

ESTUDIO COMPARATIVO DE ANALISIS SISMICO DE UNA ESTRUCTURA DE
ACERO EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

José Alberto Escobar Sánchez (I)
Manuel Juárez Izaguirre (I)

R E S U M E N

Se presenta un estudio comparativo de diferentes métodos simplificados de análisis sísmico aplicados a una estructura de acero perteneciente a una planta petroquímica, con el objeto de determinar la facilidad, economía en costo y tiempo de aplicación, de cada uno de ellos, considerando que muchas veces la premura del tiempo en la entrega de los proyectos es limitado, lo cual impide llevar a cabo análisis demasiado elaborados y costosos, pero sin descuidar el nivel de seguridad de la estructura. Se hace una breve descripción de los métodos empleados, y se mencionan las ventajas de cada uno de ellos.

I N T R O D U C C I O N

Las bases racionales para el análisis y diseño de estructuras de edificios sometidas a fuerzas sísmicas han sido estudiadas ampliamente, llegándose a desarrollar procedimientos numéricos simplificados que permiten obtener (a cambio de un incremento en el costo de la estructura al diseñarla) su respuesta sísmica; por otro lado, en la práctica de la ingeniería estructural, es común que la gran mayoría de los proyectos que se trabajan tengan que realizarse a la mayor brevedad, razón por la cual el uso de los métodos simplificados se incrementa notablemente.

En la industria petrolera, los aspectos anteriores representan los requisitos básicos que se deben cumplir durante la etapa de análisis y diseño de la estructura, puesto que, debido al alto costo de los equipos que soportará y a la gran cantidad de pérdidas materiales y aún humanas que ocasionaría su falla, es necesario asegurar el nivel requerido de seguridad que debe presentar, mientras que, por otra parte, el retraso en su construcción y puesta en operación representa también pérdidas económicas considerables.

Por todo lo anterior se motivó la realización de este trabajo con el objetivo de evaluar el grado de aplicabilidad de los métodos simplificados para el análisis sísmico de una estructura de acero real, comparándose con un método más elaborado al considerar el comportamiento dinámico tridimensional de la misma. En sí, se presentan los resultados obtenidos de diferentes tipos simplificados de análisis sísmicos, así como una

breve descripción de cada uno de ellos, basados tanto en el Reglamento de Construcciones para el D.F. (ref. 1), como el Manual de Diseño de Obras Civiles de la C.F.E. (ref. 2), los cuales son el análisis sísmico estático, el método dinámico basado en un espectro de diseño considerando que la estructura responde por marcos planos ortogonales, el mismo análisis de espectro de diseño pero considerando el comportamiento tridimensional de la estructura, y un análisis sísmico estático sin considerar la torsión de la estructura.

ESTRUCTURA ANALIZADA

La estructura analizada es un edificio de acero de 40 m. de altura aproximadamente, integrante del Complejo Petroquímico de PEMEX ubicado en Salina Cruz, Oax., destinado para dar servicio, entre otros, a cuatro equipos de proceso petroquímico con un peso en operación que va de 13.4 ton. a 24 ton. para cada uno de ellos, los cuales van colocados en diferentes niveles del mismo. En base a esto, y debido a que en dichos equipos se interconectan una gran cantidad de tuberías, la estructuración se tuvo que resolver a base de marcos de acero contraventeados con entresijos a diferente altura, quedando resuelta como se muestra en la fig. 1. Los equipos quedarán apoyados como se indica a continuación; dos de ellos denominados AEA-24 A/B con un peso de 24 ton. cada uno en el nivel +5.900 m., el AEA-23 con 24 ton. de peso en el nivel +11.750 m., y el AEA-22 con 13.717 ton. de peso en +26.600 m. Además, los equipos llevan en su interior un haz de tubos a través de los cuales realizan sus funciones, por lo que es necesario darles mantenimiento periódicamente extrayendo dichos tubos para su limpieza, operación que se realiza mediante una "grúa viajera" localizada en el nivel +35.000 m., la cual se encarga de bajar el haz de cada uno de los equipos hasta el piso, de donde son transportados al taller para su mantenimiento, por esta razón no fue posible contraventear la cruzilla de 10 m., dado que en la parte de abajo es necesario disponer de espacio para la maniobra de carga y descarga. Finalmente, como se mencionó, el edificio está formado en su totalidad por perfiles de acero estructural A-36 con $f_y=2530 \text{ kg/cm}^2$. cuyas secciones se presentan en la Tabla I, esto es incluyendo los niveles de entresijo, los cuales se han formado con una retícula de secciones IPR y CPS para proporcionar la rigidez adecuada, apoyándose sobre éstos una rejilla de acero antiderrapante, la que proporciona el piso propiamente dicho, en cada nivel.

De acuerdo a todas las características mencionadas, y según el Manual de Obras Civiles de la C.F.E., la estructura queda clasificada en el grupo A tipo 1, por construirse en la zona sísmica D, sobre suelo tipo III, correspondiéndole un coeficiente sísmico $C_s = 0.21$, considerando que la estructura tiene un factor de ductilidad de 4.

MÉTODOS DE ANÁLISIS

En este párrafo se describen brevemente los métodos de análisis que se aplicaron a la estructura, pudiéndose encontrar su

1). Análisis Sísmico Estático.

Se fundamenta en la observación del comportamiento de distintas estructuras en base a la cual se han desarrollado expresiones matemáticas que permiten obtener una distribución de -- fuerzas laterales, tal que, representen de una manera aproximada al comportamiento dinámico de la estructura, considerando -- los efectos ocasionados por la torsión sísmica estática.

2). Análisis Dinámico Espectral.

Consiste en resolver el sistema de ecuaciones de movimiento de la estructura para obtener los modos naturales de vibración mediante algún método iterativo, calculando posteriormente su respuesta total combinando las respuestas de cada modo multiplicadas por el factor de participación correspondiente, para -- obtener las respuestas máximas de la estructura al considerar -- un espectro de diseño, y a partir de éstas, utilizando el criterio de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (ref. 1 y -- 2), obtener la respuesta máxima total de la estructura.

En este método se considerarán dos opciones.

a). Análisis dinámico espectral por marcos planos.

Se considera el comportamiento de la estructura en dos marcos planos perpendiculares entre sí.

b). Análisis dinámico espectral en tres dimensiones.

Se considera el comportamiento de la estructura tridimensional para lo cual se utilizó el programa SAP V, modelando los elementos que forman cada marco como elementos viga en el espacio, y los sistemas de piso con elementos viga -- que reprodujeran adecuadamente el comportamiento de cada -- uno de ellos, esta modelación se hace debido a que si se -- consideran todos y cada uno de los elementos que forman -- los sistemas de piso (que como se explicó antes, están formados a base de secciones IPR y CPS), la cantidad de nodos y elementos es muy grande, y en consecuencia el tiempo de computadora y el costo empleado en el análisis sería injustificable.

3). Análisis Sísmico Estático Simple.

En base a que el objetivo de los métodos de análisis sísmico es obtener estructuras cuyo comportamiento sea adecuado para resistir sismos de diversa intensidad sin sufrir daño, y en función del análisis y diseño de estructuras semejantes, se ha llegado a utilizar el método de análisis sísmico estático descrito en el inciso 1 anterior, pero sin considerar el efecto de la --

torsión estática, justificándose la economía en tiempo de aplicación, ya que en el medio de análisis y diseño para la industria petrolera es común, que debido a la gran cantidad de arreglos de tuberías que llevan los equipos que soportan las estructuras, la información relativa a las cargas sea modificada más de una vez, lo que llevaría a revisar el comportamiento de la estructura con cada nuevo arreglo de cargas, motivo por el cual resultaría incosteable la aplicación de métodos demasiado elaborados, surgiendo la necesidad de cubrir todas esas incertidumbres al utilizar criterios conservadores en cuanto a la evaluación de las cargas y la determinación del comportamiento sísmico de las estructuras.

R E S U L T A D O S

Para evaluar la aproximación de los métodos aplicados, se compararán las fuerzas cortantes obtenidas en cada uno de ellos, así como los periodos de vibración. Esto lo podemos ver en la Tabla II donde se observan los primeros tres periodos de vibración provenientes de los métodos de análisis dinámico espectral, observándose la aproximación entre ellos. Mientras que, en la Tabla III, podemos observar las fuerzas cortantes provenientes de cada uno de los métodos de análisis, que llegan a incrementar se considerablemente, justificándose su utilización por las razones expuestas en los párrafos anteriores.

En la Tabla II podemos observar algunos periodos de vibración de la estructura obtenidos con los métodos 2a y 2b, haciéndose notar que para el método 2b se modeló a la estructura con todos sus elementos de contraventeo obteniéndose los resultados que se muestran en la columna 1, y únicamente con los que se considera trabajan (debido a que son elementos flexibles a compresión) columna 2, considerándose éstos últimos como los más aproximados.

De la Tabla III se observa que las fuerzas cortantes laterales equivalentes obtenidas con los métodos 1 y 2a son muy similares, mientras que con el método 3 las fuerzas cortantes se incrementan notablemente, lo que proporcionará elementos mecánicos altos, como podemos ver en la Tabla IV donde se muestran éstos para el método 2b y el método 3 para dos elementos críticos.

C O N C L U S I O N E S

El análisis sísmico estático, sin considerar la torsión, proporciona resultados bastante conservadores, justificándose su utilización debido a que su aplicación es sencilla y breve, además de que la sobrestimación al evaluar las fuerzas es aprovechada para absorber las variaciones y modificaciones mencionadas en cuanto a las sollicitaciones a las que estará sometida la estructura en la etapa de análisis, ya que de no hacerse así, habría necesidad de analizar y diseñar una y otra vez la misma, lo que al final vendría a ser mucho más costoso y tardado que el diseño conservador obtenido a partir del análisis sísmico estático sin

torsión.

El análisis dinámico en tres dimensiones, a pesar de ser más aproximado, presenta la desventaja de ser mucho más caro -- por la gran cantidad de tiempo de máquina que consume, además, la preparación de los datos y la interpretación de los resultados es laboriosa debido a la enorme cantidad de números que se manejan, todo esto, sin descuidar el modelo que se utilice para representar numéricamente a la estructura, puesto que el comportamiento de éste se ve grandemente afectado por errores numéricos ocasionados, por modos de vibrar locales de elementos demasiado elásticos, como son los contraventeos de acero redondo o elementos con momentos de inercia demasiado pequeños comparados con su longitud.

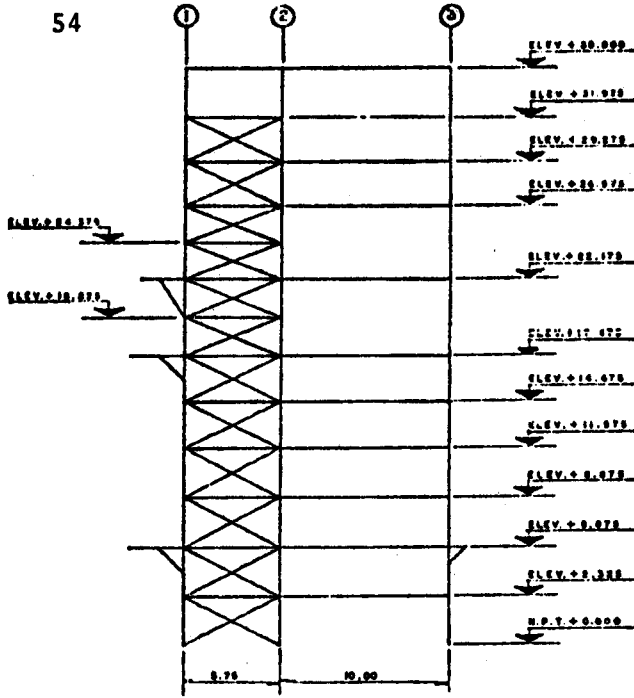
Finalmente, se siente la necesidad de que los reglamentos de construcción consideren con más detalle la respuesta sísmica de estructuras de acero de edificios industriales, puesto que -- están enfocados básicamente hacia estructuras de edificios urbanos, los cuales no son del todo semejantes, ya que los edificios industriales pueden poseer características tales como marcos contraventeados a base de acero redondo tensado, niveles de piso flexibles, grandes masas concentradas en algunos pisos ocasionadas por los equipos que soportan, así como apéndices y -- entrepisos de diferente altura, lo que viene a ser determinante en el comportamiento dinámico, y en consecuencia, en la respuesta sísmica de las estructuras.

R E F E R E N C I A S

1. "Manual de Diseño por Sismo", Instituto de Ingeniería, -- UNAM, No. 406, Julio, 1977.
2. "Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo", -- Comisión Federal de Electricidad, México, 1981.
3. Rosenblueth, E., y Esteva, L., "Folleto Complementario al -- Reglamento de Construcciones del D.F.", México 1962.

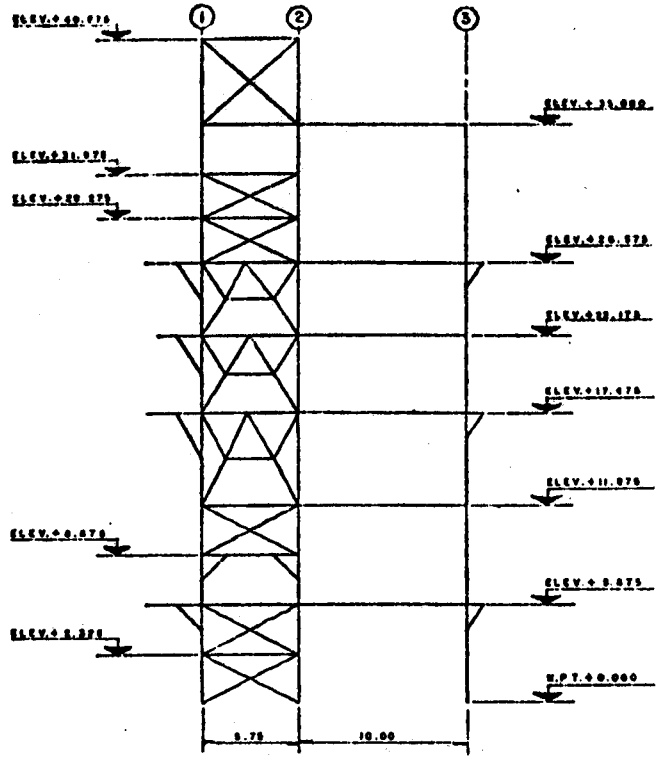
Se agradece la ayuda de Carlos Tapia en el manejo del -- Programa de Análisis utilizado.

54



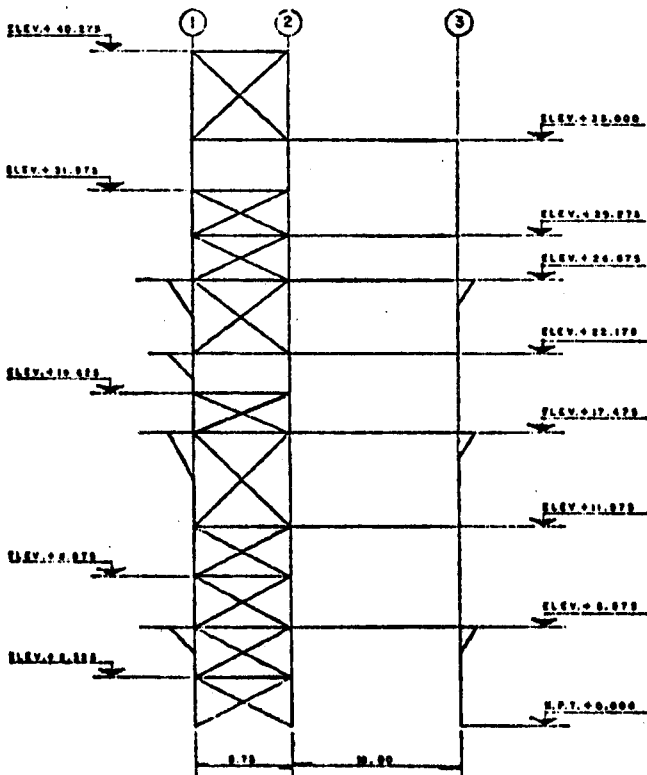
MARCO EJE A Z= 0.00 M

ESCALA 1:200.0



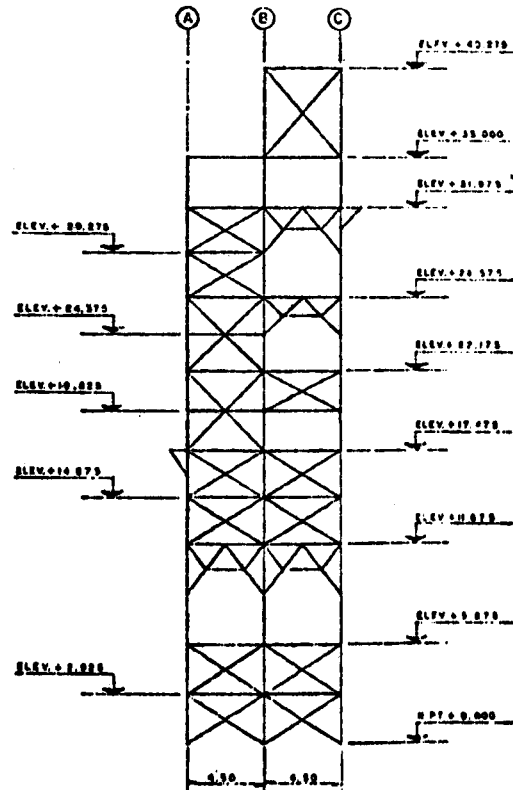
MARCO EJE B Z= 4.60 M

ESCALA 1:200.0



MARCO EJE C Z= 9.00 M

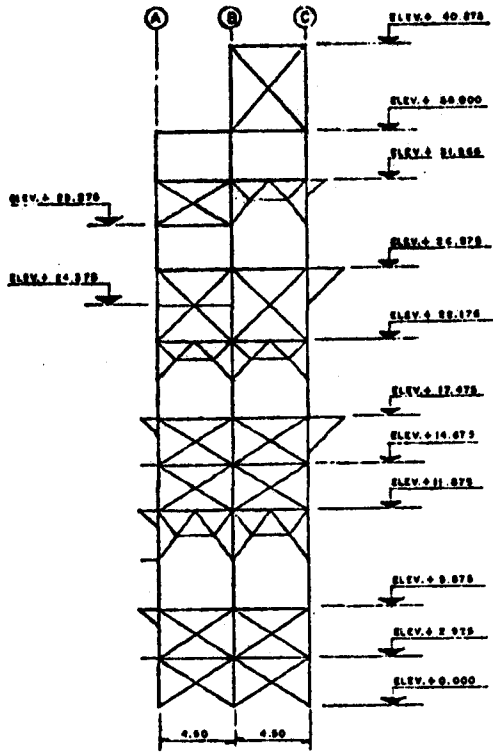
ESCALA 1:200.0



MARCO EJE 1 X= 0.00 M

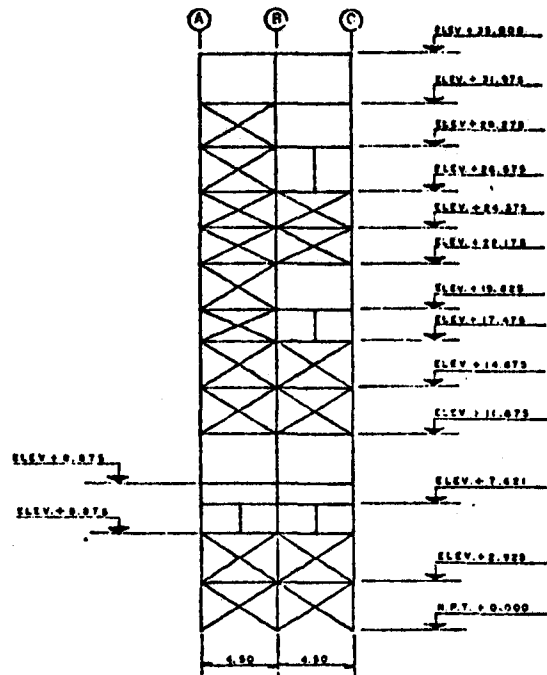
ESCALA 1:200.0

Fig. 1 Estructuración



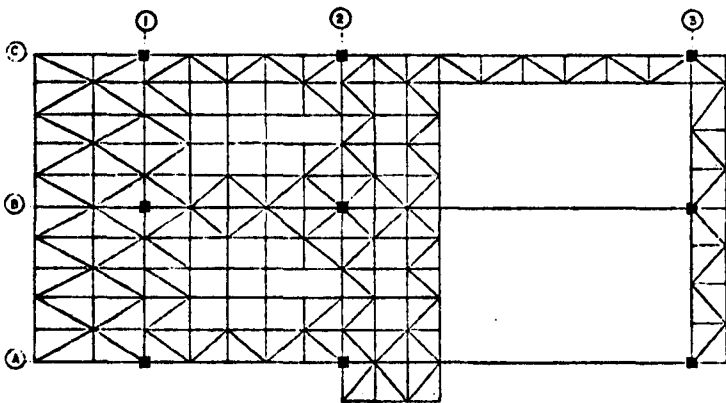
MARCO EJE 2 X= 5.75 M

ESCALA 1:200.0



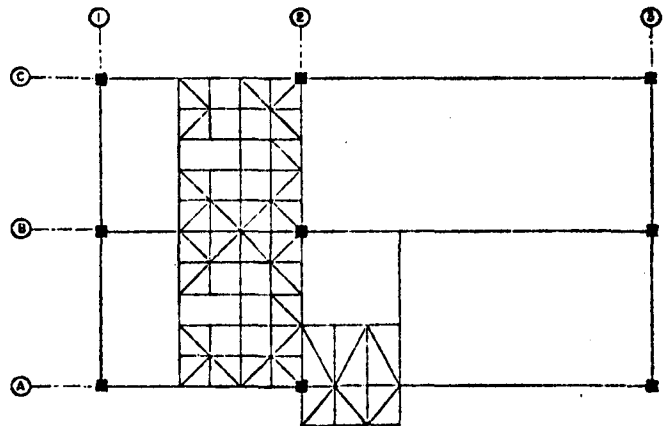
MARCO EJE 3 X= 15.75 M

ESCALA 1:200.0



PLANTA EN ELEV. Y= 5.875 M

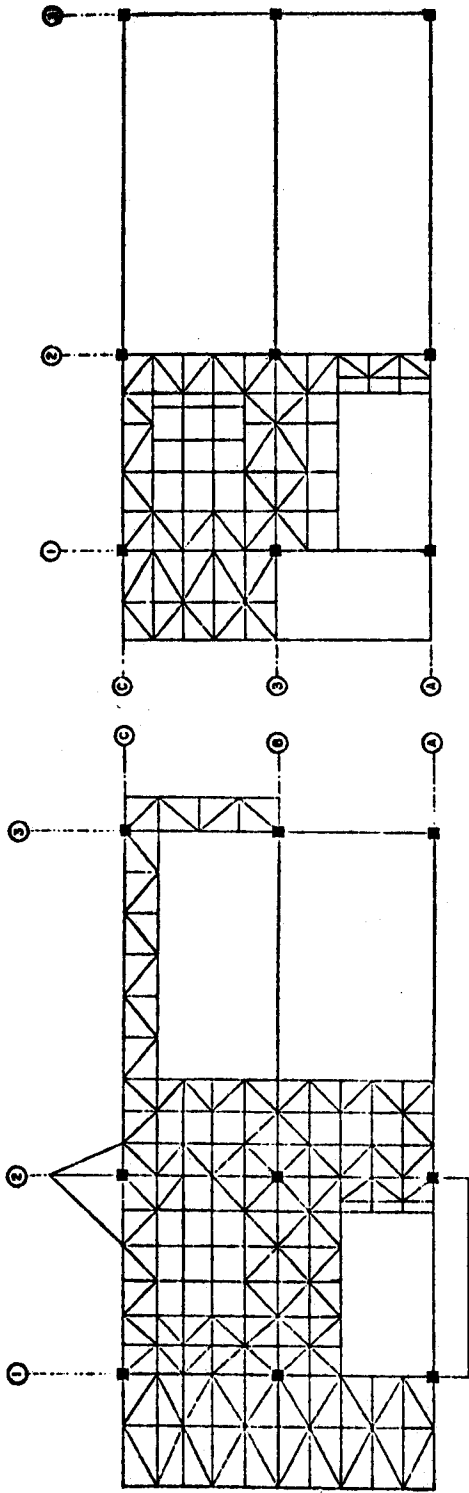
ESCALA 1:100.0



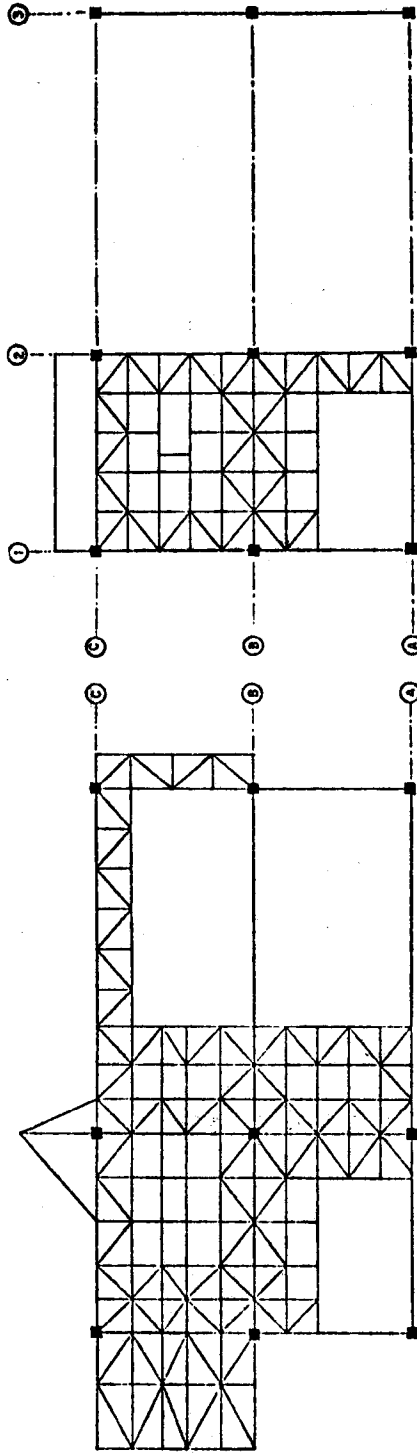
PLANTA EN ELEV. Y= 11.875 M

ESCALA 1:100.0

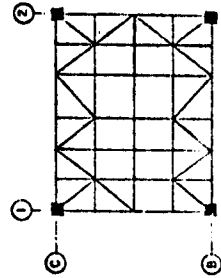
Fig. 1 (Cont.)



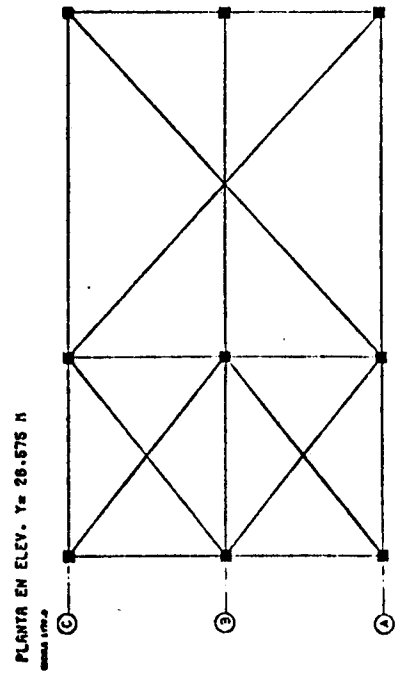
PLANTA EN ELEV. Y= 22.175 M
Corte 1-1



PLANTA EN ELEV. Y= 31.975 M
Corte 1-1



PLANTA EN ELEV. Y= 40.275 M
Corte 1-1



PLANTA EN ELEV. Y= 26.675 M
Corte 1-1

PLANTA EN ELEV. Y= 35.000 M

Fig. 1 (Cont.)

TABLA I-SECCIONES




MARCA	DESCRIPCION
(T-1)	IPR- 457 x 222 x 104.30 Kg/m.
(T-2)	WF- 406 x 305 x 81.00 Kg/m.
(T-3)	IPR- 356 x 203 x 79.00 Kg/m.
(T-4)	IPR- 356 x 203 x 71.50 Kg/m.
(T-5)	WF- 406 x 203 x 70.00 Kg/m.
(T-6)	IPR- 406 x 178 x 67.10 Kg/m.
(T-7)	IPR- 305 x 165 x 46.20 Kg/m.
(T-8)	IPR- 254 x 146 x 37.30 Kg/m.
(T-9)	IPR- 254 x 146 x 31.30 Kg/m.
(T-10)	IPR- 203 x 133 x 25.30 Kg/m.
(T-11)	IPR- 152 x 102 x 17.90 Kg/m.
(T-12)	C- 203.2 x 17.11 Kg/m.
(T-13)	C- 101.6 x 8.04 Kg/m.
(D-1)	ГГ-101.6 x 9.5 x 29.16 Kg/m.
(D-2)	ГГ- 63.5 x 6.3 x 12.20 Kg/m.
(D-3)	ГГ- 50.8 x 6.3 x 9.50 Kg/m.
(CV-1)	2 REDONDOS $\phi = 31.8 \times 12.40$ Kg/m.
(CV-2)	2 REDONDOS $\phi = 25.4 \times 7.95$ Kg/m.
(CV-3)	REDONDO $\phi = 31.8 \times 6.21$ Kg/m.
(CV-4)	REDONDO $\phi = 19.0 \times 2.24$ Kg/m.
(AP-1)	 50.25 Kg/m.
(AP-2)	 41.75 Kg/m.
(AS-1)	 14.10 Kg/m.
(C-1)	II (4 R.s. 400 x 12.7)x159.30Kg/m.
(C-2)	II (4 R.s. 350 x 12.7)x139.40Kg/m.
(C-3)	II (4 R.s. 300 x 12.7)x119.50Kg/m.
(C-4)	II (4 R.s. 300 x 9.5)x 89.40Kg/m.
(P-1)	2 L7-101.6 x 6.3 x 19.64 Kg/m.

TABLA II-
PERIODOS DE VIBRACION EN SEG.

PERIODO	METODO 2a		METODO 2b	
	DIR. x	DIR. z	(1)	(2)
1	1.557	1.4085	1.043	2.472
2	1.010	0.920	0.8629	1.267
3	0.42	0.497	0.7130	1.041
4			0.5010	0.8969
5			0.4216	0.4478
6			0.3834	0.4219
7			0.3802	0.4075
8			0.3686	0.3934

① CONTRAVENTEOS EN CRUZ.

② UN SOLO CONTRAVENTEADO.

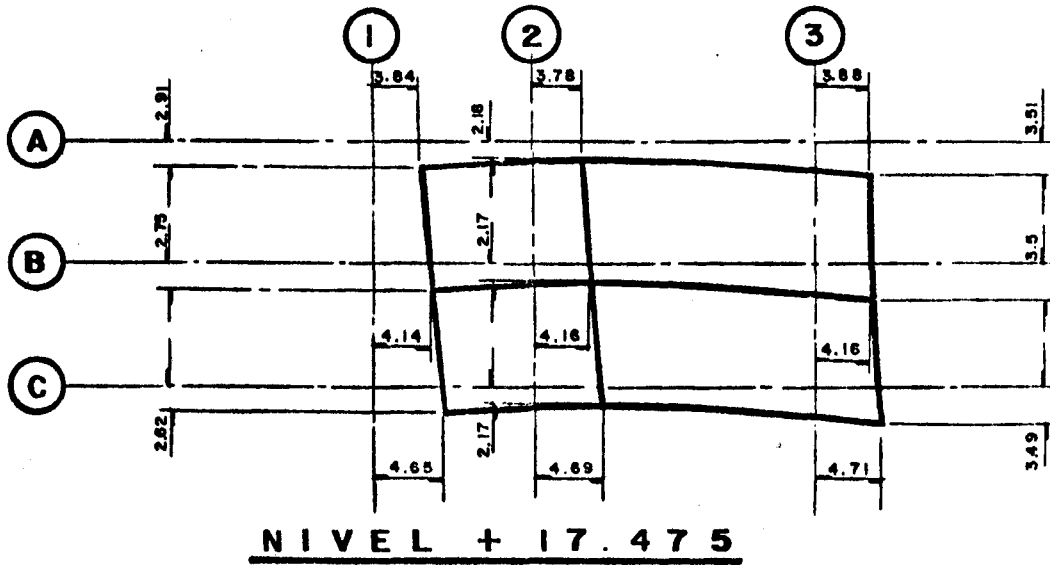
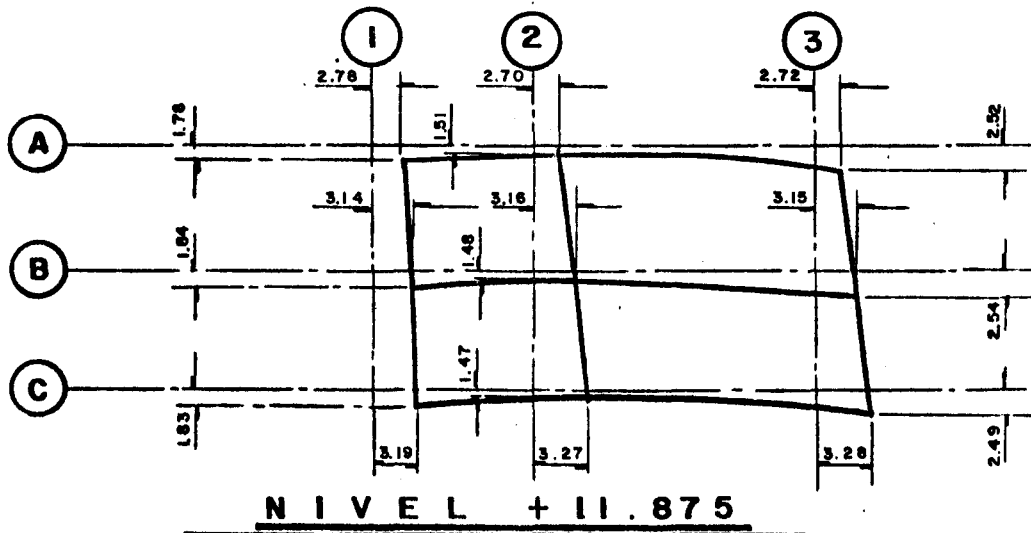
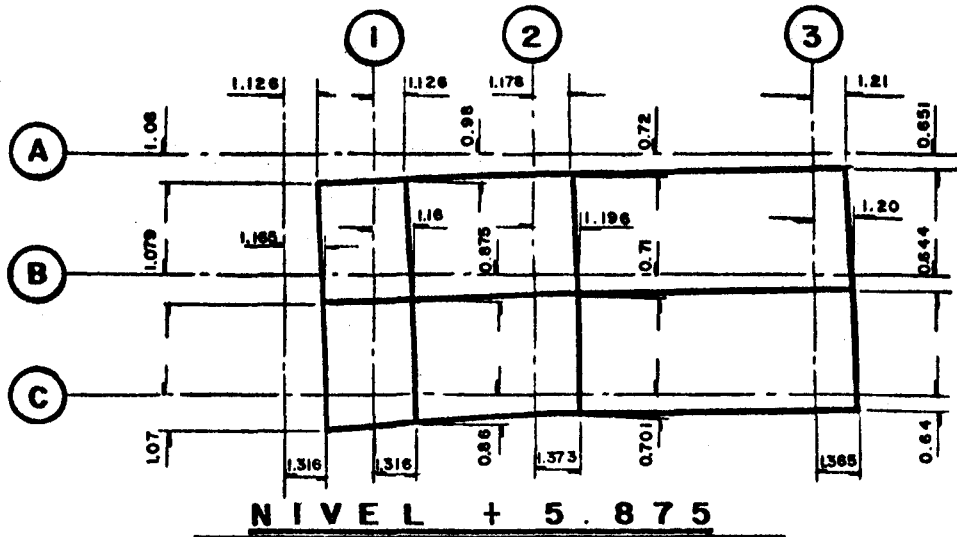
TABLA III-
FUERZAS CORTANTES TOTALES
POR ENTREPISO EN TONELADAS

NIVEL	METODO 1		METODO 2a		METODO 3	
	Vx	Vz	Vx	Vz	Vx	Vz
1	31.35	33.93	28.52	29.60	59.89	56.25
2	26.20	27.93	25.49	25.91	56.35	55.88
3	25.46	25.97	24.92	25.27	54.26	55.29
4	21.02	19.50	20.55	20.25	38.89	38.53
5	18.88	16.71	17.53	17.09	30.06	31.83
6	6.64	6.37	5.98	5.93	8.58	8.85
7	3.43	2.16	3.70	3.76	2.75	5.27
8	2.15	2.58	2.02	2.73	3.01	1.90

TABLA IV-
ELEMENTOS MECANICOS CRITICOS EN TON. Y TON.-M.

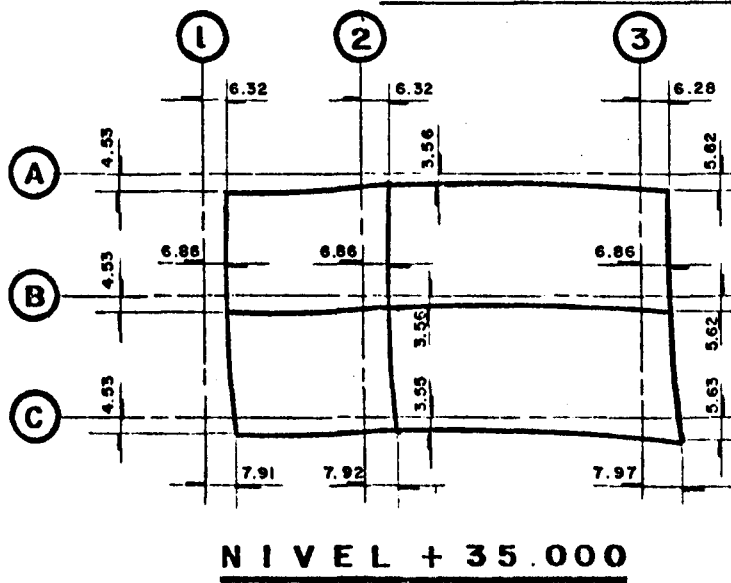
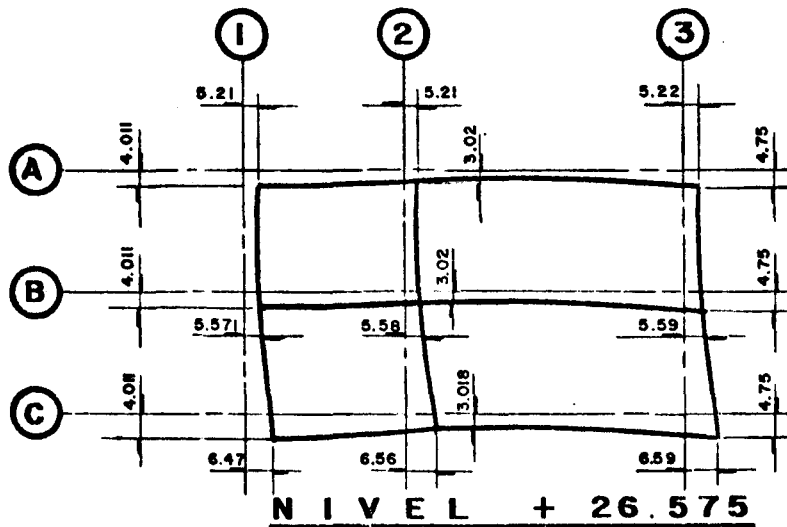
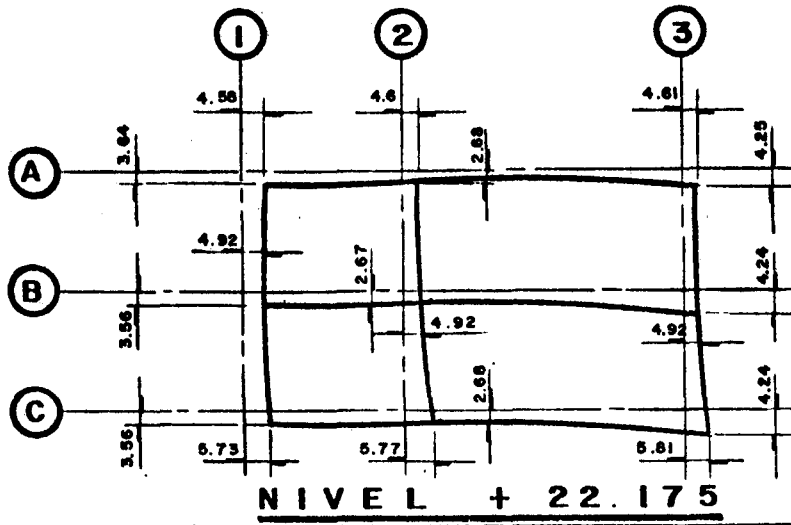
METODO 2b				METODO 3		
P AXIAL		Mx	My	PAXIAL	Mx	My
COLUMNA CENTRAL	78.0	16.14	9.18	96.35	34.28	9.19
TRABE MARCO B	2.11	2.48	0.33	8.74	17.65	—
COLUMNA A1	67.5	10.7	0.77	95.2	19.0	1.17
COLUMNA C3	14.9	0.62	0.43	32.5	4.74	0.9

DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS DE LOS NODOS
 (ACOTACIONES EN CENTIMETROS, ELEVACIONES EN METROS)



DESPLAZAMIENTOS MAXIMOS DE LOS NODOS

(ACOTACIONES EN CENTIMETROS, ELEVACIONES EN METROS)



* MAXIMOS DESPLAZAMIENTOS.

