



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA  
ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE  
INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS  
SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

**TESIS**

Que para obtener el título de

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

**P R E S E N T A**

MARGARITO CAMILO SANTIAGO

**DIRECTOR DE TESIS**

ING. JOSUÉ GARDUÑO CHÁVEZ



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., AGOSTO 2017.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/060/16

Señor  
MARGARITO CAMILO SANTIAGO  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. JOSUÉ GARDUÑO CHÁVEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE CIUDAD DE MÉXICO"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA
- III. ESTUDIOS ANÁLITICOS
- IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS
- V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES
- BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 2 de agosto del 2016.  
EL PRESIDENTE

M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH\*gar.

**“EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

**ÍNDICE**

	<b>Página</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	2
<b>I. ANTECEDENTES</b>	
A. Uso de la estructura	3
<b>II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA</b>	
A. Descripción arquitectónica	6
B. Descripción de la estructura y su cimentación	10
C. Tipificación de la construcción	15
<b>III. ESTUDIOS ANALÍTICOS</b>	
A. Bases y especificaciones	17
B. Análisis de cargas	18
C. Propiedades geométricas de los elementos	20
D. Propiedades mecánicas de los materiales	22
E. Análisis sísmico	23
F. Condiciones básicas de carga	34
G. Combinaciones de carga	34
H. Modelación analítica	35
I. Modelación de la estructura	35
<b>IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	
A. Revisión del estado límite de servicio	43
B. Revisión del estado límite de falla	48
<b>V. CONCLUSIONES</b>	54
<b>BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.</b>	57
<b>LISTA DE IMÁGENES, TABLAS Y FIGURAS.</b>	58
<b>ANEXO A. REPORTE FOTOGRÁFICO.</b>	60

## INTRODUCCIÓN

Durante nuestra estancia en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, tenemos la oportunidad de adquirir conocimientos suficientes de cada una de las áreas que componen a la carrera de ingeniería civil; estructuras, que es una de ellas, mantiene esa percepción de poco interés por parte de los alumnos, aunque este comportamiento tal vez sea por el nivel de exigencia que requiere esta área, o porque podemos considerar que esta apatía hacia las estructuras se debe a la poca o nula pasión por parte de los profesores al momento de enseñar o transmitir sus experiencias positivas y/o negativas. Contrario a lo expuesto, surge el deseo y necesidad de aplicar y profundizar los conocimientos adquiridos.

De lo expuesto anteriormente, se presenta la oportunidad de continuar con mi desarrollo como un futuro estructurista en el presente trabajo, que consiste en la revisión de las condiciones actuales de la cubierta atirantada, conocida como “Puente del Anexo de Ingeniería”, que se presume, fue diseñado y construido a mediados de los años sesenta.

Es importante que nuestra Facultad de Ingeniería y la UNAM hagan periódicamente este tipo de revisiones o evaluaciones estructurales de sus inmuebles debido a que se encuentran en una zona sísmica y que la mayor parte de sus construcciones ya cumplieron con su vida útil y puede que sus condiciones de seguridad ya no son adecuadas para su uso poniendo así en riesgo la integridad de sus ocupantes y sus contenidos.

El presente trabajo está dividido de la manera siguiente: Capítulo uno, se mencionan los usos de la estructura durante el tiempo; Capítulo dos, se describe su forma arquitectónica y estructural, se tipifica la construcción de acuerdo a su importancia y ubicación; Capítulo tres, se presentan los análisis realizados a la estructura; Capítulo cuatro, se hace una revisión de los resultados conforme a las disposiciones reglamentarias; y finalmente, en el Capítulo cinco, se presentan las conclusiones.

# I. ANTECEDENTES

## I. ANTECEDENTES

### A. Uso de la estructura

La estructura en cuestión fue concebida para ser parte de la infraestructura de la zona de la parada de camiones como una cubierta atirantada (de acuerdo a la copia de los planos estructurales, figura 1.1), debido al crecimiento en su entorno (construcción de la biblioteca “Enrique Rivero Borrell”) y al trazo geométrico del circuito escolar. En la actualidad forma parte del acceso principal del Anexo de Ingeniería (imagen 1.1) y su figura se toma como un emblema por la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería (imagen 1.2 y 1.3).



*Imagen 1.1. Acceso principal del Anexo de Ingeniería y vista de la estructura atirantada*

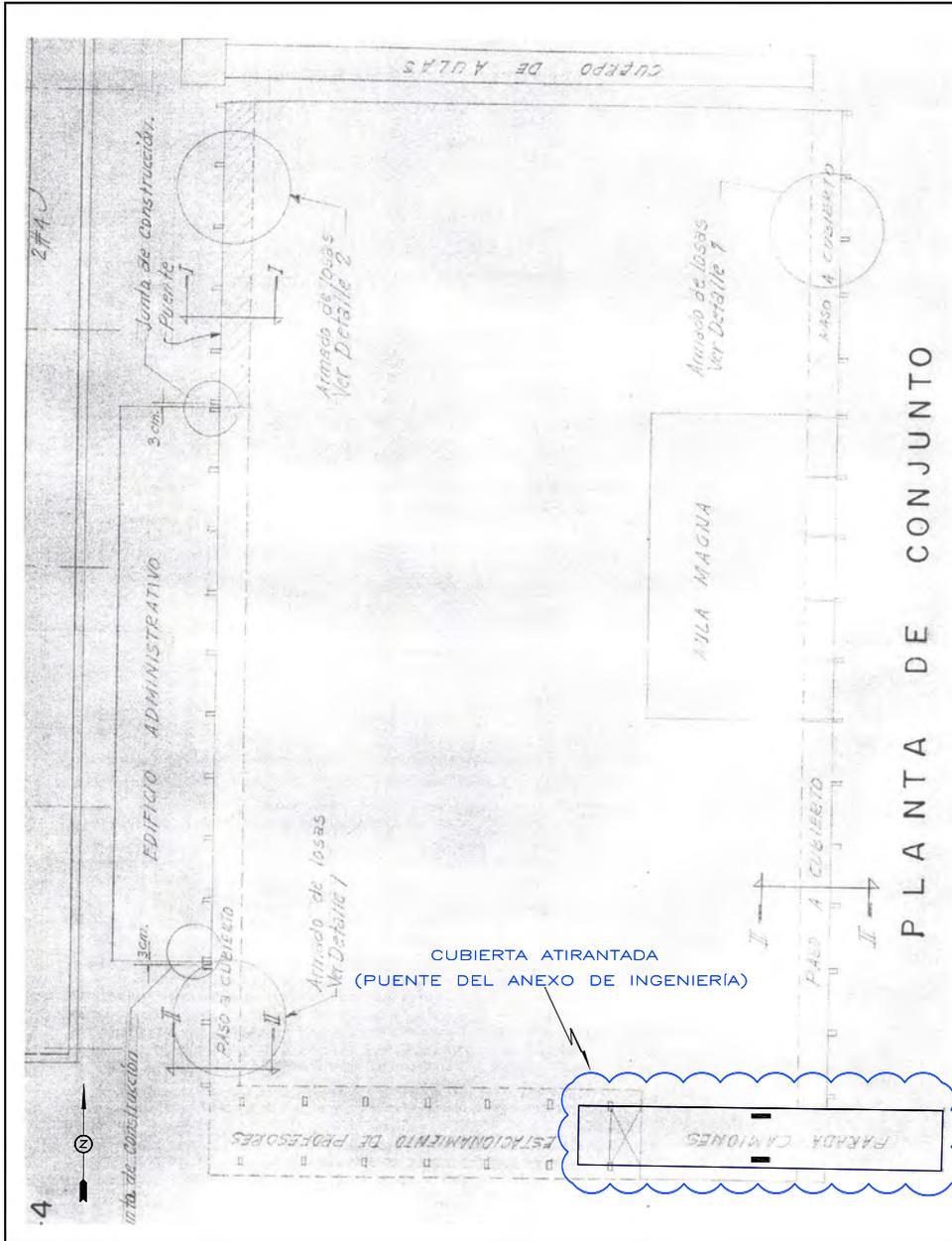


FIG 1.1 IMAGEN TOMADA DEL PLANO: AMPLIACIÓN DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA (1965).


**UNAM**  
 EVALUACION DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

PRESENTADO POR:	MARGARITO CAMILO SANTIAGO
DIRECTOR DE TESIS:	ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ
CONSEJERO:	CROQUIS
FECHA DE ELABORACION:	MCS/JGC
FECHA DE APROBACION:	33/MAY/2017



IMAGEN 1.2 EMBLEMA DE PUENTE DEL ANEXO, EN PÁGINA WEB DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS BÁSICAS



IMAGEN 1.3 EMBLEMA DE PUENTE DEL ANEXO, USADO EN LA CONTRAPORTADA DEL BOLETIN INFORMATICO

				tesis profesional:			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.							
presenta:							
MARGARITO CAMILO SANTIAGO							
director de tesis:							
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ							
conceptos:		revisó:		diseño:		revisó:	
EMBLEMA		MCS/JCCh				S/E	
dibujos:		fecha:		fecha:		fecha:	
EJEMPLOS DE USO DEL EMBLEMA DEL PUENTE DEL ANEXO		23/MAY/2017					

## II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

## II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

### A. Descripción arquitectónica

La cubierta atirantada que, a partir de aquí en adelante nos referiremos a ella como el “Puente del Anexo” de Ingeniería, fue resuelto por medio de dos columnas rectangulares de concreto reforzado con un acabado aparente, las cuales atraviesan el sistema de piso generando una perspectiva de una losa con un gran espesor; sin embargo, en realidad ésta tiene sus trabes principales y secundarias invertidas, lo que hace tener la imagen antes mencionada; además es soportada por cuatro cables que salen de las columnas, las que funcionan como mástiles.

La planta del nivel de sistema de piso del puente es rectangular, con una orientación Oriente-Poniente en su lado largo, con una longitud total aproximada de 32.40 m y un ancho de 5.40 m.

La estructura colinda al Norte con el Auditorio “Sotero Prieto”, al poniente con la biblioteca “Enrique Rivero Borrell” y al noreste con el estacionamiento de profesores y el Centro de Ingeniería Avanzada, figura 2.1.



*Imagen 2.1. Vista de la entrada principal del Anexo de Ingeniería*

En la figura 2.2, se presenta una vista frontal del Puente del Anexo y en la figura 2.3 se presenta una vista lateral.

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA

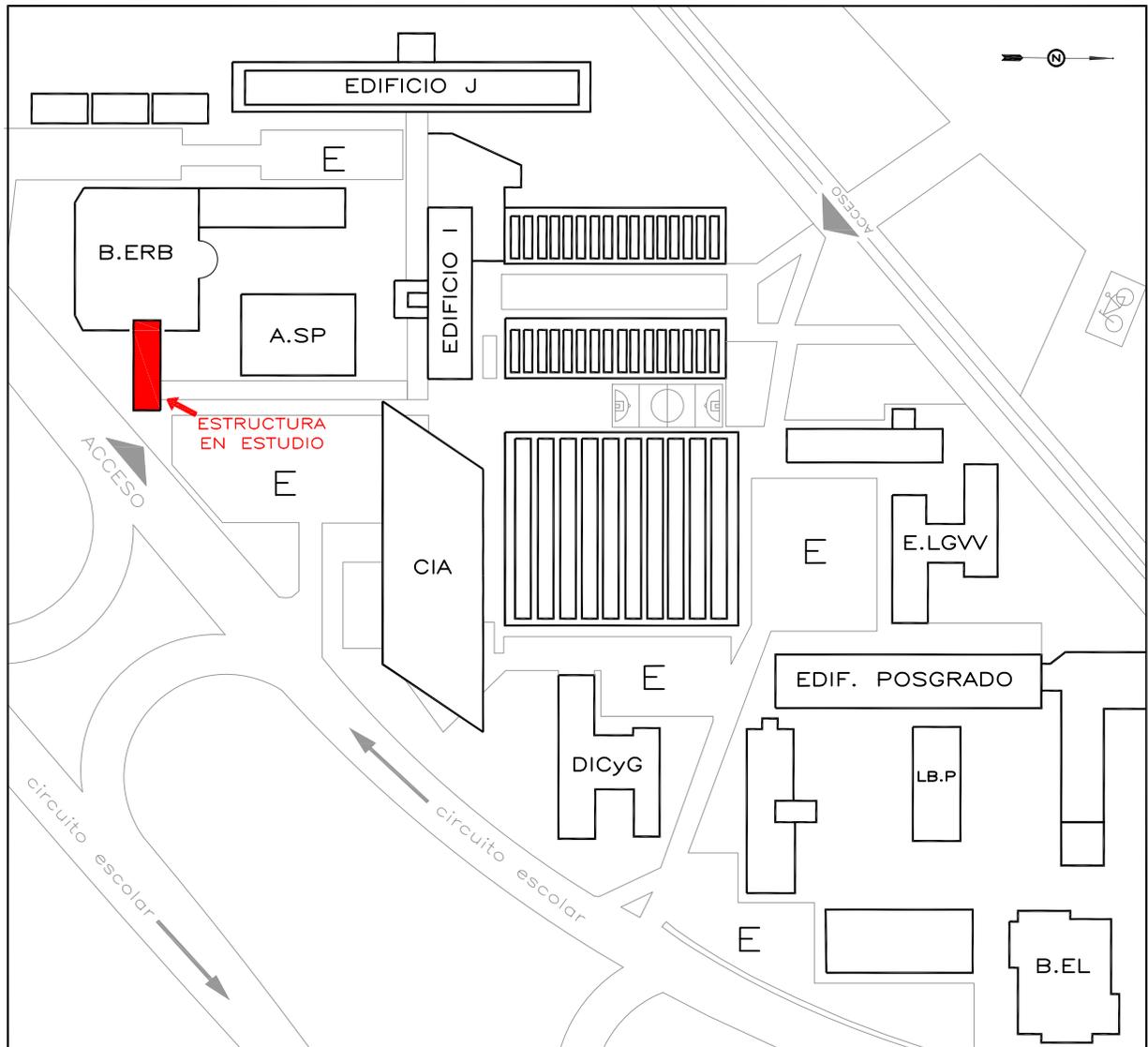


FIG 2.1 CROQUIS DE UBICACIÓN DE LA CUBIERTA ATIRANTADA

## SIMBOLOGÍA

- E Estacionamiento
- B.ERB Biblioteca Enrique Rivero Borrel
- A.SP Auditorio Sotero Prieto
- CIA Centro de Ingeniería Avanzada
- DICYG División de Ingenierías Civil y Geomática
- E.LGVV Edificio Luis G. Valdés Vallejo
- LB.P Laboratorio de posgrado
- B.EL Biblioteca Enzo Levi

	Instituto profesional de
<b>EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.</b>	
<b>MARGARITO CAMILO SANTIAGO</b>	
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ	
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA	MCS/JGCh CROQUIS S/E
UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA	23/MAY/2017

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA

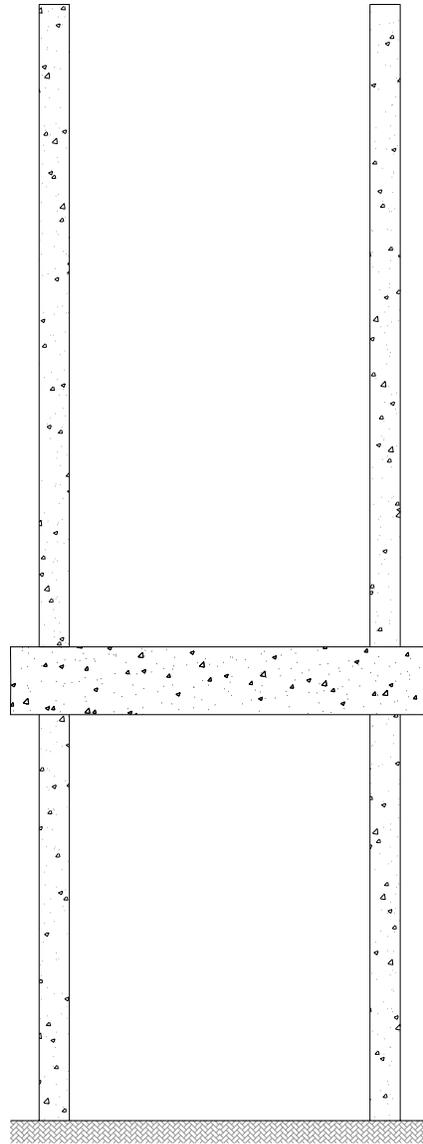


FIG. 2.2 VISTA FRONTAL

tesis profesional			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta:			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis:			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
concepto:	revisó:	archivo:	revisó:
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA	MCS/JCCh	VISTA	1:100
dibujos:	fecha:		figura:
VISTA FRONTAL	23/MAY/2017		2.5

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA

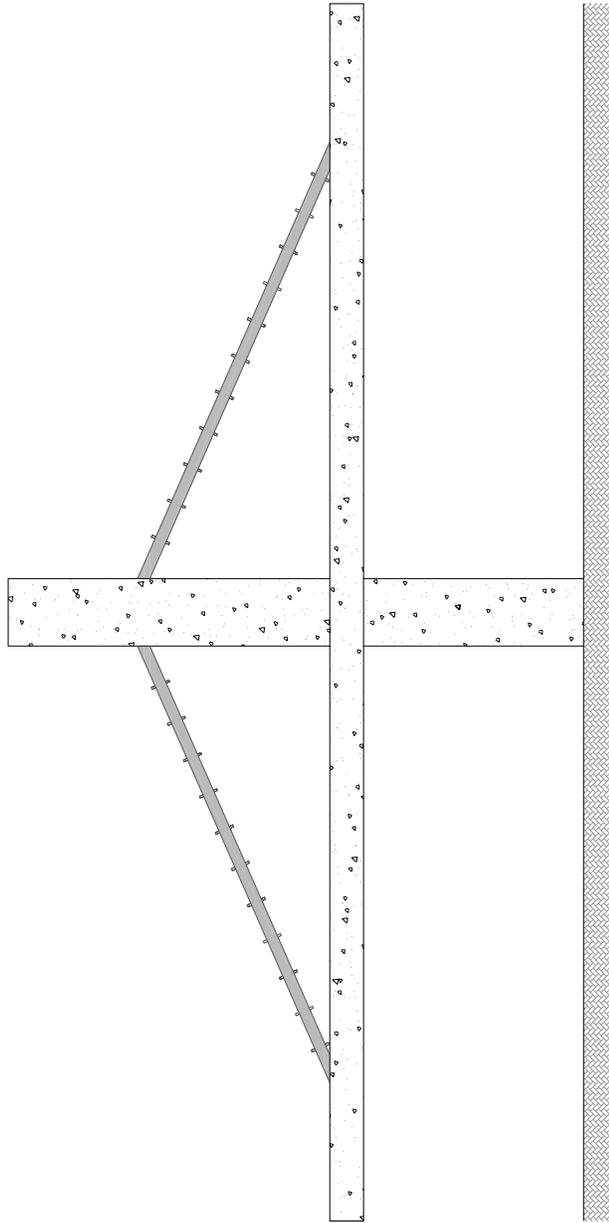


FIG. 2.3 VISTA LATERAL

	1444 PROFESIONES			
	EVALUACION DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.			
Presenta:	MARGARITO CAMILO SANTIAGO	Director de tesis:	ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ	
Comité de Supervisión:	MCS/JGC	Fecha:	23/May/2017	
Escuela:	VISTA LATERAL	Hoja:	2.3	

## **B. Descripción de la estructura y su cimentación**

La estructura en revisión, cuenta con una losa de cimentación de concreto reforzado, con un espesor de 0.30 m, de acuerdo a las copias de los planos y está rigidizada en sentido transversal con cuatro contratrabes rectangulares de 1.75 m de peralte por 0.20 m de ancho en los ejes B', C, D y D'. En el sentido longitudinal, por dos contratrabes rectangulares con 1.75 m de peralte por 0.30 m de ancho, en los ejes 1a y 1b, con una profundidad mínima de desplante de 1.0 m, figuras 2.4 y 2.5.

El sistema de techo (nivel azotea), está conformado por trabes de concreto reforzado de 0.90 m de peralte y de anchos variables en todos los ejes, excepto en los ejes 1a y 1b; cuenta además con un espesor de losa de 0.15 m. El sistema, está soportado por dos columnas de concreto reforzado con dimensiones de 1.80 m por 0.40 m y que sobresalen de ella, figura 2.6.

Además en las columnas, se encuentran sujetos o apoyados, un sistema de cables, que también toman parte del peso de la losa. Los cables son de sección circular con 0.06 m de diámetro, actualmente están protegidos por elementos doble caña de acero en forma de tubo y están anclados a las columnas y a las trabes secundarias de los ejes principales B y E, figura 2.7.

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA

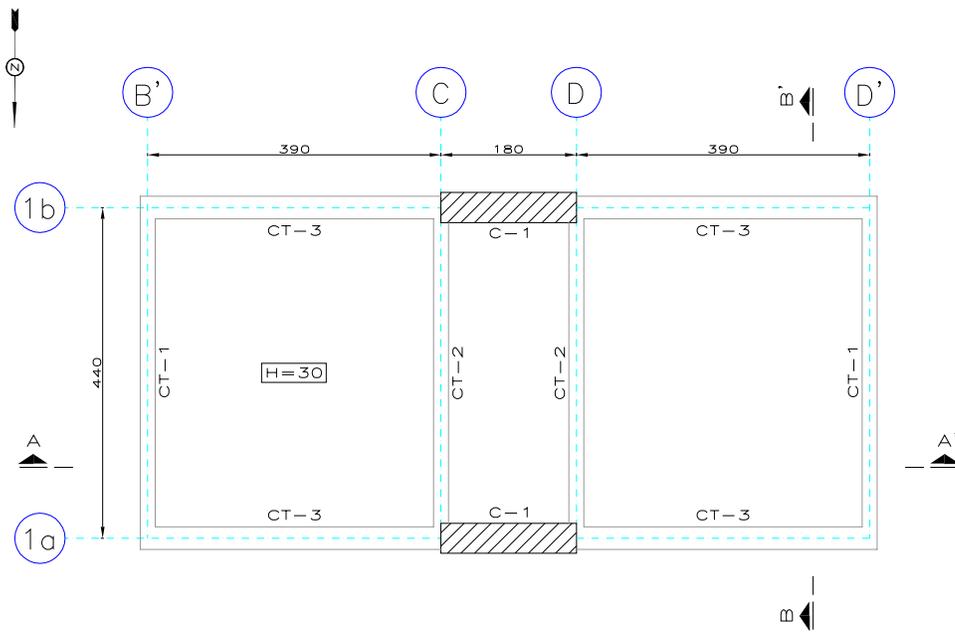


FIG. 2.4 PLANTA DE CIMENTACIÓN

## NOTAS

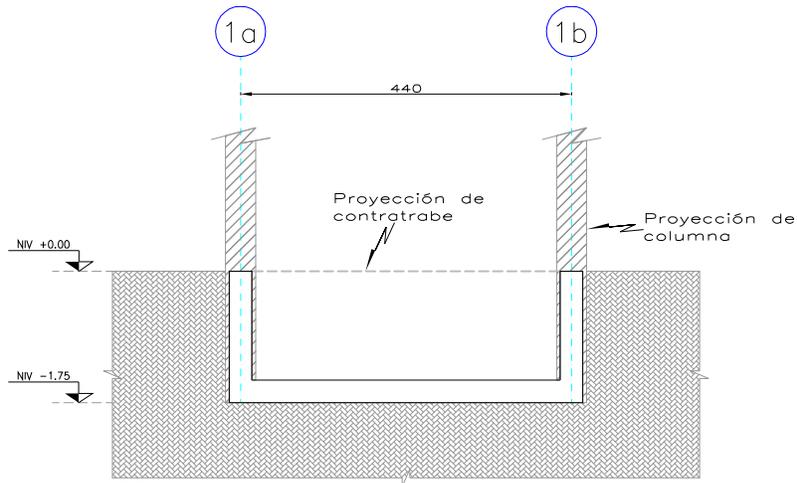
1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $\text{cm}^2$ .

## SIMBOLOGÍA

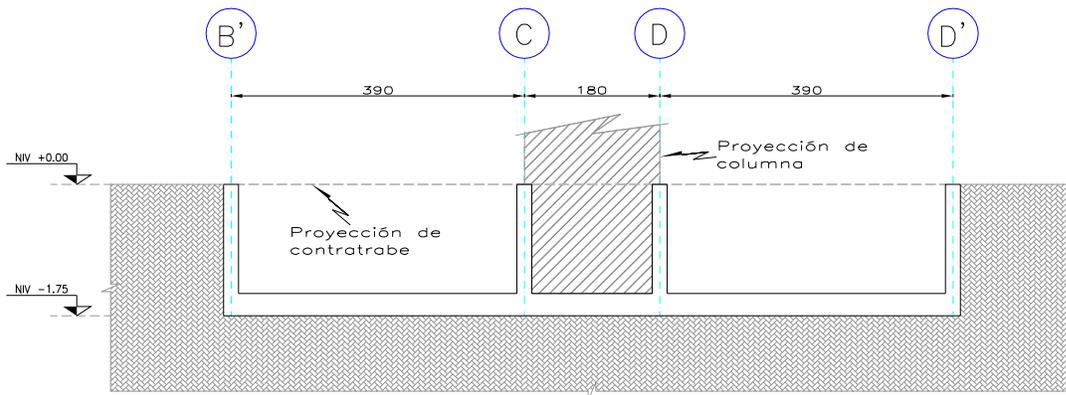
C-1 : COLUMNA.  
 CT : CONTRATRABE.  
 H : PERALTE DE LOSA (cm).

tesis profesional			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta: MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis: ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
concepto:	revisado:	revisado:	revisado:
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA	MCS/JGCh	PLANTA	1:100
dibujos:	PLANTA DE CIMENTACIÓN	fecha:	23/MAY/2017
			figura: 2.4

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA



CORTE B-B'



CORTE A-A'

FIG. 2.5 PLANTA DE CIMENTACIÓN

## NOTAS

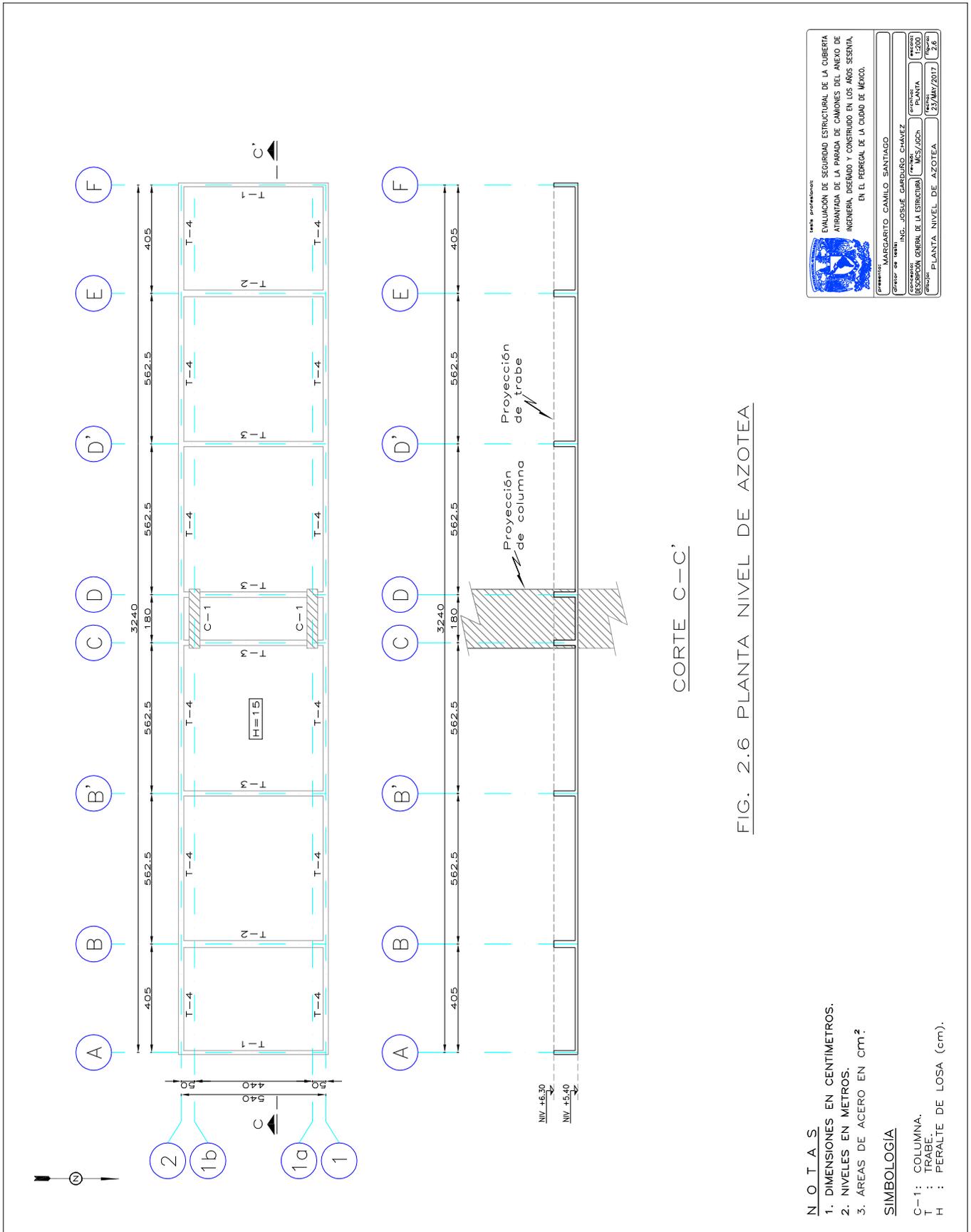
1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $\text{cm}^2$

## SIMBOLOGÍA

- C-1: COLUMNA.  
 CT : CONTRATRABE.  
 H : PERALTE DE LOSA (cm).

tesis profesional: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta: <b>MARGARITO CAMILO SANTIAGO</b>			
director de tesis: <b>ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ</b>			
concepto:	revisado:	archivo:	revisión:
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA	MCS/JCh	PLANTA	1:100
dibujo:	PLANTA DE CIMENTACIÓN	fecha:	figura:
		23/MAY/2017	2.5

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA



**SEAL PROFESIONAL**

EVALUACION DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA  
ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE  
INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA,  
EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

PRESENTE:	MARGARITO CAMILO SANTIAGO	PROFESION:	INGENIERO
Director de obra:	ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ	PROYECTO:	PLANTA
COORDINADOR GENERAL DE LA ESTRUCTURA:	MCS/JGC	FECHA:	12/20
PROYECTO:	PLANTA NIVEL DE AZOTEA	ESCALA:	2.5

FIG. 2.6 PLANTA NIVEL DE AZOTEA

- N O T A S**
1. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.
  2. NIVELES EN METROS.
  3. AREAS DE ACERO EN CM<sup>2</sup>
- SIMBOLOGIA**
- C-1: COLUMNA.  
T : TRABE.  
H : PERALTE DE LOSA (cm).

# DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA

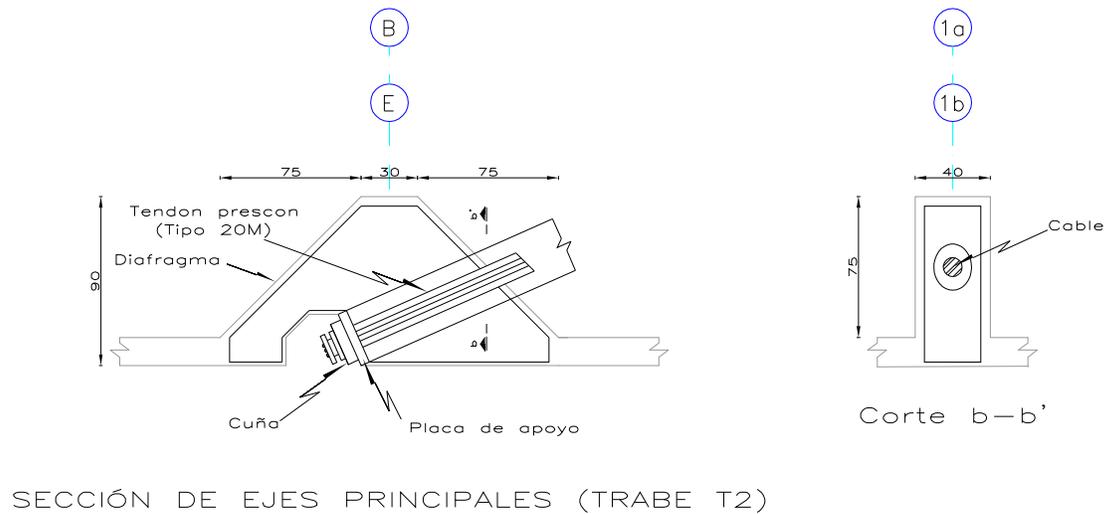
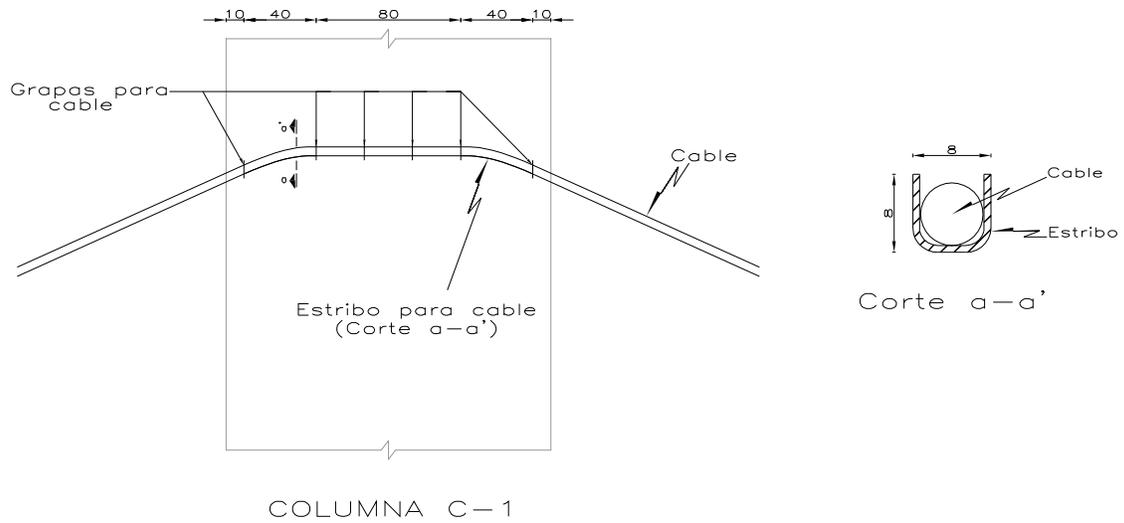


FIG. 2.7 ANCLAJE DE CABLE EN COLUMNAS Y TRABES

## NOTAS

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $\text{cm}^2$

<b>tesis profesional</b>			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta: <b>MARGARITO CAMILO SANTIAGO</b>			
director de tesis: <b>ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ</b>			
concepto:	revisó:	revisó:	revisó:
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA	MCS/JCCh	ANCLAJE	S/E
dibujo:	fecha:		figura:
CABLE EN COLUMNA Y TRABE	23/MAY/2017		2.7

### **C. Tipificación de la construcción**

El Puente del Anexo de Ingeniería, obviamente no es un edificio o una estructura que se encuentre dentro de las clasificaciones marcadas en el artículo 139, del Título Sexto, “De la seguridad estructural de las construcciones”, del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en su versión 2004 (RCDF-04), pero, por estar localizada dentro de una zona escolar, se clasificó dentro del Grupo A.

De acuerdo al RCDF-04, Capítulo VIII, en su artículo 170, la clasificación del tipo de suelo donde se encuentra la estructura, está ubicado dentro de la Zona I (figura 2.8), formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los cuales pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos.

La formación de suelo que hay en Ciudad Universitaria, consiste en rocas volcánicas que provienen de la erupción del volcán Xitle.

# DESCRIPCION GENERAL DE LA ESTRUCTURA

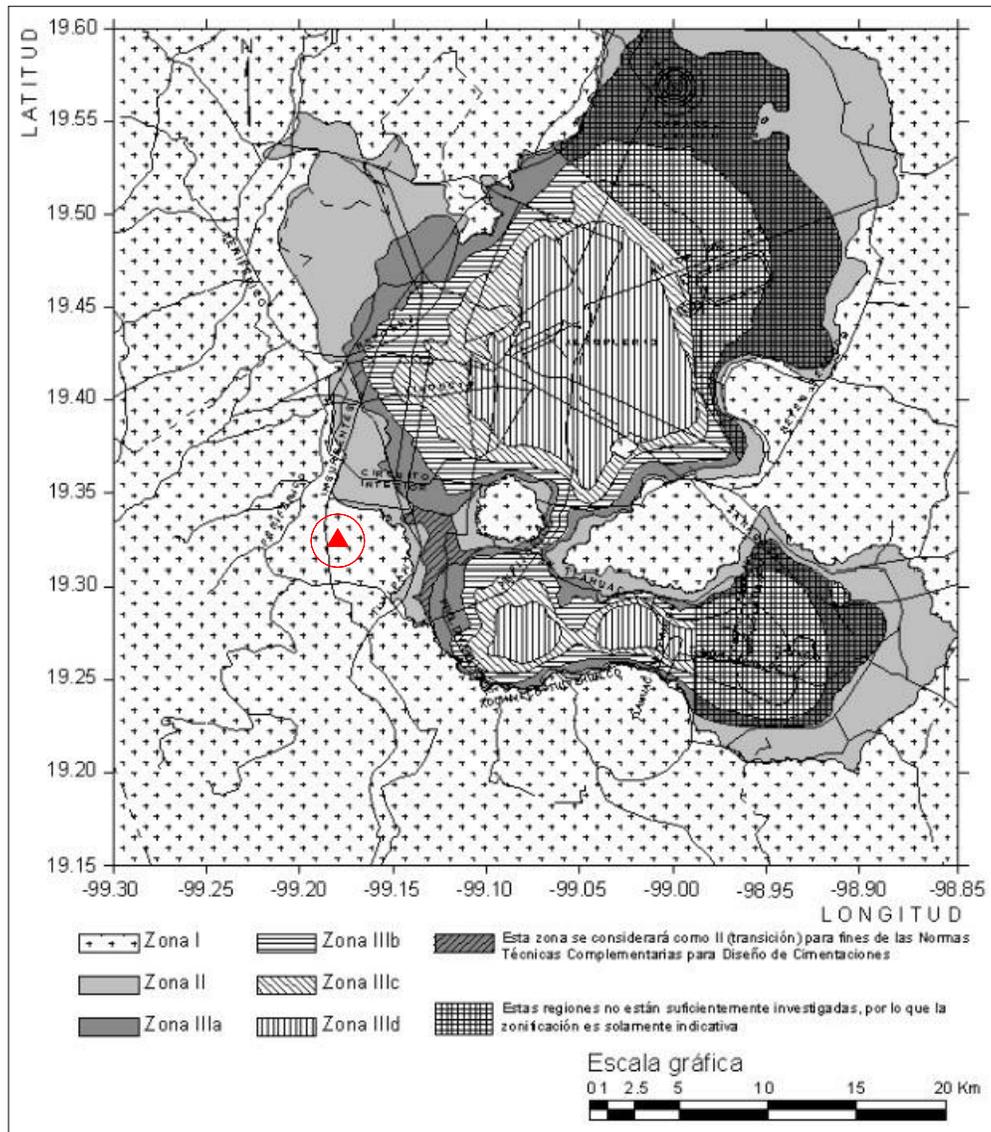


FIG 2.8 ZONIFICACIÓN DEL DF, PARA FINES DE DISEÑO POR SISMO.

**SIMBOLOGÍA**

▲ UBICACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO

 tesis profesional: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta:			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis:			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
conceptos:	revisado:	elaboró:	revisó:
DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA	MCS/JCCh	zoni.DF	5/E
dibujos:	ZONIFICACIÓN DEL DF, PARA DISEÑO	fecha:	23/MAY/2017
			num:

### III. ESTUDIOS ANALÍTICOS

### III. ESTUDIOS ANALÍTICOS

El ingeniero estructurista tiene como función calcular y diseñar sistemas estructurales capaces de resistir sin llegar al colapso, para lo cual, debe considerar las acciones y cargas que se presentan durante la vida útil de la construcción, así como los efectos de los sismos y del viento, que ocurran en la región o zona donde se edificará, salvaguardando la vida de los ocupantes y protegiendo los contenidos.

El objetivo del análisis y diseño estructural, consiste en determinar las dimensiones y características de los elementos de una estructura, para que ésta cumpla cierta función, con un grado de seguridad adecuado. Debido a esto, es preciso conocer las relaciones que existen entre las características de los elementos, las acciones que deben soportar y los efectos que se producen en el sistema estructural, para evaluar las características de la acción-respuesta de la estructura en estudio.

La respuesta de una estructura o de un elemento, se mide a través del comportamiento bajo una acción determinada, misma que puede presentarse como un conjunto de agrietamientos, vibraciones o deformaciones. Al evaluar la respuesta correspondiente a una acción determinada, es necesario tomar en cuenta la forma de aplicación de las cargas, ya que éstas, ejercen una influencia muy importante en dicha respuesta, por lo que, el comportamiento de la estructura, dependerá de si la acción es instantánea, de corta duración, sostenida, cíclica, etc.

En el análisis del Puente del Anexo, se realizó un modelo matemático, lo más apegado a la estructura existente, para ello se tomaron en cuenta las características geométricas, propiedades de materiales, las acciones a las que está expuesta la estructura y su ubicación del puente.

Se determinaron los valores de las cargas y acciones sobre la estructura, así como su posición para determinar las combinaciones más desfavorables que, de acuerdo al reglamento puedan presentarse.

#### A. Bases y especificaciones

Para la evaluación estructural se utilizaron las Normas y Códigos siguientes:

- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en su versión 2004 (RCDF-04).
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto (NTC'con).
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC'sis).
- Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTC'edif).
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTC'cim)
- The Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02).

## B. Análisis de cargas

### B. 1 Cargas Muertas

Las cargas muertas se definen como los pesos de todos los elementos estructurales y no estructurales, que ocupan una posición permanente y no cambian sustancialmente con el tiempo.

Para el análisis de este caso, solo se consideró el peso propio de la estructura y el relleno de la azotea para dar pendiente, figura 3.1.

#### CARGA MUERTA EN AZOTEA

Sistema de relleno para pendiente de azotea

Tezontle	130 kgf/m <sup>2</sup>
Firme	60 kgf/m <sup>2</sup>
Enladrillado	30 kgf/m <sup>2</sup>
Impermeabilizante	5 kgf/m <sup>2</sup>
Sobrecarga (RCDF-04)	<u>40 kgf/m<sup>2</sup></u>

$$CM = 265 \text{ kgf/m}^2$$

El peso propio de la estructura fue considerado por el programa SAP 2000 en el que se modeló el Puesto del Anexo y en el cual se realizó el análisis estructural.

### B. 2 Cargas Vivas

Se consideran cargas vivas las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen carácter permanente; de acuerdo a lo mencionado en las bases y especificaciones, se considera el sistema de piso de la estructura como una azotea con pendiente no mayor de 5%; por lo que las cargas a considerar son las siguientes:

#### CARGA VIVA MÁXIMA EN AZOTEA

Azotea con pendiente no mayor de 5 %       $CV_{\text{máx}} = 100 \text{ kgf/m}^2$

#### CARGA VIVA ACCIDENTAL EN AZOTEA

Azotea con pendiente no mayor de 5 %       $CV_a = 70 \text{ kgf/m}^2$

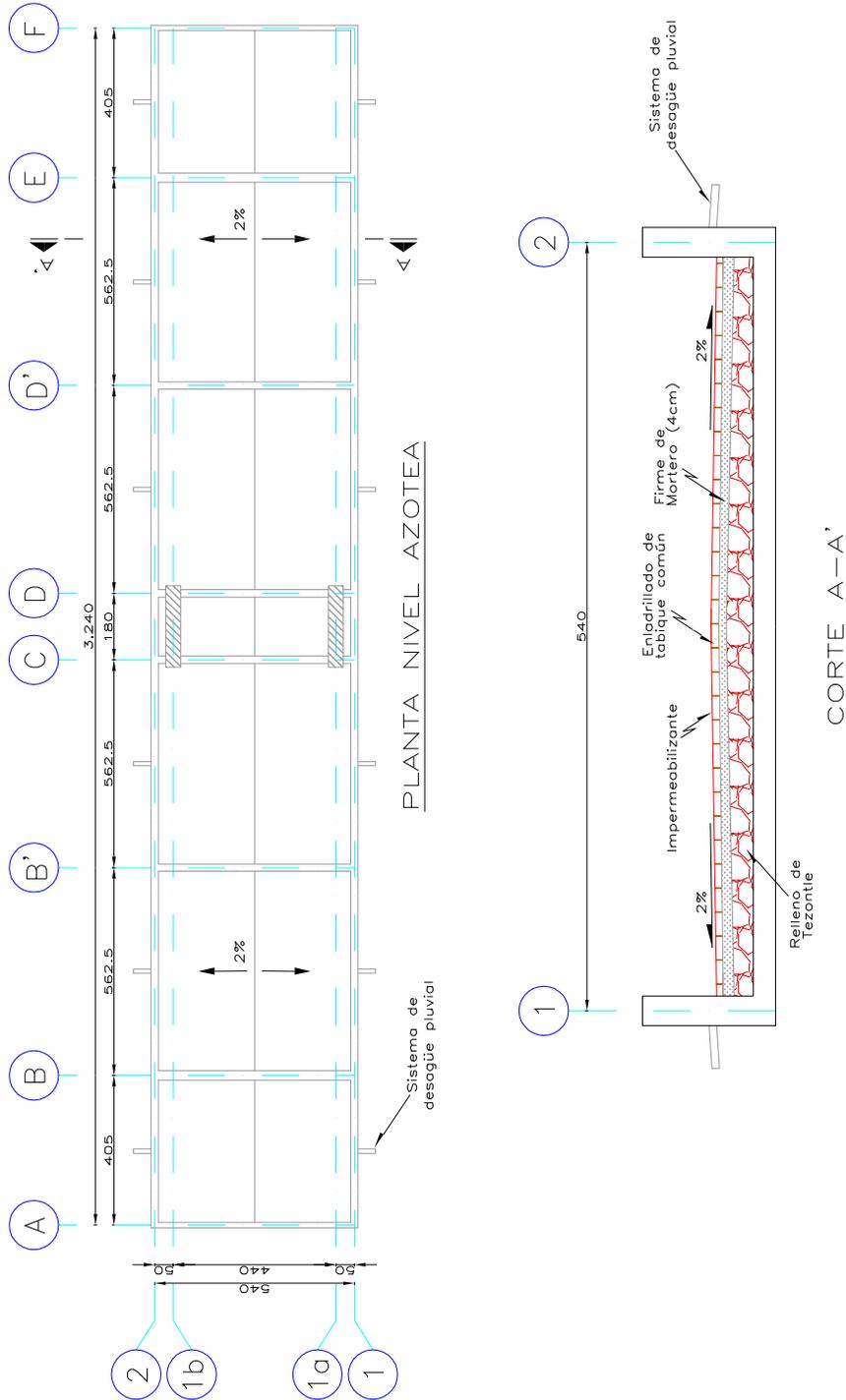


FIG. 3.1 SISTEMA DE RELLENO PARA PENDIENTE EN NIVEL AZOTEA.

**N O T A S**

- 1. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.
- 2. NIVELES EN METROS.
- 3. AREAS DE ACERO EN CM<sup>2</sup>

**SIMBOLOGIA**

% : Porcentaje de pendiente en azotea.

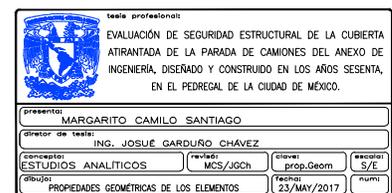
INSTITUTO DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA DE MEXICO EVALUACION DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.	
PRESENTA: MARGARITO CAMILO SANTIAGO Director de tesis	ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ
CONCEPTO: ESTUDIOS ANALITICOS	MSC/JGCN
FECHA:	23/May/2017

### **C. Propiedades geométricas de los elementos**

Las propiedades geométricas de los elementos que componen el sistema de la estructura, fueron tomadas de acuerdo a copias de los planos estructurales. Las geometrías básicas están formadas principalmente por elementos barra y placa (shell), además de los cables de acero. En la tabla 3.1, se presentan dichas propiedades.

Notación	TRABES	b(cm)	d(cm)	A(cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>z</sub> (cm <sup>4</sup> )
T-1		15	90	1350	25310	911300	90620
T-2		25	90	2250	117200	1520000	386800
T-3		20	90	1800	60000	1220000	206400
T-4		20	90	1800	60000	1220000	206400
	COLUMNAS						
C-1		180	40	7200	19440000	960000	3300000
	TIRANTES						
T		6	6	28.27	63.62	63.62	127.2

TABLA 3.1 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES



### D. Propiedades mecánicas de los materiales

Se usaron como datos de resistencias de los concretos,  $f'_c$ , aquellos que se encontraron en las notas generales de las copias de los planos estructurales.

Para el cálculo del módulo de elasticidad del concreto,  $E_c$ , se emplearon las ecuaciones de la sección 1.5.1.4 de las NTC'con, como a continuación se expresan.

$$E_c = 14,000 \sqrt{f'_c} \quad \left( f'_c \geq 250 \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \right); \quad \text{Concreto clase 1}$$

$$E_c = 8,000 \sqrt{f'_c} \quad \left( 200 \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \leq f'_c < 250 \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \right); \quad \text{Concreto clase 2}$$

Tabla 3.2. Propiedades mecánicas de los materiales

Material	$f'_c$ $\left( \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \right)$	$f_y$ $\left( \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \right)$	$\gamma_{vol}$ $\left( \frac{\text{Ton}_f}{\text{m}^3} \right)$	Módulo de Poisson	Módulo de Elasticidad $\left( \frac{\text{kg}_f}{\text{cm}^2} \right)$
Concreto clase 1	350	---	2.40	0.20	261,916
	280	---	2.40	0.20	234,265
Concreto clase 2	210	---	2.40	0.20	115,931
Acero de refuerzo	---	4,200	7.85	0.30	2,040,000
Acero estructural (A-36)	---	2,530	7.85	0.30	2,040,000

## **E. Análisis sísmico**

El movimiento del suelo generado por un movimiento telúrico, consta de vibraciones con componentes horizontales y verticales, las cuales son transmitidas a todas las estructuras que se apoyan sobre la superficie terrestre. Cuando esto sucede, la base del edificio tiende a seguir el movimiento del suelo, mientras que, por inercia, la masa del edificio se opone a ser desplazada y seguir el movimiento de su base. Esto genera fuerzas de inercia que, a su vez, producen esfuerzos y deformaciones que pueden poner en peligro la estabilidad de la construcción. Las características geométricas, propiedades mecánicas y dinámicas de la estructura ante un movimiento del suelo, definen los modos de vibrar de la estructura, siendo éstos diferentes a la del suelo. El llamado análisis dinámico o análisis modal aprovecha estos modos de vibrar de la estructura para determinar sus desplazamientos.

El análisis dinámico o modal implica el uso de los modos de vibrar y espectros de diseño cuyo objetivo es el de conocer la respuesta máxima de la estructura, que generará un sismo. Sin embargo, como es evidente, no es posible predecir los acelerogramas de sismos futuros. Por esta razón los reglamentos prescriben la intensidad sísmica de diseño mediante espectros de temblores reales a los cuales se les ensanchan los picos y se les eliminan los valles, llamados espectros suavizados. A partir de los desplazamientos obtenidos se pueden estimar las fuerzas actuantes en los diferentes componentes de la estructura.

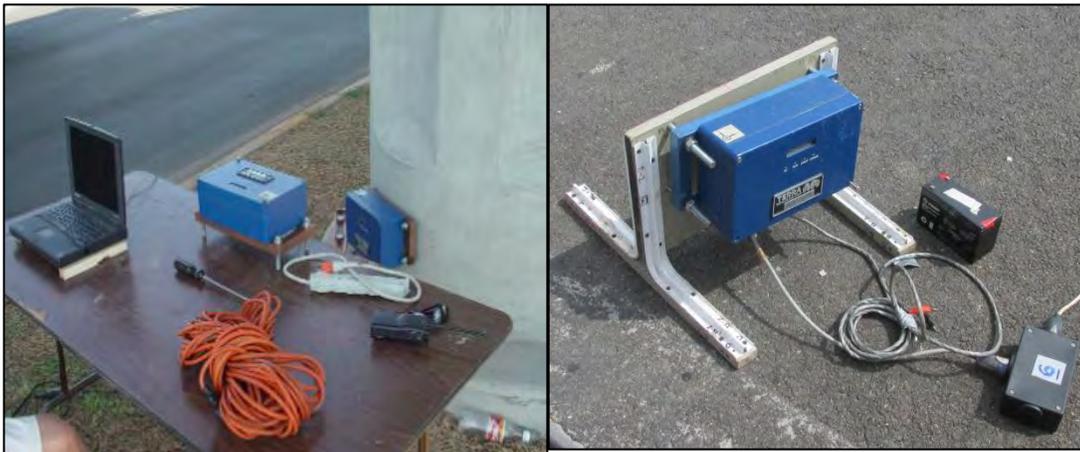
### **E. 1 Estudio de vibración ambiental de la estructura**

Como parte de los trabajos de campo realizados, se elaboró un estudio de vibración ambiental, con el fin de conocer las aceleraciones que se presentan en la estructura, en sus tres direcciones ortogonales: vertical (V), longitudinal (L) y transversal (T), debido a los movimientos (poco perceptibles) inducidos por la interacción del medio circundante por parte del tránsito vehicular y peatonal. Este estudio se realizó con el objetivo de conocer los períodos de vibración de cada registro de aceleraciones que se obtuvo.

El registro de aceleraciones, se obtuvo instalando equipos (acelerómetros), colocados en serie en el sistema de piso, para lo cual se instalaron dos tipos de arreglo. Estos aparatos son registradores digitales GSR (captan la vibración de la estructura en unidades de aceleración), marca Terra Technology, con un rango de medición de aceleración máxima de 0.25 a 2 veces la de la gravedad.

El equipo para medir la vibración ambiental consta de los siguientes componentes:

- Acelerómetro (GSR Terra Technology) con base.
- Cable de conexión para envío de información.
- Computadora portátil.
- Pila de 12 Volts.



*Imagen 3.1. Equipo utilizado para medir vibración ambiental*

En la figura 3.2, se presentan los arreglos 1 y 2, donde se observa la posición de los equipos para cada arreglo correspondiente.

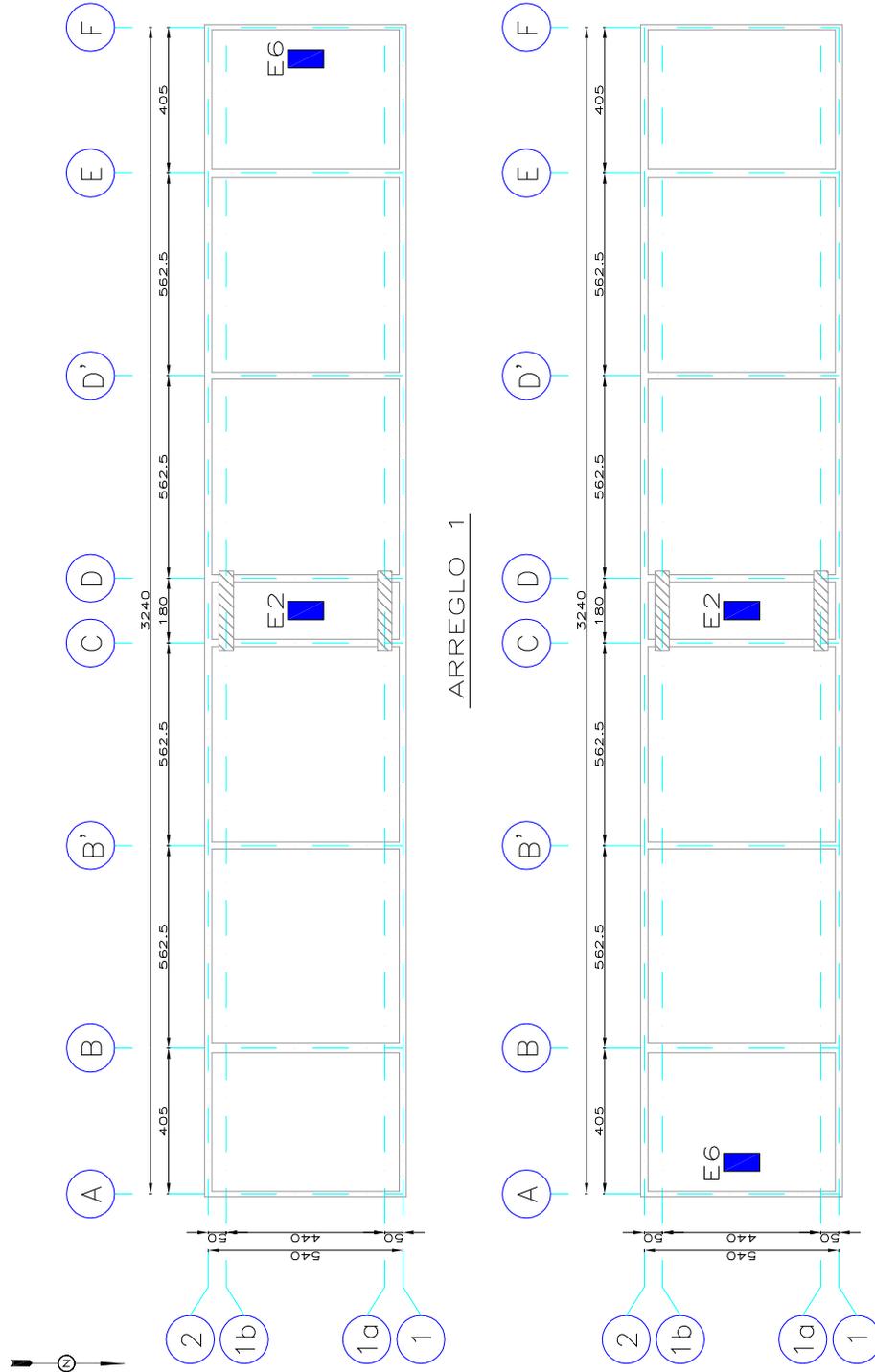


FIG. 3.2 POSICIÓN DE EQUIPOS (ACELERÓMETROS) DE LOS ARREGLOS 1 Y 2

**N O T A S**

- 1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
- 2. NIVELES EN METROS.

**SIMBOLOGÍA**

EX : EQUIPO NUMERO DE EQUIPO

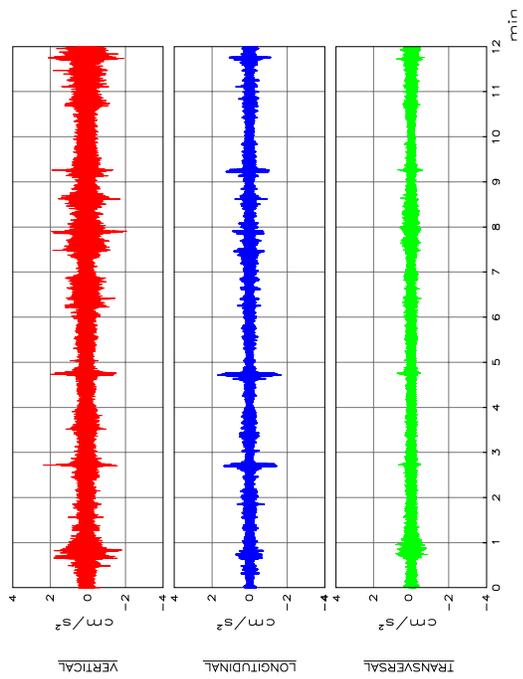
INSTITUTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.	
PRESENTA: MARGARITO CAMILO SANTIAGO Director de tesis: ING. JOSUÉ GARDUÑO CHAVEZ	PROYECTA: ESTUDIOS ANALITICOS Fecha: 23/Mar/2017
TÍTULO: EQUIPOS EN AZOTEA	ESCALA: 1/200

Para la obtención del registro de aceleraciones, se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

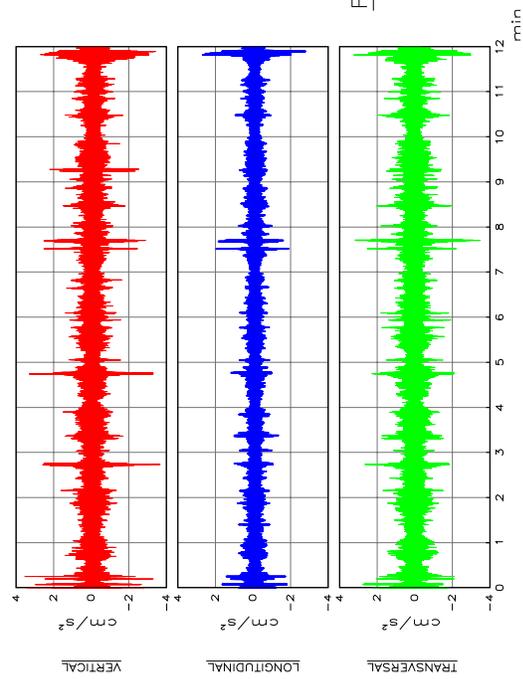
1. Se plantean los arreglos necesarios para la obtención de los registros, además se proponen el número de mediciones (disparos) por cada arreglo y duración de la medición.
2. En este caso solo se definieron dos arreglos como se muestra en la figura 3.2.
  - 2.1 Cada equipo tiene que ser prenivelado mecánicamente, conectarse en serie y después se calibran realizando mediciones de prueba.
3. Una vez conectado y calibrado el equipo, se inician las mediciones correspondientes para el arreglo número 1.
4. Para cada arreglo se realizaron tres disparos, de doce minutos aproximadamente.
5. Una vez terminado el registro de aceleraciones del arreglo 1, se prosiguió con la medición del arreglo número 2.
6. Para el arreglo 2, se realiza el mismo procedimiento.
7. Después de terminar el registro de aceleraciones del arreglo 1 y 2, se prosiguió con el procesamiento de los registros obtenidos de la memoria de los equipos de medición para su respectivo análisis.

La interpretación de los registros de aceleraciones se hizo mediante un análisis por pares de señales (Bendat y Piersol, 1989). Este análisis utiliza el método que consiste en procesar las aceleraciones medidas en campo mediante la transformada rápida de Fourier (FFT), siendo una herramienta matemática que permite convertir los registros de aceleración que pertenecen al dominio del tiempo, en valores de amplitud correspondientes al dominio de la frecuencia.

Las aceleraciones registradas de la estructura se procesaron y se analizaron mediante espectros de Fourier, parámetro ya mencionado, para la obtención de las frecuencias y posteriormente obtener los periodos de cada registro. Por las características de la estructura, las frecuencias identificadas fueron aquellas que están asociadas a las ordenadas máximas mostradas en las funciones del espectro de Fourier y que son las que determinan los modos de vibrar y períodos predominantes de la estructura. Para observar el registro de aceleraciones de cada arreglo, ver figura 3.3 y figura 3.4, posteriormente en la figura 3.5 se presentan los espectros de Fourier representativos para la determinación de la frecuencia de cada modo de la estructura y así obtener los períodos de vibración.



Aceleraciones vs tiempo del Equipo 6.



Aceleraciones vs tiempo del Equipo 2.

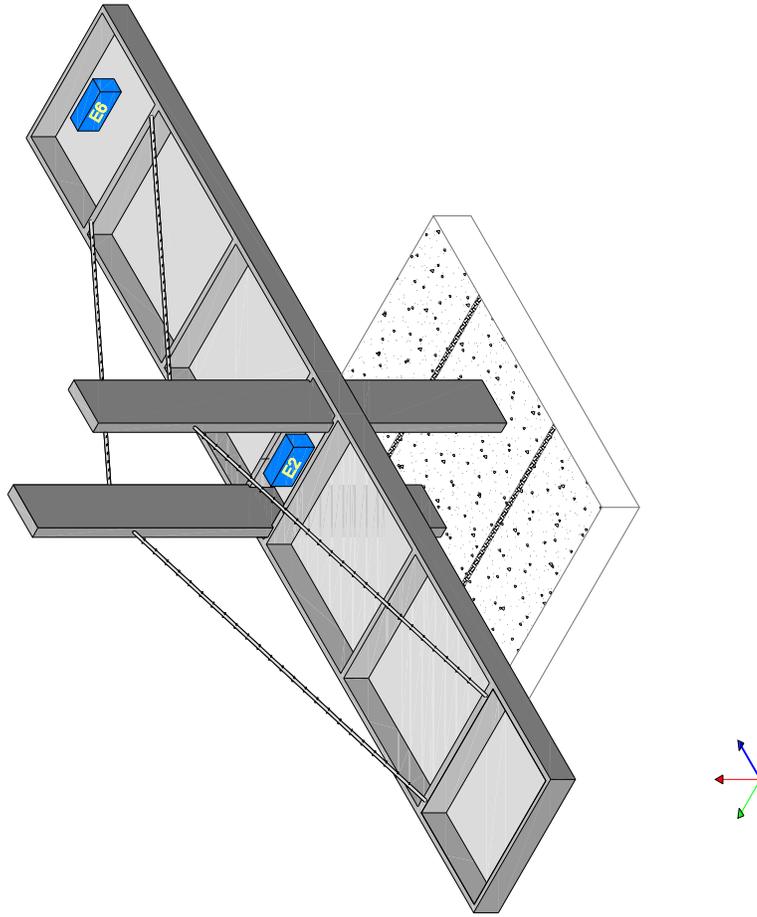


FIG. 3.3 REGISTRO DE ACELERACIONES DEL ARREGLO 1.

	INSTITUCIÓN: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.		
	PRESENTADO POR: MARGARITO CAMILO SANTIAGO	DIRECTOR DE TRABAJO: ING. JOSUÉ GARDUÑO CHAVEZ	FECHA: 23/May/2017
INSTITUCIÓN: ESTUDIOS ANALÍTICOS	REGISTRO: MCS/ISSV/CBD	CATEGORÍA: S/E	ESTADO: N/A
REGISTRO DE ACELERACIONES		FECHA: 23/May/2017	ESTADO: N/A

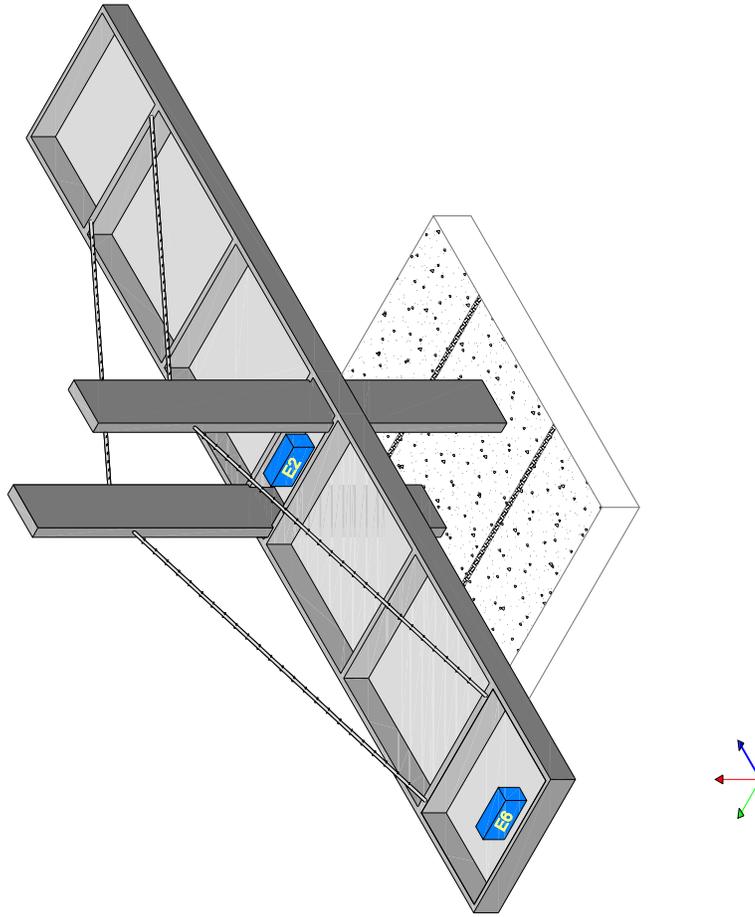
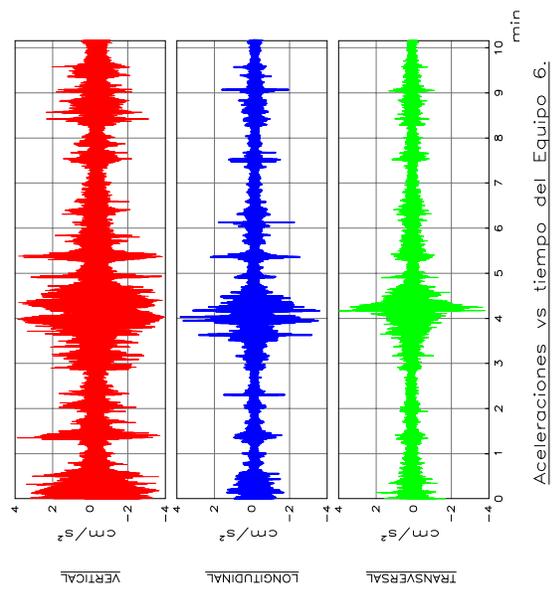
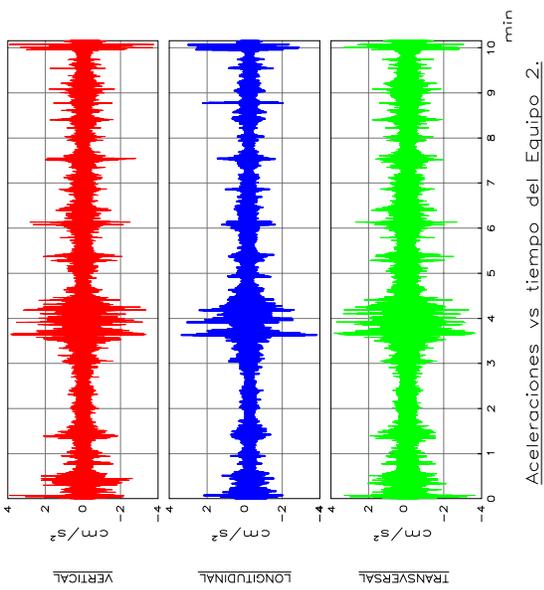


FIG. 3.4 REGISTRO DE ACELERACIONES DEL ARREGLO 2.

	ESTUDIOS ANALÍTICOS			REGISTRO DE ACELERACIONES		
	MARGARITO CAMILO SANTIAGO			ING. JOSUÉ GARDUÑO CHAVEZ		
Director de Estudios		MCS/ISSV/CBD		Fecha		Estado
ESTUDIOS ANALÍTICOS		MCS/ISSV/CBD		23/May/2017		S/E
REGISTRO DE ACELERACIONES						N/A

EVALUACION DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA  
 ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE  
 INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA,  
 EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

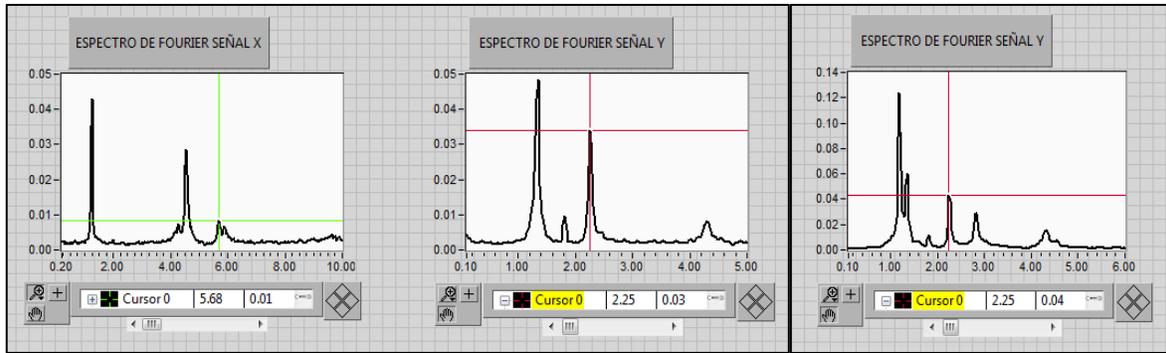


Figura 3.5. Espectros de Fourier representativos para determinar las frecuencias de cada modo

Después del análisis e interpretación de los registros de aceleraciones, se obtuvieron los 3 principales modos de vibrar de la estructura, esto mediante las frecuencias de cada modo. En la tabla 3.3, se muestran las frecuencias de la componente de cada modo; longitudinal (L), transversal, (T) y Torsional (Tor) así como los períodos respectivos.

Tabla 3.3. Periodos de la estructura obtenidos del estudio de vibración ambiental

Modo	Componente	Frecuencia (hz)	Periodo (seg)
1	Longitudinal (L)	1.25	0.80
2	Transversal (T)	1.35	0.74
3	Torsional (Tor)	2.20	0.45

La obtención de los períodos fundamentales de la estructura por medio de la vibración ambiental, sirvió de apoyo para calibrar el modelo tridimensional en el programa SAP 2000.

Después de calibrar el modelo tridimensional de la estructura en estudio, se realizó el análisis sísmico por el método de análisis dinámico o análisis modal y, en función de la distribución de la rigidez y la masa, el programa SAP 2000, mediante un análisis estructural con el Método de los Elementos Finitos (MEF), se determinó las propiedades dinámicas del sistema estructural como son los modos de vibrar, frecuencias y periodos naturales de vibración.

## E. 2 Espectro de diseño sísmico

Como se menciona en el capítulo II, la estructura se desplanta en un suelo que corresponde a la zona I y con los siguientes parámetros sísmicos, Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Parámetros sísmicos de la zona I para el espectro de diseño sísmico

Zona	c	$a_0$	$T_a$ (seg)	$T_b$ (seg)	r
I	0.16	0.04	0.20	1.35	1.0

Los valores anteriores, se emplean en la construcción de la gráfica del espectro de diseño sísmico, figura 3.5, usando las ecuaciones del capítulo 3, de las NTC'sis y se expresan como:

$$a = a_0 + \left[ (c - a_0) \frac{T}{T_a} \right] ; \quad \text{Si } T < T_a$$

$$a = c ; \quad \text{Si } T_a \leq T \leq T_b$$

$$a = q * c ; \quad \text{Si } T > T_b$$

$$q = \left[ \frac{T_b}{T} \right]^r$$

Donde:

$a$ : Ordenada del espectro de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

$c$ : Coeficiente sísmico.

$T$ : Periodo natural de vibración de la estructura.

$T_a, T_b$ : Periodos característicos de los espectros de diseño.

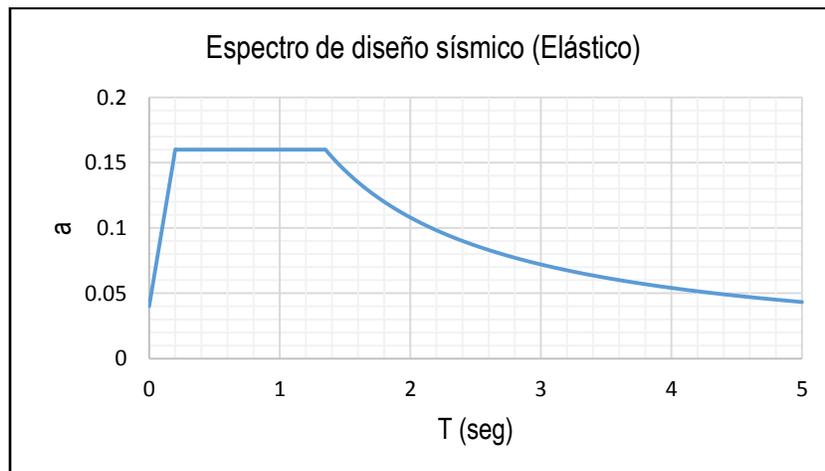


Figura 3.6. Espectro de diseño sísmico para la zona I

### E. 3 Factor de comportamiento sísmico

Las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo (NTC'sis), mencionan que se podrá utilizar un factor de comportamiento sísmico  $Q=2$  cuando la resistencia a fuerzas laterales es suministrada por losas planas y por muros de mampostería de piezas macizas confinados por castillos, dadas, columnas o trabes de concreto reforzado.

#### E. 3.1 Condiciones de irregularidad

La regularidad de un sistema estructural es muy importante ya que puede conducir a que el comportamiento del sistema, ante un sismo, sea mucho mejor que al de una estructura irregular y de esa forma, evitar efectos desfavorables y consecuentemente daños a la estructura o un posible colapso. Uno de esos efectos puede ser la torsión, ocasionado por una excentricidad.

Las NTC'sis establecen valores del factor de regularidad (F.R), el cual está determinado por el cumplimiento de los requisitos para designar si una estructura es regular, irregular o fuertemente irregular. Todos los requisitos de regularidad están referidos especialmente a edificaciones y no indican que sean aplicables a otro tipo de estructuras, como es éste caso.

Tratando de aplicar la revisión de la regularidad en la estructura, se observó que solo 3 de los 11 requisitos, se podían aplicar.

Requisitos para que una estructura se considere regular de acuerdo al capítulo 6 de las NTC'sis.

1) Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Estos son, además, sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.

**No aplica.**

2) La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2.5.

**No aplica.**

3) La relación de largo a ancho de la base no excede de 2.5.

**No aplica.**

4) En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.

**No aplica.**

5) En cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido y resistente.

**Cumple.**

6) No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda de 20 por ciento de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura; las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas en posición de un piso a otro, y el área total de aberturas no excede en ningún nivel de 20 por ciento del área de la planta.

**Cumple.**

7) El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que 110 por ciento del correspondiente al piso inmediato inferior ni, excepción hecha del último nivel de la construcción, es menor que 70 por ciento de dicho peso.

**No aplica.**

8) Ningún piso tiene un área, delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales, mayor que 110 por ciento de la del piso inmediato inferior ni menor que 70 por ciento de esta. Se exime de este último requisito únicamente al último piso de la construcción. Además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 por ciento a la menor de los pisos inferiores.

**No aplica.**

9) Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por traveses o losas planas.

**Cumple.**

10) Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50 por ciento de la del entrepiso inmediatamente inferior. El último entrepiso queda excluido de este requisito.

**No aplica.**

11) En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente,  $e_s$ , excede del diez por ciento de la dimensión en planta de ese entrepiso medida paralelamente a la excentricidad mencionada.

**No aplica.**

Para el análisis sísmico de la estructura se debe deducir el grado de regularidad estructural. Por razones ya antes descritas de no contar con información sobre regularidad estructural en la norma de este tipo de estructura, que solo cumple tres requisitos para una estructura regular y que además la estructura se encuentra en una zona escolar, la estructura se considera como fuertemente irregular.

El factor de comportamiento sísmico es afectado por un dicho factor de regularidad y consecuentemente las fuerzas sísmicas son reducidas ajustando así a un nuevo factor de comportamiento sísmico reducido,  $Q'$ , con este nuevo factor se hace la estimación de fuerzas sísmicas para la revisión de los estados límites de servicio y de falla de la estructura ante la presencia de un sismo.

### E. 3.2 Factor de reducción de fuerzas sísmicas

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas para análisis dinámico modal, se empleará un factor de reducción  $Q'$  (capítulo 4 de las NTC'sis), que se calcula de la siguiente forma:

$$Q' = Q ; \text{ Si se desconoce } T, \text{ o Si } T \geq T_a$$

$$Q' = 1 + \left[ \frac{T}{T_a} (Q - 1) \right] ; \quad \text{Si } T < T_a$$

$T$  se tomará igual al período natural de vibración del modo que se considere cuando se utilice el análisis dinámico modal;  $T_a$  es un período característico del espectro de diseño.  $Q$  es el factor de comportamiento sísmico.

Debido a que:

$$T = 0.80 \text{ seg} > T_a = 0.20 \text{ seg}$$

Entonces

$$Q' = Q = 2$$

### E. 3.3 Corrección por irregularidad

Según las NTC'sis toda estructura que no satisfaga uno o más de los 11 requisitos de regularidad, será considerada irregular. Para la corrección por irregularidad, el factor de reducción  $Q'$ , se multiplicará por 0.9 cuando no se cumpla con uno de los requisitos; por 0.8, cuando no se cumpla con dos o más de los requisitos; y por 0.7 cuando la estructura sea fuertemente irregular.

De acuerdo a la sección E. 3.1, la estructura se considera como fuertemente irregular y el factor de comportamiento sísmico  $Q$  se modificó de la siguiente manera:

Q'	F.R	Q'
2	0.7	1.4

Por lo tanto las fuerzas utilizadas en el modelo serán afectadas por el valor  $Q'=1.4$

## F. Condiciones básicas de carga

Con la finalidad de revisar los estados límite de servicio y de falla, las cargas que se consideraron para la estructura en estudio se pueden clasificar en muertas, vivas y accidentales (sismo y viento). Dichas cargas son fuerzas aplicadas a la estructura, que se analizan bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales (X, Y) y una componente vertical (Z), para así conocer mediante el comportamiento estructural, la respuesta de la estructura por medio de las deformaciones y fuerzas internas, que resulten al ser combinadas dichas cargas entre sí.

Para la estructura en estudio, se consideraron cinco condiciones básicas de carga; éstas a su vez, se combinan para revisar la seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de servicio y de falla, resultando así nueve combinaciones de carga para la revisión de los estados límites de servicio y nueve combinaciones de carga para la revisión de los estados límites de falla.

### Condiciones Básicas de Carga

- CC01 = Carga muerta (CM)
- CC02 = Carga viva máxima (CVmáx)
- CC03 = Carga viva accidental (CVa)
- CC04 = Sismo dinámico en dirección X (SDx)
- CC05 = Sismo dinámico en dirección Y (SDy)

## G. Combinaciones de carga

### Combinaciones de carga para la revisión de los Estados Límites de Servicio

- CC06 = 1.00 [CM + CVmáx]
- CC07 = 1.00 [CM + CVa + (SDx + 0.3 SDy)Q]
- CC08 = 1.00 [CM + CVa + (SDx - 0.3 SDy)Q]
- CC09 = 1.00 [CM + CVa + (-SDx + 0.3 SDy)Q]
- CC10 = 1.00 [CM + CVa + (-SDx - 0.3 SDy)Q]
- CC11 = 1.00 [CM + CVa + (0.3SDx + SDy)Q]
- CC12 = 1.00 [CM + CVa + (0.3SDx - SDy)Q]
- CC13 = 1.00 [CM + CVa + (-0.3SDx + SDy)Q]
- CC14 = 1.00 [CM + CVa + (-0.3SDx - SDy)Q]

### Combinaciones de carga para la revisión de los Estados Límites de Falla

$$CC15 = 1.5 [CM + CV_{\text{máx}}]$$

$$CC16 = 1.1 [CM + CVa + SDx + 0.3 SDy]$$

$$CC17 = 1.1 [CM + CVa + SDx - 0.3 SDy]$$

$$CC18 = 1.1 [CM + CVa - SDx + 0.3 SDy]$$

$$CC19 = 1.1 [CM + CVa - SDx - 0.3 SDy]$$

$$CC20 = 1.1 [CM + CVa + 0.3SDx + SDy]$$

$$CC21 = 1.1 [CM + CVa + 0.3SDx - SDy]$$

$$CC22 = 1.1 [CM + CVa - 0.3SDx + SDy]$$

$$CC23 = 1.1 [CM + CVa - 0.3SDx - SDy]$$

### H. Modelación analítica

Se construyó un modelo tridimensional, usando el programa de análisis estructural SAP 2000 versión 14, considerando la hipótesis de un comportamiento elástico-lineal de la estructura. En la modelación de la estructura se tomaron en cuenta todos los elementos principales como son columnas, losa, traveses y cables de acero. El modelo está referido a un sistema tridimensional global de coordenadas ortogonales, dos ejes X y Y, en las direcciones longitudinal y transversal, respectivamente, y el eje Z en la dirección vertical.

Se realizó el análisis en dos etapas. Primero se hizo un análisis modal, esto con el fin de obtener los modos de vibrar y el periodo fundamental de la estructura. En la segunda etapa, con los parámetros dinámicos (periodos de la estructura) obtenidos del estudio de vibración ambiental, el modelo se calibró para así obtener un modelo matemático más aproximado a la estructura. Después de haber calibrado el modelo, se prosiguió a realizar el análisis dinámico para evaluar los efectos del sismo.

Se establecieron cinco condiciones básicas de carga: Carga Muerta (CM), Carga Viva Máxima (CV<sub>máx.</sub>), Carga Viva Accidental (CVa), Sismo Dinámico en dirección X (SDx), Sismo Dinámico en dirección Y (SDy). Estas condiciones de carga se combinaron para revisar los estados límites de servicio y estados límites de falla.

### I. Modelación de la estructura

El modelo estructural de la cubierta atirantada (Puente del Anexo), se presenta de manera gráfica en las figuras 2.2 a 2.7, donde se pueden observar los elementos estructurales que la conforman y está representada con 223 nodos, 30 elementos barra, 180 elementos placa (shell) y 4 elementos cables, figuras 3.7 a 3.12; Al igual que el isométrico de la estructura, figura 3.13. Con estos elementos se construyó el modelo analítico del Puente del Anexo en el programa para su análisis estructural.

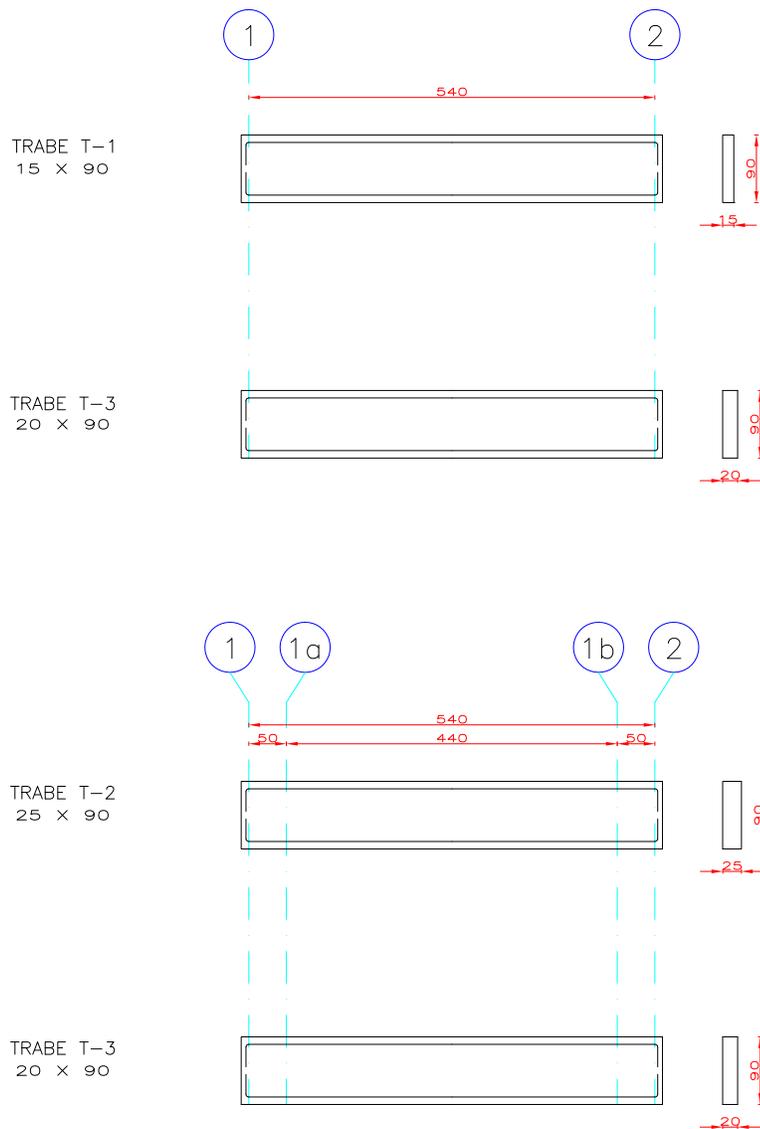


FIG. 3.7 SECCIONES DE TRABES PRINCIPALES

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $cm^2$ .

EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
<b>MARGARITO CAMILO SANTIAGO</b>			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
ESTUDIOS ANALITICOS	MCS/JGC	SECCIONES	1:100
SECCIONES DE TRABES PRINCIPALES		23/MAY/2017	3.7

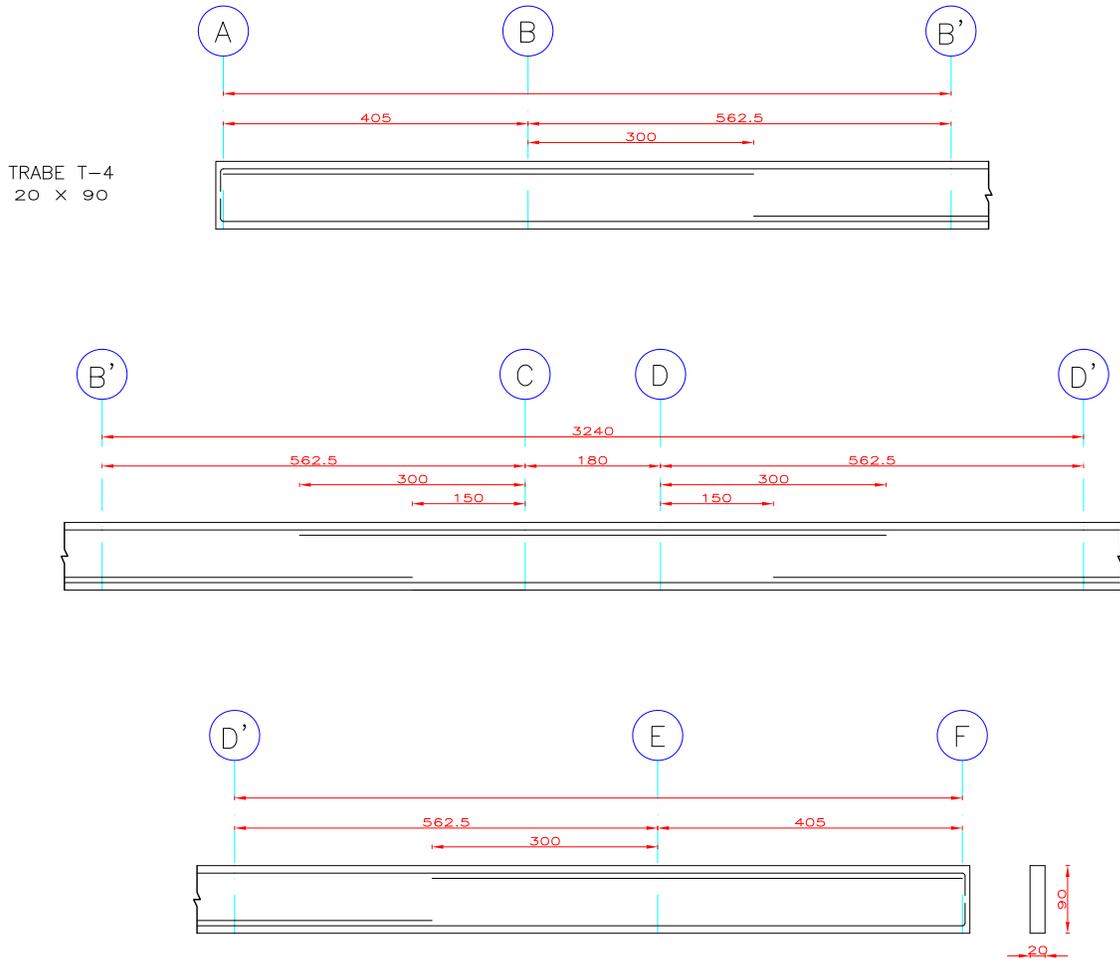


FIG. 3.8 SECCIONES DE TRABES PRINCIPALES

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $cm^2$

EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
ESTUDIOS ANALITICOS	MCS/JGC	SECCIONES	1:100
SECCIONES DE TRABES PRINCIPALES		23/MAY/2017	3.8

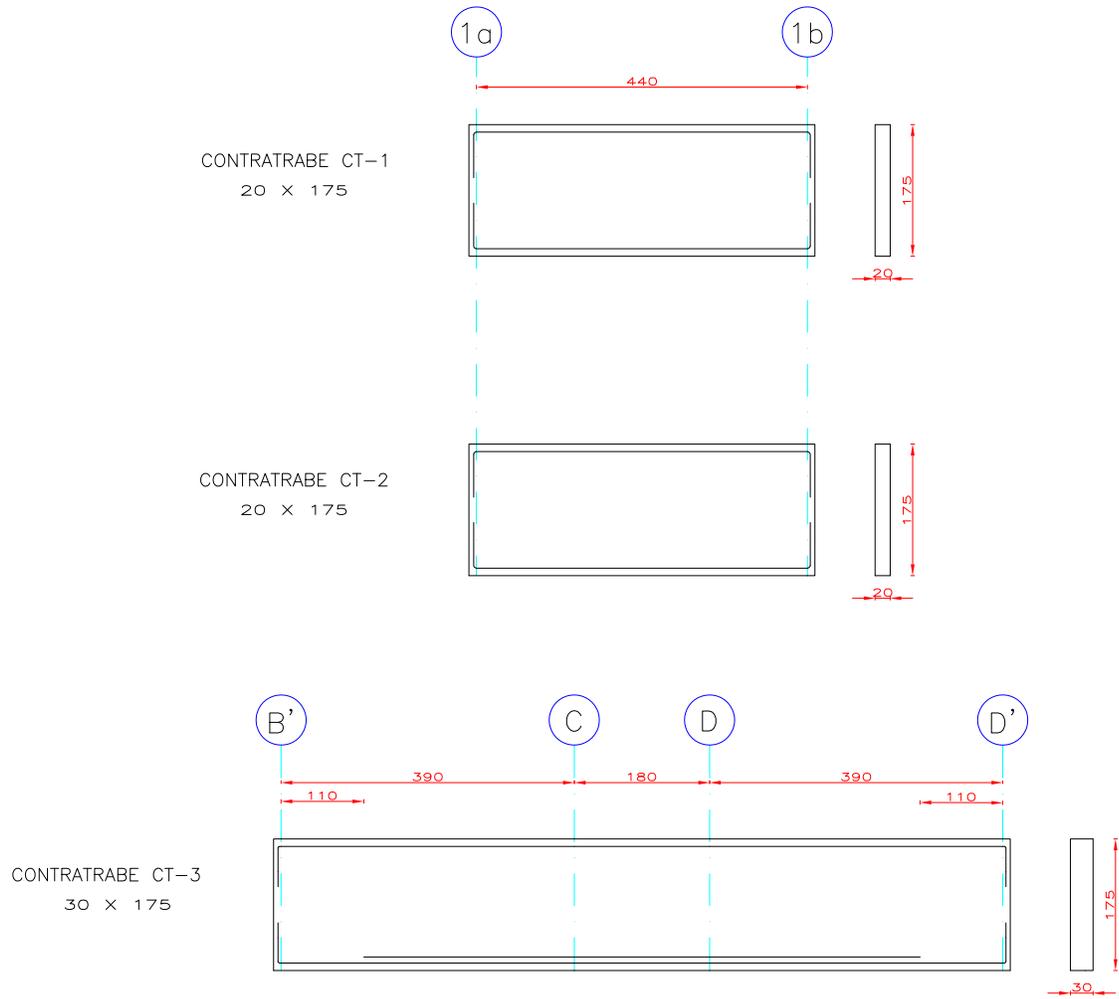


FIG. 3.9 SECCIONES DE CONTRATRABES PRINCIPALES

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $cm^2$

 Inge. profesional EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
ESTUDIOS ANALITICOS	MCS/JGCh	SECCIONES	1:100
SECCIONES DE CONTRATRABES PRINCIPALES		23/MAY/2017	3.9

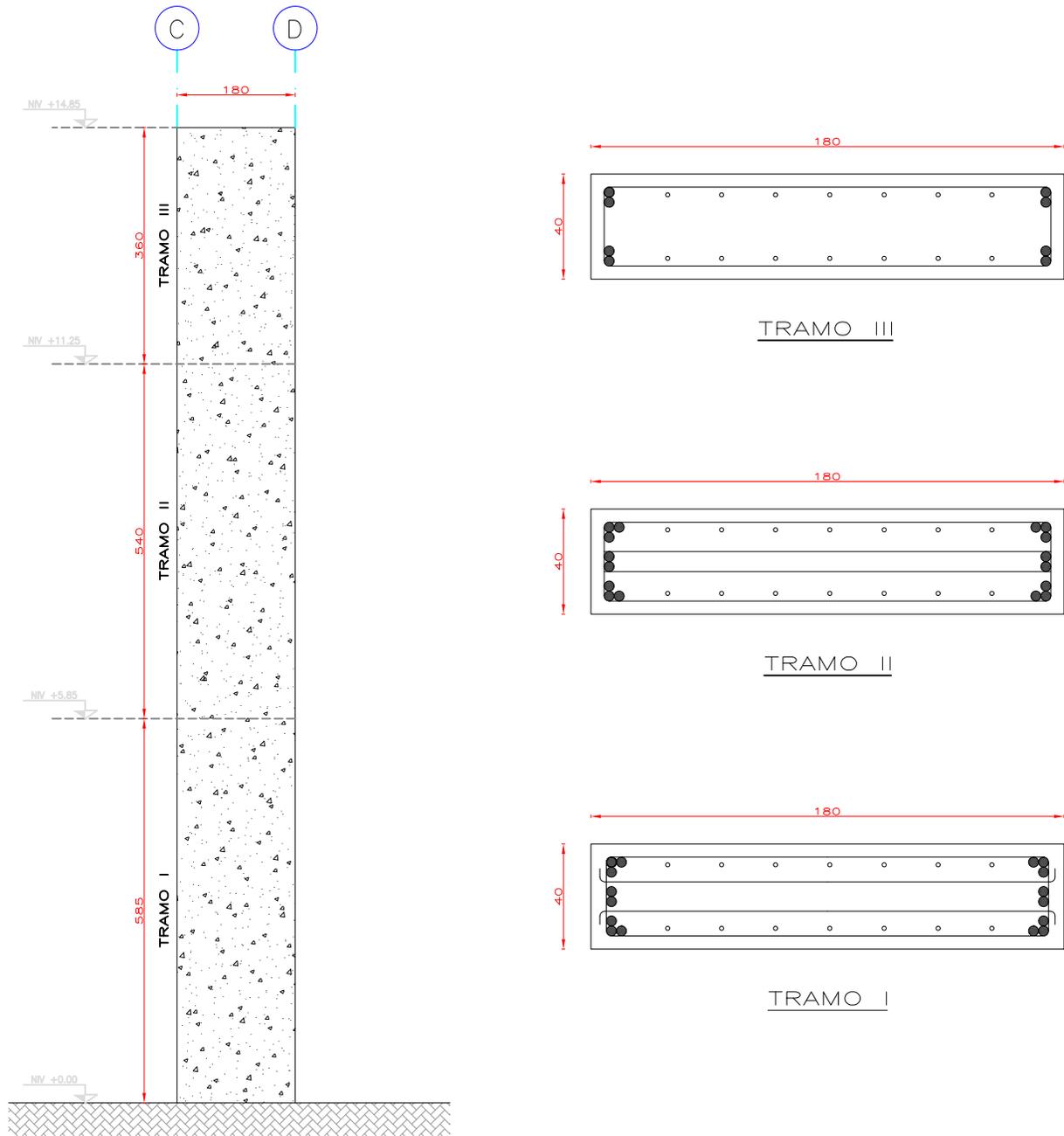


FIG. 3.10 SECCIONES DE COLUMNA C-1

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN  $\text{cm}^2$

 Ing. profesional EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
ESTUDIOS ANALITICOS	MCS/JGCh	SECCIONES	S/E
SECCIONES DE COLUMNA C-1		23/MAY/2017	3.10

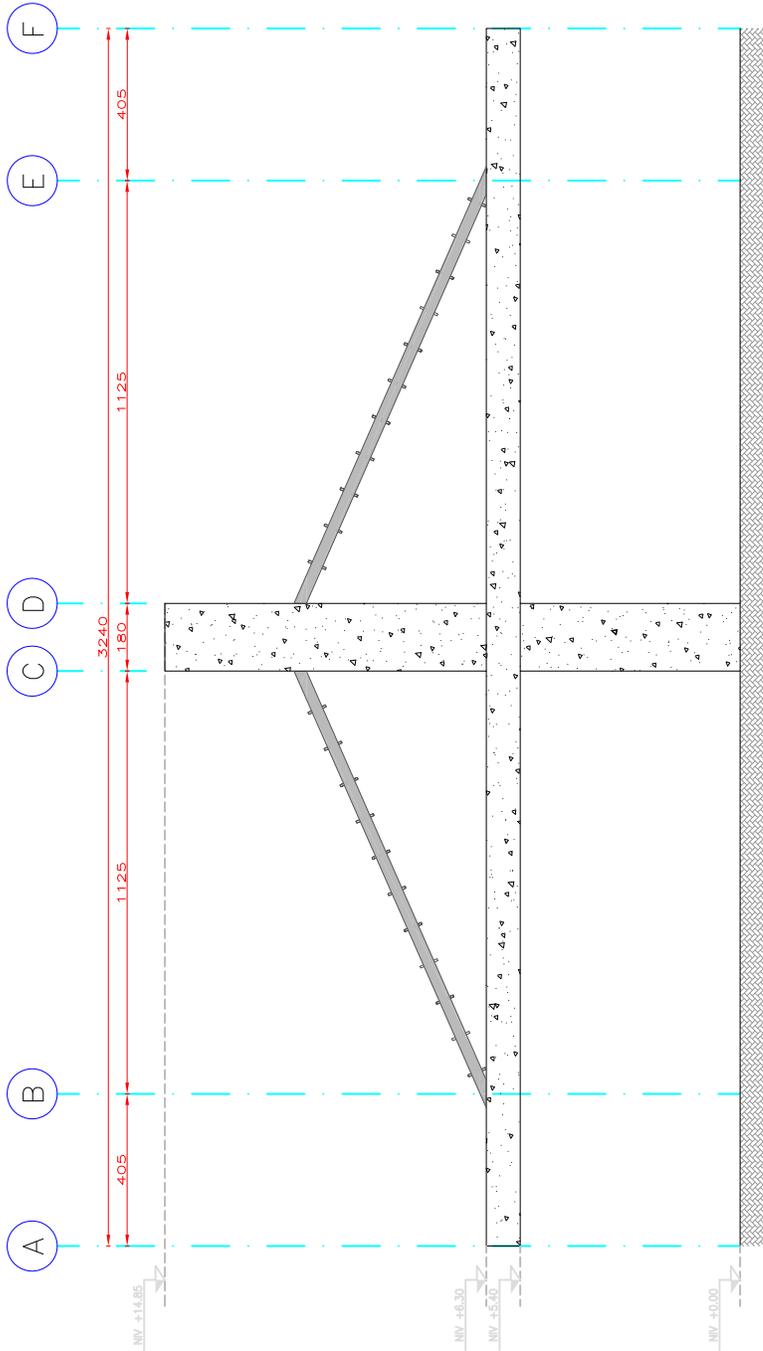


FIG. 3.11 ELEVACIÓN LATERAL

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.

	EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERIA DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.		
	MARGARITO CAMILO SANTIAGO INGENIERO EN CARGAS	ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ MGS/60th	ELEVACIÓN 1/200
ESTUDIOS ANALÍTICOS ELEVACIÓN LATERAL	23/MAY/2017	3.11	

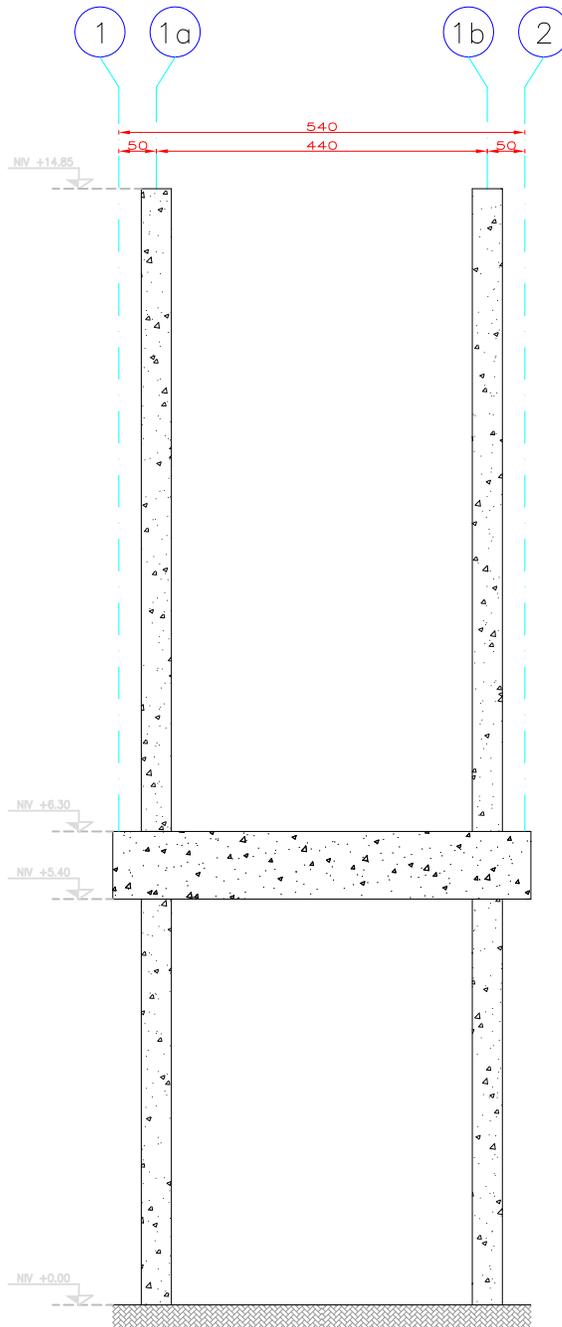
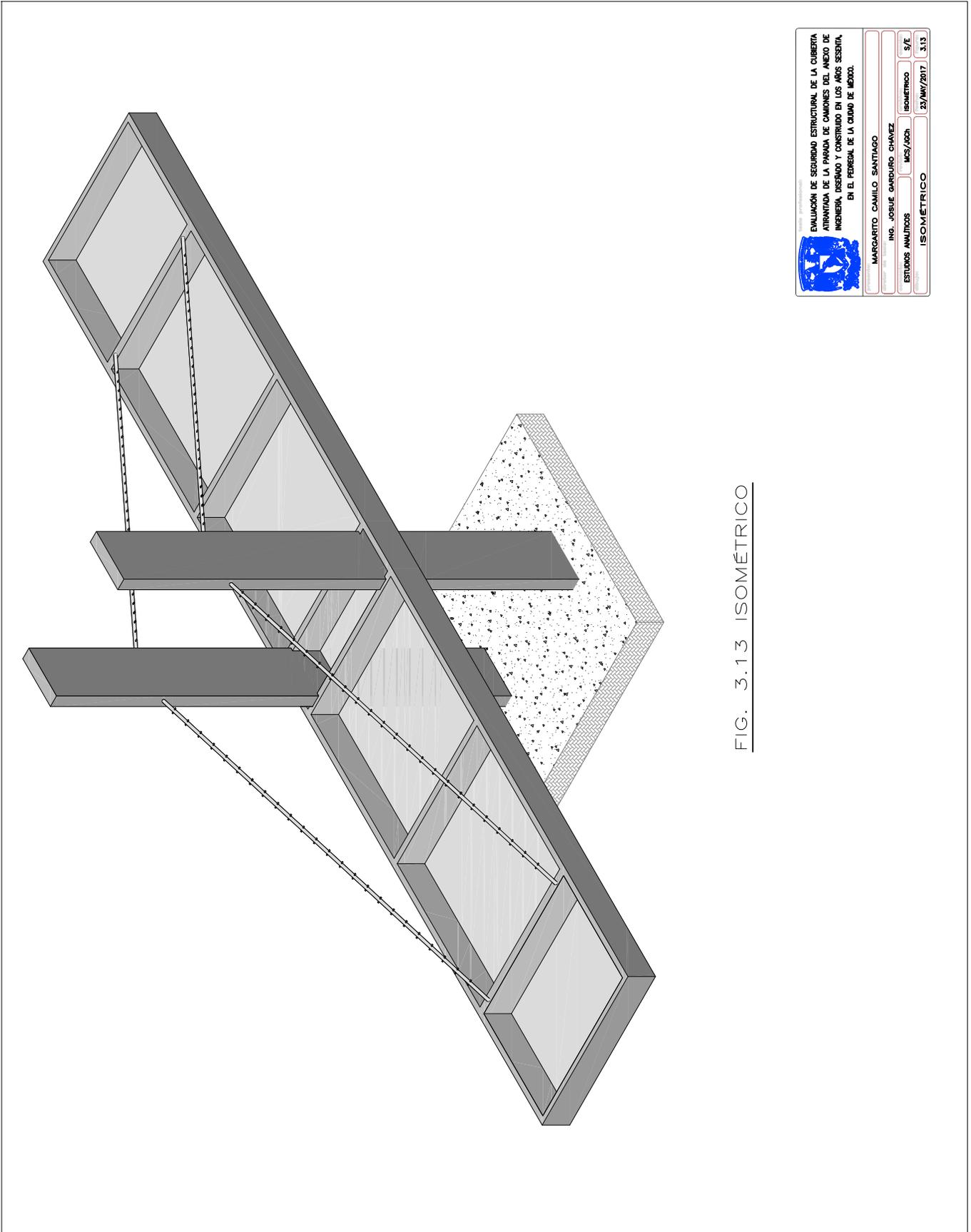


FIG. 3.12 ELEVACIÓN FRONTAL

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.

<small>Isola profesional</small>			
<b>EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.</b>			
<b>MARGARITO CAMILO SANTIAGO</b>			
<b>ING. JOSUÉ GARDUÑO CHÁVEZ</b>			
ESTUDIOS ANALITICOS	MCS/JGCh	ELEVACIÓN	1:100
ELEVACIÓN FRONTAL		23/MAY/2017	3.12



	EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.		
	MARGARITO CAMILO SANTIAGO	ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ	ISOMÉTRICO
ESTUDIOS ANALÍTICOS	MS/GCN	5/E	
ISOMÉTRICO	23/MAY/2017	3.13	

FIG. 3.1.3 ISOMÉTRICO

## IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

#### IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El trabajo del ingeniero civil que se dedica al diseño estructural, tiene como uno de los objetivos principales, generar estructuras seguras y confiables, las cuales deben de cumplir los dos requisitos mínimos que establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal en su versión 2004 (RCDF-04), los cuales son: cumplir satisfactoriamente con los estados límite de servicio y estados límite de falla.

En el Título Sexto del RCDF-04, que trata “De la Seguridad Estructural de las Construcciones”, el Artículo 146, indica que toda edificación debe contar con un sistema estructural que permita el flujo adecuado de las fuerzas que generan las distintas acciones de diseño, para que dichas fuerzas puedan ser transmitidas de manera continua y eficiente hasta la cimentación. Debe contar, además, con una cimentación que garantice la correcta transmisión de dichas fuerzas al subsuelo.

El Artículo 147 del mismo reglamento, establece que toda estructura y cada una de sus partes deben diseñarse para cumplir con los requisitos básicos siguientes:

- I) Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada.
- II) No rebasar ningún estado límite de servicio ante combinaciones de acciones que corresponden a condiciones normales de operación.

##### A. Revisión del estado límite de servicio

De acuerdo al artículo 149, del RCDF-04, se considerará como estado límite de servicio la ocurrencia de desplazamientos, agrietamientos, vibraciones o daños que afecten el correcto funcionamiento de la edificación, pero que no perjudiquen su capacidad para soportar cargas.

Para la revisión de los desplazamientos laterales de la estructura, se calcula la distorsión o deriva de entrepiso  $\Psi$ , definida como el cociente entre la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos de la estructura  $\Delta$ , entre la altura de dichos niveles  $H$ .

$$\Psi = \frac{\Delta}{H}$$

La distorsión se calculó a partir de los desplazamientos que se presentan en el nivel azotea ya que como se sabe, sólo se cuenta con un nivel como se muestra en el apartado III.

Para la revisión de los desplazamientos verticales (flechas máximas) de elementos en voladizo, el RCDF-04 en sus NTC'edif, establece la siguiente expresión:

$$\Delta_{Fm\acute{a}x} = \left( \frac{L}{240} + 5 \text{ mm} \right) \times 2$$

Donde:

$\Delta_{Fm\acute{a}x}$  : Flecha máxima.

L : Longitud del elemento en voladizo.

Se formularon nueve combinaciones de carga como se mencionó en el capítulo anterior (CC06 a CC14) para la revisión de los estados límite.

En construcciones en las que la resistencia sísmica sea proporcionada esencialmente por sistemas de losas planas y columnas, la distorsión no debe exceder el límite de 0.006, conforme a las NTC'sis, del RCDF-04.

De los resultados del análisis dinámico, se obtuvieron los desplazamientos máximos horizontales en dirección X y en dirección Y, del nivel azotea; el desplazamiento máximo en dirección X, fue de 0.31 cm, resultando una distorsión de entrepiso de 0.00054, con la combinación de carga CC07; y en la dirección Y, fue de 2.15 cm, obteniendo una distorsión de 0.00368, con la combinación de carga CC11. Ambas distorsiones de entrepiso obtenidas no superan el límite admisible.

Para la flecha máxima de los voladizos, se obtuvo un valor de 8.40 cm del extremo oriente y 8.02 cm del extremo poniente con la combinación de carga CC07.

Del levantamiento topográfico, se midieron en sitio, las deflexiones (flechas) y resultaron, para el extremo oriente, una deflexión de 4.60 cm y para el extremo poniente de 5.50 cm.

De acuerdo a lo establecido por el RCDF-04, el límite admisible para las deflexiones en voladizo es de 13.75 cm. Por lo tanto, las flechas máximas obtenidas del modelo y las medidas en sitio, no superan el límite admisible establecido por el RCDF-04.

En la figura 4.1, se presenta un isométrico correspondiente de la configuración deformada para el desplazamiento máximo en dirección X (CC07) y en la figura 4.2 se presenta la configuración deformada para el desplazamiento máximo en dirección Y (CC11). Finalmente las deflexiones máximas se observan en la figura 4.3, que se obtuvieron con la combinación de carga CC07.

Cabe mencionar que los isométricos presentados en las figuras 4.1 a 4.3, están escalados, para una mejor apreciación de las configuraciones deformadas.

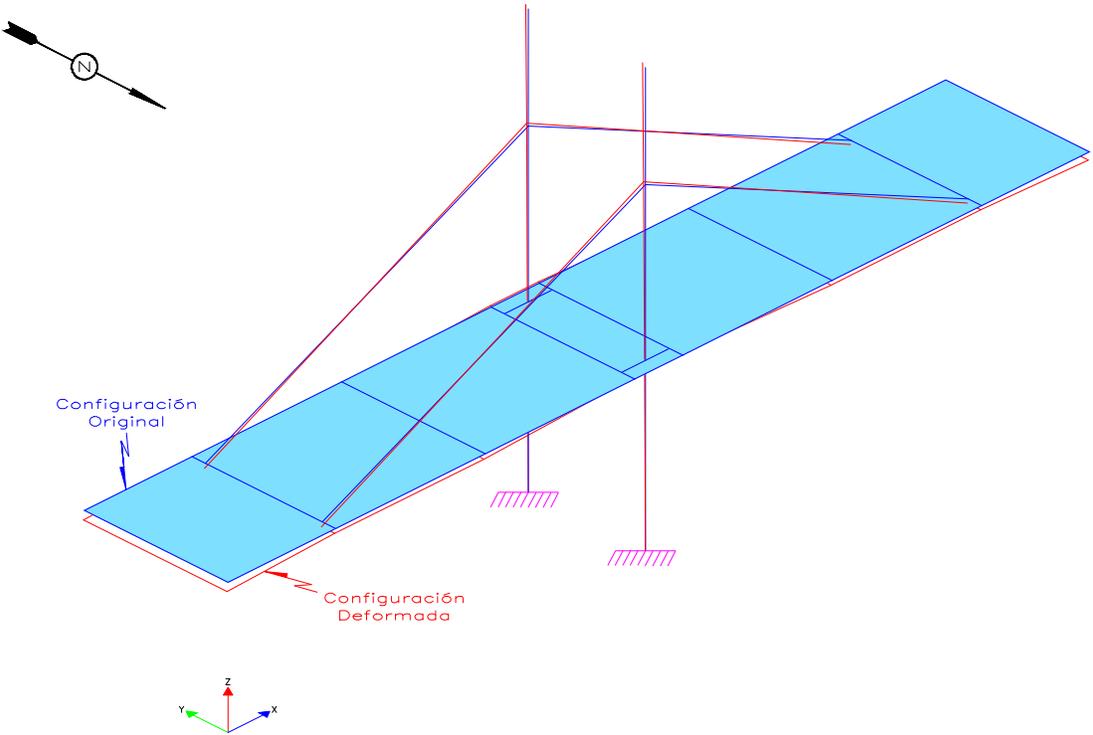


FIG. 4.1 CONFIGURACIÓN DEFORMADA EN DIRECCIÓN X,  
COMBINACIÓN DE CARGA CC07.

tesis profesional:			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta:			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis:			
ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ			
concepto:	revisó:	archivo:	revisó:
ANÁLISIS DE RESULTADOS	MCS/JGCh	CDM_1	S/E
dibujo:	fecha:		
CONFIGURACIÓN DEFORMADA EN X	23/MAY/2017	4.1	

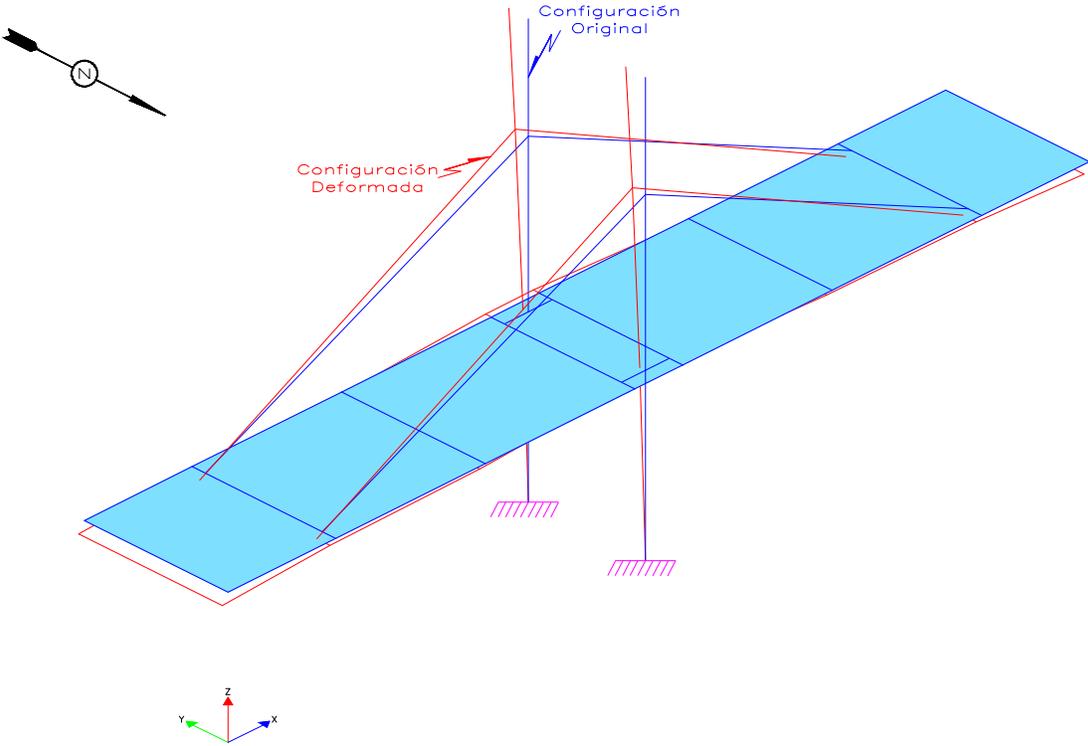


FIG. 4.2 CONFIGURACIÓN DEFORMADA EN DIRECCIÓN Y, COMBINACIÓN DE CARGA CC11.

				tesis profesional			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.							
presenta:							
MARGARITO CAMILO SANTIAGO							
director de tesis:							
ING. JOSUÉ GARDUÑO CHÁVEZ							
concepto:		revisó:		archivo:		revisó:	
ANÁLISIS DE RESULTADOS		MCS/JGCh		CDDef...2		S/E	
dibujo:		fecha:		figura:		escala:	
CONFIGURACIÓN DEFORMADA EN Y		23/MAY/2017		4.2			

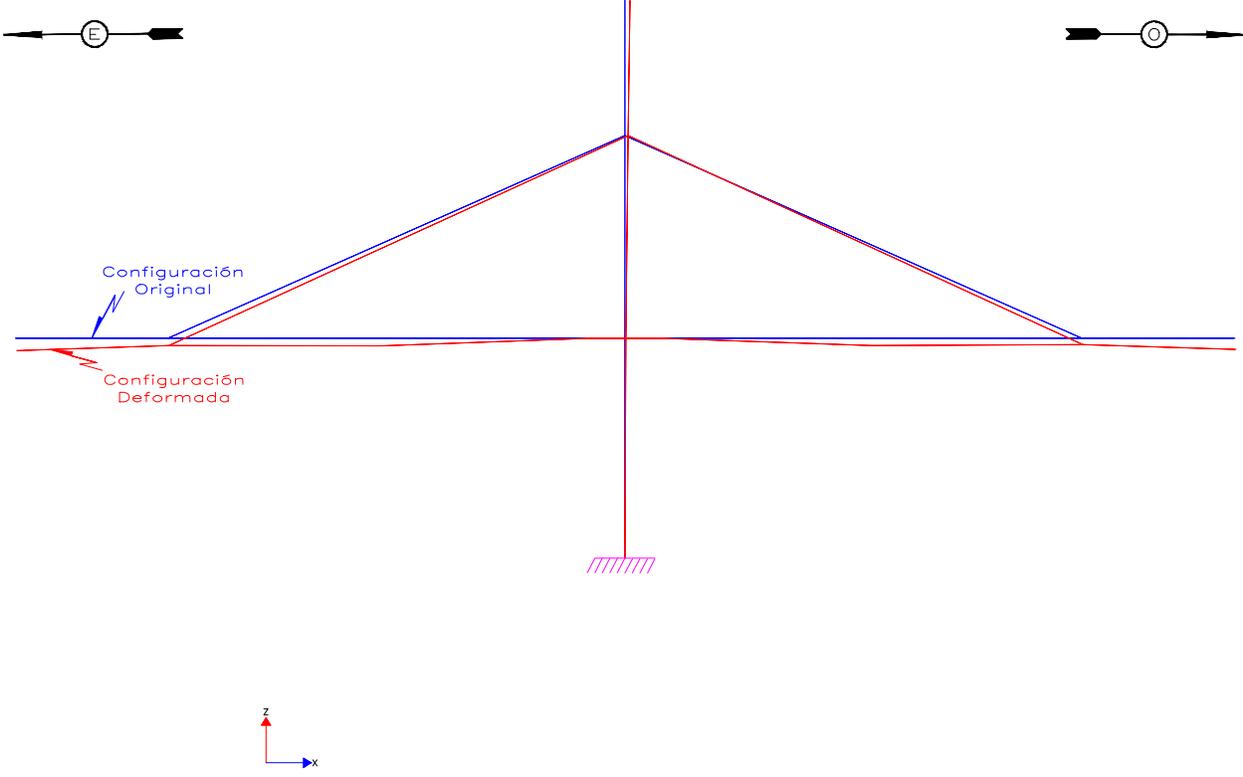


FIG. 4.3 CONFIGURACIÓN DEFORMADA DE FLECHA MÁXIMA, COMBINACIÓN DE CARGA CC07.

tesis profesional:			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta:			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis:			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
concepto:	revisó:	archivo:	revisor:
ANÁLISIS DE RESULTADOS	MCS/JGCh	CDDef...3	S/E
dibujo:	fecha:	figura:	
DEFLECCIÓN MÁXIMA (FLECHA)	23/MAY/2017	4.3	

## B. Revisión del estado límite de falla

Para la revisión de los estados límite de falla, se parte de la definición indicada en el artículo 148 del RCDF-04, donde considera como estado límite de falla cualquier situación que corresponda al agotamiento de la capacidad de carga de la estructura o de cualquiera de sus componentes, incluyendo la cimentación, o al hecho de que ocurran daños irreversibles que afecten significativamente su resistencia ante nuevas aplicaciones de carga.

Por lo anterior, se formularon nueve combinaciones de carga (CC15 a CC23) para la revisión de capacidad de los elementos de concreto reforzado (trabes y columnas).

Para la revisión de las trabes, se generó una convención de colores, que hace referencia a los intervalos de las relaciones de acero calculadas:

$$\frac{A_r, \text{ acero requerido (cm}^2\text{)}}{A_n, \text{ acero nominal (cm}^2\text{)}}$$

Recordando que el acero nominal es el área de acero longitudinal, colocado en cada uno de los elementos (trabes), de acuerdo a la información presentada en las copias de planos estructurales; y el acero requerido es el área de acero resultante en cada sección de los miembros, para su condición más desfavorable, de las nueve combinaciones de carga analizadas.

Dichos valores van de 0.00 a 0.60 (color verde) que significa que los elementos tienen una relación permitida, relaciones mayores de 0.60 a 1.10 (color azul) que significa que los elementos tienen una relación aceptable y relaciones mayores de 1.10 (color rojo) que significa que los elementos no tienen una relación permitida. Se presenta resumida la convención generada:

$0.00 \leq \frac{A_r}{A_n} \leq 0.60$	
$0.60 < \frac{A_r}{A_n} \leq 1.10$	
$1.10 < \frac{A_r}{A_n}$	

En la figura 4.4, se presenta un ejemplo de la estimación de las relaciones de acero, de la trabe T2, ubicada entre los ejes 1 y 2.

Finalmente, en la figura 4.5, se presentan los resultados de la revisión de las relaciones de acero de las trabes del sistema de piso.

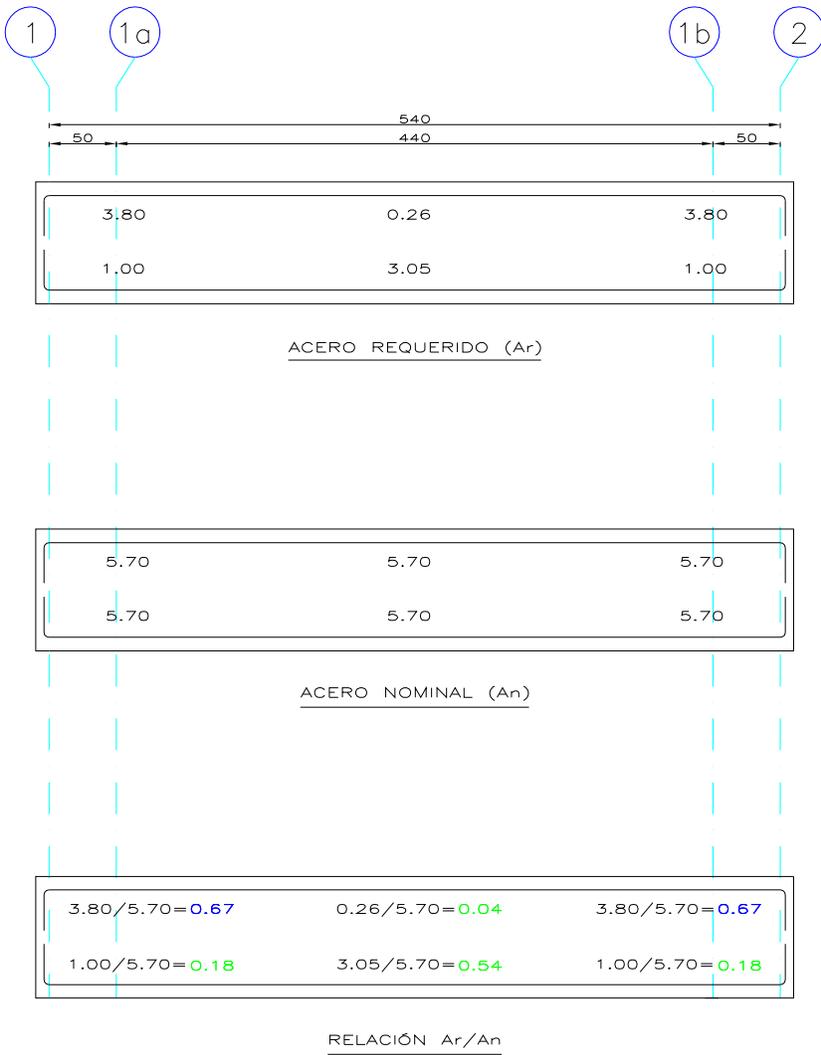


FIG. 4.4 RELACIONES DE ACERO REQUERIDO/ACERO NOMINAL EN TRABE T2, UBICADA EN EJE B, ENTRE LOS EJES 1 Y 2.

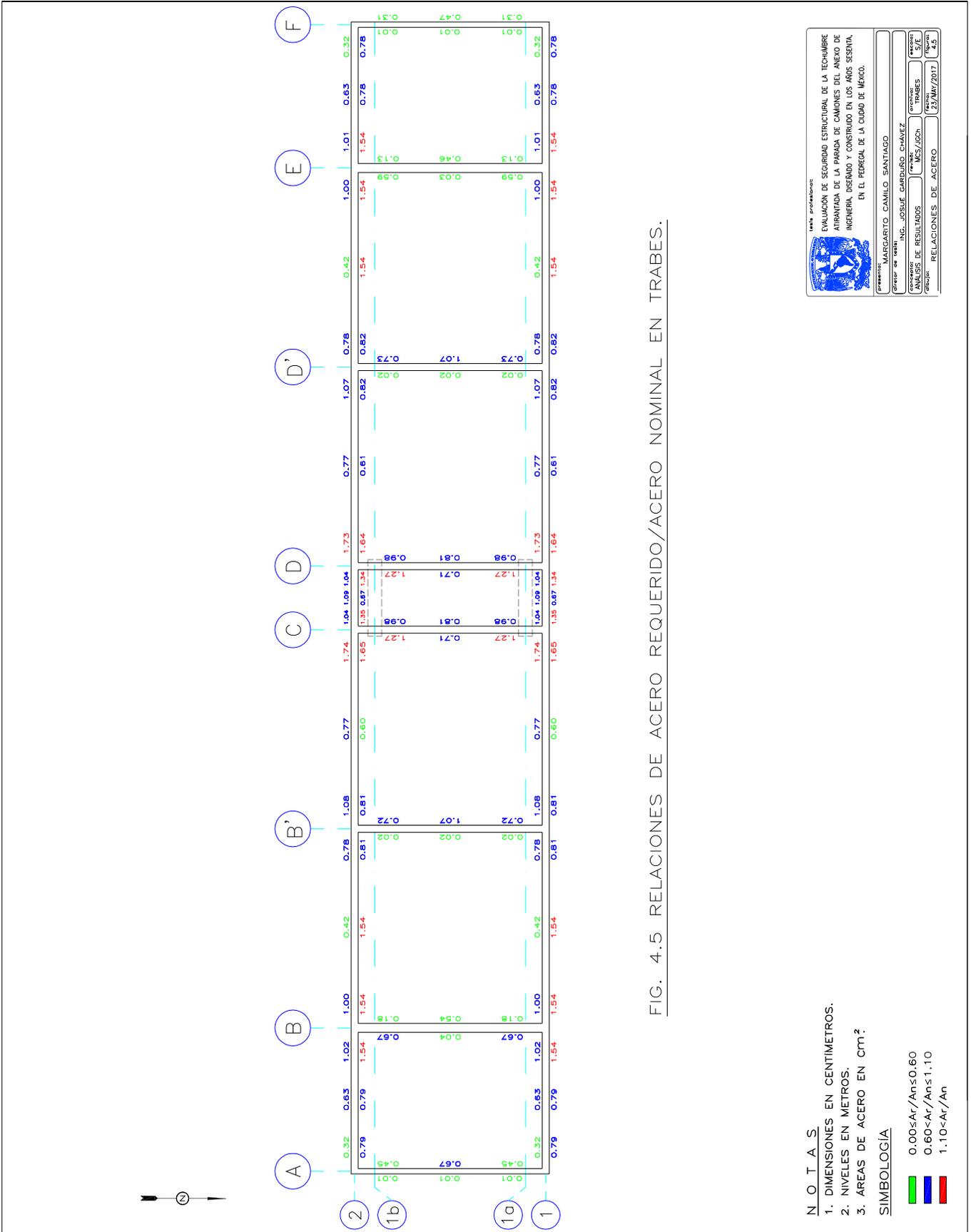
**N O T A S**

- 1. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.
- 2. NIVELES EN METROS.
- 3. ÁREAS DE ACERO EN cm<sup>2</sup>.

**SIMBOLOGÍA**

- 0.00 ≤ Ar/An ≤ 0.60
- 0.60 < Ar/An ≤ 1.10
- 1.10 < Ar/An

<small>tesis profesional</small>			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA TECHUMBRE ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
<small>presenta:</small> MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
<small>director de tesis:</small> ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
<small>conceptos:</small> ANÁLISIS DE RESULTADOS	<small>revisado:</small> MCS/JCCh	<small>archivos:</small> TRABES	<small>revisión:</small> 5/E
<small>dibujos:</small> RELACIONES DE ACERO		<small>fecha:</small> 23/MAY/2017	<small>figura:</small> 4.4



**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERIA**  
 EVALUACION DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA TECHUMBRE  
 ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE  
 INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA,  
 EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MEXICO.

Presentado por: MARGARITO CAMILO SANTIAGO  
 Director de tesis: ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ

COMITÉ DE RESULTADOS: MS/1624  
 TITULO: TRABES  
 FECHA: 23/May/2017  
 PÁGINA: 4.5

- N O T A S**
1. DIMENSIONES EN CENTIMETROS.
  2. NIVELES EN METROS.
  3. AREAS DE ACERO EN CM<sup>2</sup>
- SIMBOLOGIA**
- 0.00 ≤ Ar/An ≤ 0.60
  - 0.60 < Ar/An ≤ 1.10
  - 1.10 < Ar/An

Para la revisión de las columnas, de igual manera se generó una convención de colores, para los intervalos de las relaciones de acero calculadas entre el acero requerido y acero nominal; estos intervalos van de 0.00 a 0.60 (color verde) que significa que los elementos tienen una relación permitida, relaciones mayores de 0.60 a 1.20 (color azul) que significa que los elementos tienen una relación aceptable y relaciones mayores de 1.20 (color rojo) que significa que los elementos no tienen una relación permitida. A continuación se presenta la convención resumida:

$$\begin{array}{ll}
 0.00 \leq \frac{A_r}{A_n} \leq 0.60 & \text{Verde} \\
 0.60 < \frac{A_r}{A_n} \leq 1.20 & \text{Azul} \\
 1.20 < \frac{A_r}{A_n} & \text{Rojo}
 \end{array}$$

En la figura 4.6, se presenta un ejemplo de la estimación de las relaciones de acero de cada columna, ubicadas en los ejes 1a y 1b.

Finalmente, en la figura 4.7, se presentan los resultados de la revisión de las relaciones de acero de cada columna.

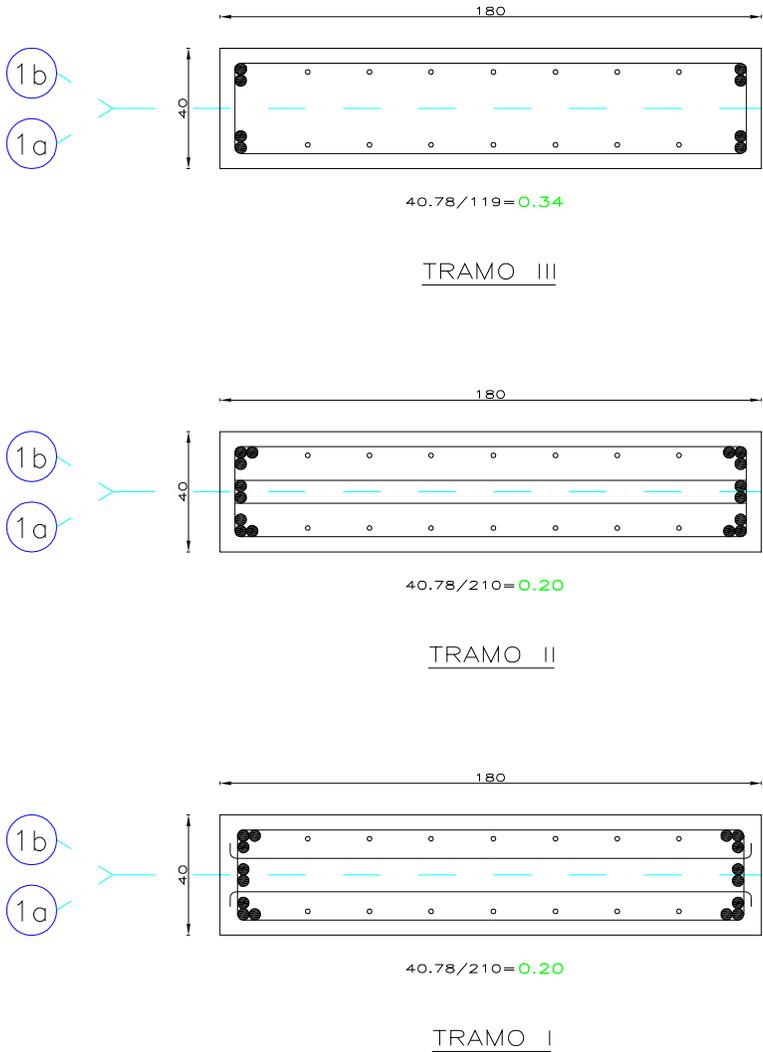


FIG. 4.6 RELACIONES DE ACERO REQUERIDO/ACERO NOMINAL EN COLUMNA.

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN cm<sup>2</sup>

**SIMBOLOGÍA**

- $0.00 \leq Ar/An \leq 0.60$
- $0.60 < Ar/An \leq 1.20$
- $1.20 < Ar/An$

tesis profesional: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA TECHUMBRE ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta: MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis: ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
concepto:	revisó:	archivó:	revisó:
ANÁLISIS DE RESULTADOS	MCS/JCCh	COLUMNAS	5/E
dibujos:	RELACIONES DE ACERO	fecha:	figura:
		23/MAY/2017	4.6

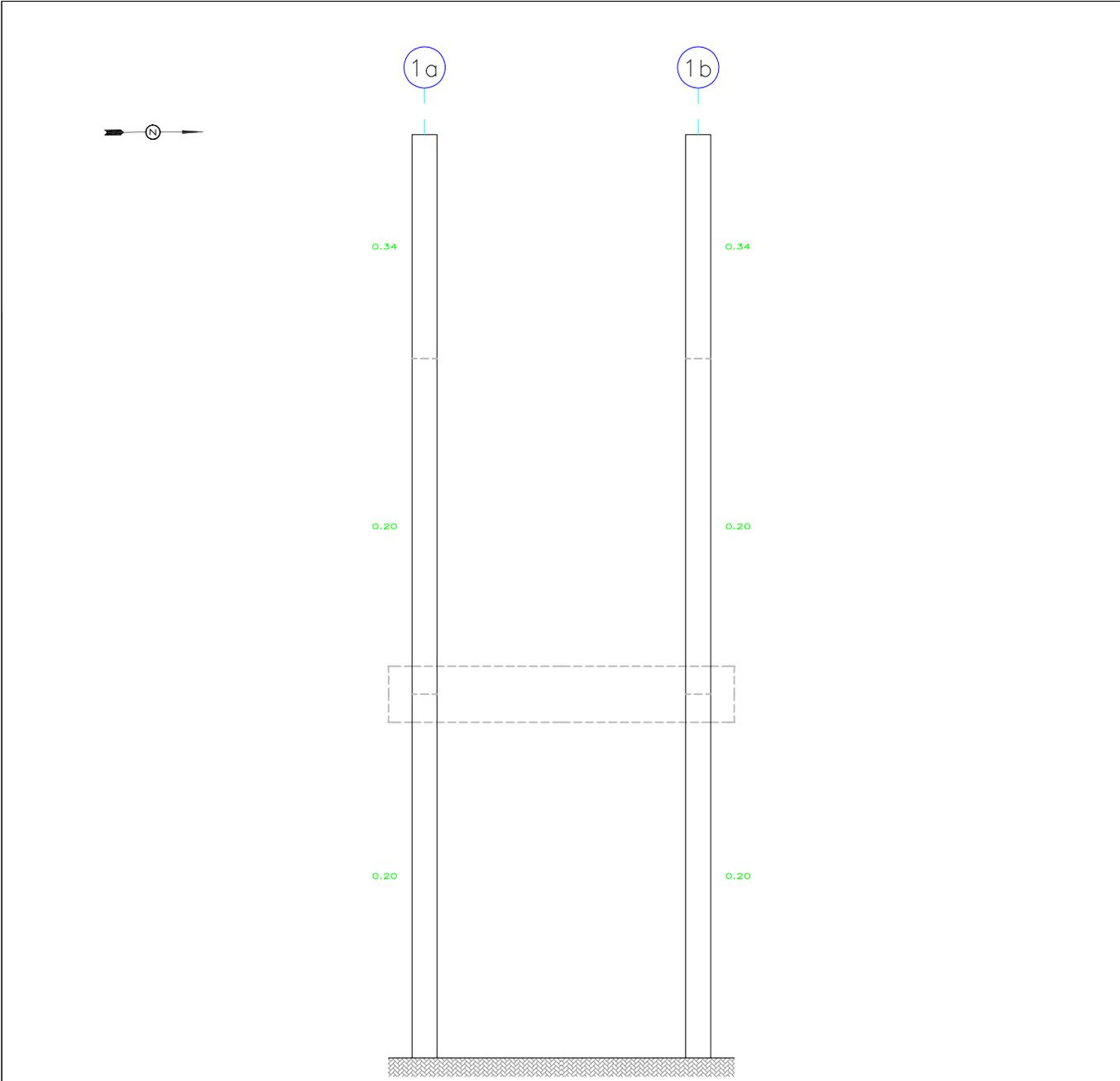


FIG. 4.7 RELACIONES DE ACERO REQUERIDO/ACERO NOMINAL EN COLUMNAS.

**N O T A S**

- 1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
- 2. NIVELES EN METROS.
- 3. ÁREAS DE ACERO EN cm<sup>2</sup>.

**SIMBOLOGÍA**

- 0.00 ≤ Ar/Ans ≤ 0.60
- 0.60 < Ar/Ans ≤ 1.20
- 1.20 < Ar/Ans

<small>tesis profesional</small>			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA TECHUMBRE ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta: <b>MARGARITO CAMILO SANTIAGO</b>			
director de tesis: <b>ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ</b>			
concepto:	revisó:	archivó:	revisó:
ANÁLISIS DE RESULTADOS	MCS/JCCh	COLUMNAS	S/E
dibujos:	fechas:		figuras:
RELACIONES DE ACERO	23/MAY/2017		4.7

## V. CONCLUSIONES

## V. CONCLUSIONES

La cubierta atirantada mejor conocida como el “Puente del Anexo”, es una estructura diseñada y construida en los años sesenta que, a través de los años, se ha convertido en emblema para la División de Ciencias Básicas de la Facultad de Ingeniería. La estructura formó parte de la infraestructura inicial del Anexo de Ingeniería (Parada de camiones); actualmente ya no tiene ese uso, sólo forma parte de la entrada principal del Anexo de Ingeniería.

Durante todo el tiempo transcurrido desde su construcción, no se tiene registro de una revisión similar como la mostrada en este trabajo; donde se hace uso de herramientas modernas y se recurre a la información de dicha estructura (copia de planos estructurales), para comprender las condiciones de seguridad actual.

Para el análisis general se consideró la hipótesis de que la estructura tendría un comportamiento elástico-lineal; en las consideraciones de acciones accidentales solo se tomó en cuenta el efecto del sismo y, para la evaluación de los efectos sísmicos, se realizó un análisis dinámico modal espectral.

Para la modelación analítica y matemática de la estructura, se usó la información contenida en los planos, se realizaron trabajos de campo: un estudio de vibración ambiental para calibrar el modelo, un levantamiento topográfico para conocer las deflexiones del sistema de piso, una inspección y finalmente una prueba de carbonatación en el concreto.

Como resultado final se obtuvo el modelo tridimensional definitivo, que consta de 223 nodos, 30 elementos barra, 180 elementos placa y 4 elementos cable.

Se formularon cinco condiciones básicas de carga (CC01 a CC05); nueve combinaciones para la revisión del estado límite de servicio (CC06 a CC14); y nueve combinaciones para la revisión del estado límite de falla (CC15 a CC23). A continuación se presenta un resumen de los resultados principales.

### A. Revisión de estado límite de servicio

Se observó que los desplazamientos máximos obtenidos en dirección X, se encuentran con la combinación CC07, resultando un valor de  $\delta_x = 0.3134$  cm, en dirección Y, con la combinación CC11 se obtuvo un valor de  $\delta_y = 2.1523$  cm y finalmente en la dirección vertical se obtiene un desplazamiento máximo de  $\Delta_{m\acute{a}x.} = 8.40$  cm.

Se concluye que los desplazamientos  $\delta_x$ ,  $\delta_y$ , y  $\Delta_{m\acute{a}x.}$  respectivamente, están por debajo de lo permisible.

De las mediciones en campo, la flecha máxima obtenida en el extremo oriente fue de 4.60 cm y en el extremo poniente fue de 5.50 cm, comparándolas con las obtenidas de los análisis, son inferiores.

## **B. Revisión de estado límite de falla**

En la revisión de la capacidad o resistencia de los elementos estructurales, se observa que dieciséis de las veintidós traveses principales que componen el sistema de piso, no se encuentran entre los rangos de aceptación, ya que su relación de acero requerido/acero nominal es mayor al límite establecido.

Las dos columnas se encuentran entre los rangos de aceptación ya que la relación de acero requerido/acero nominal es inferior al límite establecido.

La estructura en general no cumple con la capacidad de carga aceptable, puntualmente por las relaciones de acero en las traveses principales. Debido a lo anterior, la estructura no cumple con el requisito del artículo 147 del reglamento que establece lo siguiente:

- l) Tener seguridad adecuada contra la aparición de todo estado límite de falla posible ante las combinaciones de acciones más desfavorables que puedan presentarse durante su vida esperada.

## **C. Estado general de la estructura**

El puente del Anexo de Ingeniería ha mostrado un buen comportamiento durante más de 60 años, pero ha presentado algunos daños en sus elementos estructurales y no estructurales.

Los daños observados en las columnas y traveses, en general, son debido al desprendimiento de recubrimiento del acero de refuerzo, provocando esto, un proceso de oxidación, corrosión y enconchamiento o escamación de las varillas, tanto longitudinal y transversal; lo que se traduce en pérdida del área del propio material.

Lo anterior es causado por el proceso químico de carbonatación en el concreto, el cual es la pérdida de alcalinidad (disminución de pH) por la reacción del dióxido de carbono atmosférico con la humedad contenida en los poros del concreto; y que convierte el hidróxido de calcio contenido en el concreto a carbonato de calcio (pH más neutral). En resumen, el concreto con su ambiente altamente alcalino (pH de 12-13), protege al acero de refuerzo por medio de una capa de óxido pasivo sobre su superficie, cuando esta capa ya deja de ser estable (pH menor a 9.5), es posible que se generen las condiciones para un posible inicio de la corrosión.

Para la verificación de la presencia del fenómeno descrito anteriormente, se realizó una prueba de carbonatación, por medio de la aplicación de una solución de Fenolftaleína (indicador de pH), el cual, al aplicarse sobre el concreto, ésta reacciona por medio del cambio de coloración de un gris (color del concreto) a manchas de color morado y/o púrpura, para indicar que no hay carbonatación, o en caso contrario no habrá dichos cambios de coloración, lo que significa la existencia de este proceso químico, el cual desafortunadamente se presenta en el Puente del Anexo, lo que puede inducir un proceso de “osteoporosis” en los elementos estructurales.

Otra cuestión que se observó, fue que en los tubos que cubren el sistema de cables tienen un escurrimiento del fluido que los protege de la oxidación, motivado por la falta de mantenimiento, ya que en algunas partes de las medias cañas que forman el tubo, están abiertas y no hay un sello total.

En el reporte fotográfico del Anexo A, se presentan algunas imágenes que evidencian lo comentado en las líneas anteriores.

Una vez realizada la revisión de los estados límite y teniendo como resultado que no se cumple con el estado límite de falla y que, al no cumplir dichas condiciones y requisitos de estabilidad estructural, establecidas en el Título Sexto “De la seguridad estructural de las construcciones” del RCDF-04, para construcciones del Grupo A, según el artículo 179 del Capítulo diez “De las construcciones dañadas”, el propietario o poseedor está obligado a llevar a cabo las obras de refuerzo cumpliendo con los puntos establecidos en el artículo 180 del mismo. De acuerdo al artículo 71, para este tipo de construcciones, cada cinco años o después de un sismo, se debe registrar una Constancia de Seguridad Estructural ante la Delegación, para constar que dicha construcción se encuentra en condiciones adecuadas de seguridad, de acuerdo al Reglamento y sus Normas, de no ser así, deberá reforzarse o modificarse para satisfacerlas.

En vista de lo anterior y de que la estructura ha venido siendo un emblema para el Anexo de Ingeniería, si se lleva a cabo el proyecto de reforzamiento, ésta probablemente perderá su vista arquitectónica dejando de ser una construcción emblemática; pero en realidad, dicho proyecto de reforzamiento, se considera que no es factible ya que el acero de refuerzo está en un proceso de “osteoporosis”; qué significa esto, que por la falta de protección por parte del concreto, el acero está expuesto y su degradamiento es irreversible.

En conclusión, por cuestiones de seguridad estructural, integridad de los peatones que transitan por debajo del puente y los daños previamente descritos, el que escribe considera que la mejor recomendación es la demolición, de no ser así queda abierto este tema para aquella persona que le sea de interés el desarrollar un proyecto de reforzamiento para evitar el posible colapso de la estructura.

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Anónimo. **Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal**. 7ª ed. México, Trillas, 2015.
- Anónimo. **Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto**. 7ª ed. México, Trillas, 2015.
- Anónimo. **Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo**. 7ª ed. México, Trillas, 2015.
- Anónimo. **Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones**. 7ª ed. México, Trillas, 2015.
- Anónimo. **Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones**. 7ª ed. México, Trillas, 2015.
- **The Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02)**.
- González Cuevas, Oscar Manuel y Robles Fernández-Villegas, Francisco. **Aspectos fundamentales del concreto reforzado**. 4a ed. México, Limusa, 2014, 804 p.
- Anónimo. **Manual de aplicación del programa SAP2000 V14**, Software integrado para el análisis y diseño estructural.
- <http://ingenieria.unam.mx>

## LISTA DE IMÁGENES, TABLAS Y FIGURAS

		Página
<b>I. ANTECEDENTES</b>		
Acceso principal del Anexo de Ingeniería y vista de la estructura atirantada	Imagen 1.1	3
Imagen tomada del plano: Ampliación de la Facultad de Ingeniería (1965)	Figura 1.1	4
Emblema de Puente del Anexo, en página web de la División de Ciencias Básicas	Imagen 1.2	5
Emblema de Puente del Anexo, usado en la contraportada del boletín informático	Imagen 1.3	5
<b>II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESTRUCTURA</b>		
Vista de la entrada principal del Anexo de Ingeniería	Imagen 2.1	6
Croquis de ubicación de la cubierta atirantada	Figura 2.1	7
Vista frontal	Figura 2.2	8
Vista lateral	Figura 2.3	9
Planta de cimentación	Figura 2.4	11
Planta de cimentación	Figura 2.5	12
Planta nivel de azotea	Figura 2.6	13
Anclaje de cable en columnas y trabes	Figura 2.7	14
Zonificación del DF, para fines de diseño por sismo	Figura 2.8	16
<b>III. ESTUDIOS ANALÍTICOS</b>		
Sistema de relleno para pendiente en nivel azotea	Figura 3.1	19
Propiedades geométricas de los elementos estructurales	Tabla 3.1	21
Propiedades mecánicas de los materiales	Tabla 3.2	22
Equipo utilizado para medir vibración ambiental	Imagen 3.1	24
Posición de equipos (acelerómetros) de los arreglos 1 y 2	Figura 3.2	25
Registro de aceleraciones del arreglo 1	Figura 3.3	27
Registro de aceleraciones del arreglo 2	Figura 3.4	28
Espectros de Fourier representativos para determinar las frecuencias de cada modo	Figura 3.5	
Periodos de la estructura obtenidos del estudio de vibración ambiental	Tabla 3.3	29
Parámetros sísmicos de la zona I para el espectro de diseño sísmico	Tabla 3.4	30

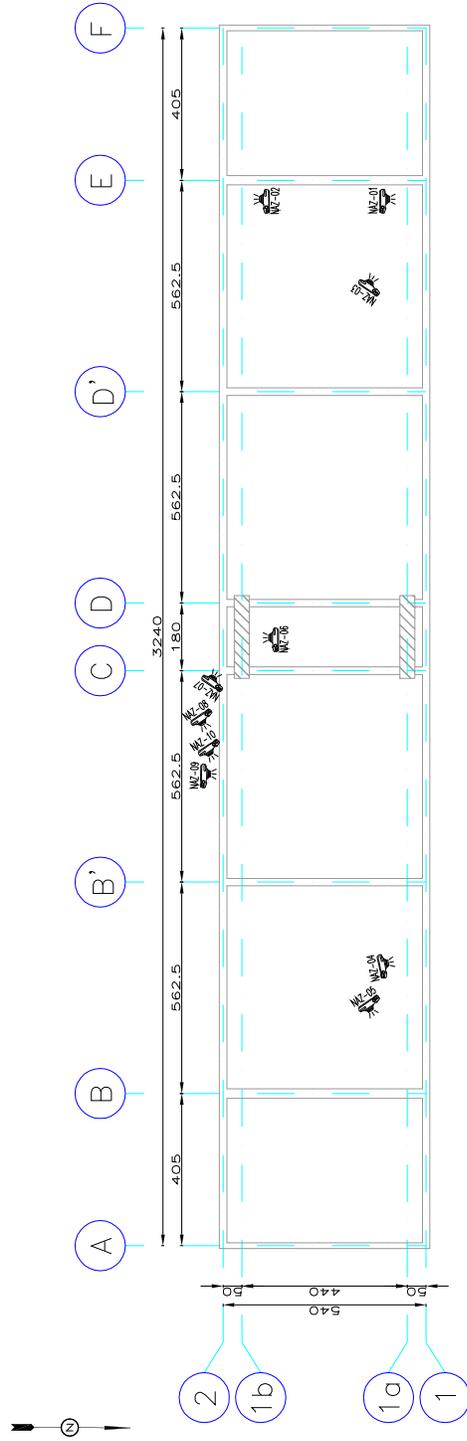
		<b>Página</b>
Espectro de diseño sísmico para la zona I	Figura 3.6	30
Secciones de traves principales	Figura 3.7	36
Secciones de traves principales	Figura 3.8	37
Secciones de contratraves principales	Figura 3.9	38
Secciones de columna C-1	Figura 3.10	39
Elevación lateral	Figura 3.11	40
Elevación frontal	Figura 3.12	41
Isométrico	Figura 3.13	42

#### **IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Configuración deformada en dirección X, combinación de carga CC07	Figura 4.1	45
Configuración deformada en dirección Y, combinación de carga CC11	Figura 4.2	46
Configuración deformada de flecha máxima, combinación de carga CC07	Figura 4.3	47
Relaciones de acero requerido/acero nominal en trabe T2, ubicada en eje B, entre los ejes 1 y 2	Figura 4.4	49
Relaciones de acero requerido/acero nominal en traves	Figura 4.5	50
Relaciones de acero requerido/acero nominal en columna	Figura 4.6	52
Relaciones de acero requerido/acero nominal en columnas	Figura 4.7	53

ANEXO A

REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN Y  
ESTUDIO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL



LOCALIZACIÓN DE FOTOGRAFÍAS DE LA INSPECCIÓN

**N O T A S**

1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
2. NIVELES EN METROS.
3. ÁREAS DE ACERO EN CM<sup>2</sup>

**SIMBOLOGÍA**

- POSICIÓN DE TOMA DE FOTOGRAFÍA
- WZ-01 NIVEL - NÚMERO DE FOTO

**INSTITUTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE MÉXICO**

EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.

Presentado: MARGARITO CAMILO SANTIAGO	
Director de Área: ING. JOSUÉ GARDUÑO CHAVEZ	
Elaborado: ANEXO A	Revisado: MCS/JGC
Fecha: 26/May/2017	
Escala: 1/2	



AZ-01

Separación entre tubo media caña y apoyo de anclaje entre eje 1a y eje E.



AZ-02

Separación entre tubo media caña y apoyo de anclaje entre eje 1b y eje E.



AZ-03

Escorrimento de aceite en el sistema de cables, tirante del eje 1a del lado Poniente.



AZ-04

Escorrimento de aceite en el sistema de cables, tirante del eje 1a del lado Oriente.

REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN.

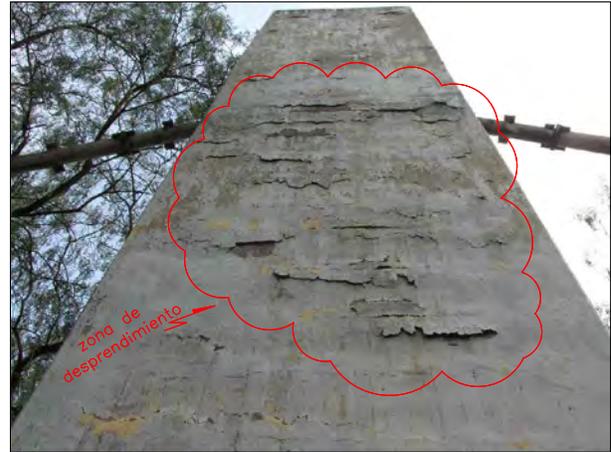
				tests profesional: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
Presenta: MARGARITO CAMILO SANTIAGO							
Director de tests: ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ							
Concepto:	ANEXO A	Revisó:	MCS/JGCh	Claves:	rep:10LA	Revisó:	S/E
Fotografías:	REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN		Fecha:		26/MAY/2017	Páginas:	
						2/4	

# REPORTE FOTOGRAFICO



AZ-05

Escurrecimiento de aceite sobre la superficie de la azotea.



AZ-06

Desprendimiento de recubrimiento y exposición del acero de refuerzo en cara norte de columna del eje 1b.



AZ-07

Desprendimiento de recubrimiento y exposición del acero de refuerzo en cara sur de columna del eje 1b.



AZ-08

Desprendimiento de recubrimiento y exposición del acero de refuerzo en tramo de la trabe T4 del eje 2, entre eje B' y C.

## REPORTE FOTOGRAFICO DE INSPECCION.

				tesis profesional: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERIA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presento: MARGARITO CAMILO SANTIAGO							
director de tesis: ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ							
concepto:	ANEXO A	revisó:	MCS/JGC	diagnó:	rep./ola		
fotografías:	REPORTE FOTOGRAFICO DE INSPECCION	fecha:	26/MAY/2017	hojas:	3/4		



AZ-09

Desprendimiento de recubrimiento y exposición del acero de refuerzo en tramo de la trabe T4 del eje 2, entre eje B' y C.

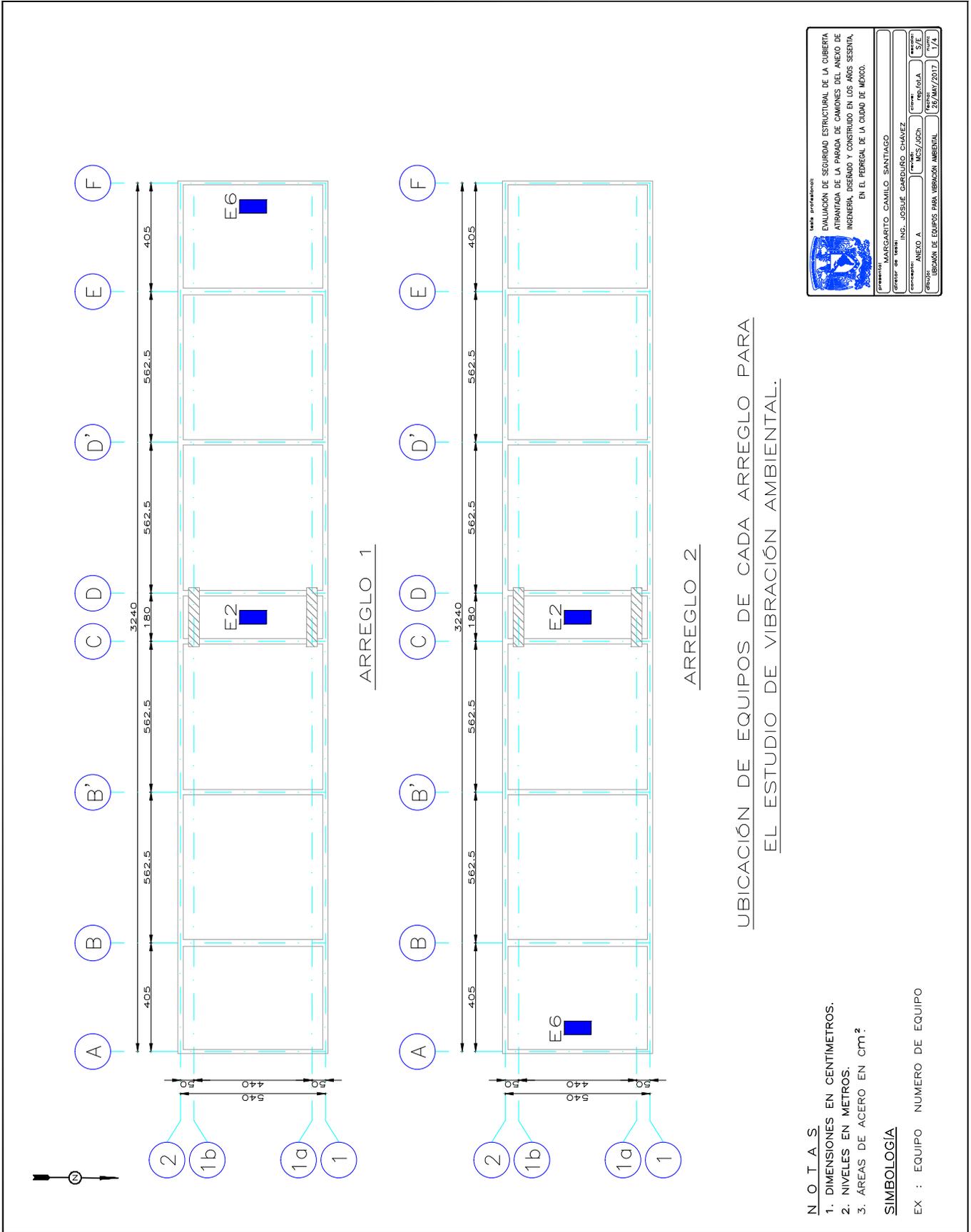


AZ-10

Muestra de la corrosión y acero desprendido del estribo en la trabe.

REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN.

<b>tesis profesional:</b>			
 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presente: MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis: ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
concepto:	revisó:	dió vista:	revisó:
ANEXO A	MCS/JGCh	rep./ola	S/E
fotografías:		fecha:	folio:
REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSPECCIÓN		26/MAY/2017	4/4



**Nota profesional:**  
 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUÍDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.



CREADOR:	MARGARITO CAMILO SANTIAGO
CREADOR DE VENTANA:	ING. JOSUÉ CARQUIRO CHÁVEZ
COMPONENTE:	ANEXO A
PROYECTO:	MCS/CSCh
FECHA:	REP:SLA
ESCALA:	1/4
FECHA:	26/MAY/2017

UBICACIÓN DE EQUIPOS DE CADA ARREGLO PARA EL ESTUDIO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.

- N O T A S**
1. DIMENSIONES EN CENTÍMETROS.
  2. NIVELES EN METROS.
  3. ÁREAS DE ACERO EN CM<sup>2</sup>?
- SIMBOLOGÍA**
- EX : EQUIPO NUMERO DE EQUIPO



EQ-01

Preparación del equipo (acelerómetro, cables de conexión, computadora portátil, pila de 12 Volts) para realizar medición de aceleraciones.



E2-02

Posición de equipo 2 (acelerómetro) al centro del sistema de piso (azotea), ubicado entre los ejes C y D.



E6-03

Posición de equipo 6 (acelerómetro) al Oriente del sistema de piso (azotea), ubicado a un costado del eje A. para formar el arreglo número dos.



E6-04

Posición de equipo 6 (acelerómetro) al Poniente del sistema de piso (azotea), ubicado a un costado del eje F, para formar el arreglo número uno.

REPORTE FOTOGRÁFICO DEL ESTUDIO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.

			
tesis profesional: EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
Presenta: MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
Director de tesis: ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
Concepto: ANEXO A	Revisó: MCS/JGCh	Clave: rep-101A	Fecha: 5/E
Fotografías: INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES.		Fecha: 26/MAY/2017	Turno: 2/4



E2-05

Nivelación mecánica del equipo 2, para el arreglo uno y dos.



E6-06

Nivelación mecánica del equipo 6, para el arreglo uno.



E6-07

Nivelación mecánica del equipo 6, para el arreglo dos.



E2-08

Equipo 2, preparado para conexión en serie del arreglo uno y dos.

REPORTE FOTOGRÁFICO DEL ESTUDIO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.

<b>tesis profesional:</b>			
 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta:			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis:			
ING. JOSUE GARDUÑO CHAVEZ			
concepto:	revisó:	evaluó:	revisó:
ANEXO A	MCS/JGCh	rep./ola	S/E
dibujo:		fecha:	turno:
INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES.		26/MAY/2017	3/4



E6-09

Equipo 6, preparación para conexión en serie del arreglo dos.



E2-10

Preparación del arreglo numero uno, para iniciar medición de aceleraciones.



E2-11

Calibración de arreglo en serie para registrar aceleraciones.



E2-12

Registro de las aceleraciones en computadora para cada arreglo.

REPORTE FOTOGRÁFICO DEL ESTUDIO DE VIBRACIÓN AMBIENTAL.

<b>tesis profesional:</b>			
			
EVALUACIÓN DE SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LA CUBIERTA ATIRANTADA DE LA PARADA DE CAMIONES DEL ANEXO DE INGENIERÍA, DISEÑADO Y CONSTRUIDO EN LOS AÑOS SESENTA, EN EL PEDREGAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO.			
presenta:			
MARGARITO CAMILO SANTIAGO			
director de tesis:			
ING. JOSUE GARDUÑO CHÁVEZ			
concepto:	revisó:	titular:	sección:
ANEXO A	MCS/JGCh	rep./ola	S/E
dibujo:		fecha:	turno:
INSTRUMENTACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE VIBRACIONES.		26/MAY/2017	4/4