



300615 2
UNIVERSIDAD LA SALLE

ESCUELA DE INGENIERIA

CON ESTUDIOS INCORPORADOS
A LA U. N. A. M.

**COMPARACION DE LOS RESULTADOS
OBTENIDOS CON LOS METODOS
ESTATICO Y CUASIDINAMICO
PARA ANALISIS Y DISEÑO SISMICO
DE EDIFICIOS**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

Presenta

JAVIER BURGOS CONTRERAS

MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

CONTENIDO

	Página
CARTA DE TRAMITE.....	I
LISTA DE TABLAS.....	II
LISTA DE GRAFICAS.....	III
Cápitulo	
INTRODUCCION.....	1
I. DESCRIPCION DEL METODO ESTADICO PARA CALCULO DE ACCIONES SISMICAS.....	3
II. DESCRIPCION DEL METODO CUASIDINAMICO PARA CALCULO DE ACCIONES SISMICAS.....	13
III. ESTRUCTURAS TIPICAS.....	18
Edificio 1.	
Edificio 2.	
Edificio 3.	
IV. ANALISIS Y DISEÑO SISMICO DE LOS EDIFICIOS POR LOS METODOS ESTADICO Y CUASIDINAMICO.....	25
Generalidades.	
Fuerzas y Cortantes sísmicas.	
V. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	28
REFERENCIAS.....	34
TABLAS Y GRAFICAS.....	35

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1 FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES DE EDIFICIO 1..	35
2 FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES DE EDIFICIO 2..	36
3 FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES DE EDIFICIO 3..	37
4 RESULTADOS DISEÑO DE VIGAS EN EDIFICIO 1....	38
5 RESULTADOS DISEÑO DE VIGAS EN EDIFICIO 2....	39
6 RESULTADOS DISEÑO DE VIGAS EN EDIFICIO 3....	41
7 RESULTADOS DISEÑO DE COLUMNAS EN EDIFICIO 1.	42
8 RESULTADOS DISEÑO DE COLUMNAS EN EDIFICIO 2.	43
9 RESULTADOS DISEÑO DE COLUMNAS EN EDIFICIO 3.	44
10 PESOS TOTALES DE ACERO EN EDIFICIO 1.....	45
11 PESOS TOTALES DE ACERO EN EDIFICIO 2.....	46
12 PESOS TOTALES DE ACERO EN EDIFICIO 3.....	47

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica	Página
1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO ESTATICO.....	48
2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO CUASIDINAMICO.	49
3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DE TORSION Y DISTRIBUCION DE FUERZAS.....	50
4. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 1.....	51
5. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 1.....	52
6. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 1.....	53
7. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 1.....	54
8. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 2.....	55
9. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 2.....	56
10. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 2.....	57

Gráfica	Página
11. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 2.....	58
12. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN LOS SENTIDOS "X" Y "Y" DEL EDIFICIO 3.....	59
13. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN LOS SENTIDOS "X" Y "Y" DEL EDIFICIO 3...	60
14. ACERO EN TRABES PARA EL EDIFICIO 1, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	61
15. ACERO EN COLUMNAS PARA EL EDIFICIO 1, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	62
16. ACERO TOTAL PARA EL EDIFICIO 1, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	63
17. ACERO EN TRABES PARA EL EDIFICIO 2, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	64
18. ACERO EN COLUMNAS PARA EL EDIFICIO 2, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	65
19. ACERO TOTAL PARA EL EDIFICIO 2, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	66
20. ACERO EN TRABES PARA EL EDIFICIO 3, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	67
21. ACERO EN COLUMNAS PARA EL EDIFICIO 3, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	68
22. ACERO TOTAL PARA EL EDIFICIO 3, POR LOS METODOS ESTATICO Y CUASIDINAMICO.....	69

INTRODUCCION

En estudios efectuados recientemente dentro del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, se ha desarrollado un nuevo método para el cálculo de fuerzas sísmicas, al que se denominó cuasidinámico.

Dentro de las ventajas que presenta este método propuesto por el Dr. Rafael Aranda (ref. 1 y 2) destaca el procedimiento para encontrar los valores de las acciones sísmicas, que en cuanto a sencillez, puede compararse con el método estático, pero que arroja resultados sensiblemente parecidos a los del dinámico, de donde se derivó el nombre de cuasidinámico.

El objetivo de este trabajo es presentar al través de tres casos que se han considerado representativos, la conveniencia económica reflejada en los volúmenes necesarios de acero, del empleo del método cuasidinámico dentro del diseño estructural de edificios, en sustitución o bien complementación del método estático, que es empleado comunmente según lo especifica el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. (ref.6)

El método dinámico no es muy empleado puesto que los edificios con altura mayor a los 60 m. no son muy comunes, además de la dificultad que presenta su implementación en micro o computadoras mayores aún en el auge de estas.

En cuanto a la precisión que ofrece el método cuasidinámico, ésta es notoriamente mayor que la del método estático, considerando que los resultados que proporciona el método dinámico, son los reales (ref. 1 y 2) mientras que el método cuasidinámico presenta una secuencia de cálculo

ligeramente mayor que la del método estático.

Este nuevo método, es muy útil en edificios que presentan cambios importantes en su geometría, y por lo tanto en masas y rigideces, así como en aquellos con altura mayor a 60 m.

La estructura de este trabajo es la siguiente:

a) Explicar el procedimiento para cálculo de fuerzas sísmicas por los métodos estático y cuasidínámico.

b) Obtener las fuerzas sísmicas por ambos métodos, para los tres edificios propuestos.

c) Analizar y diseñar los tres edificios, sin incluir el procedimiento empleado.

d) Evaluar con base en los resultados obtenidos del diseño, la conveniencia de incorporar este método al procedimiento de análisis.

CAPITULO I

DESCRIPCION DEL METODO ESTATICO PARA CALCULO DE ACCIONES SISMICAS

Dentro del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, se incluye un capítulo en el que se explican dos métodos para cálculo de acciones sísmicas. Uno de ellos, el estático, es aplicable en edificios y estructuras con ciertas limitaciones, es muy empleado en la actualidad para el análisis sísmico, se recomienda en construcciones con altura no mayor a 60 m. y cuyas características de masa y rigidez estén homogéneamente distribuidas en todo lo alto de la estructura, de no ser así, se empleará el otro método, denominado dinámico, que presenta mayor exactitud en todos los casos, pero cuya aplicación presenta ciertas dificultades por lo laborioso y complicado de su procedimiento.

El objeto de este capítulo, es describir la secuencia de cálculo del método estático con base en lo que plantea el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ref. 6) conjuntamente con los comentarios publicados al respecto por los Doctores Emilio Rosenblueth y Luis Esteva. (ref. 8)

En la gráfica 1 se muestra el diagrama de flujo del método estático, cuya secuencia es la siguiente:

- 1) Representar la acción del sismo por fuerzas horizontales actuantes en el centro de masa de cada piso, en las dos direcciones ortogonales.
- 2) Distribuir dichas fuerzas entre los elementos resistentes a carga lateral en cada uno de los sentidos.
- 3) Analizar estructuralmente los sistemas resistentes ante las cargas laterales que les corresponden.

Para iniciar el cálculo, es necesario obtener los valores de la variables que a continuación se indican, tomando en cuenta el terreno en que se desplanta la estructura y basándose en la tabla del artículo 262 del mencionado Reglamento:

c : coeficiente sísmico (adimensional).

a_g : ordenada de los espectros de diseño como fracción de la aceleración de la gravedad, sin reducción por ductilidad, cuando el período es igual a cero (adimensional).

T_1 : primer período característico de los espectros de diseño (seg).

T_2 : segundo período característico de los espectros de diseño (seg).

r : exponente en las expresiones de los espectros de diseño (adimensional).

Dependiendo del tipo de estructuración del edificio, se determina el valor del factor de ductilidad Q , adimensional.

Simultáneamente, se determinen los valores de las masas, rigideces y pesos de cada uno de los entrepisos de la estructura y total.

El proceso de cálculo principia con la elección del coeficiente sísmico reducido (C_g), elegido entre el menor valor de c/Q o bien a_g , para las dos direcciones del análisis.

En seguida se obtienen las fuerzas sísmicas iniciales por medio de la expresión siguiente:

$$P_i = \frac{w_i h_i}{\sum w_i h_i} C_g \sum w_i \quad (1.1)$$

donde: P_i : Fuerza sísmica inicial del entrepiso i (ton).

w_i : peso del entrepiso i (ton).

h_i : altura del entrepiso i (m).

C_g : coeficiente sísmico reducido en el sentido del análisis (adimensional).

La fuerza cortante sísmica para el entrepiso i (V_i), se define como la suma de fuerzas sísmicas de entrepiso (F_i), sumadas desde el nivel superior de la estructura hasta el nivel que se está considerando:

$$V_i = \sum P_i \quad (1.2)$$

A continuación se determina el desplazamiento relativo de cada nivel mediante la expresión:

$$X_i = \frac{V_i}{K_i} \quad (1.3)$$

siendo: X_i : desplazamiento relativo del entrepiso i (m).

V_i : fuerza cortante en el entrepiso i (ton).

K_i : rigidez de entrepiso i (ton/m).

En seguida, se incluye el efecto de influencia del período fundamental mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{6.3 (\sum W_i X_i^2)^{1/2}}{(g \sum P_i X_i)^{1/2}} \quad (1.4)$$

donde: T : período fundamental de vibración del edificio (seg).

g : aceleración de la gravedad (m/seg²).

El valor obtenido, se compara simultáneamente con los valores de T_1 y T_2 , pudiéndose presentar tres casos, mismos de los que se obtiene el valor reducido del coeficiente sísmico, para aplicarlo en la fórmula 1.1:

a) Si $T < T_1$, entonces se aplica:

$$Q' = 1 + (Q-1) \frac{T}{T_1} \quad (1.5)$$

donde: Q' : factor reductivo de fuerzas sísmicas para fines de diseño (adimensional).

*Inicialmente las rigideces se calculan, en el prediseño, por medio de las fórmulas de Wilbur; dentro del diseño final se calculan mediante el cociente V_i/X_i , una vez que estos dos valores se obtuvieron del cálculo inicial.

Este valor de Q' , se aplica nuevamente en la siguiente fórmula:

$$Cs_r = (a_0 + (c-a_0) \frac{T}{T_1}) \frac{1}{R} \quad (1.6)$$

donde: Cs_r : coeficiente sísmico reducido, con el que se obtienen las fuerzas sísmicas reducidas (adimensional).

b) Si $T_1 < T < T_2$ no es posible reducir el coeficiente sísmico por concepto de influencia del período fundamental, por lo tanto, las fuerzas sísmicas reducidas, son iguales a las fuerzas sísmicas iniciales, o sea, que $Cs_r = Cs$.

c) Si $T > T_2$, el factor $Q' = Q$, y se definen los valores de unas constantes auxiliares como sigue:

$$q = \left(\frac{T_2}{T} \right)^r \quad (1.7)$$

que nos sirve para calcular:

$$k_1 = q (1-r) (1-q) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i} \quad (1.8)$$

$$y \quad k_2 = 1.5 r q (1-q) \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i^2} \quad (1.9)$$

con cuyos valores aplicamos la siguiente expresión:

$$P_i = W_i (k_1 h_i + k_2 h_i^2) Cs \quad (1.10)$$

fórmula que nos da directamente las fuerzas sísmicas reducidas.

Una vez calculadas las fuerzas sísmicas reducidas para todos los entresijos, se inicia el cálculo de las fuerzas sísmicas en los apéndices, si es que existen, cuyo procedimiento es el siguiente:

1) Se verifica que los apéndices sean dignos de tomarse en cuenta dentro del análisis sísmico, lo que se determina considerando la masa de éstos en comparación con la concentrada en los entresijos, pudiéndose despreciar de ser pequeña (ref. 3).

2) Se calcula la fuerza sísmica en el apéndice i , mediante la fórmula:

$$P_{i\text{apéndice}} = Cs W_{i\text{apéndice}} \left(\frac{h_{i\text{apéndice}} \alpha}{a_0} + a_0 \right) \quad (1.11)$$

donde: $P_{i\text{apéndice}}$: fuerza sísmica actuante en el apéndice i , desplazado sobre el nivel i (ton).

$W_{i\text{apéndice}}$: peso total del apéndice i , apoyado en el nivel i (ton).

$h_{i\text{apéndice}}$: altura del apéndice respectivo (m).

α : constante de proporcionalidad (1/m).

Para todos los entrepisos, debido a la existencia de apéndices, la fuerza sísmica corregida será:

$$P_i = \alpha W_i h_i \quad (1.12)$$

donde:

$$\alpha = \frac{C_s W_i (\text{sin apéndices})}{\sum W_i h_i + \left(\frac{C_s}{a_0}\right) \sum W_{i\text{ap.}} h_{i\text{ap.}}} \quad (1.13)$$

Para que finalmente se llegue a las fuerzas sísmicas finales en el caso de que existan apéndices:

$$V_i = \sum P_i \quad (1.14)$$

Al incorporar el efecto de torsión al análisis sísmico, se calcula simultáneamente la distribución de las fuerzas cortantes entre los elementos (marcos) resistentes en cada sentido a esas fuerzas.

Al incluir este efecto, se aplican las siguientes expresiones con las que se calcula en cada entrepiso, el centro de cortante, el centro de torsión, las excentricidades torsional y de diseño así como el momento torsionante en ambos sentidos del análisis:

$$a) \quad X_{iV} = \frac{\sum P_{iy} \bar{x}_i}{V_{iy}} \quad (1.15) \quad V_{iV} = \frac{\sum P_{ix} \bar{y}_i}{V_{ix}} \quad (1.16)$$

donde: X_{iV} y V_{iV} : coordenadas del centro de cortante del entrepiso i (m).

\bar{x}_i y \bar{y}_i : coordenadas del centro de gravedad de la planta del entrepiso i (m).

V_{1x} y V_{1y} : fuerzas cortantes actuantes en el entrepiso i (ton).

$$b) \quad X_{1t} = \frac{\sum K_{iy} X_i}{\sum K_{iy}} \quad (1.17) \quad Y_{1t} = \frac{\sum K_{ix} Y_i}{\sum K_{ix}} \quad (1.18)$$

donde: X_{1t} y Y_{1t} : coordenadas del centro de torsión del entrepiso i (m).

X_i y Y_i : coordenadas del marco que se analiza con base en el sistema coordinado propuesto en la planta del entrepiso (m).

K_{ix} y K_{iy} : rigidez de entrepiso de cada marco que constituye la planta del entrepiso que se analiza (ton/m).

$$c) \quad e_{sx} = Y_{1t} - Y_{1v} \quad (1.19) \quad e_{sy} = X_{1t} - X_{1v} \quad (1.20)$$

donde: e_{sx} y e_{sy} : excentricidades de diseño en el entrepiso i, para los sentidos x y y respectivamente (m).

$$d) \quad e_{1x} = 1.50 e_{sx} + 0.10 b \quad (1.21) \quad e_{2x} = e_{sx} - 0.10 b \quad (1.22)$$

$$e_{1y} = 1.50 e_{sy} + 0.10 b \quad (1.23) \quad e_{2y} = e_{sy} - 0.10 b \quad (1.24)$$

donde: e_{1x} , e_{2x} , e_{1y} y e_{2y} : excentricidades torsionales para cada uno de los entrepisos de la estructura (m).

b: mayor dimensión de la planta considerada (m).

$$e) \quad Mt_1 = V e_1 \quad (1.25) \quad Mt_2 = V e_2 \quad (1.26)$$

(para ambos sentidos x, y)

donde: Mt_1 y Mt_2 : momentos torsionantes en cada sentido de análisis de la estructura (ton m).

V: fuerza cortante final actuante en el entrepiso y dirección considerados, sin incluir los efectos de torsión (ton).

La fuerza cortante inicial de cada entrepiso, tomando en cuenta los efectos de torsión, se obtiene de la mayor fuerza considerando los efectos de la fuerza del sentido del análisis, más los efectos de torsión que provoca la fuerza cortante del otro sentido, mediante las siguientes expre-

siones (para cada marco en el sentido en que se efectúa el análisis):

$$Vv_x = Vi_x \frac{Ki_x}{\sum Ki_x} + \frac{Mt_x}{\sum Ki_x} \frac{Ki_x}{Vi_t^2} + \frac{Vi_t}{\sum Ki_y} \frac{Ki_x}{Xi_t^2} \quad (1.27)$$

$$Vv_y = \frac{Mt_y}{\sum Ki_x} \frac{Ki_x}{Vi_t^2} + \frac{Vi_t}{\sum Ki_y} \frac{Ki_x}{Xi_t^2} \quad (1.28)$$

$$Vv_y = Vi_y \frac{Ki_y}{\sum Ki_y} + \frac{Mt_y}{\sum Ki_x} \frac{Ki_y}{Vi_t^2} + \frac{Xi_t}{\sum Ki_y} \frac{Ki_y}{Xi_t^2} \quad (1.29)$$

$$Vv_x = \frac{Mt_y}{\sum Ki_x} \frac{Ki_y}{Vi_t^2} + \frac{Xi_t}{\sum Ki_y} \frac{Ki_y}{Xi_t^2} \quad (1.30)$$

Las ecuaciones 1.27 y 1.28 son resultado del análisis en el sentido x del sismo, mientras que las ecuaciones 1.29 y 1.30, se aplican en el sentido y del sismo.

Denominándose a los términos de las ecuaciones 1.27 y 1.29: fuerza cortante total, fuerza cortante directa y fuerza cortante por torsión respectivamente, mientras que en las ecuaciones 1.28 y 1.30, se nombran fuerza cortante total y fuerza cortante por torsión respectivamente, en las que: Vv_x y Vv_y : representan las fuerzas cortantes totales, debidas a la fuerza cortante inicial (sin torsión) actuando en el sentido del análisis del sismo, más el efecto de torsión que se debe a la fuerza cortante del otro sentido, para ambos sentidos, ambas combinaciones (ton).

Mt_x y Mt_y : valores del momento torsionante más desfavorables para el análisis en cada sentido (ton m).

Xi_t y Vi_t : coordenadas de los elementos (marcos) resistentes en el sentido del análisis con respecto al centro de torsión (m).

Ki_x y Ki_y : rigidez de cada marco en el sentido y nivel indicados (ton/m).

Vi_x y Vi_y : fuerzas cortantes actuantes en en el entrepiso i, en el sentido respectivo (ton).

El cálculo de la fuerza cortante en cada uno de los elementos resistentes a dicha fuerza, se determina con el mayor de los valores calculados con la influencia combinada de los efectos en cada uno de los sentidos, más el 30 % del efecto debido a la fuerza cortante del otro sentido, esto es:

$$Vf_{x_i} = Vv_x + 0.30 Vv_y \quad \text{o bien} \quad Vf_{x_i} = 0.30 Vv_x + Vv_y \quad (1.31a \text{ y } 1.31b)$$

en ambas ecuaciones se emplean los valores de Vv_x y Vv_y obtenidos en el análisis en el sentido X. Vf_{x_i} es la fuerza cortante final en el sentido X, en el entrepiso i (ton), eligiéndose el mayor de los dos valores.

$$Vf_{y_i} = Vv_y + 0.30 Vv_x \quad \text{o bien} \quad Vf_{y_i} = 0.30 Vv_y + Vv_x \quad (1.32a \text{ y } 1.32b)$$

analogamente a las ecuaciones 1.31a y 1.31b, los valores de Vv_x y Vv_y son los que se obtuvieron con el análisis en el sentido Y del sismo, y el valor de Vf_{y_i} es el mayor de los dos que se calcularon, representando la fuerza cortante final actuante en el sentido Y, en el entrepiso i (ton).

A continuación, se revisa por deformación la estructura.

Esta deformación total de un entrepiso, dividida entre la altura de piso a techo de dicho entrepiso, debe ser menor a 0.08 veces la relación entre la fuerza cortante de ese entrepiso y las fuerzas verticales debidas a acciones permanentes y accidentales sobre ese entrepiso (ref. 6).

Se recomienda que el valor de esa relación no exceda jamás el valor de 0.20, pues de suceder así, existirían graves problemas de esbeltez.

En caso de que la condición mencionada no se cumpliera, habría que considerar efectos de segundo orden, para lo cual:

a) Se multiplica la suma de cargas de diseño, muertas y vivas, acumuladas desde el extremo superior de la estructura, hasta el nivel correspondiente, por el factor de carga respectivo.

b) Se calcula el factor de ampliación por medio de la fórmula siguiente:

$$f_a = 1 - \frac{\frac{W_u}{h}}{\frac{K_i}{Q} - 1.20 \frac{W_u}{h}} \quad (1.33)$$

donde: K_i : rigidez del entrepiso considerado (suma de rigideces de entrepiso de todos los marcos de la estructura en la dirección analizada en el nivel i) (m).

W_u : suma de cargas de diseño (muerta y viva) (ton).

Q : factor de ductilidad (adimensional).

h : altura de entrepiso (m).

c) Se obtienen los desplazamientos considerando los efectos de esbeltez por medio de:

$$X_{if} = f_a X_i \quad (1.34)$$

donde: X_{if} : desplazamiento final considerando los efectos de esbeltez de la estructura (m).

X_i : desplazamiento sin considerar los efectos de esbeltez, se obtiene con las fuerzas sísmicas iniciales (m).

d) Los momentos de las columnas se multiplican también por el factor de ampliación (f_a).

e) Los momentos en las vigas, se corregirán proporcionalmente a sus rigideces angulares, satisfaciendo el equilibrio de momentos en cada nudo.

f) Se revisarán deformaciones laterales de cada entrepiso según lo marca el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (ref. 6) en el artículo 242 como sigue:

" Para elementos que no forman parte integrante de la estructura, y ligados a ella de manera que no sufra daños por la deformación de ésta:

$$\frac{X_{if}}{h} \leq 0.016 h \quad (1.35)$$

y para elementos que forman parte de la estructura, y que se dañarían por deformaciones de ésta:

$$\frac{X_{if}}{h} \leq 0.008 h \quad (1.36)$$

De no cumplirse la condición mencionada, será necesario incrementar

la rigidez de la estructura".

En cuanto a esta última posibilidad, sería necesario un aumento de tamaño en las secciones que son parte integrante de la estructura.

De ser menor la relación de la deformación de entrepiso entre la altura de ese nivel, o bien de no existir necesidad de considerar los efectos de segundo orden, se podrá iniciar el análisis estructural definitivo por el método que se considere conveniente para calcular la distribución de fuerzas internas en la estructura.

El procedimiento a partir de la inclusión de apéndices e incorporación del efecto de torsión, que es común a ambos métodos de análisis sísmico, se ilustra en la gráfica 3.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL METODO CUASIDINAMICO PARA CALCULO DE ACCIONES SISMICAS

El método cuasidinámico, de reciente estudio, ha sido desarrollado dentro del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. (ref. 1 y 2), siendo el objetivo de esa investigación, el proponerlo como una opción más conveniente dentro del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, complementado al método Estático.

El método Cuasidinámico, es una derivación del Estático, pero con influencia también del método Dinámico, con la ventaja de que se ha llegado a la conclusión que este método presenta resultados cercanos a los del método Dinámico aún en estructuras con variaciones notables en rigideces y masas.

El procedimiento para el análisis Cuasidinámico se muestra en la gráfica 3, y se describe a continuación:

Se reúnen los siguientes datos:

W_i : peso de la masa del entrepiso i (ton).

h_i : altura de la masa del nivel i , respecto a la base del edificio (m).

Q : factor de ductilidad adecuado según el tipo de estructuración que presenta el edificio* (adimensional).

c : coeficiente sísmico correspondiente a la zona de desplante del edificio*(adimensional).

T_1 y T_2 : periodos característicos de los espectros de diseño* (seg).

*Estos valores los proporciona el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

a_0 : aceleración espectral de diseño para el modo fundamental* (adimensional).

r : exponente en las expresiones de los espectros de diseño* (adimensional).

m_i : masa concentrada en el nivel i (ton).

Las fuerzas sísmicas iniciales se calculan de igual manera que en el método Estático:

Se elige el coeficiente sísmico reducido por ductilidad entre el menor valor de a_0 y el cociente c/Q , llamándolo C_s , que se aplica en:

$$P_{i0} = \frac{W_i h_i}{\sum W_i h_i} C_s \sum W_i \quad (2.1)$$

donde: P_{i0} : fuerza sísmica inicial en el entrepiso i (ton).

La suma acumulada de las fuerzas sísmicas a partir del entrepiso superior, nos proporciona, para cada nivel, la fuerza cortante inicial:

$$V_{i0} = \sum P_{i0} \quad (2.2)$$

Las aceleraciones de cada masa, se calculan partiendo de la siguiente expresión:

$$\ddot{x}_i = a_0 C_1 x_i \quad (2.3)$$

donde: \ddot{x}_i : aceleración de la masa i (excitación dinámica)(m/seg^2).

C_1 : factor de participación aproximada del modo fundamental ($1/m$), calculado mediante:

$$C_1 = \frac{\sum m_i x_i}{\sum m_i x_i^2} \quad (2.4)$$

donde: x_i : desplazamiento relativo del entrepiso i (m), calculado por la siguiente expresión:

$$x_i = \frac{P_{i0}}{K_i} \quad (2.5)$$

donde: K_i : rigidez de la estructura en el entrepiso i , que es la suma

de las rigideces de los elementos resistentes al sismo en la dirección del análisis, en el entrepiso i (ton/m).

P_{i0} : fuerza sísmica en el entrepiso i (ton).

Para el cálculo de a_0 que interviene en la fórmula 2.3, se parte de la expresión:

$$T = 6.3 \left(\frac{\sum w_i x_i^2}{g \sum P_{i0} x_i} \right)^{1/2} \quad (2.6)$$

donde: T : período fundamental de la estructura (seg).

g : aceleración de la gravedad (m/seg²).

El valor de T obtenido por medio de la fórmula anterior se compara con los valores tomados del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal T_1 y T_2 , con lo que existen tres posibilidades:

1) Si $T_1 > T > T_2$, a_0 es el valor que se toma de la tabla del artículo 232 del mencionado Reglamento.

2) Si $T < T_1$, se hace:

$$a_0 = a_0 \text{ reglam.} + (c - a_0 \text{ reglam.}) \frac{T}{T_1} \quad (2.7)$$

3) Si $T > T_2$, se hace:

$$a_0 = c \left(\frac{T_2}{T} \right)^r \quad (2.8)$$

Una vez elegido el valor de a_0 , se evalúan las fuerzas sísmicas debidas a la aceleración x_i como sigue:

$$F_i = x_i m_i \quad (2.9)$$

donde: F_i : es la fuerza sísmica del entrepiso i (ton).

En seguida se procede a calcular el valor del coeficiente α , cuyo cálculo depende del tipo de terreno en que se desplanta el edificio correspondiente*:

-Para terreno firme, exceptuando las estructuras con variaciones

*No confundir este valor con el de la literal α mencionada en el capítulo I, que se emplea para el cálculo de fuerzas sísmicas en los apéndices de las estructuras.

bruscas en rigidez en lo alto de la estructura (ref. 1):

$$\alpha = 1.0 + 1.5 \exp \left(-4.90 \left(\frac{V_0}{V_{e0}} - 0.108 \right)^{0.75} \right) \quad (2.10)$$

donde: V_0 : fuerza cortante sísmica calculada con la fórmula 2.9 para la base del edificio (ton).

V_{e0} : fuerza cortante basal obtenida con las fuerzas estáticas (ton).

-Para terreno de transición, compresible y el firme en el caso de variaciones bruscas de rigidez, se tiene que aplicar la fórmula siguiente:

$$\alpha = 1.0 + 1.7 \exp \left(-4.95 \left(\frac{V_0}{V_{e0}} - 0.108 \right) \right) \quad (2.11)$$

Anteriormente (ref. 1), se graficaron los valores que puede tomar α para diferentes condiciones de suelo y factor de ductilidad, mismas que se pueden emplear en la secuencia del cálculo, en lugar del cálculo mediante las fórmulas 2.10 y 2.11.

A continuación, se determina el valor de la fuerza sísmica basal cuasidinámica, mediante:

$$V_0^* = \alpha V_0 \quad (2.12)$$

donde: V_0^* : fuerza sísmica basal cuasidinámica (ton).

El valor obtenido en la ecuación 2.12, se emplea para el cálculo de las fuerzas sísmicas cuasidinámicas de entrepiso con base en la siguiente expresión:

$$F_i = \frac{w_i A_i x_i}{\sum w_i A_i x_i} (V_0^*) \quad (2.13)$$

donde el valor de A_i se calcula con la siguiente expresión:

$$A_i = \left(1 - \frac{x_{i-1} h_{i-1}}{x_i H} \right)^\lambda - \left(1 - \frac{x_{i-1} h_i}{x_i H} \right)^\lambda \quad (2.14)$$

Para la anterior ecuación, el valor que puede tomar λ depende del tipo de estructuración y tipo de terreno, y son los siguientes:

-Estructuración: marcos rígidos

Terreno firme: = 1.00

Terreno transición: = 1.00

Terreno compresible: = 1.00

-Estructuración: muros de cortante acoplados, excepto estructuras con variaciones bruscas de rigidez:

Terreno firme: = 0.75

Terreno transición: = 0.90

Terreno compresible: = 0.90

-Estructuración: muros de cortante acoplados, en el caso de estructuras con variaciones bruscas de rigidez:

Terreno firme: = 0.90

Terreno transición: = 0.90

Terreno compresible: = 0.90

Una vez obtenidas las fuerzas sísmicas cuasidínámicas de entrepiso mediante la fórmula 2.13, se calculan las fuerzas cortantes, mismas que se obtienen de la suma de fuerzas sísmicas a partir del entrepiso superior hasta el entrepiso considerado, esto es:

$$V_i = \sum F_i \quad (2.15)$$

A continuación, y de igual manera que en el método Estático, se incorporen los efectos de torsión, siguiendo la misma secuencia que se plantea en el capítulo I y se encuentre representada en el diagrama de flujo de la gráfica 3, partiendo de las fuerzas sísmicas finales.

CAPITULO III

ESTRUCTURAS TIPICAS

Dentro de este estudio, se contemplan tres proposiciones de edificios que presentan diferentes características en cuanto a su estructura, y que se consideran típicos.

En el edificio 1, existe una reducción estructural en un sentido, mientras que en el otro sentido no tiene cambio alguno; el edificio 2, presenta una regularidad total en ambos sentidos en todo lo alto de su estructura, mientras que el edificio 3 tiene dos reducciones en la sección de su planta en ambos sentidos.

El análisis abarca únicamente edificios con estructuración a base de marcos rígidos en ambos sentidos, todos ellos desplantados en el mismo tipo de terreno, y por lo tanto, con igual coeficiente sísmico y factor de ductilidad.

Debido a que el método Estático es conveniente únicamente en edificios o construcciones no mayores a 60 m., y para que resulte válida la comparación de ambos métodos, se optó por alturas menores a los 60 m. en todos los casos, mismas que resultan de los 15 niveles que tienen los 3 edificios.

Sin embargo, el método cuasidinámico no se limita a los 60 m. que el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal marca para el método Estático, sino que aún en edificios de 30 niveles sus resultados son bastante satisfactorios, en cuanto a que se acercan a los resultados que se obtienen con el método Dinámico (ref. 1).

EDIFICIO 1.

Este edificio, consta de 15 niveles y presenta una reducción en la geometría de su estructura a partir del nivel 5, pues desaparecen las dos crujeas extremas en un sentido.

La altura de entrepiso es de 4.00 m. del primero al cuarto nivel, y del quinto al decimoquinto, de 3.50 m., lo que hace un total de 54.50 m. en total.

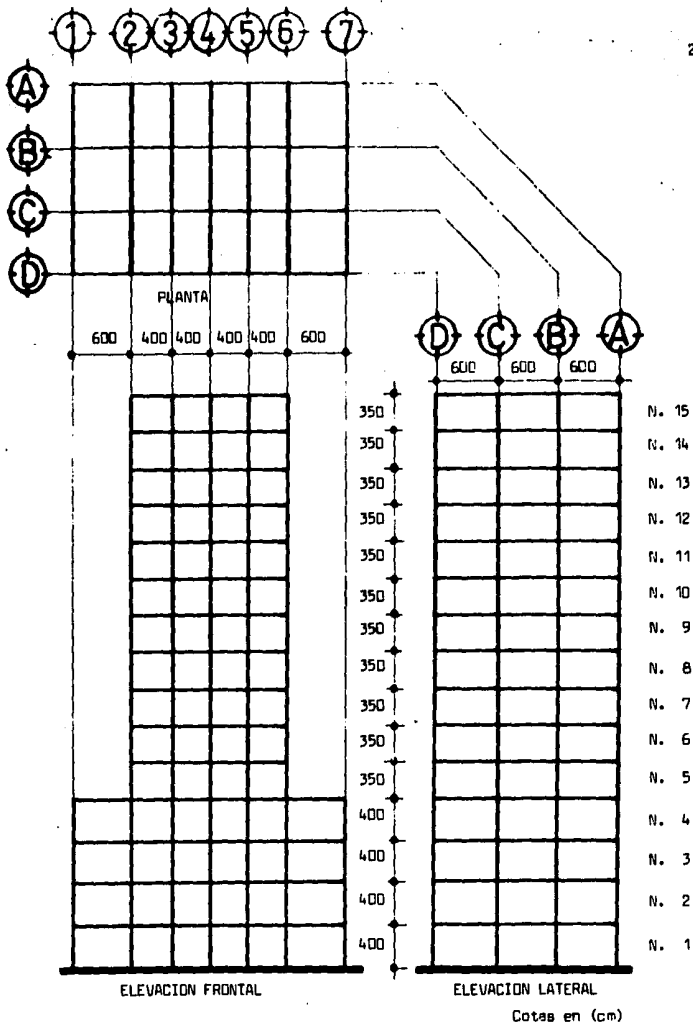
Respecto a las crujeas que forman la estructura, su distribución es como sigue: en cuanto al sentido X, son 6 crujeas del primero al cuarto nivel, cuyas medidas son 4.00 m. las cuatro centrales y 6.00 m. las dos extremas, en el otro sentido, son únicamente tres crujeas, de 6.00 m. todas ellas.

En el sentido X, existen siete marcos, que resisten el sismo en la dirección Y, del nivel uno al cuatro, y en el cinco al quince, son solamente cinco los marcos.

Respecto al sentido Y, existen cuatro marcos paralelos a ese eje, que son los que resistirán la fuerza sísmica actuante en el sentido X.

La planta del edificio en cuestión del primero al cuarto nivel tiene dimensiones de 28.00 m. x 18.00 m., en los sentidos X y Y respectivamente, y del quinto al último nivel, las dimensiones son 16.00 m. x 18.00 m.

A continuación se presentan las elevaciones lateral y frontal, así como la planta del edificio.



EDIFICIO 2.

Al igual que el edificio anterior, éste, se conforma de quince niveles, a lo alto de los cuales, la sección de la planta permanece constante.

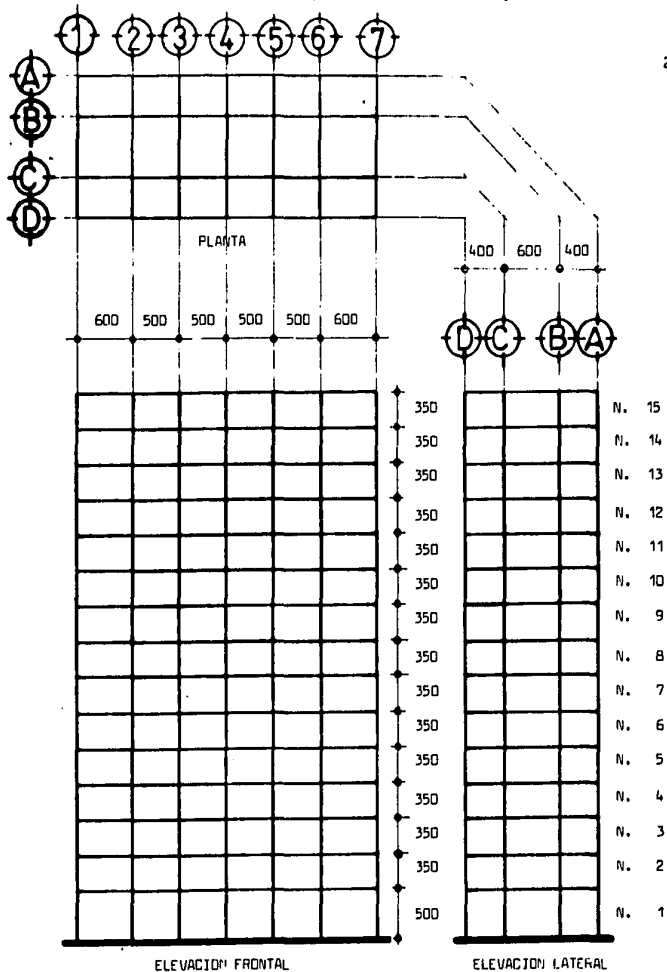
Este edificio no presenta cambio alguno en la geometría de su estructura.

En entrepiso, la altura que tiene es de 5.00 m. en el primer nivel, y de 3.50 m. en todos los entrepisos superiores, lo que en total hace 54.00 m.

En el sentido X, son seis las crujiás que lo forman, de las que las dos crujiás extremas son de 6.00 m. y las cuatro centrales son de 5.00 m. , estas son producto de los siete marcos resistentes al sismo en el sentido Y, para el sentido Y, en el que las crujiás se forman de los marcos que resisten el sismo en el sentido X, son três las crujiás, una central de 6.00 m., y dos extremas o laterales de 4.00 m., para éstas, son cuatro los marcos que forman las mencionadas crujiás.

La planta del edificio, tiene las mismas dimensiones en los quince niveles que lo componen, 32.00 m. x 14.00 m. ,para los sentidos X y Y respectivamente.

A continuación se presentan la planta y elevaciones lateral y frontal del edificio.



EDIFICIO 2.

Cotas en (cm)

Escala 1 : 400

EDIFICIO 3.

Este edificio tiene como característica especial, la reducción en ambos sentidos de la geometría de su estructura en los niveles seis y doce.

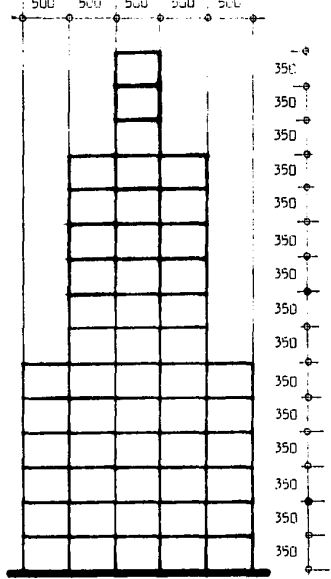
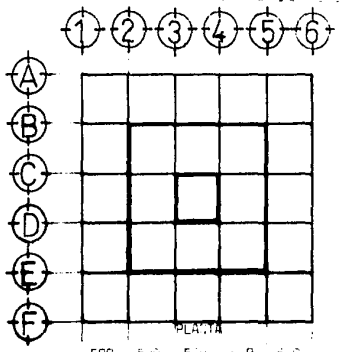
Los quince niveles que son parte de este edificio, integran la altura total que es de 52.50 m., con base en la altura de entrepiso que es de 3.50 m. en todos los niveles.

Esta estructura mantiene simetría total en ambos sentidos X y Y, teniendo la siguiente distribución de crujeas: Del primero al sexto nivel, cinco crujeas, del séptimo al duodécimo, tres y por último, del decimotercero al decimoquinto, únicamente existe una crujía; en todos los casos, la dimensión de las crujeas es de 5.00 m.

En cuanto al número de marcos que componen la estructura, tenemos que en los primeros seis niveles son seis marcos para cada sentido, en los seis niveles siguientes, existen cuatro marcos, y finalmente en los últimos tres niveles, son dos los marcos que conforman la única crujía que tiene el edificio en esos niveles.

La dimensión en los primeros niveles es 25.00 m. x 25.00 m., a partir del 7º al 12º es de 15.00 m. x 15.00 m., y en los últimos 3 niveles es de 5.00 m. x 5.00 m.

En seguida se muestran la planta y elevación de este edificio.



ELEVACION FRONTAL Y LATERAL.

EDIFICIO 3.

Cotas en (cm)
Escala 1 : 400.

CAPITULO IV
ANALISIS Y DISEÑO SISMICO DE LOS EDIFICIOS POR LOS
METODOS ESTATICO Y QUASIDINAMICO

GENERALIDADES

Antes de aplicar el método Estático, es necesario verificar que se cumpla la condición que establece el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal referente a la altura máxima de edificios en los que es posible aplicar este método, y es de 60.00 m.

Los valores de las constantes que se emplearon para el análisis, y que se tomaron del Reglamento son los siguientes:

$$r = 2/3$$

$$a_g = 0.05$$

$$T_1 = 0.50$$

$$T_2 = 2.00$$

$$c = 0.20$$

$$Q = 4.00$$

El procedimiento empleado para el cálculo es el siguiente:

Inicialmente se realiza un prediseño del que se obtienen secciones con las que se aplican las fórmulas de Wilbur para calcular las rigideces de entrepiso (ref. 8) .

En seguida se reúnen los datos que proporciona la misma geometría de la estructura o calcularlos de ser necesario, para que en seguida se proceda a iniciar el cálculo de las fuerzas sísmicas.

FUERZAS Y CORTANTES SISMICAS

Los valores de las fuerzas sísmicas y cortantes de los 3 edificios, obtenidas por ambos métodos, se encuentran en las tablas 1 a 3, y en las gráficas 4 a 11 se dibujan las curvas de esos valores, calculados por los métodos Estático y Cuasidinámico.

A continuación se distribuyen las fuerzas sísmicas entre los marcos resistentes al sismo en el sentido del análisis.

Una vez que se tiene cada uno de los marcos que componen al edificio con las acciones sísmicas que le corresponden por nivel, se procede al realizar el análisis estructural para cada uno de estos marcos de cada uno de los edificios, para lo que se empleó en este trabajo el programa denominado AMP-80*.

Por último se procede al diseño de elementos tipo, basado en los elementos mecánicos obtenidos del análisis estructural de los marcos que componen la estructura, mismos resultados que se muestran en las tablas 4 a 12 donde se tabulan los resultados del diseño de trabes y columnas y volúmenes de acero totales de los edificios, y en las gráficas 12 a 14 se muestran las curvas de los resultados de ambos métodos en cuanto a los volúmenes de acero, que es donde finalmente se procuró demostrar las conveniencias de el método Cuasidinámico.

En cuanto al diseño, se optó por diseñar únicamente trabes y columnas**tipo a cada 3 o 4 niveles, procurando abarcar el mayor número de

*Programa desarrollado por el Ing. Jaime Antoniano y Mateos e Ing. Medina Mora dentro de la empresa particular IOISSA empleado para el análisis de marcos planos sujetos a diferentes condiciones de carga.

**Se considera a las losas dentro de éste trabajo como elementos infinitamente rígidos en todos los casos.

marcos, dependiendo de la conveniencia particular de cada edificio.

Finalmente se cuantificó el acero necesario dentro de cada una de las estructuras, y como ya se mencionó, estos resultados se encuentran en las tablas 10 a 12 y gráficas 12 a 14.

Cabe hacer notar que en este trabajo, se consideraron constantes las secciones de todos los elementos analizados, y sólo se cambió en razón de las fuerzas sísmicas de ambos métodos, el armado de traveses y columnas diseñadas.

CAPITULO V

ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

ANALISIS DE RESULTADOS

Las fuerzas sísmicas calculadas con el análisis por cada uno de los métodos, resultan notoriamente menores en el caso del método Cuasidinámico respecto al estático.

En el edificio 1, las curvas de fuerzas sísmicas y cortantes presentan la misma tendencia y desarrollo, pero los valores que se obtuvieron por el método cuasidinámico, son menores que los estáticos, incluso se llega en el sentido X a una diferencia del 212 % mayor, caso que se presenta en el primer nivel, mientras que en los superiores, la diferencia no rebasa en ningún caso el 100 %, siendo la variación más común de un 55 % a un 89 %, siempre resultando mayor la fuerza estática.

En cuanto al sentido Y del mismo edificio, se presenta una situación similar a la del sentido X, pues en los niveles inferiores hay valores notoriamente menores de los obtenidos por el método Cuasidinámico que los estáticos, llegando en el caso extremo a variaciones del orden de un 668 %, sin embargo, en los niveles superiores, dicho margen se reduce considerablemente hasta el orden de un 54 % a un 84 %.

El edificio 2 con regularidad geométrica en toda su altura, manifiesta respecto a las fuerzas sísmicas calculadas en el sentido X, una diferencia respecto al primer edificio, pues en este caso, en los primeros niveles, la fuerza cuasidinámica resulta mayor que la estática, sin embargo, esta situación se invierte en los niveles superiores.

En los niveles inferiores, la diferencia de valores fluctúa entre un 15 % y un 94 %, mientras que en los niveles superiores, las fuerzas estáticas son mayores en un 2 % a 152 %.

El sentido Y tiene la misma situación, en cuanto a que los primeros niveles tienen una diferencia en resultados de 14 % a 82 % siendo los valores cuasidinámicos mayores que los estáticos; y en los demás niveles el valor de las fuerzas sísmicas estáticas supera a los cuasidinámicos en un margen de 1 % a 152 %, a medida que el nivel es superior, es que la diferencia entre los resultados se va haciendo mayor, llegando a ese 152 % en el último nivel.

El edificio 3, por ser simétrico, presenta idéntica variación y tendencia en ambos sentidos, en este edificio, resultan siempre mayores los valores de las fuerzas sísmicas estáticas, en un 48 % a 88 % en los niveles 10 a 60, del 70 al 120, la variación llega a un 12 % como máximo y 7 % mínimo, por último, en los tres niveles superiores, la diferencia es de 12 % a 14 %.

Dentro de este estudio, existe otro aspecto importante y que se refiere al diseño estructural de los edificios, para ello, fue necesario hacer las siguientes consideraciones:

-Las secciones de cada elemento son idénticas para el diseño que se efectuó con los resultados de ambos métodos, variando únicamente el acero de refuerzo longitudinal y transversal.

-Las losas se consideran elementos infinitamente rígidos y no forman parte del diseño efectuado.

-El diseño se realizó considerando elementos tipo de cada grupo de niveles entre los que no existe variación notable de valores de elementos mecánicos.

Los resultados arrojados por el diseño estructural de los 3 edificios tratados, necesariamente presentan la misma tendencia que la de las fuerzas sísmicas, en cuanto a la diferencia de resultados, normalmente mayores los estáticos que los cuasidínamicos.

Para el edificio 1, el acero necesario en columnas, resulta mayor en el método estático en un 19 %, en trabes, es un 27 % mayor lo que se necesita en el estático, para que globalmente, o sea en total del edificio, resulte un 23 % de acero necesario de más sobre el método cuasidínámico.

El edificio 2 tiene como resultados, que en cuanto al acero necesario en columnas, el volumen estático es mayor que en el cuasidínámico en un 17 %, en trabes, de igual manera es un 61 % mayor, para que en total resulte que el edificio 2 requiere un 38 % más de acero al ser diseñado por el método estático que por el Cuasidínámico.

Por último, en el caso del edificio 3, la cantidad de acero necesario por los dos métodos de análisis es siempre superior en el método estático por los siguientes porcentajes: 13 %, 2 % y 7 % en cuanto a trabes, columnas y total respectivamente.

CONCLUSIONES

Al analizar los resultados obtenidos en el cálculo de fuerzas sísmicas y en el diseño estructural, proposición y armado de los elementos estructurales, observamos que existe una variación entre los resultados arrojados por los dos métodos, inclinándose generalmente a ser mayores las fuerzas y armados necesarios para el método estático que para el cuasidínámico.

Únicamente existe una excepción, que es en el caso del edificio 2 en que en los primeros niveles los resultados que dió el método estático

son menores que los del método cuasidinámico.

Resulta importante resaltar la conveniencia del empleo del método Cuasidinámico en el proceso de diseño de los edificios, puesto que los resultados son notoriamente más cercanos a lo que podríamos considerar la realidad, y son los resultados que ofrece el método Dinámico, que los que da el método Estático.

El beneficio que representa el empleo de éste método, se aprecia en lo económico como un 23, 38 y 7 % más de volumen de acero de el método Estático respecto al Cuasidinámico, para los 3 edificios que se analizaron y diseñaron en este trabajo.

Indudablemente que es necesario ampliar el estudio económico que se realizó aquí, pues el número de casos presentado es muy reducido, aunque los resultados que se aprecian bien pueden ser con igual tendencia en otras posibilidades y condiciones de carga y terreno.

Es así como podemos considerar que el comportamiento en los casos con coeficiente sísmico $c = 0.16$ (terreno firme) y $c = 0.24$ (terreno compresible) así como los casos en que $Q = 1.5$, $Q = 2$ y $Q = 6$ (dependiendo del tipo de estructuración), debe ser similar (ref. 1) al existido con las características $c = 0.20$ (terreno de transición) y $Q = 4.0$ (estructuración a base de marcos rígidos en ambos sentidos).

El método cuasidinámico, tiene la misma posibilidad de aplicarse en cualquier zona en donde se requiera este tipo de análisis, pues lo único que se tendría que hacer sería crear nuevas gráficas de los valores del coeficiente C_d , lo que se hace mediante los espectros de diseño que tenga el Reglamento de esa zona.

El método cuasidinámico, que se acerca más al Dinámico, en algunos casos, subestima la respuesta de la estructura ante la solicitud de

acciones sísmicas, y en otros llega a sobreestimarla (aunque es un caso muy poco frecuente).

Al desarrollar este método, se llegó a la conclusión de que la diferencia con los resultados del método dinámico en el caso de fuerzas sísmicas, varía no más allá de un 10 % normalmente, y sólo excepcionalmente la diferencia entre los valores de las fuerzas sísmicas calculadas por los métodos Dinámico y Cuasidinámico, es mayor a ese porcentaje.

Es importante el desarrollar más a fondo éste método para incorporarlo al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, supliendo, o bien complementando al método Estático, pues en los tiempos actuales, es cuando se hace necesario investigar y crear nuevos métodos que beneficien no sólo la economía de la construcción sino el panorama de la Ingeniería en México y el mundo entero.

Una de las principales ventajas que presenta el método Cuasidinámico, es su rango de aplicabilidad, que es mucho mayor que el del método Estático, pues en edificios con alturas mayores a 60 m., o en construcciones irregulares y que presentan cambios bruscos geométricos y de rigidez, es cuando se hace necesario éste método, que en comparación al Dinámico, es de sencillez y rapidez mayor en aplicación, y sus resultados son satisfactorios, aunque no sean todo lo exactos que el Dinámico ofrece.

En este aspecto la diferencia radica en que para el método Dinámico es necesario considerar todos los modos de vibración del edificio, mientras que en el Cuasidinámico, basta con la influencia del modo fundamental.

Dentro de este estudio, se incluyó el efecto de reducción del factor de ductilidad, que permite el Reglamento, tomando en cuenta el período fundamental de la estructura, lo que mejora notablemente los resul-

tados que se puedan obtener.

El resultado práctico de un análisis incorporando el método Cuasidinámico, es el tener secciones de menor dimensión (más esbeltas) y armados con menor cantidad de varilla, sin que el factor de seguridad sea menor al que se tiene en la actualidad; lo que pasa es que el método Estático, normalmente subestima la respuesta de la estructura ante sollicitaciones sísmicas, lo que provoca que se requieran secciones de mayor dimensión y armados con más acero.

Precisamente el método Cuasidinámico se acerca más a lo que podríamos llamar exacto y por ello resulta ser una opción adecuada para tomarla en cuenta en procesos de análisis y diseño sísmico de edificios.

En síntesis, el método Cuasidinámico, como parte del proceso de diseño de edificios, es adecuado para emplearse en estructuras de hasta 30 niveles, mejorando los resultados del método Estático y acercándose a los del Dinámico, considerando que los resultados tienen un rango de seguridad válido para cualquier zona sísmica del Distrito Federal, pudiendo estudiarse y adaptarse para cualquier otra zona sísmica, no sólo del país sino del mundo entero, siempre que se cumplen ciertas condiciones que se han expuesto a lo largo de este trabajo.

REFERENCIAS

- 1 Aranda G. Rafael, Rascón Octavio A y Díaz Orlando J.
"Análisis sísmico de edificios irregulares en elevación con espectros reducidos por ductilidad". México, C.F. Series del Instituto de Ingeniería. U.N.A.M., 471. (1983)
- 2 Aranda G. Rafael, Rascón Octavio A. y Díaz Orlando J.
"Método Cuasidinámico para análisis sísmico de edificios con comportamiento elástico". México, D.F. Series del Instituto de Ingeniería. U.N.A.M., 456. (1982)
- 3 Bazán Enrique y Meli Roberto. "Manual de diseño sísmico de edificios". México, D.F. Series del Instituto de Ingeniería. U.N.A.M., D-18. (1983)
- 4 "Diseño y construcción de estructuras de concreto". Normas técnicas complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". México, D.F. Series del Instituto de Ingeniería. U.N.A.M., 401. (1977)
- 5 "Manual de diseño por sismo según el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". México, D.F. Series del Instituto de Ingeniería. U.N.A.M., 406. (1977)
- 6 "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". México, D.F. (1982)
- 7 "Requisitos de seguridad y servicio para las estructuras. Título IV del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (con comentarios)". México, D.F. Series del Instituto de Ingeniería. U.N.A.M., 400. (1977)
- 8 Rosenblueth Emilio y Esteve Luis. "Diseño sísmico de Edificios. Folleto complementario al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". México, D.F. (1962)

NIVEL	METODO ESTATICO				METODO CUASIDIN.			
	FUERZA SISMICA SENT. X (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. X (TON)	FUERZA SISMICA SENT. Y (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. Y (TON)	FUERZA SISMICA SENT. X (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. X (TON)	FUERZA SISMICA SENT. Y (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. Y (TON)
1	3.41	247.00	3.80	259.21	1.09	147.60	0.60	132.14
2	6.87	243.59	7.61	255.41	3.73	146.51	1.10	131.54
3	10.39	236.72	11.41	247.80	7.32	142.78	2.02	130.44
4	13.96	226.33	15.22	236.39	9.41	135.46	2.45	128.42
5	9.79	212.37	10.60	221.17	5.51	126.05	1.38	125.97
6	11.62	202.58	12.50	210.57	7.11	120.54	4.27	124.59
7	13.48	190.96	14.40	198.07	8.58	113.43	6.76	120.32
8	15.36	177.48	16.30	183.67	9.84	104.85	8.85	113.56
9	17.26	162.12	18.20	167.37	10.98	95.01	10.75	104.71
10	19.19	144.86	20.11	149.17	12.08	84.03	12.55	93.96
11	21.14	125.67	22.01	129.06	13.06	71.95	14.14	81.41
12	23.11	104.53	23.91	107.05	13.87	58.89	15.45	67.27
13	25.11	81.42	25.81	83.14	14.53	45.02	16.51	51.82
14	27.13	56.31	27.71	57.33	15.06	30.49	17.37	35.31
15	29.18	29.18	29.62	29.62	15.43	15.43	17.94	17.94

TABLA 1. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES, ESTATICAS Y CUASIDINAMICAS.

EDIFICIO 1.

NIVEL	METODO ESTATICO				METODO CUASIDIN.			
	FUERZA SISMICA SENT. X (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. X (TON)	FUERZA SISMICA SENT. Y (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. Y (TON)	FUERZA SISMICA SENT. X (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. X (TON)	FUERZA SISMICA SENT. Y (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. Y (TON)
1	1.67	219.40	1.68	219.86	3.25	143.80	2.21	146.75
2	2.99	217.73	3.00	218.18	4.83	140.55	3.88	144.54
3	4.44	214.74	4.45	215.18	7.20	135.72	6.81	140.66
4	6.00	210.30	6.02	210.73	8.17	128.52	7.99	133.85
5	7.69	204.30	7.71	204.71	8.82	120.35	8.79	125.86
6	9.50	196.61	9.52	197.00	9.36	111.53	9.46	117.07
7	11.43	187.11	11.46	187.48	9.87	102.17	10.09	107.61
8	13.49	175.68	13.52	176.02	10.34	92.30	10.68	97.52
9	15.66	162.19	15.70	162.50	10.77	81.96	11.22	86.84
10	17.96	146.53	18.00	146.80	11.16	71.19	11.71	75.62
11	20.38	128.57	20.42	128.80	11.51	60.03	12.15	63.91
12	22.93	108.19	22.97	108.38	11.81	48.52	12.53	51.76
13	25.59	85.26	25.64	85.41	12.06	36.71	12.85	39.23
14	28.38	59.67	28.43	59.77	12.26	24.65	13.11	26.38
15	31.29	31.29	31.34	31.34	12.39	12.39	13.27	13.27

TABLA 2. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS Y
CUASIDINAMICAS. EDIFICIO 2.

NIVEL	METODO ESTATICO				METODO CUASIDIN.			
	FUERZA SISMICA SENT. X (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. X (TON)	FUERZA SISMICA SENT. Y (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. Y (TON)	FUERZA SISMICA SENT. X (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. X (TON)	FUERZA SISMICA SENT. Y (TON)	FUERZA CORTANTE SENT. Y (TON)
1	5.99	258.75	5.99	258.75	3.52	187.73	3.52	187.73
2	11.98	252.76	11.98	252.76	6.55	184.21	6.55	184.21
3	17.97	240.78	17.97	240.78	12.18	177.66	12.18	177.66
4	23.96	222.81	23.96	222.81	15.16	165.48	15.16	165.48
5	29.95	198.85	29.95	198.85	17.38	150.32	17.38	150.32
6	35.94	168.90	35.94	168.90	19.10	132.94	19.10	132.94
7	15.09	132.96	15.09	132.96	7.36	113.84	7.36	113.84
8	17.25	117.87	17.25	117.87	13.46	106.48	13.46	106.48
9	19.41	100.62	19.41	100.62	17.60	93.02	17.60	93.02
10	21.56	81.21	21.56	81.21	20.36	75.42	20.36	75.42
11	23.72	59.65	23.72	59.65	22.38	55.06	22.38	55.06
12	25.88	35.93	25.88	35.93	23.80	32.68	23.80	32.68
13	3.11	10.05	3.11	10.05	2.74	8.86	2.74	8.86
14	3.35	6.94	3.35	6.94	2.99	6.14	2.99	6.14
15	3.59	3.59	3.59	3.59	3.15	3.15	3.15	3.15

TABLA 3. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES, ESTATICAS Y CUASIDINAMICAS

EDIFICIO 3.

M A R C O	NIVEL	CRUJIAS ENTRE EJES	LONGITUD (CM)	SECCION (CM ²)	A _B total [*] ESTÁTICO (CM ²)	A _B total [*] CUASIDIN. (CM ²)
A B C D	1-4	1-2 y 6-7	600	40 x 60	25.74	22.45
A B C D	1-4	2-3 a 5-6	400	40 x 60	21.22	16.14
A B C D	5-8	2-3 a 5-6	400	25 x 50	17.37	13.36
A B C D	9-12	2-3 a 5-6	400	20 x 40	15.64	11.55
A B C D	13-15	2-3 a 5-6	400	15 x 30	8.80	5.94
1 7	1-4	A-B a C-D	600	40 x 60	16.14	15.13
2 3 4 5 6	1-4	A-B a C-D	600	40 x 60	20.46	16.80
2 3 4 5 6	5-8	A-B a C-D	600	25 x 50	18.68	14.43
2 3 4 5 6	9-12	A-B a C-D	600	20 x 40	14.88	10.56
2 3 4 5 6	13-15	A-B a C-D	600	15 x 30	8.31	6.48

* Incluye bastones.

TABLA 4. DISEÑO DE VIGAS TIPO EN EDIFICIO 1.

M A R C O	NIVEL	CRUJIAS ENTRE EJES	LONGITUD (CM)	SECCION (CM ²)	A _B total* ESTATICO (CM ²)	A _B total* CUASIDIN. (CM ²)
A B C D	1-4	1-2 y 6-7	600	40 x 60	17.13	12.33
A B C D	1-4	2-3 a 5-6	500	40 x 60	19.18	12.93
A B C D	5-8	1-2 y 6-7	600	20 x 40	14.42	8.91
A B C D	5-8	2-3 a 5-6	500	20 x 40	15.14	10.04
A B C D	9-12	1-2 y 6-7	600	20 x 40	12.17	6.75
A B C D	9-12	2-3 a 5-6	500	20 x 40	13.60	7.46
A B C D	13-15	1-2 y 6-7	600	15 x 30	6.75	3.43
A B C D	13-15	2-3 a 5-6	500	15 x 30	7.64	3.87
1 2 6 7	1-4	A-B y C-D	400	40 x 60	26.94	17.84
1 2 6 7	1-4	B-C	600	40 x 60	20.65	14.49
1 2 6 7	5-8	A-B y C-D	400	20 x 40	24.44	14.88
1 2 6 7	5-8	B-C	600	20 x 40	16.84	11.22
1 2 6 7	9-12	A-B y C-D	400	20 x 40	19.43	10.90
1 2 6 7	9-12	B-C	600	20 x 40	15.95	9.44
1 2 6 7	13-15	A-B y C-D	400	15 x 30	6.75	5.47
1 2 6 7	13-15	B-C	600	15 x 30	4.80	4.63

*Incluye bastones.

TABLA 5. DISEÑO DE VIGAS TIPO EN EDIFICIO 2. (continúa...)

M A R C O	NIVEL	CRUJIAS ENTRE EJES	LONGITUD (CM)	SECCION (CM ²)	A _S total* ESTATICO (CM ²)	A _S total* DINAM. (CM ²)
3 4 5	1-4	A-B y C-D	400	40 x 60	21.99	15.15
3 4 5	1-4	B-C	600	40 x 60	17.90	12.44
3 4 5	5-8	A-B y C-D	400	20 x 40	19.40	12.26
3 4 5	5-8	B-C	600	20 x 40	13.54	9.29
3 4 5	9-12	A-B y C-D	400	20 x 40	15.59	8.91
3 4 5	9-12	B-C	600	20 x 40	13.04	7.84
3 4 5	13-15	A-B y C-D	400	15 x 30	8.91	4.50
3 4 5	13-15	B-C	600	15 x 30	7.53	4.09

*Incluye bastones.

TABLA 5 (cont.). DISEÑO DE VIGAS TIPO EN EDIFICIO 2.

M A R C O	NIVEL	CRUJIAS ENTRE EJES	LONGITUD (CM)	SECCION (CM ²)	A _B total [*] ESTATICO (CM ²)	A _B total [*] QUASIDIN. (CM ²)
1 6 A F	1-3	A-B a E-F 1-2 a 5-6	500	30 x 60	11.75	9.68
1 6 A F	4-6	A-B a E-F 1-2 a 5-6	500	30 x 60	11.19	9.34
2 5 B E	1-3	A-B a E-F 1-2 a 5-6	500	30 x 60	16.45	14.60
2 5 B E	4-6	A-B a E-F 1-2 a 5-6	500	30 x 60	15.39	12.95
2 5 B E	7-9	B-C a D-E 2-3 a 4-5	500	20 x 40	12.89	10.56
2 5 B E	10-12	B-C a D-E 2-3 a 4-5	500	20 x 40	11.83	9.93
3 4 C D	1-3	A-B a E-F 1-2 a 5-6	500	30 x 60	16.66	15.11
3 4 C D	4-6	A-B a E-F 1-2 a 5-6	500	30 x 60	15.11	13.81
3 4 C D	7-9	B-C a D-E 2-3 a 4-5	500	20 x 40	12.89	11.22
3 4 C D	10-12	B-C a D-E 2-3 a 4-5	500	20 x 30	12.32	9.78
3 4 C D	13-15	C-D y 3-4	500	20 x 30	8.90	7.63

*Incluye bastones.

TABLA 6. DISEÑO DE VIGAS TIPO EN EDIFICIO 3.

M A R C O	NIVEL	LONGITUD (CM)	SECCION (CMxCM)	A _g total ESTÁTICO (CM ²)	A _g total CUASIDIN. (CM ²)
A B C D	1-4	400	80 x 80	40.56	30.42
A B C D	5-8	350	60 x 60	30.42	22.96
A B C D	9-12	350	50 x 50	15.92	11.94
A B C D	13-15	350	40 x 40	7.62	7.40
1 7	1-4	400	80 x 80	32.03	30.42
2 3 4 5 6	1-4	400	80 x 80	36.16	30.42
2 3 4 5 6	5-8	350	60 x 60	26.02	17.22
2 3 4 5 6	9-12	350	50 x 50	15.92	12.70
2 3 4 5 6	13-15	350	40 x 40	7.96	7.62

TABLA 7. DISEÑO DE COLUMNAS TIPO EN EL EDIFICIO 1.

M A R C O	NIVEL	LONGITUD (CM)	SECCION (CMxCM)	A _s total ESTÁTICO (CM ²)	A _s total CUASIDIN. (CM ²)
A B C D	1-4	500	80 x 80	30.42	30.02
A B C D	5-8	350	60 x 60	30.42	17.22
A B C D	9-12	350	50 x 50	11.94	11.48
A B C D	13-15	350	40 x 40	7.62	7.44
1 2 6 7	1-4	500	80 x 80	40.56	36.16
1 2 6 7	5-8	350	60 x 60	22.96	17.22
1 2 6 7	9-12	350	50 x 50	12.70	11.48
1 2 6 7	13-15	350	40 x 40	7.62	7.04
3 4 5	1-4	500	80 x 80	32.42	30.42
3 4 5	5-8	350	60 x 60	20.28	17.22
3 4 5	9-12	350	50 x 50	11.94	11.48
3 4 5	13-15	350	40 x 40	7.62	6.64

TABLA 8. DISEÑO DE COLUMNAS TIPO EN EL EDIFICIO 2.

M A R C O	NIVEL	LONGITUD (CM)	SECCION (CMxCM)	A _E total ESTÁTICO (CM ²)	A _E total CUASIDIN. (CM ²)
1 6 A F	1-6	350	60 x 60	30,42	30,07
2 5 B E	1-6	350	60 x 60	30,42	30,07
2 5 B E	7-12	350	50 x 50	22,96	21,20
3 4 C D	1-6	350	60 x 60	30,42	30,07
3 4 C D	7-12	350	50 x 50	22,96	18,46
3 4 C D	13-15	350	30 x 30	17,22	14,48

TABLA 9. DISEÑO DE COLUMNAS TIPO EN EL EDIFICIO 3.

NIVEL	METODO ESTATICO			METODO CUASIDINAMICO		
	VIGAS (TON)	COLUMNAS (TON)	TOTAL (TON)	VIGAS (TON)	COLUMNAS (TON)	TOTAL (TON)
1 - 4	5.523	5.121	10.644	4.730	4.231	8.961
5 - 8	2.859	2.677	5.536	2.119	2.209	4.328
9 - 12	2.164	1.540	3.704	1.477	1.288	2.765
13 - 15	1.143	1.066	2.209	0.871	1.002	1.873
TOTAL	45.613	40.550	86.163	35.917	33.918	69.835

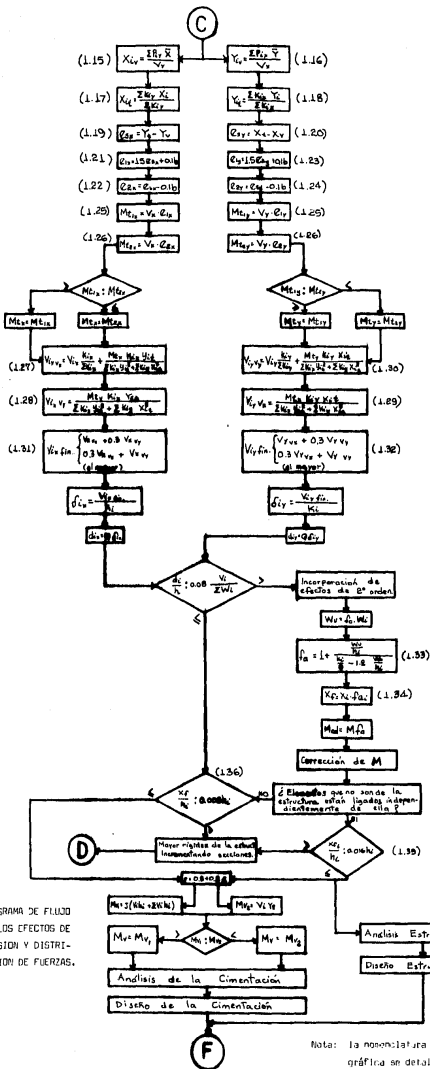
TABLA 10. PESOS TOTALES DE ACERO EN EL EDIFICIO 1.

NIVEL	METODO ESTATICO			METODO CUASIDINAMICO		
	VIGAS (TON)	COLUMNAS (TON)	TOTAL (TON)	VIGAS (TON)	COLUMNAS (TON)	TOTAL (TON)
1	4.931	5.847	10.778	3.594	5.571	9.165
2 - 5	3.283	3.226	6.509	2.162	2.212	4.374
6 - 9	2.890	1.608	4.498	1.700	1.537	3.237
10 - 15	1.630	1.060	2.690	0.904	0.980	1.884
TOTAL	39.403	31.543	70.946	24.466	26.447	50.913

TABLA 11. PESOS TOTALES DE ACERO EN EL EDIFICIO 2.

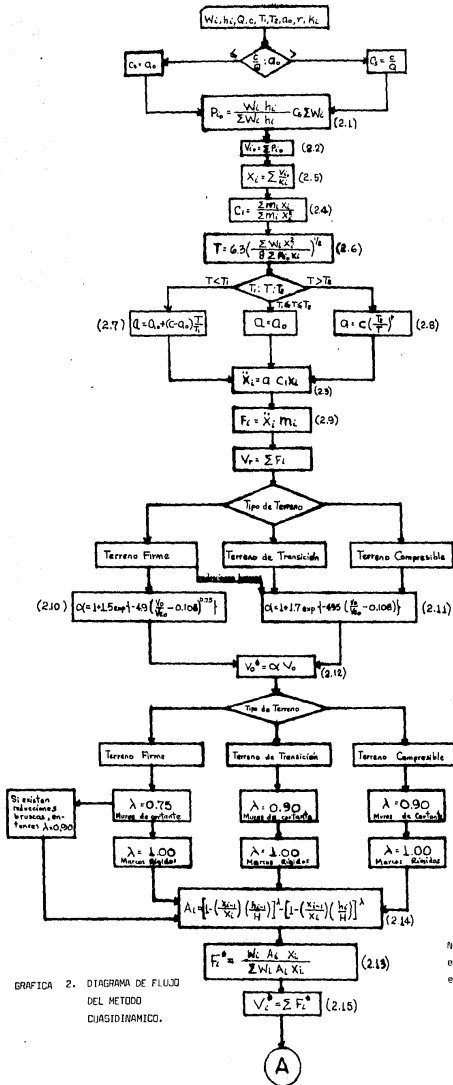
NIVEL	METODO ESTATICO			METODO CUASIDINAMICO		
	VIGAS (TON)	COLUMNAS (TON)	TOTAL (TON)	VIGAS (TON)	COLUMNAS (TON)	TOTAL (TON)
1 - 3	4.701	4.690	9.391	4.088	4.310	8.398
4 - 6	4.207	4.690	8.897	3.867	4.310	8.177
7 - 9	1.341	1.382	2.723	1.147	1.306	2.453
10 - 12	1.261	1.382	2.643	1.050	1.306	2.356
13 - 15	0.157	0.234	0.391	0.137	0.205	0.342
TOTAL	35.001	37.134	72.135	30.867	34.311	65.178

TABLA 12. PESOS TOTALES DE ACERO EN EL EDIFICIO 3.



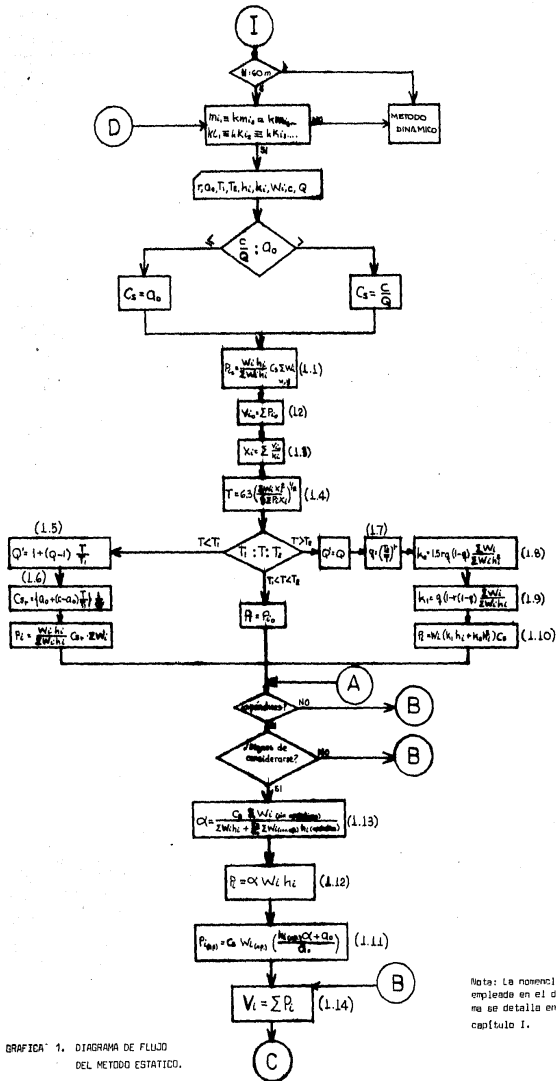
GRAFICA 3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS EFECTOS DE TORSION Y DISTRIBUCION DE FUERZAS.

Nota: la nomenclatura empleada en la gráfica se detalla en el capítulo 1



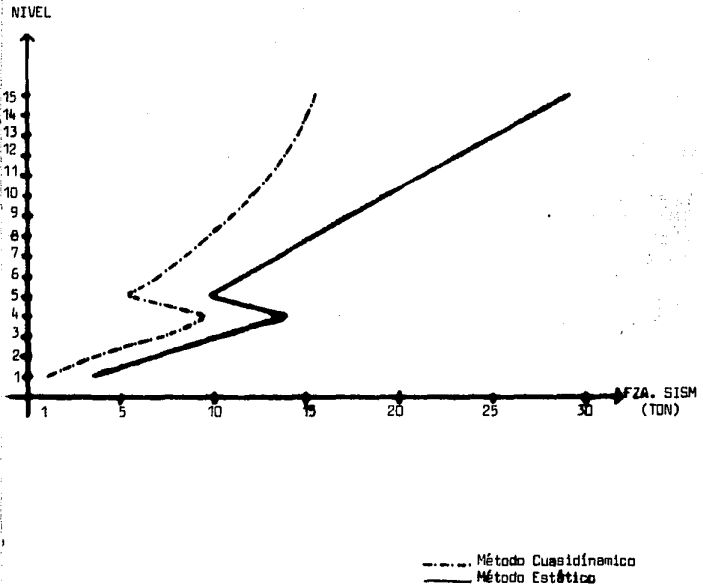
GRAFICA 2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO CUASIDINAMICO.

Nota: la nomenclatura empleada en la gráfica, se detalla en el capítulo II.

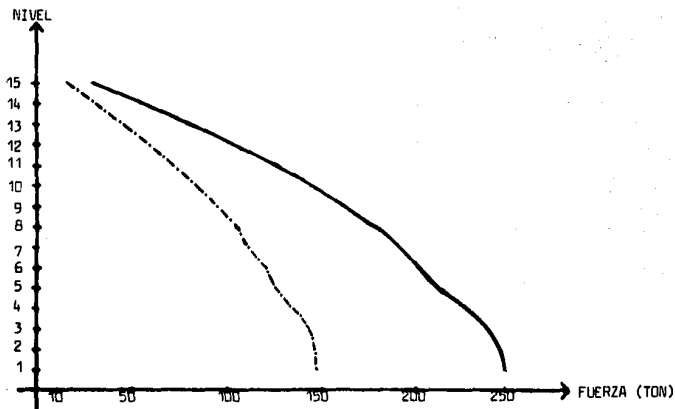


Nota: La nomenclatura empleada en el diagrama se detalla en el capítulo I.

GRAFICA 1. DIAGRAMA DE FLUJO DEL METODO ESTADICO.

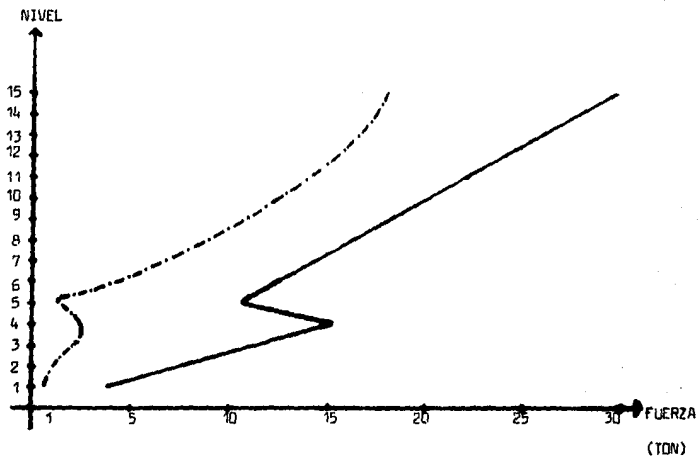


GRAFICA 4. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 1.



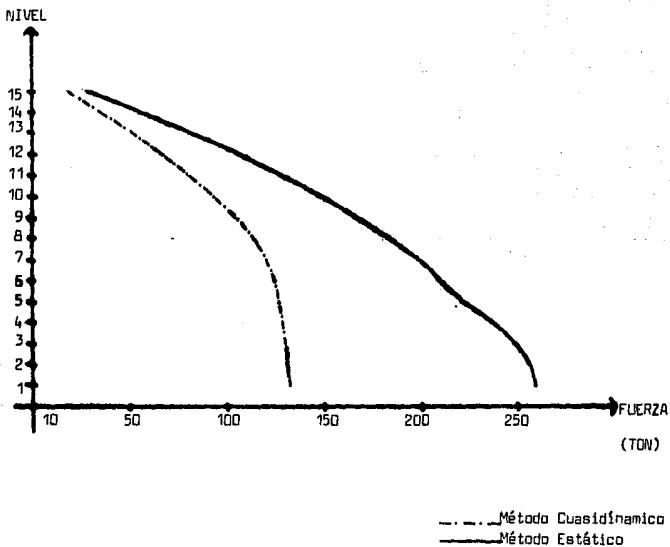
..... Método Cuasidínamico
———— Método Estático

GRAFICA 5. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 1.

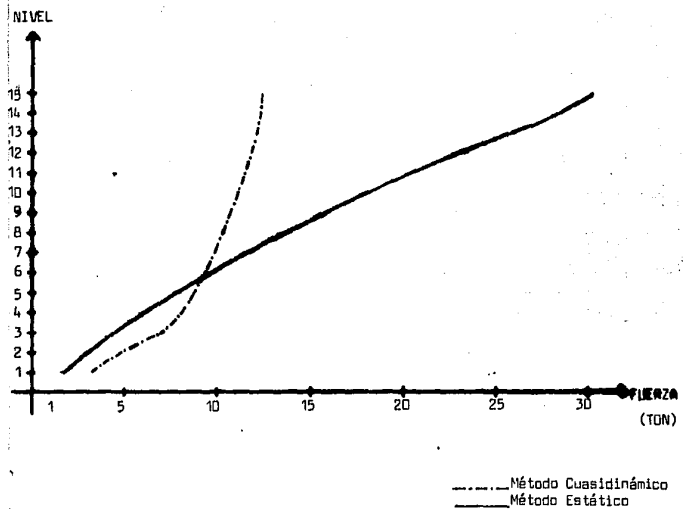


--- Método Cuasidínámico
 ————— Método Estático

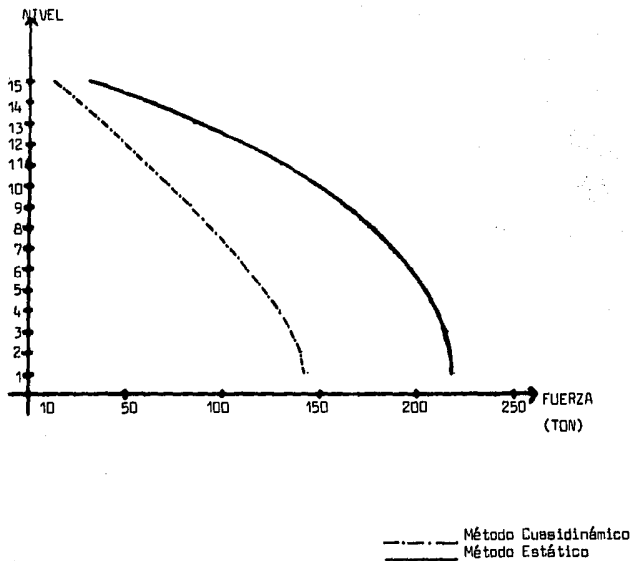
GRAFICA 6. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 1.



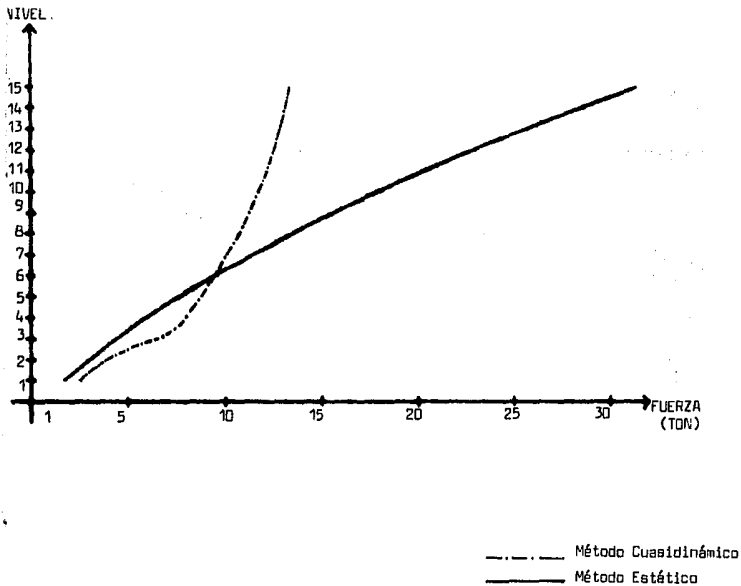
GRAFICA 7. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 1.



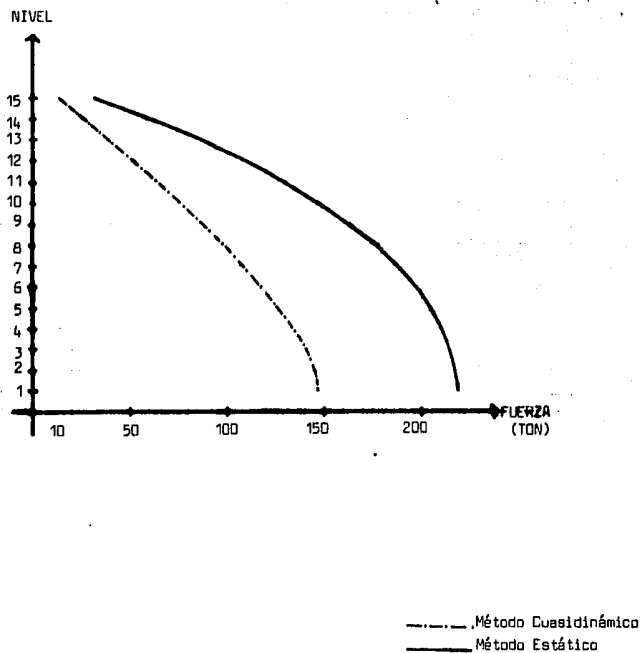
GRAFICA 8. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 2.



GRAFICA 9. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "X" DEL EDIFICIO 2.

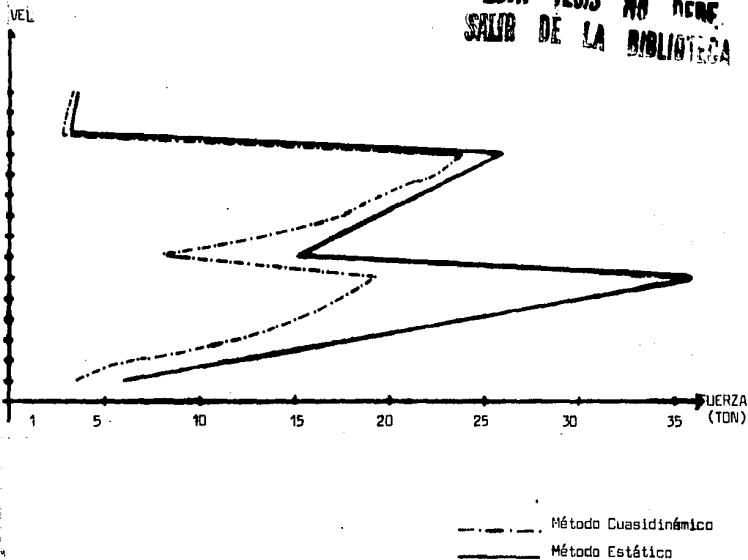


GRAFICA 10. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 2.

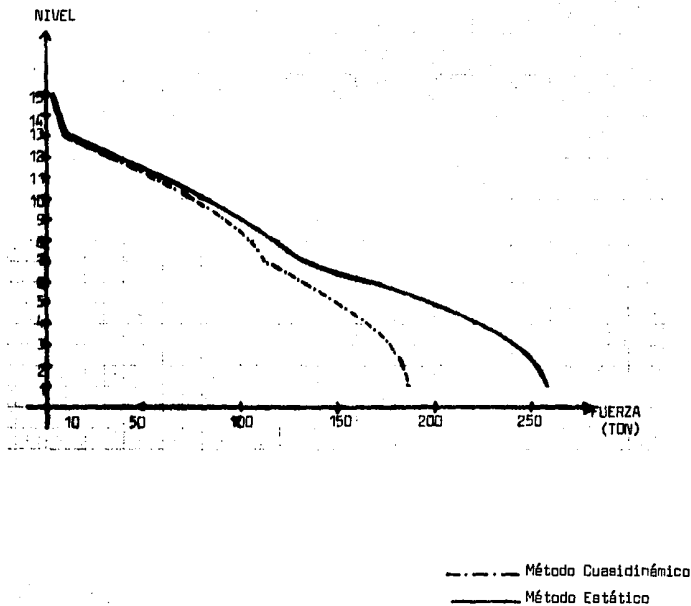


GRAFICA 11. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN EL SENTIDO "Y" DEL EDIFICIO 2.

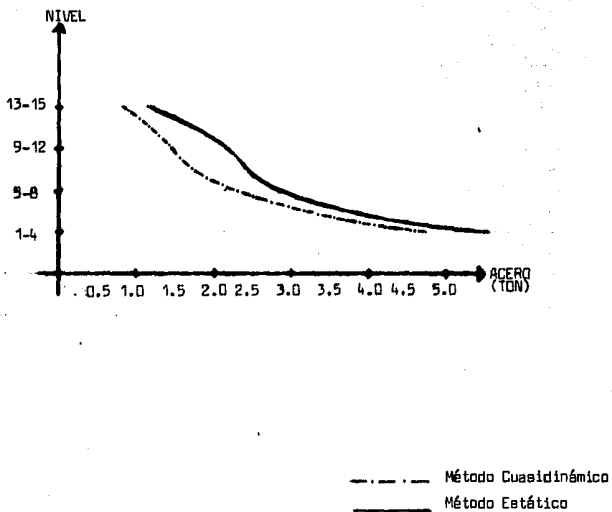
ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



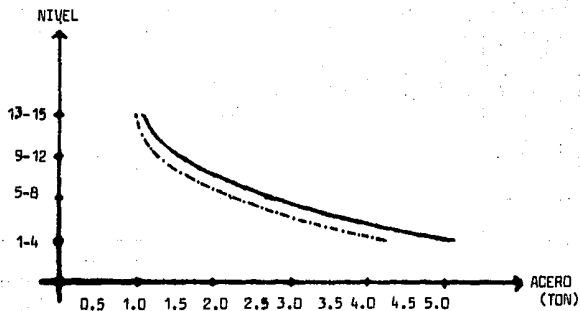
GRAFICA 12. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES ESTATICAS EN LOS SENTIDOS "X" Y "Y" DEL EDIFICIO 3.



GRAFICA 13. FUERZAS SISMICAS Y CORTANTES CUASIDINAMICAS EN LOS SENTIDOS "X" Y "Y" DEL EDIFICIO 3.

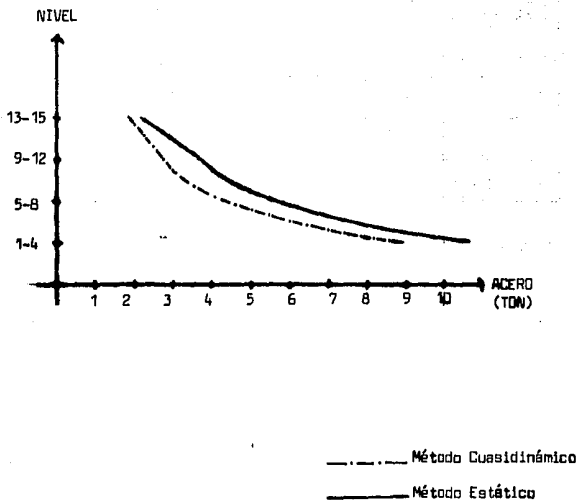


GRAFICA 14. ACERO EN TRABES PARA EL EDIFICIO 1, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.

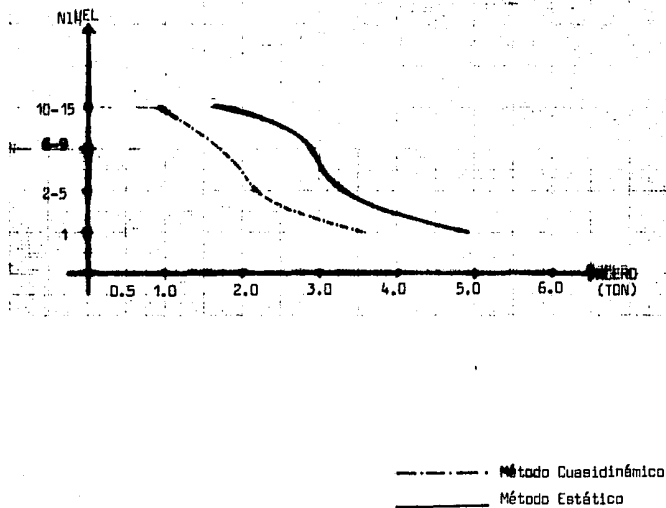


----- Método Quasidínamico
————— Método Estático

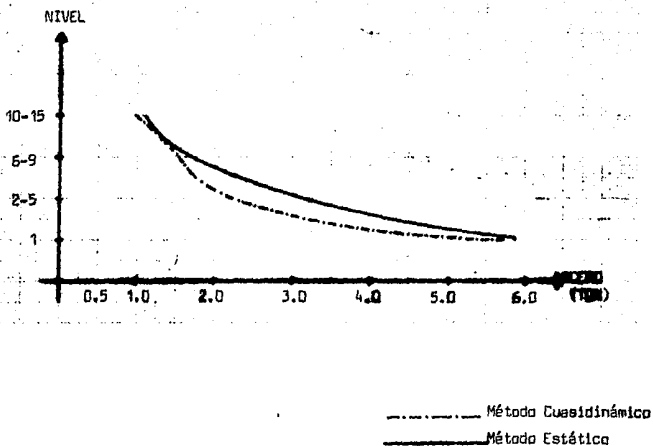
GRAFICA 15. ACERO EN COLUMNAS PARA EL EDIFICIO 1, POR LOS METODOS ESTÁTICO Y CUASIDINAMICO.



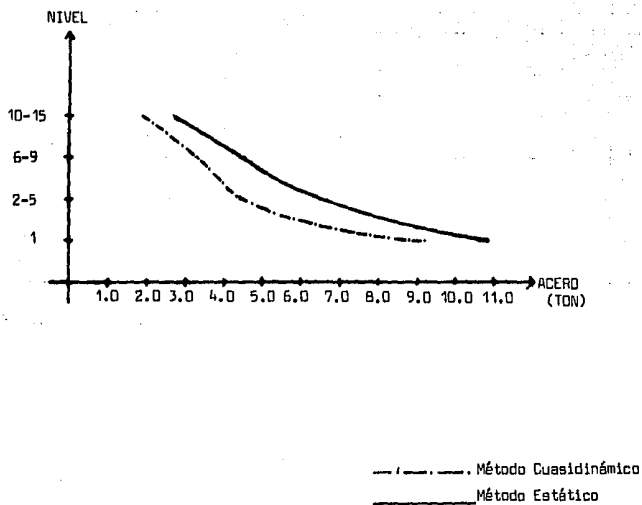
GRAFICA 16. ACERO TOTAL PARA EL EDIFICIO 1, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.



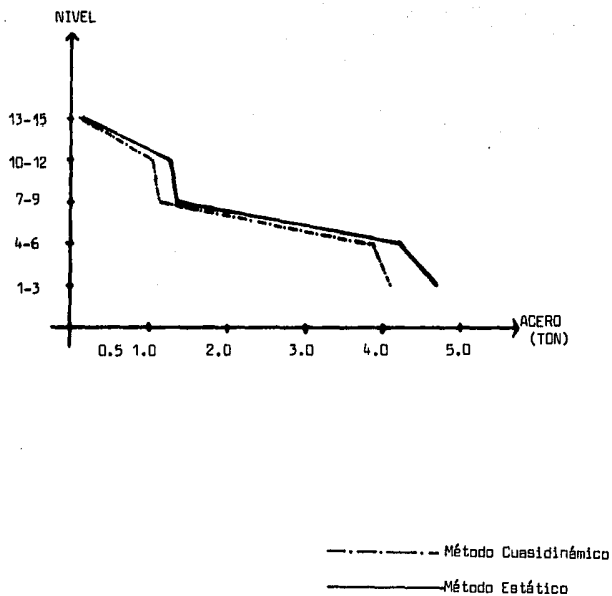
GRAFICA 17. ACERO EN TRABES PARA EL EDIFICIO 2, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.



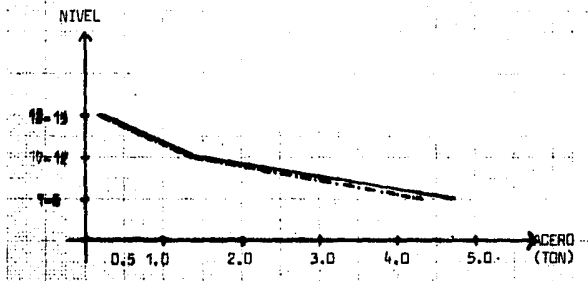
GRAFICA 18. ACERO EN COLUMNAS PARA EL EDIFICIO 2, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.



GRAFICA 19. ACERO TOTAL PARA EL EDIFICIO 2, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.

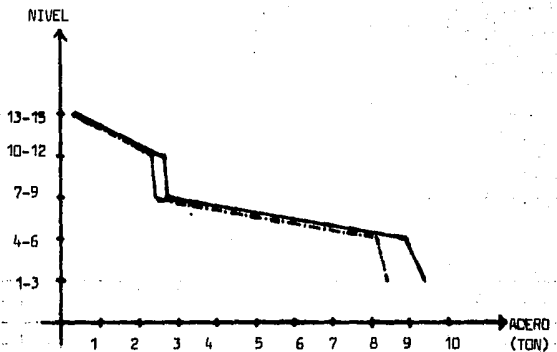


GRAFICA 20. ACERO EN TRABES PARA EL EDIFICIO 3, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.



----- Método Cuasidínámico
————— Método Estático

GRAFICA 21. ACERO EN COLUMNAS PARA EL EDIFICIO 3, POR LOS
MÉTODOS ESTÁTICO Y CUASIDINÁMICO.



- - - - - Método Cuasidínámico
 _____ Método Estático

GRAFICA 22. ACERO TOTAL PARA EL EDIFICIO 3, POR LOS
 METODOS ESTÁTICO Y CUASIDINAMICO.