

# T1 / Edificio de Mantenimiento- Estructural/ Memoria

**Referencia:**

**Memoria de Cálculo Estructural**

**Fecha: 2024-03-28**



## **CONTRATO NÚMERO MX-ATAT 4353**

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN-ATLACOMULCO

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 1/85

<b>Referencia del Proyecto</b>	Memoria de Cálculo Estructural
<b>Revisión</b>	01
<b>Fecha</b>	28 de marzo de 2024
<b>Título del documento</b>	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria

<b>Emitido por</b>	<b>Revisado por</b>	<b>Aprobado por</b>
José Enrique VALLEJO MELÉNDEZ y Julio RODRÍGUEZ SÁNCHEZ	José Enrique VALLEJO MELÉNDEZ	Julio RODRÍGUEZ SÁNCHEZ
<b>Entidad:</b>	<b>Entidad:</b>	<b>Entidad:</b>
AYESA	AYESA	AYESA
<b>Función:</b>	<b>Función</b>	<b>Función:</b>
Coordinador Técnico y Director de Proyecto	Coordinador Técnico	Director de Proyecto
<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>	<b>Fecha:</b>
2023-11-21	2023-11-21	2023-11-21
<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>	<b>Firma:</b>
		

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 2/85

Registro de la Evolución			
Revisión	Fecha	Capítulos Revisados	Descripción de la Revisión
01	2024-03-28	Todos	Creación de Documento (Memoria Descriptiva)

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 3/85



PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 4/85

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>DATOS GENERALES DEL PROYECTO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.</b>	<b>CÓDIGOS Y REGLAMENTOS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA .....</b>	<b>13</b>
<b>3.</b>	<b>CARGAS.....</b>	<b>15</b>
3.1.	CARGAS PERMANENTES. ....	15
3.2.	CARGAS VARIABLES .....	16
3.3.	CARGAS ACCIDENTALES .....	16
<b>4.</b>	<b>MATERIALES.....</b>	<b>17</b>
4.1.	CONCRETO.....	17
4.2.	ACERO DE REFUERZO.....	17
4.3.	ACERO ESTRUCTURAL.....	17
4.4.	MAMPOSTERÍA.....	18
<b>5.</b>	<b>MODELO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....</b>	<b>19</b>
<b>6.</b>	<b>CONDICIONES DE REGULARIDAD .....</b>	<b>19</b>
<b>7.</b>	<b>ANÁLISIS SÍSMICO .....</b>	<b>19</b>
7.1.	CATEGORÍA, SUBCATEGORÍA Y FRACCIÓN DE AMORTIGUAMIENTO .....	19
7.2.	COEFICIENTE SÍSMICO Y SOBRE RESISTENCIA .....	20
7.3.	REDUNDANCIA.....	20
7.4.	ESPECTROS DE DISEÑO .....	20
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS DE VIENTO .....</b>	<b>22</b>
8.1.	VELOCIDAD BÁSICA DE DISEÑO .....	22
8.1.1.	VELOCIDAD REGIONAL .....	22

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 5/85

8.1.2.	FACTOR DE EXPOSICIÓN.....	22
8.1.3.	FACTOR DE TOPOGRAFÍA LOCAL .....	24
8.2.	ANÁLISIS ESTÁTICO .....	24
8.2.1.	PRESIÓN DINÁMICA DE BASE $Q_z$ .....	24
8.2.2.	PRESIONES INTERIORES.....	25
8.2.3.	PRESIONES EXTERIORES .....	25
<b>9.</b>	<b>GRANIZO.....</b>	<b>33</b>
9.1.	CARGA UNIFORME DEBIDO A GRANIZO .....	33
9.2.	REVISIÓN DE VALLES .....	33
<b>10.</b>	<b>EXCENRICIDAD ACCIDENTAL .....</b>	<b>33</b>
<b>11.</b>	<b>CONSIDERACIONES DE AGRIETAMIENTO .....</b>	<b>34</b>
<b>12.</b>	<b>RESULTADOS DEL ANÁLISIS .....</b>	<b>35</b>
12.1.	VERIFICACIÓN DE CARGAS VERTICALES.....	35
12.2.	PARTICIPACIÓN MODAL .....	36
12.3.	REVISIÓN DE CORTANTE BASAL .....	37
12.4.	REVISIÓN DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES.....	39
12.4.1.	SEGURIDAD CONTRA COLAPSO.....	39
12.4.2.	LÍMITE DE SERVICIO .....	41
12.4.3.	SEPARACIÓN CON ESTRUCTURAS ADYACENTES .....	43
<b>13.</b>	<b>MECÁNICA DE SUELOS.....</b>	<b>43</b>
<b>14.</b>	<b>DISEÑO DE CIMENTACIÓN.....</b>	<b>43</b>
14.1.	ZAPATAS CORRIDAS.....	43
14.1.1.	ZAPATA ZC-2.....	43
14.1.2.	ZAPATA ZC-1 .....	47
14.2.	PLACAS BASE (PL-1) .....	47
14.3.	SISTEMAS DE ANCLAJE (AN-1).....	50
14.4.	DADOS (D-1) .....	51
14.5.	ZAPATA AISLADA (Z-1) .....	55

14.5.1.	CAPACIDAD DEL SUELO.....	55
14.5.2.	FLEXIÓN .....	56
14.5.3.	CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN .....	57
14.5.4.	CORTANTE EN DOS DIRECCIONES .....	57
14.5.5.	ACERO POR TEMPERATURA.....	58
14.5.6.	OTRAS ZAPATAS.....	59
1.1	TRABE DE LIGA.....	59
<b>15.</b>	<b>DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA .....</b>	<b>61</b>
15.1.	ACERO.....	61
15.1.1.	TRABES Y VIGAS DE ACERO .....	61
15.1.2.	COLUMNAS DE ACERO.....	68
15.2.	MUROS DE MAMPOSTERÍA .....	77
15.2.1.	FACHADA EJE “3” .....	77
15.2.2.	OTROS MUROS DEL EJE “3” .....	82
15.2.3.	FACHADA EJE “1” .....	82
15.2.4.	FACHADA EJE “A” .....	83
15.2.5.	FACHADA EJE “G” .....	83
15.3.	CONCRETO.....	84
15.3.1.	TRABE T-1 .....	84

## TABLAS

TABLA 1. CARGAS PERMANENTES PARA ENTREPISO. ....	15
TABLA 2. CARGAS PERMANENTES PARA AZOTEA.....	16
TABLA 3. CARGAS PERMANENTES PARA CUBIERTA.....	16
TABLA 4. CARGAS VIVAS PARA LOS DESTINOS DEL PISO OBTENIDAS DE LA NORMA. ....	16
TABLA 5. ESFUERZOS DE COMPRESIÓN Y MÓDULOS DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO. ....	17
TABLA 6. ESFUERZOS DE FLUENCIA Y TIPO DE ACERO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	18
TABLA 7. FACTORES EMPLEADOS PARA ESPECTROS DE DISEÑO. ....	21
TABLA 8. TABLA 3.1 DEL MDOC PARA VIENTO 2020. CFE.....	24
TABLA 9. COEFICIENTES DE PRESIÓN EXTERIOR PARA MUROS LATERALES. ....	28
TABLA 10. PRESIONES NETAS PARA MURO LATERAL (A).....	28
TABLA 11. PRESIONES NETAS PARA MURO LATERAL (B). ....	28
TABLA 12. COEFICIENTES DE PRESIÓN EXTERIOR PARA CUBIERTAS TRANSVERSALES. ....	29
TABLA 13. PRESIONES NETAS PARA CUBIERTA TRANSVERSAL (A).....	29
TABLA 14. PRESIONES NETAS PARA CUBIERTA TRANSVERSAL (B).....	30
TABLA 15. CARGAS TOTALES APLICADAS. MANUAL. ....	35
TABLA 16. CARGAS TOTALES APLICADAS. SAP2000.....	35
TABLA 17. PERIODOS Y PARTICIPACIÓN MODAL.....	36
TABLA 18. CARGA TOTAL CONSIDERADA PARA CORTANTE BASAL.....	37
TABLA 19. CORTANTES EN DIRECCIÓN X Y Y. ....	37
TABLA 20. COMPROBACIÓN DEL CORTANTE BASAL. ....	38
TABLA 21. DESPLAZAMIENTOS PARA EL NIVEL CON DIAFRAGMA RÍGIDO. COLAPSO. ....	40
TABLA 22. DISTORSIONES PARA OFICINAS. COLAPSO.....	40
TABLA 23. DISTORSIONES PARA COLUMNAS DE NAVE INDUSTRIA. COLAPSO. ....	41
TABLA 24. DESPLAZAMIENTOS PARA EL NIVEL CON DIAFRAGMA RÍGIDO. SERVICIO.....	42
TABLA 25. DISTORSIONES PARA OFICINAS. SERVICIO. ....	42
TABLA 26. DISTORSIONES PARA COLUMNAS DE NAVE INDUSTRIA. SERVICIO. ....	43
TABLA 27. RESULTADOS PARA ZAPATA CORRIDA ZC-2. ....	47
TABLA 28. SOLICITACIONES MÁXIMAS PARA ZAPATA Z-2. ....	59
TABLA 29. DIMENSIONES Y RESISTENCIA DE ZAPATA Z-2.....	59
TABLA 30. DIMENSIONES PARA PERFIL IR347X63.8 CON PERALTE MODIFICADO. TM-4.....	61
TABLA 31. PROPIEDADES PARA PERFIL IR347X63.8 CON PERALTE MODIFICADO. TM-4.....	61
TABLA 32. RELACIÓN ANCHO ESPESOR. TM-4. ....	61
TABLA 33. LÍMITES PARA PANDEO ELÁSTICO Y PLÁSTICO. TM-4. ....	63
TABLA 34. MOMENTO EFECTIVO Y ELÁSTICO. TM-4.....	63
TABLA 35. LÍMITES PARA LA RELACIÓN ANCHO ESPESOR DEL ALMA. TM-4.....	66
TABLA 36. RESISTENCIAS Y SOLICITACIONES PARA TRABES. ....	67
TABLA 37. DEFLEXIONES PARA TRABES. ESTADO LÍMITE DE SERVICIO. ....	68
TABLA 38. DIMENSIONES PARA PERFIL IR347X63.8 CON PERALTE MODIFICADO. CM-1. ....	68

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 8/85



TABLA 39. RELACIÓN ANCHO ESPESOR DE CM-1.....	68
TABLA 40. PROPIEDADES PARA PERFIL IR347X63.8 CON PERALTE MODIFICADO. CM-1.....	68
TABLA 41. RELACIÓN ANCHO ESPESOR PARA COMPRESIÓN. CM-1.....	69
TABLA 42. CARGA AXIAL ÚLTIMA Y MOMENTOS EN UN EXTREMO DE LA COLUMNA. CM-1.....	72
TABLA 43. VALORES PARA ECUACIÓN DE INTERACCIÓN DE REVISIÓN EN EXTREMOS.....	72
TABLA 44. VALORES PARA ECUACIÓN DE INTERACCIÓN DE REVISIÓN DE COLUMNA COMPLETA.....	73
TABLA 45. MOMENTOS ÚLTIMOS EN TODA LA COLUMNA. CM-1.....	73
TABLA 46. CARGAS CONSIDERADAS PARA CADA COLUMNA.....	74
TABLA 47. RESISTENCIA CALCULADAS PARA CADA COLUMNA.....	74
TABLA 48. PROPIEDADES DEL MURO M-1.....	78
TABLA 49. CARGAS ÚLTIMAS Y RESISTENCIA DE CADA MURO. EJE 3.....	82
TABLA 50. CARGAS ÚLTIMAS Y RESISTENCIA DE CADA MURO. EJE 1.....	83
TABLA 51. CARGAS ÚLTIMAS Y RESISTENCIA DE CADA MURO. EJE A.....	83
TABLA 52. CARGAS ÚLTIMAS Y RESISTENCIA DE CADA MURO. EJE G.....	84

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 9/85

## ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1. MODELO 3D DE LA ESTRUCTURA. ....	12
ILUSTRACIÓN 2. UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA. PRODISIS. ....	13
ILUSTRACIÓN 3. ESPECTROS DE DISEÑO. ....	21
ILUSTRACIÓN 4. FOTOGRAFÍA DEL TERRENO DONDE SE UBICA LA ESTRUCTURA. ....	23
ILUSTRACIÓN 5. DIRECCIÓN DE VIENTO +X.....	26
ILUSTRACIÓN 6. DIRECCIÓN DE VIENTO +Y.....	30
ILUSTRACIÓN 7. ASIGNACIÓN DE EXCENRICIDAD ACCIDENTAL. ....	34
ILUSTRACIÓN 8. INERCIA EFECTIVA PARA ELEMENTOS DE CONCRETO. ....	35
ILUSTRACIÓN 9. CORRECCIÓN DE CASO DE CARGA POR CORTANTE BASAL. ....	38
ILUSTRACIÓN 10. TABLA 5.6.1.1. NTC ESTRUCTURAS DE CONCRETO.....	58
ILUSTRACIÓN 11. MOMENTO NEGATIVO. TM-4.....	64
ILUSTRACIÓN 12. MOMENTO POSITIVO. TM-4.....	65
ILUSTRACIÓN 13. FACHADA DE EJE 3. MURO 1.....	78

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 10/85

## 1 DATOS GENERALES DEL PROYECTO

El edificio de mantenimiento está estructurado a base de marcos de acero y muros de mampostería en el perímetro. Cuenta con sistema de piso de losacero en el único entrepiso que tiene a una altura de 3.9 metros. La cubierta de la estructura es ligera a dos aguas con una pendiente de 5%. Las dimensiones en planta que abarca este tipo de cubierta son de 18 por 30 metros; la altura de esta sección a nivel de la cumbrera es de 9.14 metros, sin embargo, los muros de mampostería en las fachadas alcanzan los 10 metros. Adicional a lo anterior se cuenta con una cubierta de losacero con 6 cm de espesor a un nivel de 4.7 metros que abarca 18 por 4 metros.

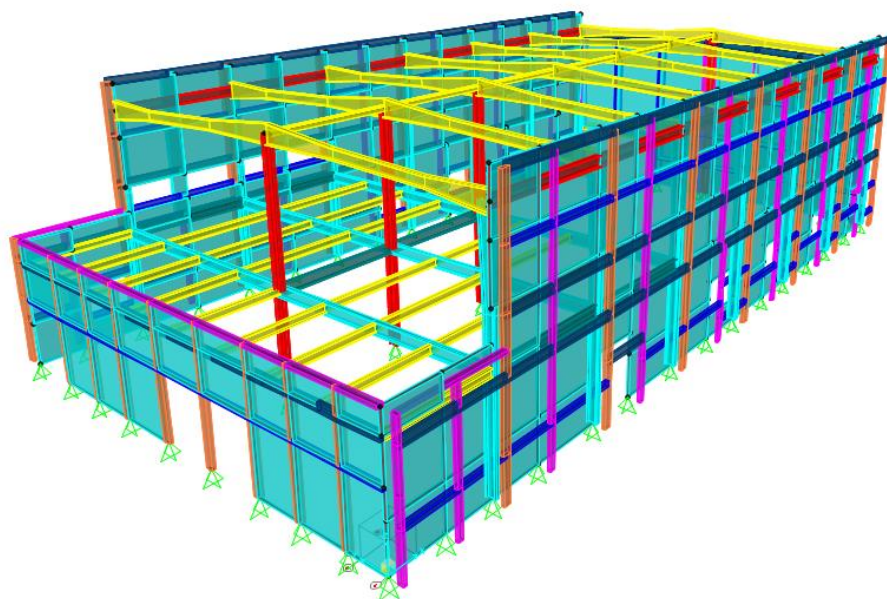
Por otro lado, las cargas se transmiten al suelo tanto con zapatas aisladas como con zapatas corridas; para las primeras se colocan las correspondientes trabes de liga para dar mayor estabilidad a los elementos.

Para la acción de sismo y viento, la clasificación de la estructura se considerará con base en el Manual de Diseño de Obras Civiles de la CFE, en adelante MDOC, pues se ubica fuera de la CDMX. La estructura se encontrará muy cerca de Atizapán de Zaragoza; sus coordenadas son: Longitud -99.2948 O y Latitud 19.5383 N. Para el primero se tomarán en cuenta las consideraciones para estructuras de tipo industrial, en el grupo B1; para el segundo, de acuerdo con su importancia será del grupo B y por su respuesta ante la acción del viento del tipo 1.

En cuanto a la revisión del estado límite de falla, se empleará la combinación para una estructura del grupo B. Se deja de lado la clasificación del subgrupo ya que este involucra la ubicación dentro de la CDMX y la ubicación de la estructura se encuentra fuera de la ciudad.

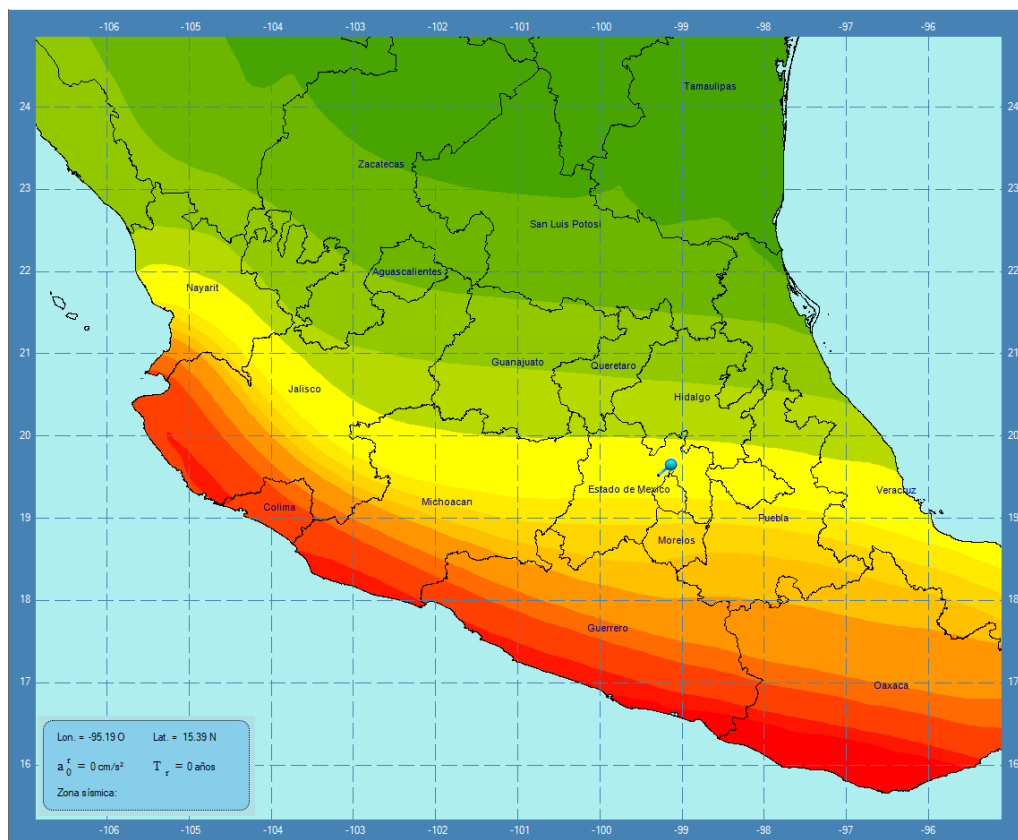
La ubicación de la estructura se muestra en la siguiente imagen; se obtuvo de la aplicación PRODISIS de la CFE.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 11/85



*Ilustración 1. Modelo 3D de la estructura.*

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 12/85



*Ilustración 2. Ubicación de la estructura. PRODISIS.*

## 1. CÓDIGOS Y REGLAMENTOS

Para la revisión de las acciones dinámicas como el viento y sismo se emplearán las consideraciones establecidas en el MDOC de viento 2020 y sismo 2015; así mismo, para la revisión de los elementos estructurales se seguirá lo especificado en la Norma Técnica Complementaria correspondiente al material publicada en 2023. Finalmente, cabe mencionar que se aplicarán los lineamientos del Reglamento de Construcciones para el DF.

## 2. COMBINACIONES Y FACTORES DE CARGA

Siguiendo lo establecido en la sección 3.4 de las NTC sobre criterios y acciones, las combinaciones que se aplicarán al modelo estructural son las siguientes.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 13/85

Las combinaciones para revisar el estado límite de servicio son:

$CMT + CV$   
 $CMT + CVI + S_x + 0.3 S_y$   
 $CMT + CVI + S_x - 0.3 S_y$   
 $CMT + CVI - S_x - 0.3 S_y$   
 $CMT + CVI - S_x + 0.3 S_y$   
 $CMT + CVI + S_y + 0.3 S_x$   
 $CMT + CVI + S_y - 0.3 S_x$   
 $CMT + CVI - S_y - 0.3 S_x$   
 $CMT + CVI - S_y + 0.3 S_x$

Las combinaciones para revisar el estado límite de falla son:

$1.3 CMT + 1.5 CVM$   
 $1.1 (CMT + CVI + S_x + 0.3 S_y)$   
 $1.1 (CMT + CVI + S_x - 0.3 S_y)$   
 $1.1 (CMT + CVI - S_x - 0.3 S_y)$   
 $1.1 (CMT + CVI - S_x + 0.3 S_y)$   
 $1.1 (CMT + CVI + S_y + 0.3 S_x)$   
 $1.1 (CMT + CVI + S_y - 0.3 S_x)$   
 $1.1 (CMT + CVI - S_y - 0.3 S_x)$   
 $1.1 (CMT + CVI - S_y + 0.3 S_x)$   
 $CMT + W_1$   
 $CMT + W_2$   
 $CMT - W_1$   
 $CMT - W_2$   
 $CMT + \text{Granizo}$

Donde:

**CMT** es la carga muerta total constituida por el peso propio (PP) y la sobre carga muerta (SCM).

**CV** es la carga viva media.

**CVI** es la carga viva instantánea.

**CVM** es la carga viva máxima.

**S<sub>x</sub>** son las fuerzas inducidas por el sismo en dirección X.

**S<sub>y</sub>** son las fuerzas inducidas por el sismo en dirección Y.

**W<sub>1</sub>** es la primera condición de viento.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 14/85

$W_2$  es la segunda condición de viento.

## 3. CARGAS

### 3.1. Cargas Permanentes.

Se considera como cargas permanentes a todas aquellas que varían muy poco en el tiempo o directamente no lo hacen. Ejemplo de estas son el peso propio de los elementos, los acabados, muros, instalaciones, rellenos, etc. A continuación, se presentan las cargas consideradas para cada zona de la estructura. Nótese que el peso de los muros se consideró de forma distribuida en toda el área; para esto se multiplicó el peso volumétrico de la mampostería, definido más abajo, por lo alto de los muros igual a 2.3 metros, el espesor de estos de 12 centímetros y la longitud total igual a 96.31 metros. Todo lo anterior se dividió entre el área considerada de oficinas (18 m x 14 m).

Tipo de carga	Magnitud	Unidades
Acabado cerámico	40	kgf/m <sup>2</sup>
Firme de nivelación	30	kgf/m <sup>2</sup>
Losacero	144	kgf/m <sup>2</sup>
Instalaciones	15	kgf/m <sup>2</sup>
Falso plafón	40	kgf/m <sup>2</sup>
Sobre carga por reglamento para firme	20	kgf/m <sup>2</sup>
Sobre carga por reglamento para losacero	20	kgf/m <sup>2</sup>
Muros	263.71	kgf/m <sup>2</sup>
Total	572.71	kgf/m <sup>2</sup>

Tabla 1. Cargas permanentes para entrepiso.

Tipo de carga	Magnitud	Unidades
Impermeabilizante	20	kgf/m <sup>2</sup>
Entortado de mortero	60	kgf/m <sup>2</sup>
Relleno de tepetate o tezontle	120	kgf/m <sup>2</sup>
Losacero	144	kgf/m <sup>2</sup>
Falso plafón	40	kgf/m <sup>2</sup>



Instalaciones	15	kgf/m <sup>2</sup>
Sobre carga por reglamento para firme	20	kgf/m <sup>2</sup>
Sobre carga por reglamento para losacero	20	kgf/m <sup>2</sup>
Muros	263.71	kgf/m <sup>2</sup>
Total	702.71	kgf/m <sup>2</sup>

Tabla 2. Cargas permanentes para azotea.

Tipo de carga	Magnitud	Unidades
Cubierta	11.69	kgf/m <sup>2</sup>
Instalaciones	10	kgf/m <sup>2</sup>
Total	21.69	kgf/m <sup>2</sup>

Tabla 3. Cargas permanentes para cubierta.

Los muros de mampostería están considerados con block hueco; se tomará un peso intermedio de 1.7 tonf/m<sup>3</sup>.

### 3.2. Cargas Variables

En contra parte, las cargas variables se refieren a todas aquellas que no son constantes y varían en gran medida durante la vida útil de la estructura. Estas cargas son proporcionadas en la tabla 6.1.2.2 de las NTC sobre criterios y acciones. Para este caso, los destinos de piso empleados en primer lugar son azoteas con pendiente menor que 5%. Nótese que la pendiente de la cubierta es del 5%; las cargas mencionadas son aplicables ya que rigurosamente no se sobre pasa el valor especificado. Y, en segundo lugar, se considera que el entrepiso tendrá uso de oficinas; las cargas extraídas de la tabla de las NTC son las siguientes.

Destino de piso o cubierta	W (kgf/m <sup>2</sup> )	W <sub>a</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	W <sub>m</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )
Oficinas	100	180	250
Cubierta y azoteas: pendiente ≤ %5	15	70	100

Tabla 4. Cargas vivas para los destinos del piso obtenidas de la norma.

### 3.3. Cargas accidentales

Las acciones accidentales que se considerarán en el análisis son las cargas por viento, por sismo y por granizo. El análisis correspondiente para cada una de las acciones anteriores se desglosará más adelante.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 16/85



## 4. MATERIALES

### 4.1. Concreto

Para estructura principal de concreto se considera uno de clase 1 con agregado grueso calizo cuyo peso volumétrico alcanza los 2400 kgf/m<sup>3</sup>; de acuerdo con las normas, su módulo de elasticidad se calcula con:

$$E_c = 14,000 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Para losacero, dalas y castillos, se emplea concreta clase 2 de acuerdo con su resistencia a los esfuerzos en compresión; el módulo de elasticidad para este concreto es:

$$E_c = 8,000 \cdot \sqrt{f'_c}$$

Las resistencias a compresión son las siguientes.

Elemento	$f'_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )
Losacero	200	113137.08
Dalas y castillos	200	113137.08
Zapatas, trabes y columnas	250	221359.44

Tabla 5. Esfuerzos de compresión y módulos de elasticidad del concreto.

### 4.2. Acero de refuerzo

Se empleará un esfuerzo de fluencia común para las barras de refuerzo en los elementos de concreto de 4200 kgf/cm<sup>2</sup>. Si se colocan elementos del #2.5, este será de 2500 kgf/cm<sup>2</sup>.

### 4.3. Acero estructural

El acero empleado para cada tipo de perfil se muestra en la tabla que sigue.

Perfil	$f_y$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Acero
LI	2530	ASTM A-36
Placas	2530	ASTM A-36
CE	2530	ASTM A-36

IR	2530	ASTM A-36
OR	3235	ASTM A-500
Monten	3500	ASTM A-500
Anclas	2530	ASTM A-36

Tabla 6. Esfuerzos de fluencia y tipo de acero para elementos estructurales.

Finalmente, el módulo de elasticidad del acero se modelará con un valor de:

$$E_s = 2,039,000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

#### 4.4. Mampostería

Como se ha mencionado en algún párrafo anterior, los muros de mampostería constan de block hueco de 12X20X40 con resistencia mínima a la compresión de 75 kgf/cm<sup>2</sup>. El mortero para pegar dichas piezas deberá contar con una resistencia a la compresión de 100 kgf/cm<sup>2</sup>, por lo que de acuerdo con la tabla 2.5.3.1 de las NTC correspondientes a este material se clasifica como Tipo II. De igual manera, en la tabla 2.8.1.4.1 del documento mencionado recientemente se puede obtener la resistencia a compresión de diseño de la mampostería a base de piezas de concreto.

$$f'_p = 75 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_m = 35 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Y con este valor es posible determinar el módulo de elasticidad de acuerdo con la sección 2.8.5.4 de las normas.

$$E_m = 800 \cdot f'_m = 28000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

El peso volumétrico mínimo para bloques de concreto según la tabla 2.1.1.4 de las NTC sobre mampostería es de 1700 kgf/m<sup>3</sup>; sin embargo, para considerar el peso que puede absorber debido al agua se considerará de:

$$\gamma_m = 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 18/85

## 5. MODELO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Para realizar el análisis de la estructura se empleará un análisis dinámico modal espectral con la finalidad de poder determinar las fuerzas de inercia originadas por sismo, además de observar el comportamiento de la estructura bajo dicha solicitación. Este análisis sólo abarca el comportamiento elástico lineal de la estructura mediante elementos barra conectados en tres direcciones. Adicional a lo anterior, se emplea elementos tipo Shell Thin para considerar la rigidez que puedan aportar los muros perimetrales de mampostería con un mallado automático para mejorar los resultados del elemento finito.

Para alcanzar efectos adecuados de los análisis dinámicos se emplearon vectores tipo Ritz, pues estos van dirigidos al comportamiento de la estructura bajo consideraciones de carga específicas como las aceleraciones inducidas por sismos. La realización de todo lo descrito anteriormente se logró empleando el software SAP2000.

## 6. CONDICIONES DE REGULARIDAD

El MDOC de sismo establece en su sección 3.4.7 que la irregularidad para estructuras industriales ya está implícita en los factores de comportamiento sísmico por lo que no es necesario revisar estas condiciones para esta estructura en específico.

## 7. ANÁLISIS SÍSMICO

### 7.1. Categoría, subcategoría y fracción de amortiguamiento

Los espectros destinados al diseño y a la revisión de servicio de la estructura se obtendrán de acuerdo con lo establecido en el MDOC de sismos de la CFE. Con este fin es necesario clasificar a la estructura de que se trata esta memoria en alguna de las categorías establecidas en el manual. Se piensa la más adecuada corresponde a “Estructuras Industriales”, sección 3.4 del Manual citado.

Dentro de esta categoría, la estructura se considera dentro de la subcategoría “Tipo industrial I” por ser una estructura medianamente alargada y cubrir grandes claros en una parte de ella. Para seleccionar la fracción del amortiguamiento se considera que la estructura es una ligera con uniones atornilladas. Tomando en cuenta la afirmación anterior y recurriendo a la tabla 4.1 del MDOC, el porcentaje de amortiguamiento es el siguiente.

$$\zeta_e = 3\%$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 19/85

## 7.2. Coeficiente sísmico y sobre resistencia

De la tabla 4.2 del Manual y considerando la siguiente relación se determina el factor de comportamiento sísmico y el factor reductor por sobre resistencia.

$$\frac{h}{b} = \frac{10 \text{ m}}{18 \text{ m}} = 0.55$$

Visto lo anterior, la estructura de acero se considera de gran altura por lo que:

$$Q = 1.25$$

$$R_0 = 2$$

## 7.3. Redundancia

Para la determinar el factor por redundancia se debe recurrir a la sección 3.3.1.4 del MDOC. Se considera que esta edificación cuenta con 7 marcos de 1 crujía en una dirección, mientras que en la dirección ortogonal sólo dos marcos con 6 crujías. De estas afirmaciones se puede concluir que el factor correspondiente será de:

$$\rho = 1$$

## 7.4. Espectros de diseño

En la siguiente tabla se enlistan todos los factores necesarios que se emplearon en la creación de los diferentes espectros. De acuerdo con el MDOC, para revisar el estado límite de prevención contra colapso deberá aplicarse el espectro modificado establecido en la sección 3.3.1.7 del manual. En cuanto a las distorsiones, para el estado límite de daños a elementos no estructurales, el espectro requerido es el mencionado en el apartado 3.3.1.8, mientras que para el estado límite de seguridad contra colapso se deberá multiplicar el espectro modificado por los factores especificados en la sección 3.4.12.2 del manual.

Factor	Valor	Unidad
Zona	B	
Tipo de terreno	1	
$F_{sit=}$	1	
$a_{0r=}$	99.82	cm/s <sup>2</sup>
$a_0=$	99.82	cm/s <sup>2</sup>
$F_{res=}$	3.07	

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 20/85

$c=$	306.4	cm/s <sup>2</sup>
$F_{IE}=$	1	
$\zeta_e=$	3%	
$T_c=$	2	s
$T_a=$	0.1	s
$T_b=$	0.6	s
$k=$	1.5	
$r=$	0.5	
$Q=$	1.25	
$R_0=$	2	
$\rho=$	1	

Tabla 7. Factores empleados para espectros de diseño.

Los espectros de diseño obtenidos para la ubicación dada y los factores anteriores se muestran en la siguiente imagen.

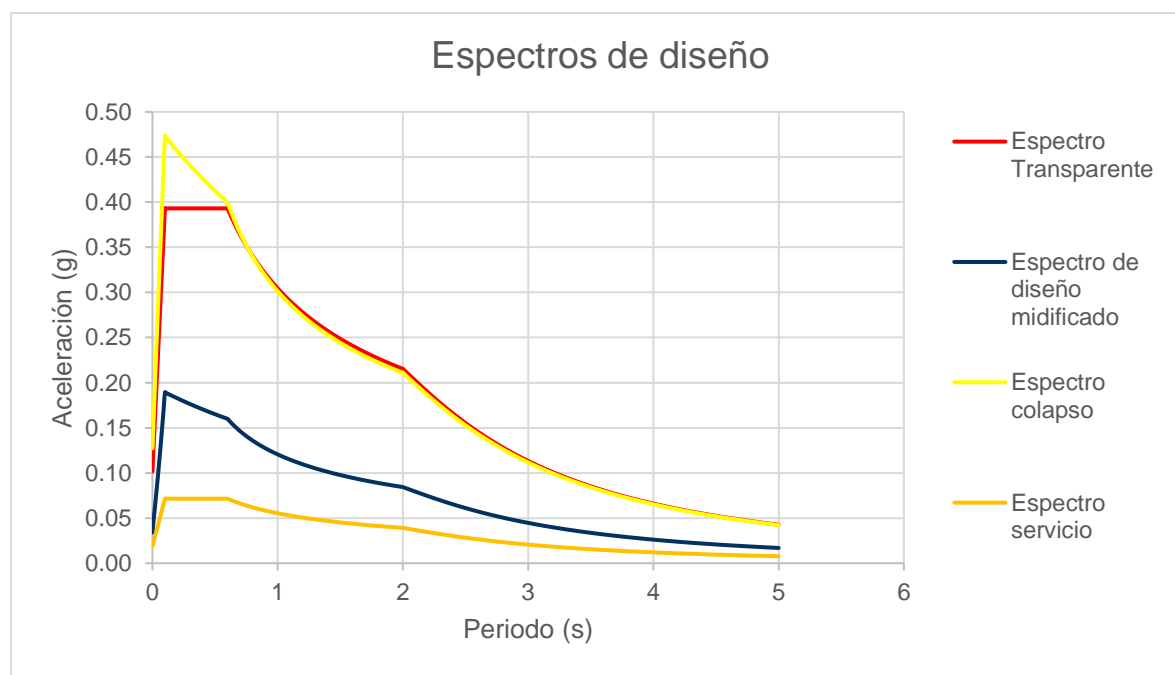


Ilustración 3. Espectros de diseño.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 21/85

Nótese que las gráficas anteriores se obtuvieron de forma manual con una hoja de cálculo para poder obtener los tres necesarios. Se comparó el espectro transparente con el arrojado en PRODISIS para corroborar los resultados.

## 8. ANÁLISIS DE VIENTO

### 8.1. Velocidad básica de diseño

Para determinar la velocidad de diseño se requiere determinar el factor de topografía local, el de exposición local y la velocidad regional de ráfaga para aplicar la siguiente expresión establecida en el MDOC de viento en la sección 2.

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

La determinación de los factores anteriores se desarrolla más abajo; sin embargo, se emplearán ya en la expresión anterior para determinar la velocidad de diseño.

$$V_D := F_T \cdot F_{rz} \cdot V_R = 106.75 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

#### 8.1.1. Velocidad Regional

La velocidad regional se obtuvo de la tabla C.1 del apéndice del MDOC para la Ciudad López Mateos ya que es la más cercana a la ubicación de la estructura presentada en dicha tabla; en la sección 2.2.1 del MDOC se menciona que las estructuras del grupo B deberán considerar un periodo de retorno de 50 años. Así pues, la velocidad regional es:

$$V_R = 106.75 \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

#### 8.1.2. Factor de exposición

Por otro lado, de acuerdo con la tabla 2.1 del MDOC y la siguiente figura, se considera que el terreno es categoría 2, pues en él se puede observar ondulaciones con pocas obstrucciones.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 22/85



Ilustración 4. Fotografía del terreno donde se ubica la estructura.

Con el dato anterior se puede entrar a la tabla 2.2 del MDOC para seleccionar los valores de  $c$ ,  $\alpha$  y  $\delta$ . Para un terreno de categoría 2 se tienen los siguientes valores.

$$c := 1 \quad \alpha := 0.095 \quad \delta := 350 \text{ m}$$

Con esta información es posible aplicar las expresiones 2.3, 2.4 y 2.4. Para ello se considerará que la altura de la estructura es de 10 metros.

$$F_{rz} := \begin{cases} \text{if } z \leq 10 \text{ m} & = 1 \\ F_{rz} := c \\ \text{else if } 10 \text{ m} < z < \delta \\ F_{rz} := c \cdot \left( \frac{z}{10 \text{ m}} \right)^\alpha \\ \text{else} \\ F_{rz} := c \cdot \left( \frac{z}{\delta} \right)^\alpha \\ F_{rz} \end{cases}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 23/85



### 8.1.3. Factor de topografía local

Para seleccionar este factor se considera que el sitio es uno normal, lo que nos lleva a concluir que este factor toma un valor igual 1 de la tabla 2.3.

$$F_T = 1$$

## 8.2. Análisis estático

Como se describió en los datos generales del proyecto, esta se considera una estructura de tipo 1 con base en su respuesta al viento, por lo que es factible emplear el análisis estático de viento; dicho procedimiento se muestra a continuación.

### 8.2.1. Presión dinámica de base $q_z$

La presión dinámica de base se calcula con la expresión 3.1.a del MDOC para viento la cual es la siguiente:

$$q_z = 0.0048 \cdot G \cdot V_D^2$$

A su vez, el valor de G se obtiene con la expresión 3.2 del mismo manual; para ello es necesario conocer la presión en milímetros de mercurio y el promedio de las temperaturas mínimas. Este último valor es de:

$$\tau = 9^\circ \text{C}$$

Por otro lado, Atizapán se encuentra a una altura de 2,280 msnm. Si interpolamos la presión con la tabla 3.1 del Manual se tiene el siguiente resultado.

Altitud $h_m$ (msnm)	Presión barométrica $\Omega$ (mm de Hg)
0	760
500	720
1000	675
1500	635
2000	600
2500	565
3000	530
3500	495

Tabla 8. Tabla 3.1 del MDOC para viento 2020. CFE.

$$\Omega = 580.4 \text{ mm de Hg}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 24/85



El valor para G es el siguiente:

$$G = \frac{0.392 \cdot \Omega}{273 + \tau} = 0.8068$$

A su vez, la presión dinámica de base es la siguiente:

$$q_z = 0.0048 \cdot G \cdot V_D^2 = 44.13 \frac{kgf}{m^2}$$

### 8.2.2. Presiones Interiores

En la sección 3.5.1.2 del MDOC se establecen los criterios para determinar las presiones interiores en las estructuras. Aquí se presenta la expresión 3.6 con la que se deberá calcular el valor mencionado.

$$P_i := C_{pi} \cdot K_{ra} \cdot q_z$$

Para este caso en específico, se considerará una estructura eficientemente sellada por lo que de acuerdo con la tabla 3.8.a los coeficientes de presión interior son los dos siguientes.

$$C_{pi} := \begin{bmatrix} -0.2 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Calculando la presión para ambos valores se tienen los siguientes dos resultados. Nótese que el factor  $K_{ra}$  es igual a la unidad, pues sólo aplica para recubrimientos.

$$P_i := C_{pi} \cdot K_{ra} \cdot q_z = \begin{bmatrix} -8.8262 \\ 0 \end{bmatrix} \frac{kgf}{m^2}$$

### 8.2.3. Presiones exteriores

Las presiones exteriores se calculan como se expone en la sección 3.5.1.1. La ecuación general es la siguiente:

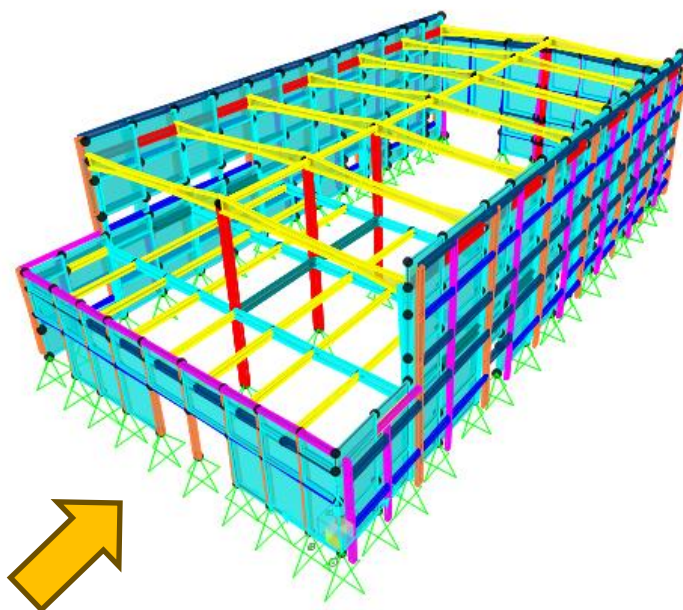
$$P_e = C_{pe} \cdot K_A \cdot K_L \cdot K_{ra} \cdot q_z$$

Estas presiones dependen de la superficie de que se trate en la estructura, por lo que deberán ser varias en cada dirección.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 25/85

#### 8.2.4. Dirección +X

En la siguiente imagen se ilustra en qué dirección impacta el viento en la estructura, misma que se denominará +X.



*Ilustración 5. Dirección de viento +X.*

#### Muro de Barlovento

De la tabla 3.2 del MDOC se tiene que, para muros de barlovento en cualquier condición, el coeficiente de presión exterior es:

$$C_{pe} := 0.8$$

Por otro lado, los factores  $K_L$  y  $K_{ra}$  no intervendrán en las cargas aplicadas a los elementos principales, por lo que serán igual a 1. Para el Factor  $K_A$  se piensa considerar el caso más desfavorable que de acuerdo con el manual es igual a 1.

$$K_A := 1 \quad K_L := 1 \quad K_{ra} := 1$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 26/85

Así pues, la presión en muro de barlovento es:

$$P_e := C_{pe} \cdot K_A \cdot K_L \cdot K_{ra} \cdot q_z = 35.3046 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Y las presiones netas:

$$P_n := P_e - P_i = \left[ \begin{array}{c} 44.1308 \\ 35.3046 \end{array} \right] \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

De las dos anteriores, la presión más desfavorable es la siguiente.

$$P_n = 44.13 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

### Muro de sotavento

La relación de “d” entre “b” como especifica el MDOC en la figura 3.2 es la siguiente para este caso.

$$d = 34 \text{ m} ; b = 18 \text{ m}$$

$$\frac{d}{b} = 1.88$$

Interpolando en los valores de la tabla 3.2 se tiene el siguiente coeficiente de presión exterior.

$$C_{pe} := \text{linterp} \left( d_{-}b, C_{pes}, \frac{d}{b} \right) = -0.3222$$

Siguiendo las mismas consideraciones que para el muro de barlovento, la presión exterior para muro de sotavento es la siguiente.

$$P_e := C_{pe} \cdot K_A \cdot K_L \cdot K_{ra} \cdot q_z = -14.2199 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Y la neta alcanza los siguientes valores.

$$P_n := P_e - P_i = \left[ \begin{array}{c} -5.3938 \\ -14.2199 \end{array} \right] \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 27/85

Se puede concluir que se presenta succión con una magnitud de:

$$P_n = -14.22 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

### Muros laterales

Para los muros laterales es necesario recurrir a la tabla 3.3 para obtener los coeficientes de presión exterior. Estos varían de acuerdo con la altura de la estructura, considerada de 10 metros. Así pues, los coeficientes correspondientes se muestran en la siguiente tabla.

Distancia desde muro de barlovento	C <sub>pe</sub>
0 a 10 metros	-0.65
10 a 20 metros	-0.5
20 a 30 metros	-0.3
Más de 30 metros	-0.2

Tabla 9. Coeficientes de presión exterior para muros laterales.

Las presiones netas son las siguientes.

Distancia desde muro de barlovento	P <sub>n</sub>
0 a 10 metros	-19.8545
10 a 20 metros	-13.235
20 a 30 metros	-4.409
Más de 30 metros	0.004

Tabla 10. Presiones netas para muro lateral (a).

Distancia desde muro de barlovento	P <sub>n</sub>
0 a 10 metros	-28.6845
10 a 20 metros	-22.065
20 a 30 metros	-13.239
Más de 30 metros	-8.826

Tabla 11. Presiones netas para muro lateral (b).

Se considera que las presiones más desfavorables son las presentadas en la tabla 11; así pues, serán estas las aplicadas en el modelo analítico.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 28/85

## Cubiertas transversales

En cuanto a las cubiertas de este tipo, es necesario revisar la tabla 3.4 (b) del manual considerando la siguiente relación.

$$d = 34 \text{ m} ; \bar{h} = 10 \text{ m}$$

$$\frac{\bar{h}}{d} = 0.29$$

Como la relación anterior es menor que 0.5, los coeficientes de presiones exteriores son los siguientes.

Distancia desde muro de barlovento	$C_{pe1}$	$C_{pe2}$
0 a 5 metros	-0.9	-0.4
5 a 10 metros	-0.9	-0.4
10 a 20 metros	-0.5	0
20 a 30 metros	-0.3	0.1
Más de 30 metros	-0.2	0.2

Tabla 12. Coeficientes de presión exterior para cubiertas transversales.

Las presiones netas para cada caso se muestran a continuación.

Distancia desde muro de barlovento	$P_{n1}$	$P_{n2}$
0 a 5 metros	-39.717	-17.652
5 a 10 metros	-39.717	-17.652
10 a 20 metros	-22.065	0
20 a 30 metros	-13.239	4.413
Más de 30 metros	-8.826	8.826

Tabla 13. Presiones netas para cubierta transversal (a).

Distancia desde muro de barlovento	$P_{n1}$	$P_{n2}$
0 a 5 metros	-30.887	-8.822
5 a 10 metros	-30.887	-8.822
10 a 20 metros	-13.235	8.83
20 a 30 metros	-4.409	13.243
Más de 30 metros	0.004	17.656

Tabla 14. Presiones netas para cubierta transversal (b).

De las cuatro presiones netas obtenidas previamente, se considera que las más desfavorables son las presiones netas de la tabla 13 para el caso 1.

### 8.2.5. Dirección -X

Las presiones externas serán las mismas que en el caso anterior; aunque ahora en el sentido contrario.

### 8.2.6. Dirección +Y

La dirección considerada +Y es la perpendicular a la cumbrera como se muestra a continuación.

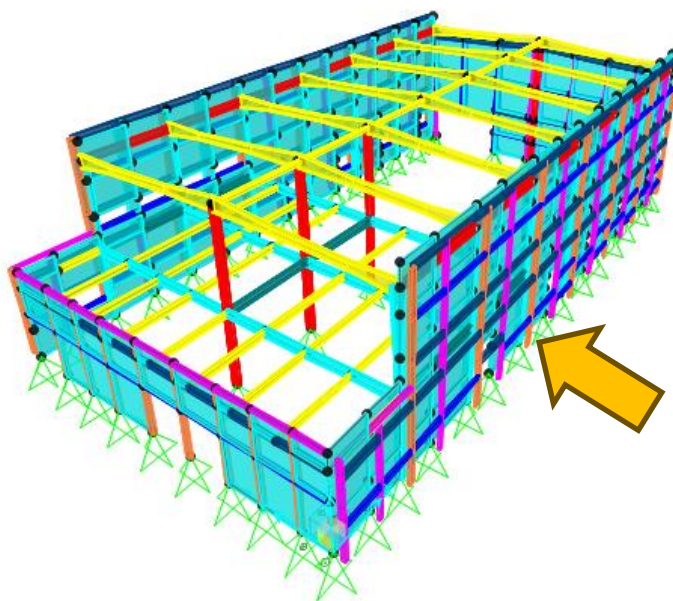


Ilustración 6. Dirección de viento +Y.

## Muro de barlovento

El coeficiente de presión exterior es el mismo que en la dirección x, por lo que la presión exterior también será:

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 30/85

$$P_n = 44.13 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

### Muro de sotavento

Es necesario conocer el ángulo de inclinación de la cubierta para poder obtener el factor de presión exterior para este caso. Considerando que la cubierta tendrá una pendiente del 5%, el ángulo de inclinación será”

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{5}{100}\right) = 2.86^\circ$$

Por otro lado, la relación entre el largo y ancho en esta dirección es la siguiente.

$$d = 18 \text{ m} ; b = 34 \text{ m}$$

$$\frac{d}{b} = 0.53$$

De forma que para un ángulo menor que 10 grados y una relación menor que 1, el coeficiente de acuerdo con la tabla 3.2 es:

$$C_{pe} := -0.5$$

La presión exterior es la siguiente.

$$P_e := C_{pe} \cdot K_A \cdot K_L \cdot K_{ra} \cdot q_z = -22.0654 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Y las netas:

$$P_n := P_e - P_i = \left[ \begin{array}{c} -13.2392 \\ -22.0654 \end{array} \right] \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Visto lo anterior, la presión neta más desfavorable tiene el siguiente valor.

$$P_n = -22.07 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 31/85



### Muros laterales

En cuanto a los muros laterales, los coeficientes no cambian por lo que la combinación más desfavorable se presenta en la tabla 11.

### Cubierta transversal

Para esta dirección de análisis se cuenta con una cubierta transversal a una altura de 4.7 metros, por lo que la relación “d” entre “h” es:

$$d = 18 \text{ m} ; \bar{h} = 4.7 \text{ m}$$

$$\frac{\bar{h}}{d} = 0.26$$

Con el resultado anterior se puede observar que los coeficientes extraídos de la tabla 3.4 son los mismos que para la condición de viento en dirección X. Así pues, las presiones netas que deberán ser consideradas en el análisis son las mostradas en la tabla 13 para el caso 1.

### Cubierta de barlovento y sotavento

Como la cubierta tiene tan sólo 2.86 grados de inclinación, los coeficientes de presión exterior se obtendrán de la tabla 3.4(b). Para este caso, la altura nuevamente se considera de 10 metros, por lo que la relación es:

$$\frac{\bar{h}}{d} = 0.55$$

Como el cociente no es mucho mayor que 0.5, se considerarán las condiciones para este caso; como consecuencia, las presiones serán las mismas que para la cubierta trasversal.

### 8.2.7. Dirección -Y

Las condiciones de carga para esta dirección serán las mismas que para +Y, pero en sentido contrario.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 32/85



## 9. GRANIZO

### 9.1. Carga uniforme debido a granizo

Para determinar las cargas por graniza se recurre a las NTC sobre acciones y criterios. La primera condición de carga es la uniforme en toda la cubierta; dicha carga se obtiene con la expresión 7.3.2.1 la cual se presenta a continuación.

$$W_g := 900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \cdot H_s \cdot C_s$$

La altura acumulada por granizo  $H_s$  se determina con la tabla 7.3.2.2. En este caso, para una estructura del grupo B es:

$$H_s := 0.125 \text{ m}$$

Por otro lado, el factor de pendiente  $C_s$  se determina, a su vez, con la tabla 7.3.2.3. Como el ángulo de la pendiente es menor que 5 grados, se tiene:

$$C_s := 1$$

Finalmente, la carga uniforme por granizo es la siguiente:

$$W_g := 900 \frac{\text{kgf}}{\text{m}} \cdot H_s \cdot C_s = 112.5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

### 9.2. Revisión de valles

Para esta estructura no es necesario obtener las cargas concentradas en los valles, pues la pendiente es muy pequeña y de acuerdo con las expresiones de la norma, la carga distribuida sería cero.

## 10. EXCENTRICIDAD ACCIDENTAL

En el MDOC para sismo no se especifica un valor para la excentricidad accidental aplicable a las estructuras industriales; se tomarán en cuenta las consideraciones para estructuras normales en el apartado 3.3.5.3. Se menciona que la excentricidad se deberá incrementar 0.05.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 33/85

A continuación se muestra la asignación de dicho valor en la definición de los espectros de diseño; al ser un procedimiento repetitivo sólo se mostrará una vez.

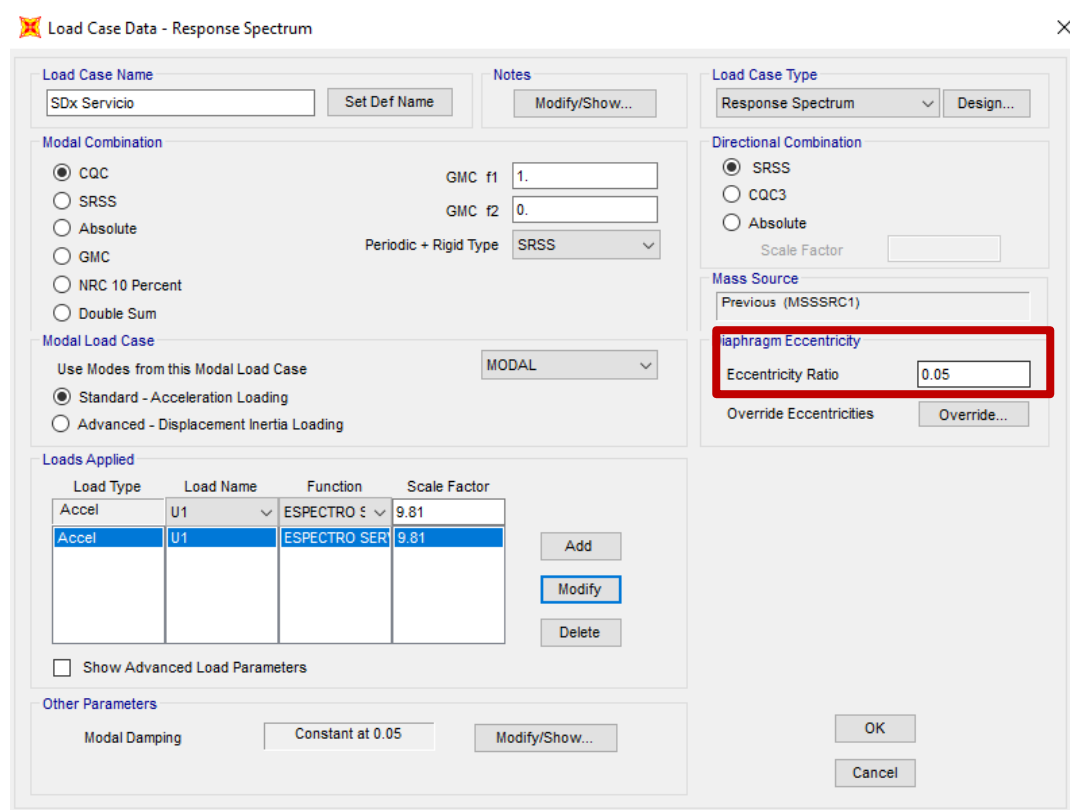


Ilustración 7. Asignación de excentricidad accidental.

Cabe mencionar que sólo se asignó diafragma rígido al entrepiso de las oficinas, pues se considera que la cubierta no aporta rigidez en su plano.

## 11. CONSIDERACIONES DE AGRIETAMIENTO

Para la trabe de concreto T-1 se considerará una inercia agrietada; para esto es necesario recurrir a la tabla 3.3.4.3 de las NTC para estructuras de concreto, dicha tabla se muestra en la siguiente imagen donde se puede observar que la inercia considerada deberá ser el 35% de la inercia gruesa del elemento. Así pues:

$$I_e = 0.35 \cdot I_g$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 34/85

**Tabla 3.3.4.3.a - Momentos de inercia y áreas transversales para análisis elásticos con cargas factorizadas**

Elemento	Momento de inercia	Área de sección transversal para deformación axial	Área de sección transversal para deformaciones por cortante
Vigas y muros agrietados <sup>[1]</sup>	$0.35I_g$	$A_g$	$b_w h$
Columnas agrietadas	$0.50 I_g$		
Columnas y muros no agrietados	$0.70 I_g$		
Losas planas <sup>2</sup>	$0.25I_g$		

<sup>[1]</sup> En vigas T se deberán incluir los anchos de patín especificados en 3.3.2.1.

<sup>[2]</sup> En el caso de losas, considérese que el peralte del elemento está identificado con la variable  $t$ .

*Ilustración 8. Inercias efectivas para elementos de concreto.*

## 12. RESULTADOS DEL ANÁLISIS

### 12.1. Verificación de cargas verticales.

Para corroborar que las cargas se están transmitiendo de forma adecuada es necesario obtener la resultante de las cargas aplicadas a la estructura de forma manual para posteriormente compararlas con las arrojadas por el software. Las cargas totales aplicadas son las siguientes.

Nivel	Área (m <sup>2</sup> )	SCM (kgf/m <sup>2</sup> )	CV <sub>M</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	CV <sub>I</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	CV (kgf/m <sup>2</sup> )	SCM (tonf)	CVM (tonf)	CVI (tonf)	CV (tonf)
Entrepiso	180	572.71	250	180	100	103.09	45	32.4	18
Cubierta	540.66	21.7	100	70	15	11.73	54.07	37.85	8.11
Azotea	72	702.71	100	70	15	50.60	7.2	5.04	1.08
Total						165.42	106.27	75.29	27.19

*Tabla 15. Cargas totales aplicadas. Manual.*

La suma de todas las reacciones en la base de la estructura que arroja el programa son las siguientes

SCM (kgf/m <sup>2</sup> )	CVM (kgf/m <sup>2</sup> )	CVI (kgf/m <sup>2</sup> )	CV (kgf/m <sup>2</sup> )
165.42	106.26	75.29	27.19

*Tabla 16. Cargas totales aplicadas. SAP2000.*

Como es posible observar, las cargas son prácticamente las mismas, por lo que se puede concluir que las cargas se distribuyen de manera adecuada a través de la estructura.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 35/85

## 12.2. Participación modal

La sumatoria de la participación modal deberá alcanzar por lo menos el 90% como lo establecen las NTC de diseño por sismo en cada dirección horizontal; para lograrlo, el modelo cuenta con 20 modos de vibrar obtenidos con vectores Ritz. La participación en cada dirección son las siguientes.

Foma modal	Periodo	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
1	1.13	0.133813	6.297E-06	3.273E-09	0.13	0.00	0.00
2	0.896957	3.013E-06	0.231669	5.07E-09	0.13	0.23	0.00
3	0.665274	0.005307	0.000189	2.183E-07	0.14	0.23	0.00
4	0.618347	0.000674	0.002726	5.425E-09	0.14	0.23	0.00
5	0.456786	4.551E-08	0.025792	2.941E-07	0.14	0.26	0.00
6	0.379422	0.000219	0.000082	3.445E-06	0.14	0.26	0.00
7	0.367166	8.369E-07	0.103601	7.019E-07	0.14	0.36	0.00
8	0.356991	0.000033	0.000073	0.000031	0.14	0.36	0.00
9	0.313002	0.000061	0.000042	0.0416	0.14	0.36	0.04
10	0.306219	0.000037	0.057683	0.000051	0.14	0.42	0.04
11	0.275377	0.010532	0.001037	6.801E-08	0.15	0.42	0.04
12	0.25601	0.000016	3.552E-07	0.197797	0.15	0.42	0.24
13	0.230284	0.000316	0.000181	0.035328	0.15	0.42	0.27
14	0.211359	0.024202	0.011004	0.000185	0.18	0.43	0.27
15	0.180978	0.002957	0.077373	0.038007	0.18	0.51	0.31
16	0.178524	0.008084	0.179503	0.015211	0.19	0.69	0.33
17	0.156832	0.051382	0.081655	0.000012	0.24	0.77	0.33
18	0.107656	0.47218	0.077865	0.000019	0.71	0.85	0.33
19	0.10338	0.253204	0.110303	5.922E-07	0.96	0.96	0.33
20	0.042214	0.000034	9.906E-09	0.443007	0.96	0.96	0.77

Tabla 17. Periodos y participación modal.

Se puede observar que para la forma modal se alcanza más del 90%; es factible decir que el modelo es adecuado.

### 12.3. Revisión de cortante basal

Para la revisión el cortante basal primero es necesario determinar el peso total de la edificación; para esto se consideraron los casos de carga del peso propio, sobrecarga muerta y carga viva instantánea. El peso de la estructura es el siguiente:

OutputCase	GlobalFZ
PP	250.7908
SCM	165.4152
CVI	75.2851
<b>Total</b>	<b>491.49</b>

Tabla 18. Carga total considerada para cortante basal.

Por otro lado, el cortante en la base para cada dirección se muestra a continuación. Nótese que el espectro considerado es el de seguridad contra colapso; es decir, el modificado.

OutputCase	GlobalFX	GlobalFY
SDx Modificado	72.8713	13.6269
SDy Modificado	12.5002	37.661

Tabla 19. Cortantes en dirección X y Y.

En el MDOC para sismo se establece que la reacción entre el cortante basal y el peso total de la estructura no deberá ser menor que el 70% de la ordenada normalizada del espectro modificado correspondiente al periodo de la estructura. En la siguiente tabla se muestran diversos datos, entre ellos el periodo, la ordenada mencionada, el peso total y los cortantes considerados en ambas direcciones, así como la ordenada del espectro modificado para el tiempo 0, pues tampoco puede ser menor que este.

<b>Te =</b>	1.134	s
<b>S<sub>a</sub> reducido =</b>	0.113	g
<b>0.7*S<sub>a</sub> =</b>	0.079	g
<b>W<sub>t</sub>=</b>	491.491	tonnef
<b>v0x=</b>	72.871	tonnef
<b>v0x/W<sub>t</sub>=</b>	0.148	
<b>v0y=</b>	37.661	tonnef

<b>v0y/Wt=</b>	0.077	
<b>Sa(0s)</b>	0.034	g

Tabla 20. Comprobación del cortante basal.

Como el cortante en la base para la dirección Y no es mayor que el 70% de la ordenada espectral modificada correspondiente para el periodo de la estructura es necesario aplicar los siguientes factores para poder alcanzar dicho valor.

$$\frac{0.079}{0.077} = 1.03$$

En la siguiente imagen se muestra el factor modificado en la definición del caso de carga para el sismo dinámico en dirección Y.

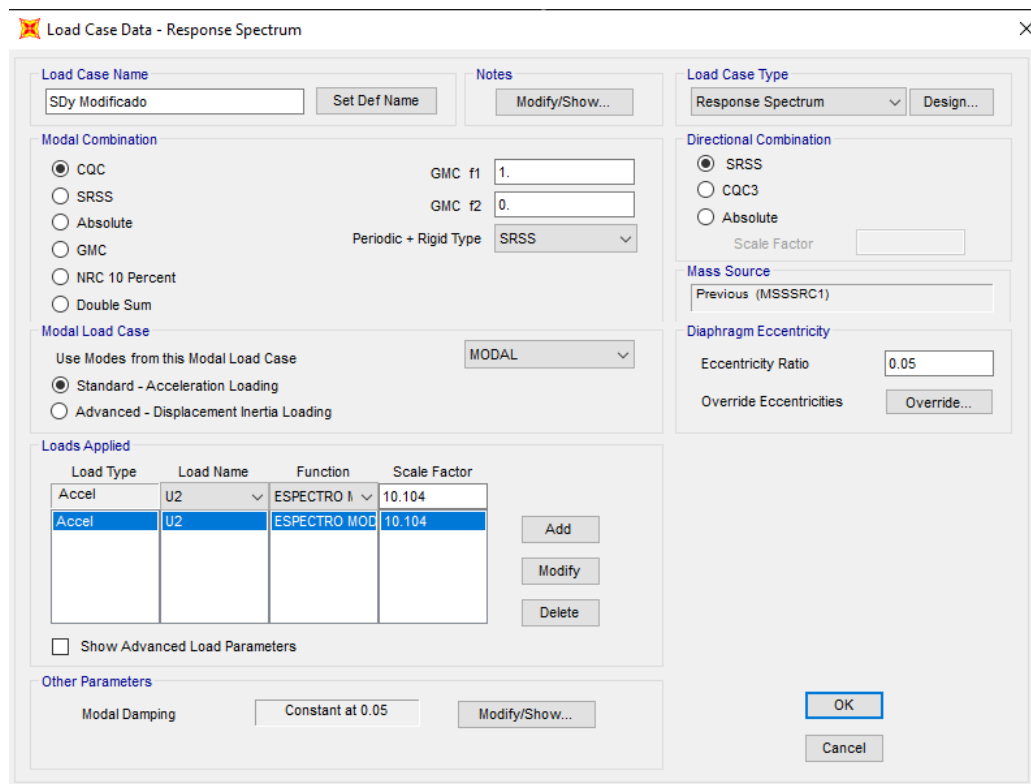


Ilustración 9. Corrección de caso de carga por cortante basal.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 38/85

## 12.4. Revisión de desplazamientos laterales

### 12.4.1. Seguridad contra colapso

En el apartado de los espectros de diseño ya se ha especificado con qué ordenadas se deberá revisar este estado límite. Primero, para revisar la zona de oficinas se considerará el desplazamiento del centro geométrico del nivel. Dado que es nivel 1, el desplazamiento del nivel inferior será igual a cero. La altura para obtener las distorsiones es de 3.9 metros. Los desplazamientos son los siguientes.

OutputCase	U1	U2
1.1(CMT+CVI+SDx+0.3SDy) Colapso	0.001379	0.001457
1.1(CMT+CVI+SDx+0.3SDy) Colapso	-0.00147	-0.001359
1.1(CMT+CVI+SDx-0.3SDy) Colapso	0.001379	0.001457
1.1(CMT+CVI+SDx-0.3SDy) Colapso	-0.001472	-0.001359
1.1(CMT+CVI-SDx-0.3SDy) Colapso	0.001379	0.001457
1.1(CMT+CVI-SDx-0.3SDy) Colapso	-0.001472	-0.001359
1.1(CMT+CVI-SDx+0.3SDy) Colapso	0.001379	0.001457
1.1(CMT+CVI-SDx+0.3SDy) Colapso	-0.001472	-0.001359
1.1(CMT+CVI+SDy+0.3SDx) Colapso	0.000569	0.003065
1.1(CMT+CVI+SDy+0.3SDx) Colapso	-0.000662	-0.002967
1.1(CMT+CVI+SDy-0.3SDx) Colapso	0.000569	0.003065
1.1(CMT+CVI+SDy-0.3SDx) Colapso	-0.000662	-0.002967
1.1(CMT+CVI-SDy-0.3SDx) Colapso	0.000569	0.003065
1.1(CMT+CVI-SDy-0.3SDx) Colapso	-0.000662	-0.002967



1.1(CMT+CVI-SDy+0.3SDx) Colapso	0.000569	0.003065
1.1(CMT+CVI-SDy+0.3SDx) Colapso	-0.000662	-0.002967
$\delta_{MAX}$	<b>0.001472</b>	<b>0.003065</b>

Tabla 21. Desplazamientos para el nivel con diafragma rígido. Colapso.

Si dividimos estos desplazamientos máximos entre la altura se tienen las siguientes distorsiones.

$\Delta x$	0.00037744
$\Delta y$	0.0007859

Tabla 22. Distorsiones para oficinas. Colapso.

En la tabla 4.3 del MDOC para sismo se muestran las distorsiones permisibles de entrepiso para diferentes sistemas estructurales. En este caso, el límite admisible es de 0.003 pues se tiene un muro de carga de mampostería. De esta manera se puede concluir que la estructura cumple con el estado límite de seguridad contra colapso.

Por otro lado, es necesario revisar las columnas metálicas que no soportan el diafragma rígido de manera individual. En la siguiente tabla se muestran los desplazamientos del nivel de interés, el nivel inferior y las alturas correspondientes. El límite para la distorsión máxima será el correspondiente para marcos de acero, pues la estructura principal es de este material.

Nudo superior	Nudo inferior	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	H (m)	$\Delta x$	$\Delta y$
2001	1001	0.000526	0.007284	4.8	0.000	0.002
2002	1002	0.000501	0.015349	4.8	0.000	0.003
2003	1003	0.000495	0.022592	4.8	0.000	0.005
2004	1004	0.000696	0.00706	4.8	0.000	0.001
2005	1005	0.000662	0.015202	4.8	0.000	0.003
2006	1006	0.000633	0.022448	4.8	0.000	0.005
2007	1007	0.005236	0.012964	5.24	0.001	0.002
3001	-	0.002278	0.081325	8.7	0.000	0.009
3002	-	0.002322	0.106227	8.7	0.000	0.012
3003	-	0.002403	0.075721	8.7	0.000	0.009
3004	-	0.002474	0.001847	8.7	0.000	0.000
3005	-	0.002392	0.081299	8.7	0.000	0.009



3006	-	0.002402	0.10621	8.7	0.000	0.012
3007	-	0.002453	0.075752	8.7	0.000	0.009
3008	-	0.00251	0.001815	8.7	0.000	0.000
3009	-	0.007228	0.00223	9.14	0.001	0.000

Tabla 23. Distorsiones para columnas de nave industria. Colapso.

El límite según la tabla 4.3 es de 0.015; se concluye que las distorsiones para seguridad contra colapso cumplen adecuadamente.

#### 12.4.2. Límite de servicio

Siguiendo la misma metodología que para la condición de colapso, los desplazamientos son los siguientes.

OutputCase	U1	U2
1.1(CMT+CVI+SDx+0.3SDy) Servicio	0.000169	0.000259
1.1(CMT+CVI+SDx+0.3SDy) Servicio	-0.000263	-0.000159
1.1(CMT+CVI+SDx-0.3SDy) Servicio	0.000169	0.000259
1.1(CMT+CVI+SDx-0.3SDy) Servicio	-0.000263	-0.000159
1.1(CMT+CVI-SDx-0.3SDy) Servicio	0.000169	0.000259
1.1(CMT+CVI-SDx-0.3SDy) Servicio	-0.000263	-0.000159
1.1(CMT+CVI-SDx+0.3SDy) Servicio	0.000169	0.000259
1.1(CMT+CVI-SDx+0.3SDy) Servicio	-0.000263	-0.000159
1.1(CMT+CVI+SDy+0.3SDx) Servicio	0.00004	0.00056
1.1(CMT+CVI+SDy+0.3SDx) Servicio	-0.000133	-0.00046
1.1(CMT+CVI+SDy-0.3SDx) Servicio	0.00004	0.00056
1.1(CMT+CVI+SDy-0.3SDx) Servicio	-0.000133	-0.00046

1.1(CMT+CVI-SDy-0.3SDx) Servicio	0.00004	0.00056
1.1(CMT+CVI-SDy-0.3SDx) Servicio	-0.000133	-0.00046
1.1(CMT+CVI-SDy+0.3SDx) Servicio	0.00004	0.00056
1.1(CMT+CVI-SDy+0.3SDx) Servicio	-0.000133	-0.00046
<b><math>\delta_{MAX}</math></b>	<b>0.000263</b>	<b>0.00056</b>

Tabla 24. Desplazamientos para el nivel con diafragma rígido. Servicio.

<b><math>\Delta x</math></b>	6.7436E-05
<b><math>\Delta y</math></b>	0.00014359

Tabla 25. Distorsiones para oficinas. Servicio.

Considerando que no existen elementos que puedan sufrir daños se tiene un límite de distorsión para estado límite de servicio igual que 0.004. Como se puede observar se cumple satisfactoriamente.

Las distorsiones en las columnas metálicas son las siguientes.

Nudo superior	Nudo inferior	$\delta_x$ (m)	$\delta_y$ (m)	H (m)	$\Delta x$	$\Delta y$
2001	1001	0.000078	0.00196	4.8	0.00002	0.00041
2002	1002	0.000075	0.003222	4.8	0.00002	0.00067
2003	1003	0.000081	0.004777	4.8	0.00002	0.00100
2004	1004	0.000117	0.001718	4.8	0.00002	0.00036
2005	1005	0.000109	0.003096	4.8	0.00002	0.00065
2006	1006	0.0001	0.004652	4.8	0.00002	0.00097
2007	1007	0.001104	0.002211	5.24	0.00021	0.00042
3001	-	0.00039	0.016034	8.7	0.00004	0.00184
3002	-	0.00041	0.020673	8.7	0.00005	0.00238
3003	-	0.000437	0.014952	8.7	0.00005	0.00172
3004	-	0.000459	0.000363	8.7	0.00005	0.00004
3005	-	0.000413	0.016013	8.7	0.00005	0.00184
3006	-	0.000423	0.020657	8.7	0.00005	0.00237
3007	-	0.000443	0.014975	8.7	0.00005	0.00172

3008	-	0.00046	0.000307	8.7	0.00005	0.00004
3009	-	0.001527	0.000446	9.14	0.00017	0.00005

Tabla 26. Distorsiones para columnas de nave industria. Servicio.

Como en ningún momento se rebasa el 0.004 se cumple con este estado límite.

### 12.4.3. Separación con estructuras adyacentes

En el apartado 3.3.7.4 se determinan las consideraciones para revisar la separación con otras estructuras. En este caso en particular, se omitirá dicha revisión ya que no se cuenta con edificaciones adyacentes a este proyecto.

## 13. MECÁNICA DE SUELOS

La cimentación sugerida está constituida por zapatas aisladas y corridas desplatadas a 95 centímetros de profundidad. La capacidad de suelo considerada será de  $8 \frac{tonf}{m^2}$  y el peso de este de  $1.8 \frac{tonf}{m^3}$ . Es importante remarcar que la capacidad del suelo deberá ser verificada en cuanto sea posible obtener un estudio de mecánica de suelos adecuado; los resultados obtenidos se calcularon con un valor bastante conservador.

## 14. DISEÑO DE CIMENTACIÓN

### 14.1. Zapatas corridas

#### 14.1.1. Zapata ZC-2

##### 14.1.1.1. Capacidad del suelo

A continuación, se presenta el procedimiento realizado para obtener la resistencia de una zapata corrida. Posteriormente se presentará el resumen de toda las demás. Para obtener la carga se extrajeron las reacciones correspondientes a la zapata a revisar, en este caso específico se considerarán las relativas al eje "a". La condición más desfavorable se presenta en la condición dinámica por sismo.

$$P_u = 107.75 \text{ tonf}$$

Dicho valor se dividirá entre la longitud de la zapata para obtener la carga por metro lineal a la que dicho elemento estará solicitado.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 43/85

$$W_u = \frac{107.75}{18} = 5.99 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$$

Las dimensiones de la zapata son las siguientes:

$$B = 1 \text{ m}$$

$$h = 15 \text{ cm}$$

$$d = 10 \text{ cm}$$

La profundidad de desplante y los pesos volumétricos son:

$$H_d = 0.95 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s = 1800 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$q_a = 8000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

La presión efectiva del suelo es la siguiente:

$$q_e = 8000 - 2400 \cdot 0.15 - (0.95 - 0.15) \cdot 1800 = 6200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Considerando la carga distribuida que se tiene, la presión de contacto última es de:

$$q_u = \frac{5990}{1} = 5990 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Con esta dimensión de 100 centímetros se cumple satisfactoriamente con la capacidad efectiva que tiene el suelo. En seguida se revisan las condiciones de flexión y cortante.

#### 14.1.1.2. Flexión

El momento último dado

$$M_u = q_u \cdot \frac{\left(\frac{B}{2} - \frac{c}{2}\right)^2}{2} = 480 \text{ kgf} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

Nótese que “c” es el espesor del muro o del contratrabe.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 44/85

Aplicando la siguiente expresión deducida de las NTC para concreto con la finalidad de obtener el área de acero.

$$A_s = b \cdot d \cdot \frac{f_c''}{f_y} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{F_R \cdot b \cdot d^2 \cdot f_c''}} \right) = 1.29 \frac{cm^2}{m}$$

Es importante resaltar que se considera un ancho unitario en metros; es decir, 100 cm. Por otro lado, el área de acero mínimo según las normas es el máximo de las siguientes 2.

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad & \frac{0.25\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \quad \left( \frac{0.80\sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \right) \\ \text{b)} \quad & \frac{1.4}{f_y} b_w d \quad \left( \frac{14}{f_y} b_w d \right) \end{aligned}$$

$$A_{smin1} = \frac{0.8 \cdot \sqrt{250}}{4200} \cdot 100 \cdot 10 = 3.11 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{smin2} = \frac{14}{4200} \cdot 100 \cdot 10 = 3.33 \frac{cm^2}{m}$$

Se puede concluir que es necesario colocar la segunda área mínima de acero. Si se colocan varillas del #3

$$A_{s\#} = 0.71 cm^2$$

$$s = \frac{0.71}{3.33} \cdot 100 = 21.32 cm$$

El refuerzo por flexión constará de varillas del #3@20 cm

#### 14.1.1.3. Cortante

El cortante en una dirección calculado a un peralte efectivo del contratrabe es el siguiente.

$$V_u = \frac{B}{2} - d - \frac{c}{2} \cdot q_u = 1800 \frac{kgf}{m}$$

De acuerdo con las normas, el cortante para elementos que no tienen acero de refuerzo en el alma se calcula con la siguiente expresión.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 45/85

$$\left( 0.66\lambda_s\lambda(p)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d$$

$$\left( \left( 2\lambda_s\lambda(p)^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d \right)$$

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{(1 + 0.004d)}} \leq 1.0$$

$$\left( \lambda_s = \sqrt{\frac{2}{(1 + 0.04d)}} \leq 1.0 \right)$$

El concreto es de peso normal, por lo que  $\lambda$  es igual a 1.

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.04(10)}} = 1.19 = 1$$

$$\rho = \frac{3.55}{10 \cdot 100} = 0.00355$$

$$V_{CR} = 0.75 \cdot \left( 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0.00355)^{1/3} \cdot \sqrt{250} \right) \cdot 100 \cdot 10 = 3618.02 \frac{kgf}{m}$$

Comparando con el cortante último se concluye que la sección resiste adecuadamente el cortante último.

#### 14.1.1.4. Acero por temperatura

Considerando la zapata como una losa que trabaja en una dirección, el acero por temperatura según la norma es:

$$A_{stemp} = 0.0018 \cdot B \cdot h = 2.7 \text{ cm}^2$$

Colocar varillas #3@20 cm en el sentido longitudinal de la zapata.

Las condiciones revisadas resultaron ser las más desfavorables en la zapata ZC-2, por lo que este diseño es el definitivo.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 46/85

### 14.1.2. Zapata ZC-1

En la siguiente tabla se resumen los datos obtenidos para la segunda zapata corrida. Se ha considerado sólo el peso del muro para estos elementos; este valor asciende a 1.4 toneladas.

B (m)	h (m)	r (m)	W <sub>u</sub> (kgf/m)	q <sub>u</sub> (kgf/m <sup>2</sup> )	A <sub>s#</sub>	s (cm)	V <sub>u</sub> (kgf)	V <sub>c</sub> (kgf)	A <sub>stemp</sub>	Stemp (cm)
0.8	0.15	0.05	1400	1750	#3	20	350	3618	#3	20

Tabla 27. Resultados para zapata corrida ZC-2.

## 14.2. Placas base (PL-1)

Dado que los apoyos de las columnas se consideran simplemente apoyados, no se transmite momento a la cimentación ni a la placa base, por lo que el diseño de esta se realizará solamente bajo cargas axiales. Para esto es necesario recurrir a la sección 13.1.1 de las normas para estructuras de acero del reglamento de construcciones para el distrito federal. Primero es necesario proponer dimensiones para la placa base. En este caso se tienen las siguientes:

$$N = 40 \text{ cm}; B = 25 \text{ cm}$$

Se requiere comprobar la siguiente desigualdad.

$$A_1 \leq A_2 < 4A_1$$

Donde  $A_1$  es el área de la placa base y  $A_2$  es el área del dado de la zapata. El dado tiene dimensiones de 35 cm por 50 cm. Así pues, las áreas son:

$$A_1 = 1000 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 1750 \text{ cm}^2$$

$$1000 < 1750 < 4000$$

Se puede observar que se cumple con las desigualdades planteadas por lo que el área requerida de la placa se obtiene con la expresión 13.1.1.1 de las normas.

$$A_{plreq} = \frac{1}{A_2} \left[ \frac{P_u}{F_R(0.85 f'_c)} \right]^2 \leq \frac{P_u}{F_R(1.7 f'_c)}$$

Considerando los siguientes valores se tiene un área de:

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 47/85

$$P_u = 55.8 \text{ tonf}; F_R = 0.6; f'_c = 250 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{pl\ req} = 438 \text{ cm}^2$$

Con esta área calculada es posible determinar las dimensiones mínimas de la placa con las siguientes expresiones de la norma.

$$N = \sqrt{A_{pl\ req}} + \Delta$$

$$\Delta = 0.5(0.95d - 0.8b_f)$$

$$B = \frac{A_{pl\ req}}{N}$$

El perfil W14X43 tiene un peralte de 34.8 cm y un ancho de patín igual que 20.4 cm. Con estos datos es factible obtener el valor de  $\Delta$ .

$$\Delta = 8.37 \text{ cm}$$

Las dimensiones mínimas para la placa son:

$$N_{\min} = 28.3 \text{ cm}$$

$$B_{\min} = 14 \text{ cm}$$

Como las dimensiones propuestas son mayores, estas son adecuadas. Es indispensable conocer el espesor que deberá tener la placa ante la carga axial considerada. Para esto, el momento último que deberá soportar la placa se calcula con la siguiente expresión.

$$M_u = f_{pu} \frac{l^2}{2}$$

$f_{pu}$  se calcula como sigue:

$$f_{pu} = \frac{P_u}{B \cdot N} = 55.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Por otro lado, la longitud  $l$  será la máxima de las siguientes 3.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 48/85



$$m = 0.5(N - 0.95d)$$

$$n = 0.5(B - 0.8b_p)$$

$$n' = 0.25\sqrt{db_p}$$

Realizando las operaciones se llega a los siguientes resultados.

$$m = 3.47 \text{ cm}$$

$$n = 4.34 \text{ cm}$$

$$n' = 6.7 \text{ cm}$$

El valor de  $l$  será:

$$l = 6.7 \text{ cm}$$

El momento último en la placa resulta ser de:

$$M_u = 1237.92 \text{ kgf} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{cm}}$$

El espesor se puede calcular con la ecuación 13.1.1.3.d de las NTC.

$$t_p = \sqrt{\frac{4M_u}{F_R F_{yp}}}$$

Considerando que la placa es de acero A36 y que el factor de reducción es igual que 0.9; el espesor necesario es el que sigue.

$$t_p = 1.47 \text{ cm}$$

Se propone emplear una placa con espesor de 2.2 cm. Con esto se puede comprobar que las dimensiones de la placa base son adecuadas. Resta revisar la resistencia por aplastamiento del dado de concreto.

$$f_{pu} = 0.85f'_c \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1.7f'_c$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 49/85

$$R_c = F_R A_1 f_{pu}$$

Ahora el esfuerzo  $f_p$  es:

$$f_{pu} = 281.1 \frac{kgf}{cm^2}$$

Considerando un factor de reducción igual que 0.65, la resistencia por aplastamiento del concreto es de:

$$R_c = 182.72 \text{ tonf}$$

Dado que la carga axial es de 55 toneladas, no existe falla por aplastamiento.

### 14.3. Sistemas de anclaje (AN-1)

Para la resistencia en cortante de las anclas se recurre a la sección 13.5.1 donde se presenta la siguiente expresión.

$$R_v = F_R A_b F_v$$

Se considerará que el plano de corte se presenta en la parte roscada de las anclas y que su acero de fluencia es de:

$$f_y = 2530 \frac{kgf}{cm^2}$$

El esfuerzo a cortante de las anclas es:

$$F_v = 0.4 F_u$$

$$F_v = 10112 \text{ kgf}$$

Proponiendo anclas de 2.2 cm de diámetro, la resistencia al corte es:

$$R_v = 2885 \text{ kgf}$$

Considerando que se presentan los siguientes cortantes.

$$V_{uy} = 3.5 \text{ tonf}; V_{ux} = 3.4$$

El cortante resultante es:

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 50/85

$$V_u = \sqrt{3.5^2 + 3.4^2} = 4.88 \text{ tonf}$$

Se propone colocar 4 anclas, por lo que el cortante relativo a cada una es el siguiente.

$$V_{u\text{ancla}} = 1.22 \text{ tonf}$$

Como se puede observar, la resistencia de las anclas es adecuada. Todas las placas base contarán con este tipo de anclaje.

#### 14.4. Datos (D-1)

La revisión de estos elementos se llevará a cabo considerando que se tratan de columnas cortas sometidas a flexo compresión biaxial. Para comenzar, se requiere determinar el área de acero a emplear. En la sección 6.4.3.1.1 de las normas técnicas para estructuras de concreto se especifica que el área mínima es el 1% del área gruesa, mientras que el máximo es del 6%. Retomando las dimensiones del dado.

$$c_1 = 35 \text{ cm}$$

$$c_2 = 50 \text{ cm}$$

$$A_{s\text{mín}} = 0.01 \cdot 35 \cdot 50 = 7.15 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{máx}} = 0.06 \cdot 35 \cdot 50 = 105 \text{ cm}^2$$

Se propone colocar 8#6 para alcanzar un área de 22.8 cm<sup>2</sup>. Por otro lado, dado que no se presentan momentos, se considerarán las excentricidades mínimas establecidas por norma. Estas correspondiente a 0.05 veces la dimensión de la columna en la dirección de análisis o 20 mm.

$$e_x = \max(0.05 \cdot c_1, 2 \text{ cm}) = 2 \text{ cm}$$

$$e_y = \max(0.05 \cdot c_2, 2 \text{ cm}) = 2.5 \text{ cm}$$

Para poder obtener la resistencia de la columna se recurrirá a los diagramas de interacción facilitados en el libro “Aspectos fundamentales del concreto reforzado” escrito por el Doctor González Cuevas, pues se requiere aplicar la ecuación de Bresler.

$$P_R = \frac{1}{\frac{1}{P_{Rx}} + \frac{1}{P_{Ry}} - \frac{1}{P_{Ro}}}$$

Calculando la carga axial considerando la excentricidad en dirección de x.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 51/85

$$d = 35 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = 30 \text{ cm}$$

$$\frac{d}{c_1} = 0.86$$

$$\frac{e_x}{c_1} = 0.06$$

La cuantía de acero es:

$$\rho = \frac{22.8}{35 \cdot 50} = 0.013$$

El valor de  $q$  es igual a:

$$q = \rho \cdot \frac{f_y}{0.85 f'_c} = 0.26$$

Nótese que el esfuerzo del acero y del concreto son los siguientes.

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f'_c = 250 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para emplear los diagramas de interacción adimensionales se emplea la relación de la excentricidad y la dimensión del dado y el valor de  $q$  recién calculado. Al realizarlo se tiene el siguiente valor de  $K$ .

$$K = 0.75$$

La carga axial que considera la excentricidad en dirección de la dimensión menor del dado es:

$$P_x = K \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot f'_c = 328125 \text{ kgf}$$

Al realizar el mismo procedimiento para la excentricidad en la otra dirección resulta la siguiente carga Axia.

$$P_y = 345625 \text{ kgf}$$

Por otro lado, la resistencia de la columna a carga axial pura se calcula como sigue.

$$P_0 = 0.85 \cdot f'_c \cdot (A_g - A_s) + A_s \cdot f_y = 462790 \text{ kgf}$$

Aplicando la expresión de Bresler y multiplicando por el factor de reducción igual a 0.75.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 52/85

$$P_R = 198.41 \text{ tonf}$$

Dado que la máxima carga axial es de 55 toneladas, la columna es capaz de soportar dicha sollicitación.

Es necesario determinar el refuerzo transversal de la sección. El cortante que puede tomar el concreto se determina de acuerdo con la sección 5.5.3.1.1 de las normas para estructuras de acero y las cuales se muestran a continuación.

$$V_{cR} = F_R \left( 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d$$

$$\left( V_{cR} = F_R \left( 0.5 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d \right)$$

$$V_{cR} = F_R \left[ 0.66 \lambda (p)^{1/3} \sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right] b_w d$$

$$\left( V_{cR} = F_R \left[ 2 \lambda (p)^{1/3} \sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right] b_w d \right)$$

En el mismo apartado se menciona que  $\frac{P_u}{6 \cdot A_g}$  no deberá tomarse mayor que  $0.05 \cdot f'_c$ .

$$\frac{P_u}{6 \cdot A_g} = \frac{50500 \text{ kgf}}{6 \cdot 35 \text{ cm} \cdot 50 \text{ cm}} = 4.81 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$0.05 \cdot f'_c = 12.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Así pues, se emplear el valor de  $\frac{P_u}{6 \cdot A_g}$ . Por otro lado, para la obtención de la cuantía de acero se considerará que sólo 3 se someten a tensión por lo que el valor de  $\rho$  es:

$$\rho = \frac{8.55}{c_2 \cdot (c_1 - 5 \text{ cm})} = 0.0057$$

Es importante resaltar que se pretende calcular el cortante resistente en dirección de la dimensión  $c_1$ , por lo que:

$$b_w = c_2$$

$$d = c_1 - 5 \text{ cm}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATACAMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 53/85

Valuando las expresiones de la norma con  $\lambda = 1$ , pues se trata de concreto de peso normal y un factor de seguridad igual a 0.75 se tiene lo siguiente.

$$V_{CR1} = 14.3 \text{ tonf}$$

$$V_{CR2} = 11.8 \text{ tonf}$$

En la norma se menciona que dicho cortante no deberá ser mayor que:

$$V_{CRM} = F_R \cdot 1.25 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 22.2 \text{ tonf}$$

Como no se rebasa el valor anterior, la resistencia al cortante del concreto es correcta. Cuando se realiza el procedimiento previo en la otra dirección se tiene lo siguiente.

$$V_{CR1} = 15 \text{ tonf}$$

$$V_{CR2} = 12.2 \text{ tonf}$$

$$V_{CRM} = 23.3 \text{ tonf}$$

El máximo cortante actuante es de 3.5 toneladas, por lo que no se requiere refuerzo transversal. Sólo se revisarán las separaciones máximas expuestas en la sección 14.7.3.2 y 6.4.4.4.5.

En la primera referencia se tienen los siguientes valores. El diámetro de las varillas longitudinales es de 1.95 pues son del #6, mientras que para el refuerzo transversal es de 0.95 ya que se trata de varillas del #3.

$$16 \cdot d_b = 31.2 \text{ cm}$$

$$48 \cdot d_e = 45.6 \text{ cm}$$

En la segunda referencia se consideran los siguientes dos valores.

$$\frac{\max(d_1, d_2)}{2} = \frac{45 \text{ cm}}{2} = 22.5 \text{ cm}$$

$$60 \text{ cm}$$

El mínimo corresponde a la separación de los estribos. De forma que se colocarán estribos del #3@20 cm.

Todas las zapatas tendrán este tipo de dado.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 54/85

## 14.5. Zapata aislada (Z-1)

### 14.5.1. Capacidad del suelo

Las solicitaciones más desfavorables para las zapatas Z-1 son las siguientes.

$$P_u = 34.88 \text{ tonf}; V_{uB} = 0.1 \text{ tonf}; V_{uL} = 2.3 \text{ tonf}$$

Como no se presenta momento, el escenario más desfavorable será considerando sólo carga axial. La carga última aplicada al suelo es la siguiente.

$$L = 2.5 \text{ m}; B = 2.5 \text{ m}$$

$$q_u = \frac{24880}{2.5^2} = 5580.8 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

La carga admisible del suelo es de  $8000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$  por lo que su capacidad efectiva es:

$$h = 0.2 \text{ m}$$

$$H_d = 0.95 \text{ m}$$

$$\gamma_c = 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$\gamma_s = 1800 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$q_a = 8000 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$q_e = 8000 - 2400 \cdot 0.15 - (0.95 - 0.15) \cdot 1800 = 6170 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Como la exigencia última del suelo es menor que la capacidad efectiva se concluye que el suelo resiste la carga axial.

Debido a la que se cuenta con zapatas corridas adyacentes a las aisladas, se tomará en cuenta el área que a las primeras pueden aportar para la presión de contacto. Así pues, se considera necesario reducir las dimensiones del elemento 50 centímetros por lado para conseguir una sección de:

$$L = 2 \text{ m}; B = 2 \text{ m}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 55/85

**Nota:** como se ha mencionado en el apartado de mecánica de suelos, es indispensable corroborar la capacidad de carga del suelo y, por ende, la dimensión de las zapatas cuando se tenga más información del terreno.

### 14.5.2. Flexión

Como se ha realizado con las zapatas corridas, el momento se obtendrá en el paño del dado. El momento alrededor de cada eje se calcula a continuación.

$$d = 20 \text{ cm} - 5 \text{ cm} = 15 \text{ cm}$$

$$c_1 = 35 \text{ cm}$$

$$M_{uL} = q_u \cdot \frac{\left(\frac{B}{2} - \frac{c_1}{2}\right)^2}{2} = 3224.66 \text{ kgf} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

$$c_2 = 50 \text{ cm}$$

$$M_{uB} = q_u \cdot \frac{\left(\frac{L}{2} - \frac{c_2}{2}\right)^2}{2} = 2790.4 \text{ kgf} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}}$$

El acero de refuerzo por tensión se calculará como se hizo con las zapatas corridas.

$$A_s = b \cdot d \cdot \frac{f_c''}{f_y} \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_u}{F_R \cdot b \cdot d^2 \cdot f_c''}}\right) = 5.92 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

En cuanto al acero mínimo, empleando las ecuaciones correspondientes como se mostró con las zapatas corridas se tienen el siguiente límite.

$$A_{s\text{mín}} = 5 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Se propone emplear varillas del #4@20 cm. Con esta consideración se tienen la siguiente área de acero en un metro.

$$A_s = \frac{100 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} \cdot 1.27 \text{ cm}^2 = 6.35 \text{ cm}^2$$

El área de acero requerida para el momento alrededor del eje B es:

$$A_s = 5.1 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 56/85



Se deberá cubrir el área de acero mínimo por lo que se propone el mismo acero que la otra dirección; es decir, varillas #4@20 cm.

### 14.5.3. Cortante en una dirección

El cortante a un peralte efectivo es:

$$V_{uL} = \frac{B}{2} - d - \frac{c_1}{2} \cdot q_u = 5162.24 \frac{kgf}{m}$$

$$V_{uB} = \frac{L}{2} - d - \frac{c_2}{2} \cdot q_u = 4743.68 \frac{kgf}{m}$$

La resistencia de la zapata obtenida como se ha conseguido anteriormente es la siguiente.

$$\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1 + 0.04(15)}} = 1.12 = 1$$

$$\rho = \frac{6.35}{15 \cdot 100} = 0.004233$$

$$V_{CR} = 0.75 \cdot \left( 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot (0.004233)^{\frac{1}{3}} \cdot \sqrt{250} \right) \cdot 100 \cdot 15 = 5755.02 \frac{kgf}{m}$$

Dado que la cuantía de acero es la misma en ambas direcciones, el cortante resistente será el mismo. De forma que el cortante en una dirección se cubre satisfactoriamente.

### 14.5.4. Cortante en dos direcciones

El cortante en dos direcciones se calcula a medio peralte efectivo del paño del dado y se emplea la siguiente expresión.

$$V_{u2D} = P_u - q_u \cdot (c_1 + d) \cdot (c_2 + d) = 33066 \text{ kgf}$$

La resistencia del concreto para cortante en dos direcciones se puede calcular con las expresiones de la tabla 5.6.2.1.1 de las normas correspondientes. Antes de pasar a ellas se calculan valores importantes como el perímetro de la sección crítica y la relación L/B.

$$\beta = \frac{1.5}{1.5} = 1$$

$$b_0 = 2 \cdot (c_1 + d) + 2 \cdot (c_2 + d) = 230 \text{ cm}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 57/85

Como es una columna central en la zapata:

$$\alpha_s = 40$$

Las expresiones son las siguientes.

**Tabla 5.6.2.1.1 – Esfuerzos resistentes de diseño  $v_{cR}$  para cortante en dos direcciones sin presfuerzo y sin refuerzo para cortante**

	$v_{cR}$	
El menor de a), b) y c)	$F_R 0.33 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$ $(F_R 1.0 \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c})$	a)
	$F_R 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$ $(F_R 0.50 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c})$	b)
	$F_R 0.083 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c}$ $(F_R 0.27 \left(2 + \frac{\alpha_s d}{b_o}\right) \lambda_s \lambda \sqrt{f'_c})$	c)

$\lambda_s$  es el factor de efecto de tamaño (ec. 5.5.3.2.1.b).

$\lambda$  es el factor de reducción si se usa concreto de peso ligero que se tomará de 2.3.3.2.

$\beta$  es la relación del lado largo al lado corto de la columna, carga concentrada o área de reacción.

$\alpha_s = 40$  para columnas interiores, 30 para columnas de borde y 20 para columnas de esquina.

*Ilustración 10. Tabla 5.6.1.1. NTC Estructuras de concreto.*

Si se sustituyen valores, los cortantes resistente de la zapata son los siguientes.

$$v_{cR1} = 35457 \text{ kgf}$$

$$v_{cR2} = 53185.56 \text{ kgf}$$

$$v_{cR3} = 44120.89 \text{ kgf}$$

Como todos son mayores que  $V_{u2D}$ , la zapata cumple con este estado límite.

#### 14.5.5. Acero por temperatura

Considerando la zapata como una losa que trabaja en una dirección, el acero por temperatura según la norma es:

$$A_{stempB} = A_{stempL} = 0.0018 \cdot 100 \cdot h = 3.6 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Colocar varillas #4@20 cm en ambos sentidos de la zapata.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 58/85

#### 14.5.6. Otras Zapatas

Como se ha realizado con la zapata corrida; a continuación, se presentan los resultados para otros diseños de zapatas de manera resumida. Realmente, sólo se presentan las características de la zapata Z-1 correspondiente a las columnas interiores de los ejes A, B y C.

Elemento	V <sub>uL</sub> (kgf)	V <sub>uB</sub> (kgf)	M <sub>uL</sub> (kgf-m/m)	M <sub>uB</sub> (kgf-m/m)	V <sub>u2D</sub> (kgf)
Z-1	6820	6355	5239	4651.94	53010

Tabla 28. Solicitaciones máximas para zapata Z-2.

Elemento	B (m)	L (m)	h (cm)	Flexión	V <sub>c</sub> (kgf)	V <sub>cR2D</sub> (kgf)
Z-1	3	3	25	#5@20 cm	8084	55497

Tabla 29. Dimensiones y resistencia de zapata Z-2.

El acero por temperatura constará de varillas del #4@20 cm.

De la misma forma que sucede con la zapata Z-1 en las fachadas, la capacidad de los elementos corridos auxiliará a aliviar la presión de contacto con el suelo, por lo que se considera oportuno colocar las mismas dimensiones que los elementos externos. Así pues, las zapatas interiores tendrán el mismo arreglo que las zapatas exteriores.

### 1.1 Trabe de liga

El área de acero mínimo se calcula con las expresiones mostradas anteriormente. Las dimensiones del elemento son las siguientes.

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 55 \text{ cm}$$

$$A_{s\text{mín}1} = \frac{0.8 \cdot \sqrt{250}}{4200} \cdot 25 \cdot 50 = 3.76 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{mín}2} = \frac{14}{4200} \cdot 25 \cdot 50 = 4.17 \text{ cm}^2$$

Proponiendo 3#6 en ambos lechos; el área es.

$$A_s = 2.85 \cdot 3 = 8.55 \text{ cm}^2$$

El momento resistente de dicha sección es el siguiente.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 59/85

$$\rho = \frac{8.55}{25 \cdot 50} = 0.0068$$

$$q = \rho \cdot \frac{0.85 \cdot 250}{4200} = 0.00034$$

$$M_R = 0.9 \cdot 8.55 \cdot 4200 \cdot 50 \cdot (1 - 0.5 \cdot 0.00024) = 1615756 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_R = 16.16 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

El momento último de en la sección es de 11.8 tonf-m por lo que la sección cumple satisfactoriamente las solicitaciones.

El cortante para elementos con refuerzo en el alma se calcula con la siguiente expresión.

$$V_{cR} = F_R \left( 0.17 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d$$

$$\left( V_{cR} = F_R \left( 0.5 \lambda \sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d \right)$$

$$V_{cR} = 0.75 \cdot 0.5 \cdot 1 \cdot \sqrt{250} \cdot 25 \cdot 50 = 7411 \text{ kgf}$$

Para cortante es necesario comprobar la siguiente desigualdad. El cortante último es igual a:

$$V_u = 3.6 \text{ tonnef}$$

$$V_u \leq F_R (V_c + 0.66 \sqrt{f'_c} b_w d)$$

$$\left( V_u \leq F_R (V_c + 2.2 \sqrt{f'_c} b_w d) \right)$$

$$V_u \leq 0.75 \cdot (7411 \text{ kgf} + 2.2 \cdot \sqrt{250} \cdot 25 \cdot 50)$$

$$3600 \text{ kgf} \leq 38169 \text{ kgf}$$

Se cumple la desigualdad y la sección es adecuada. Como el cortante del concreto cubre el cortante de diseño se propone colocar estribos del #3@20 cm sólo para proporcionar confinamiento al elemento.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 60/85

## 15. DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA

### 15.1. Acero

#### 15.1.1. Trabes y vigas de acero

##### 15.1.1.1. Trabe TM-4 (Sección variable)

##### 15.1.1.1.1. Flexión

Las condiciones que se tomarán para la revisión de la trabe TM-4 correspondiente el nivel de cubierta a dos aguas se describen a continuación. En primer lugar, la sección variable alcanza un peralte máximo de 695 milímetros conservando las demás dimensiones de un perfil IR 347X63.8 kgf/m. La longitud no arriostrada para revisar dicha resistencia será solamente la longitud de peralte variable en este caso 303 y 224 centímetros; al ser la primera la más crítica, se considerará esta para la revisión. El perfil se considerará como perfil laminado. Dicho todo lo anterior, las propiedades del perfil modificado de acero obtenidas de SAP2000 son las siguientes.

$b_f$ (mm)	$t_p$ (mm)	$h$ (mm)	$t_a$ (mm)
203.2	13.5	668	7.7

Tabla 30. Dimensiones para perfil IR347X63.8 con peralte modificado. TM-4.

$Z_x$ (cm <sup>3</sup> )	$Z_y$ (cm <sup>3</sup> )	$S_y$ (cm <sup>3</sup> )	$J$ (cm <sup>4</sup> )	$C_a$ (cm <sup>6</sup> )	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$C_b$	$L$ (m)	$d$ (mm)
2728.75	287.95	185.54	41.9481	2191923.32	1885.06	1	3.03	695

Tabla 31. Propiedades para perfil IR347X63.8 con peralte modificado. TM-4.

De acuerdo con la tabla 2.2.1.2.6.b de las NTC para concreto, es necesario determinar si una sección cuenta con patines y alma compacta o no. Aplicando los límites establecidos por la tabla mencionada se tienen los siguientes resultados.

	Patín	Alma
$\lambda_{pl} =$	8.52	69.55
$\lambda_p =$	10.79	106.74
$\lambda_r =$	28.39	161.82
Relación	7.53	86.75
Sección	Sección tipo 1	Sección tipo 2

Tabla 32. Relación ancho espesor. TM-4.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 61/85

Como se puede observar, la sección es compacta ya que sus componentes lo son. Dado que la sección transversal del elemento es I, el procedimiento para obtener el momento resistente se presenta en la sección 7.3 de las normas para estructuras de acero. En primer lugar, se define el momento plástico como sigue. Nótese que lo igualan al momento nominal; sin embargo, en este caso no aplica debido a que no se tiene una restricción continua en el patín superior para impedir el pandeo lateral.

$$M_n = Z_x F_y = M_p$$

Considerando acero A36:

$$f_y = 2530 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$M_p = 69 \text{ tonf} \cdot m$$

Es necesario, también, determinar las longitudes límite para el comportamiento plástico y elástico con las siguientes expresiones igualmente de la norma.

$$L_u = \frac{\sqrt{2}\pi}{X_u} \sqrt{\frac{EC_a}{GJ}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_u^2}}$$

$$L_r = \frac{\sqrt{2}\pi}{X_r} \sqrt{\frac{EC_a}{GJ}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_r^2}}$$

$$X_u = 4.293 \frac{Z_x F_y}{C_b GJ} \sqrt{\frac{C_a}{I_y}} = 3.22 X_r$$

$$X_r = \frac{4}{3} \frac{Z_x F_y}{C_b GJ} \sqrt{\frac{C_a}{I_y}}$$

Cuando se realizan las operaciones correspondientes se obtienen los siguientes resultados.

$X_u =$	30.73	
$X_r =$	9.54	

$L_u=$	3.00	m
$L_r=$	5.59	m

Tabla 33. Límites para pandeo elástico y plástico. TM-4.

Se puede observar que la longitud del elemento es ligeramente mayor que  $L_u$ , por lo que el momento resistente se obtendrá con la expresión 7.3.2.2 de las NTC.

$$M_n = 1.15M_p \left( 1 - \frac{0.28M_p}{M_e} \right) \leq M_p$$

Sin embargo, es necesario determinar el momento  $M_e$  como sigue:

$$M_n = M_e$$

$$M_n = \frac{C_b \pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left( \frac{\pi E}{L} \right)^2 I_y C_a}$$

$$= \frac{C_b \pi E}{L} \sqrt{I_y \left[ \frac{J}{2.6} + \left( \frac{\pi}{L} \right)^2 C_a \right]}$$

Se considerará el caso más desfavorable para el factor  $C_b$  de forma que este será igual que 1. Haciendo las operaciones anteriores se tiene los siguientes resultados.

$M_e=$	145.64	tonnef-m
$M_{Lu}=$	68.86	tonnef-m

Tabla 34. Momento efectivo y elástico. TM-4.

Finalmente, el momento resistente será el momento  $M_{Lu}$  reducido en un 90%.

$$\phi M_n = 61.97 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

El momento último de la sección que conecta con las columnas es:

$$M_u = 25.08 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 63/85



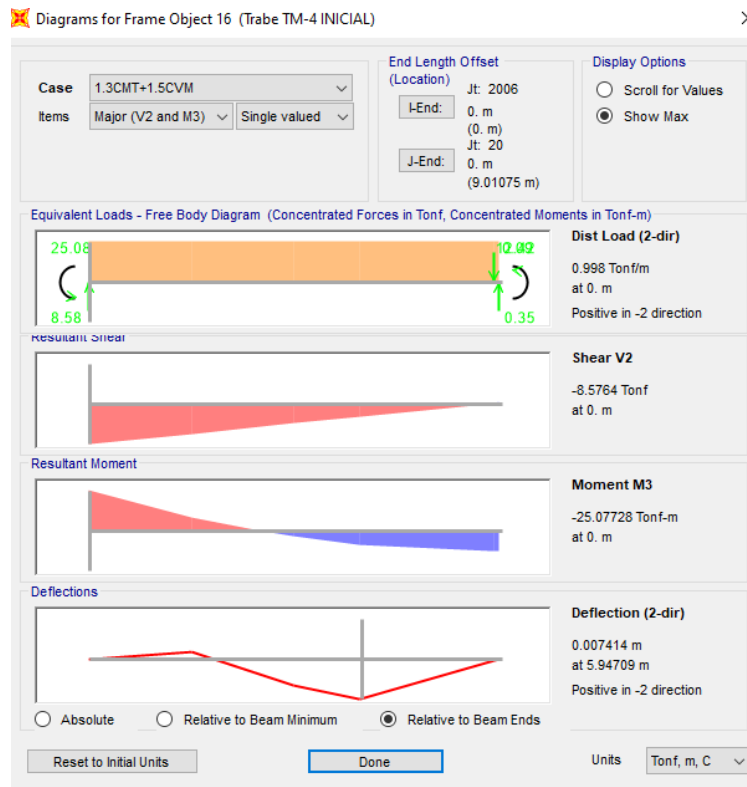


Ilustración 11. Momento negativo. TM-4.

Y en el centro, en la cumbrera se tiene que es de:

$$M_u = 14.4 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 64/85

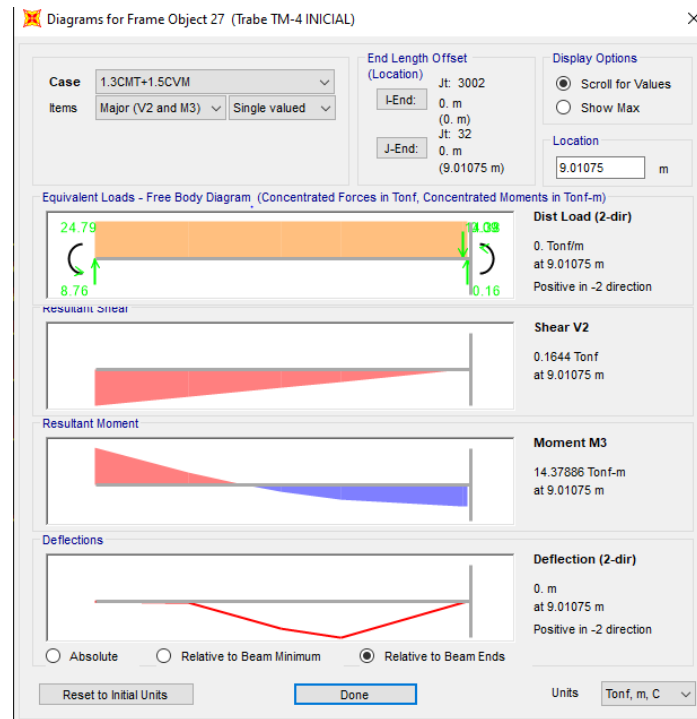


Ilustración 12. Momento positivo. TM-4.

Es evidente que se cubren las solicitaciones.

#### 15.1.1.1.2. Cortante

Para la revisión de esta condición se aplicará la sección 8.2 de las normas para estructuras de acero. Considerando el perfil como laminado se tiene que comprobar las siguientes desigualdades.

$$h/t_a \leq 2.24 \sqrt{E/F_y}$$

$$\frac{h}{t_a} \leq 1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

$$1.10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}} \leq \frac{h}{t_a} \leq 1.37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_y}}$$

Se tienen los siguientes valores:

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 65/85

$h/t_a=$	86.8
$2.24\sqrt{E/f_y}=$	63.6
$1.1\sqrt{k_v E/f_y}=$	69.8
$1.37\sqrt{k_v E/f_y}=$	87.0

Tabla 35. Límites para la relación ancho espesor del alma. TM-4.

Como la relación de esbeltes del alma es menor que el último límite, el valor de  $C_v$  se obtiene con la expresión 8.2.2.e.

$$C_v = \frac{1.51k_v E}{(h/t_a)^2 F_y}$$

$$C_v = 0.8$$

La resistencia a cortante de la sección se obtiene con la siguiente expresión de las normas.

$$V_n = 0.6F_y A_a C_v$$

El cortante nominal de la sección es:

$$V_n = 62.85 \text{ tonf}$$

Y el cortante resistente:

$$\phi V_n = 56.56 \text{ tonf}$$

Los cortantes últimos del elemento donde conecta con las columnas y en la cumbrera son los siguientes respectivamente.

$$V_u = 8.8 \text{ tonf}$$

$$V_u = 2.7 \text{ tonf}$$

El cortante último se satisface adecuadamente.

#### 15.1.1.1.3. Estado límite de servicio

La deflexión en el centro del claro, considerando carga muerta y carga viva sostenida, para la trabe TM-4 es de:

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 66/85

$$\delta = 1.13 \text{ cm}$$

Considerando el claro de 18 metros, la deflexión admisible es de:

$$\frac{18 \text{ m}}{240} = 7.5 \text{ cm}$$

De forma que se cumple con el estado límite de servicio.

### 15.1.1.2. Otras trabes

Ya que se ha expuesto el procedimiento para revisar la capacidad a momento y cortante de las trabes, a continuación, se presentarán los resultados obtenidos para el resto de los elementos en la estructura. Nótese que los perfiles propuestos son todos secciones compactas por lo que la sección correspondiente de las NTC seguirá siendo la misma.

Elemento	Perfil	L (m)	Nivel	$\phi M_n$ (tonf-m)	$M_u$ (tonf-m)	$\phi V_n$ (tonf)	$V_u$ (tonf)	%M	%V
TM-4	IR347X63.8	3.7	Cubierta	25.53	9.4	34.34	5.1	37	15
TM-1	IR406x84.9	2.25	Oficinas	39.19	38.81	59.95	20.5	99	34
TM-2	IR403X46.2	1	Oficinas	20.15	6.6	38.25	7.6	33	20
TM-3	IR258X32.9	1	Oficinas y Azotea	9.72	8	20.93	6.4	82	31
TM-5	IR347X63.8	5	Cubierta	22.8	0.5	34.34	0.4	3	2

Tabla 36. Resistencias y solicitaciones para trabes.

Es importante notar que las trabes secundarias de oficinas y azotea se consideraron arriostradas contra el pandeo lateral flexotorsionante por los conectores del sistema de piso. Aun así, de forma conservadora se tomó el valor de 1 metro. En cuanto a la trabe TM-5 se podría pensar que está algo sobrada, pero es necesaria para lograr un comportamiento adecuado en el sentido longitudinal de la estructura.

En cuanto a las deflexiones se tienen los siguientes valores.

Elemento	L (m)	$\delta_{max}$ (cm)	$\delta$ (cm)
TM-1	18	7.5	1.3
TM-2	9	3.75	1.13
TM-3	5	2	0.18
TM-4	5	2	1.24
TM-5	5	2	0.005

Tabla 37. Deflexiones para traveses. Estado límite de servicio.

De forma que todas las traveses cumplen por estado límite de servicio.

### 15.1.2. Columnas de acero

#### 15.1.2.1. Columnas CM-1 (Nave industrial)

##### 15.1.2.1.1. Flexión

Para la revisión de las columnas es necesario aplicar la sección 9 de las normas para estructuras de acero. Específicamente, para secciones extremas el apartado 9.1.6.1. Se deberá comprobar que la sección es compacta o no. Dado que se consideran apoyos articulados, el extremo que absorbe los máximos momentos es el superior, donde la sección es más aperaltada con 667 mm. Al igual que con las traveses TM-4, se considerarán las dimensiones de una IR 347X63.8 kgf/m con el peralte mencionado. Así pues, la relación de esbeltez es la siguiente.

$b_f$ (mm)	$t_p$ (mm)	$h$ (mm)	$t_a$ (mm)
203.2	13.5	640	7.7

Tabla 38. Dimensiones para perfil IR347X63.8 con peralte modificado. CM-1.

	Patín	Alma
$\lambda_{pf} =$	8.52	69.55
$\lambda_p =$	10.79	106.74
$\lambda_r =$	28.39	161.82
Relación	7.53	83.12
Sección	Sección tipo 1	Sección tipo 2

Tabla 39. Relación ancho espesor de CM-1.

Dado que la sección es compacta, el procedimiento para obtener el momento resistente de la sección es el mismo descrito para la trabe TM-4. No se repetirá el procedimiento; sin embargo, las propiedades de la sección extraídas de SAP2000 son las siguientes.

$Z_x$ (cm <sup>3</sup> )	$Z_y$ (cm <sup>3</sup> )	$S_y$ (cm <sup>3</sup> )	$J$ (cm <sup>4</sup> )	$C_a$ (cm <sup>6</sup> )	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	$C_b$	$L$ (m)
2581.22	287.53	185.53	41.5	2015509.37	1885	1	2.9

Tabla 40. Propiedades para perfil IR347X63.8 con peralte modificado. CM-1.

La longitud no arriostrada de la columna para considerar el pandeo alrededor del eje fuerte se consideró tomando en cuenta que la mampostería de la fachada arriostra a un tercio de la

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 68/85

altura; esta se consideró de 8.7 metros. Nótese que estas columnas no abarcan las de zona de oficinas, sólo las de la pura nave industrial.

El momento resistente alrededor del eje fuerte de la sección considerando el peralte de 667 mm y una altura de 2.9 metros es de:

$$\phi M_{nx} = 58.77 \text{ tonf} \cdot m$$

Por otro lado, el momento alrededor del eje fuerte se determina de acuerdo con la sección 7.6 de las NTC. Para secciones compactas como esta sólo será el siguiente.

$$M_n = M_{py} = F_y Z_y \leq 1.60 F_y S_y$$

Al realizar las operaciones anteriores se podrá observar que:

$$M_n = 7.27 \text{ tonf} \cdot m$$

$$\phi M_{ny} = 6.55 \text{ tonf} \cdot m$$

#### 15.1.2.1.2. Compresión

En seguida, se presenta el procedimiento para obtener la resistencia a compresión del elemento. Nuevamente es necesario determinar la relación ancho espesor de la sección, ahora para el estado de compresión pura. Estos límites se presentan en la tabla 2.2.1.2.6.a. Para elementos atiesados y no atiesados de una sección I el resultado es:

	Patín	Alma
$\lambda_r =$	15.90	42.30
Relación	7.53	83.12
Sección	sección compacta	Sección esbelta

Tabla 41. Relación ancho espesor para compresión. CM-1.

Como el alma es esbelta se requiere obtener un área efectiva para la resistencia a compresión como se establece en la sección 2.2.5. Como la relación del alma es mayor que 0.673 es necesario determinar el siguiente factor.

$$\lambda_a = \frac{1.052}{\sqrt{k}} \left( \frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{f}{E}}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 69/85

Donde k es igual a 4 para almas y f se calcula como sigue.

$$\chi = [1 + \lambda_c^{2n}]^{-1/n} = \left[ 1 + \left( \frac{F_y}{F_e} \right)^n \right]^{-1/n}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_e}}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

$$n = 1.4$$

Para los elementos se tienen los siguientes valores:

$$K = 1; L = 290 \text{ cm}; r_{min} = 4.25 \text{ cm}$$

$$F_e = 4322.1 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_c = 0.76$$

$$\chi = 0.76$$

El valor de  $f$  es igual que  $F_n$  calculado con la siguiente expresión.

$$f = F_n = \chi \cdot f_y = 1919 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Así pues,  $\lambda_a$  es igual a:

$$\lambda_a = 1.34$$

Nótese que “b” es “h” para el alma. Ahora se calcula el valor de  $\rho$  con la expresión 2.2.5.1.1.c de las normas.

$$\rho = (1 - 0.22 / \lambda_a) / \lambda_a$$

$$\rho = 0.62$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATILACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 70/85



Finalmente,  $h_e$  es igual a:

$$h_e = \rho \cdot h = 398.9 \text{ mm}$$

Con esto, el área efectiva es la siguiente.

$$A_e = 85.7 \text{ cm}^2$$

Con esta área se determinará la resistencia a compresión de la sección. De acuerdo con la sección 6.3.1 de las NTC se tiene el siguiente valor.

$$R_c = F_R \gamma F_y A = F_R F_n A$$

$$R_c = 148.08 \text{ tonf}$$

#### 15.1.2.1.3. Efectos combinados

Como se ha mencionado anteriormente, para revisar la zona extrema de las columnas es necesario comprobar la siguiente ecuación de interacción.

$$\left[ \frac{M_{uox}}{M_{pcx}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{uoy}}{M_{pcy}} \right]^\alpha \leq 1.0$$

Donde  $M_{uox}$  y  $M_{uoy}$  son los momentos en el extremo de interés;  $\alpha$ ,  $M_{pcx}$  y  $M_{pcy}$  se calculan a continuación con las siguientes expresiones.

$$M_{pcx} = 1.18 F_R M_{px} [1 - p] \leq F_R M_{px}$$

$$M_{pcy} = 1.67 F_R M_{py} [1 - p] \leq F_R M_{py}$$

$$M_{px} = Z_x F_y$$

$$M_{py} = Z_y F_y$$

$$P_y = A F_y$$

$$p = P_w / F_R P_y$$

Los resultados son los siguientes.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 71/85

$P_u$ (tonnef)	$M_{uox}$ (tonnef-m)	$M_{uoy}$ (tonnef-m)
27.1	15.8	0.6

Tabla 42. Carga axial última y momentos en un extremo de la columna. CM-1.

$M_{px}=$	65.3	tonnef-m
$M_{py}=$	7.3	tonnef-m
$P_y=$	216.9	tonnef
$p=$	0.1388	
$M_{pcx}=$	58.7744	tonnef-m
$M_{pcy}=$	6.5471	tonnef-m
$\alpha=$	1.0000	

Tabla 43. Valores para ecuación de interacción de revisión en extremos.

Evaluando, la ecuación de interacción es igual a:

$$\left[ \frac{M_{uox}}{M_{pcx}} \right]^{\alpha} + \left[ \frac{M_{uoy}}{M_{pcy}} \right]^{\alpha} = 0.36$$

Como se puede observar, el extremo de la columna cumple satisfactoriamente. EL procedimiento para revisar la columna completa es muy similar, ahora con la siguiente ecuación de interacción.

$$\left[ \frac{M_{uox}^*}{M_{ucx}} \right]^{\beta} + \left[ \frac{M_{uoy}^*}{M_{uey}} \right]^{\beta} \leq 1.0$$

Las expresiones necesarias son las siguientes.

$$M_{ucx} = M_m \left( 1 - \frac{P_u}{R_c} \right) \left( 1 - \frac{P_u}{P_{ex}} \right)$$

$$M_{uey} = F_R M_{py} \left( 1 - \frac{P_u}{R_c} \right) \left( 1 - \frac{P_u}{P_{ey}} \right)$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 72/85

$$\lambda_c = \frac{KL}{r} \sqrt{\frac{F_y}{\pi^2 E}}$$

La carga crítica de pandeo de Euler se calcula como sigue.

$$(AF_y / \lambda_c^2)$$

Los resultados son los siguientes.

$\lambda_{cx} =$	0.1209	
$\lambda_{cy} =$	0.7651	
$P_{ex} =$	14845.17	tonnef
$P_{ey} =$	370.56	tonnef
$\beta =$	0.8435	
$M_{ucx} =$	47.93	tonnef-m
$M_{ucy} =$	4.96	tonnef-m

Tabla 44. Valores para ecuación de interacción de revisión de columna completa.

Y la ecuación de interacción:

$M_{uox}^*$ (tonnef-m)	$M_{uoy}^*$ (tonnef-m)
15.8	0.6

Tabla 45. Momentos últimos en toda la columna. CM-1

$$\left[ \frac{M_{uox}^*}{M_{ucx}} \right]^\beta + \left[ \frac{M_{uoy}^*}{M_{ucy}} \right]^\beta = 0.56$$

De forma que las columnas cumplen satisfactoriamente las solicitudes.

### 15.1.2.2. Otras columnas

Para el resto de las columnas se presentan las solicitudes máximas y la resistencia de cada una.

Elemento	Perfil	Peralte (mm)	$P_u$ (tonf)	$M_{uox}$ (tonf-m)	$M_{uoy}$ (tonf-m)	$M_{uox}^*$ (tonf-m)	$M_{uoy}^*$ (tonf-m)
----------	--------	--------------	--------------	--------------------	--------------------	----------------------	----------------------

CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	667	27.1	15.8	0.6	15.8	0.6
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	667	32.55	17	0.6	17	0.6
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	35	11.13	0.14	11.13	0.7
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	55.78	2.34	0.7	2.34	0.7
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	8.7	0.65	0.34	0.65	1.41
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	4.8	4.43	1.29	4.44	1.3

Tabla 46. Cargas consideradas para cada columna.

Elemento	Perfil	Peralte (mm)	L (m)	Rc (tonf)	$\phi M_{nx}$ (tonf-m)	$\phi M_{ny}$ (tonf-m)	Extremos	Columna completa
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	667	2.9	148.08	58.77	6.55	0.36	0.56
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	667	2.9	148.08	58.77	6.55	0.39	0.59
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	2.9	150.52	25.98	6.44	0.27	0.62
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	3.9	123.1	25.13	6.44	0.04	0.28
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	3	147.8	25.98	6.44	0.01	0.25
CM-1	IR 347X63.8 kgf/m	348	5.24	89.61	22.26	6.44	0.13	0.48

Tabla 47. Resistencia calculadas para cada columna.

Es importante mencionar que las longitudes consideradas para cada columna con toman en cuenta el arriostramiento que otros elementos como la mampostería de las fachas puedan aportar. Se consideró que la fachada arriostra a un tercio de la longitud total.

### 15.1.2.3. Largueros (CF 152X51X12)

Para obtener el momento último de los elementos secundarios de cubierta es necesario reconocer cuáles son las cargas por unidad de área consideradas para su diseño. En este caso se considerarán las cargas muertas, vivas, de granizo y de viento. Sus magnitudes son las siguientes respectivamente.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 74/85

$$W_M := 21.69 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_V := 100 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_G := 112.5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_W := -40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Así mismo, las combinaciones de diseño alcanzan las siguientes magnitudes.

$$1.5 \cdot W_V + 1.3 \cdot W_M = 178.197 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_M + W_G = 134.19 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$W_M + W_W = -18.31 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Como se puede observar, la condición más crítica se presenta en la combinación de carga muerta y carga viva. Con esta se determinará el momento último. El ancho tributario de los largueros es de 1.15 metros y su longitud es de 5. La carga linealmente distribuida es la siguiente.

$$W := L \cdot (1.5 \cdot W_V + 1.3 \cdot W_M) = 204.9266 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

Dado que la cubierta tiene 5% de pendiente, el ángulo correspondiente es de 2.9 grados. Es necesario descomponer la carga anterior en su componente vertical y horizontal como se muestra a continuación.

$$w_y := W \cdot \cos(\theta) = 204.6641 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$w_x := W \cdot \sin(\theta) = 10.3678 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 75/85

La carga horizontal es demasiado pequeña, por lo que no se considerará. Por otro lado, el momento asociado a la carga que flexiona al elemento alrededor de su eje “x” es el siguiente:

$$M := \frac{w_y \cdot (5 \text{ m})^2}{8} = 0.6396 \text{ tonnef m}$$

El esfuerzo de fluencia y el módulo de sección plástico considerados para el elemento de acuerdo con el manual del IMCA son los siguientes.

$$f_y := 3515 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$S_x := 31.33 \text{ cm}^3$$

Finalmente, el momento resistente es:

$$M_R := f_y \cdot S_x = 1.1012 \text{ tonnef m}$$

$$M_R = 1.1012 \cdot 0.9 = 0.99 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

Como se puede observar, el elemento cumple satisfactoriamente con la sollicitación de momento.

En cuanto a los largueros L-2 los cuales son como los elementos recién revisados se considera que deberán soportar la misma carga. Dado que son elementos dobles, la resistencia incrementa y por ende se asume que el elemento cumple satisfactoriamente, pues su momento resistente será:

$$M_R = 0.9 \cdot f_y \cdot 2S_x = 1.98 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

#### 15.1.2.4. Contraventeos (CV-1)

Los contraventeos CV-1 se colocan en la cubierta y tiene un diámetro de 1.9 cm. Para obtener su resistencia se considerará un área reducida debido a la rosca que tendrá en la conexión. Así mismo, el esfuerzo de fluencia es el siguiente:

$$f_y := 2530 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_d := 1.99 \text{ cm}^2$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 76/85

La resistencia a tensión del elemento reducido por el factor de seguridad según las NTC se muestra a continuación.

$$T_R := 0.9 \cdot A_d \cdot f_y = 4.5312 \text{ tonnef}$$

La tensión última en el elemento resultó ser de:

$$T_u = 3.4 \text{ tonf}$$

Como se puede observar, el elemento cubre la solicitud adecuadamente.

## 15.2. Muros de Mampostería

### 15.2.1. Fachada Eje “3”

#### 15.2.1.1. Resistencia a cargas laterales

Como lo especifica la norma en su sección 6.3.3, se considerará la participación total de muros en la dirección de análisis cuando el plano de estos no tenga una dirección que diste más de 15 grados respecto a la primera.

Como ejemplo del cálculo para la resistencia a cargas lateras se obtendrá el cortante nominal para un solo muro; posteriormente se presentará una tabla con los resultados para los muros restantes con la finalidad de no ser repetitivos.

El muro con el que se presenta el procedimiento se marca en la siguiente imagen; corresponde a la fachada del eje 3. Se denominará en esta memoria de cálculo como M-1, los muros adyacentes se enumerarán de forma ascendiente de izquierda a derecha. Los efectos más desfavorables se presentan en la base de la fachada, por lo que serán sólo estos muros los tratados en esta memoria de cálculo.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3;PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 77/85

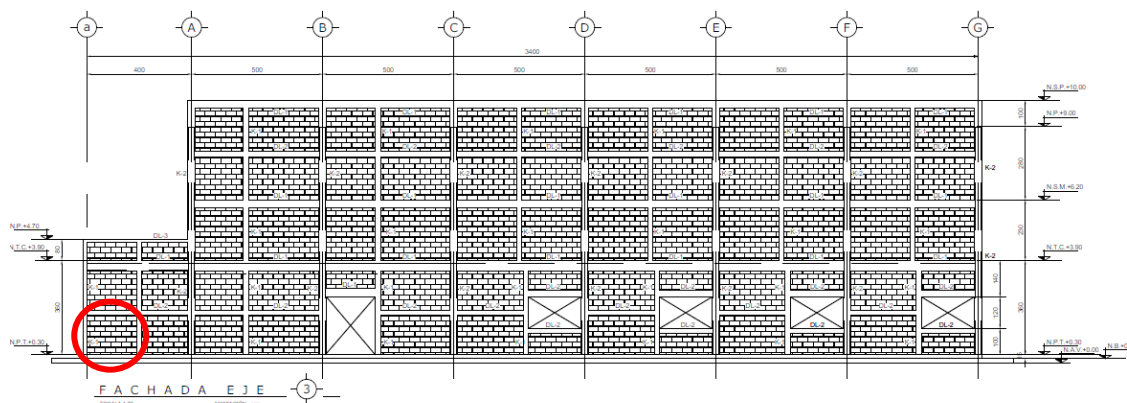


Ilustración 13. Fachada de eje 3. Muro 1.

Las propiedades del muro son las siguientes.

$F_R$	$v'_m$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$f'_m$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$L_m$ (cm)	$H_m$ (cm)	$t_m$ (cm)	$P$ (tonnef)
0.7	3.7	35	225	170	12	8.79

Tabla 48. Propiedades del muro M-1.

El factor de resistencia lo especifican las normas igual a 0.7 para cortante;  $v'_m$  es la resistencia a tensión diagonal de la mampostería tomada de una ficha técnica; la altura del muro se considera de 1.7 metros, no se toma a la altura total del nivel; finalmente la carga  $P$  es debida a la combinación de acciones accidentales sin factorizar.

La resistencia a cortante de un muro de mampostería está dada por la expresión 6.5.2.1 de las NTC correspondientes y la cual se muestra a continuación.

$$V_{mR} = F_R \cdot (0.5 \cdot v'_m \cdot A_T + 0.3 \cdot P) \cdot f \leq 1.5 \cdot F_R \cdot v'_m \cdot A_T \cdot f$$

Por otro lado, el factor  $f$  se determina con la expresión 6.5.2.4 de las normas dependiendo de la relación entre el alto y largo del muro.

$$f = \begin{cases} 1.5 & \text{si } \frac{H}{L} \leq 0.2 \\ 1.0 & \text{si } \frac{H}{L} \geq 1.0 \end{cases}$$

Para este caso en particular se tiene que la relación alcanza el valor de:

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 78/85



$$\frac{H_m}{L_m} = 0.8$$

El cálculo de  $f$  se presenta a continuación.

$$f = 1.2$$

Con todo esto, y considerando el límite máximo de cortante que puede tomar la mampostería, se tiene que el cortante resistente por el material es de:

$$V_{mR} = 6159 \text{ kgf}$$

Adicional a lo anterior se calculará el cortante que aporta el refuerzo horizontal constituido por escalerillas de alambre de calibre 10 con un esfuerzo de fluencia de:

$$f_{yh} = 5000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Para calcular su resistencia es necesario recurrir a las especificaciones expuestas en la sección 6.5.4 de las normas; ahí se especifica que para obtener la cuantía de acero sólo se considere el espesor del muro de modo que:

$$p_h = \frac{A_{sh}}{t^2} = \frac{0.18}{12^2} = 0.00128$$

El cortante que aporta el refuerzo transversal se calcula con:

$$V_{sR} = F_R \eta (p_h f_{yh})_e A_T$$

Donde el producto  $(p_h f_{yh})_e$  no deberá ser mayor que:

$$0.15 f'_m f_{an}$$

Según la sección 6.5.4.2.4 de las NTC.  $f_{an}$  es la relación entre el área neta y el área bruta del block de concreto. Para este caso se tiene que es igual a 0.66.

$$0.15 \cdot f'_m \cdot f_{an} = 3.47 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$p_h \cdot f_{yh} = 6.4 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Evidentemente, se rebasa el límite, por lo que se usará el primero para realizar el cálculo. Por otro lado, el valor de  $\eta$  se obtiene con la expresión 6.5.3.4.1.d.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 79/85

$$\eta = \frac{V_{mR}}{F_R(p_h f_{yh})_e A_T} (k_0 k_1 - 1) + \eta_s$$

De las expresiones 6.5.3.4.1.e, 6.5.3.4.1.f y 6.5.3.4.1.g:

$$k_1 = 0.84$$

$$k_0 = 1.3$$

$$\eta_s = 0.55$$

El valor de  $\eta$  es:

$$\eta = 0.64$$

El cortante resistente del refuerzo es:

$$V_{sR} = 2801 \text{ kgf}$$

Y el cortante resistente total del muro es:

$$V_R = 8960 \text{ kgf}$$

Este último se deberá comparar con el cortante último del muro el cual es igual que:

$$V_u = 5360 \text{ kgf}$$

Como se puede observar el cortante último es menor que el cortante resistente del muro, por lo que se cumple con la sollicitación de carga horizontal.

### 15.2.1.2. Carga axial

La revisión ante carga axial se aplicará para el mismo muro que para cortante con la finalidad de demostrar cómo se ha realizado el cálculo; posteriormente se expondrán los resultados para el resto de los muros.

Primero verificando la relación entre lo alto y el espesor del muro; en este caso se considerará una altura de 1.7 metros.

$$\frac{H_m}{t_m} = 14.16$$

Como es menor que 20 no es necesario determinar el valor de  $F_E$  para poder aplicar la expresión 6.4.1.1.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 80/85

$$P_R = F_R F_E (f'_m A_T + \sum A_s f_y)$$

$$F_E = 0.6$$

Por otro lado, se consideran 2 castillos en el muro analizado, cuentan con 4#3. Esto hace un área de acero igual a:

$$A_{scas} = 5.7 \text{ cm}^2$$

La carga a compresión resistente por el muro es de:

$$P_R = 43 \text{ tonnef}$$

Nótese que el factor de reducción cambio a 0.6. La relación entre la carga última y la resistente se muestra en seguida.

$$P_u = 9.67 \text{ tonnef}$$

$$\frac{P_u}{P_R} = 23\%$$

### 15.2.1.3. Momento

Siguiendo con la misma metodología, se revisará el momento resistente del muro trabajado hasta ahora.

Comprobando la siguiente desigualdad.

$$0 \leq P_u \leq \frac{P_R}{3}$$

$$P_u = 9.67 \text{ tonf} \quad \frac{P_R}{3} = 14.2 \text{ tonf}$$

Dado que se cumple, el momento resistente se puede calcular con la expresión 6.4.2.2.1.a

$$M_R = F_R M_0 + 0.3 P_u d$$

El momento  $M_0$  es el acero de refuerzo de uno de los castillos por el brazo de palanca igual a la distancia entre castillos extremos. Para este caso, como se tienen castillos diferentes en los extremos, se optó por considerar el castillo más desfavorable con un área de acero de 2.84  $\text{cm}^2$ . El momento resultó de:

$$M_0 = A_{scastillo} \cdot f_{ycastillo} \cdot L' = 24.5 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 81/85

El valor de  $d$  es el peralte efectivo del muro, parecido al de las trabes. En este caso se consideró igual a la longitud del muro menos la mitad del castillo de 20 cm en uno de sus extremos. El momento resistente es el siguiente.

$$d = L' + 10\text{cm} = 215\text{ cm}$$

$$M_R = F_R \cdot M_0 + 0.3 \cdot P_u \cdot d = 25.9\text{ tonf}$$

La relación de momento es:

$$M_u = 3.9\text{ tonf}$$

$$\frac{M_u}{M_R} = 15\%$$

De esta misma manera se calcularán todas las resistencias de los muros restantes.

### 15.2.2. Otros muros del Eje “3”

El resultado de las revisiones realizadas para el resto de los muros se presenta a continuación.

Muro	$L_m$ (cm)	$H_m$ (cm)	$V_R$ (tonf)	$V_u$ (tonf)	$P_R$ (tonf)	$P_u$ (tonf)	$M_R$ (tonf-m)	$M_u$ (tonf-m)
M-2	225	170	8.21	5.66	45	9.67	25.24	2.29
M-3	233	170	8.88	6.24	46	8.98	25.79	2.5
M-4	320	170	12.84	7.57	59	11.8	38.41	6.9
M-5	315	170	13.24	6.2	58	12.13	37.78	6.84
M-6	300	170	12.10	6.2	56	10	34.88	4.8
M-7	300	170	11.39	4.2	56	7.2	32.49	4.2
M-8	300	170	11.36	4.1	56	7.2	32.49	4.1
M-9	300	170	11.47	4.1	56	7.6	32.83	4.7

Tabla 49. Cargas últimas y resistencia de cada muro. Eje 3.

Como se puede observar en la tabla, todos los muros de la fachada del eje 3 cumplen con las solicitaciones por cortante, carga axial y momento flexionante en su plano. Nótese que los pequeños muros debajo de las aberturas no se consideraron.

### 15.2.3. Fachada eje “1”

Para evitar repetir el procedimiento; a continuación, se presenta una tabla con el resumen de las resistencias de los muros correspondientes a la fachada del eje 1 así como sus elementos mecánicos de diseño.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA “T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL”, CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 82/85

Muro	L <sub>m</sub> (cm)	H <sub>m</sub> (cm)	V <sub>R</sub> (tonf)	V <sub>u</sub> (tonf)	P <sub>R</sub> (tonf)	P <sub>u</sub> (tonf)	M <sub>R</sub> (tonf-m)	M <sub>u</sub> (tonf-m)
M-1	197	170	7.51	2.1	40.5216	8.5	21.11172	3.8
M-2	277	170	10.9122	6.72	52.6176	10.4	31.83432	2.95
M-3	275	170	10.843	6.44	52.3152	11.13	32.052	3.1
M-4	275	170	10.7322	6.63	52.3152	10.8	31.8258	2.68
M-5	275	170	10.6325	6.37	52.3152	9.85	31.2018	2.88
M-6	300	170	11.9747	6.04	56.0952	9.54	34.4907	4.71
M-7	300	170	11.3438	4.18	56.0952	7.1	32.4045	4.1
M-8	300	170	11.3325	4	56.0952	7	32.319	3.94
M-9	300	170	11.4859	4	56.0952	7.64	32.8662	4.6

Tabla 50. Cargas últimas y resistencia de cada muro. Eje 1.

#### 15.2.4. Fachada eje “a”

En la siguiente tabla se pueden observar las diferentes resistencias de los muros correspondientes a la fachada del eje a. La numeración se da ascendente del eje 1 al eje 3.

Muro	L <sub>m</sub> (cm)	H <sub>m</sub> (cm)	V <sub>R</sub> (tonf)	V <sub>u</sub> (tonf)	P <sub>R</sub> (tonf)	P <sub>u</sub> (tonf)	M <sub>R</sub> (tonf-m)	M <sub>u</sub> (tonf-m)
M-1	211	170	8.11	6.4	40.52	8.5	23.42	5.24
M-2	210	170	7.18	7.17	40.37	5.4	21.36	4.74
M-3	240	170	9.20	8.1	44.91	8.1	26.17	6.15
M-4	200	170	7.30	6.01	38.86	7	21.23	4.51
M-5	208	170	7.18	6.58	40.07	5	20.97	4.43
M-6	200	170	7.75	4	38.86	9	22.37	3.52

Tabla 51. Cargas últimas y resistencia de cada muro. Eje a.

#### 15.2.5. Fachada eje “G”

De igual manera, el resultado para los muros de mampostería de la fachada del eje G es el siguiente.

Muro	L <sub>m</sub> (cm)	H <sub>m</sub> (cm)	V <sub>R</sub> (tonf)	V <sub>u</sub> (tonf)	P <sub>R</sub> (tonf)	P <sub>u</sub> (tonf)	M <sub>R</sub> (tonf-m)	M <sub>u</sub> (tonf-m)
M-1	278	170	9.94	3.95	57.85	5.87	27.70	4.04
M-2	220	170	7.59	3.31	41.88	4.67	22.09	1.85
M-3	259	170	8.92	3.33	47.78	4.5	26.20	1.5
M-4	200	170	6.56	3	38.86	3.81	19.41	1.25
M-5	218	170	7.32	2.42	41.58	3.81	21.34	1.22

Tabla 52. Cargas últimas y resistencia de cada muro. Eje G.

### 15.3. Concreto

#### 15.3.1. Trabe T-1

El área de acero mínimo se calcula con las expresiones mostradas anteriormente. Las dimensiones del elemento son las siguientes.

$$b = 25 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$A_{smín1} = \frac{0.8 \cdot \sqrt{250}}{4200} \cdot 25 \cdot 45 = 3.39 \text{ cm}^2$$

$$A_{smín2} = \frac{14}{4200} \cdot 25 \cdot 45 = 3.75 \frac{\text{cm}^2}{m}$$

Proponiendo 2#5 para ambos lechos

$$A_s = 1.98 \cdot 2 = 3.96 \text{ cm}^2$$

Los momentos resistentes de dicha sección son:

$$\rho = \frac{3.96}{25 \cdot 45} = 0.0035$$

$$q = \rho \cdot \frac{0.85 \cdot 250}{4200} = 0.00018$$

$$M_R = 0.9 \cdot 3.96 \cdot 4200 \cdot 45 \cdot (1 - 0.5 \cdot 0.00018) = 673535 \text{ kgf} \cdot \text{cm}$$

$$M_R = 6.74 \text{ tonf} \cdot \text{m}$$

El momento último en la sección es de 0.5 tonf-m, considerando signo positivo y negativo, por lo que la sección cumple satisfactoriamente las solicitudes.

El cortante para elementos con refuerzo en el alma se calcula con la siguiente expresión.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 84/85

$$V_{cR} = F_R \left( 0.17\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d$$

$$\left( V_{cR} = F_R \left( 0.5\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{P_u}{6A_g} \right) b_w d \right)$$

$$V_{cR} = 0.7 \cdot 1 \cdot \sqrt{250} \cdot 25 \cdot 45 = 12451 \text{ kgf}$$

Para cortante es necesario comprobar la siguiente desigualdad. El cortante último es igual a:

$$V_u = 0.7 \text{ tonnef}$$

$$V_u \leq F_R (V_c + 0.66\sqrt{f'_c} b_w d)$$

$$\left( V_u \leq F_R (V_c + 2.2\sqrt{f'_c} b_w d) \right)$$

$$V_u \leq 0.7 \cdot (12451 \text{ kgf} + 2.2 \cdot \sqrt{250} \cdot 25 \cdot 45)$$

$$700 \text{ kgf} \leq 36108 \text{ kgf}$$

Se cumple la desigualdad y la sección es adecuada. Como el cortante del concreto cubre el cortante de diseño se propone colocar estribos del #3@20 cm sólo para proporcionar confinamiento al elemento.

PROYECTO EJECUTIVO DE OPTIMIZACIÓN DE LA CASETA TRONCAL DENOMINADA "T2, SERVICIOS Y EL MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL", CASETA AUXILIAR A-1 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE IXTLAHUACA DEL TRAMO 3; PROYECTO EJECUTIVO CASETA AUXILIAR A-2 Y SERVICIOS EN EL ENTRONQUE VILLA DEL CARBÓN EN EL TRAMO 2A Y CASETA TRONCAL T1 INCLUYENDO EL EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS, OFICINAS Y CENTRO DE CONTROL, MÓDULO DE LA GUARDIA NACIONAL, CENTRO DE MANTENIMIENTO Y ÁREA DE SITE EN EL TRAMO 1 DE LA AUTOPISTA ATIZAPÁN- ATLACOMULCO		Revisión: 01
Referencia: Memoria de Cálculo Estructural	T1 / Edificio de Mantenimiento-Estructural/ Memoria	Página: 85/85