENCIA LABORAL**, le informo que se autoriza la impresión de su trabajo para presentar su Evaluación Profesional.

**"DESCRIPCIÓN DE DAÑOS MENORES DE UNA ESTRUCTURA DE ACERO AFECTADA POR EL HURACÁN WILLMA EN CANCÚ, QUINTANA ROO, MÉXICO"**

	ÍNDICE
	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO 1	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS PRESENTADOS EN LA ESTRUCTURA Y SU REPARACIÓN
CAPÍTULO 2	CÁLCULO DE FUERZAS SOBRE LA ESTRUCTURA OCASIONADAS POR LA ACCIÓN DEL VIENTO
CAPÍTULO 3	DETERMINACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE CARGA Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
	ANEXO
	GLOSARIO DE TÉRMINOS
	BIBLIOGRAFÍA

Ruego a usted tomar nota de que, en cumplimiento a lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito indispensable para sustentar su Evaluación Profesional.

Asimismo, para la elaboración de la **MEMORIA DE EXPERIENCIA LABORAL** y demás trámites, deberá sujetarse a la reglamentación respectiva de esta Universidad.

**ATENTAMENTE**  
**PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO**  
**"2014, 70 Aniversario de la autonomía UCLA - UAEM"**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
U.A.E.M.

**M. EN I. RAÚL VERA NOGUEZ**  
**DIRECTOR**

\*\*/gk0

Cerro de Coatepec S/N, Ciudad Universitaria, Toluca México  
Tel. (722) 2-14-08-55 / 2-15-13-51

WWW.UAEMTOLUCA.ITX

**AGRADECIMIENTOS:**

**A MIS PADRES POR EL APOYO INCONDICIONAL.**

**A MI ESPOSA.**

**A MIS HIJAS XIMENA Y VALERIA.**

**A TODOS LOS QUE DE ALGUNA U OTRA**

**MANERA ME HAN APOYADO.**

## INDICE GENERAL.

INTRODUCCIÓN. -----	3
<b>CAPÍTULO 1: DESCRIPCIÓN DE DAÑOS PRESENTADOS EN LA ESTRUCTURA Y SU REPARACIÓN.</b> -----	6
1.1 Aspectos generales. -----	7
1.2 Daños ocasionados por el huracán Willma en la estructura. -----	10
1.3 Daños ocasionados por el huracán Willma en otras estructuras de la misma zona. -----	27
<b>CAPÍTULO 2: CÁLCULO DE FUERZAS SOBRE LA ESTRUCTURA OCASIONADAS POR LA ACCIÓN DEL VIENTO.</b> -----	31
2.1 Requisitos generales para el análisis y diseño estructural. -----	31
2.2 Clasificación de la estructura. -----	31
2.3 Determinación de la velocidad básica de diseño. -----	32
2.4 Presión dinámica de base. -----	35
2.5 Selección del procedimiento de análisis de carga. -----	37
2.6 Presiones de diseño en la estructura principal. -----	38
2.7 Cálculo de las fuerzas generadas en los muros y en la cubierta. -	46
2.8 Presiones de diseño en los elementos secundarios. -----	58
<b>CAPÍTULO 3: DETERMINACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE CARGA Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.</b> -----	77
3.1 Procedimiento de diseño. -----	77
3.2 Consideraciones para la determinación de las combinaciones de carga de acuerdo al Reglamento de construcciones para el Distrito Federal. -----	78
3.3 Combinaciones de carga. -----	80
3.4 Resultados del análisis y el diseño de la estructura. -----	82
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> -----	87
<b>ANEXO 1: PLANOS ESTRUCTURALES</b> -----	91
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS.</b> -----	105
<b>BIBLIOGRAFIA</b> -----	107

## **INTRODUCCIÓN:**

### **Antecedentes.**

La empresa FRIALSA solicitó el proyecto de una cámara de congelación y refrigeración en la Ciudad de Cancún Quintana Roo. Esta es una empresa dedicada al almacenaje de productos alimenticios perecederos que renta el espacio a otras empresas que tienen necesidad de guardar sus productos congelados hasta que se venden al consumidor.

Estos productos pueden ser frutas, verduras, néctar de frutas, carnes, helados, pan, materias primas para la elaboración de otros productos como el pan, jugos, mermeladas y en general cualquier alimento que necesite de temperaturas controladas para su conservación.

El planteamiento del proyecto se realizó en base al espacio requerido para almacenar un determinado volumen de productos, datos que otorga el cliente dependiendo a la vez de sus clientes potenciales y las necesidades de espacio de estos últimos. Con estos datos se determinó el acomodo de los productos en una planta arquitectónica donde se reflejan las áreas de estantería, pasillos, andén de carga, descarga y selección de productos y las cámaras de congelación.

Posteriormente se determinó la posición de las columnas y trabes principales para el soporte de toda la estructura, cubiertas, muros, sistemas de aislamiento, equipos de refrigeración e instalaciones eléctricas y de refrigeración y con esto inició la fase de diseño estructural.

### **Objetivo.**

El objetivo del presente trabajo es describir los daños estructurales que resultaron del paso del huracán Willma en la estructura de una nave industrial ubicada en Cancún Quintana Roo, México y la reparación de los mismos.

El propósito es que quien consulte este documento tenga una herramienta que lo lleve paso a paso para poder determinar las fuerzas que genera el viento sobre las construcciones de tipo industrial, interpretando el comportamiento de las estructuras ante estas fuerzas observando algunos

tipos de daños causados por las fuerzas de viento y algunas alternativas de solución.

La problemática del trabajo, presentada en el capítulo 1, es la evaluación de los daños ocasionados en la estructura por el paso del huracán Willma y las propuestas de reparación y mejoras para que ante otro evento similar a este los daños sean menores o inexistentes.

### **Justificación.**

Se eligió este proyecto debido a que en la fase final del proceso de construcción se presentó el huracán Wilma en la zona donde se encuentra la obra, que es uno de los huracanes más intensos registrados en el Atlántico llegando a ser de categoría 5 y el décimo de mayor intensidad en el mundo hasta entonces, con vientos por encima de los 400 km/h.

El paso de este huracán provocó daños de diferentes tipos en las construcciones de la zona, resultando más dañadas las estructuras construidas con marcos de acero y recubrimientos de lámina como bodegas, anuncios espectaculares, tiendas departamentales y plantas industriales que es donde se clasifica la obra objeto de estudio.

La presión que ejerce el viento sobre una superficie es directamente proporcional a la velocidad del mismo. En el huracán Wilma esta velocidad fue por momentos de hasta 400 km/h, mucho mayor que la especificada por el manual de diseño por viento de la CFE que es de 196 km/h para un periodo de retorno de 50 años en la ciudad de Cancún Quintana Roo el cuál se decidió utilizar para el diseño de la construcción en estudio.

Aunque se diseñó conforme a la reglamentación utilizada, la gran diferencia en la velocidad del viento entre lo considerado por el manual de diseño por viento de la CFE y la velocidad que se presentó, causó varios daños estructurales y de desprendimiento de los recubrimientos de la nave.

Durante un huracán, las construcciones pueden sufrir daños por una o varias de las siguientes causas:

- 1.-Fuertes vientos que ejercen presiones positivas en el interior y negativas en el exterior sobre las cubiertas y toda la estructura externa,

ocasionando daños a algunos de los elementos estructurales y algunas de sus conexiones.

2.-La fuerza de levantamiento puede desprender objetos o proyectar aquellos que están sueltos a velocidades superiores a los 100 kilómetros por hora, convirtiéndolos en proyectiles cuyo impacto es capaz de perforar la envoltura externa de una edificación y provocar graves daños.

3.-La precipitación pluvial que acompaña a los huracanes puede penetrar al interior de una edificación que haya perdido ventanas, puertas o techos bajo el efecto de la tormenta, deteriorando equipos costosos, muebles y otros enseres.

4.-La lluvia puede ser tan intensa que cause inundaciones, erosión y deslizamientos de terrenos, que impliquen cuantiosos daños.

5.-Las repentinas tormentas y marejadas que surgen en algunas ocasiones, especialmente cuando los huracanes coinciden con la fase de marea alta, pueden perjudicar a las instalaciones construidas cerca de la costa, porque a la vez que socavan la estructura también permiten el ingreso del agua al edificio.

Así, el funcionamiento de una construcción durante y después de un huracán puede verse interrumpido debido a daños sufridos tanto **en** los elementos estructurales como no estructurales.

Para lograr el objetivo de la memoria, el trabajo se dividió en 3 capítulos de la siguiente manera:

Capítulo 1: Descripción de daños presentados en la estructura y descripción de su reparación. El objetivo de este capítulo es presentar los daños que sufrió la estructura por efecto del paso del huracán, describir como se repararon y presentar las recomendaciones para evitar este tipo de daños.

Capítulo 2: Cálculo de las fuerzas sobre la estructura ocasionadas por la acción del viento. El objetivo de este capítulo es presentar paso a paso como se calculan las fuerzas ocasionadas por el viento sobre la estructura en estudio, tomando en cuenta el procedimiento marcado por el manual de diseño por viento de la Comisión Federal de Electricidad.

Capítulo 3: Determinación de las combinaciones de carga, resultados obtenidos del análisis y diseño de la estructura, efectuado con el programa “RAM Elements”. Para este capítulo se toman en cuenta las recomendaciones del reglamento de construcciones para el Distrito federal además de los resultados del análisis y diseño estructural, demostrándose que los desplazamientos y esfuerzos mayores se presentan en las combinaciones de carga donde interviene el viento y por lo tanto éstas rigen el diseño de la estructura.

Anexo 1: Datos de la empresa donde se desarrolló el proyecto.

Anexo 2: Planos de la estructura.

## **CAPÍTULO 1**

### **DESCRIPCION DE DAÑOS PRESENTADOS EN LA ESTRUCTURA Y SU REPARACIÓN.**

Este capítulo presenta la evaluación de los daños ocasionados en la estructura y sus recubrimientos por el huracán Willma y la forma de repararlos, además de las recomendaciones para evitarlos o minimizarlos ante eventos de esta naturaleza.

#### **1.1 Aspectos generales.**

Se realizó el diseño por viento de acuerdo al manual de diseño por viento de la CFE de una estructura metálica ubicada en Cancún Quintana Roo, la cual está destinada a almacenamiento de productos alimenticios con temperatura controlada, que varía desde -25 ° C hasta 0° C.

Esta nave se dividió en 3 áreas de cámaras y una de andén. Las cámaras se usan para almacenar el producto y están generalmente más frías que el andén, en éste solo se encuentran los productos que se van a embarcar o que van llegando y están allí para su selección.

La estructura está formada por marcos de acero, a base de columnas de sección IS (secciones tipo "I" compuestas de tres placas soldadas) y trabes tipo armadura fabricadas de ángulos dobles tanto en las cuerdas como en los diagonales y montantes para el área de cámaras, para el área del andén son marcos formados por columnas de sección IS y trabes de viga de sección IR.

La estructura principal para el área de cámaras cuenta con 9 marcos de acero colocados con diferentes separaciones en la dirección longitudinal, identificados con las letras A a la N. En la dirección perpendicular de los marcos principales los ejes están identificados por números del 1 al 11. La disposición de los marcos a diferentes distancias en ambas direcciones obedece a los requisitos de ubicación de la estantería para almacenamiento del producto. Dichos marcos están ligados entre sí por contravientos verticales en los muros de los ejes 3 y 11. En estos ejes se colocaron vigas de cerramiento en la parte superior de las columnas y en la parte intermedia. También se colocaron contravientos en los ejes A y N.

En el sentido paralelo a la cumbrera y coincidiendo con la misma se encuentra un marco formado por columnas de sección IS y trabes tipo armadura de ángulos dobles en las cuerdas, diagonales y montantes. Este marco sólo cuenta con dos columnas intermedias que coinciden en ejes de los marcos principales, el resto de las armaduras de los ejes principales son soportadas por las armaduras de este marco.

La justificación de este marco en vez de columnas centrales se debe a que la nave se renta por volumen ocupado por los productos que almacena y a menor cantidad de columnas intermedias se pueden ocupar más posiciones de racks dentro de la misma.

En los otros ejes paralelos a la cumbrera se colocaron las armaduras secundarias que además de sostener el plafón de la cámara sirven como puntales en todas las crujías.

El andén cuenta con 8 marcos de acero en dirección longitudinal unidos a la estructura del área de cámaras por medio de una viga portante de sección "cajón" fabricada de placas soldadas soportada por las columnas del eje 3.

Todas las conexiones de la estructura son atornilladas, fabricándola al 100% en taller y llevándola a la obra solo para ensamblar.

El acero es de calidad A-36 con  $F_y = 2530 \text{ kg/cm}^2$  para armaduras de ángulo, columnas y vigas fabricadas de placa; para las vigas de sección IR y largueros tipo Mon-ten es acero calidad A-50 con  $F_y = 3520 \text{ kg/cm}^2$ .

Toda la estructura tiene como elementos de recubrimiento lámina tipo R-101 pintro color blanco en los muros, sujeta a los polines de soporte a base de tornillos autotaladrantes y lámina tipo KR-18 galvanizada en la cubierta sujeta a los polines de cubierta a base de clips fabricados de lámina lisa calibre 24.

Por la parte interior se instaló un panel compuesto de dos capas de lámina de acero con un relleno de poliestireno de 200 mm de espesor como aislante tanto en los muros como en el plafón sujeto de la estructura principal por medio de soleras de acero de 25.4x3.2 mm para controlar la temperatura interior de toda la nave. Para sujetar el plafón de las armaduras de los marcos principales se instalaron otras armaduras transversales al eje de los marcos principales.

Se instalaron también los equipos de refrigeración suspendidos de la estructura principal a base de vigas de sección IR, apoyadas en las armaduras, en posiciones especificadas por el proyecto de refrigeración.

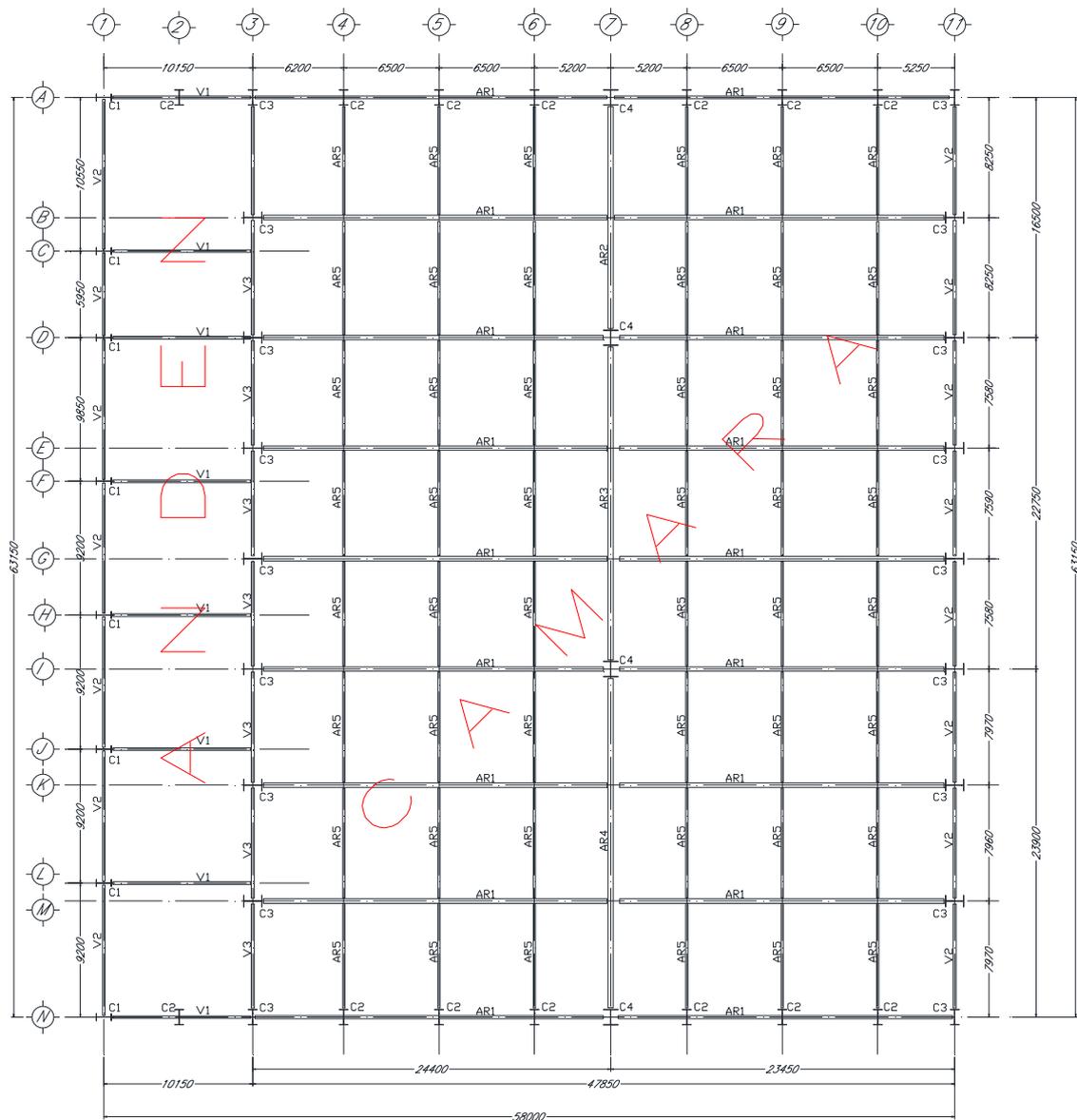


Figura No. 1.1 Planta estructural.

La estructura secundaria está compuesta por columnas de viento de sección IS colocadas a diferentes distancias, de manera que coincidan con las armaduras para soporte del plafón y por largueros tipo mon-ten galvanizados tanto en la cubierta como en los muros.

Estos largueros están colocados a una distancia de 1.30 m en la cubierta y a cada 1.25 m en los muros, sujetos en ambos casos a la estructura

principal mediante tornillos colocados en clips de placa de acero de 4.8 mm de espesor.

La ubicación y dimensiones de los entre-ejes se presentan en la figura No 1.1.

## **1.2 Daños ocasionados por el huracán Willma en la estructura.**

He desempeñado mi actividad profesional en la empresa Estructuras Metálicas de Aculco SA de CV, primero como dibujante de planos de taller, después como diseñador estructural y elaboración de planos generales; actividad que se complementa con la supervisión de fabricación y montaje.

La oportunidad de ver el desarrollo completo de los proyectos en cuanto a estructura metálica, desde el diseño, despiece de materiales para la elaboración de listas de compra, elaboración de planos de taller, fabricación, aplicación de recubrimientos y hasta terminar con el montaje me ha permitido conocer todas las partes y a su vez poder retroalimentar mis conocimientos con cada una de las áreas para mejorar estos procesos y hacer más fácil el trabajo de acuerdo a los recursos materiales y humanos disponibles para estas tareas.

A continuación se describen de los daños causados por el paso del huracán Willma sobre la estructura y los recubrimientos de una nave industrial, también se da la solución implementada en cada uno de los daños; estas soluciones se propusieron y llevaron a cabo gracias al aprendizaje en diseño, fabricación, montaje y supervisión de estructuras de acero durante más de 7 años, la cual ha servido para conocer más a fondo el comportamientos de las estructuras ante las fuerzas de viento.

Los daños en la estructura se presentaron principalmente en los largueros y contraflambeos de cubierta, en los recubrimientos en la lámina de la cubierta y muros y en el plafón de la cámara, la estructura principal no sufrió daños considerables, solo el acarreo de arena por el viento al golpear la estructura daño la pintura, la cual se tuvo que aplicar en varios elementos nuevamente.

A continuación se presentan fotografías de los daños que se presentaron en la estructura y sus recubrimientos y las respectivas soluciones para cada uno de ellos.



Figura No. 1.2 Desprendimiento de la lámina de los muros.

En la figura 1.2 se muestra como se desprendieron algunas láminas del muro del eje "N" y otras se dañaron por efecto del golpeo de objetos que arrastró el viento. También se desprendió el canalón del eje "1" y se dañó la lámina de la marquesina. En esta zona no se presentaron daños a la estructura.

La solución dada para este caso consistió en colocar tornillos adicionales para sujetar la lámina a los largueros en cada uno de los valles de la misma, el manual de instalación solo indica 2 tornillos en cada larguero y de esta forma se colocaron 4 por cada larguero, también se colocó un tornillo más al centro entre cada larguero sobre el traslape longitudinal de la lámina para evitar que se "abran" y el viento entre ocasionando presiones interiores, las cuales deben sumarse a las presiones exteriores provocando mayores esfuerzos a la estructura y a la misma lámina.

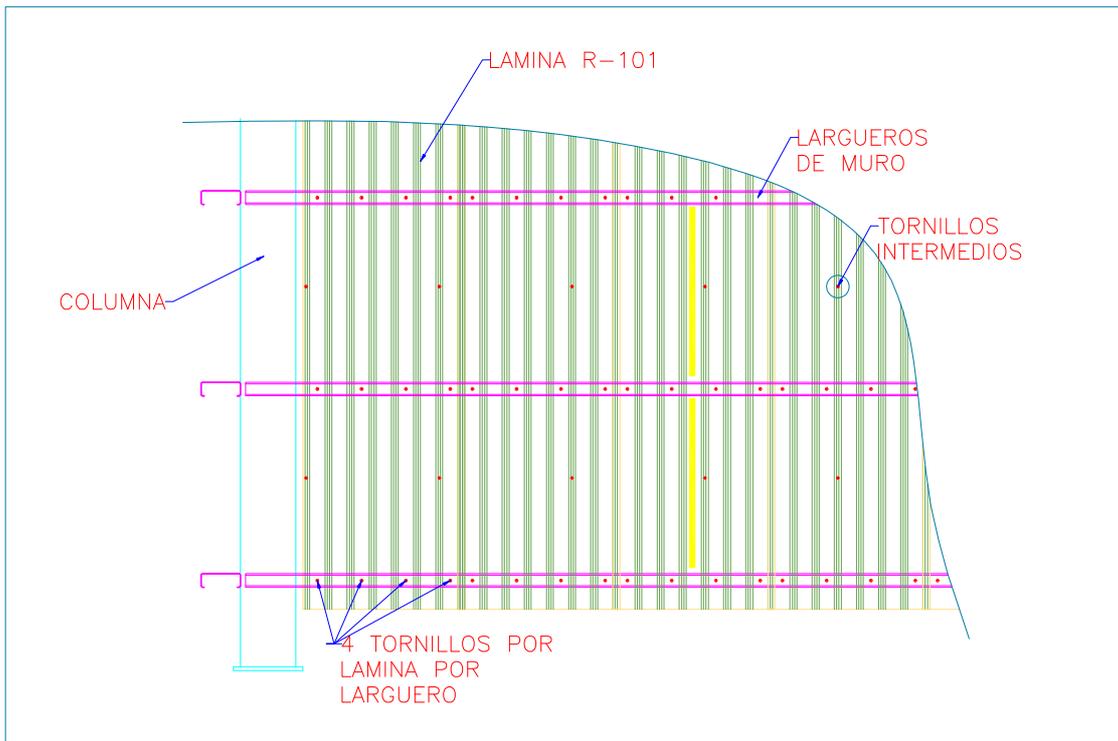


Figura No. 1.3 Croquis de colocación de tornillos en la lámina de los muros.

Los daños están cerca de las esquinas y en la parte superior de la nave, que es donde se presentan las mayores presiones ocasionadas por el viento, como lo indica el análisis de las fuerzas de viento presentado en el capítulo 2.



Figura No. 1.4 Desprendimiento de la lámina de los muros.



Figura No. 1.5 Desprendimiento de largueros, canalones y lámina.



Figura No. 1.5 Desprendimiento de la lámina de los muros.

En la figura 1.4 se muestra el desprendimiento de la lámina en la esquina del eje “1” con el eje “A” y de los canalones de los ejes “1” y “3” además de daños en la lámina de la marquesina cerca de la misma esquina. Aquí se presentaron deformaciones excesivas en los largueros de la marquesina y algunos del muro del eje “1”.

En la figura 1.5 se muestra como se desprendieron casi todos los largueros que se encontraban en el muro del eje “1” por arriba del nivel de la cubierta del andén, también se desprendió toda la lámina de este faldón y algunos tramos de canalón. El canalón que no se desprendió se tuvo que reemplazar debido a quedó con deformaciones excesivas.

En la figura 1.6 se observa el desprendimiento de la lámina y del canalón del muro del eje “11” cerca de la esquina con el muro del eje “A”, también se desprendieron los tapajuntas del eje “A”. En esta zona no se presentaron daños a la estructura.

La solución propuesta para aumentar la resistencia de los canalones es colocar tirantes más cercanos entre ellos que sujeten el lado exterior del canalón al último larguero de la estructura. Como práctica general se colocan tirantes fabricados de lámina calibre 22 en promedio a cada 1.50 m de distancia, para este caso se colocaron ángulos de acero de 38\*32 mm a cada 1.00 m, como se muestra en la figura 1.7.

Para evitar el desprendimiento de los tapajuntas se colocan más tornillos de fijación, no existe un manual que indique la distancia entre tornillos, pero en general se colocan a cada 1.00 m. Para zonas de huracanes o tornados la recomendación es colocarlos a la mitad de esta distancia.

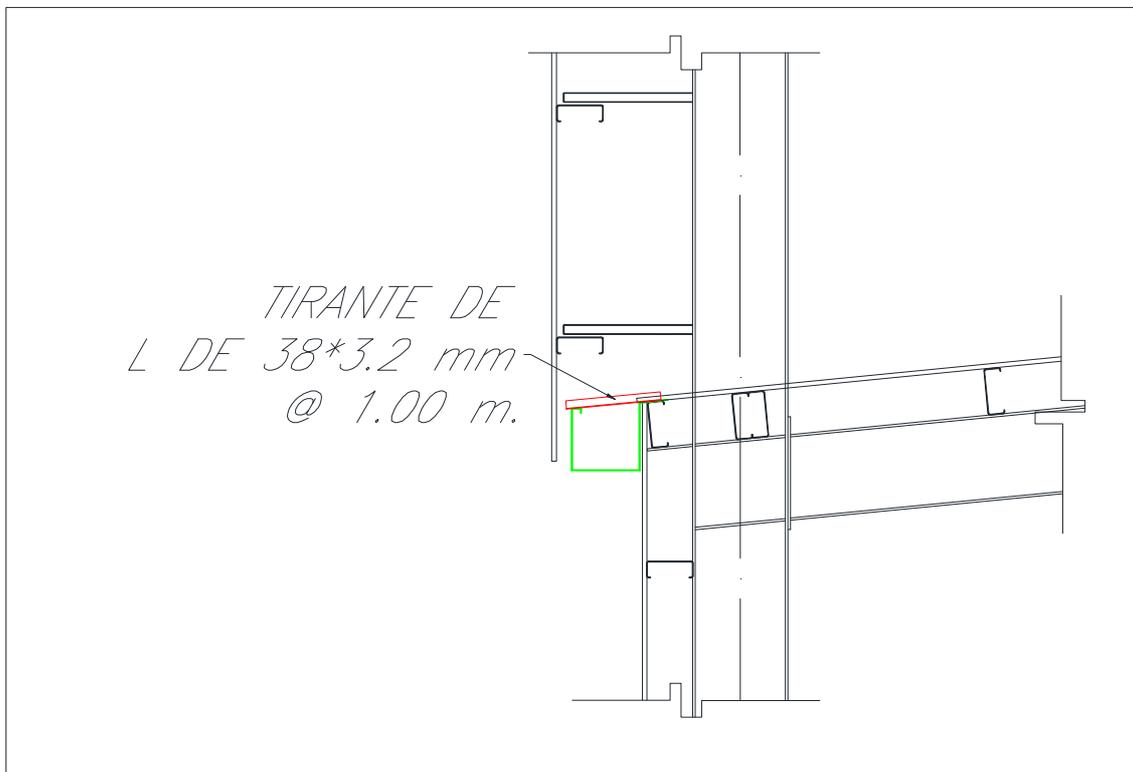


Figura No. 1.7 Sujeción de canalón a los largueros de la cubierta.



Figura No. 1.8 Desprendimiento de la lámina de los muros y daño en los largueros del muro.



Figura No. 1.9 Deformación de largueros de muro.

En la figura 1.8 se muestra el desprendimiento de la lámina y molduras del muro del eje "A" y desprendimiento y daños a los largueros del mismo eje, además de deformaciones en la lámina de la marquesina.

En la figura 1.9 se presenta la deformación de los largueros del muro del eje "A" cerca de la esquina con el eje "1". En esta zona no se desprendió la lámina, lo que ocasionó que los largueros estuvieran más tiempo expuestos a las presiones del viento y como consecuencia sufrieran deformación excesiva.

La solución propuesta para evitar la deformación excesiva de los largueros fue colocar una columna de viento al centro del claro, ya que el proyecto arquitectónico lo permite para este entre-eje, con esto se reduce la longitud de los largueros a la mitad y el momento flexionante se reduce a una cuarta parte (se consideran elementos simplemente apoyados en sus extremos, con un momento flexionante  $M=wl^2/8$ ); dando como consecuencia que tanto los esfuerzos como las deformaciones sean menores.

Para los casos donde no se puedan colocar columnas adicionales, se pueden colocar largueros con un módulo de sección elástica "S" mayor para incrementar su resistencia o colocar los largueros más cercanos entre sí para disminuir el área tributaria y por lo tanto las cargas que resistirá. Esta situación se presentó principalmente en los claros de las esquinas de las construcciones, que son las zonas donde se presentan los mayores esfuerzos ocasionados por las cargas de viento.



Figura No. 1.10 Deformación de la lámina de los muros y largueros de la marquesina.

En la figura 1.10 se muestra la deformación de la lámina del muro del eje "1" y de los largueros de la marquesina, en este caso no se desprendieron ni la lámina ni los largueros, ya que se encuentran en la parte baja y al centro de la estructura, zona donde las presiones ocasionadas por el viento son menores.

En este caso la recomendación es la misma que para los daños presentados en la figura 1.2; es decir la colocación de tornillos en todos los valles de la lámina para fijarla a los largueros.



Figura No. 1.11 Deformación de los largueros de la cubierta.

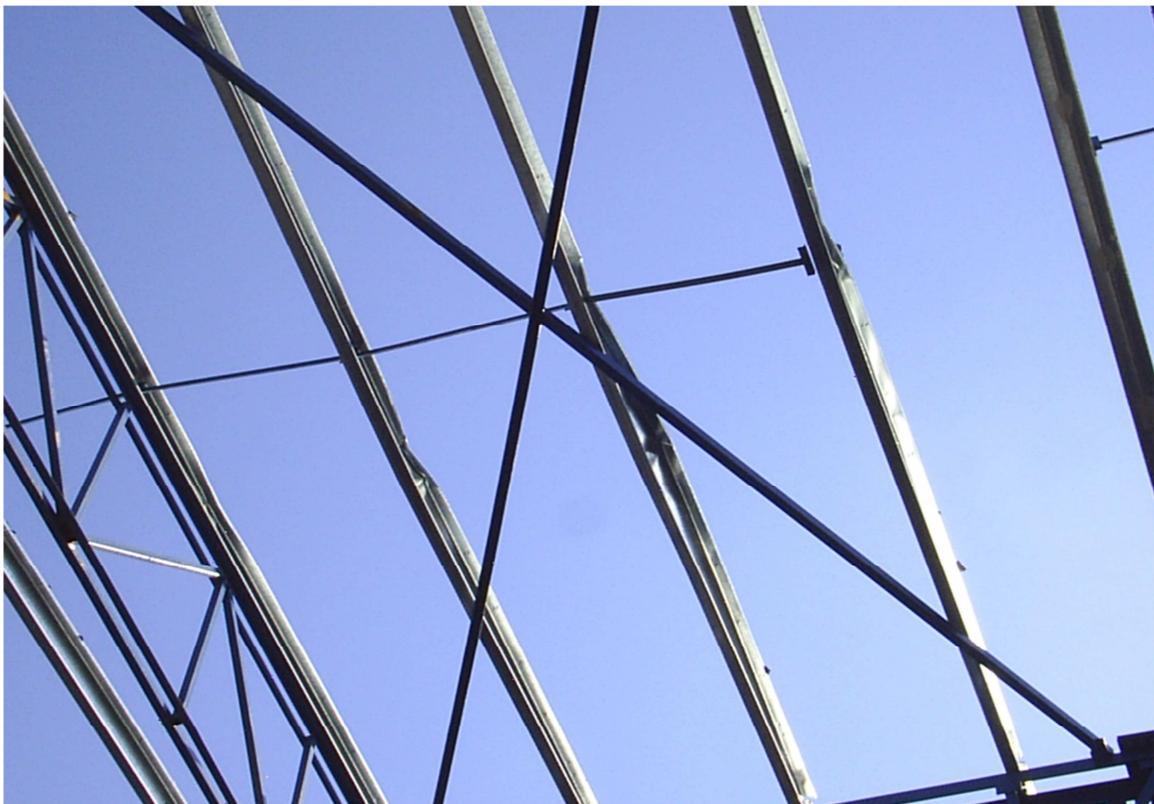


Figura No. 1.12 Deformación de largueros de cubierta.

En la figura 1.11 se muestra la deformación excesiva de los largueros de una zona de la cubierta y el desprendimiento de la lámina y los contraflambeos, las armaduras, las columnas y la estantería no sufrieron daños estructurales, solo en el recubrimiento.

Esta zona de la construcción se encuentra cerca de un costado, que es donde las presiones ocasionadas por el viento son mayores.

La recomendación para evitar la deformación de los largueros es la colocación de una línea más de contraflambeos, con lo que se tiene una menor longitud no soportada lateralmente o sin arriostamiento. Esta medida evita que los largueros oscilen por la acción del viento y tengan las deformaciones que se observan en la figura. La oscilación de los largueros inicia después de que se desprende la lámina; ya que ésta funciona como arriostamiento lateral de los largueros.

En la figura 1.12 se observa como los contraflambeos se deformaron excesivamente e incluso en algunos casos se desprendió el accesorio con que se atornillan a los largueros, por lo que se recomienda que sean de mayor sección. Para esta construcción se fabricaron de ángulo LI 32mmx3.2 mm y se se recomienda de ángulo LI 38mmx4.8mm.

Para evitar el desprendimiento de la lámina de la cubierta se colocó una línea más de largueros en la cubierta a lo largo de la nave en medio de los dos primeros largueros que se encuentran sobre los ejes "1", "3" y "11", de esta forma se tienen más cercanos los clips para la fijación de la lámina. También se colocaron tornillos que fijan directamente la lámina a los largueros que se encuentran hasta una distancia de 5.8 m. ( $0.5a_0$ ) medidos a partir del borde de la cubierta, sumados a los que fijan los clips con los que se engargola la lámina. Se toma esta distancia que es donde el valor del coeficiente  $K_L$  es igual a 2, máximo valor para este coeficiente, el cual afecta directamente las presiones sobre los recubrimientos y sus soportes.

En la figura 1.13 se representa gráficamente la colocación de los tornillos y el larguero adicionales en la cubierta.

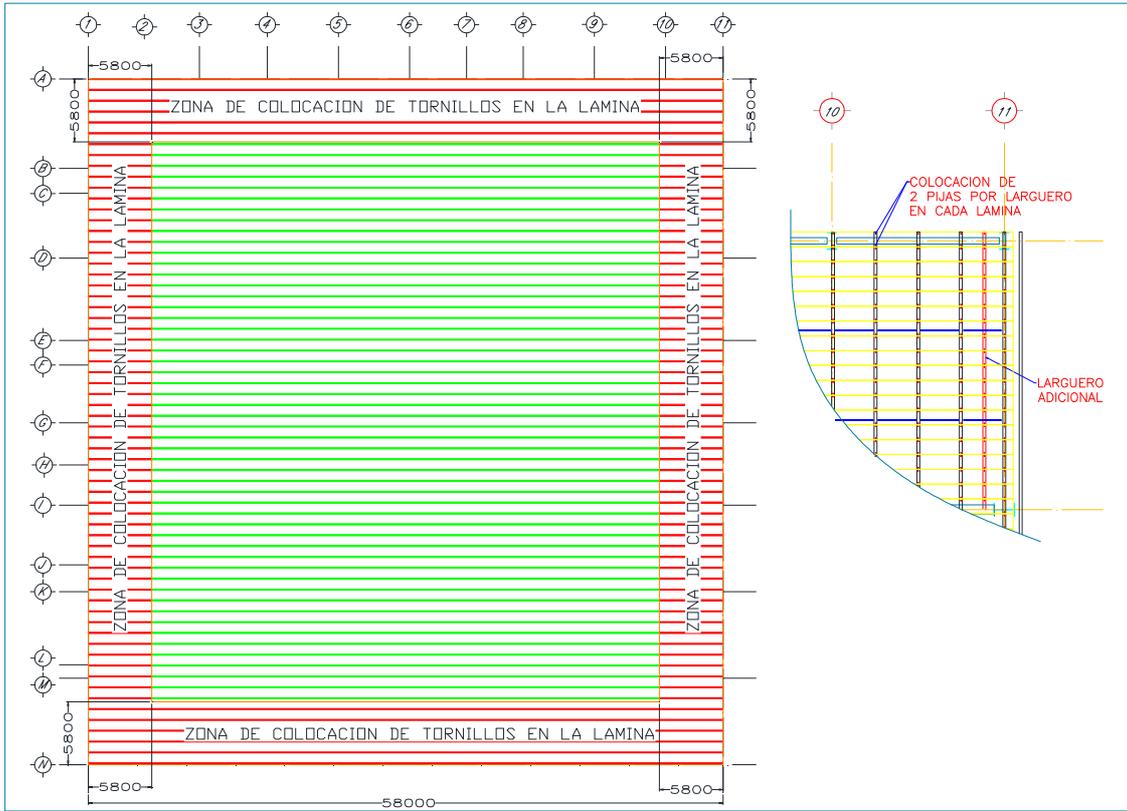


Figura No. 1.13 Colocación de tornillos adicionales en la cubierta.



Figura No. 1.14 Colapso del plafón de la cámara.

En la figura 1.14 se observa el colapso del plafón de la cámara, el cual puede ser una consecuencia del desprendimiento de la lámina de cubierta, motivo por el cual se incrementaron las presiones interiores, terminando por ceder el plafón. Las armaduras que soportan el plafón no sufrieron daños estructurales.

Si se logra evitar que la lámina tanto de la cubierta como de los muros se desprenda entonces el plafón de la cámara no sufrirá daño alguno.



Figura No. 1.15 Conexión de la estructura principal.

En la figura 1.11 se muestra cómo las conexiones de la estructura principal no tuvieron deformaciones visibles, también se puede observar como la arena que acarrió el viento desprendió la pintura de recubrimiento de la estructura. Esto es un efecto como el de la limpieza del acero con chorro de arena.



Figura No. 1.16 Conexión dañada de los largueros del muro.



Figura No. 1.17 Barrenos abocardados en los largueros que se desprendieron.

En la figura 1.16 se muestra como falló la conexión de algunos de los largueros del muro, donde éstos se desprendieron o quedaron con deformaciones excesivas. También es visible la deformación de la placa de conexión; esta deformación puede ser producto de la oscilación del larguero que sostenía hasta que éste se desprendió.

Para evitar la deformación de las placas de conexión con los largueros se recomienda utilizar placa de mayor espesor. Las placas que se utilizaron en el proyecto para estas conexiones son de 5 mm de espesor, podemos aumentar el espesor a 6.4 mm sin que esto repercuta considerablemente en el costo de la estructura.

En la figura 1.17 se muestra como se abocardaron los barrenos de los largueros al estar oscilando por la acción del viento.

El desprendimiento de los largueros se puede disminuir evitando que la lámina se desprenda, colocando más contraflambeos para evitar la oscilación y colocando más tornillos en la conexión. En estas conexiones se utilizaron solo dos tornillos, pero la recomendación es colocar tres. La recomendación de los contraflambeos se mencionó en las figuras 1.11 y 1.12. También se recomienda colocar una placa de refuerzo soldada a los extremos de los largueros, evitando que los barrenos se “abocarden” como en el caso de la figura 1.17.

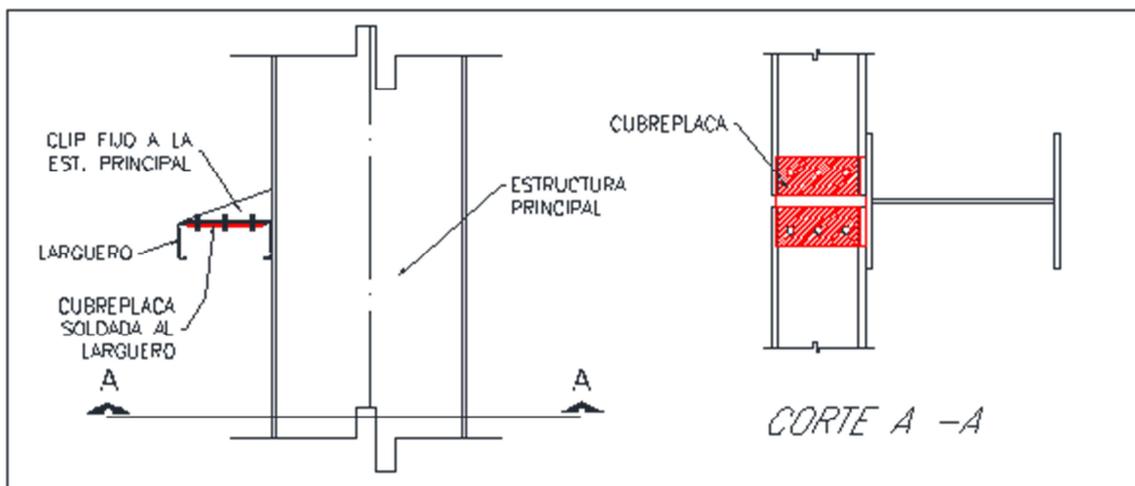


Figura No. 1.18 Refuerzo a base de una placa en la conexión de los largueros.



Figura No. 1.19 Conexión dañada de las vigas de la marquesina.

En la figura 1.19 se muestra la deformación de la placa de conexión de una de las vigas de la marquesina, esta viga se encuentra en una de las columnas del costado de la construcción, lugar donde las presiones ocasionadas por el viento son mayores.

Esta deformación se puede evitar colocando un cartabón en la parte superior de la placa soldado a esta y al patín de la viga, rigidizando la parte que queda en cantiliver.

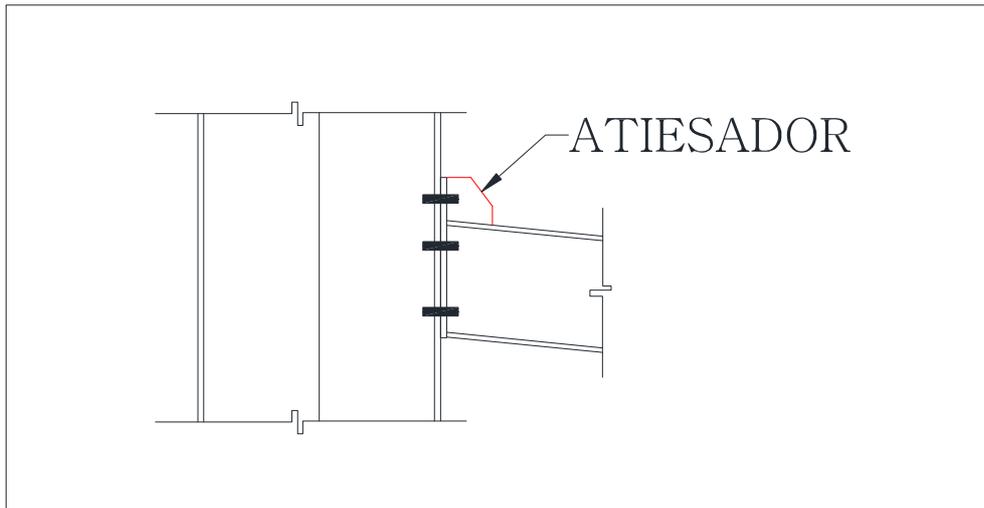


Figura No. 1.20 Atiesador EN PLACAS de conexión.

### 1.3 Daños ocasionados por el huracán Willma en otras estructuras de la misma zona.

Al igual que la estructura de FRIALSA, otras estructuras de la zona sufrieron daños, algunas se colapsaron totalmente y otras solo en algunos de sus elementos o en los recubrimientos.



Figura No. 1.21 Torre de conducción eléctrica.

La figura 1.21 muestra una torre de conducción eléctrica que quedó totalmente colapsada. También puede observarse como se desprendieron muchos árboles y a los que quedaron se les desprendió totalmente las hojas.



Figura No. 1.22 Anuncios espectaculares.

La figura 1.22 muestra dos anuncios espectaculares colapsados, a los cuales también se les desprendió el recubrimiento de la pantalla donde se fija la publicidad. Es claro en las imágenes que la zona que debe cuidarse en el diseño y en su caso reforzar es la base de la pantalla del espectacular.



Figura No. 1.23 Nave industrial que quedó sin recubrimiento.

En la figura 1.23 se presenta una nave industrial a la cual se le desprendió totalmente la lámina de los muros y de la cubierta, además de algunos de los largueros de ambas áreas. Este es un caso más extremo de daño ocasionado por el viento y donde aplicarían la mayor parte de las recomendaciones hechas hasta ahora para mejorar el comportamiento de una estructura y sus recubrimientos ante la acción del viento.



Figura No. 1.24 Postes y alumbrado público dañados.

En la figura 1.24 se muestran algunos postes de energía eléctrica y de alumbrado público dañados. Aquí la suposición es que el viento elevó objetos pesados que pudieron enredarse en los cables y la oscilación de estos son los que ocasionaron el colapso; ya que el poste en sí presenta poca área de contacto con el viento lo cual se traduce en poco esfuerzo también.

## **CAPÍTULO 2**

### **CÁLCULO DE FUERZAS EN LA ESTRUCTURA OCASIONADAS POR LA ACCIÓN DEL VIENTO.**

#### **2.1 Requisitos generales para el análisis y diseño estructural.**

a) Análisis por viento. La estructura se analizó con el viento actuando en dos direcciones perpendiculares horizontales e independientes entre sí.

b) Factores de carga y resistencia. Se tomaron de acuerdo al manual de diseño por viento de la CFE (Comisión Federal de Electricidad) y al Reglamento de construcciones para El Distrito Federal.

Del manual de diseño por viento de la CFE se tomaron los coeficientes que afectan a la estructura y a las fuerzas ocasionadas en esta por el viento.

Del reglamento de construcciones para el Distrito Federal se tomaron las cargas vivas, el criterio para calcular las cargas muertas, los parámetros para revisión de deformaciones horizontales y verticales y los coeficientes de carga para las cargas vivas, muertas y accidentales, además de sus combinaciones.

c) Seguridad contra el volteo. Se verificó la seguridad de la construcción sin considerar las cargas vivas que contribuyen a disminuir el volteo. La relación entre el momento estabilizador y el actuante no debe ser menor de 1.5.

d) Seguridad contra deslizamiento. Al analizar esta posibilidad, se consideraron nulas todas las cargas vivas. El factor de seguridad correspondiente debe ser mayor o igual que 1.5.

e) Seguridad contra el levantamiento. Se analizó de manera independiente los recubrimientos de techos y muros para asegurarse que no presentaran problemas debido a las fuerzas de succión provocadas por el viento.

#### **2.2 Clasificación de la estructura.**

La estructura se clasificó como del grupo B de acuerdo al inciso 4.1.3 del manual de diseño por viento de la CFE 2008; el cual clasifica las estructuras de este tipo con un grado de seguridad moderado, que en caso

de fallar generan baja pérdida de vidas humanas y ocasionan daños materiales de magnitud intermedia.

### **2.3 Determinación de la velocidad básica de diseño.**

La velocidad básica de diseño depende de los parámetros indicados en el inciso 4.2 del manual de diseño por viento de la CFE, los cuales se calculan como se indica a continuación:

**1.- Categoría del terreno:** Este se determina según las características topográficas y de exposición locales donde se desplantará la estructura.

La construcción se encuentra en una zona de terreno plano con árboles con alturas variables entre 1.00 y 10.00 m y pocas construcciones alrededor; por lo tanto se clasifica como terreno tipo **2** según la rugosidad del mismo y de acuerdo a la tabla 4.2.1 del manual de diseño por viento de la CFE. En esta tabla se establece que las características mencionadas se conservan una distancia mínima de 1500 m ó 10 veces la altura de la construcción, lo cual en ambos casos se cumple.

**2.- Velocidad regional:** La velocidad regional de ráfaga del viento  $V_r$ , es la velocidad máxima que puede ser excedida en un cierto periodo de retorno  $T$ , en años en una zona o región determinada del país.

Conforme con el inciso 4.2.2 en un periodo de retorno de 50 años para estructuras pertenecientes al grupo B, la velocidad regional que corresponde a Cancún Quintana Roo es de 196 km/h de acuerdo a la tabla C.1 del apéndice C del manual.

$$V_r = 196 \text{ km/h.}$$

**3.- Factor de exposición:** El factor de exposición local  $F_{rz}$  establece la variación de la velocidad del viento con la altura, en función de la categoría del terreno. Este factor se obtiene de las siguientes expresiones.

$$F_{rz} = c ; \quad Z \leq 10 \quad \text{( ecuación 4.2.3)}$$

$$F_{rz} = c(z/10)^\alpha \quad 10 < z < \delta \quad \text{(ecuación 4.2.4)}$$

$$Frz = c\left(\frac{\delta}{10}\right)^\alpha \quad z \geq \delta \quad (\text{ecuación 4.2.5})$$

Como la altura de la construcción es mayor a 10.00 m, entonces el factor de exposición no será constante y tendrá una variación a partir de los 10 m de altura de acuerdo a la ecuación 4.2.4.

En estas ecuaciones las literales tienen el siguiente significado:

Z: Altura por encima del terreno a la cual se desea conocer la velocidad de diseño, expresada en metros.

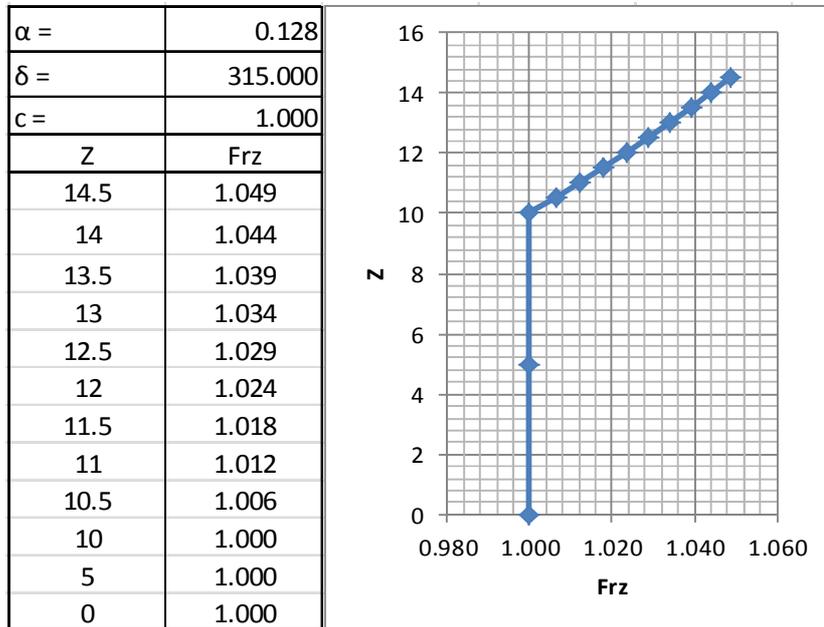
c: Coeficiente de escala de rugosidad

$\alpha$ : Exponente que determina la forma de la variación de la velocidad del viento con la altura, adimensional.

$\delta$ : Altura media a partir del nivel de desplante sobre el terreno natural, por encima de la cual la variación de la velocidad del viento no es importante y puede suponerse constante, a esta altura se le conoce como altura gradiente en m.

Como la altura de la construcción es mayor a 10 m, entonces se calcula el factor de exposición de acuerdo a las ecuaciones 4.2.3 y 4.2.4, los resultados se presentan en la tabla No 2.1.

**Tabla No 2.1 Cálculo de  $F_{rz}$ .**



Los valores de  $\alpha$ ,  $\delta$  y  $c$  se obtienen de la tabla 4.2.3 del manual de diseño por viento de la CFE.

**4.- Factor de topografía.** Este factor toma en cuenta el efecto topográfico local del sitio en donde se desplantará la estructura.

De acuerdo con las características topográficas del sitio en la tabla 4.2.4 del manual de diseño por viento de la CFE se presentan los valores del factor de topografía que para el sitio donde se encuentra la estructura es un terreno sensiblemente plano con pendiente menor al 5% a campo abierto, entonces:

$$F_T = 1.0$$

**5.- Velocidad básica de diseño.** Es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de la misma.

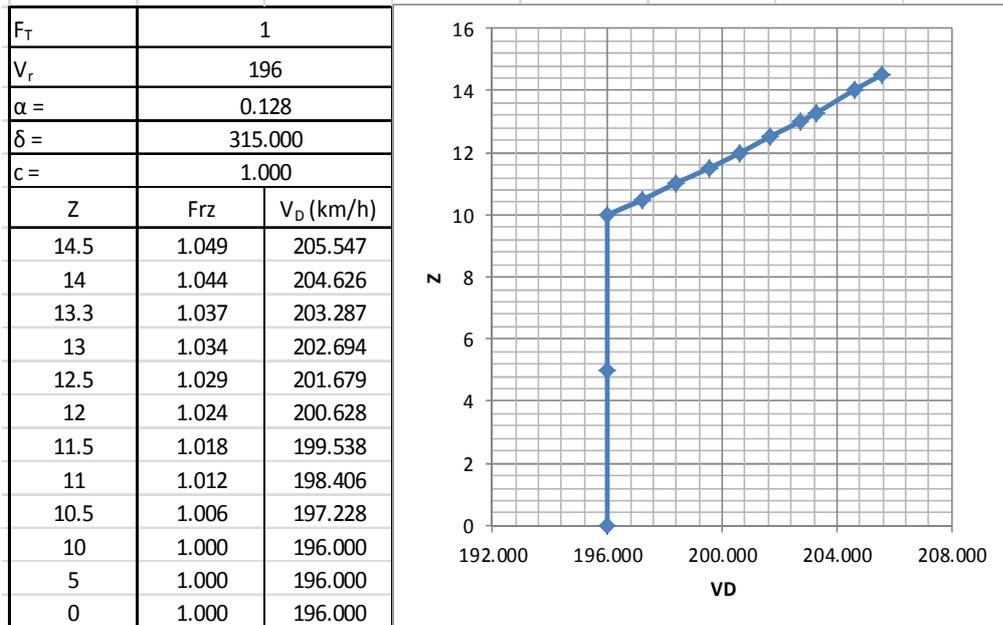
La velocidad básica de diseño se obtiene de la ecuación 4.2.1:

$$VD = FT \times Frz \times VR \quad (\text{ecuación 4.2.1})$$

Retomando los valores de  $F_T$  y  $V_r$  se genera la tabla No. 2.2 para el cálculo de la velocidad básica de diseño.

En la tabla No. 2.2 se observa como la velocidad del viento va incrementando con la altura de la construcción.

**Tabla No. 2.2 Cálculo de la velocidad básica de diseño.**



#### 2.4 Presión dinámica de base.

Es la presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él, la cual se determina con la ecuación:

$$q_z = 0.0048GV_D^2, \text{ en } kg/m^2 \quad (\text{ecuación 4.2.9})$$

En donde:

$q_z$ : es la presión dinámica de base a una altura  $z$  sobre el nivel del terreno, expresada en  $kg/m^2$ . La variación de  $q_z$  con la altura se determina por el valor de la velocidad básica de diseño.

**G**: es un factor de corrección por temperatura y por altura con respecto al nivel del mar, adimensional.

**V<sub>D</sub>**: es la velocidad básica de diseño calculada en la tabla No. 2 mediante la ecuación 4.2.1.

El valor de G se obtiene con la siguiente expresión:

$$G = \frac{0.392\Omega}{273 + T} \quad (\text{ecuación 4.2.10})$$

En donde:

**Ω**: es la presión barométrica medida en mm de Hg.

**T**: es la temperatura promedio ambiente en °C.

En la tabla 4.2.5 del manual de diseño por viento de la CFE se presenta la relación entre los valores de la altitud,  $h_m$ , en metros sobre el nivel del mar (msnm) y la presión barométrica  $\Omega$  en mm de Hg.

De acuerdo a la ubicación geográfica de la obra que está ubicada en una franja costera, se consideró que  $h_m = 10$  m, por lo que interpolando los dos primeros valores de la tabla 4.2.5, resulta el valor de la presión barométrica correspondiente.

**Tabla No.2.3 Cálculo de los valores de Ω.**

$h_1 =$	0
$h_2 =$	500
$\Omega_1 =$	760
$\Omega_2 =$	720
$h_m =$	10
$\Omega =$	759.2

En la tabla C.2 del apéndice C del manual de diseño por viento de la CFE se puede obtener el valor de la temperatura media anual y la altura en m.

sobre el nivel del mar de algunas ciudades de la República Mexicana, que para la ciudad de Cancún la temperatura media es de **27.1 °C**.

Con los valores calculados en la tabla No.2.3 y la ecuación 4.2.10 se obtiene el valor de G:

$$G = \frac{0.392 \times 759.2}{273 + 27.1} = 0.9917$$

Nótese que entre más bajo esté la construcción con respecto al nivel del mar, el valor de G se aproxima más a la unidad.

Ahora ya se puede calcular el valor de la presión dinámica de base:  $q_z$

**Tabla No. 2.4 Cálculo de la presión dinámica de base  $q_z$ .**

G	0.9917	
Z	VD (km/h)	$q_z$ (kg/m <sup>2</sup> )
14.5	205.547	201.11
14	204.626	199.32
13.3	203.287	196.72
13	202.694	195.57
12.5	201.679	193.62
12	200.628	191.60
11.5	199.538	189.53
11	198.406	187.38
10.5	197.228	185.16
10	196.000	182.87
5	196.000	182.87
0	196.000	182.87

## 2.5 Selección del procedimiento de análisis de carga.

De acuerdo con el inciso 4.3.1 del manual de diseño por viento de la CFE, se cumplen las siguientes condiciones para la construcción:

- La altura de la nave es menor o igual a 15.00 m.
- La estructura no se encuentra en un promontorio o terraplén.
- la estructura es rectangular.
- La relación H/D es:  $14.56/58 = 0.251 < 5$ .
- la pendiente del techo es menor de 20°.

Por lo tanto puede hacerse un análisis estático sin necesidad de calcular el periodo fundamental de la estructura.

## 2.6 Presiones de diseño en la estructura principal.

La presión actuante en una estructura determinada  $p_e$  se obtiene tomando en cuenta principalmente su forma y está dada por la ecuación:

$$p_e = C_{pe} K_A K_L q_z \quad (\text{ecuación 4.3.2})$$

De donde:

$C_{pe}$  se denomina coeficiente de presión exterior y es adimensional.

$K_A$  Es el factor de reducción de presión por tamaño de área.

$K_L$  Es el factor de presión local.

$p_e$  Es la presión exterior en  $\text{kg/m}^2$ .

$q_z$  Es la presión dinámica de base.

A la presión  $p_e$  se le denomina empuje medio o estático y es producido por los efectos de la velocidad de ráfaga.

El coeficiente de presión  $C_{pe}$  se define como la relación de la presión actuante en la construcción o en una de sus superficies, con la presión dinámica de base para una altura dada. Este coeficiente determina el efecto de la variación de la presión, según la forma o la geometría de la construcción, así como la intensidad de la velocidad y la turbulencia del flujo del viento.

Por tratarse de una construcción cerrada compuesta por rectángulos, los valores del coeficiente  $C_{pe}$  se toman de las tablas 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3 del manual de diseño por viento de la CFE, las cuales son:

**A) Muros de barlovento y sotavento.**

**Tabla No. 2.5 Cálculo del coeficiente  $C_{pe}$  en los muros de sotavento y barlovento.**

MURO	DIRECCIÓN EL VIENTO	d/b	INCLINACION DEL TECHO $\gamma$ EN GRADOS	$C_{pe}$
BARLOVENTO	NORMAL A LAS GENERATRICES, $\theta = 0^\circ$	1.09	5.71	0.800
	PARALELO A LAS GENERATRICES, $\theta = 90^\circ$	0.92		
SOTAVENTO	NORMAL A LAS GENERATRICES, $\theta = 0^\circ$ PARA TECHOS A UNA O DOS AGUAS	1.09	5.71	-0.482
	PARALELO A LAS GENERATRICES, $\theta = 90^\circ$ PARA TECHOS A UNA O DOS AGUAS	0.92	5.71	-0.500

La construcción tiene varias puertas en el andén pero se puede considerar una construcción cerrada ya que las puertas solo se abren cuando se está cargando o descargando algún transporte el cual sella por completo la puerta que se le designa.

La relación d/b es la relación entre la longitud del muro paralelo a la dirección del viento y la longitud del muro perpendicular a ésta.

**B) Muros laterales.**

**Tabla No. 2.6 Cálculo del coeficiente  $C_{pe}$  en los muros laterales.**

DISTANCIA HORIZONTAL A LO LARGO DE UN MURO LATERAL MEDIDA A PARTIR DE LA ARISTA COMÚN CON EL MURO DE BARLOVENTO	$C_{pe}$
DE 0 A $1h_m$	-0.65
DE $1h_m$ A $2h_m$	-0.50
DE $2h_m$ A $3h_m$	-0.30
$\geq 3h_m$	-0.20

La dimensión  $h_m$  es la altura media de la construcción. Que para este caso es de 13.30 m.

### C) Cubierta de barlovento y sotavento.

**Tabla No. 2.7 Cálculo del coeficiente  $C_{pe}$  en la cubierta.**

CUBIERTA TRANSVERSAL (CT) $\gamma'$	CUBIERTA DE BARLOVENTO (CB) Y CUBIERTA DE SOTAVENTO (CS) $\gamma$	RELACION $h_m/d$	DISTANCIA HORIZONTAL SOBRE EL TECHO MEDIDA DESDE LA ARISTA SUPERIOR DEL MURO DE BARLOVENTO	$C_{pe}$
cualquiera	5.71 < 10	0.23 < 0.50	de 0 a 6.65 m	-0.9
			de 6.65 a 13.30 m	-0.9
			de 13.30 a 26.60 m	-0.5
			de 26.60 a 39.90 m	-0.3
			> a 39.90 m	-0.2

La cubierta transversal es la que está paralela a la dirección del viento en estudio.

#### **Cálculo del factor de reducción de presión por tamaño de área.**

Los valores del factor  $K_A$  son especificados en la tabla 4.3.4 del manual de diseño por viento de la CFE donde el valor de  $K_A$  se interpoló linealmente para obtener el dato de acuerdo al área tributaria de cada elemento.

Este factor solo se aplica a las presiones exteriores y depende del área tributaria de diseño, además de que solo interviene en el diseño de los siguientes elementos:

- 1.- Estructura principal que soporta techos y muros laterales.
- 2.- Recubrimiento de esos techos y muros.
- 3.- Elementos que sostienen los recubrimientos tales como largueros de cubierta y muros.
- 4.- Sistemas de sujeción de dichos recubrimientos.

Para los casos no contemplados se tomará el valor de  $K_A$  igual a la unidad.

**Tabla No. 2.8 Cálculo del valor de  $K_A$  (viento perpendicular a las generatrices).**

CALCULO DEL FACTOR $K_A$									
DIRECCIÓN	EJE 1	AREA TRIBUTARIA	$K_A$	EJE 3	AREA TRIBUTARIA	$K_A$	EJE 11	AREA TRIBUTARIA	$K_A$
L P E R P E N D I C U L A R E S  V I E N D O	A	58.15	0.86	A	13.53	0.98	A	47.95	0.87
	C	90.95	0.81	B	27.06	0.9	B	95.90	0.81
	D	87.09	0.82	D	25.96	0.9	D	95.90	0.81
	F	105.00	0.80	E	24.86	0.90	E	93.55	0.81
	H	101.42	0.8	G	24.86	0.9	G	91.21	0.81
	J	101.42	0.8	I	25.50	0.90	I	91.21	0.81
	L	101.42	0.8	K	26.14	0.9	K	95.24	0.81
	N	50.71	0.87	M	26.14	0.9	M	99.27	0.80
				N	13.07	0.98	N	49.63	0.87

Las figuras No. 2.1, 2.2 y 2.3 presentan un croquis de los marcos donde se aplica la presión del viento en dirección perpendicular a las generatrices de la nave para poder identificar cada uno de los ejes.

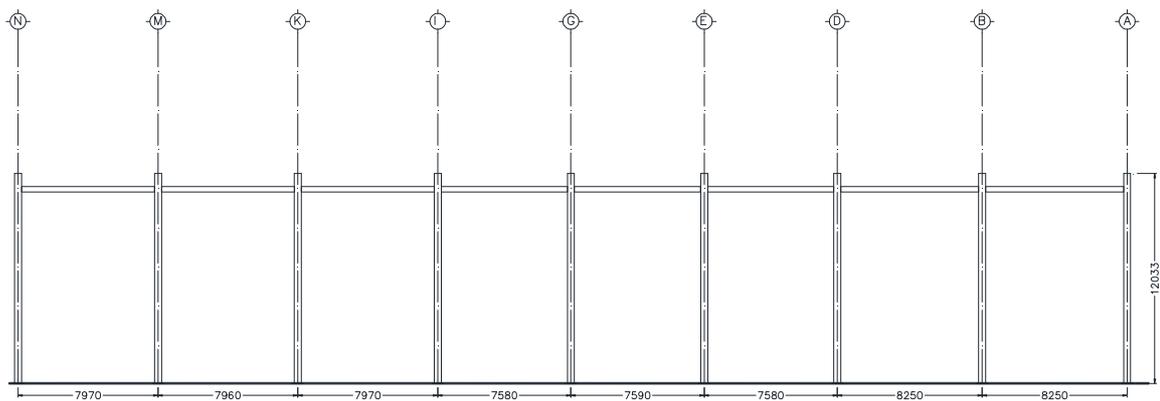


Figura No. 2.1 Elevación eje 11.

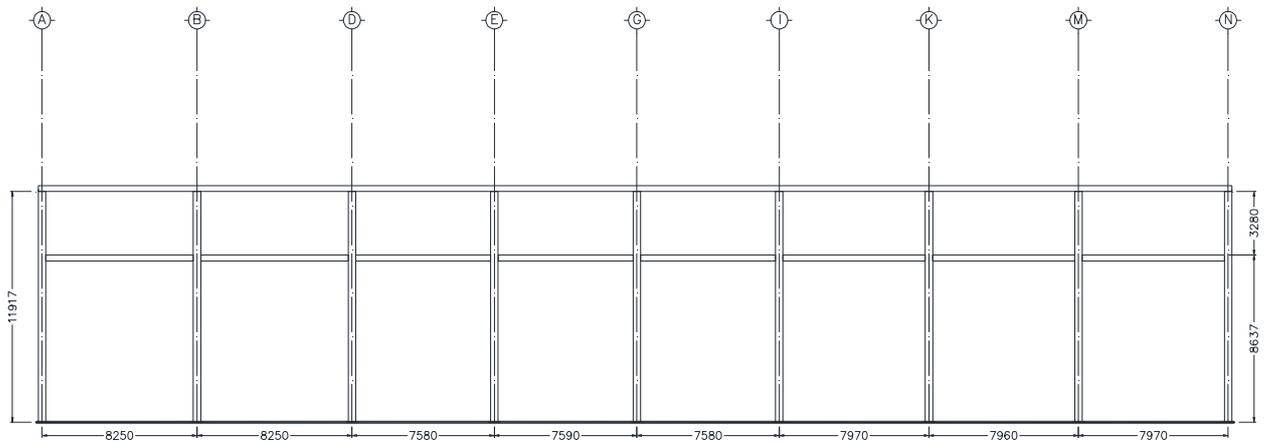


Figura No. 2.2 Elevación eje 3.

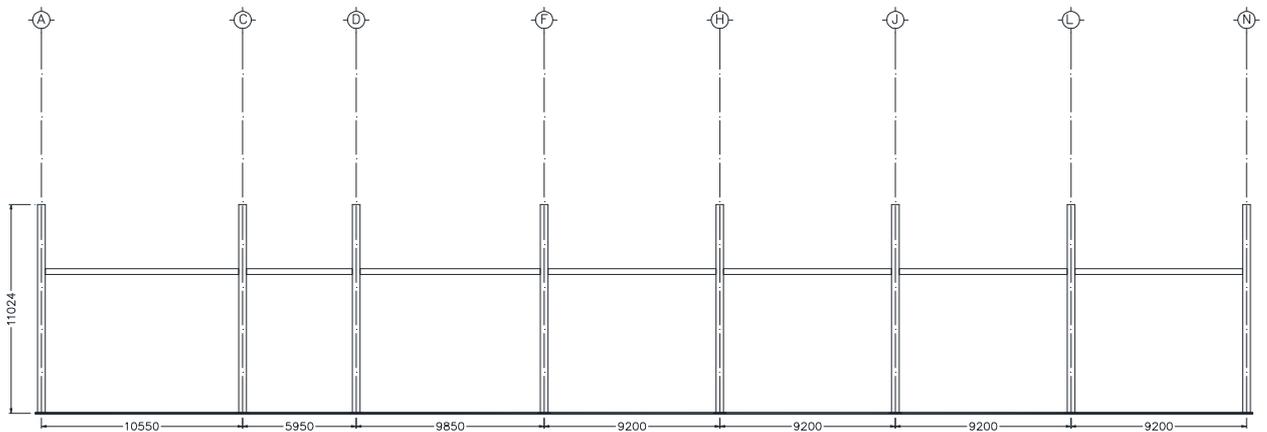


Figura No. 2.3 Elevación eje 1.

Este factor no interviene en el diseño de los muros de sotavento y barlovento, por lo que en estos casos como ya se comentó su valor es igual a la unidad.

Al igual que para la dirección del viento perpendicular a las generatrices, se calcula el valor del factor  $K_A$  para la dirección del viento paralela a las generatrices y se presenta un croquis del marco en la figura 2.4 donde se aplica la presión ocasionada por el viento en esta dirección.

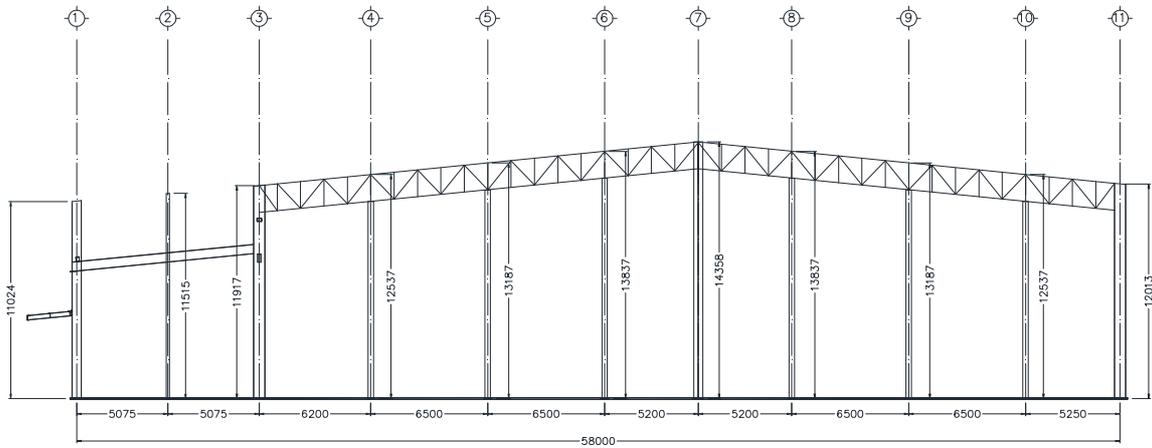


Figura No. 2.4 Elevación ejes A y N.

Tabla No. 2.9 Cálculo del factor  $K_A$  (viento paralelo a las generatrices).

CALCULO DEL FACTOR $K_A$						
DIRECCIÓN	EJE A	AREA TRIBUTARIA	$K_A$	EJE N	AREA TRIBUTARIA	$K_A$
V I E N T O  P A R A L E L E S  A	1	27.97	0.90	1	27.97	0.90
	2	58.41	0.86	2	58.41	0.86
	3	67.14	0.84	3	67.14	0.84
	4	79.63	0.83	4	79.63	0.83
	5	85.67	0.82	5	85.67	0.82
	6	80.91	0.83	6	80.91	0.83
	7	74.62	0.83	7	74.62	0.83
	8	80.91	0.83	8	80.91	0.83
	9	85.67	0.82	9	85.67	0.82
	10	73.61	0.84	10	73.61	0.84
	11	31.53	0.89	11	31.53	0.89

Para representar de manera gráfica la dirección del viento en cada uno de los casos antes señalados se toma como referencia la figura 2.5 que es un isométrico de la estructura.

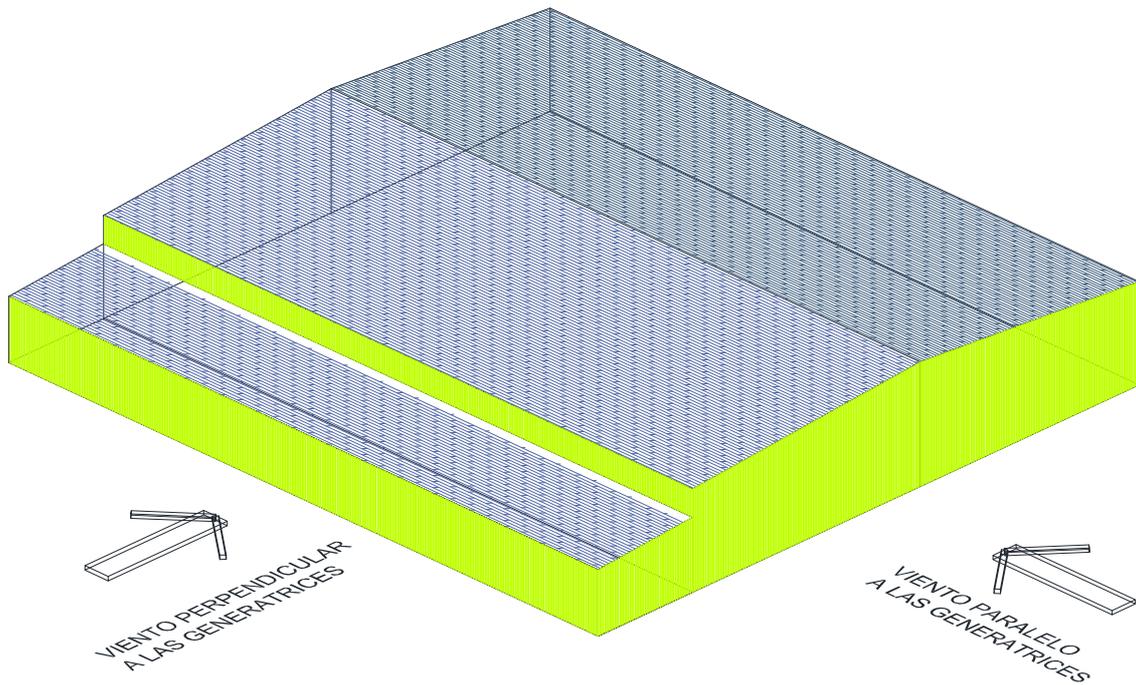


Figura No. 2.5 direcciones del viento para el análisis.

### **Cálculo del factor de presión local $K_L$ .**

Este factor se obtiene de la tabla 4.3.5 del manual de diseño por viento de la CFE para las áreas de afectación indicadas en las figuras 4.3.4 a, b y c del mismo manual, las cuales se reproducen a continuación. Este factor solo afectará a las presiones exteriores y cuando se diseñen los siguientes elementos:

- 1.- Recubrimientos de techos y muros de barlovento y laterales.
- 2.- Elementos que soportan los recubrimientos (tales como los largueros).
- 3.- Sistemas de sujeción de los elementos.

Cuando se diseña la estructura principal o el muro de sotavento, el factor  $K_L$  se toma igual a 1.

Cuando el área de un elemento de recubrimiento o el área tributaria de un miembro de soporte de dicho recubrimiento excede las áreas de afectación indicadas en la tabla 4.3.5, el factor de presión local  $K_L$  es igual a 1.

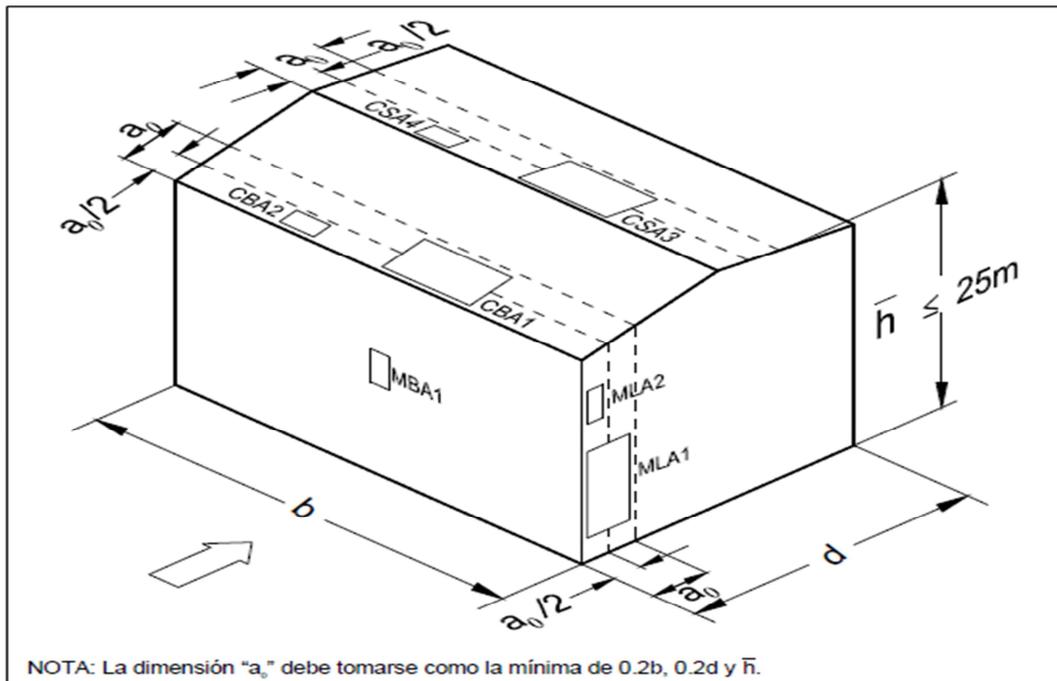


Fig. No. 2.6 Zonas para la determinar el factor  $K_L$  para recubrimientos y sus soportes, viento normal a las generatrices.

La figura No. 2.6 es una reproducción de la figura 4.3.4 (a) del manual de diseño por viento de la CFE.

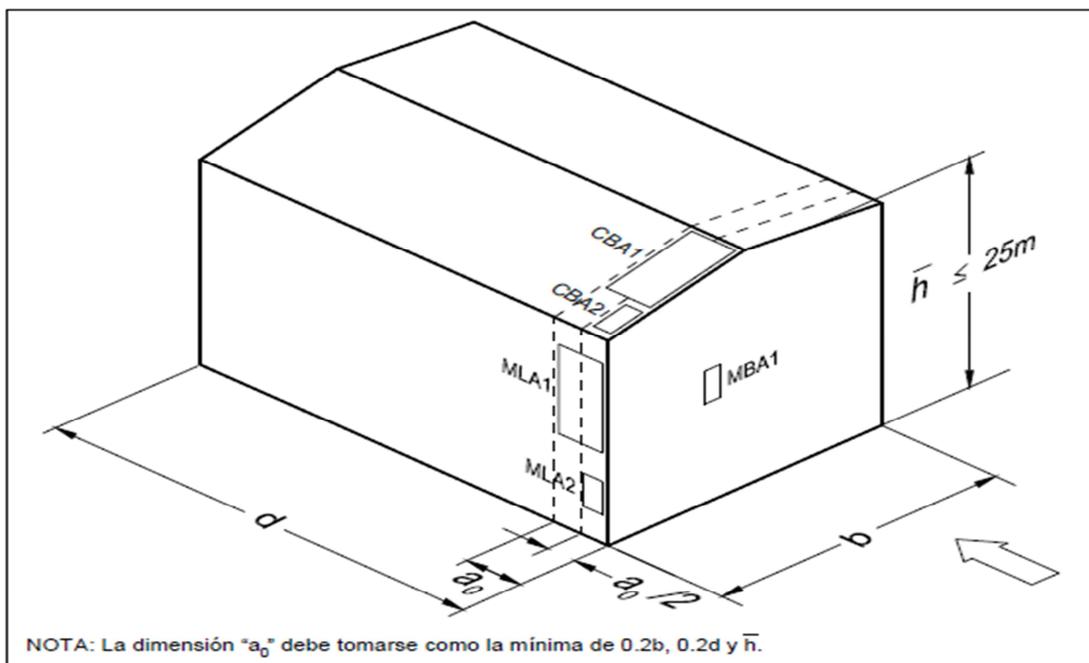


Fig. No. 2.7 Zonas para la determinar el factor  $K_L$  para recubrimientos y sus soportes, viento paralelo a las generatrices.

La figura No. 2.7 es una reproducción de la figura 4.3.4 (b) del manual de diseño por viento de la CFE.

Para el viento normal y paralelo a las generatrices, el valor de  $a_0$  indicado en las figuras 4.3.4(a) y 4.3.4(b) es de  $0.20 \times 58 = 11.60$ , con la separación de los largueros en los muros de 1.25 m y en la cubierta de 1.306 m; se calcula el coeficiente  $K_L$  con ayuda de la tabla 4.3.5 del manual de diseño por viento de la C F E.

**Tabla No.2.10 Cálculo del coeficiente  $K_L$  para largueros.**

PRESION EXTERNA	REFERENCIA DE LAS AREAS	$h_m$ (m)	AREA DE AFECTACION $A_f$ ( $m^2$ )	PROXIMIDAD AL BORDE	$K_L$
EMPUJE (+)	MBA1	13.3	$11.5 < 0.25 * 11.6^2 = 33.64$	CUALQUIERA	1.25
SUCCION (-)	CBA1	13.3	$12.01 < 11.6^2 = 134.56$	DE 5.8 A 11.6	1.5
	CBA2	13.3	$12.01 < 0.25 * 11.6^2 = 33.64$	DE 0 A 5.8	2
	CSA3	13.3	$12.01 < 11.6^2 = 134.56$	DE 5.8 A 11.6	1.5
	CSA4	13.3	$12.01 < 0.25 * 11.6^2 = 33.64$	DE 0 A 5.8	2
	MLA1	13.3 < 25	$11.5 < 11.6^2 = 134.56$	DE 5.8 A 11.6	1.5
	MLA2	13 < 25	$11.5 < 0.25 * 11.6^2 = 33.64$	DE 0 A 5.8	2
NOTA: LOS VALORES SON LOS MISMOS PARA LA DIRECCIÓN PARALELA Y NOMAL A LAS GENERATRICES, YA QUE LA SEPARACIÓN DE LOS LARGUEROS ES UNIFORME EN TODOS LOS MUROS					

Con los valores calculados de  $K_A$  y  $K_L$ , se pueden ahora obtener las presiones exteriores en la estructura en cada uno de sus ejes, en sus elementos secundarios, recubrimientos de los muros y de la cubierta.

## 2.7 Cálculo de las fuerzas generadas en los muros y en la cubierta.

### 2.7.1 Cálculo de las fuerzas generadas en los muros con dirección del viento perpendicular y paralela a las generatrices.

En la tabla No. 2.11 y la figura No. 2.8 se presenta el cálculo de presiones en la estructura principal por ejes para las diferentes alturas de cada una de las columnas cuando el viento actúa en el muro del eje 1.

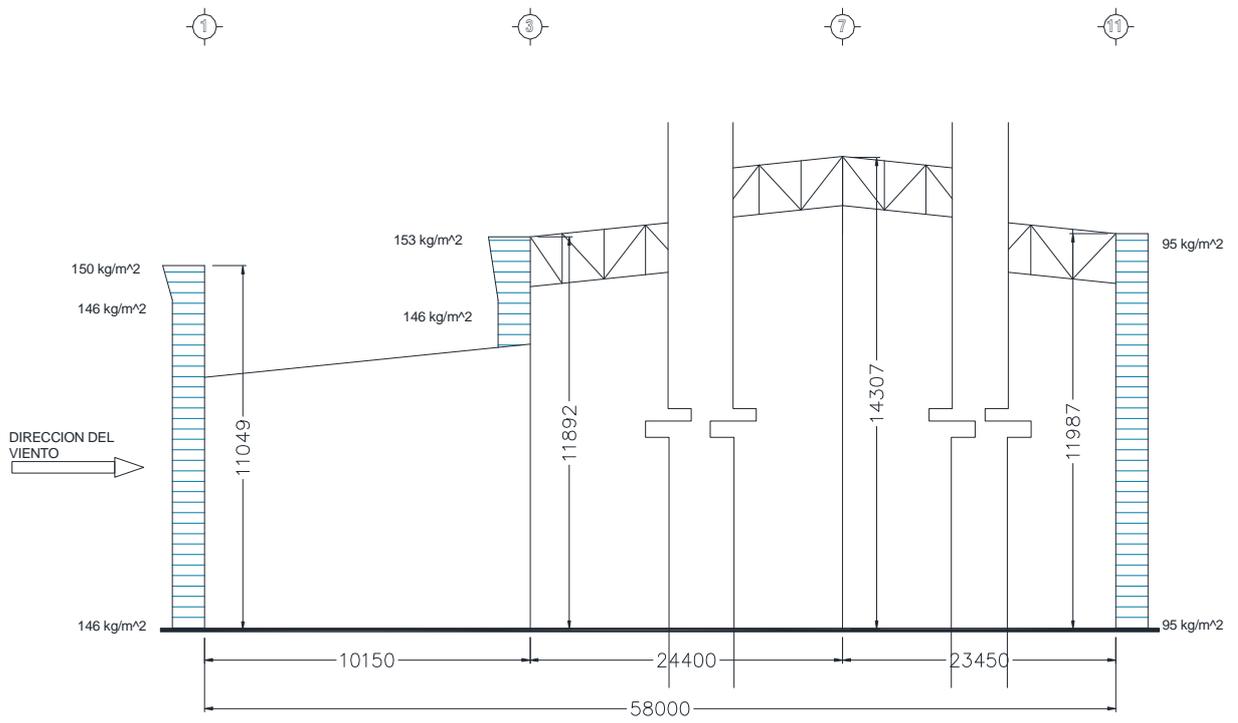


Figura No. 2.8 viento perpendicular al muro del eje "1"

**Tabla No. 2.11 Cálculo de presiones con el viento soplando en el muro del eje 1.**

EJES 1, 3 y 11											
DIR DEL VIENTO	MURO	EJE	ALTURA (m)	$q_z$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$K_A$	$K_L$	$p_e$ (kg/m <sup>2</sup> )	ANCHO ENTREEJE (m)	$F_{est}$ (kg/m)	
N O R M A L  A L A S  G E N E R A T R I C E S	B A R L O V E N T O	1A	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.275	771.71	
			11	187.38				149.90		790.74	
		1C	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	8.25	1206.94	
			11	187.38				149.90		1236.71	
		1D	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.9	1155.74	
			11	187.38				149.90		1184.24	
		1F	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	9.525	1393.47	
			11	187.38				149.90		1427.84	
		1H, 1J y 1L	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	9.2	1345.92	
			11	187.38				149.90		1379.12	
		1N	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	4.6	672.96	
			11	187.38				149.90		689.56	
		3A	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	4.125	603.47	
			11	187.38				149.90		618.35	
			12	191.6				153.28		632.28	
		3B	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	8.25	1206.94	
			11	187.38				149.90		1236.71	
			12	191.6				153.28		1264.56	
	3D	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.915	1157.93		
		11	187.38				149.90		1186.49		
		12	191.6				153.28		1213.21		
	3E y 3G	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.58	1108.92		
		11	187.38				149.90		1136.27		
		12	191.6				153.28		1161.86		
	3I	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.775	1137.45		
		11	187.38				149.90		1165.50		
		12	191.6				153.28		1191.75		
	3K y 3M	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.97	1165.98		
		11	187.38				149.90		1194.73		
		12	191.6				153.28		1221.64		
	3N	8.63-10	182.87	0.8	1	1	146.30	3.985	582.99		
		11	187.38				149.90		597.37		
		12	191.6				153.28		610.82		
	S O T A V E N T O	11A		13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	4.125	0.00
									-94.73		-390.77
									0.00		0.00
11B			13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	8.25	0.00	
								-94.73		-781.54	
								0.00		0.00	
11D			13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	7.915	0.00	
								-94.73		-749.81	
								0.00		0.00	
11E y 11G			13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	7.58	0.00	
								-94.73		-718.07	
								0.00		0.00	
11I			13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	7.775	0.00	
								-94.73		-736.54	
								0.00		0.00	
11K y 11M			13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	7.97	0.00	
								-94.73		-755.02	
								0.00		0.00	
11N		13.3	196.54	-0.482	1	1	0.00	3.985	0.00		
							-94.73		-377.51		
							0.00		0.00		

En el caso de viento con dirección normal a las generatrices, se calcularon las presiones en dos direcciones opuestas; ya que la estructura no es simétrica en esta dirección.

En la tabla No. 2.12 y la figura No. 2.9 se presenta el cálculo de presiones en la estructura principal por ejes y para las diferentes alturas de cada una de las columnas cuando el viento actúa en el muro del eje 11.

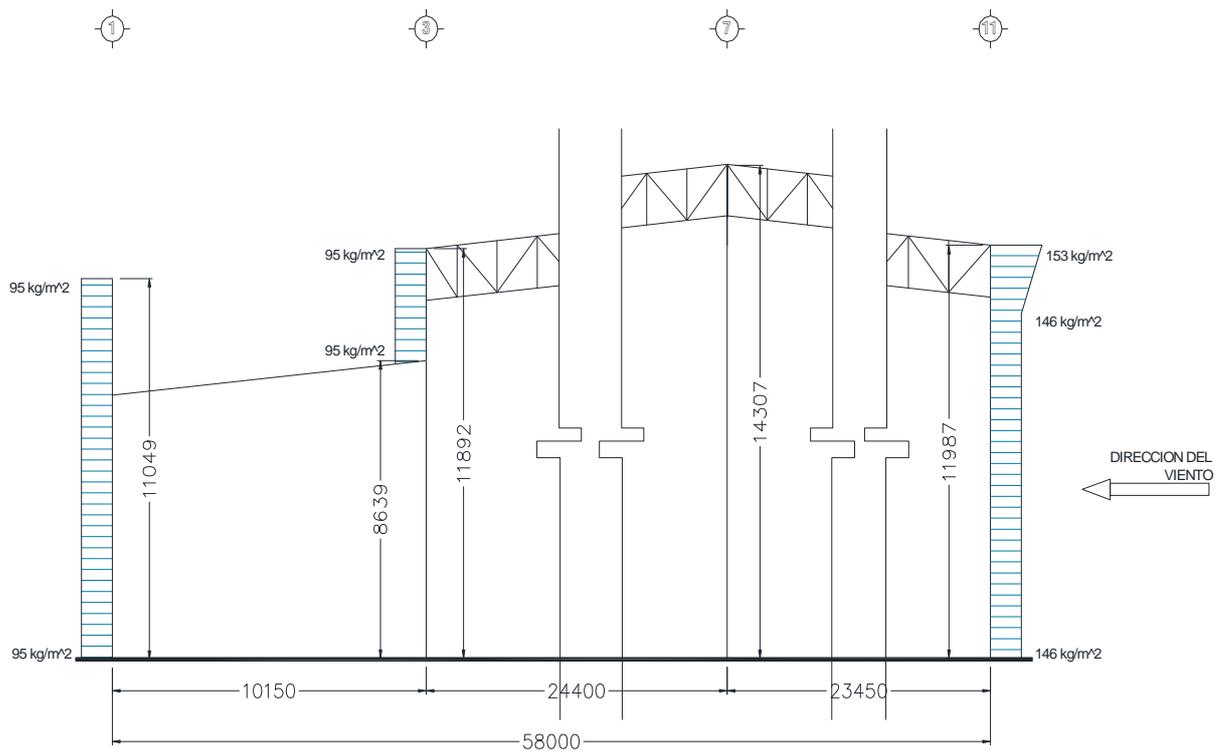


Figura No. 2.9 Viento soplando en el muro del eje "11".

**Tabla No. 2.12 Cálculo de presiones con el viento soplando en el muro del eje 11.**

EJES 1, 3 y 11										
DIR DEL VIENTO	MURO	EJE	ALTURA (m)	$q_z$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$K_A$	$K_L$	$p_e$ (kg/m <sup>2</sup> )	ANCHO ENTREEJE (m)	$F_{est}$ (kg)
N O R M A L  A  L A S  G E N E R A T R I C E S	S O T A V E N T O	1A	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.275	-499.71
		1C	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	8.25	-781.54
		1D	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	7.9	-748.39
		1F	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	9.525	-902.32
		1H, 1J y 1L	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	9.2	-871.54
		1N	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	4.6	-435.77
		3A	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	4.125	-390.77
		3B	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	8.25	-781.54
		3D	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	7.915	-749.81
		3E y 3G	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	7.58	-718.07
		3I	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	7.775	-736.54
		3K y 3M	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	7.97	-755.02
	3N	8.63-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	3.985	-377.51	
	B A R L O V E N T O	11A	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	4.125	603.47
			11	187.38				149.90		618.35
			12	191.6				153.28		632.28
		11B	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	8.25	1206.94
			11	187.38				149.90		1236.71
			12	191.6				153.28		1264.56
		11D	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.915	1157.93
			11	187.38				149.90		1186.49
			12	191.6				153.28		1213.21
		11E y 11G	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.58	1108.92
			11	187.38				149.90		1136.27
12			191.6	153.28				1161.86		
11I	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.775	1137.45		
	11	187.38				149.90		1165.50		
	12	191.6				153.28		1191.75		
11K y 11M	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	7.97	1165.98		
	11	187.38				149.90		1194.73		
	12	191.6				153.28		1221.64		
11N	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	3.985	582.99		
	11	187.38				149.90		597.37		
	12	191.6				153.28		610.82		

En la tabla No. 2.13 y la figura No. 2.10 se presenta el cálculo de presiones en la estructura principal para los muros laterales cuando el viento actúa en el muro del eje 1 ó eje 11.

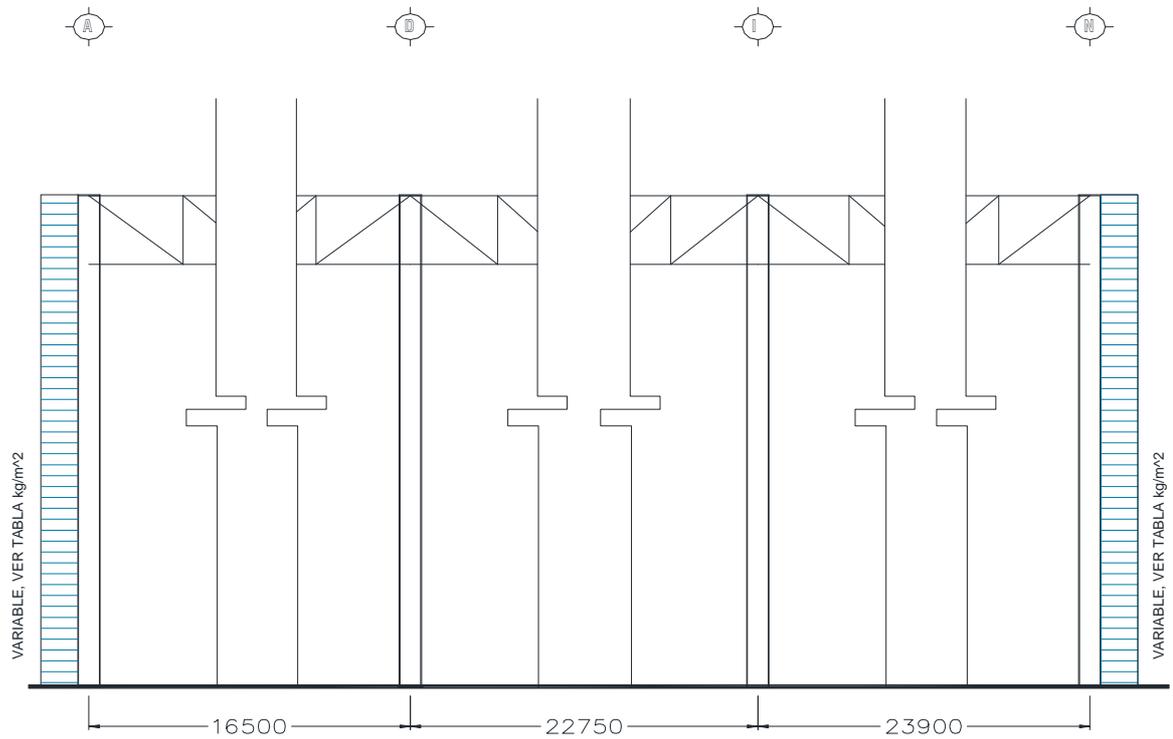


Figura No. 2.10 Presiones en los muros laterales.

Tabla No. 2.13 Presiones en los muros laterales.

EJES A y N										
DIR DEL VIENTO	MURO	EJE	ALTURA (m)	$q_z$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$K_A$	$K_L$	$p_e$ (kg/m <sup>2</sup> )	ANCHO ENTREEJE (m)	$F_{est}$ (kg/m)
N O R M E L A T A R I C A S	L A T E R A L E S	1	0 - 11	196.54	-0.65	0.9	1	-114.98	2.5375	-291.75
		2	0 - 11.5	196.54	-0.65	0.86	1	-109.87	5.075	-557.57
		3	0 - 11.92	196.54	-0.65	0.84	1	-107.31	5.6375	-604.96
		4	0 - 12.54	196.54	-0.5	0.83	1	-81.56	6.35	-517.93
		5	0 - 13.18	196.54	-0.5	0.82	1	-80.58	6.5	-523.78
		6	0 - 13.84	196.54	-0.3	0.83	1	-48.94	5.85	-286.29
		7	0 - 14.36	196.54	-0.3	0.83	1	-48.94	5.2	-254.48
		8	0 - 13.84	196.54	-0.25	0.83	1	-40.78	5.85	-238.57
		9	0 - 13.18	196.54	-0.2	0.82	1	-32.23	6.5	-209.51
		10	0 - 12.54	196.54	-0.2	0.84	1	-33.02	5.875	-193.98
		11	0 - 12	196.54	-0.2	0.89	1	-34.98	2.625	-91.83

En las figuras 2.8 a la 2.10 se representa la carga por metro lineal en las columnas y en la tablas 2.11 a la 2.13 se especifica la carga que se debe aplicar a cada columna dependiendo del eje donde se encuentre y la altura de la misma cuando el viento sopla en dirección perpendicular a las generatrices de la estructura.

Para la dirección paralela a las generatrices es suficiente con calcular las presiones del viento en una sola dirección, ya que la construcción es simétrica y se pueden considerar los mismos efectos cuando el viento sopla en el muro del eje "A" o en el muro del eje "N".

En la tabla No. 2.14 y la figura No. 2.11 se presenta el cálculo de presiones en la estructura principal por ejes para las diferentes alturas de cada una de las columnas cuando el viento actúa en el muro del eje A.

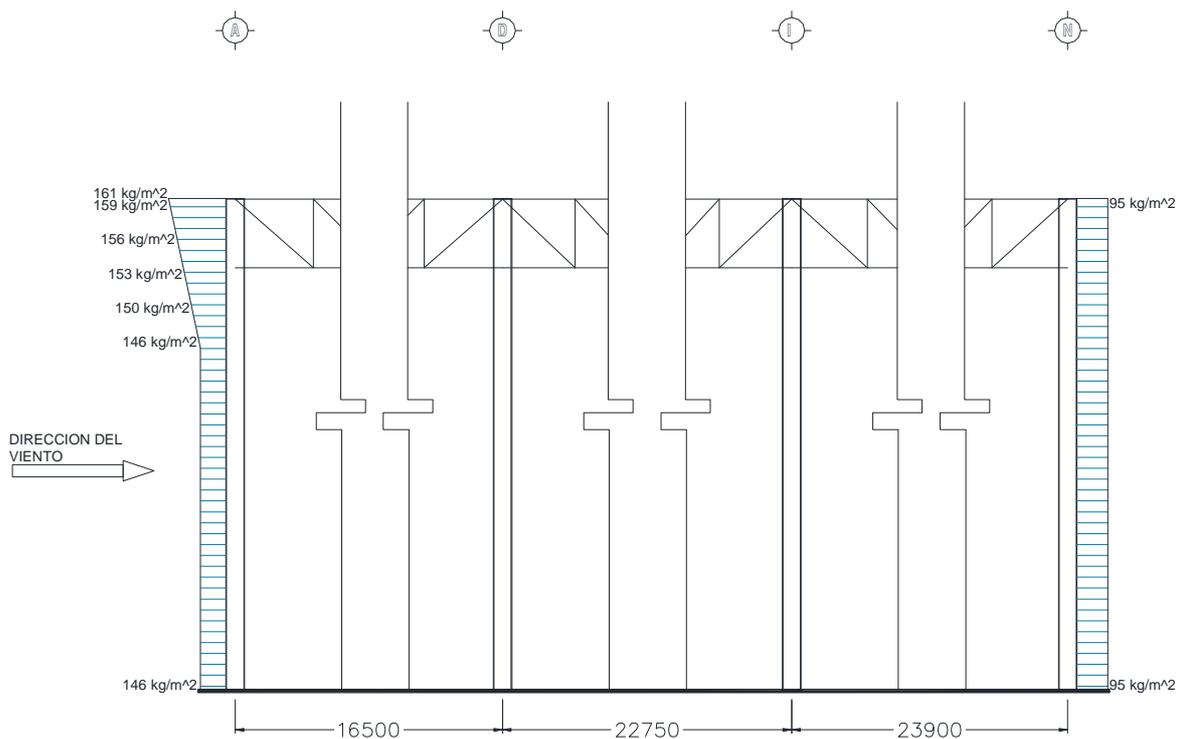


Figura No. 2.11 Viento soplando en el muro del eje "A".

**Tabla No. 2.14 Cálculo de presiones con el viento soplando en el muro del eje "A".**

EJES A y N										
DIR DEL VIENTO	MURO	EJE	ALTURA (m)	$q_z$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$K_A$	$K_L$	$p_e$ (kg/m <sup>2</sup> )	ANCHO ENTREEJE (m)	$F_{est}$ (kg/m)
P A R A L E L O	B A R L O V E N T O	A1	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	2.5375	371.23
			11	187.38				149.90		380.38
		A2	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.075	742.45
			11	187.38				149.90		760.76
			12	191.6				153.28		777.90
		A3	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.6375	824.74
			11	187.38				149.90		845.08
			12	191.6				153.28		864.12
		A4	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	6.35	928.98
			11	187.38				149.90		951.89
			12	191.6				153.28		973.33
			13	195.6				156.48		993.65
		A5	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	6.5	950.92
			11	187.38				149.90		974.38
			12	191.6				153.28		996.32
			13	195.6				156.48		1017.12
		A6	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.85	855.83
			11	187.38				149.90		876.94
			12	191.6				153.28		896.69
			13	195.6				156.48		915.41
			14	199.3				159.44		932.72
		A7	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.2	760.74
11	187.38		149.90	779.50						
12	191.6		153.28	797.06						
13	195.6		156.48	813.70						
14	199.3		159.44	829.09						
14.5	201.11		160.89	836.62						
A8	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.85	855.83		
	11	187.38				149.90		876.94		
	12	191.6				153.28		896.69		
	13	195.6				156.48		915.41		
	14	199.3				159.44		932.72		
A9	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	6.5	950.92		
	11	187.38				149.90		974.38		
	12	191.6				153.28		996.32		
	13	195.6				156.48		1017.12		
A10	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	5.875	859.49		
	11	187.38				149.90		880.69		
	12	191.6				153.28		900.52		
	13	195.6				156.48		919.32		
A11	0-10	182.87	0.8	1	1	146.30	2.625	384.03		
	11	187.38				149.90		393.50		
	12	191.6				153.28		402.36		
S O T A V E N T O		N1	0-11	196.54	-0.482	1	1	-94.73	2.5375	-240.38
		N2	0-11.5	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.075	-480.77
		N3	0-11.91	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.6375	-534.05
		N4	0-12.54	196.54	-0.482	1	1	-94.73	6.35	-601.55
		N5	0-13.18	196.54	-0.482	1	1	-94.73	6.5	-615.76
		N6	0-13.84	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.85	-554.18
		N7	0-14.36	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.2	-492.61
		N8	0-13.84	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.85	-554.18
		N9	0-13.18	196.54	-0.482	1	1	-94.73	6.5	-615.76
		N10	0-12.54	196.54	-0.482	1	1	-94.73	5.875	-556.55
		N11	0-12	196.54	-0.482	1	1	-94.73	2.625	-248.67

En la tabla No. 2.15 y la figura No. 2.12 se presenta el cálculo de presiones en los ejes laterales de la estructura principal por ejes y para las diferentes alturas de cada una de las columnas cuando el viento actúa en el muro del eje A.

**Tabla No. 2.15 Cálculo de presiones en los muros laterales con el viento soplando en el muro del eje "A".**

EJES 1, 3 y 11										
DIR DEL VIENTO	MURO	EJE	ALTURA (m)	$q_z$ (kg/m <sup>2</sup> )	$C_{pe}$	$K_A$	$K_L$	$p_e$ (kg/m <sup>2</sup> )	ANCHO ENTREEJE (m)	$F_{est}$ (kg/m)
P A R A L E L O  A  L A S  G E N E R A T R I C E S	L A T E R A L E S	1A	0 - 11	196.54	-0.65	0.86	1	-109.87	5.275	-579.54
		1C	0 - 11	196.54	-0.65	0.81	1	-103.48	8.25	-853.70
		1D	0 - 11	196.54	-0.5	0.82	1	-80.58	7.9	-636.59
		1F	0 - 11	196.54	-0.4	0.8	1	-62.89	9.525	-599.05
		1(H, J y L)	0 - 11	196.54	-0.3	0.8	1	-47.17	9.2	-433.96
		1N	0 - 11	196.54	-0.2	0.87	1	-34.20	4.6	-157.31
		3A	8.6 - 11.9	196.54	-0.65	0.98	1	-125.20	4.125	-516.43
		3B	8.6 - 11.9	196.54	-0.65	0.9	1	-114.98	8.25	-948.55
		3D	8.6 - 11.9	196.54	-0.5	0.9	1	-88.44	7.915	-700.03
		3(E y G)	8.6 - 11.9	196.54	-0.5	0.9	1	-88.44	7.58	-670.40
		3I	8.6 - 11.9	196.54	-0.25	0.9	1	-44.22	7.775	-343.82
		3(K y M)	8.6 - 11.9	196.54	-0.2	0.9	1	-35.38	7.97	-281.96
		3N	8.6 - 11.9	196.54	-0.2	0.98	1	-38.52	3.985	-153.51
		11A	0 - 12	196.54	-0.65	0.87	1	-111.14	4.125	-458.47
		11B	0 - 12	196.54	-0.65	0.81	1	-103.48	8.25	-853.70
		11D	0 - 12	196.54	-0.5	0.81	1	-79.60	7.915	-630.02
		11(E y G)	0 - 12	196.54	-0.5	0.81	1	-79.60	7.58	-603.36
		11I	0 - 12	196.54	-0.25	0.81	1	-39.80	7.775	-309.44
		11(K y M)	0 - 12	196.54	-0.2	0.81	1	-31.84	7.97	-253.76
		11N	0 - 12	196.54	-0.2	0.87	1	-34.20	3.985	-136.28

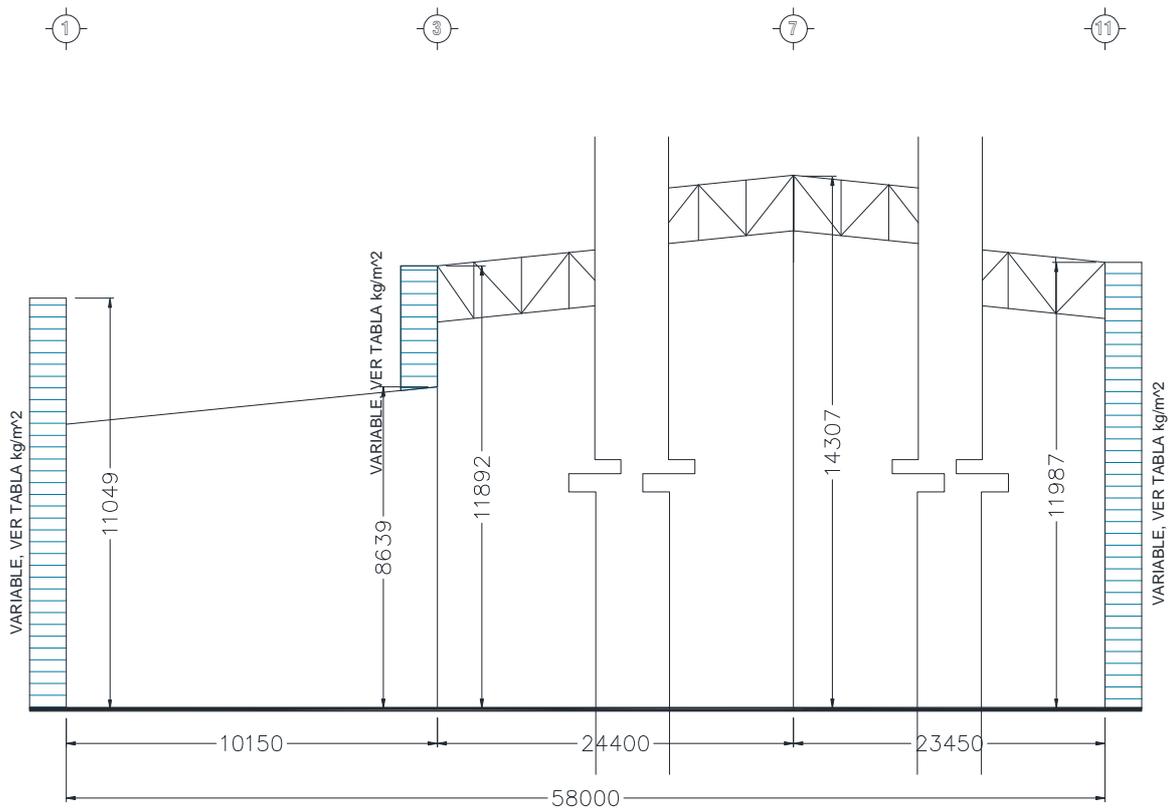


Figura No. 2.12 Presiones sobre los muros laterales con el viento soplando en el muro del eje 1.

### 2.7.2 Cálculo de las fuerzas generadas en la cubierta con dirección del viento perpendicular a las generatrices.

Para la cubierta se tienen dos valores del coeficiente de presión  $C_{pe}$ , por lo que se debe determinar cuál de los dos valores resultantes para el empuje del viento es el más crítico para la estructura.

**Tabla No. 2.16 Cálculo de las presiones sobre la cubierta con el viento soplando en dirección normal a las generatrices.**

DIR DEL VIENTO	ZONA	EJE	AREA TRIBUTARIA M <sup>2</sup>	DISTANCIA	C <sub>pe</sub>	K <sub>A</sub>	q <sub>z</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	ρ <sub>e1</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	ρ <sub>e2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	ANCHO DE ENTREEJE	F <sub>EST1</sub> (kg/m)	F <sub>EST2</sub> (kg/m)						
N O R M A L  A  L A S  G E N E R A T R I C E S	C U B I E R T A  S O T A V E N T O Y	A	198.4	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	4.125	-584.26	-259.67						
				13.30 - 26.60 m	-0.5			-78.69	0.00		-324.59	0.00						
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1			-47.21	15.74		-194.75	64.92						
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20			-31.48	31.48		-129.84	129.84						
		B	396.78	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	8.25	-1168.52	-519.34						
													13.30 - 26.60 m	-0.5	-78.69	0.00	-649.18	0.00
													26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1	-47.21	15.74	-389.51	129.84
													39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20	-31.48	31.48	-259.67	259.67
		D	380.67	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	7.915	-1121.07	-498.25						
													13.30 - 26.60 m	-0.5	-78.69	0.00	-622.82	0.00
													26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1	-47.21	15.74	-373.69	124.56
													39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20	-31.48	31.48	-249.13	249.13
		EyG	364.56	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	7.58	-1073.62	-477.16						
													13.30 - 26.60 m	-0.5	-78.69	0.00	-596.46	0.00
													26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1	-47.21	15.74	-357.87	119.29
													39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20	-31.48	31.48	-238.58	238.58
		I	373.94	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	7.775	-1101.24	-489.44						
													13.30 - 26.60 m	-0.5	-78.69	0.00	-611.80	0.00
													26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1	-47.21	15.74	-367.08	122.36
													39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20	-31.48	31.48	-244.72	244.72
		KyM	383.32	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	7.97	-1128.86	-501.71						
													13.30 - 26.60 m	-0.5	-78.69	0.00	-627.14	0.00
													26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1	-47.21	15.74	-376.29	125.43
													39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20	-31.48	31.48	-250.86	250.86
		N	191.66	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	0.8	196.72	-141.64	-62.95	3.985	-564.43	-250.86						
													13.30 - 26.60 m	-0.5	-78.69	0.00	-313.57	0.00
													26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1	-47.21	15.74	-188.14	62.71
													39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20	-31.48	31.48	-125.43	125.43

Se consideró el valor de  $K_A = 0.8$  de la tabla 4.3.4 del manual de diseño por viento de la CFE, dado que el área tributaria de los elementos en todos los casos es mayor de 100 m<sup>2</sup>.

Para determinar la carga de diseño, se hace la combinación de las cargas verticales con las fuerzas de viento y así determinar cuál es el valor crítico, estos datos se presentan en la tabla No. 2.17.

**Tabla No. 2.17 Cálculo de las presiones de viento sobre la estructura principal de la cubierta combinándolas con las cargas verticales.**

DIR DEL VIENTO	ZONA	EJE	AREA TRIBUTARIA M <sup>2</sup>	DISTANCIA	C <sub>pe</sub>	ANCHO DE ENTREEJE	F <sub>EST1</sub> (kg/m)	F <sub>EST2</sub> (kg/m)	CARGA MUERTA	CARGA VIVA INST	C1	C2
N O R M A L  A  L A S  G E N E R A T R I C E S	C U B I E R T A  S O D E A B E N T L O V E N T O  Y	A	198.4	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	4.125	-584.26	-259.67	82.5	82.5	-419.26	-94.67
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-324.59	0.00			-159.59	165.00
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-194.75	64.92			-29.75	229.92
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-129.84	129.84			35.16	294.84
		B	396.78	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	8.25	-1168.52	-519.34	165	165	-838.52	-189.34
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-649.18	0.00			-319.18	330.00
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-389.51	129.84			-59.51	459.84
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-259.67	259.67			70.33	589.67
		D	380.67	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	7.915	-1121.07	-498.25	158.3	158.3	-804.47	-181.65
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-622.82	0.00			-306.22	316.60
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-373.69	124.56			-57.09	441.16
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-249.13	249.13			67.47	565.73
		E y G	364.56	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	7.58	-1073.62	-477.16	151.6	151.6	-770.42	-173.96
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-596.46	0.00			-293.26	303.20
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-357.87	119.29			-54.67	422.49
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-238.58	238.58			64.62	541.78
		I	373.94	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	7.775	-1101.24	-489.44	155.5	155.5	-790.24	-178.44
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-611.80	0.00			-300.80	311.00
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-367.08	122.36			-56.08	433.36
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-244.72	244.72			66.28	555.72
		K y M	383.32	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	7.97	-1128.86	-501.71	159.4	159.4	-810.06	-182.91
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-627.14	0.00			-308.34	318.80
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-376.29	125.43			-57.49	444.23
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-250.86	250.86			67.94	569.66
		N	191.66	0 - 13.30 m	-0.9, -0.4	3.985	-564.43	-250.86	79.7	79.7	-405.03	-91.46
				13.30 - 26.60 m	-0.5		-313.57	0.00			-154.17	159.40
				26.60 - 39.90 m	-0.3, 0.1		-188.14	62.71			-28.74	222.11
				39.90 - 47.85 m	-0.20, 0.20		-125.43	125.43			33.97	284.83

En la figura No.2.13 se muestra gráficamente la variación de las cargas en la estructura principal, combinando cargas de viento y verticales.

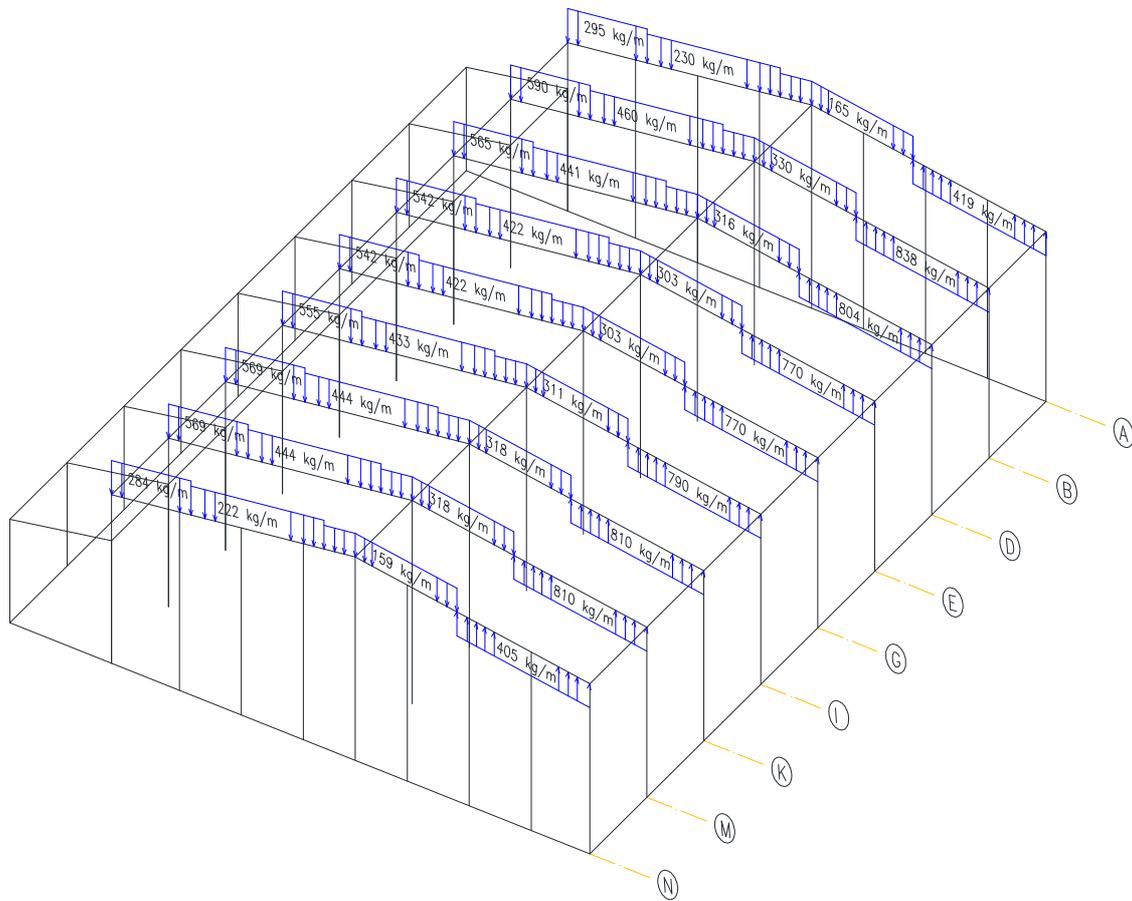


Figura No. 2.13 Variación de cargas en la estructura principal de la cubierta.

En la figura 2.13 y la tabla No. 2.17 se observa que los valores críticos al combinarlos con las cargas verticales varían de succión en la parte más cercana a la pared de barlovento con una distancia igual a la altura media de la construcción a empuje en el resto de la cubierta.

En la tabla No. 2.16 se determinó que los esfuerzos mayores son los de succión en toda la cubierta cuando solo se toma en cuenta la carga ocasionada por el viento y cambia como se mencionó en el párrafo anterior al hacer la combinación con las cargas verticales.

## 2.8 Presiones de diseño de los elementos secundarios.

En esta etapa del diseño se determinó la carga ocasionada por el viento en los elementos secundarios tanto en la cubierta como en los muros. Estos elementos están formados por largueros tipo Mon-ten con una

separación de 1.25 m. entre ejes en los muros y de 1.30 m. entre ejes en proyección horizontal en la cubierta.

Debido a que los elementos secundarios son los que sujetan la lámina de recubrimiento, se deben tomar en cuenta los valores del factor de presión local  $K_L$  de acuerdo con el inciso 4.3.2.1.1 del manual de diseño por viento de la CFE.

En la tabla No. 2.9 se calcularon los valores del factor de reducción de presión por tamaño de área  $K_A$ . Ambos factores se deben aplicar al cálculo de las presiones sobre los elementos secundarios de acuerdo con lo siguiente:

El factor  $K_L$  afecta a la estructura secundaria de techos, muros de barlovento y muros laterales.

El factor  $K_A$  afecta a la estructura principal y secundaria de techos y muros laterales y los recubrimientos de estos.

En cualquier otra área de la estructura no considerada en estos puntos, el valor de ambos factores es igual a la unidad.

### **1) Viento normal a las generatrices.**

Se calculó la dimensión  $a_0$  de acuerdo con la figura No. 2.7 (figura 4.3.4 (a) del manual de diseño por viento de la CFE), que es la mínima de las siguientes:

$$H_m = 13.30 \text{ m} < 25$$

$$0.20b = 0.20 * 63.15 = 12.63$$

$$0.20d = 0.20 * 58.00 = 11.60 \text{ valor mínimo}$$

Como la construcción no es simétrica cuando el viento actúa en esta dirección, se revisó cuando el viento actúa en el muro del eje 1 como en el eje 11 para lo cual se tomaron los valores de la separación mayor entre columnas donde se apoyan los largueros.

### 1.1 Largueros de muro de barlovento (eje 11).

De acuerdo con la tabla No. 2.18 que es una reproducción de la tabla 4.3.5 del manual de diseño por viento de la CFE, se calculó el área de afectación  $A_f \leq 0.25a_0^2$  para poder determinar el valor del factor de presión local  $K_L$ .

**Tabla No. 2.18 Factor de presión local  $K_L$  para recubrimientos y sus soportes.**

Presión externa	Referencia de las áreas	$\bar{h}$ (m)	Área de afectación $A_f$ (m <sup>2</sup> )	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	$\leq 25$	$\leq a_0^2$	$< a_0$	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	---	---

Para el viento soplando en el muro del eje 11 la separación máxima de las columnas es de 8.25 m y la separación entre largueros es de 1.25 m por lo tanto:

$$A_f = 8.25 * 1.25 = 10.31 \text{ m}^2$$

$$0.25a_0^2 = 0.25 * 11.60^2 = 33.64 \text{ m}^2 > 10.31$$

Tomando los datos de la tabla 2.18 el valor de  $K_L = 1.25$ , el valor de  $C_{pe} = 0.8$  (tabla No. 2.5) y el valor de  $K_A = 1.0$  dado que no se trata de muros laterales ni de techos.

Con los valores de  $K_A$ ,  $K_L$  y  $C_{pe}$  se calculó la presión de diseño local de acuerdo con la ecuación 4.3.2:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = 0.8 * 1.0 * 1.25 * 196.72 = 196.72 \text{ kg/m}^2$$

El valor de  $q_z = 196.72 \text{ kg/m}^2$  es el de la presión dinámica de base a la altura media de la construcción obtenido por interpolación lineal de la tabla No. 2.4.

Si los largueros están separados una distancia de 1.25 m la carga por metro lineal es  $W = 196.72 * 1.25 = 245.9 \text{ kg/m}$  para todos los elementos del muro de barlovento.

### **1.2 Largueros de muro de sotavento (eje 1).**

En la tabla No. 5 se calculó el valor de  $C_{pe} = -0.482$  dadas la inclinación del techo de  $5.72^\circ$  y la relación  $d/b = 1.09$

Para este caso el valor de  $K_A = 1.0$  por ser muro de sotavento y de acuerdo a la tabla 4.3.5 del manual de diseño por viento de la CFE,  $K_L = 1.0$  al no ser muro lateral ni de barlovento, por lo tanto la presión local de diseño para el muro de sotavento es:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.482 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -94.82 \text{ kg/m}^2$$

Nuevamente los largueros están separados una distancia de 1.25 m por lo tanto la carga por metro lineal es  $W = 94.82 * 1.25 = 118.52 \text{ kg/m}$  para todos los largueros que se encuentran en el muro de sotavento.

### **1.3 Largueros de los muros laterales (ejes A y N).**

Para calcular el coeficiente  $C_{pe}$  que afecta las presiones en los largueros de los muros laterales, se utilizaron las tablas 4.3.2, 4.3.4 y 4.3.5 del manual de diseño por viento de la CFE. Esta tabla se reproduce parcialmente en la tabla No. 2.19 la cual se complementa con los valores calculados de  $K_A$  y  $K_L$  haciendo referencia a la figura No. 2.7.

**Tabla No. 2.19 Cálculo de los factores  $K_A$  y  $K_L$  para los muros laterales.**

DISTANCIA AL MURO DE BARLOVENTO	$C_{pe}$	$A_F$	$K_A$ ( $A_F \leq 10$ )	$K_L$
0 a $h_m$ (0 a 13.30 m)	-0.65	8.125	1.0	
$1h_m$ a $2h_m$ (13.30 m a 26.60 m)	-0.5	6.5	1.0	
$2h_m$ a $3h_m$ (26.60 m a 39.90 m)	-0.3	8.125	1.0	
> a $3h_m$ (39.90 m a 58.00 m)	-0.2	7.75	1.0	
< $0.5 a_o$ ( $0.5 * 11.60 = 5.80$ )		< $0.25 a_o^2$ ( $0.25 * 11.60^2 = 33.64$ )		2.0
< $1.0 a_o$ ( $1 * 11.60 = 11.60$ )				1.5
DE 11.60 m a 58.00 m				1.0

De acuerdo con los valores calculados en tabla No. 2.19 la succión en los largueros de los muros de los ejes A y N queda como sigue para el caso que el viento sopla en el muro del eje 1.

De 0.00 a 5.80 m medidos a partir del eje 11:

$$p_{zL} = -0.65 * 1.0 * 2.0 * 196.72 = -255.7 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -255.7 * 1.25 = -319.62 \text{ kg/m}$$

De 5.80 a 11.60 m:

$$p_{zL} = -0.65 * 1.0 * 1.5 * 196.72 = -191.8 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -191.8 * 1.25 = -239.75 \text{ kg/m}$$

De 11.60 a 13.30 m:

$$p_{zL} = -0.65 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -127.87 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -127.87 * 1.25 = -159.83 \text{ kg/m}$$

De 13.30 a 26.60 m:

$$p_{zL} = -0.5 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -98.36 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -98.36 * 1.25 = -122.95 \text{ kg/m}$$

De 26.60 a 39.90 m:

$$p_{zL} = -0.3 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -59.02 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -39.34 * 1.25 = -73.77 \text{ kg/m}$$

De 39.90 a 58.00 m:

$$p_{zL} = -0.2 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -39.34 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -39.34 * 1.25 = -49.18 \text{ kg/m.}$$

El procedimiento se repite cuando el viento sopla en el eje 1, tomando en cuenta que la distribución de ejes no son iguales por lo tanto los factores  $K_A$  y  $K_L$  pueden cambiar de valor según el área de afectación.

#### **1.4 Largueros de muro de barlovento (eje 1).**

La separación máxima de columnas en el eje 1 es de 10.55 m por lo tanto:

$$A_f = 10.55 * 1.25 = 13.18 \text{ m}^2$$

$$0.25a_o^2 = 0.25 * 11.60^2 = 33.64 \text{ m}^2 > 13.18 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, se repiten los valores de  $K_A$ ,  $K_L$  y  $C_{pe}$  dando los mismos valores de la presión y carga lineal que para los largueros del eje 11; aunque en este caso la separación entre columnas es mayor lo que implica que los largueros estarán sometidos a mayores esfuerzos al ser de mayor longitud.

#### **1.5 Largueros de muro de sotavento (eje 11).**

Como la acción del viento sigue siendo normal a las generatrices los valores de los coeficientes de presión son los mismos que los calculados en el inciso 1.2 y también los valores de presión y carga lineal en los largueros son los mismos que los del eje 1 cuando el viento sopla en el muro del eje 11.

#### **1.6 Largueros de muros laterales (ejes A y N).**

Para este caso al no ser igual la distribución de ejes se determinó el área de afectación de los largueros de las fachadas de los ejes A y N para obtener los valores de los coeficientes  $K_A$  y  $K_L$ , los cuales se representan en la tabla No. 2.20, que resultaron ser los mismos que cuando el viento sopla en el muro del eje 1.

**Tabla No. 2.20. Cálculo de los valores de  $K_A$  y  $K_L$ .**

DISTANCIA AL MURO DE BARLOVENTO	$C_{pe}$	$A_F$	$K_A$ ( $A_F \leq 10$ )	$K_L$
0 a $h_m$ (0 a 13.30 m)	-0.65	6.34375	1.000	
$1h_m$ a $2h_m$ (13.30 m a 26.60 m)	-0.5	6.5	1.0	
$2h_m$ a $3h_m$ (26.60 m a 39.90 m)	-0.3	8.125	1.0	
> a $3h_m$ (39.90 m a 58.00 m)	-0.2	7.75	1.0	
< $0.5 a_o$ ( $0.5 * 11.60 = 5.80$ )		< $0.25 a_o^2$ ( $0.25 * 11.60^2 = 33.64$ )		2.0
< $1.0 a_o$ ( $1 * 11.60 = 11.60$ )				1.5
DE 11.60 m a 58.00 m				1.0

La succión en los largueros es la misma cuando el viento sopla en el muro del eje 1 o en el del eje 11, pero para fines de diseño se puede considerar la distribución de presiones calculada cuando el viento sopla en el muro del eje 11.

La figura No. 2.14 representa gráficamente en planta las presiones en los muros de la estructura.

Aunque la distribución de ejes no es simétrica, son muy similares las cotas entre ejes y por lo tanto cuando el viento sopla en el muro del eje 1 las presiones y succiones en los largueros de los muros son similares.

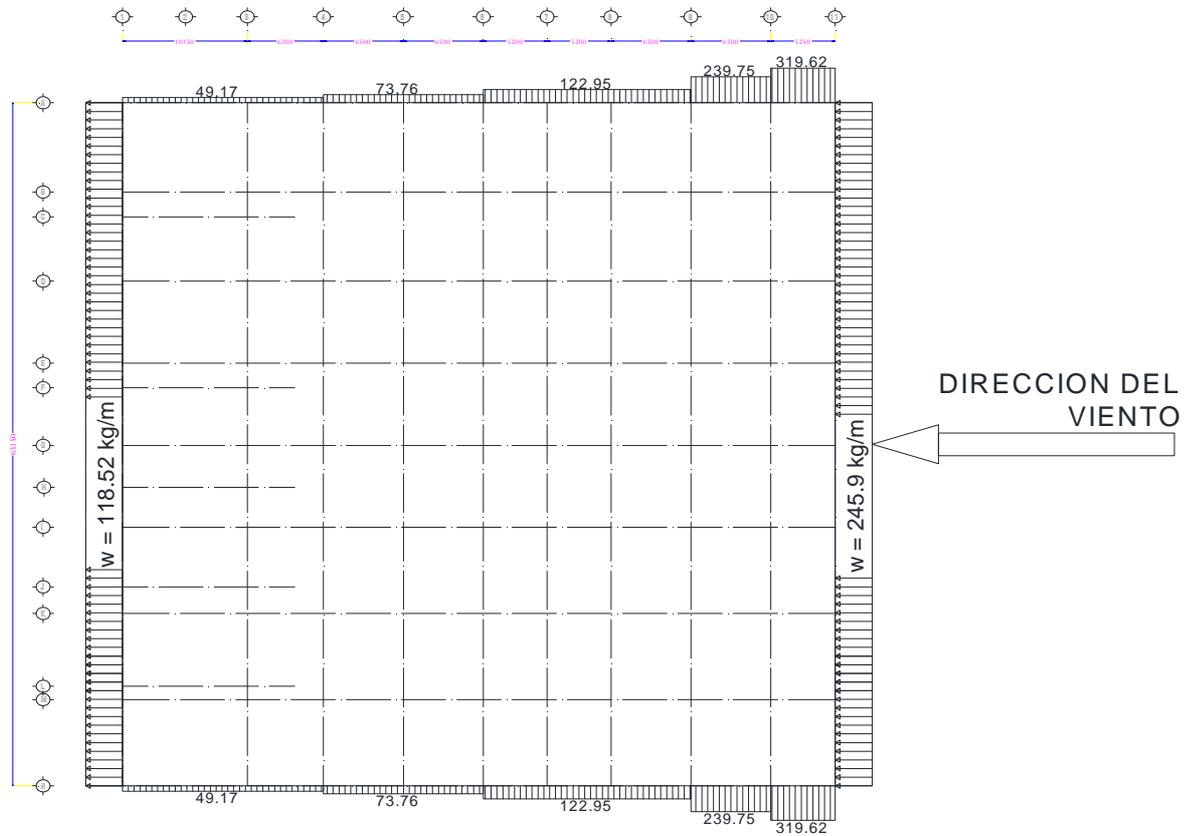


Figura No. 2.14 Representación gráfica de las presiones en los largueros cuando el viento sopla en el eje 1.

### 1.7 Largueros de cubierta.

Para la relación  $h_m/d$  ( $13.30/58.00 = 0.23$ )  $< 0.5$  y  $\gamma=5.71^\circ < 10^\circ$  los valores del coeficiente  $C_{pe}$  se obtienen de la tabla 4.3.3b del manual de diseño por viento de la CFE, de donde se tienen los siguientes valores tomando la distancia desde el muro de barlovento:

**Tabla No. 2.21 Coeficiente de presión exterior  $C_{pe}$  para zonas de techos de construcciones con planta rectangular cerrada, cubierta de barlovento (CB) y cubierta de sotavento (CS) para  $\gamma < 10^\circ$ , cubiertas transversales (CT) de techos a una o dos aguas y cualquier ángulo  $\gamma$ .**

Zona e inclinación del techo		Relación $\bar{h}/d$	Distancia horizontal sobre el techo medida a partir de la arista superior del muro de barlovento	$C_{pe}$	
Cubierta transversal (CT) de techos a una o dos aguas $\gamma'$	Cubierta de barlovento (CB) y sotavento (CS) $\gamma$			Caso 1	Caso 2
Cualquiera	$\gamma < 10^\circ$	$\leq 0.5$	0 a $0.5\bar{h}$	-0.9	-0.4
			$0.5\bar{h}$ a $1\bar{h}$	-0.9	-0.4
			$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	-0.5	0
			$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	-0.3	0.1
			$> 3\bar{h}$	-0.2	0.2
		$\geq 1.0$	0 a $0.5\bar{h}$	-1.3	-0.6
			$0.5\bar{h}$ a $1\bar{h}$	-0.7,	-0.3
			$1\bar{h}$ a $2\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3) <sup>(1)</sup>
			$2\bar{h}$ a $3\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)
			$> 3\bar{h}$	(-0.7)	(-0.3)

La tabla 2.21 es una reproducción de la tabla 4.3.3(b) del manual de diseño por viento de la CFE.

$C_{pe} = -0.90, -0.40$  de 0.00 a 13.30 m

-0.50, 0.00 de 13.30 a 26.60 m

-0.30, 0.10 de 26.60 a 39.90 m

-0.20, 0.20 de 39.90 a 58.00 m

Los largueros en la cubierta están separados una distancia de 1.306 m., centro a centro por lo que el área tributaria del claro más grande que será el de mayor esfuerzo es de  $1.306 \times 8.25 = 10.77 \text{ m}^2$ , entrando con este valor a la tabla No. 2.22 que es una reproducción de la tabla 4.3.4 del manual de diseño por viento de la CFE, por interpolación lineal el coeficiente  $K_A = 0.995$ .

**Tabla No. 2.22 Factor de reducción  $K_A$  para techos y muros laterales.**

Área tributaria en $m^2$ $A$	Factor de reducción $K_A$
$\leq 10$	1.0
25	0.9
$\geq 100$	0.8

Los valores del coeficiente  $K_L$  se calculan de la tabla No. 2.18 que es la tabla 4.3.5 del manual de diseño por viento de la CFE con ayuda de las figuras No. 2.7 y No. 2.8, se obtiene la tabla No. 2.23 donde se calcula la presión en los largueros de la cubierta.

$$A_f = 8.25 * 1.306 = 10.77 \text{ m}^2$$

$$0.25a_0^2 = 0.25 * 11.60^2 = 33.64 \text{ m}^2 > 10.77$$

**Tabla No. 2.23 Cálculo de presiones en los largueros de cubierta.**

DISTANCIA AL BORDE	$C_{pe}$	$K_A$	$A_f$	$K_L$	$P_z$
0.00 A 5.80 m	-0.9	0.995	10.7745	2	-352.32552
	0.4	0.995	10.7745	2	156.58912
5.80 A 11.60 m	-0.9	0.995	10.7745	1.5	-264.24414
	0.4	0.995	10.7745	1.5	117.44184
11.60 A 13.30 m	-0.9	0.995	10.7745	1	-176.16276
	0.4	0.995	10.7745	1	78.29456
13.30 A 26.60 m	-0.5	0.995	10.7745	1	-97.8682
	0	0.995	10.7745	1	0
26.60 A 39.90 m	-0.3	0.995	10.7745	1	-58.72092
	0.1	0.995	10.7745	1	19.57364
39.90 A 58.00 m	-0.2	0.995	10.7745	1	-39.14728
	0.2	0.995	10.7745	1	39.14728

Los resultados de la tabla No. 2.23 se representan gráficamente en la figura No. 2.16 donde se aprecia la variación de las presiones en los largueros de la cubierta dependiendo de su posición con respecto al muro de barlovento.

En la figura No. 2.16 se representan por zonas las presiones calculadas en la tabla No. 2.23 lo que implica que las áreas tributarias de los largueros que estén en cada una de estas zonas tendrán dichas presiones.

La figura No. 2.15 representa las presiones en la cubierta cuando el viento sopla en el muro del eje 11, cuando el viento sopla en el muro del eje 1 son las mismas presiones pero en sentido inverso en la cubierta.

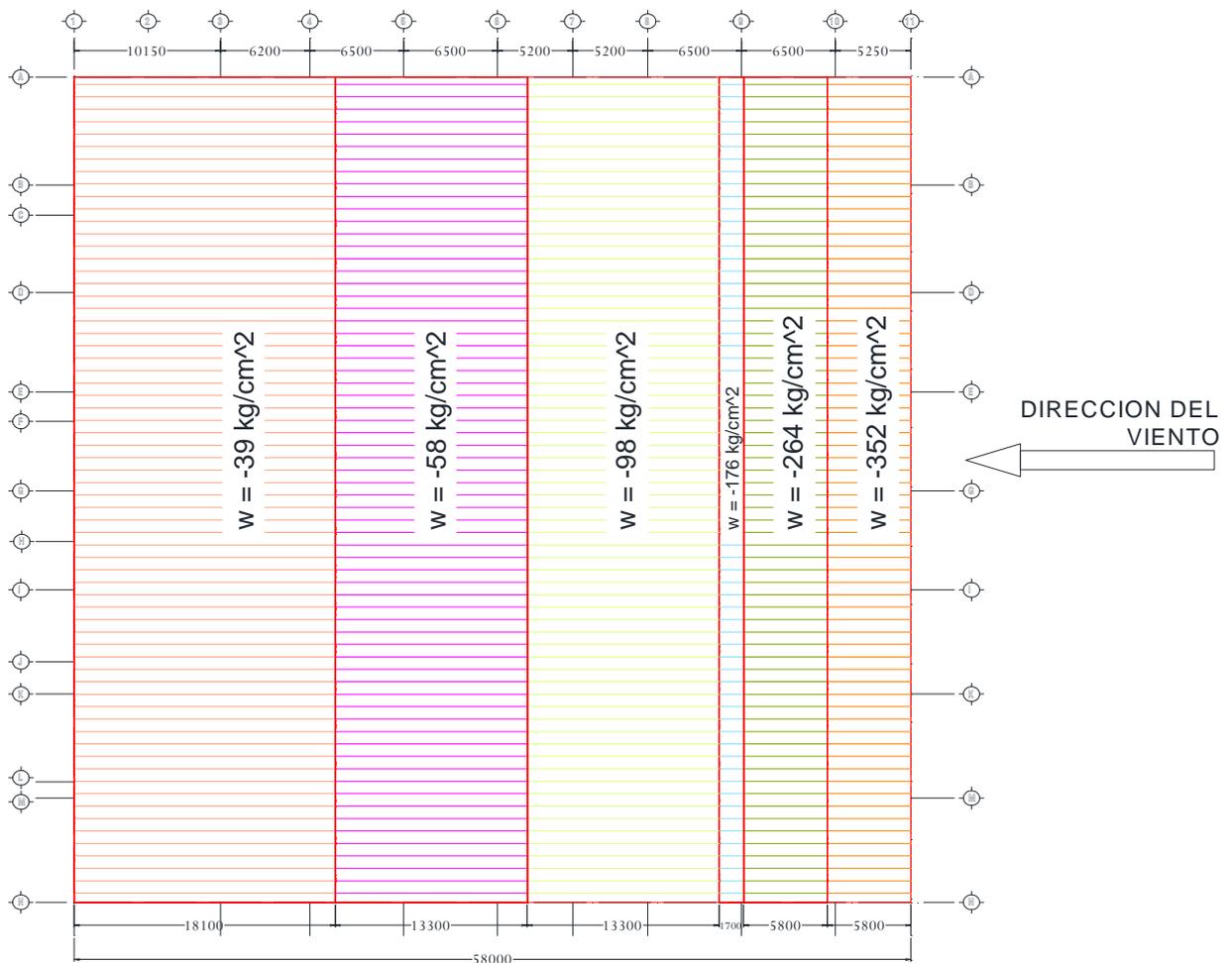


Figura No. 2.15 Representación gráfica de las presiones en la cubierta con el viento normal a las generatrices.

## 2) Viento paralelo a las generatrices.

Para este caso se vuelve a calcular  $a_0$  con relación a la figura No. 2.8:

$$H_m = 13.30 \text{ m} < 25$$

$$0.20b = 0.20 * 58.00 = 11.60, \text{valor m\u00ednimo}$$

$$0.20d = 0.20 * 63.15 = 12.63$$

Podemos observar que el valor de  $a_0$  es el mismo que para cuando el viento sopla en direcci\u00f3n perpendicular a las generatrices, solo cambia la posici\u00f3n de "d" y "b".

## 2.1 Largueros del muro de barlovento.

Estos son los largueros del eje "A" que es el muro que se eligi\u00f3 para el estudio en el que se supone soplar\u00e1 el viento en esta parte del an\u00e1lisis.

Nuevamente de la tabla 2.18 que es la tabla 4.3.5 del manual de dise\u00f1o por viento de la CFE se calcula el valor del coeficiente  $K_L$ . En los muros del eje "A" y del eje "N" la separaci\u00f3n m\u00e1xima de las columnas es de 6.50 m por lo que el \u00e1rea de afectaci\u00f3n es:

$$A_f = 6.5 * 1.25 = 8.125 \text{ m}^2$$

$$0.25a_0^2 = 0.25 * 11.60^2 = 33.64 \text{ m}^2 > 8.125.$$

De los resultados anteriores y de acuerdo a la tabla No. 2.18, el valor de  $K_L$  para el muro de barlovento es de 1.25, de la tabla No. 5, con referencia en la tabla 4.3.1 del manual de dise\u00f1o por viento de la CFE el valor de  $C_{pe}$  es de 0.80 y el de  $K_A$  es de 1.0 por no tratarse de muros laterales ni de techos.

Con los valores anteriores se calcula el valor de la presi\u00f3n de dise\u00f1o local:

$$p_{ZL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = 0.8 * 1.0 * 1.25 * 196.72 = 196.72 \text{ kg/m}^2$$

La carga lineal sobre los largueros es de:

$$W = 1.25 * 196.72 = 245.90 \text{ kg/m}$$

## 2.2 largueros de muro de sotavento (eje "N").

En la tabla No. 2.5 se calcul\u00f3 el valor de  $C_{pe} = -0.5$  dadas la inclinaci\u00f3n del techo de  $5.72^\circ$  y la relaci\u00f3n  $\frac{d}{b} = 0.92 < 1$ .

Los valores de  $K_A$  y  $K_L$  son:  $K_A = 1.0$  por ser muro de sotavento y de acuerdo a la tabla No. 2.18  $K_L = 1.0$  al no ser muro lateral, por lo tanto el valor de la presión de diseño local es:

$$p_{ZL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.5 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -98.36 \text{ kg/m}^2$$

La carga lineal sobre los largueros es:

$$W = 98.36 * 1.25 = 122.95 \text{ kg/m}$$

### 2.3 Largueros de los muros laterales (ejes 1, 3 y 11).

Para facilitar los cálculos se hace una tabla al igual que en el caso del viento perpendicular a las generatrices para determinar los valores de  $K_A$  y  $K_L$ , solo que esta vez se tienen que calcular para dos diferentes distribuciones de ejes como se muestra en la tabla No. 2.24.

**Tabla No. 2.24 Cálculo de  $K_A$  y  $K_L$ .**

DISTANCIA AL MURO DE BARLOVENTO	$C_{pe}$	$A_F$ EJE 1	$K_A$	$A_F$ EJES 3 y 11	$K_A$	$K_L$
0 a $h_m$ (0 a 13.30 m)	-0.65	13.1875	0.979	10.3125	0.998	
$1h_m$ a $2h_m$ (13.30 m a 26.60 m)	-0.5	12.3125	0.985	9.475	1.000	
$2h_m$ a $3h_m$ (26.60 m a 39.90 m)	-0.3	11.5	0.990	9.475	1.000	
> a $3h_m$ (39.90 m a 63.15 m)	-0.2	11.5	0.990	9.475	1.000	
< $0.5 a_0$ ( $0.5 * 11.60 = 5.80$ )		< $0.25 a_0^2$ ( $0.25 * 11.60^2 = 33.64$ )				2.0
< $1.0 a_0$ ( $1 * 11.60 = 11.60$ )						1.5
DE 11.60 m a 63.15 m						1.0

Los cálculos se tabulan en dos partes debido a que la distribución de ejes es diferente en el eje 1 que en los ejes 3 y 11.

Tomando en cuenta los resultados de la tabla No. 2.24 la distribución de presiones en los muros laterales es de la siguiente forma para el eje 1:

De 0 a 5.80 m:

$$p_{ZL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.65 * 0.979 * 2.0 * 196.72 = -250.36 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -250.36 * 1.25 = -312.95 \text{ kg/m}$$

De 5.80 a 11.60 m:

$$p_{ZL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.65 * 0.979 * 1.5 * 196.72 = -187.77 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -187.77 * 1.25 = -234.71 \text{ kg/m}$$

De 11.60 a 13.30 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.65 * 0.979 * 1.0 * 196.72 = -125.18 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -125.18 * 1.25 = -156.47 \text{ kg/m}$$

De 13.30 a 26.60 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.50 * 0.985 * 1.0 * 196.72 = -96.88 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -96.88 * 1.25 = -121.10 \text{ kg/m}$$

De 26.60 a 39.90 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.30 * 0.990 * 1.0 * 196.72 = -58.42 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -58.42 * 1.25 = -73.03 \text{ kg/m}$$

De 39.90 a 63.15 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.20 * 0.99 * 1.0 * 196.72 = -38.95 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -38.95 * 1.25 = -48.68 \text{ kg/m}$$

**Para los ejes 3 y 11.**

De 0 a 5.80 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.65 * 0.998 * 2.0 * 196.72 = -255.22 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -255.22 * 1.25 = -319.03 \text{ kg/m}$$

De 5.80 a 11.60 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.65 * 0.998 * 1.5 * 196.72 = -191.41 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -191.41 * 1.25 = -239.27 \text{ kg/m}$$

De 11.60 a 13.30 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.65 * 0.998 * 1.0 * 196.72 = -127.61 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -127.61 * 1.25 = -159.51 \text{ kg/m}$$

De 13.30 a 26.60 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.50 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -98.36 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -98.36 * 1.25 = -122.95 \text{ kg/m}$$

De 26.60 a 39.90 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.30 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -59.01 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -59.01 * 1.25 = -73.77 \text{ kg/m}$$

De 39.90 a 63.15 m:

$$p_{zL} = C_{pe} * K_A * K_L * q_z = -0.20 * 1.0 * 1.0 * 196.72 = -39.34 \text{ kg/m}^2$$

$$W = -39.34 * 1.25 = -49.18 \text{ kg/m}$$

Como en la dirección considerada la estructura es simétrica no es necesario calcular las presiones debidas al viento cuando este sopla en el muro del eje "N".

Las presiones en forma gráfica sobre los muros quedan de acuerdo a la figura No. 2.16.

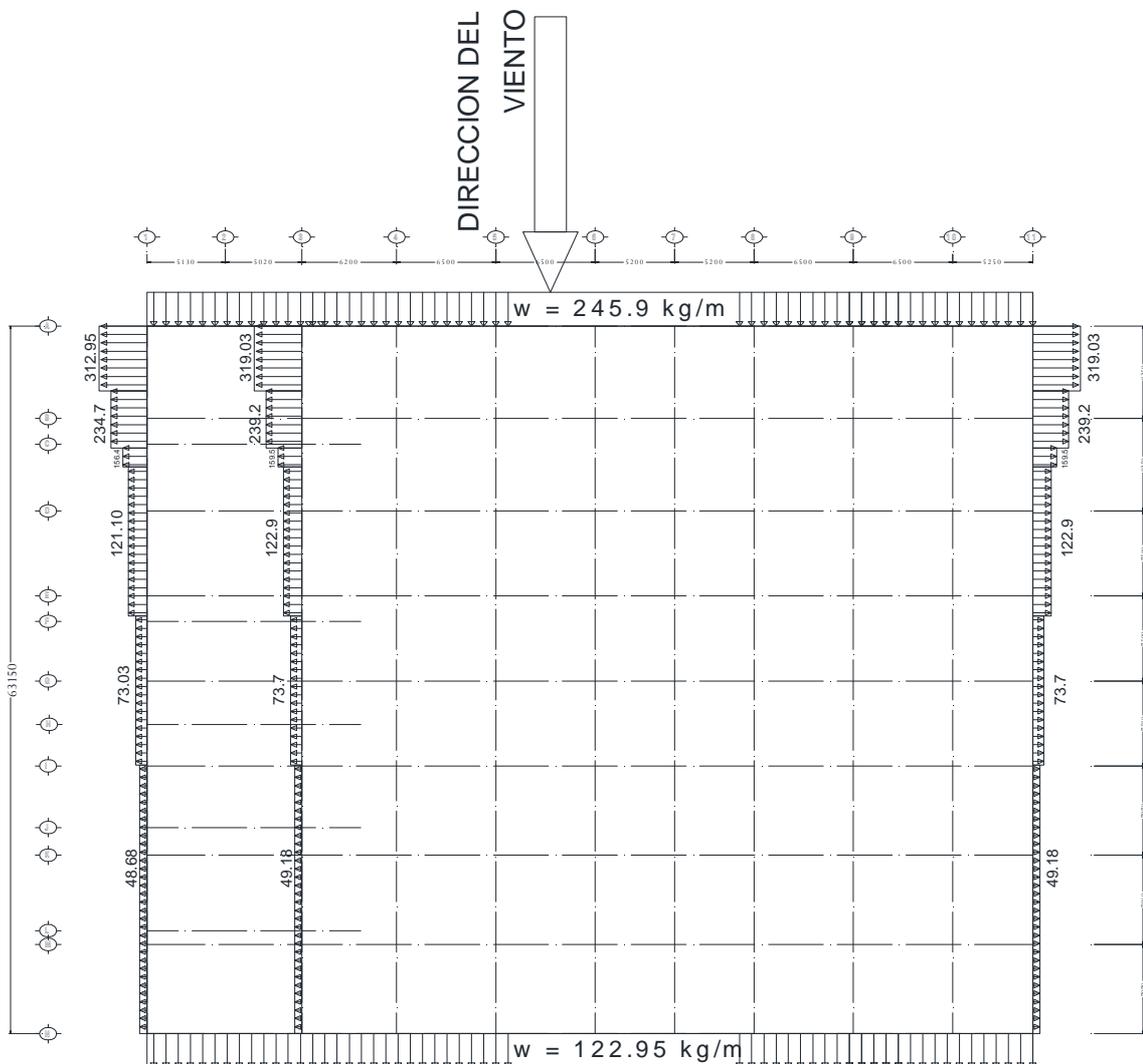


Figura No. 2.16 Presiones en los muros laterales.

## 2.4 Largueros de cubierta.

Nuevamente se calcula la relación  $h_m/d$  ( $13.30/63.15 = 0.21$ )  $< 0.5$  y en esta ocasión no se toma en cuenta la inclinación de la cubierta ya que la dirección del viento es paralela a las generatrices de la estructura. Los valores del coeficiente  $C_{pe}$  se obtienen de la tabla No. 2.21, de donde se tienen los mismos valores que para la dirección perpendicular a las generatrices, tomando la distancia desde el eje "A" que es el muro de barlovento:

$C_{pe} = -0.90$ , 0.40 de 0.00 a 13.30 m

-0.50, 0.00 de 13.30 a 26.60 m

-0.30, 0.10 de 26.60 a 39.90 m

-0.20, 0.20 de 39.90 a 63.15 m

Los largueros en la cubierta están separados una distancia de 1.306 m centro a centro por lo que el área tributaria del claro más grande que será el de mayor esfuerzo es de  $1.306 * 8.25 = 10.77 \text{ m}^2$  y el valor de  $K_A = 0.995$  de acuerdo a la tabla No. 2.22 el cual se obtiene por interpolación lineal.

Los valores del coeficiente  $K_L$  se calculan de la tabla No. 2.18 con ayuda de la figura No. 2.7. Con estos valores y con el área de afectación se calcula la presión  $p_z$  para los largueros de la cubierta, estos se presentan en la tabla No. 21:

$$A_f = 8.25 * 1.306 = 10.77 \text{ m}^2$$

$$0.25a_o^2 = 0.25 * 11.602 = 33.64 \text{ m}^2 > 10.77$$

**Tabla No. 2.25 Cálculo de  $p_z$  para los largueros de la cubierta.**

DISTANCIA AL BORDE	$C_{pe}$	$K_A$	$A_f$	$K_L$	$P_z$
0.00 A 5.80 m	-0.9	0.995	10.7745	2	-352.32552
	0.4	0.995	10.7745	2	156.58912
5.80 A 11.60 m	-0.9	0.995	10.7745	1.5	-264.24414
	0.4	0.995	10.7745	1.5	117.44184
11.60 A 13.30 m	-0.9	0.995	10.7745	1	-176.16276
	0.4	0.995	10.7745	1	78.29456
13.30 A 26.60 m	-0.5	0.995	10.7745	1	-97.8682
	0	0.995	10.7745	1	0
26.60 A 39.90 m	-0.3	0.995	10.7745	1	-58.72092
	0.1	0.995	10.7745	1	19.57364
39.90 A 63.15 m	-0.2	0.995	10.7745	1	-39.14728
	0.2	0.995	10.7745	1	39.14728

Como se puede observar son los mismos valores que para la dirección del viento perpendicular a las generatrices y representando las presiones de la tabla No. 2.25 en la planta de la estructura quedan como en la figura No. 2.17:

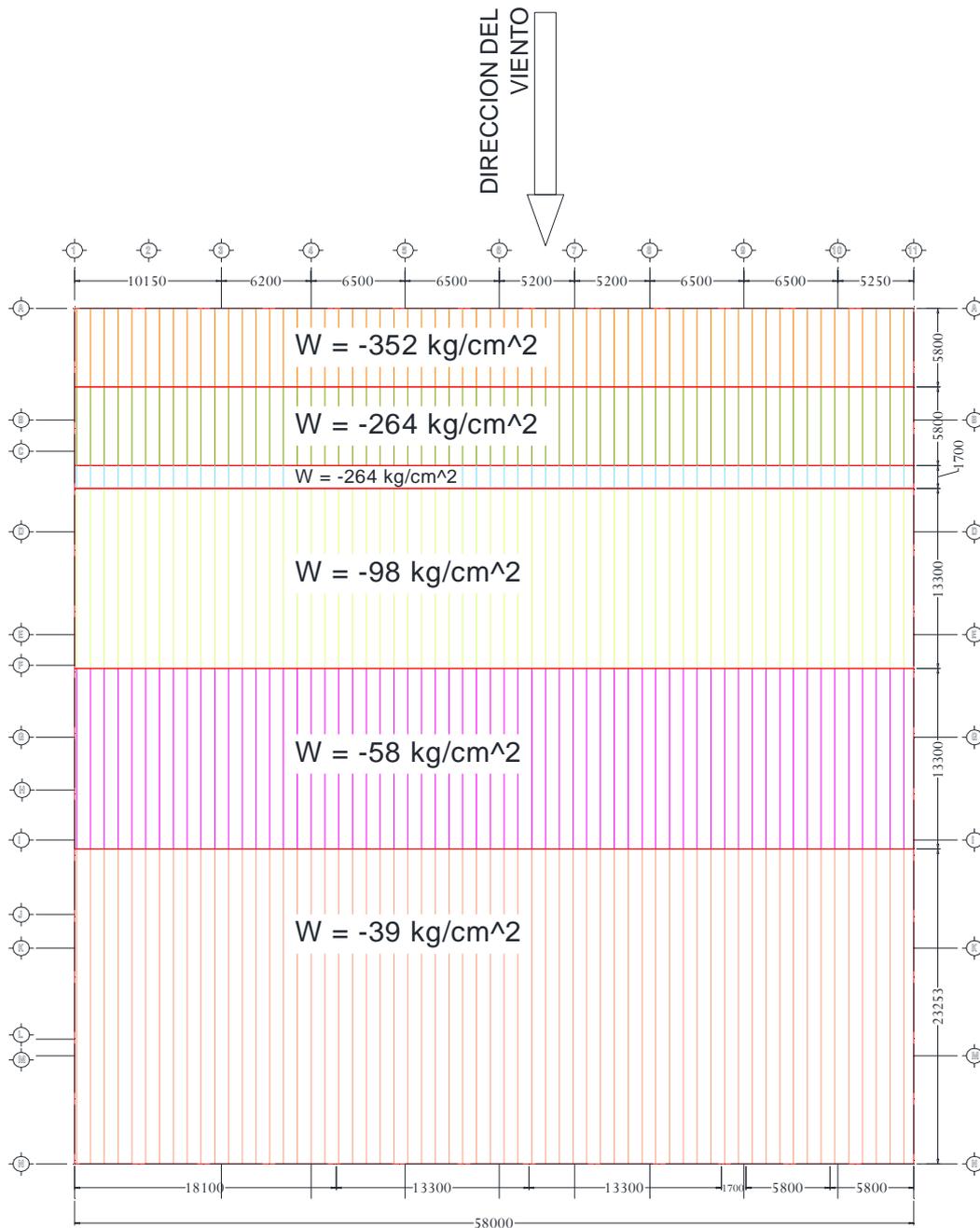


Figura 2.17 Representación gráfica de las presiones en la cubierta con el viento paralelo a las generatrices.

Las presiones generadas por el viento en la dirección paralela a las generatrices son iguales pero en sentido contrario cuando el viento sopla en el muro del eje N en vez del muro en el eje A como se hicieron los cálculos, por lo que se omite este paso y dado que la distancia entre los ejes A y B es mayor que entre los ejes M y N (que son los entre ejes extremos de la

construcción) no se considera necesario el cálculo cuando el viento sopla en el muro del eje N.

## **CAPITULO 3:**

### **DETERMINACIÓN DE LAS COMBINACIONES DE CARGA Y RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA.**

#### **3.1 Procedimiento de diseño.**

El diseño se realizó como se indica a continuación:

1.- Se propuso la estructuración del edificio. El tipo de estructura se selecciona con bases funcionales, económicas, estéticas, de servicio y por el tipo de cargas.

2.- Se determinaron las cargas que actúan en la estructura. Una vez seleccionado el tipo de estructura, la dimensión de los miembros se rige por las cargas que actúan en ellos. Partiendo de la estructuración general se calcularon las cargas aplicadas que, de acuerdo con el reglamento de construcciones del Distrito Federal que es el que se usó para el diseño de esta estructura, se clasifican en cargas muertas, cargas vivas, cargas de sismo o viento, empujes de tierras o líquidos.

Como se mencionó en el capítulo 2 las cargas ocasionadas por el viento se calcularon de acuerdo con el manual de diseño por viento de la CFE.

3.- Se calcularon los momentos y fuerzas internas en los elementos estructurales. En este paso, como su nombre lo indica, se determinan los esfuerzos en los elementos estructurales. Esto se realizó mediante el programa de análisis y diseño de estructuras RAM Elements.

4.- Se seleccionó el tipo de acero y se realizó el dimensionamiento de los miembros y conexiones para lograr seguridad al menor costo. Una vez conocidas las fuerzas internas y haber seleccionado el material de los elementos estructurales se realiza el diseño para determinar las dimensiones de los mismos.

5.- Se revisaron los estados límite de servicio. En este paso se revisan los requisitos de servicio tales como deformaciones, distorsiones, vibración, corrosión que puedan afectar el correcto funcionamiento de la estructura pero que no perjudiquen su capacidad de soportar cargas.

6.- Finalmente se revisó si las estimaciones para calcular el peso de la estructura utilizado en el análisis es similar al de los elementos diseñados, de no ser así se debe hacer nuevamente el análisis con los nuevos pesos y repetir el proceso de diseño y revisión de las condiciones de servicio.

### **3.2 Consideraciones para la determinación de las combinaciones de carga de acuerdo al Reglamento de construcciones para el Distrito Federal.**

En este documento se da atención especial a la determinación de las cargas y sus combinaciones de acuerdo a lo que marca el reglamento de construcciones del Distrito Federal integrando a estas combinaciones las acciones del viento.

El artículo 185 del reglamento indica que en el diseño de toda estructura deben tomarse en cuenta los efectos de las cargas muertas, cargas vivas, del sismo y del viento. Las intensidades de estas cargas y la forma en que deben calcularse sus efectos se especifican en los capítulos IV, V, VI y VII de este reglamento y la forma en que deben combinarse sus efectos se establece en los artículos 188 y 193 también del reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

El artículo 186 del reglamento de construcciones del Distrito Federal establece que deberán considerarse tres categorías de acciones de acuerdo con la duración que obran sobre las estructuras con su intensidad máxima; estas son:

1) Acciones permanentes: son las que actúan en la estructura en forma continua y cuya intensidad varía poco con el tiempo. Las principales acciones que pertenecen a este grupo son la carga muerta, el empuje estático de tierras y líquidos, los desplazamientos impuestos a la estructura tales como los preesfuerzos o movimientos diferenciales impuestos a los apoyos.

2) Acciones variables: son las que actúan sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Las principales acciones que entran en esta categoría son la carga viva, los efectos de temperatura, las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo y las acciones debidas a equipos y maquinaria incluyendo los efectos dinámicos de impacto y frenaje.

3) Acciones accidentales: son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades significativas solo durante periodos breves. Pertenecen a esta categoría las acciones sísmicas, los efectos del viento, explosiones, incendios y otros fenómenos que puedan presentarse en casos extraordinarios.

El artículo 188 del reglamento de construcciones del Distrito Federal establece que la seguridad de una estructura deberá verificarse para el efecto combinado de todas las acciones que tengan probabilidad despreciable de ocurrir simultáneamente, considerando dos categorías de combinaciones:

1) Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables se considerarán todas las acciones permanentes que actúen en la estructura y las distintas acciones variables de las cuales las más desfavorables se tomarán con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea.

Para las acciones de carga muerta más carga viva, se empleará la intensidad máxima de la carga viva del artículo 199 del reglamento de construcciones para el Distrito Federal, considerándola uniformemente repartida sobre toda el área.

2) Para las acciones que incluyen acciones permanentes, variables y accidentales se considerarán todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental para cada combinación.

En ambos casos los efectos de todas las acciones deberán multiplicarse por los factores de carga apropiados de acuerdo al artículo 194 del reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

El artículo 194 del reglamento de construcciones para el distrito Federal indica que el factor de carga se determina de acuerdo a las reglas siguientes:

1) Para combinaciones de acciones clasificadas en la fracción I del artículo 188, se aplicará un factor de carga de 1.4. Cuando se trate de edificaciones del grupo A este factor deberá ser de 1.5.

2) Para combinaciones de acciones clasificadas en la fracción II del artículo 188 se considerará un factor de carga de 1.1, aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación.

3) Para acciones o fuerzas internas cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura, el factor de carga se tomará igual a 0.9, además se tomará como intensidad de la acción el valor mínimo probable de acuerdo con el artículo 187 del reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

4) Para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario.

Del manual de diseño por viento de la CFE se obtuvieron las fuerzas ocasionadas por el viento y los factores que afectan estas cargas dependiendo de la posición de los elementos en la estructura, de su área tributaria y de la dirección del viento.

### 3.3 Combinaciones de carga.

Con base en los artículos aquí descritos del reglamento de construcciones para el Distrito Federal se realizaron las siguientes combinaciones de cargas:

1. –  $1.4(C.M. + C.Vm. + DIF + 0.4xPN)$  ----- ec. A1.1

2. –  $1.1(C.M. + C.Va. + DIF + PN + V.X1. + 0.333xV.Z.)$  ----- ec. A1.2

3. –  $1.1(C.M. + C.Va. + DIF + PN + 0.333xV.X1. + V.Z.)$  ----- ec. A1.3

4. –  $1.1(C.M. + C.Va. + DIF + PN + V.X2. + 0.333xV.Z.)$  ----- ec. A1.4

5. –  $1.1(C.M. + C.Va. + DIF + PN + 0.333xV.X2. + V.Z.)$  ----- ec. A1.5

6. –  $1.0(C.M. + C.V. + DIF + 0.4xPN)$  ----- ec. A1.6

7. –  $1.1(C.M. + C.Va. + DIF + 0.4xPN + S.X. + 0.333xS.Z.)$  -- ec. A1.7

8. –  $1.1(C.M. + C.Va. + DIF + 0.4xPN + 0.333xS.X. + S.Z.)$  -- ec. A1.8

En las ecuaciones A1.1, A1.2, A1.3, A1.4, A1.5, A1.6, A1.7 y A1.8 las literales tienen el siguiente significado:

**C. M.** Carga muerta.

**C. V<sub>m</sub>.** Carga viva máxima.

**C. V<sub>a</sub>.** Carga viva instantánea.

**C. V.** Carga viva media.

**DIF.** Es el peso de los equipos de refrigeración, conocidos como difusores y que van suspendidos de la estructura.

**PN.** Es el peso del panel de refrigeración del plafón de la cámara más la presión negativa por efecto de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior de la cámara. Para efectos de diseño el proveedor del sistema de refrigeración considera en total para esta carga 40 kg/m<sup>2</sup> de los cuales la mayoría de los paneles usados para cámaras de refrigeración pesan en promedio 16 kg/m<sup>2</sup>, peso que representa el 40% del total de la carga; de allí el factor de 0.4 ya que la carga total solo se presenta al momento de enfriar la cámara, una vez fría se igualan las presiones en el interior y el exterior de la misma.

**V. X.** Fuerza ocasionada por el viento en dirección X.

**V. Z.** Fuerza ocasionada por el viento en dirección Z.

**S. X.** Fuerza ocasionada por el sismo en dirección X.

**S. Z.** Fuerza ocasionada por el sismo en dirección Z.

En las ecuaciones A1.7 y A1.8 no se tomó en cuenta la carga total de panel + presión negativa; ya que esta última no tiene masa y la fuerza del sismo es proporcional a la masa de la estructura y sus componentes.

Las cargas vivas son las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y tienen diferentes valores dependiendo las disposiciones marcadas en el artículo 199 del reglamento de construcciones para el Distrito Federal, el cual indica que:

1.- La carga viva máxima  $V_m$  es empleada para diseño estructural por cargas gravitacionales y para calcular asentamientos en suelos, así como el diseño estructural de la cimentación ante cargas gravitacionales.

2.- La carga viva instantánea  $V_a$  es utilizada para diseño sísmico y por viento.

3.- La carga media  $V$  se emplea en el cálculo de asentamientos y flechas diferidas.

### 3.4 Resultados del análisis y diseño de la estructura.

A continuación se presentan algunos de los resultados del análisis y diseño de la estructura donde se observa que los mayores esfuerzos y deformaciones se dan con las condiciones y combinaciones de carga donde interviene el viento.

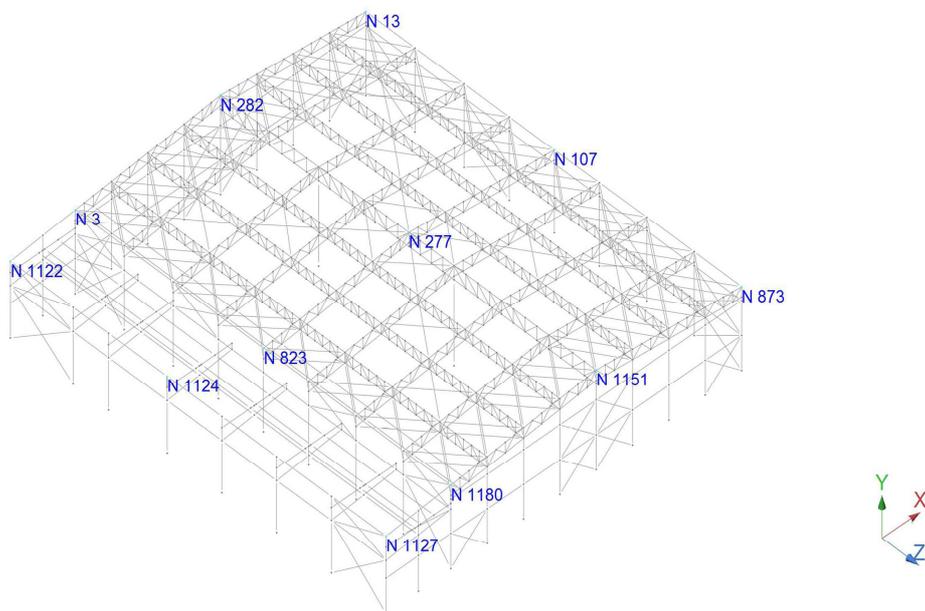


Figura 3.1 Nodos del modelo de la estructura.

## Resultados del Análisis

### Envolvente de desplazamientos nodales

Nota.- **ec** es el estado de carga crítico

Envolvente de desplazamientos nodales para :

$$C1=1.4pp+1.4CM+1.4CV+0.7SCV+1.4DIF$$

$$C2=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SCV+1.4DIF+1.1VX+0.363VZ$$

$$C3=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SCV+1.4DIF+0.363VX+1.1VZ$$

$$C4=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SCV+1.4DIF+0.33VZ+1.1VX2$$

$$C5=1.1pp+1.1CM+0.125CV+1.1SCV+1.4DIF+1.1VZ+0.33VX2$$

$$C6=pp+CM+0.5CV+0.5SCV+1.4DIF$$

$$C7=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SX+0.363SZ$$

$$C8=1.1pp+1.1CM+0.55CV+0.363SX+1.1SZ$$

Nudo		Traslación						Rotación					
		X ec		Y ec		Z ec		Rx ec		Ry ec		Rz ec	
		[cm]		[cm]		[cm]		[Rad]		[Rad]		[Rad]	
873	Max	2.452	C2	0.006	C4	1.081	C3	0.00246	C3	0.00116	C4	0.00028	C2
	Min	-2.154	C4	-0.088	C3	-0.166	C4	-0.00057	C4	-0.00136	C2	0.00001	C5
13	Max	2.219	C2	0.022	C5	1.408	C5	0.00198	C5	0.00175	C2	0.00031	C2
	Min	-2.289	C4	-0.051	C2	-0.002	C6	0.00010	C7	-0.00072	C4	0.00001	C4
107	Max	7.581	C2	-0.021	C7	1.184	C3	0.00140	C3	0.00000	C1	0.00341	C1
	Min	-6.735	C4	-0.041	C1	-0.008	C7	-0.00004	C1	-0.00027	C3	0.00152	C7
277	Max	7.544	C2	-1.056	C7	3.193	C5	-0.00039	C7	0.00008	C5	0.00074	C2
	Min	-6.495	C4	-2.386	C1	-0.282	C1	-0.00088	C1	-0.00001	C3	-0.00004	C4
282	Max	2.597	C2	-0.018	C7	3.558	C5	0.00095	C1	0.00080	C2	0.00062	C4
	Min	-2.226	C4	-0.062	C2	0.008	C7	0.00040	C7	-0.00067	C4	-0.00070	C2
1151	Max	2.739	C2	-0.026	C7	2.924	C5	-0.00106	C7	0.00054	C4	0.00063	C4
	Min	-2.269	C4	-0.085	C2	-0.624	C1	-0.00243	C1	-0.00054	C2	-0.00074	C2
1180	Max	2.527	C2	-0.020	C7	1.329	C5	0.00055	C5	0.00156	C4	-0.00007	C7
	Min	-1.914	C4	-0.176	C5	-0.147	C1	-0.00068	C2	-0.00010	C2	-0.00040	C4
823	Max	7.995	C2	-0.032	C7	1.462	C5	-0.00006	C7	0.00008	C4	-0.00173	C7
	Min	-6.426	C4	-0.083	C1	-0.055	C1	-0.00015	C5	-0.00030	C3	-0.00461	C1
3	Max	2.583	C2	0.002	C2	1.713	C3	0.00106	C3	0.00088	C3	-0.00005	C2
	Min	-1.786	C4	-0.062	C4	0.008	C7	0.00002	C4	-0.00120	C4	-0.00041	C4
1122	Max	2.514	C2	0.012	C2	1.127	C5	0.00070	C1	0.00142	C2	0.00168	C4
	Min	-1.733	C4	-0.029	C4	-0.007	C1	0.00041	C5	-0.00372	C5	-0.00233	C2
1124	Max	9.537	C2	-0.023	C7	1.102	C5	-0.00006	C6	0.00296	C2	-0.00114	C7
	Min	-6.971	C4	-0.055	C1	-0.011	C1	-0.00009	C1	-0.00120	C4	-0.00695	C2
1127	Max	2.459	C2	0.005	C2	1.074	C5	-0.00030	C5	0.00004	C7	0.00192	C4
	Min	-1.855	C4	-0.036	C4	-0.017	C1	-0.00047	C1	-0.00413	C3	-0.00217	C2

En las tablas de resultados se observa como las deformaciones más grandes (marcadas con color amarillo) en la estructura se presentan en los nodos 107, 823 y 1124 en la dirección "X" con las combinaciones C2 y C4 que son las que incluyen la acción del viento en dirección "X" y en la dirección "Z" es en los nodos 277, 282 y 1151 (marcados con color azul) se presentan en las combinaciones C3 y C5 que incluyen la acción del viento en dirección "Z".

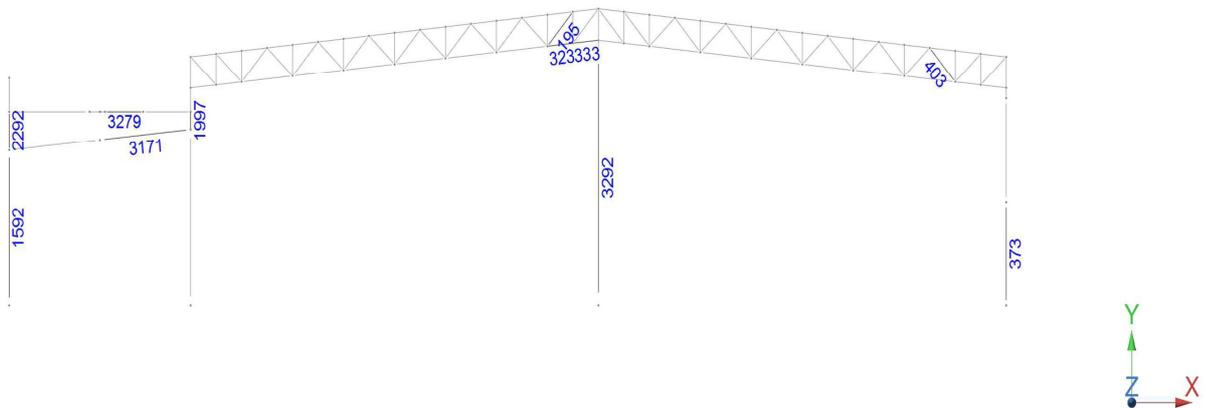


Figura 3.2 Elementos con esfuerzos mayores en el marco.

## Diseño de Acero

Reporte: Resumen - Máximo por miembro

Estados de carga considerados :

- C1=1.4pp+1.4CM+1.4CV+0.7SCV+1.4DIF
- C2=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SCV+1.4DIF+1.1VX+0.363VZ
- C3=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SCV+1.4DIF+0.363VX+1.1VZ
- C4=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SCV+1.4DIF+0.33VZ+1.1VX2
- C5=1.1pp+1.1CM+0.125CV+1.1SCV+1.4DIF+1.1VZ+0.33VX2
- C6=pp+CM+0.5CV+0.5SCV+1.4DIF
- C7=1.1pp+1.1CM+0.55CV+1.1SX+0.363SZ
- C8=1.1pp+1.1CM+0.55CV+0.363SX+1.1SZ

Descripción	Sección	Miembro	Ec. ctrl	Ratio	Estatus	Referencia
<b>C-1</b>	<b>532x300x16x8 mm</b>	<b>109</b>	C4 en 100.00%	0.53	Bien	Eq. H1-1b
		<b>373</b>	C2 en 100.00%	0.32	Bien	Eq. H1-1b
		<b>388</b>	C2 en 0.00%	0.41	Bien	Eq. H1-1b
		<b>1997</b>	C4 en 0.00%	<b>0.54</b>	<b>Bien</b>	<b>Eq. H1-1b</b>
		<b>2451</b>	C2 en 56.25%	0.39	Bien	Eq. H1-1b
		<b>2461</b>	C4 en 0.00%	0.49	Bien	Eq. H1-1b
		<b>2963</b>	C2 en 100.00%	0.42	Bien	Eq. H1-1b
		<b>3291</b>	C4 en 100.00%	0.50	Bien	Eq. H1-1b
<b>C-2</b>	<b>TP 500x19x10</b>	<b>3292</b>	C2 en 100.00%	<b>0.24</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1b
		<b>3293</b>	C2 en 0.00%	0.22	Bien	Eq. H1-1b
		<b>3294</b>	C2 en 100.00%	0.22	Bien	Eq. H1-1b
<b>C-200</b>	<b>C2L 102x16x30</b>	<b>115</b>	C4 en 0.00%	0.26	Bien	Eq. H1-1b
		<b>120</b>	C2 en 0.00%	0.19	Bien	Eq. H1-1b
		<b>333</b>	C2 en 100.00%	<b>0.58</b>	<b>Bien</b>	<b>Eq. H1-1a</b>
		<b>368</b>	C4 en 100.00%	0.45	Bien	Eq. H1-1a
		<b>378</b>	C2 en 0.00%	0.22	Bien	Eq. H1-1b
		<b>383</b>	C4 en 0.00%	0.11	Bien	Eq. H1-1b
		<b>598</b>	C1 en 100.00%	0.54	Bien	Eq. H1-1a
<b>633</b>	C2 en 100.00%	0.46	Bien	Eq. H1-1a		
<b>CA-1</b>	<b>426x200x13x6.4 mm</b>	<b>1592</b>	C4 en 68.75%	<b>0.65</b>	<b>Bien</b>	<b>Eq. H1-1b</b>
<b>CE</b>	<b>W 16x31</b>	<b>2292</b>	C2 en 100.00%	<b>0.45</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1b

		<b>3208</b>	C2 en 0.00%	0.11	Bien	Eq. H1-1b
<b>CI-1</b>	<b>C2L 102x6.4x30</b>	<b>253</b>	C4 en 0.00%	0.26	Bien	Eq. H1-1b
		<b>263</b>	C1 en 62.50%	0.30	Bien	Eq. H1-1a
		<b>273</b>	C1 en 50.00%	0.43	Bien	Eq. H1-1a
		<b>283</b>	C1 en 50.00%	0.46	Bien	Eq. H1-1a
		<b>293</b>	C1 en 31.25%	0.39	Bien	Eq. H1-1a
		<b>303</b>	C1 en 100.00%	0.16	Bien	Eq. Sec. D2
		<b>313</b>	C2 en 100.00%	0.41	Bien	Eq. H1-1a
		<b>323</b>	C2 en 100.00%	<b>0.94</b>	<b>Bien</b>	<b>Eq. H1-1a</b>
		<b>518</b>	C4 en 0.00%	0.18	Bien	Sec. E4
		<b>528</b>	C1 en 100.00%	0.15	Bien	Eq. Sec. D2
		<b>538</b>	C1 en 43.75%	0.35	Bien	Eq. H1-1a
		<b>548</b>	C1 en 68.75%	0.40	Bien	Eq. H1-1a
		<b>558</b>	C1 en 31.25%	0.34	Bien	Eq. H1-1a
		<b>568</b>	C1 en 100.00%	0.13	Bien	Eq. Sec. D2
<b>578</b>	C4 en 100.00%	0.37	Bien	Eq. H1-1a		
<b>588</b>	C1 en 100.00%	<b>0.91</b>	<b>Bien</b>	<b>Eq. H1-1a</b>		
<b>CS-1</b>		<b>258</b>	C2 en 100.00%	0.44	Bien	Eq. H1-1a
		<b>268</b>	C2 en 0.00%	0.42	Bien	Eq. H1-1a
		<b>278</b>	C2 en 100.00%	0.69	Bien	Eq. H1-1a
		<b>288</b>	C2 en 0.00%	0.62	Bien	Eq. H1-1a
		<b>298</b>	C2 en 87.50%	0.57	Bien	Eq. H1-1a
		<b>308</b>	C2 en 0.00%	0.56	Bien	Eq. H1-1a
		<b>318</b>	C2 en 100.00%	0.63	Bien	Eq. H1-1a
		<b>328</b>	C2 en 0.00%	0.60	Bien	Eq. H1-1a
		<b>338</b>	C1 en 100.00%	0.35	Bien	Eq. H1-1a
		<b>343</b>	C1 en 0.00%	0.36	Bien	Eq. H1-1a
		<b>348</b>	C4 en 100.00%	0.12	Bien	Eq. H1-1b
		<b>353</b>	C2 en 0.00%	0.38	Bien	Eq. H1-1b
		<b>358</b>	C1 en 0.00%	0.47	Bien	Eq. H1-1a
		<b>363</b>	C2 en 100.00%	0.52	Bien	Eq. H1-1a
		<b>523</b>	C4 en 0.00%	0.19	Bien	Sec. E4
		<b>533</b>	C4 en 0.00%	0.19	Bien	Sec. E4
		<b>543</b>	C4 en 100.00%	0.50	Bien	Eq. H1-1a
		<b>553</b>	C4 en 0.00%	0.43	Bien	Eq. H1-1a
		<b>563</b>	C1 en 75.00%	0.43	Bien	Eq. H1-1a
		<b>573</b>	C1 en 0.00%	0.42	Bien	Eq. H1-1a
		<b>583</b>	C2 en 100.00%	0.52	Bien	Eq. H1-1a
		<b>593</b>	C2 en 0.00%	0.54	Bien	Eq. H1-1a
		<b>603</b>	C2 en 100.00%	0.34	Bien	Eq. H1-1a
		<b>608</b>	C2 en 0.00%	0.35	Bien	Eq. H1-1a
		<b>613</b>	C2 en 100.00%	0.13	Bien	Eq. H1-1b
		<b>618</b>	C4 en 0.00%	0.33	Bien	Eq. H1-1b
		<b>623</b>	C1 en 0.00%	0.47	Bien	Eq. H1-1a
	<b>628</b>	C4 en 100.00%	0.52	Bien	Eq. H1-1a	
<b>D-1</b>	<b>C2L 76x6.4x30</b>	<b>130</b>	C4 en 100.00%	0.33	Bien	Eq. H1-1a
		<b>195</b>	C1 en 0.00%	<b>0.60</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1a
		<b>398</b>	C1 en 100.00%	0.26	Bien	Eq. H1-1a
		<b>463</b>	C1 en 0.00%	0.58	Bien	Eq. H1-1a
<b>D-2</b>	<b>C2L 51x6.4x28.7</b>	<b>135</b>	C2 en 100.00%	0.88	Bien	Eq. H1-1a
		<b>140</b>	C2 en 31.25%	0.26	Bien	Eq. H1-1a
		<b>145</b>	C1 en 43.75%	0.33	Bien	Eq. H1-1a
		<b>150</b>	C4 en 50.00%	0.06	Bien	Eq. H1-1b
		<b>155</b>	C4 en 0.00%	0.11	Bien	Sec. E1
		<b>160</b>	C1 en 50.00%	0.06	Bien	Eq. H1-1b
		<b>165</b>	C1 en 100.00%	0.20	Bien	Eq. Sec. D2
		<b>170</b>	C1 en 0.00%	0.57	Bien	Eq. H1-1a
		<b>175</b>	C1 en 0.00%	0.31	Bien	Eq. H1-1a
		<b>180</b>	C1 en 0.00%	0.77	Bien	Eq. H1-1a
		<b>185</b>	C1 en 0.00%	0.69	Bien	Eq. H1-1a
		<b>403</b>	C1 en 100.00%	<b>0.93</b>	<b>Bien</b>	<b>Eq. H1-1a</b>
		<b>408</b>	C1 en 100.00%	0.27	Bien	Eq. H1-1a
		<b>413</b>	C1 en 43.75%	0.40	Bien	Eq. H1-1a
		<b>418</b>	C1 en 0.00%	0.08	Bien	Eq. Sec. D2
		<b>423</b>	C2 en 0.00%	0.19	Bien	Sec. E1
		<b>428</b>	C5 en 62.50%	0.05	Bien	Eq. H1-1b
<b>433</b>	C1 en 100.00%	0.17	Bien	Eq. Sec. D2		

		438	C1 en 0.00%	0.52	Bien	Eq. H1-1a
		443	C1 en 0.00%	0.28	Bien	Eq. H1-1a
		448	C1 en 0.00%	0.71	Bien	Eq. H1-1a
		453	C1 en 0.00%	0.66	Bien	Eq. H1-1a
	<b>C2L 76x6.4x300 mm</b>	190	C1 en 0.00%	<b>0.68</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1a
		458	C1 en 0.00%	0.65	Bien	Eq. H1-1a
<b>D-200</b>	<b>C2L 102x10x30</b>	125	C4 en 100.00%	0.20	Bien	Eq. H1-1b
		200	C1 en 0.00%	<b>0.33</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1a
		393	C3 en 100.00%	0.12	Bien	Eq. H1-1b
		468	C1 en 0.00%	0.31	Bien	Eq. H1-1a
<b>M-1</b>	<b>C2L 64x6.4x28.7</b>	205	C2 en 100.00%	0.46	Bien	Eq. H1-1a
		210	C4 en 0.00%	0.14	Bien	Eq. H1-1b
		240	C1 en 0.00%	0.22	Bien	Eq. H1-1b
		245	C1 en 100.00%	<b>0.74</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1a
		473	C1 en 100.00%	0.35	Bien	Eq. H1-1a
		478	C4 en 0.00%	0.12	Bien	Eq. H1-1b
		508	C1 en 0.00%	0.22	Bien	Eq. H1-1b
		513	C1 en 100.00%	0.71	Bien	Eq. H1-1a
<b>M-2</b>	<b>C2L 51x5x28.7</b>	215	C2 en 0.00%	0.28	Bien	Eq. H1-1a
		220	C1 en 0.00%	0.05	Bien	Sec. E1
		225	C4 en 100.00%	0.26	Bien	Eq. H1-1a
		230	C1 en 100.00%	0.10	Bien	Eq. H1-1b
		235	C2 en 0.00%	<b>0.52</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1a
		483	C4 en 0.00%	0.26	Bien	Eq. H1-1a
		488	C1 en 0.00%	0.05	Bien	Sec. E1
		493	C2 en 100.00%	0.27	Bien	Eq. H1-1a
		498	C1 en 100.00%	0.09	Bien	Eq. H1-1b
		503	C4 en 0.00%	0.50	Bien	Eq. H1-1a
<b>VA-1</b>	<b>426x200x13x6.4 mm</b>	3156	C3 en 100.00%	0.37	Bien	Eq. H1-1b
		3171	C3 en 0.00%	<b>0.38</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1b
<b>VD-2</b>	<b>W 14X30</b>	3192	C3 en 100.00%	0.40	Bien	Eq. H1-1b
		3200	C3 en 100.00%	0.41	Bien	Eq. H1-1b
		3270	C3 en 100.00%	0.39	Bien	Eq. H1-1b
		3279	C3 en 0.00%	<b>0.45</b>	<b>Bien</b>	Eq. H1-1b
		3280	C3 en 0.00%	0.42	Bien	Eq. H1-1b

En la figura 3.2 se representan los elementos del marco que tienen los mayores esfuerzos y nuevamente se observa como en las columnas, trabes y cuerdas de las armaduras estos esfuerzos son ocasionados por las combinaciones C2 y C4 donde interviene la acción del viento en dirección X (marcados en color verde).

En el caso de los diagonales y montantes de las armaduras los esfuerzos mayores se presentan por la combinación C1 de cargas verticales (marcados en color morado).

De los resultados presentados tanto en las deformaciones como en los esfuerzos se concluye que el diseño de la estructura queda determinado por las combinaciones de carga donde interviene el viento.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **Conclusiones:**

1.- La estructura considerada en este trabajo tuvo capacidad para soportar las fuerzas de diseño causadas por el huracán Willma; ya que no sufrió daños graves como en el caso de estructuras de la misma zona que incluso se colapsaron o perdieron todos sus elementos de recubrimiento.

2.- Una forma de reducir los daños en las estructuras es realizar el diseño con una velocidad mayor a la indicada por el manual de diseño por viento de la CFE que para esta zona es de 196 km/hr. (durante el paso del huracán Willma se presentaron vientos de hasta 400 km/hr), para lo cual sería necesario revisar hasta que costo esto sería conveniente.

3.- Los daños en una estructura sujeta a la acción del viento son menores si se aplican correctamente las especificaciones dadas por el manual de diseño por viento de la CFE; lo cual disminuye los costos de reparaciones ante eventos de esta naturaleza.

4.- Los daños que se presentaron en la estructura durante el paso del huracán Willma ocurrieron en elementos secundarios y elementos de recubrimiento por lo que se debe poner especial atención a estos durante el proceso de diseño. Este mismo comportamiento se observó en algunas construcciones vecinas donde la estructura principal sufrió pocos daños. En el capítulo 1 se presentan los daños y las recomendaciones para minimizarlos, estas recomendaciones se deben tomar en cuenta desde el proceso de fabricación y montaje de las estructuras para que los daños resultantes ante un huracán sean menores.

5.- Los daños ocurridos durante el huracán se presentaron en las esquinas de la construcción y en las zonas de la cubierta cercanas al borde de la misma, que son las áreas con mayores presiones ocasionadas por el viento de acuerdo al análisis que se realizó y que se representó en las figuras No. 2.13, 2.14 y 2.15 del capítulo 2, y que son las zonas indicadas por el manual de diseño por viento de la CFE como las que presentarán mayores presiones por la acción del viento.

5.- El uso de secciones cerradas como el OR o el Mon-ten doble formando un cajón para los largueros de cubierta y muros tienen mejor

comportamiento ante la oscilación ocasionada por el viento; sin embargo para zonas de gran humedad como lo es Cancún no se recomiendan por la acumulación de la humedad en su interior y la consecuente corrosión al no poder aplicar ningún tipo de recubrimiento en el interior de estos elementos. Otro inconveniente de estos elementos es el costo que es más elevado que el de los largueros sencillos, generalmente utilizados como elementos de soporte de los recubrimientos de los muros y cubierta.

### Recomendaciones:

1.- Diseñar correctamente las conexiones de los largueros de muros y de cubierta; ya que estos fueron “arrancados” de la unión con las placas de conexión, la recomendación es incrementar el número de tornillos o el diámetro. En el diseño original se colocaron solo dos tornillos por conexión, suponiendo que es una conexión simplemente apoyada, después del paso del huracán Willma se reforzó colocando un tornillo adicional.

2.- En las conexiones de los largueros con las placas de conexión, colocar un refuerzo tipo “cubreplaca” soldada al larguero de Mon-ten en el extremo para incrementar la resistencia de la conexión.

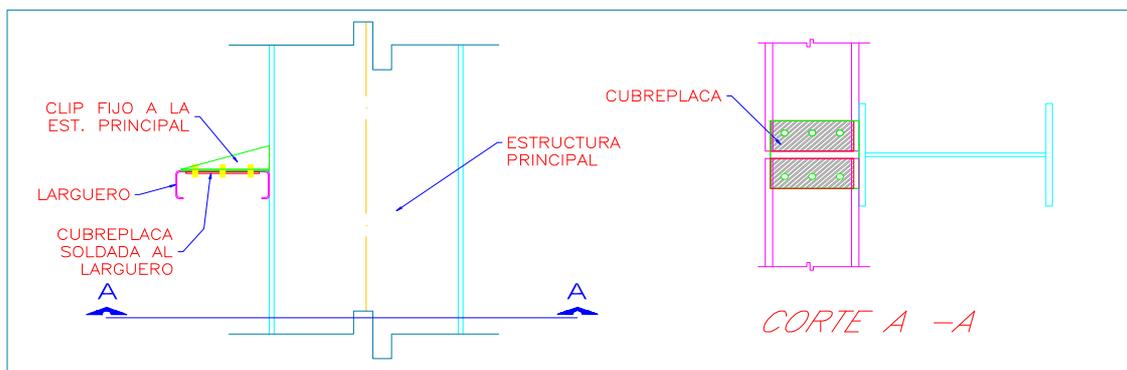


Fig. R-2 Refuerzo en los extremos de los largueros.

3.- Las placas de conexión de los largueros de cubierta y muros deben ser de mayor espesor para que durante la oscilación de los largueros por efecto del viento no se doblen. En el proyecto se colocaron placas de 5 mm de espesor, que a pesar de ser mayor el espesor que el del larguero sufrieron deformaciones importantes, se recomienda colocar placas de 6.4 mm de espesor.

4.- Colocar más líneas de contraflambeos para evitar la oscilación de los largueros. De acuerdo con el diseño, una línea de contraflambeos es suficiente pero se observó que al quedar descubiertos los largueros empezaron a oscilar y se “arrancaron” los tornillos de los contraflambeos y de la conexión con las armaduras y con las columnas. El colocar una línea más de contraflambeos rigidiza los largueros y disminuye considerablemente la oscilación.

5.- Para los largueros de cubierta y muros, utilizar secciones cerradas ya que tienen un mejor comportamiento ante el alabeo, para evitar la corrosión por acumulación de humedad se puede utilizar acero galvanizado.

6.- Tapar todos los huecos innecesarios en la construcción para evitar que se generen presiones interiores. En la construcción existía un hueco provisional por donde ingresan las instalaciones eléctricas y se considera que de este punto fue donde se inició el desprendimiento de la lámina de los muros. Este hueco se encontraba cerca de una de las esquinas superiores de la construcción que es una de las zonas donde se presentan las mayores presiones ocasionadas por el viento.

7.- Incrementar el número de pijas para la sujeción de las láminas de los muros (lámina tipo R-101). Para esta zona el manual de instalación de la lámina (de ternium) indica dos pijas de 8 mm de diámetro por lámina en cada larguero y que estos no estén separados más de 1.40 m, lo cual se cumple; sin embargo no fue suficiente ya que se desprendieron algunas láminas de los muros. Sin que sea un gasto considerable se pueden colocar 4 tornillos de 8 mm en cada larguero y se tendrá un mejor comportamiento de la lámina ante las fuerzas del viento.

8.- Para la lámina de cubierta (tipo KR-18) el manual no indica atornillar directamente la lámina a los largueros de soporte; ya que ésta se engargola y se sujeta a la estructura por medio de clips de lámina que a su vez están atornillados a la estructura de soporte; sin embargo para zonas de huracanes se recomienda colocar al menos dos pijas a cada lámina en los largueros que estén a una distancia  $a_0/2$  de cualquiera de los bordes de la cubierta, de acuerdo a la figura 4.3.4a y la figura 4.3.4b del manual de diseño por viento de la CFE.

9.- En toda la periferia se debe colocar un rodapié de concreto que sujete la lámina de los muros al piso y que a su vez evita la entrada del viento por debajo de la lámina, evitando así algunas de las presiones internas en la estructura.

10.- Si las construcciones no tienen aberturas en los muros de tal magnitud que generen presiones interiores, es recomendable diseñar considerando algunos huecos; ya que es muy probable que durante un huracán se desprendan algunos de los elementos de recubrimiento provocando dichas presiones interiores al dejar el paso del viento.



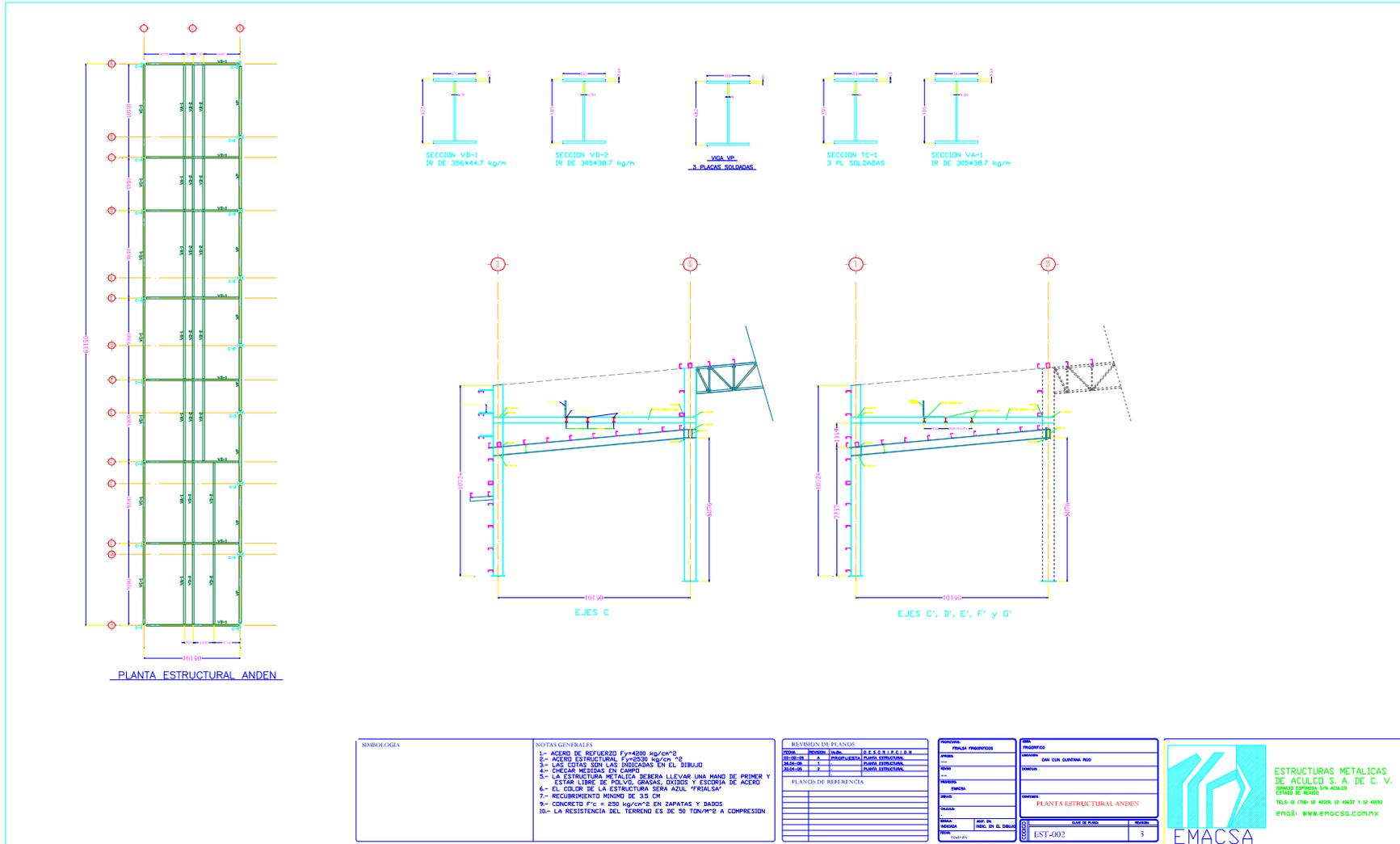


Fig. A-2 Planta estructural del andén.

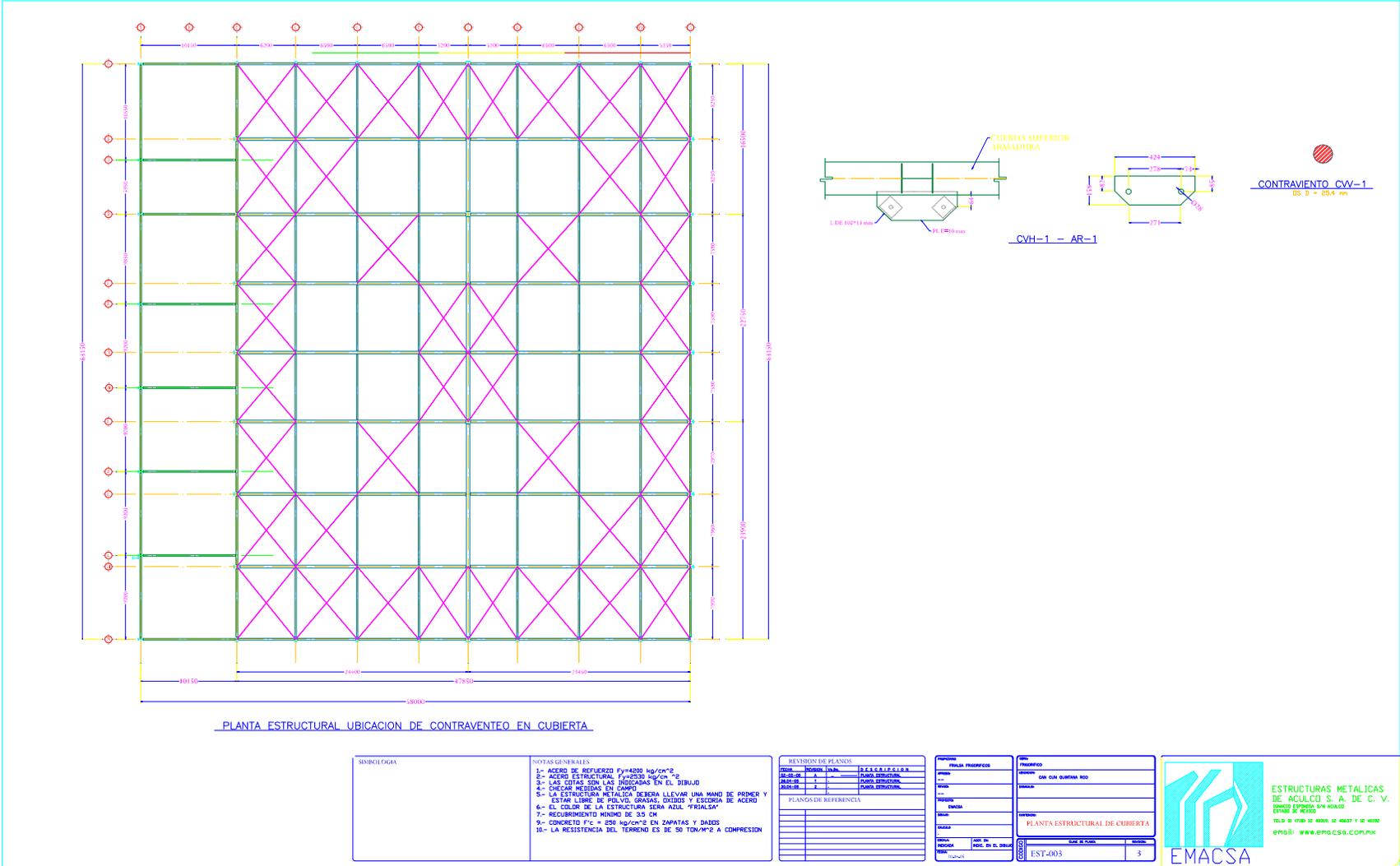


Fig. A-3 Ubicación de contraventeos de cubierta.

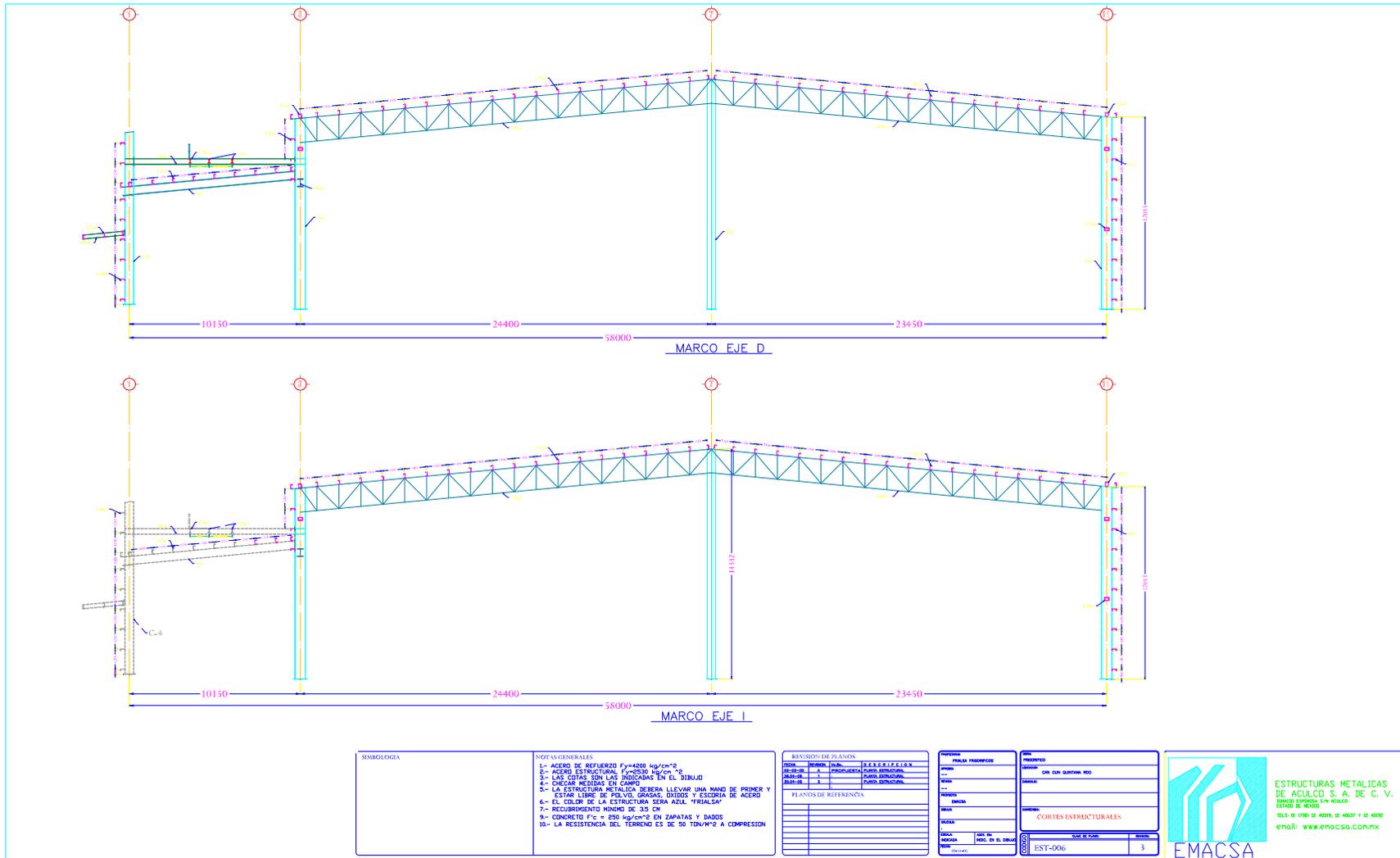


Fig. A-4 Estructuración de marcos.







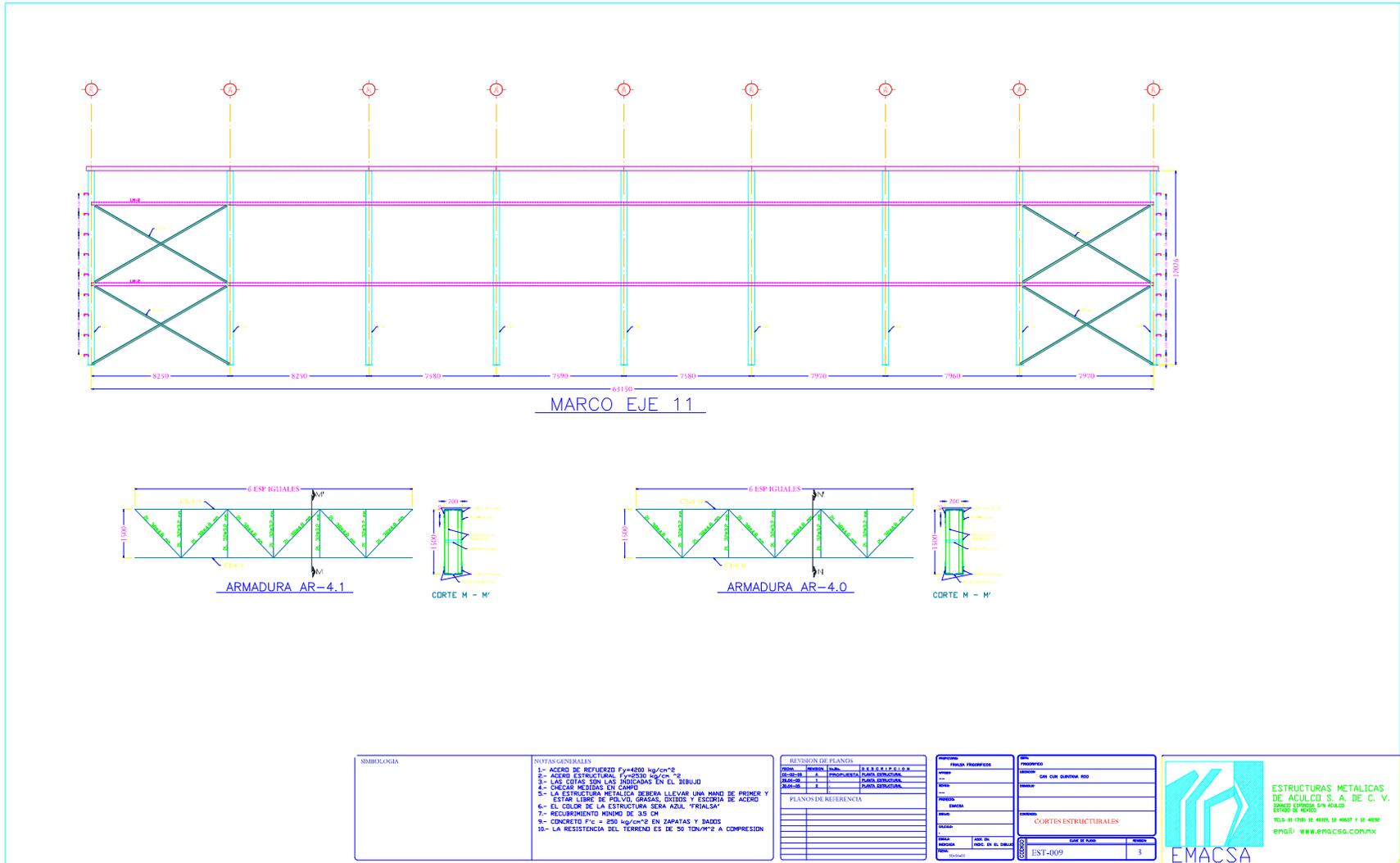
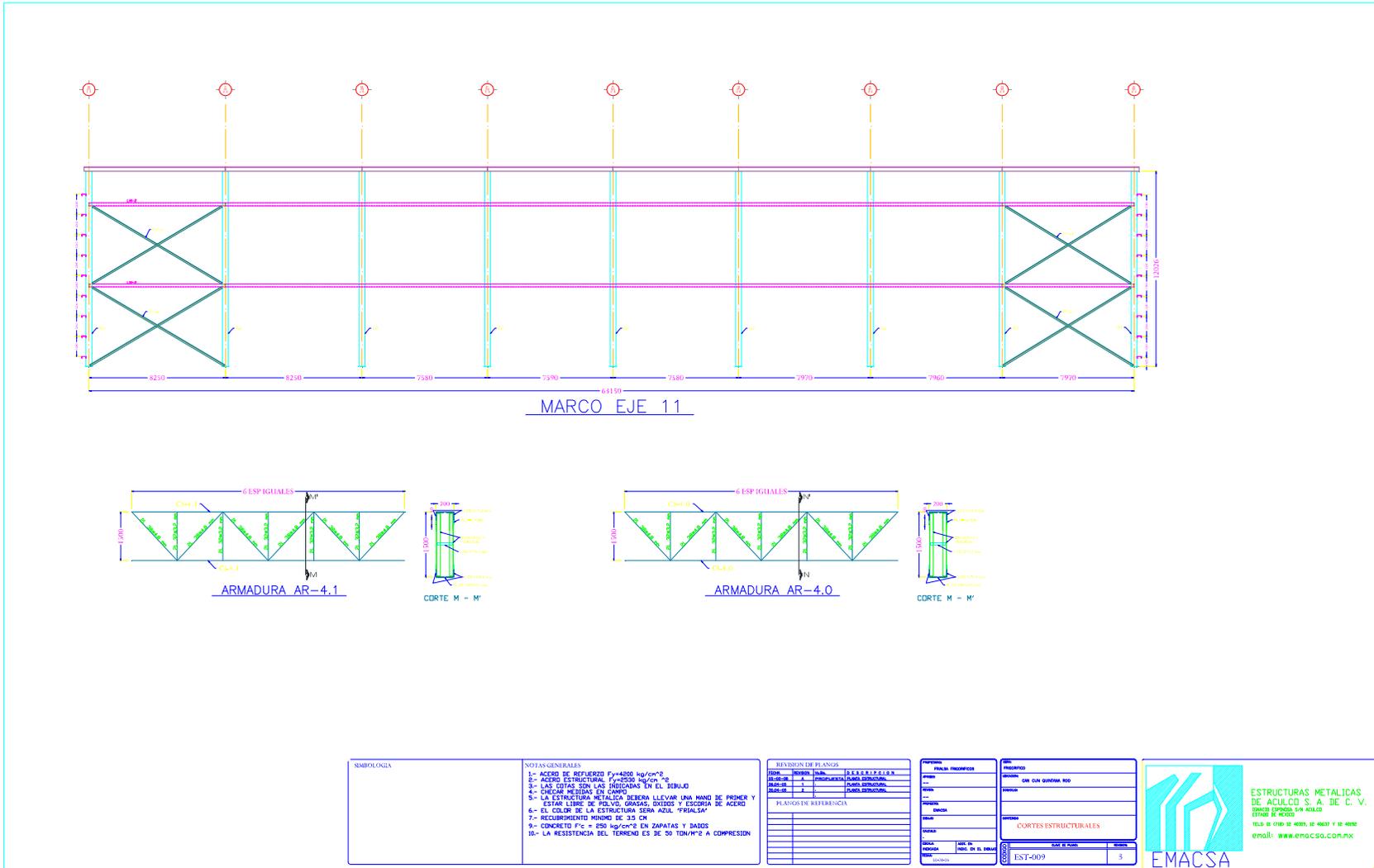


Fig. A-8 Estructuración de marcos.



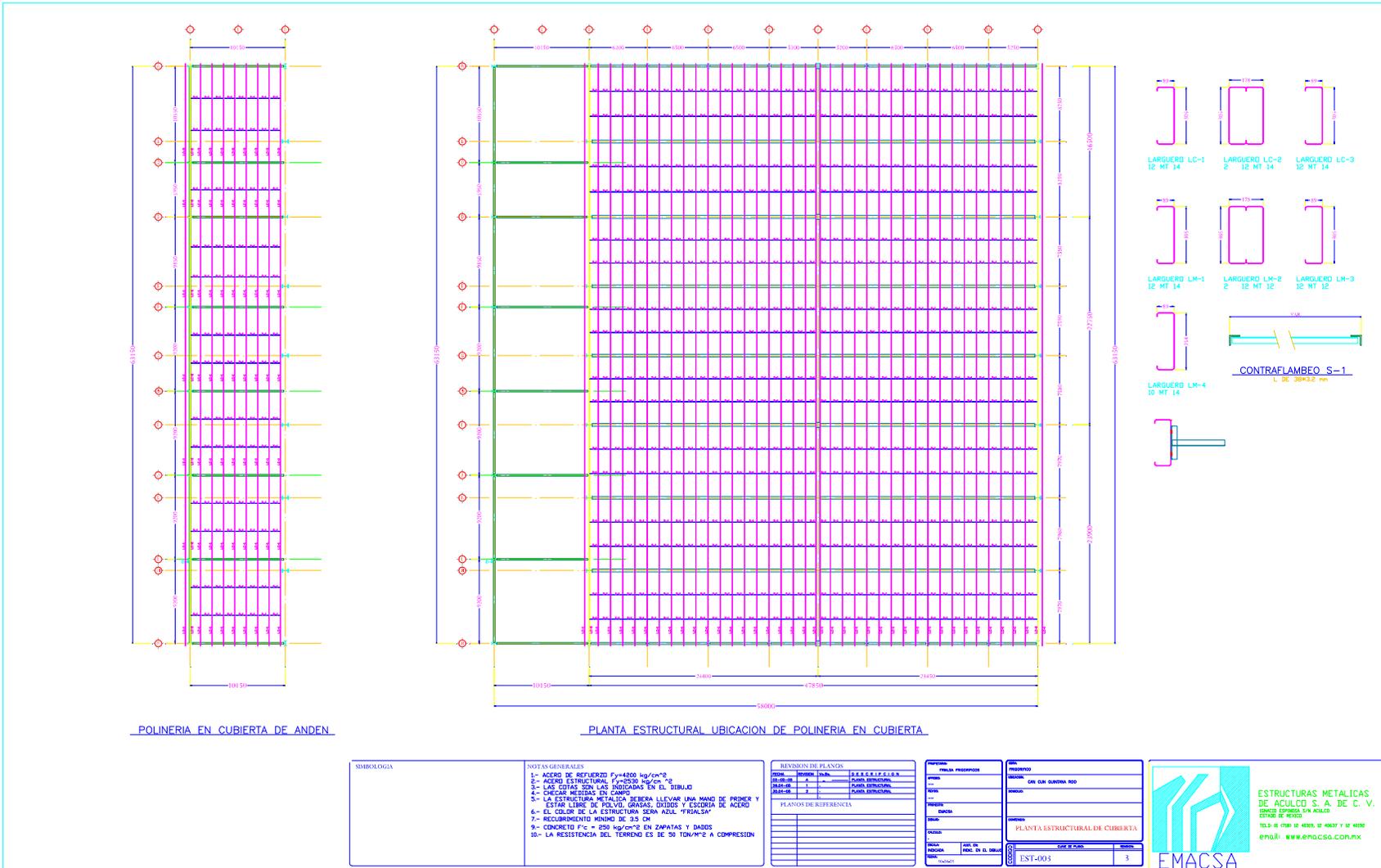


Fig. A-10 Planta de largueros de cubierta.

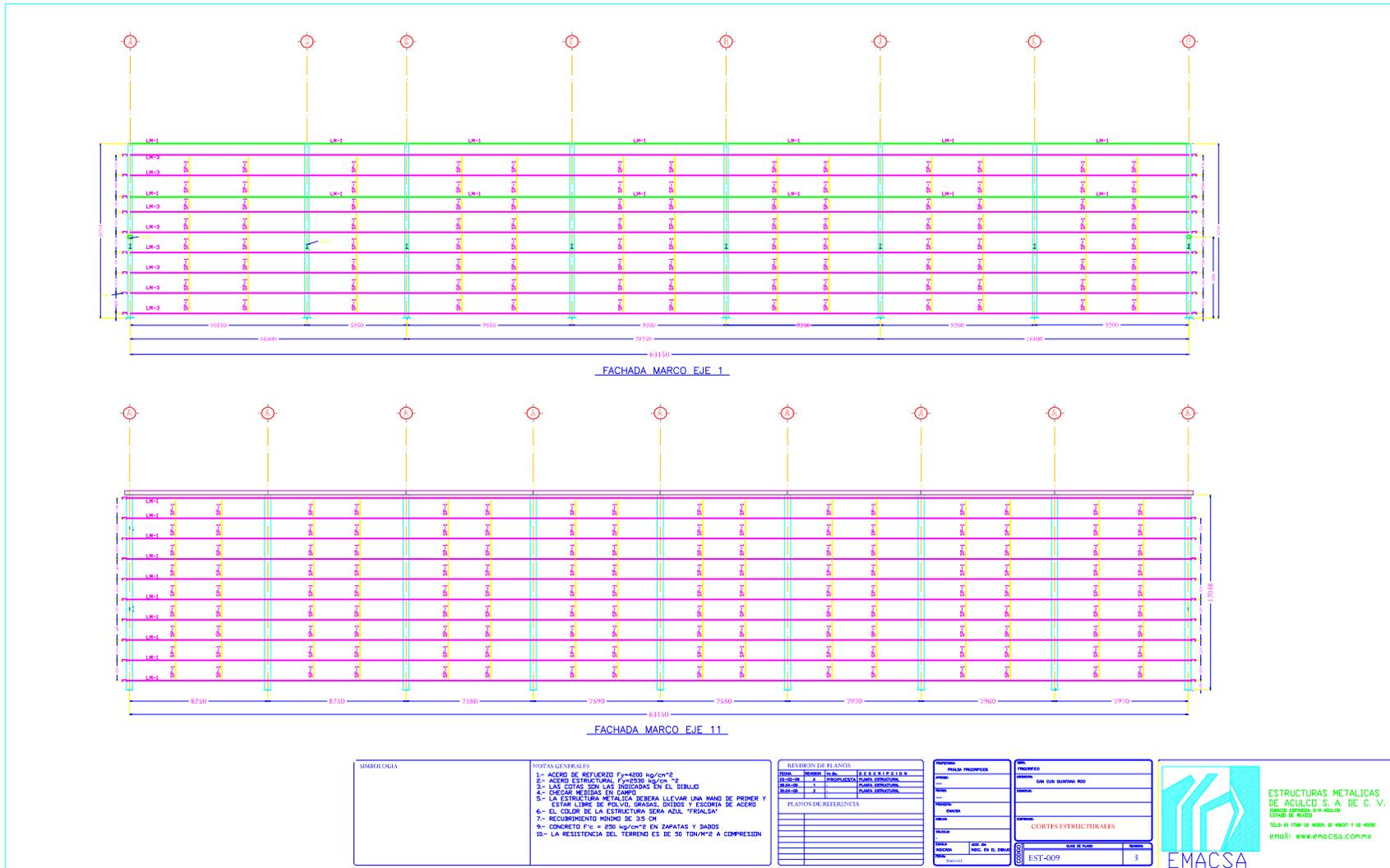


Fig. A-11 Largueros de fachada.

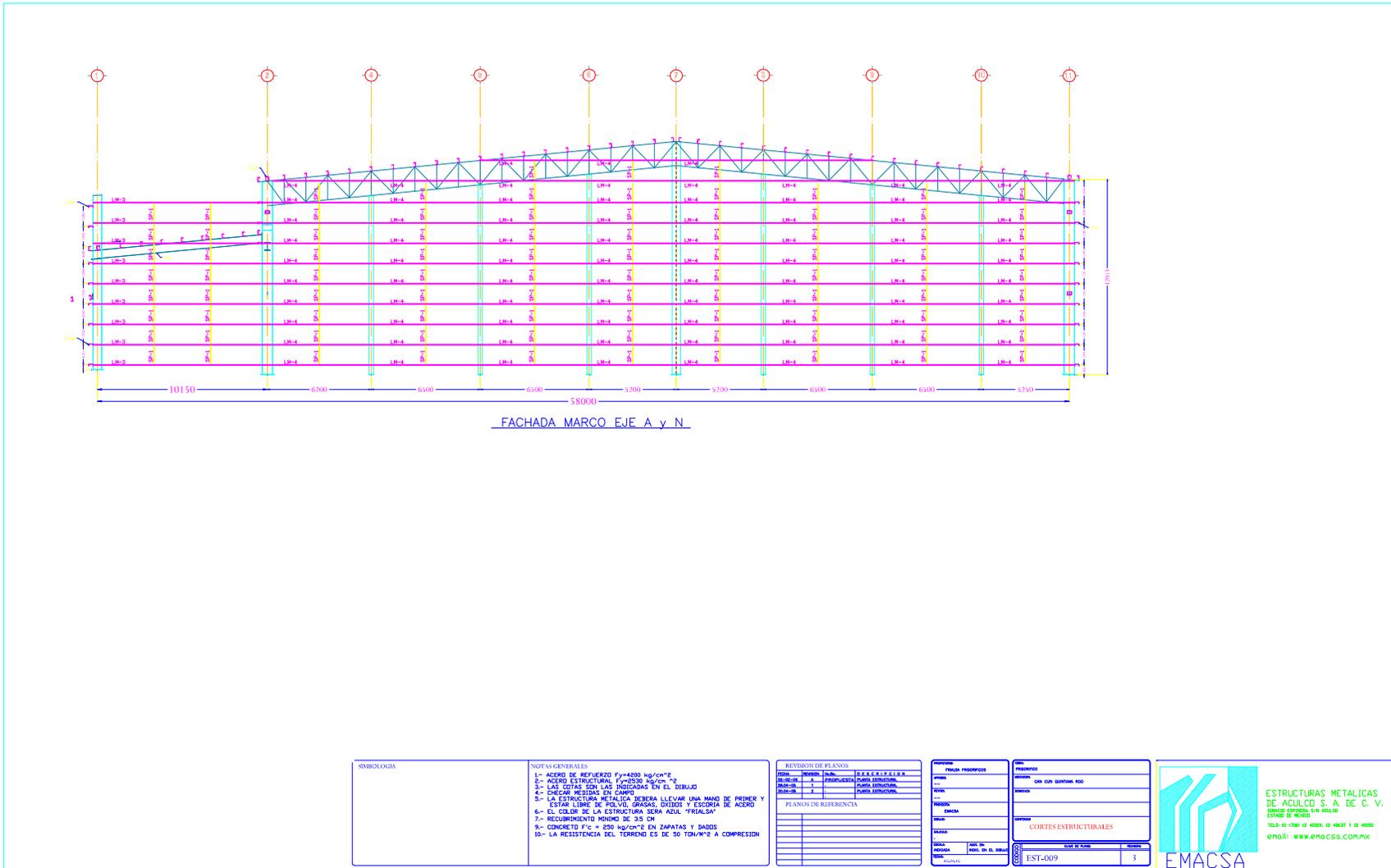


Fig. A-12 Largueros de fachada.

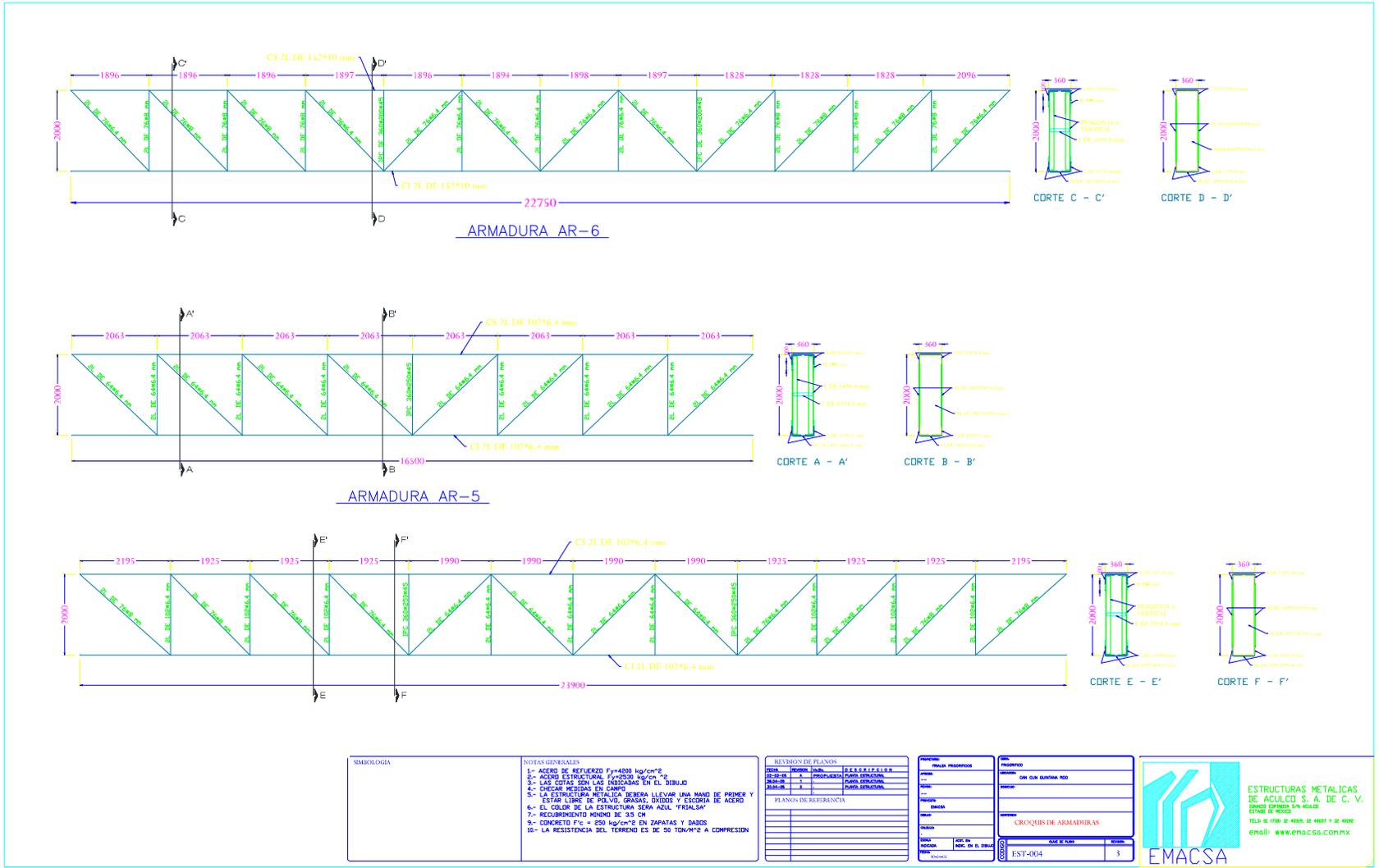


Fig. A-13 Secciones de armaduras.

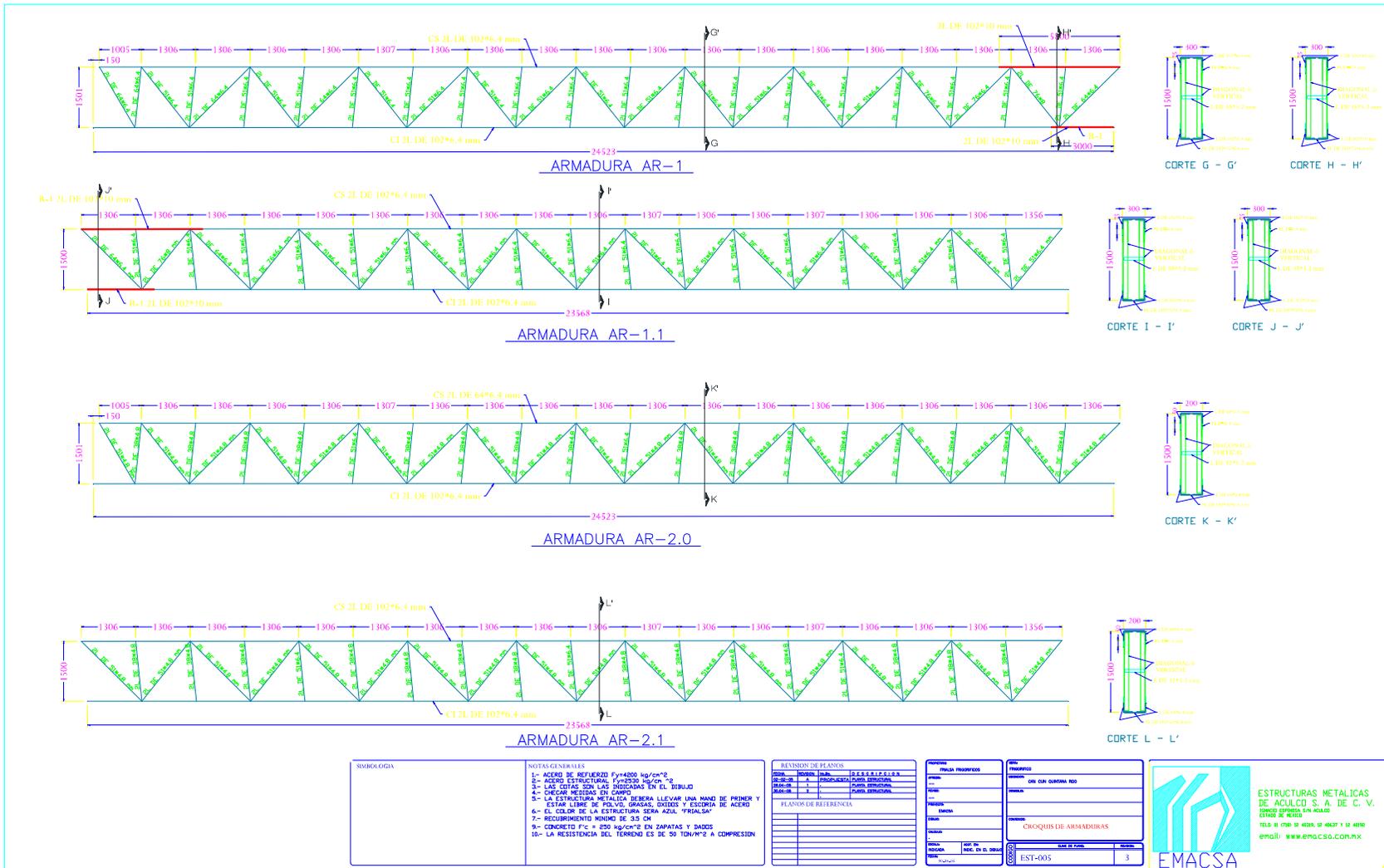


Fig. A-14 Secciones de armaduras.

## GLOSARIO.

**CFE:** Comisión Federal de Electricidad.

**$C_{pe}$ :** Es la relación de la presión actuante sobre la estructura o sobre una de sus superficies, con la presión dinámica de base. Determina el efecto de la variación de la presión según la geometría o forma de la construcción, así como la intensidad de la velocidad y turbulencia del flujo del viento.

**Estantería:** Estructuras fabricadas con perfiles de acero, normalmente tipo canal estructural para el acomodo de las tarimas donde se colocan los productos a almacenar.

**Factor de exposición:** Establece la variación de la velocidad del viento con la altura, en función de la categoría del terreno.

**Factor de topografía:** Factor que toma en cuenta las características topográficas del sitio donde se desplantará la estructura.

**Frigorífico:** Espacio aislado del ambiente por medio de un sistema de aislamiento, con temperatura controlada artificialmente para la conservación de alimentos.

**Huracán:** Es un sistema de tormentas caracterizado por una circulación cerrada alrededor de un centro de baja presión y que produce fuertes vientos y cantidades grandes de lluvia.

**$K_A$ :** Factor de reducción por tamaño de área. Se aplica a presiones exteriores y depende del área tributaria de diseño, se aplica a la estructura principal que soporta techos y muros laterales, recubrimientos de estos techos y muros, elementos que sostienen estos techos y muros y sistemas de sujeción de estos techos y muros. Para los casos no contemplados anteriormente el valor será de 1.

**$K_L$ :** Factor de presión local. Este factor solo afecta las presiones exteriores y cuando se diseñen los siguientes elementos: Recubrimiento de techos y muros de barlovento y sotavento, elementos que soportan los recubrimientos y sistemas de sujeción de estos elementos. En cualquier otro caso su valor será de 1.

**Muro de barlovento:** Es el muro de la construcción ubicado del lado donde sopla el viento y perpendicular a la dirección de este.

**Muros laterales:** Son los muros que se encuentran a los costados de la estructura paralelos a la dirección en que sopla el viento.

**Muro de sotavento:** Es el muro de la construcción ubicado del lado opuesto a donde sopla el viento, también perpendicular a la dirección de este.

**Periodo de retorno:** Tiempo medio entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos, normalmente medido en años.

**Presión dinámica de base:** Es la presión que ejerce el flujo del viento sobre una superficie plana perpendicular a él.

**Presiones eólicas:** Es la presión ejercida sobre una superficie al interponerse al paso del viento.

**Sistema de aislamiento:** Es el material con el cual se aísla el interior de la bodega para poder controlar la temperatura de ésta, este material está compuesto por un “sándwich” de dos capas de lámina de acero y en el centro de estas una capa de aislante térmico que puede ser poliestireno o poliuretano.

**Velocidad básica de diseño:** Es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre algunos de sus componentes.

**Velocidad regional:** Es la velocidad máxima que puede ser excedida en un cierto periodo de retorno en una cierta región.

**Viento normal a las generatrices:** Es cuando el viento sopla en dirección perpendicular al eje de la cumbrera o parteaguas de la estructura.

**Viento paralelo a las generatrices:** Es cuando el viento sopla en dirección paralela al eje de la cumbrera de la estructura.

## **BIBLIOGRAFIA.**

Bresler, Lin y Scalzi.  
Diseño de estructuras de acero.  
Editorial Limusa 1983.

Comisión Federal de Electricidad, Instituto de investigaciones eléctricas.  
Manual de diseño de obras civiles. Diseño por viento  
México 2008.

Luis Arnal Simón, Max Betancourt Suárez.  
Reglamento de construcciones para el Distrito Federal  
Editorial Trillas 1999.

McCormac, Jack C.  
Diseño de estructuras de acero. Método LRFD.  
Editorial Alfaomega 1996.

IMCA  
Instituto Mexicano de la Construcción en Acero A. C.