

29

# MEXPRESA

MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

## PRIMER INFORME DEL ANÁLISIS TÉCNICO ESPECIALIZADO SOBRE LAS POSIBLES CAUSAS QUE OCASIONARON EL DESPLOME DEL PUENTE CHIRAJARÁ

### Oficinas México

Av. Nativitas #429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: [mexpresa@mexpresa.com](mailto:mexpresa@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras.

Postensado  
Protensado  
Anclaje al Terreno  
Unión de Varras

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 107 1ª piso. Oficina 102  
Torre Empresarial Calles y Bolívar  
Email: [proyector@mexpresa.com](mailto:proyector@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cimbras Trepadoras y Esbozadoras  
Cimbras Autoelevantes  
Carros de Corrido

Puentes y Cubiertas Atornilladas  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

## CONTENIDO

- **INTRODUCCIÓN**
  - Antecedentes
  - Objetivos
- **INFORMACIÓN DISPONIBLE**
- **DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**
  - Ubicación
  - Estructuración
- **PRIMERAS HIPÓTESIS DE TRABAJO**
- **METODOLOGÍA DE TRABAJO**
- **EVALUACIÓN DE LAS CARGAS**
  - Estimación de Cargas actuantes en el momento del Colapso
- **REVISIÓN DE LOS ESTADOS LIMITES DE FALLA**
- **CONCLUSIONES**
- **RECOMENDACIONES**
- **ANEXOS**

*[Handwritten signatures and initials]*

### Oficinas México

Av. Héroles 8428 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 8334 0330 • Fax. 8334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Pretensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Vantas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 • 187 7ª piso. Oficina 182  
Torre Empresarial Caciques • Bogotá  
Email: jmanco@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras y Escaleras  
Cintas Autodesplazantes  
Carros de Correo

Puentes y Cubiertas Abrazados  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



MEXICANA DE PRESFUERZO S.A. DE C.V.

## INTRODUCCIÓN

### • Antecedentes.-

El pasado 15 de Enero del año en curso, minutos antes del mediodía, se presentó la caída súbita de la Torre 1 (eje B) del Viaducto Chirajará estructura que forma parte del sector 4 A denominado "Chirajara", que conduce de Bogotá a Villavicencio, en el departamento de Cundinamarca y que en la actualidad está bajo la administración de la Concesionaria Vial de los Andes S. A. (COVIANDES).

### • Objetivos

El Consorcio Interventor **Interconcesiones**, encomendó a **Mexicana de Presfuerzo, S.A.** la elaboración de este informe, con el cual se puedan determinar las posibles causas que provocaron la falla de la estructura.

Además de presentar un concepto acerca de las acciones de revisión y mitigación de riesgos de la estructura colapsada y la no colapsada.

## INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la elaboración de este informe el Consorcio Interventor ha proporcionado la siguiente información;

- Estudios y Rediseños Detallados fase III, para la segunda calzada del sector 4a "Chirajara" de la Vía Bogotá - Villavicencio, Contrato 444-039-12. **DISEÑO ESTRUCTURAL PARA EL SECTOR 4º VOLUMEN VIII**, JUNIO Revisión N° 1 del Consorcio E.C. Villavicencio
- Memorias de cálculo del puente Chirajará alirantado, de fecha Agosto del 2016, elaborado por la empresa Área Ingenieros Consultores
- Planos de proyecto (tablero mixto) elaborados por Área Ingenieros Consultores con la numeración siguiente:
  - o 039-12-S4A-EST-CHI-01-55
  - o 039-12-S4A-EST-CHI-2-55
  - o 039-12-S4A-EST-CHI-3-55
  - o 039-12-S4A-EST-CHI-03A-55
  - o 039-12-S4A-EST-CHI-04 -55
  - o 039-12-S4A-EST-CHI-04 A-55

### Oficinas México

Av. Nativitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. + (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 8331  
Email: [mexpresa@mexpresa.com](mailto:mexpresa@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 182 1ª piso. Oficina 782  
Torre Empresarial Colquima • Bogotá  
Email: [jmunoz@mexpresa.com](mailto:jmunoz@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Pretensoado  
Ancias al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Lloviz

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras, Especiales  
Cintas Auto-desplazantes  
Canos de Colado

Puentes y Cubiertas Abrazados  
Puentes por Voladros  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

- o 039-12-S4A-EST-CHI-04 B-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-5-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-05-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-05 A-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-05 B-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-06-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-07-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-08-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-09-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-10-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-11-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-12-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-13-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-14-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-15-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-16-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-17-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-18-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-19-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-20-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-21-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-22-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-23-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-24-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-25-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-26-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-27-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-28-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-29-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-30-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-31-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-32-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-33-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-34-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-35-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-36-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-37-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-38-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-39-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-40-55

**Oficinas México**

Av. Nativitas #429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México

Tel. • (52)(66) 6334 0330 • Fax. 6334 0331

Email: [mxpresas@mexpresa.com](mailto:mxpresas@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

**Sucursal Colombia**

Transversal Oriental No. 50 - 107 7° piso, Oficina 702

Torre Empresarial Cacique • DoCarmen

Email: [mxpresas@mexpresa.com](mailto:mxpresas@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

**Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:**

Postensado  
Protensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras y Escaleras  
Cintas Autodesplazantes  
Carros de Colorado

Puentes y Cubiertas Abrazados  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco

# MEXPRESA

MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C.V

- o 039-12-S4A-EST-CHI-41-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-42-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-43-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-44-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-45-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-46-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-47-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-48-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-49-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-50-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-51-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-52-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-53-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-54-55
- o 039-12-S4A-EST-CHI-55-55

- Planos de proyecto (tablero de concreto) elaborados por CONSORCIO E.D.L. Ltda - C.E.I. S.A. con la numeración siguiente:

- o 613-06-S4A-CHI-01-15
- o 613-06-S4A-CHI-01 A-15
- o 613-06-S4A-CHI-01 B-15
- o 613-06-S4A-CHI-01 C-15
- o 613-06-S4A-CHI-02-15
- o 613-06-S4A-CHI-03-15
- o 613-06-S4A-CHI-04-15
- o 613-06-S4A-CHI-05-15
- o 613-06-S4A-CHI-06-15
- o 613-06-S4A-CHI-07-15
- o 613-06-S4A-CHI-08-15
- o 613-06-S4A-CHI-09-15
- o 613-06-S4A-CHI-10-15
- o 613-06-S4A-CHI-16-15
- o 613-06-S4A-CHI-12-15
- o 613-06-S4A-CHI-13-15
- o 613-06-S4A-CHI-14-15
- o 613-06-S4A-CHI-15-15

- Carpetas con Información Geotécnica del proyecto:

## Oficinas México

Av. Nativitas #429 • 16790 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

## Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 183 1° piso, Oficina 183  
Torre Empresarial Cacique • Bucaramanga  
Email: jmuruz@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Presensado  
Anclajes al Terreno  
Unión de Vantas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Ilesivos

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras y Especiales  
Cintas Auto-desplazantes  
Carros de Colorado

Puentes y Cubiertas Atravesadas  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



MEXICANA DE PREFUERZO S.A. DE C.V.

- o ANEXOS\_INFO\_S4A\_VOL\_04\_FUND\_R3
- o INFO\_S4A\_VOL\_04\_FUND\_R3

- Registro Fotográfico y Videos tomado con sobrevuelo de Dron el día 18 de Enero.

- **PRIMERAS HIPÓTESIS DE TRABAJO**

De manera general en los puentes alirantados con torres tipo "diamante" se pueden presentar varios tipos de falla

1. Falla por falta de capacidad a tensión en la losa "travesaño" y muro diafragma debido al cambio de dirección de la carga que baja por las columnas de la torre debido a su geometría tipo "diamante".

>> Esta es la principal hipótesis en el caso CHIRAJARA pues se observa muy poco prefuerzo en la losa "travesaño" y baja densidad de refuerzo para tomar tensiones en el muro diafragma en la dirección paralela a la losa travesaño.

En los videos que se han observado de la falla se aprecia que las columnas inferiores se abren desde la conexión con la losa travesaño y en consecuencia se rompe la conexión con el muro diafragma provocando el colapso de la torre y su tablero en voladizo.

2. Falla del suelo por falta de capacidad de carga o inestabilidad de la ladera provocando posible asentamiento de la torre

>> No hay evidencia que esto haya sucedido en el caso CHIRAJARA pues se observa que la cimentación se mantuvo en su posición aún después del colapso

3. Falla por falta de capacidad en tirantes o en sus anclajes por sobrecarga de los mismos

>> No hay evidencia de esta situación en caso CHIRAJARA pues no se observó desprendimiento de los tirantes previo a la falla de la torre. De hecho se observó que al iniciar la falla en la torre los tirantes pierden carga y caen junto con el tablero.

- **METODOLOGÍA DE TRABAJO.-**

El día 18 de Enero en compañía del Consorcio Interventor se realizó una visita al sitio del Puente Chirajará, en la que se logró realizar una inspección Visual de la zona del

**Oficinas México**

Av. Nativitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(44) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

**Sucursal Colombia**

Transversal Oriental No. 90 • 107 1ª piso, Oficina 702  
Torre Empresarial Cacique • Bogotá, Colombia  
Email: colombia@mexpresa.com • www.mexpresa.com

**Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:**

Postensado  
Protensado  
Anclaje al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Lloviz

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cimbras Trepadoras y Especiales  
Cimbras Auto-desplazantes  
Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Alirantados  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco

# MEXPRESA

MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

colapso, en esta visita, con la ayuda de un Dron se realizaron una serie de tomas fotográficas y videos, en las que se pudieron identificar los diversos elementos que conformaban el voladizo de la Torre 1 (eje B), Columnas inferiores, Columnas Superiores, Torre de Atirantamiento, Tablero, Zapala, Losa Travesaño Transversal, Muro Diafragma y en las cuales pudieron observar la condición de algunas de ellas; para con ello verificar y tratar de comprobar la primera hipótesis de la falla.

Se hizo una recopilación de la información con la cual se contaba, planos, memorias de cálculo fotografías de campo, registro de campo, para realizar una modelación de estructura y realizar un estimado de cargas para realizar una verificación de los estados de esfuerzo de los diversos elementos al momento del colapso

## • EVALUACIÓN DE LAS CARGAS

### o Estimación de Cargas actuantes en el momento del Colapso

Puesto que en la memoria de cálculo del proyecto en construcción con tablero mixto, no se cuenta con los elementos mecánicos del análisis del Puente, se hizo una estimación de las descargas a la torre 1 (eje B) en el momento de la falla. Se consideró sólo la carga muerta y la carga de tensado estimada de los 4 pares de tirantes traseros que se anclan al estribo contrapeso.

#### *Descarga del tablero a la torre*

De la información de los planos de fabricación del tablero metálico se obtuvo un peso total de la estructura de aprox. 912 ton para una longitud de 418 m, con lo cual se obtiene un peso lineal del tablero de 2.182 ton/m. La losa de concreto sobre el tablero es de un ancho de 13m y un espesor de 20cm, con lo cual se obtiene un peso lineal de 0.2m x 2.4 ton/m<sup>3</sup> x 13m = 6.24 ton/m.

La carga permanente debido al tablero mixto se estima en 2.182 ton/m + 6.24 ton/m = 8.422 ton/m.

La descarga del tablero a la torre 1 se obtiene considerando su peso tributario hacia los tirantes:

#### Oficinas México

Av. Nativitas 6429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: [mexpresa@mexpresa.com](mailto:mexpresa@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Prelensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Vanos

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificos y Tanques Postensados  
Puentes Ma-dos

#### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 102 7° piso, Oficina 702  
Torre Empressa del Cercado • Bucaramanga  
Email: [juan.moj@mexpresa.com](mailto:juan.moj@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

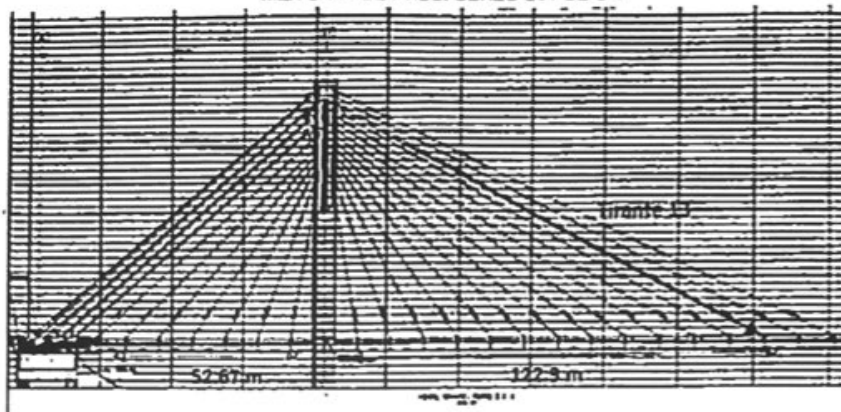
Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cimbras Trepadoras y Espectáculos  
Cimbras Autodesplazantes  
Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Atrevidas  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



# MEXPRESA

MEXICANA DE PRESFUERZO S.A. DE C.V.



La longitud total de tablero que descargaba a la torre 1 hasta el tramo correspondiente al tirante 13 es de  $52.67 + 122.3 = 174.97\text{m}$  por lo tanto la carga total es de  $174.97\text{ m} \times 8.422\text{ ton/m} = 1473.6\text{ ton}$

## Descarga a la torre debido a la carga de tensado de los tirantes al contrapeso

Se desconoce la carga de tensado de los 4 pares de tirantes traseros que van al contrapeso, por lo tanto se hace una suposición de su carga de tensado y se obtiene la componente vertical de éstos hacia la torre.

Conforme a la información de proyecto, los 4 pares de tirantes traseros están conformados por 28 torones de diámetro 0.62" con esfuerzo de ruptura de 1860 MPa. El ángulo aproximado de los tirantes respecto a la vertical es de  $49.4^\circ$ . Se supone una carga de tensado del 35% de su capacidad a la ruptura.

Con estos datos se obtiene la siguiente carga en la torre:

$$T_u = 28 \times 1.5\text{ cm}^2 \times 18960\text{ kg/cm}^2 = 796.32\text{ ton} = \text{carga de ruptura de 1 tirante}$$

$$T_{35\%} = 0.35 \times 796.32\text{ ton} = 278.7\text{ ton} = \text{estimación de carga de tensado}$$

$$T_{y35\%} = T_{35\%} \cos 49.4^\circ = 181.38\text{ ton} = \text{componente vertical de la carga de 1 tirante}$$

La carga total vertical de los 4 pares de tirantes a la torre es  $T_y = 1451.03\text{ ton}$

Adicionalmente se considera el peso propio de los tirantes con un peso de 1.3 kg/m por torón = 71.7 ton

### Oficinas México

Av. Huáscar 8429 • 16290 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 6331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protensado  
Anclas al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 96 - 187 7° piso, Oficina 702  
Bogotá D.C. • Colombia  
Email: jprado@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Sistemas de Elevación y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras y Escopas  
Cintas Avulsas y Plazas  
Carros de Cables

Puentes y Cubiertas Alcantaradas  
Puentes por Voladros  
Puentes Empujados  
Puentes Auto





MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C.V

3/3

### Descarga a la torre debido a carga viva de construcción sobre el tablero

Se considera una carga viva de construcción de 50 kg/m<sup>2</sup> sobre el tablero. Considerando la misma longitud tributaria del tablero a la torre se obtiene una carga de 50 kg/m<sup>2</sup> x 174.97 m x 13m = 113.73 ton

El peso propio de la torre se obtendrá del modelo a realizar.

### Resumen de carga en la torre al momento del colapso\*

- \* Peso propio de la torre
- \* Tablero mixto = 1473.6 ton
- \* Carga vertical de tirantes a contrapeso = 1451.03 ton
- \* Peso de tirantes = 71.7 ton

Suma de cargas permanentes = 2996.33 ton (además del peso propio de la torre)

- \* Carga viva de construcción = 113.73 ton

Adicionalmente y de manera local sobre el muro diafragma la carga tributaria de tablero y carga viva de construcción se consideró para una longitud de 12.33m.

- \* Tablero mixto = 12.33 mx 8.422 ton/m = 103.87 ton
- \* Carga viva de construcción = 50 kg/m<sup>2</sup> x 12.33 m x 13m = 8.02 ton

### REVISIÓN DE LOS ESTADOS DE ESFUERZOS EN EL MOMENTO DEL COLAPSO

Puesto que la principal hipótesis de la falla corresponde a la falla de la conexión entre columnas y losa travesaño y muro diafragma en la zona de cambio de dirección de la torre tipo "diamante", se ha realizado un modelo de elemento finito de la torre con las cargas estimadas al momento de la falla.

Este modelo se ha realizado con elementos sólidos con el software MIDAS FEA (Finite Element Analysis). Se modelan todos los elementos de la torre incluyendo el presfuerzo sobre la losa travesaño.

#### Oficinas México

Av. Nativitas 6429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protensado  
Ancies al Torreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

#### Sucursal Colombia

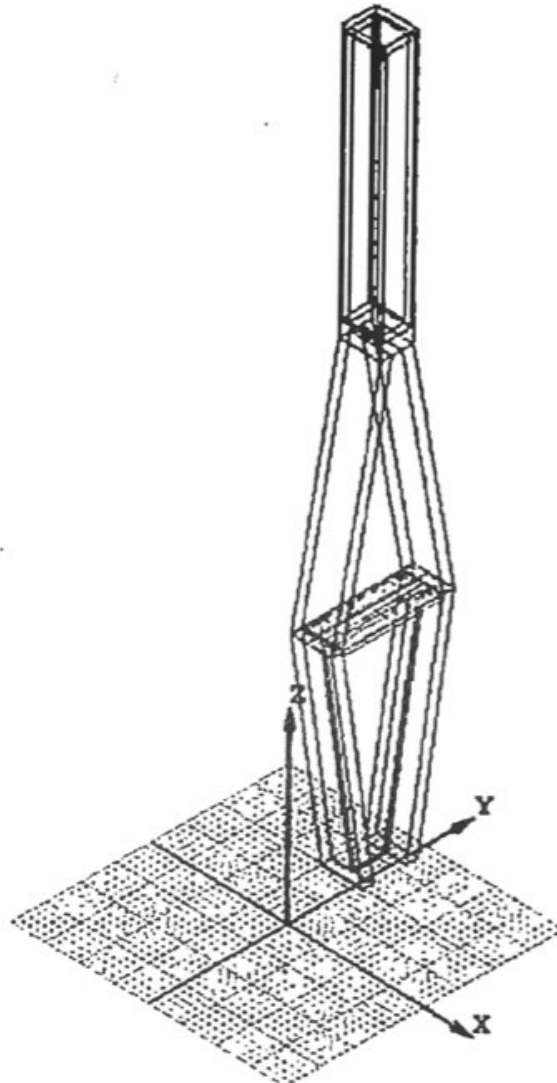
Transversal Oriental No. 90 - 102 1° piso, Oficina 102  
Torre Empresarial Cacique • Bucaramanga  
Email: jmurillo@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cámaras Trepodoras y Espectros  
Cámaras Autoespazantes  
Carros de Colorado

Puentes y Cubiertas Abrazadas  
Puentes por Voladizo  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V



Ejes de referencia del modelo

#### Oficinas México

Av. Nativitas #429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protensado  
Anclas al Terreno  
Unión de Vástagos

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

#### Sucursal Colombia

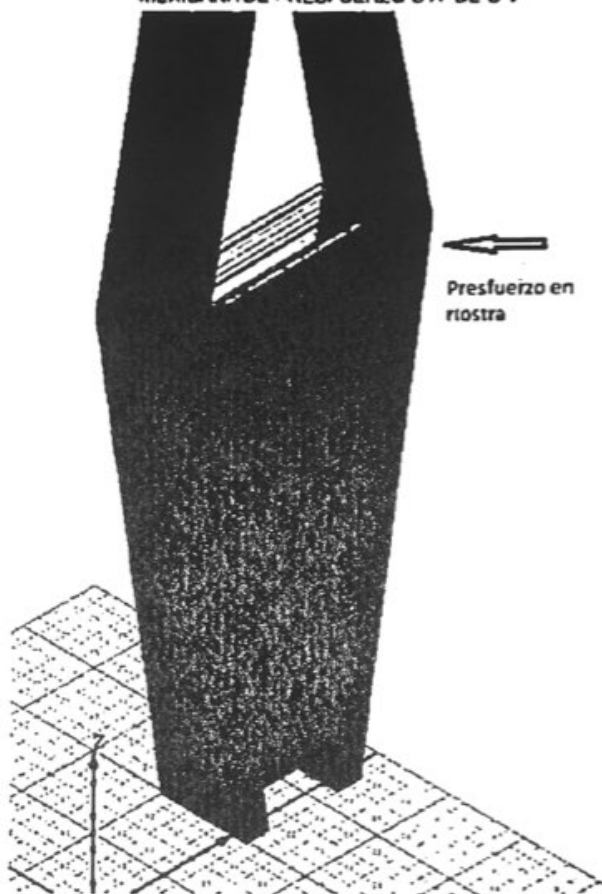
Transversal Oriental No. 90 - 102 2ª piso, Oficina 182  
Torre Empresarial Cactus • Bucaramanga  
Email: jmonta@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cimbras Trepadoras y Especiales  
Cimbras Autodesplazantes  
Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Abrazadas  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco

# MEXPRESA

MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V



Presfuerzo en riostra (losa travesaño): 12 torones de 0.6"

## Cargas en el modelo

Se consideró el peso propio de la torre de atirantamiento y se aplicaron las siguientes cargas sobre la torre de atirantamiento:

- Carga permanente = 2997 ton
- Carga viva de construcción = 114 ton

En la posición de apoyo del tablero sobre la losa travesaño se aplicaron y distribuyeron las siguientes cargas:

- Carga permanente = 114 ton
- Carga viva de construcción = 8 ton

### Oficinas México

Av. Matruces 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

### Sucursal Colombia

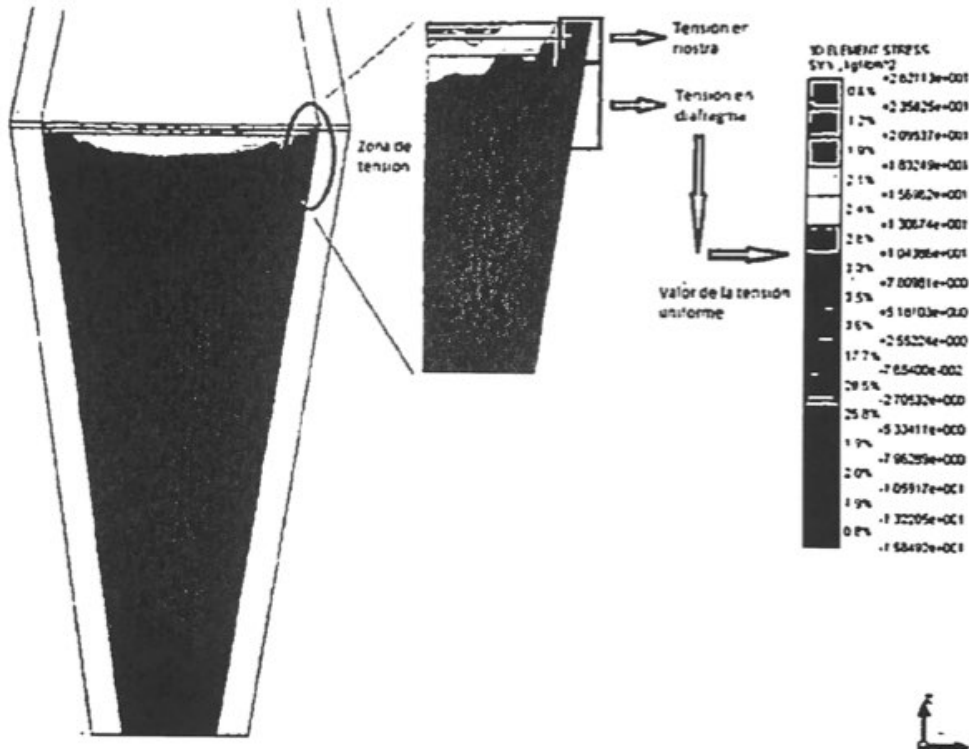
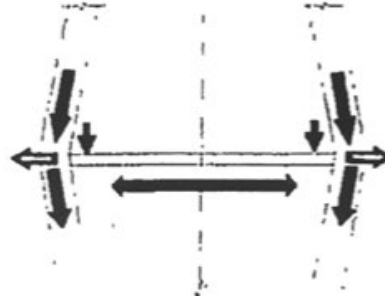
Transversal Oriental No 98 - 107 1° piso, Oficina 102  
Torre Empresarial Cactus • Bucaramanga  
Email: jmanr@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cimbras Trepadoras y Especiales  
Cimbras Autoelevantes  
Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Abriantados  
Puentes por Voladros  
Puentes Empujados  
Puentes Arco

## Resultados

Para mejor comprensión de los esfuerzos obtenidos en la zona de interés se muestran los esfuerzos en la dirección YY que corresponde al eje transversal al puente o al eje longitudinal de la losa travesaño



Distribución de esfuerzos en muro diafragma y riostra (losa travesaño)

### Oficinas México

Av. Nativitas 8425 • 16290 Xochimilco, D.F. • México  
 Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
 Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 • 102 1ª planta, Oficina 782  
 Torre Empresarial Cuckoo • Bucaramanga  
 Email: jmanzo@mexpresa.com • www.mexpresa.com

#### Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
 Pretensado  
 Anclaje al Terreno  
 Unión de Vanillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
 Juntas para Puentes y Pavimentos  
 Edificios y Tanques Postensados  
 Puentes Móviles

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
 Cimbra Trepadora y Espectáculos  
 Cimbra Autoelevante  
 Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Atravesadas  
 Puentes por Voladizos  
 Puentes Empujados  
 Puentes Arco

Al analizar el modelo matemático de la torre, se obtienen los esfuerzos de tensión en la riostra y el muro diafragma.

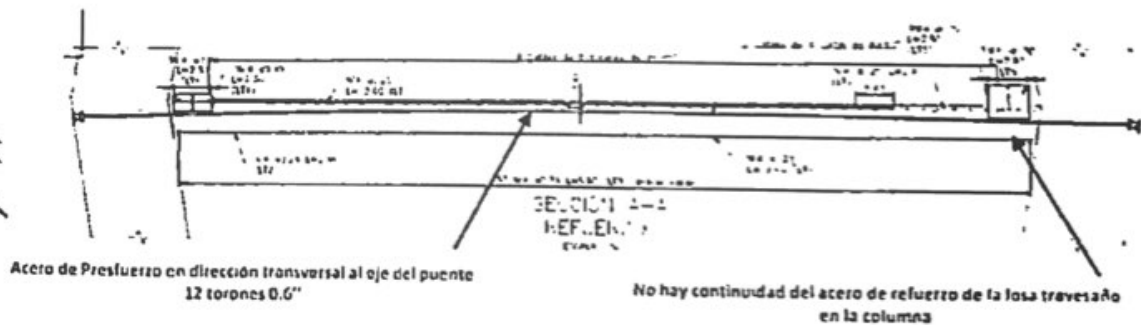
En la figura se muestra un detalle de la concentración de esfuerzos en la unión de riostra y muro diafragma con la columna para la combinación de cargas permanentes y cargas vivas de construcción al momento de la falla.

No necesariamente los máximos esfuerzos están en esa zona, pero hay evidencia de que el acero de refuerzo de la riostra (losa travesaño) no está anclado en la columna. Por ello, se determina la tensión que se desarrolla en la unión y se compara con la tensión que resiste el acero de presfuerzo. Además se calcula la fuerza de tensión desarrollada en el muro diafragma y se compara con la resistencia del acero de refuerzo horizontal.

#### Fuerzas actuantes y resistentes en riostra (losa travesaño)

El área transversal de la riostra donde se observan los esfuerzos SYY es de 600 cm x 60 cm = 36 000 cm<sup>2</sup>. El valor del esfuerzo de tensión mostrado en la figura es 10.43 kg/cm<sup>2</sup>, por lo tanto la carga de tensión que debía resistir esta zona al momento de la falla es de 36000 cm<sup>2</sup> x 10.43 kg/cm<sup>2</sup> = 375,480 kg = 375.48 ton.

El presfuerzo existente en la riostra es de 12 torones de 0.6" cuya capacidad a ruptura es de 12 x 1.39cm<sup>2</sup> x 19000 kg/cm<sup>2</sup> = 316920 kg = 316.92 ton la cual es menor a la carga de tensión de 375.48 ton y por lo tanto se comprueba que habría falla del presfuerzo en esta zona.



#### Fuerzas actuantes y resistentes en muro diafragma

De acuerdo con planos de refuerzo (plano 039-12-S4A-EST-CHI-28-55) el acero de refuerzo horizontal en muro diafragma corresponde a los estribos C54 que son de 2 ramas con varilla del #4 (Av=1.27cm<sup>2</sup> por rama) y se colocan a cada 20cm.

#### Oficinas México

Av. Nativitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

#### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 183 1° piso, Oficina 783  
Torre Empresarial Concepción • Bogotá Colombia  
Email: jmurillo@mexpresa.com • vromero@mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Vandas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Múltiples

Sistemas de Almacenaje y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras y Escaleras  
Cintas Autodesplazantes  
Carros de Colorado

Puentes y Cubiertas Alzanzados  
Puentes por Voladros  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



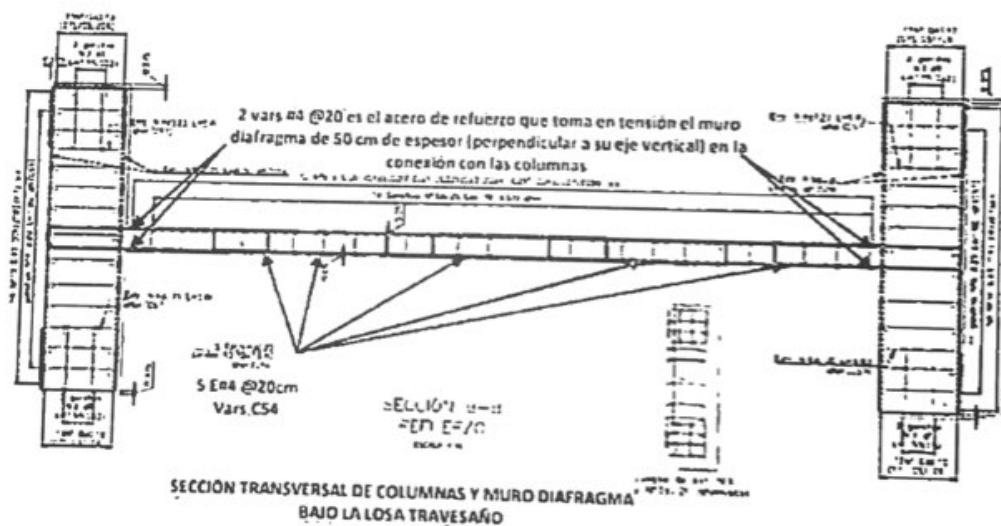
MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

El espesor del muro es de 50 cm, por lo tanto el área transversal para el ancho tributario que corresponde a cada estribo es de  $50 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 1000 \text{ cm}^2$ . El valor del esfuerzo de tensión  $S_{YY}$  mostrado en la figura es  $10.43 \text{ kg/cm}^2$ , por lo tanto la carga de tensión que debía resistir esta zona al momento de la falla es de  $1000 \text{ cm}^2 \times 10.43 \text{ kg/cm}^2 = 10,430 \text{ kg} = 10.43 \text{ ton}$ .

El refuerzo existente en el muro es de 1 estribo #4 con 2 ramas cuya capacidad a fluencia es de  $2 \times 1.27 \text{ cm}^2 \times 0.6 \times 4200 \text{ kg/cm}^2 = 6400.8 \text{ kg} = 6.4 \text{ ton}$  la cual es menor a la sollicitación de 10.43 ton lo que implica que se presentarían grietas en el muro diafragma que darían el indicio de una próxima falla.

Si se considera la capacidad a ruptura de dicho refuerzo horizontal se tendría una resistencia de  $2 \times 1.27 \text{ cm}^2 \times 4200 \text{ kg/cm}^2 = 10668 \text{ kg} = 10.67 \text{ ton}$  lo cual es apenas un 2% arriba de la carga requerida de 10.43 ton, que sin embargo no se está considerando ningún factor de carga por lo cual comprueba que habría falla del acero de refuerzo horizontal del muro diafragma.

Queda claro que una vez que se presenta la falla en estos elementos resistentes se presenta una redistribución de cargas que sobrecarga otros elementos de la torre y se desencadena la inestabilidad de toda la estructura.



#### Oficinas México

Av. Matutitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52) (55) 8334 0330 • Fax. 8334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protensado  
Ancoras al Terreno  
Unión de Vandas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Eólicas y Tanques Postensados  
Puentes Muebles

#### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 102 7ª piso, Oficina 162  
Torre Empresarial Celsique • Bucaramanga  
Email: jmenzo@mexpresa.com • www.mexpresa.com

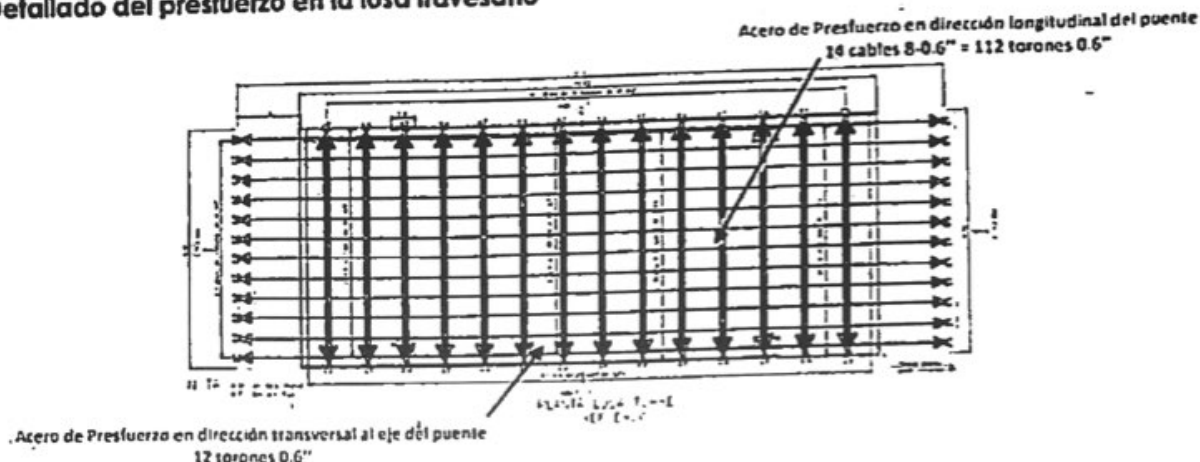
Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Combras Trepadoras y Especiales  
Combras Autoelevantes  
Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Alcantarados  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco

# MEXPRESA

MEXICANA DE PRESFUERZO S.A. DE C.V.

## Detallado del presfuerzo en la losa travesaño



Se muestra la planta de la losa travesaño con el presfuerzo indicado en plano y confirmado como presfuerzo existente. Llama la atención que en la dirección corta de la losa o dirección longitudinal del puente se indica un presfuerzo de 14 cables de 8 torones de 0.6" que equivalen a 112 torones de 0.6".

Además de que no queda claro cuál solicitación demandaría esta cantidad de presfuerzo en esta dirección, al ser un elemento tan corto en esa dirección (6.0 m) se presentarían pérdidas muy grandes, por lo cual, cabe la posibilidad de que esto sea un error de dibujo y posiblemente este presfuerzo debiera ir en la dirección larga de la losa o dirección transversal al eje del puente.

Se está trabajando el mismo modelo descrito previamente aplicando el presfuerzo bajo esta suposición. Es de esperarse que se alivié la tensión en la losa travesaño y se reduzca y redistribuya la tensión en el muro diafragma. Esto se realizará sólo como un ejercicio para verificar si dicho presfuerzo habría sido suficiente y se mostrarán los resultados en un próximo informe.

Se recomienda extender la revisión estructural de este proyecto para realizar un modelo completo con todas sus etapas constructivas así como para decidir las acciones a realizar en la torre 2 (eje C) que puede estar en una condición límite de falla.

### Oficinas México

Av. Nativitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52) (55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 192 1° piso, Oficina 182  
Torre Empresarial Cencos • Bucaramanga  
Email: jmatro@mexpresa.com • www.mexpresa.com

### Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Pretensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Vandas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cimbras Trepadoras y Especiales  
Cimbras Autoelevantes  
Campos de Colado

Puentes y Cubiertas Abanicos  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco





MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

## • CONCLUSIONES

Aunque este es un reporte producto de las primeras averiguaciones en poco más de una semana, y queda mucha materia por revisar, consideramos que se pueden enunciar algunas conclusiones:

1. Después de analizar los resultados con un modelo estructural simplificado de la Torre, se confirma la insuficiencia de la estructura ante las cargas estáticas propias del avance de construcción.
2. No hay evidencias que la falla se produzca por cuestiones Geotécnicas, de acuerdo al registro fotográfico, en que se aprecia el cabezal de cimentación intacto después del percance (ver Resumen geotecnia y observaciones, 24 Enero 2018)
3. Se descarta la presencia de algún evento exógeno como sismo o ráfaga de viento que provocara el colapso.
4. El video de la cámara de seguridad que grabó el colapso, muestra que la falla inicia en la misma torre, no detectando rompimiento alguno en el tablero y tirantes al iniciar el colapso.
5. Hay deficiencia en el Diseño de sistema de arriostramiento entre columnas de Torre en la sección de cambio de dirección.

- a. No hay acero de refuerzo pasante entre la cara interior de las columnas y los extremos de la losa travesaño.
- b. Lo anterior se confirma no solo en planos sino en la visita al sitio y en fotografías durante la construcción de la losa travesaño
- c. La losa travesaño solo son atravesadas por 12 cables unitarios de torón de 0.6", mismos que son insuficientes ante las sollicitaciones estáticas producidas por las componentes de columnas superiores.
- d. En el sentido longitudinal (paralelo al eje del puente), la misma losa travesaño contiene mucho mayor cantidad de presfuerzo cuando en este sentido es innecesario.
- e. La losa travesaño debe contener en su sección, la sección del cambio de dirección de las columnas, esto es: su eje transversal debería haber coincidido el eje del cambio de sección, cuando en este caso, está justo debajo del mismo.
- f. El muro diafragma de 50 cm de espesor que liga las columnas inferiores, tiene diseñado el acero de refuerzo principal en sentido vertical y el secundario en el sentido horizontal, cuando su función es inversa, con tensiones (tracciones) en forma transversal.

### Oficinas México

Av. Matutitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(66) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: [mexpresa@mexpresa.com](mailto:mexpresa@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras.

Postensado  
Protenado  
Anclas al Terreno  
Unión de Vértices

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Embores y Tanques Posicionados  
Puentes Móviles

### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 50 - 100 7° piso, Oficina 102  
Torre Empresarial C.e. que • Bucaramanga  
Email: [jmanro@mexpresa.com](mailto:jmanro@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cubras Trencadoras y Espesores  
Cubras Autocortantes  
Carros de Colado

Puentes y Cubiertas Abrazados  
Puentes por Voladizo  
Puentes Empujados  
Puentes Arco



MEXICANA DE PRESFUERZO S A DE C V

#### • RECOMENDACIONES

1. Asumiendo que este tramo ha sido diseñado y construido bajo los mismos parámetros de la torre colapsada, y con el conocimiento de que la misma se encuentra una fase de construcción previa a la pila que colapso, seguramente la torre que hoy sigue en pie, posiblemente se encuentra en un estado inicial de falla.
2. Aunque existen técnicas de reforzamiento que podrían rescatar la estructura que quedo en pie, recomendamos no tomar más riesgos, y hacer de inmediato posible una demolición racional y segura, que evite el riesgo tanto para personas como para las estructuras aledañas.
3. El desmantelamiento de los escombros de la estructura colapsada, debe realizarse de manera cuidadosa, previo a aseguramiento al terreno de sus componentes ya que muestran una inestabilidad incipiente. Recomendamos utilizar un sistema de Cable vía o Blondín de capacidad entre 15 y 20 Ton de capacidad con suficiente área de actuación transversal suficientemente amplia para retirar por segmentos los restos seccionados de la estructura.

1.6.1.

Handwritten signature and initials.

#### Oficinas México

Av. Nativitas 8479 • 16090 Xochimilco, D.F. • México

Tel. • (52)(55) 8334 0330 • Fax. 8334 0331

E-mail: mexpresa@mexpresa.com • www.mexpresa.com

Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postesado  
Pretensado  
Ancias al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Pavimentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Buenos

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cintas Trepadoras y Especiales  
Cintas Autodescendentes

Puentes y Cubiertas Atravesadas  
Puentes por Voladizo

#### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 - 102 2º piso, Oficina 702

Torre Empresarial Cacho • Bogotá

E-mail: yhuana@mexpresa.com • www.mexpresa.com



Cd. De México 25 de Enero de 2018

Elaboraron

*Christian Balcázar B.*

Ing. Christian Balcázar Benítez

*[Signature]*

Ing. Miguel Angel Lucho Chang

Reviso

*[Signature]*  
Ing. Pedro Guardado Pérez

Aprobó

*[Signature]*  
Ing. Arturo Perez Aguilar

#### Oficinas México

Av. Nativitas 8429 • 16090 Xochimilco, D.F. • México  
Tel. • (52)(55) 6334 0330 • Fax. 6334 0331  
Email: [mexpresa@mexpresa.com](mailto:mexpresa@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

#### Sucursal Colombia

Transversal Oriental No. 90 • 102 1ª piso, Oficina 702  
Torre Empresarial Cacique • Bogotá D.C.  
Email: [jmanre@mexpresa.com](mailto:jmanre@mexpresa.com) • [www.mexpresa.com](http://www.mexpresa.com)

#### Ingeniería y Sistemas para la Construcción de Estructuras:

Postensado  
Protenado  
Ancias al Terreno  
Unión de Varillas

Apoyos y Amortiguadores para Puentes  
Juntas para Puentes y Parmentos  
Edificios y Tanques Postensados  
Puentes Móviles

Sistemas de Montaje y Desplazamiento  
Cubras Trepadoras y Especiales  
Cubras Autodesplazantes  
Carros de Colorado

Puentes y Cubiertas Abrazados  
Puentes por Voladizos  
Puentes Empujados  
Puentes Arco