

FIGURA 8.2 MODELO MATEMATICO

TABLA 8.1

**PROPIEDADES DINAMICAS DEL PASILLO EN
SU ESTADO ACTUAL**

MODO	PERIODO (seg)	MASA PARTICIPATIVA		
		DIR X	DIR Y	DIR Z
1	2,308	0,000	96,037	0,000
2	0,339	0,000	3,777	0,000
3	0,318	99,771	0,000	0,000

8.2.4.- FUERZA CORTANTE Y DESPLAZABILIDAD

En el Anexo E-1 se dan los valores correspondientes a cada miembro. Tanto en los desplazamientos como las solicitaciones, se dan las tres combinaciones de carga siguientes:

Combinación 1: Gravedad

Combinación 2: Sismo

Combinación 3: Gravedad \pm Sismo

Para la determinación de las fuerzas cortantes y desplazabilidad de la estructura, los efectos del sismo se obtuvieron superponiendo los efectos en las direcciones X, Y y Z según el criterio de superposición de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados.

8.2.5.- VERIFICACION DE LA SEGURIDAD

Para sismo en dirección Y, el sistema es muy flexible (20 kg/cm). Los desplazamientos máximos en esa dirección, a nivel de las juntas 7 y 9, alcanzan 27,4 cm. Esto conduce a una deriva igual a: $27,4/225 = 0,122$ que es varias veces mayor que la tolerable, con riesgo de que se generen efectos de segundo orden (P- Δ).

En la dirección X, el sistema es 54 veces más rígido (1091 kg/cm). Aún cuando las fuerzas por sismo son mayores, los desplazamientos máximos esperados son 17 veces menores (1,54 cm) y la deriva es tolerable: $1,54/225 = 0,0068$.

Las zonas críticas a flexocompresión de la caminerías, bajo la acción de las fuerzas sísmicas esperadas en el sitio, son las bases de las columnas UPS-80, las cuales se han supuesto empotradas a nivel de piso. Las propiedades de la sección son las siguientes:

$$A = 7,84 \text{ cm}^2$$

$$I_{yy} = 75,7 \text{ cm}^4$$

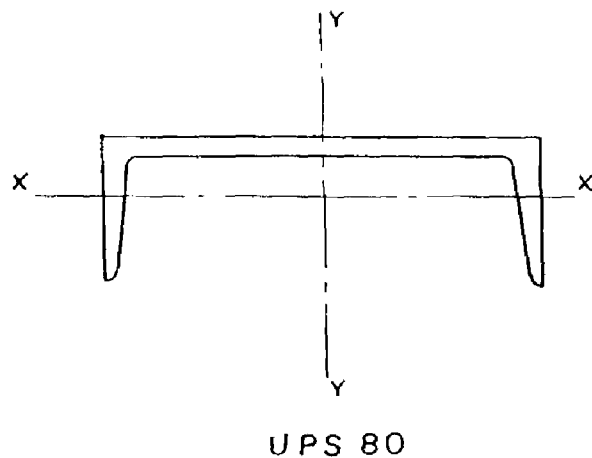
$$I_{xx} = 8,44 \text{ cm}^4$$

$$r_y = 3,11 \text{ cm}$$

$$r_x = 1,04 \text{ cm}$$

$$w_x = 3,52 \text{ cm}^3$$

$$w_y = 18,9 \text{ cm}^3$$



Para el elemento 4 se tienen las siguientes solicitaciones:

$$P = 1920,6 \text{ kg}$$

$$M_x = 319,46 \text{ kg-m}$$

$$M_y = 329,03 \text{ kg-m}$$

$$L = 2,00 \text{ m}$$

El esfuerzo de compresión admisible $F_a = 1189,8 \text{ kg/cm}^2$ (véase procedimiento en la Sección 8.3.3) satisface la condición:

$$F_a \times 0,15 < \frac{P}{A} = 245 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Por tanto se debe cumplir que los esfuerzos por flexión (f_b) no excedan los admisibles (F_b) calculados en la forma que se anota en la Sección 8.3.3. Los resultados obtenidos son:

$$f_{bx} = \frac{M_x}{W_x R} = 3630,2 > 1500 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{W_x R} = 696,4 < 1500 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

De lo anterior se concluye que las caminerías o pasillos son excesivamente flexibles e inseguras por su baja capacidad portante.

8.3.- EVALUACION DEL PASILLO REFORZADO

8.3.1.- ELEMENTOS DE REFUERZO

En su configuración actual, la vulnerabilidad del pasillo es debida a que los cuatro elementos de acero que conforman cada uno de los pórticos de soporte (Figura 8.1), y que deben resistir la acción sísmica en ambas direcciones, fallan por flexión de sus miembros.

Una alternativa de refuerzo consiste en colocar elementos metálicos para rigidizar el sistema en el plano ZY por medio de cruces de San Andrés, un vano si y otro no, (Figura 8.3) y en el plano XZ con conectores entre las columnas (Figura 8.4). Esta alternativa tiene por finalidad incrementar la rigidez y resistencia del sistema, a la vez que es económica y de fácil ejecución.

8.3.2.- PROPIEDADES DINAMICAS

Con los nuevos elementos, las propiedades dinámicas del sistema tienen los valores anotados en las Tablas 8.2 y 8.3. En la Tabla 8.2 se dan los resultados obtenidos para la evaluación del efecto que producen las diagonales en la dirección transversal a las caminerías (plano de los pórticos), bajo la acción de cargas laterales.

Por otro lado, en la Tabla 8.3 se dan los resultados de la acción conjunta del refuerzo en las dos direcciones, bajo la acción de cargas laterales.

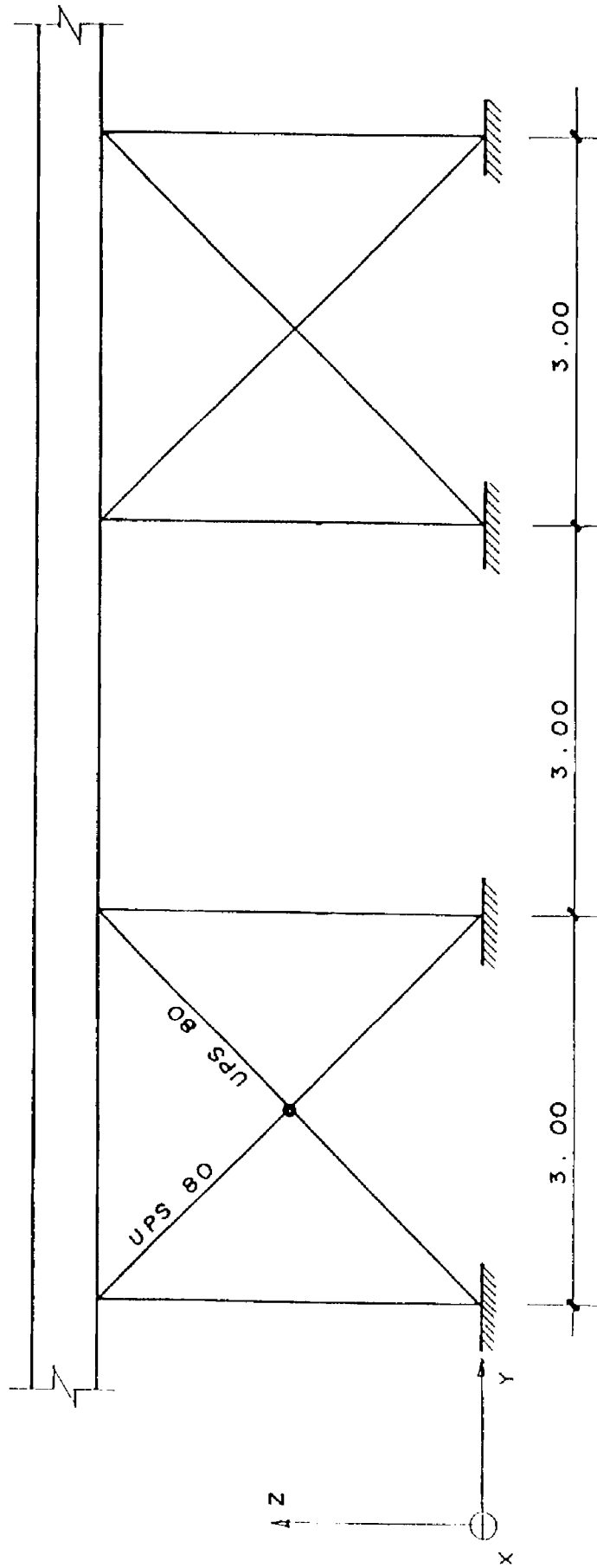


FIGURA 8.3 REFUERZO EN EL PLANO YZ

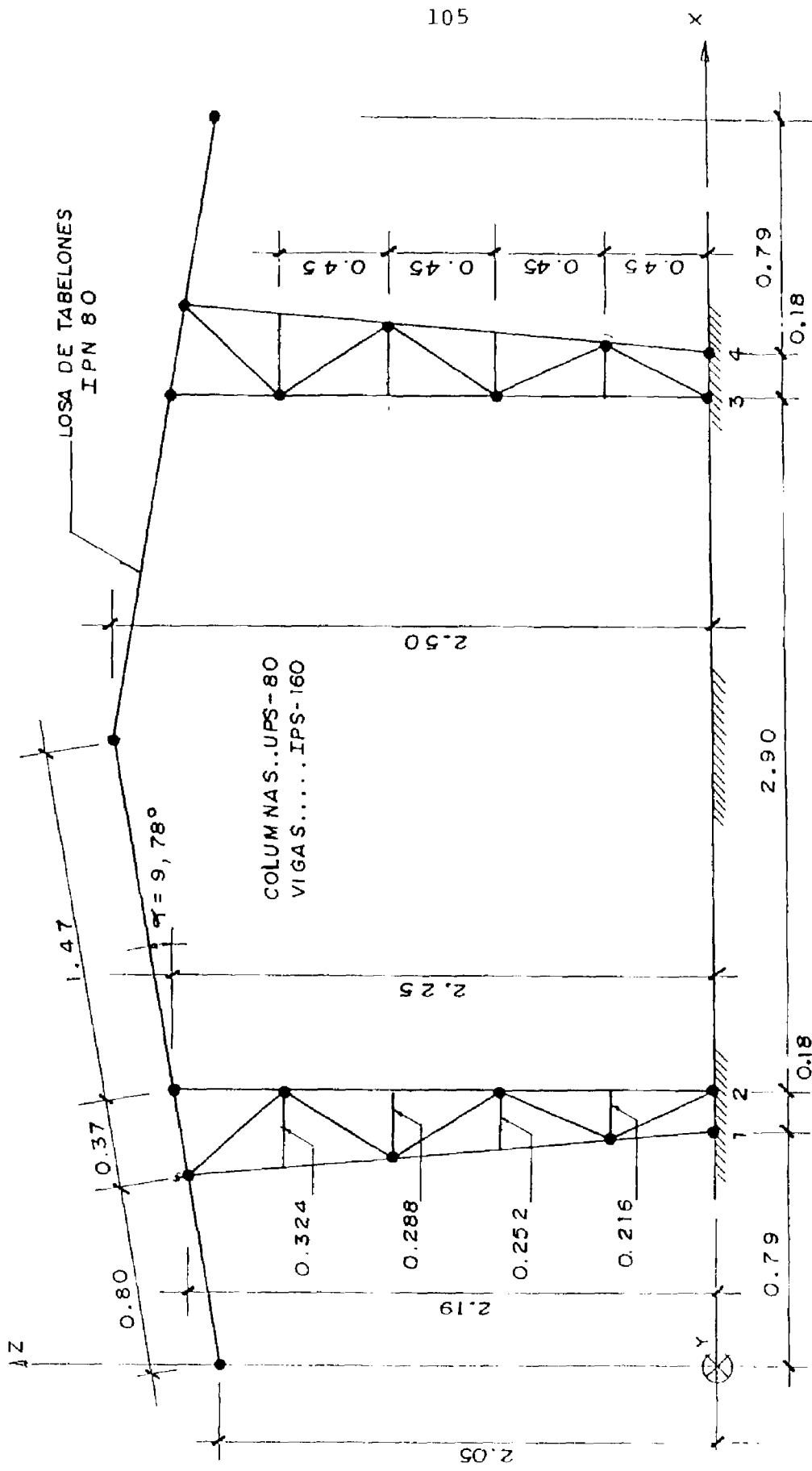


FIGURA 8.4 REFUERZO EN EL PLANO XZ

TABLA 8.2

PROPIEDADES DINAMICAS DEL PASILLO CON LOS ELEMENTOS DE
REFUERZO EN LA DIRECCION TRANSVERSAL

MODO	PERIODO	MASA PARTICIPATIVA (%)	
		DIR X	DIR Y
1	0,278	0,000	0,002
2	0,264	0,000	99,998
3	0,031	100,000	0,000
	Σ	100%	100%

TABLA 8.3

PROPIEDADES DINAMICAS DEL PASILLO CON LOS
ELEMENTOS DE REFUERZO EN DOS DIRECCIONES

MODO	PERIODO (seg)	MASA PARTICIPATIVA (%)	
		DIR X	DIR Y
1	0,046	0,000	100,00
2	0,031	100,00	0,000
3	0,028	0,000	0,000
	Σ	100%	100%

Al comparar las propiedades dinámicas anotadas en la Tabla 8.1, con las indicadas en la Tabla 8.2 y 8.3, se nota el efecto de arriostramiento que tienen los refuerzos adoptados.

En el Anexo E-2 se encuentra el modelo matemático con la numeración de juntas y elementos. En los Anexos E-3 y E-4 se dan, respectivamente, las propiedades dinámicas para el modelo simple (pórtico plano) y el modelo con el arriostramiento en las dos direcciones (Figura 8.5).

En las Figuras 8.6 y 8.7, se ilustran formas modales del modelo arriostrado en las dos direcciones.

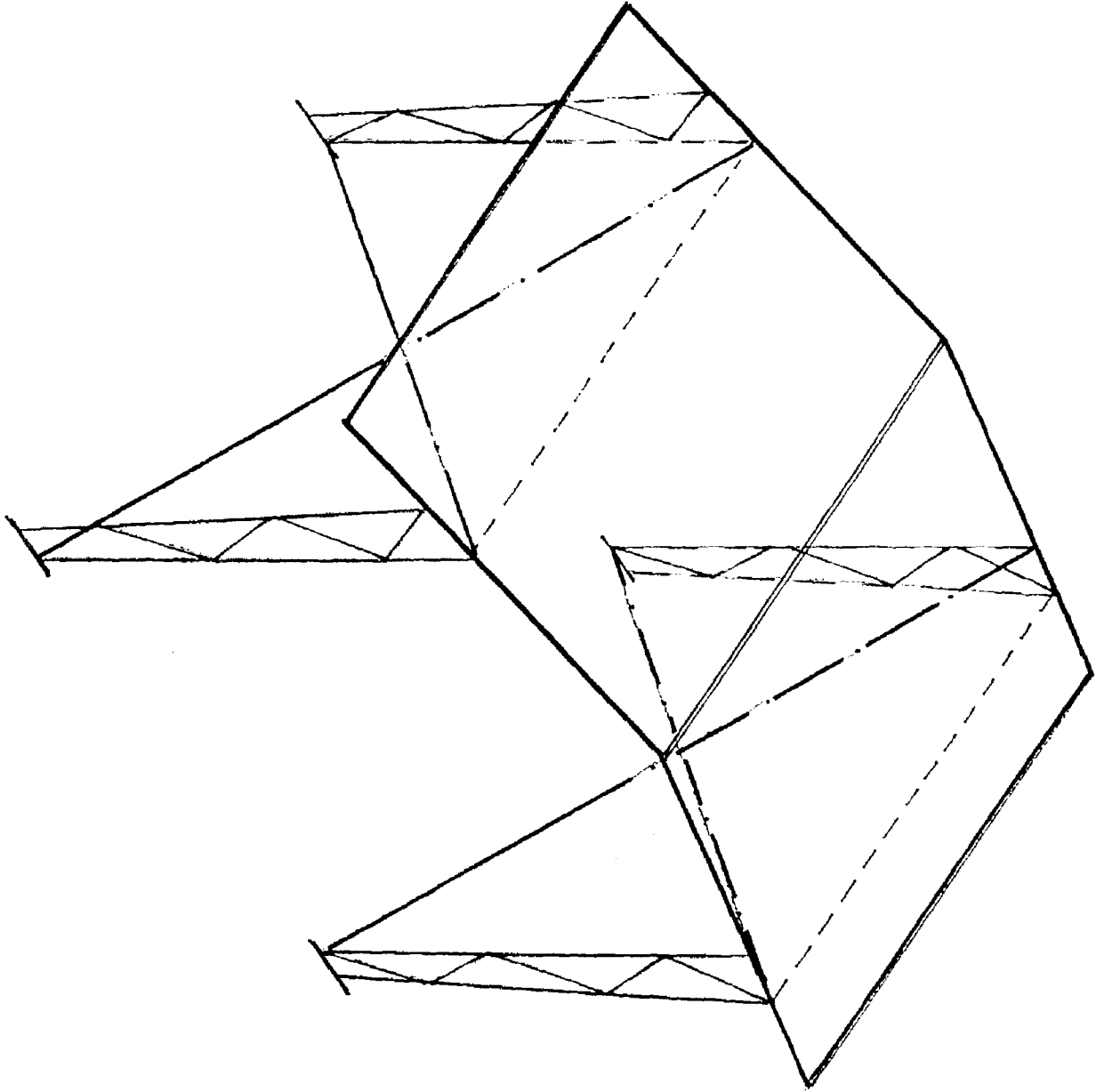
8.3.3.- VERIFICACION DE LA SEGURIDAD

En la dirección Y, los desplazamientos máximos en las juntas 8, 18, 28 y 38 resultan ahora considerablemente menores por efecto de la rigidización de los miembros UPS-80 dispuestos en diagonal. El desplazamiento máximo esperado es de 0,15 mm y los esfuerzos axiales en las diagonales valen 62,5 kg/cm², ambos valores aceptables.

Igualmente, en la dirección X el refuerzo propuesto conduce a esfuerzos aceptables y desplazamientos menores aún que los de la estructura no reforzada.

a) Flexocompresión

Para la verificación de las columnas a flexocompresión, bajo la acción de sismos, a continuación se evalúa, el elemento vertical mas solicitado

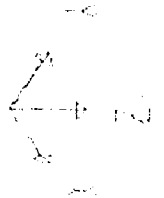


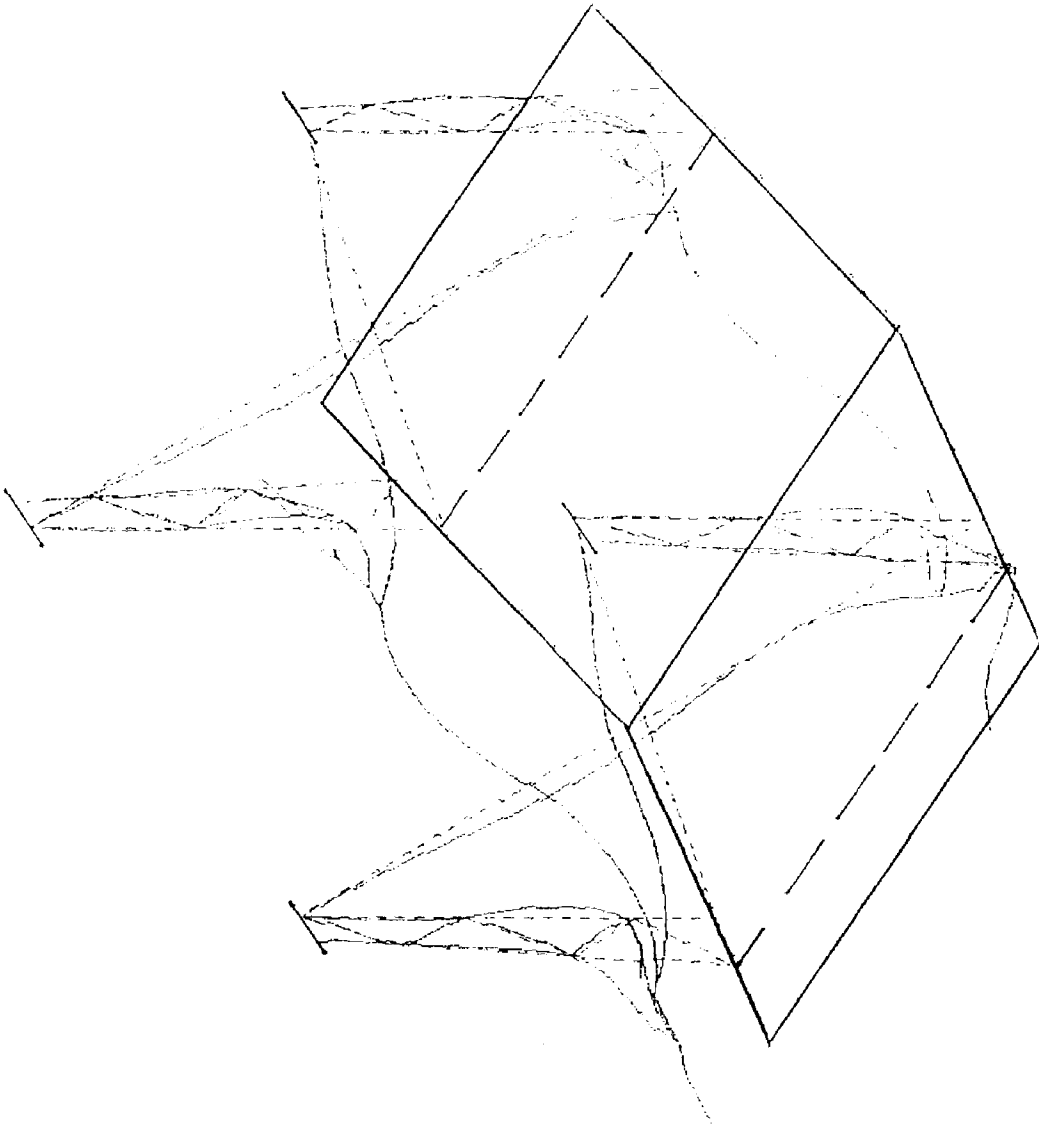
06/07/88

FILE : camión

UNDEFORMED SHAPE

FIGURA 8.5

MODELO CON
REFUERZO EN
LAS DOS
DIRECCIONES



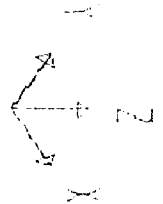
SAP90

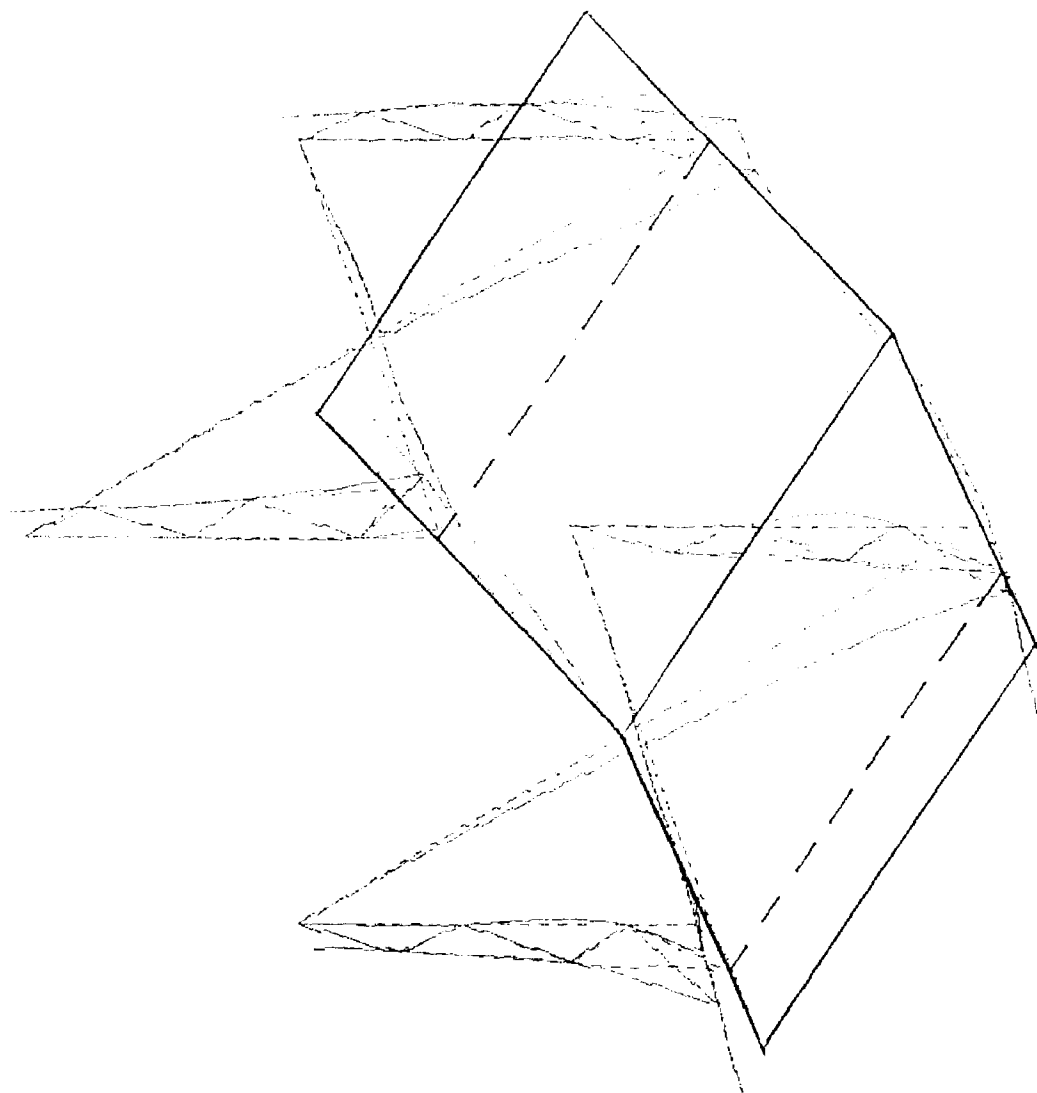
FILE : cominér

DEFORMED SHAPE

MODE : 1

FIGURA 8.6 PRIMER MODO DE VIBRACION. MODELO DEL REFUERZO EN LAS DOS DIRECCIONES



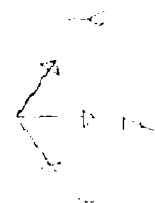


SAP90

FILE : caminón
 DEFORMED SHAPE
 MODE : 2

FIGURA 8.7

SEGUNDO MODO DE
 VIBRACION.
 MODELO DEL RE-
 FUERZO EN LAS
 DOS DIRECCIONES



$$P = 567,25 \text{ kg}$$

$$M_x = 12,78 \text{ kg-m}$$

$$M_y = 2,48 \text{ kg-m}$$

$$L = 0,45 \text{ m}$$

Fuerza de compresión actuante

$$f_a = P/A = \frac{567,25 \text{ kg}}{7,84 \text{ cm}^2} \longrightarrow f_a = 72,35 \text{ kg/cm}^2$$

Fuerza de compresión admisible

$$\left. \begin{aligned} \lambda_c &= \frac{6440}{F_y} = \frac{6440}{2500} = 128,80 \\ \frac{KL}{r} &= \frac{1,00 \times 45 \text{ cm}}{3,11 \text{ cm}} = 14,47 \end{aligned} \right\} \frac{(KL/r)}{\lambda_c} = 0,11$$

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2 \lambda c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3 (KL/r)}{8 \lambda c} - \frac{(KL/r)^3}{8 \lambda c^3}} = 1455,06 \text{ kg/cm}^2$$

$$(f_a/F_a) = 0,05 < 0,15$$

se debe verificar:

$$1) \frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1,0$$

$$F_{bx} = F_{by} = 0,60 F_y = 0,60 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 = 1500 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{bx} = \frac{M_x}{w_x} = \frac{1278 \text{ kg-cm}}{3,52 \text{ cm}^3} = 363,07 \text{ kg/cm}^2 < F_{bx}$$

$$f_{by} = \frac{M_y}{w_y} = \frac{248 \text{ kg-cm}}{18,9 \text{ cm}^3} = 13,12 \text{ kg/cm}^2 < F_{by}$$

Luego;

$$\frac{72,35 \text{ kg/cm}^2}{1455,06 \text{ kg/cm}^2} + \frac{363,07 \text{ kg/cm}^2}{1500 \text{ kg/cm}^2} + \frac{13,12 \text{ kg/cm}^2}{1500 \text{ kg/cm}^2} = 0,30 \leq 1,00$$

b) Compresión

La carga crítica de pandeo es:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{(KL)^2} = 1161.7 \text{ kg}$$

Esta capacidad es superior a la carga actuante, por tanto no se esperan fallas por pandeo

8.3.4.- CONCLUSIONES

Con los elementos de refuerzo propuestos, las caminerías tienen una respuesta sismorresistente adecuada.

En la dirección longitudinal, las cruces de San Andrés se han dispuesto alternadamente: un vano sí y uno no. Vista su reserva resistente, la opción de disponer esos elementos de rigidización a separaciones mayores también podría conducir a respuestas adecuadas. En la selección de la disposición definitiva se deberán considerar los cambios de rumbo e interrupciones a lo largo de las caminerías existentes.