FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-381

UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

Señor RICARDO MARIO ANCIRA LOZANO,
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Dr. Luis Esteva Maraboto, para que lo desarrolle como tesis para su Examen Profesional de la carrera de Ingeniero CIVIL.

"ESTUDIOS SOBRE EFECTIVIDAD DE ABSORBEDORES DE ENERGIA EN EDIFICIOS"

I. Introducción.
II. Antecedentes.
III. Planteamiento del problema.
IV. Procedimiento de análisis.
V. Casos por analizar.
VI. Resultados.
VII. Conclusiones y recomendaciones.
VIII. Referencias.
Apéndices.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 25 de agosto de 1982
EL DIRECTOR

ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU

JJE/OLH/ser

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

I INTRODUCCION

Desde hace tiempo, se ha sugerido el uso de pequeños absorbedores amortiguados con el objeto de reducir las vibraciones de sistemas dinámicos. Den Hartog (1956) (Cap. II.4) ha demostrado que con el uso de sistemas masa resorte, se pueden reducir los movimientos de sistemas de un grado de libertad, sujetos a excitaciones armónicas.

De gran interés resulta el estudio hecho por Dong (1976), en el cual encuentra que un apéndice ligero de un edificio actúa en beneficio del edificio y en perjuicio del apéndice como absorbedor de energía, confirmando, de esta manera, que puede llegar a funcionar y a diseñarse en la práctica como un sistema absorbedor.

Evidentemente, el problema real con los sistemas absorbedores no estriba en demostrar su efectividad para disminuir los efectos de sismos en edificios, sino en la elección de sus propiedades dinámicas, de manera de obtener un comportamiento sísmico adecuado del conjunto.

Por otra parte, comúnmente se analizan las estructuras en un solo plano, lo cual algunas veces no es acorde con la realidad, en la cual el comportamiento es tridimensional .

El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de estructuras tridimensionales bajo solicitaciones de temblores, y demostrar el efecto de los absorbedores de vibraciones en los desplazamientos de las estructuras (y por lo tanto en los elementos mecánicos de los miembros de las estructuras), lo cual puede conducir a un diseño más económico de las estructuras en las cuales dominan los efectos de sismos como puede ser el caso del D.F.

II ANTECEDENTES

II.1 ECUACIONES DE MOVIMIENTO

II.2 INTEGRACION PASO A PASO

II.3 AMORTIGUAMIENTO NO PROPORCIONAL

II.4 ABSORBEDORES DE VIBRACIONES

II.4a No Amortiguados

II.4b Amortiguados

II.1 Ecuaciones de Movimiento.

Se tratarán sistemas con parámetros constantes integrados por masas rígidas unidas entre sí y al terreno por medio de resortes y amortiguadores lineales carentes de masa. Algunas veces es posible simplificar el problema de análisis sísmico de las estructuras suponiendo que cada masa tiene sólamente uno ó dos grados de libertad.

Con objeto de describir las configuraciones del sistema, es decir, sus desplazamientos y rotaciones, se necesitan tantas cantidades linealmente independientes como grados de libertad. Estas cantidades suelen llamarse desplazamientos generalizados. Estos desplazamientos pueden normalizarse si se hace el producto de un escalar y un vector. Se denomina al último coordenada generalizada.

Los desplazamientos escalares pueden disponerse en forma de columna según cualquier orden convencional. Cuando así se hace para un sistema que tiene N grados de libertad, los desplazamientos escalares constituyen un vector de N dimensiones que representaremos por x y al que llamaremos configuración generalizada del sistema.

Supongamos que al r-ésimo desplazamiento generalizado x_r se le obliga a tomar un valor finito, manteniendo simultáneamente todos los demás desplazamientos iguales a cero. Entonces se deformarán los elementos estructurales y aparecerán en ellos fuerzas y momentos (fuerzas generalizadas). Asociada a esta deformación y actuando a lo largo de la s-ésima coordenada habrá una fuerza elástica generalizada que representaremos por Q_{rs} . Si damos a x_r un valor igual a la unidad, entonces Q_{rs} se llama coeficiente s-ésimo de influencia de regidez correspondiente al r-ésimo grado de libertad, y se representa con K_{rs} . A la matriz de los valores K_{rs}, ordenados de la misma manera que las x_r usualmente se le llama matriz de rigidez. Se representa con K .

El recíproco K^{-1} de la matriz de rigidez se conoce comúnmente como la matriz de flexibilidad del sistema.

De manera semejante, si damos un valor finito $\dot{x}_r$ (velocidad) manteniendo iguales a cero las derivadas de todos los demás desplazamientos con respecto al tiempo, los [illegible]guadores desarrollarán una fuerza generalizada que representaremos por [illegible]. Si $\dot{x}_r$ vale 1 entonces, C_{rs} es un coeficiente de influencia de amortiguamiento.

La matriz C cuyos elementos son los coeficientes de - influencia C_{rs} , ordenados de la misma manera que las x y las K, se conoce como matriz de amortiguamiento.

Dando a la aceleración $\ddot{x}_r$ un valor unitario, al mismo tiempo que se mantienen todas las demás segundas derivadas de los desplazamientos generalizados iguales a cero, - formamos un conjunto de fuerzas de inercia, o una fuerza - de inercia generalizada cuya componente s-ésima representaremos con M_{rs} . La matriz M, del mismo orden que las anteriores, se llama matriz de masa o de inercia.

Podemos aplicar el principio de D'Alambert a cada grado de libertad. Así obtenemos tantas ecuaciones de la forma

$$\sum_s M_{rs}\ddot{x}_s + \sum_s C_{rs}\dot{x}_s + \sum_s K_{rs}x_s = Pr$$

como grados de libertad, donde Pr es la componente de la - fuerza externa en la dirección de x_r . El sistema de estas ecuaciones puede escribirse en forma matricial

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = P$$

II.2 Integración Paso a Paso.

Existen varios procedimientos para llevar a cabo la integración numérica de la ecuación de movimiento (II.2.1) que es una representación del principio de D'Alambert con las variables en función del tiempo

$$m\,\Delta\ddot{x}(t) + c(t)\,\Delta\dot{x}(t) + k(t)\,\Delta x(t) = \Delta p(t) \qquad \text{II.2.1.}$$

La técnica presentada aquí tiene como característica su simplicidad, y la obtención de buenos resultados con relativamente pocos esfuerzos de cómputo. Se basa principalmente en aceptar que la aceleración varía linealmente dentro de cada intervalo de tiempo, mientras que las propiedades del sistema se mantienen constantes en ese intervalo.

El movimiento de la masa en el intervalo de tiempo se indica en la figura II.2.1. junto con las ecuaciones que suponen la variación lineal de la aceleración, y la correspondiente variación cuadrática y cúbica de la velocidad y el desplazamiento, respectivamente.

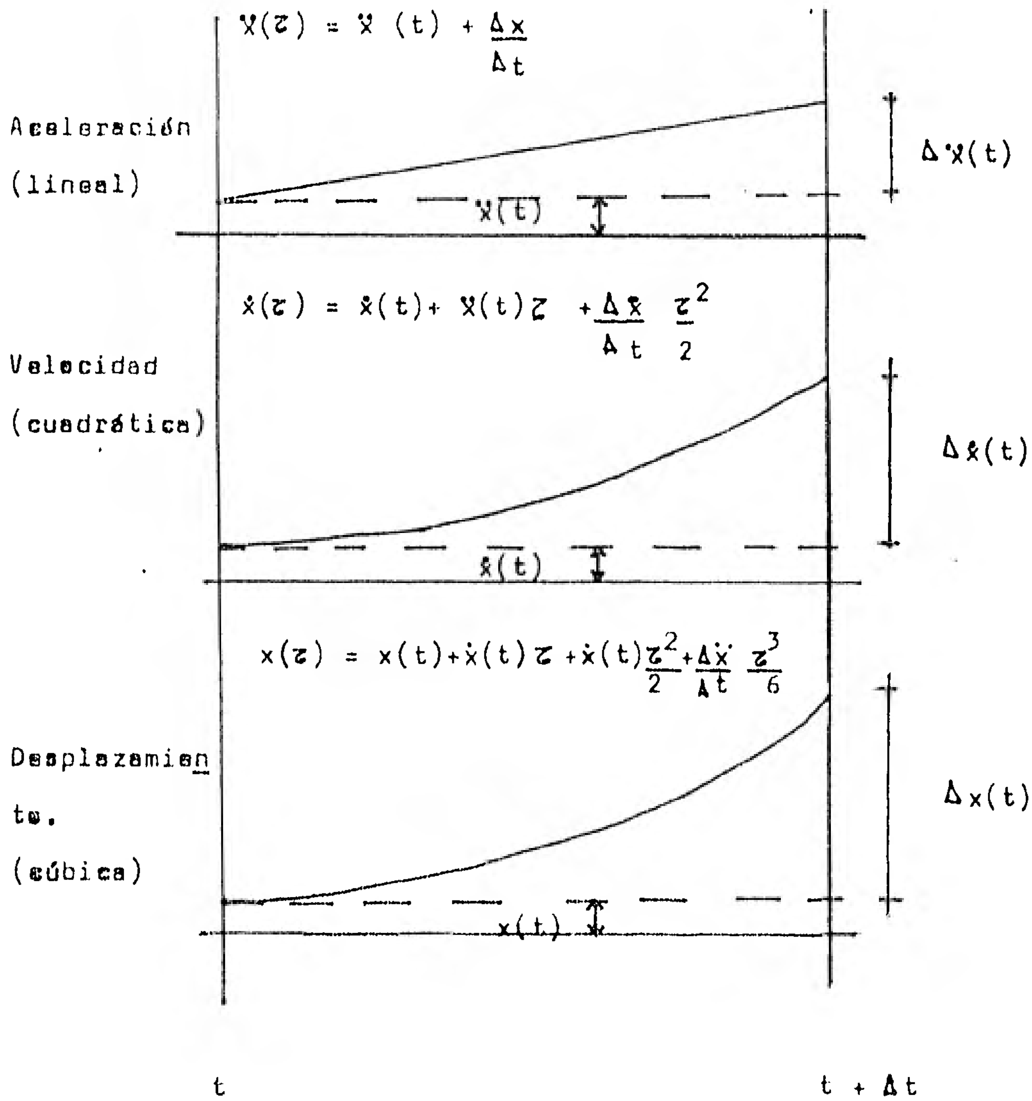


FIGURA II.2.1

Variación de la Aceleración, Velocidad y desplazamiento, en la integración Paso a Paso.

Evaluando estas dos últimas expresiones en el intervalo ($\tau = \Delta t$) se obtienen las siguientes ecuaciones para incrementos de velocidad y desplazamientos :

$$\Delta\dot{x}(t) = \ddot{x}(t)\,\Delta t + \Delta\ddot{x}(t)\,\frac{\Delta t}{2} \qquad \text{II.2.2a.}$$

$$\Delta x(t) = x(t)\,\Delta t + \ddot{x}(t)\,\frac{\Delta t^2}{2} + \Delta\ddot{x}(t)\,\frac{\Delta t^2}{6} \qquad \text{II.2.2b.}$$

Es conveniente usar los incrementos de desplazamiento como la variable básica del análisis. La ecuación II.2.2a se resuelve para el incremento de aceleración, y ésta expresión se substituye en la ecuación II.2.2b. para obtener

$$\Delta\ddot{x}(t) = \frac{6}{\Delta t^2}\,\Delta x(t) - \frac{6}{\Delta t}\,\dot{x}(t) - 3\,\ddot{x}(t) \qquad \text{II.2.3a.}$$

$$\Delta\dot{x}(t) = \frac{3}{\Delta t}\,\Delta x(t) - 3\dot{x}(t) - \frac{\Delta t}{2}\,\ddot{x}(t) \qquad \text{II.2.3b.}$$

Sustituyendo las ecuaciones II.2.3 en la ecuación --- II.2.1. resulta :

$$m\left[\frac{6}{\Delta t^2}\,\Delta x(t) - \frac{6}{\Delta t}\,\dot{x}(t) - 3\ddot{x}(t)\right] + c(t)\left[\frac{3}{\Delta t}\,\Delta x(t) - 3\dot{x}(t) - \frac{\Delta t}{2}\ddot{x}(t)\right]$$

$$+\ k(t)\,\Delta x(t) = \Delta p(t)$$

Finalmente, refiriendo todos los términos asociados — con las condiciones [illegible] lado derecho, [illegible]

$$\tilde{k}(t)\,\Delta x(t) = \Delta\tilde{p}(t) \qquad \text{II.2.4.}$$

donde:

$$\tilde{k}(t) = k(t) + \frac{6}{\Delta t^2}\, m + \frac{3}{\Delta t}\, c(t) \qquad \text{II.2.5.}$$

La ecuación II.2.4. se resuelve para un incremento de tiempo y el valor del desplazamiento obtenido se sustituye en II.2.3b. para obtener el incremento de velocidad. Las condiciones iniciales para el próximo período de tiempo — son entonces, la suma de los valores incrementados de las velocidades y desplazamientos al inicio del período de — tiempo.

Este procedimiento de análisis numérico incluye dos aproximaciones significativas:

1º La aceleración varía linealmente con el tiempo.

2º Las propiedades de amortiguamiento y rigidez, permanecen constantes durante el período de tiempo [illegible] de.

En general, ninguna de estas dos hipótesis son ciertas pero los errores cometidos son pequeños si el intervalo de tiempo también lo es.

Resumen del Procedimiento:

1º La velocidad y el desplazamiento inicial ($\dot{x}(t)$,$x(t)$) son conocidos, ya sea por las condiciones iniciales del problema ó por los valores obtenidos al final de cada incremento.

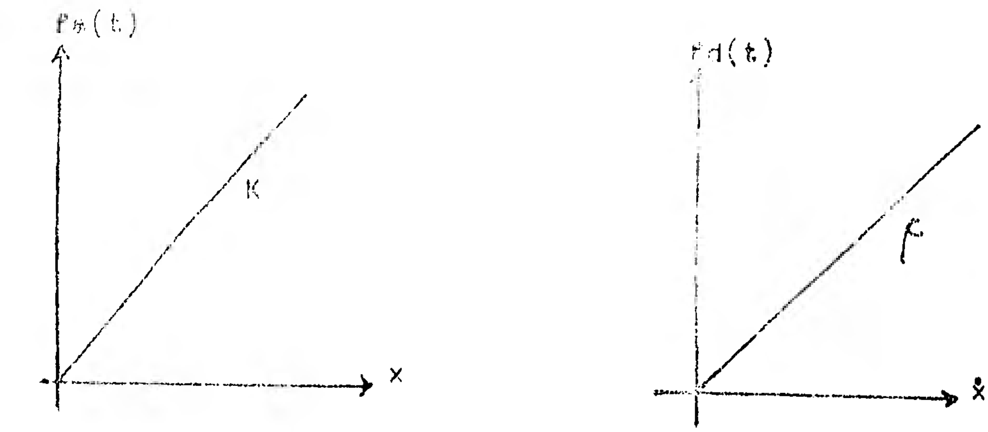
2º Usando éstos valores y las propiedades de la estructura (amortiguamiento y rigidez), se determinan la fuerza -- amortiguadora $f_d(t)$ y la restauradora $f_s(t)$ respectivamente (Fig. II.2.2).

3º La aceleración inicial está dada por:

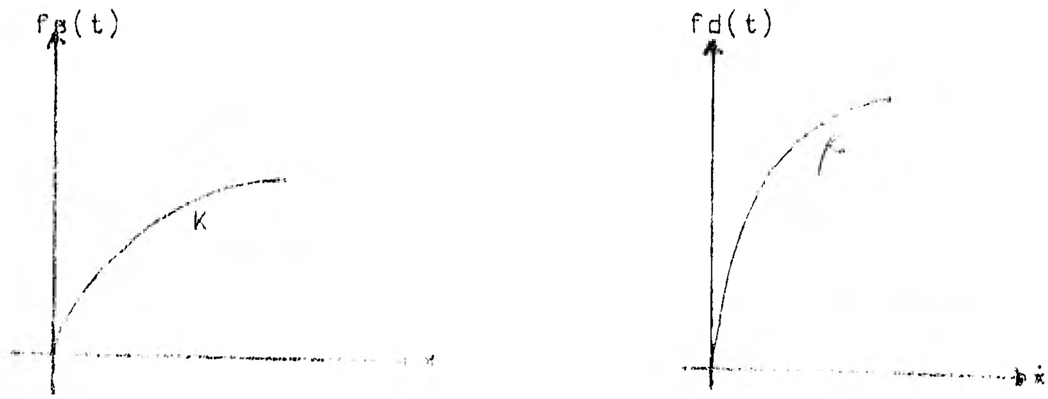
$$\ddot{x}(t) = \frac{1}{m}\left[p(t) - f_d(t) - f_s(t)\right] \qquad \text{II.2.6.}$$

que es un reacomodo de la ecuación de equilibrio, para un - tiempo t.

4º Se calculan los incrementos efectivos de carga $\Delta\tilde{p}$ y la rigidez efectiva $\tilde{k}(t)$ a partir de la ecuación II.2.5.



a) Variación Lineal de las propiedades del material.



b) V[illegible]iación no lineal de las p[illegible]dades del material.

FIGURA II.[illegible]

5º El incremento de desplazamiento está dado por la ecuación II.2.4. El incremento de velocidad se obtiene de la ecuación II.2.3b.

6º Finalmente la velocidad y desplazamiento al final del intervalo de tiempo se obtiene como:

$$\dot{x}(t+\Delta t) = \dot{x}(t) + \Delta\dot{x}(t)$$
$$x(t+\Delta t) = x(t) + \Delta x(t) \qquad \text{II.2.7.}$$

Como ya se mencionó, la efectividad del método y su exactitud, dependen de la amplitud del intervalo de tiempo que se tome (Δt). Deben considerarse tres factores en la selección de dicho intervalo:

1º La amplitud de variación de la carga aplicada p(t).

2º La no linealidad de la rigidez y amortiguamiento.

3º El período natural de vibración de la estructura.

El incremento de tiempo debe ser suficientemente pequeño para permitir una confiable representación de todos estos factores, de los cuales, el último, está asociado al comportamiento dinámico de la estructura.

En realidad, la variación de las propiedades del material no representa un factor crítico, ya que si se llegara a presentar un cambio repentino significativo en las propiedades, se podría resolver introduciendo un incremento de tiempo subdividido. También el incremento de tiempo requerido para aproximar los aspectos dinámicos significativos de la carga aplicada puede estimarse con cierta facilidad.

La elección del incremento de tiempo dependerá en parte del período de vibración de la estructura. Este método es estable generalmente si el incremento de tiempo es menor que la mitad del período, aproximadamente. Pero el incremento debe ser considerablemente menor que éste. Una exactitud razonable se logra con :

$$\frac{\Delta t}{T} \leq \frac{1}{10}$$

Puede llevarse a cabo otro análisis con la mitad del incremento propuesto; si los resultados no cambian notoriamente en el segundo análisis, puede decirse que los errores de la integración numérica son despreciables.

II.3 Amortiguamiento no Proporcional.

Con el fin de ilustrar la diferencia que existe en el comportamiento dinámico de un sistema en el cual su matriz de amortiguamiento es proporcional a la matriz de masa $[M]$ a la matriz de rigideces $[K]$, ó a una combinación lineal - de ambas

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K] \qquad \text{II.3.1.}$$

donde $\alpha = \xi w$

$$\beta = \frac{2\xi}{w}$$

ξ = amortiguamiento de la estructura

w = frecuencia circular asociada al primer modo - de vibrar de la estructura (rad/seg).

con otro sistema en el cual no se cumple dicha proporcionalidad, se compararán las vibraciones libres de estructuras que se encuentren en ambos casos.

A) Vibraciones libres con amortiguamiento proporcional.

Las ecuaciones de movimiento de un sistema de "n" grados de libertad, expresado en coordenadas generalizadas $x_1, x_2, \ldots, x_n$ se define como:

$$[m]\{\ddot{x}\} + [c]\{\dot{x}\} + [k]\{x\} = \{p\} \qquad \text{II.3.2.}$$

Esta ecuación se aplica a sistemas lineales, sea o no proporcional la matriz de amortiguamiento $[c]$ a $[m]$ ó $[k]$. Si es proporcional, la n-ésima ecuación desacoplada expresada en función de las coordenadas normales, es :

$$\ddot{\eta}_n + 2\xi_n \omega_n \dot{\eta}_n + \omega_n^2 \eta_n = \frac{N_n}{M_n} \qquad \text{II.3.3.}$$

donde: η_n = n-ésima componente de la coordenada normal.

ω_n = frecuencia natural de vibración.

ξ_n = factor de amortiguamiento correspondiente al n-ésimo modo.

Esta ecuación es aplicable a sistemas de vibraciones libres con amortiguamiento proporcional, si el término del lado derecho es cero.

Si el movimiento en el sistema consiste en aplicar un desplazamiento inicial $\eta_n(0)$ en el tiempo t=0, la ecuación se resolverá para obtener los desplazamientos modales $\eta_n(t)$ en el tiempo t en función del desplazamiento inicial

$$\eta_n(t) = \eta_n(0)\,\frac{e^{-\xi_n \omega_n t}}{\sqrt{1-\xi_n^2}}\,\cos\left(\sqrt{1-\xi_n^2}\;\omega_n t - \psi_n\right) \qquad \text{II.3.4.}$$

donde

$\sqrt{1-\xi_n^2}\;\omega_n$ = frecuencia de vibración libre amortiguada

ψ_n = ángulo de fase dado por:

$$\tan\,\psi_n = \frac{\xi_n}{\sqrt{1-\xi_n^2}} \qquad \text{II.3.5.}$$

La velocidad modal se obtiene derivando la ecuación - II.3.4. con respecto al tiempo :

$$\dot{\eta}_n(t) = \eta_n(0)\,\frac{\omega_n e^{-\xi_n \omega_n t}}{\sqrt{1-\xi_n^2}}\,\cos\left(\sqrt{1-\xi_n^2}\;\omega_n t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad \text{II.3.6}$$

(Nota: las ecuaciones II.3.5. y II.3.6. son válidas para sistemas con amortiguamiento menor al crítico)

Con el fin de ilustrar la relación en fase del desplazamiento y la velocidad modal, éstos se muestran como vectores en el plano imaginario, en la figura II.3.1.

Se puede observar que el vector velocidad aventaja al vector desplazamiento por un ángulo de $\psi_n + \frac{\pi}{2}$. Ambos vectores disminuyen en amplitud exponencialmente con el tiempo.

El vector $\eta_n(t)$ representa la linea de acción de todas las componentes de $\{x^n\}$, donde $\{x^n\}$ es el vector que contiene las componentes de desplazamiento correspondientes al n-ésimo modo. De igual manera, el vector $\dot{\eta}_n(t)$ representa la linea de acción de todas las componentes del vector velocidad $\{\dot{x}^n\}$.

Si un sistema amortiguado sujeto a vibraciones libres tiene como configuración inicial uno de los modos naturales del sistema no amortiguado, éste continuará con la misma configuración modal original, pero con un decremento exponencial de amplitud en todos los grados de libertad del sistema, en la misma proporción.

Este tipo de vibraciones es muy parecido al de un sistema no amortiguado, excepto que el desplazamiento disminuye en amplitud hasta que el sistema se encuentra en reposo.

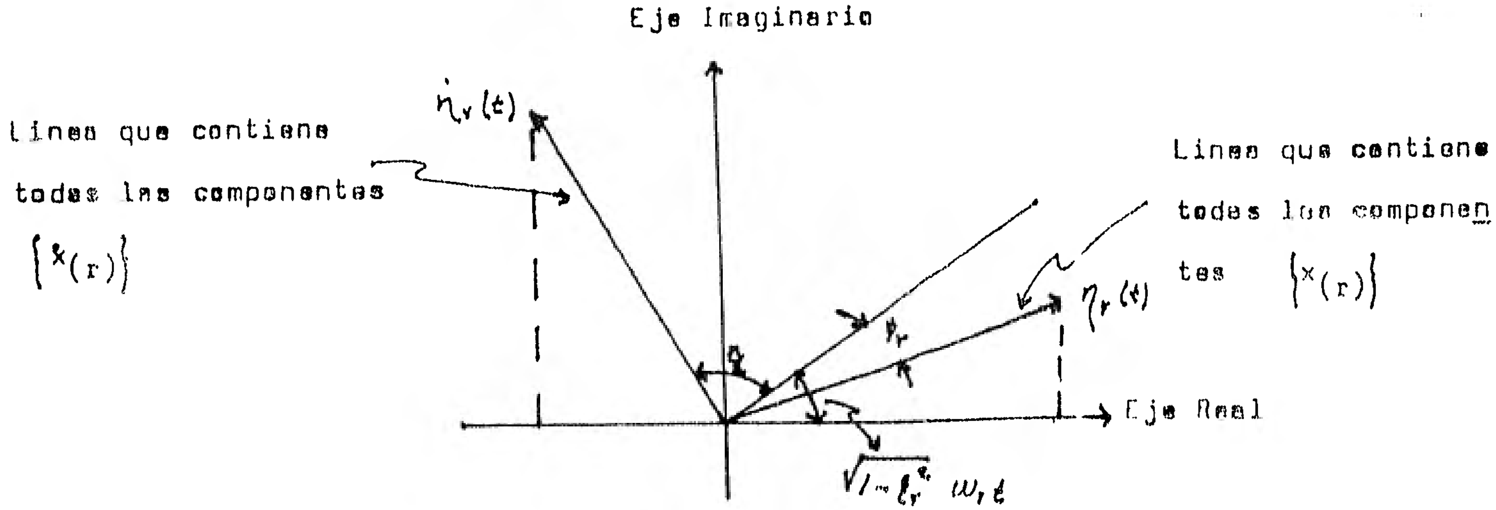

Eje Imaginario
Linea que contiene
todas las componentes
Linea que contiene
todas las componen
tes
Eje Real

FIGURA II.3.1.

B) Vibraciones libres con amortiguamiento no proporcional.

El movimiento de un sistema con amortiguamiento no proporcional difiere del anterior. Es posible elaborar una transformación relacionada con las coordenadas $\{x\}$ a un nuevo grupo de coordenadas $\{z\}$ en el cual las ecuaciones de movimiento se encuentren desacopladas

$$\{x\} = [\Delta] \{z\} \qquad \text{II.3.7.}$$

Otra vez nos referimos al n-ésimo modo desacoplado en el cual el desplazamiento x^n está dado por

$$\{x^n\} = \{\Delta^n\} \; z_n(t)$$

donde $\{\Delta^n\}$ = n-ésima columna de $[\Delta]$

En sistemas con amortiguamiento menor al crítico sujetos a vibraciones libres con un desplazamiento inicial $z_n(0)$ la función $z_n(t)$ es una función cosenoidal, exponencialmente amortiguada.

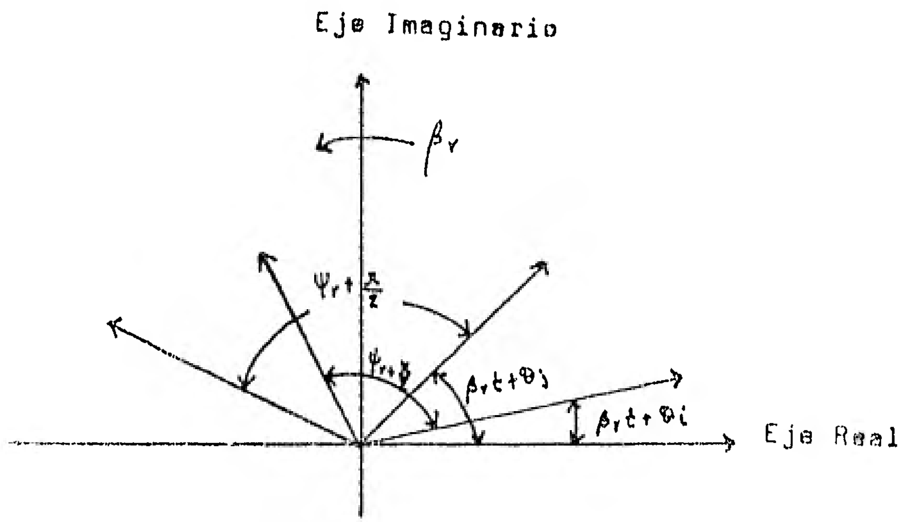
En este caso, la matriz de transformación $[\Delta]$ es compleja, por lo que las componentes de $\{\Delta^n\}$ serán números complejos cada uno diferente del otro en amplitud y fase. Consecuentemente, las componentes de $\{x^n\}$ difieren también en amplitud y en fase.

Considerándolos como vectores, como en la figura II.3.1 todas las componentes rotan a la misma velocidad β_d y todas decrecen de amplitud en la misma proporción. Cada una tiene diferente ángulo de fase en general. Esto se ilustra mostrando dos componentes típicas $x_i^n(t)$ y $x_j^n(t)$ en el plano de la figura II.3.2.

Aquí, las dos componentes $x_i^n(t)$ y $x_j^n(t)$ tienen ángulos de fase θ_i y θ_j respectivamente. En cada caso, las componentes de velocidad $\dot{x}_i^n(t)$ y $\dot{x}_j^n(t)$ se adelantan a su desplazamiento respectivo por el mismo ángulo $\psi_n + \frac{\pi}{2}$.

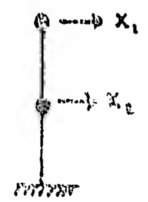
Para ilustrar el efecto del cambio de fase en el movimiento del sistema, consideremos la estructura de dos masas de la figura II.3.3. La figura II.3.3a muestra la estructura e identifica las dos coordenadas x_1 y x_2 que describirán el movimiento en los puntos de las dos masas. La figura II.3.3b muestra la relación de fase que podría existir entre los dos desplazamientos; el desplazamiento x_1 se adelanta a x_2 por 135° . La figura II.3.3c muestra el desplazamiento de la estructura en varios instantes de tiempo, designados por βt.

Es obvio que el movimiento no se caracteriza por la existencia de un modo fundamental, como sería el caso si los dos vectores estuvieran defasados 180° (como por ejemplo, si el sistema fuese no amortiguado o si el amortiguamiento fuese proporcional).

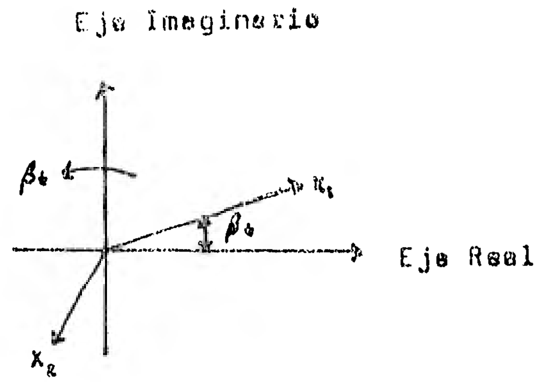


Eje Imaginario
β_r
$\psi_r + \frac{\pi}{2}$
$\psi_r + \gamma$
$\beta_r t + \theta_j$
$\beta_r t + \theta_i$
Eje Real

FIGURA II.3.2.



(a)



(b)

(c)

FIGURA II.3.3.

En resumen, un sistema con amortiguamiento proporcional se podrá hacer que vibre libremente en un grupo de modos desacoplados, los cuales se parecerán, en configuración, a los modos del sistema no amortiguado, con una disminución de amplitud exponencial con el tiempo y uniforme en todo el sistema.

En contraste, un sistema con amortiguamiento no proporcional, también se podrá hacer que vibre libremente en un -- grupo de "modos" desacoplados en los cuales todos los puntos del sistema experimentan movimientos exponencialmente amortiguados, en la misma frecuencia, pero a diferentes ángulos de fase.

Para un análisis detallado de este tipo de sistemas -- puede acudirse a la Ref. 2.

II.4 Absorbedores de Vibraciones.

II.4a. No Amortiguado.

Un sistema ó parte de él, en el cual se encuentra actuando una fuerza perturbadora alternada, de frecuencia constante podrá adoptar vibraciones desfavorables, especialmente cuando las frecuencias del sistema y la fuerza están próximas.

Para mejorar esta situación, primero trataríamos de eliminar la fuerza, lo cual, por lo general, no es práctico y muchas veces es imposible. Como segunda opción, trataríamos de cambiar la masa ó la rigidez del sistema, para eliminar la condición de resonancia. Una tercera opción, es la aplicación de un absorbedor de vibraciones, inventado por Frahm en 1909.

El sistema bajo consideración puede estar representado por la combinación K, M, con la fuerza P_o senωt actuando sobre él (Fig. II.4.1).

El absorbedor de vibraciones consiste en un sistema pequeño con propiedades k, m, unidos a la masa M. La frecuencia natural del absorbedor es elegida de tal manera que sea igual a la frecuencia ω de la fuerza perturbadora.

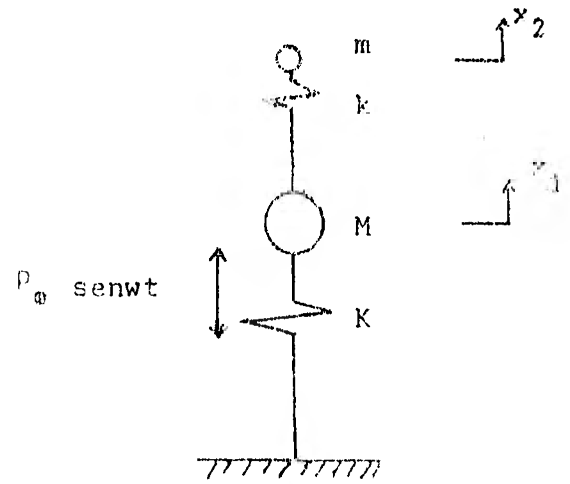


FIG. II.4.1.

La colocación de un pequeño sistema k-m a un sistema mayor principal K-M, evita las vibraciones del sistema principal, a pesar de la fuerza excitadora P_o senwt.

Se mostrará entonces que la masa principal M no vibra en lo absoluto, y que el pequeño sistema k, m, vibra de tal manera que la fuerza que actúa en su resorte k, es en cualquier instante igual a P_0senωt y de sentido contrario.

Para probarlo se parte de las ecuaciones de movimiento:

$$M\ddot{x}_1 + (K + k)x_1 - kx_2 = P_0 \operatorname{sen}\omega t$$
$$m\ddot{x}_2 + k(x_2 - x_1) = 0 \qquad \text{II.4.1.}$$

donde: x_1 = desplazamiento de M debido a P_0senωt

x_2 = desplazamiento de m debido a P_0senωt

Los desplazamientos del sistema serán de la forma:

$$x_1 = a_1 \operatorname{sen}\omega t$$
$$x_2 = a_2 \operatorname{sen}\omega t \qquad \text{II.4.2.}$$

Es evidente que, como las ecuaciones II.4.1. y II.4.2. no contienen la primera derivada $\dot{x}_1$ y $\dot{x}_2$, la función seno permanece como tal después de dos derivadas sucesivas, y suponiendo como correcta la ec. II.4.2. , todos los términos de II.4.1. serán proporcionales a senωt.

Sustituyendo y dividiendo entre senωt, se transforma la ecuación diferencial en una ecuación algebráica. El resultado es :

$$a_1 \left(-M\omega^2 + K + k \right) - ka_2 = P_o$$
$$-ka_1 + a_2 \left(-m\omega^2 + k \right) = 0 \qquad \text{II.4.3.}$$

Por simplificación, transformaremos las ecuaciones a una forma adimensional, introduciendo los siguientes parámetros :

x_{st} = P_o/K = deflexión estática de la masa del sistema principal.

ω_a^2 = k/m = frecuencia natural del absorbedor.

Ω_n^2 = K/M = frecuencia natural del sistema principal.

μ = m/M = cociente de masas.

La ecuación II.4.3. queda:

$$a_1 \left(1 + \frac{k}{K} - \frac{\omega^2}{\Omega_n^2} \right) - a_2 \frac{k}{K} = x_{st}$$
$$a_1 = a_2 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_a^2} \right) \qquad \text{II.4.4.}$$

resolviendo para a_1 y para a_2 :

$$\frac{a_1}{x_{st}} = \frac{1 - \frac{w^2}{w_a^2}}{\left(1 - \frac{w^2}{w_a^2}\right)\left(1 + \frac{k}{K} - \frac{w^2}{\Omega_n^2}\right) - \frac{k}{K}}$$

$$\frac{a_2}{x_{st}} = \frac{1}{\left(1 - \frac{w^2}{w_a^2}\right)\left(1 + \frac{k}{K} - \frac{w^2}{\Omega_n^2}\right) - \frac{k}{K}} \qquad \text{II.4.5.}$$

De la primera ecuación, la amplitud a_1 del sistema principal será nula cuando el numerador sea cero, y esto ocurre cuando la frecuencia de la solicitación es la misma que la frecuencia del absorbedor.

Examinando la segunda ecuación, para el caso de $w=w_a$, la ecuación se reduce a :

$$a_2 = - \frac{K}{k} x_{st} = - \frac{P_o}{k}$$

Con la masa principal estática, y la masa del absorbedor con un movimiento $-P_o/k \cdot$ senwt, la fuerza en el resorte del absorbedor es igual y de sentido contrario a la fuerza externa.

II.4a. Amortiguados

Si se considera un amortiguador colocado en paralelo al resorte k, entre las masas M y m, y se aplica la ley de Newton tenemos:

$$M\ddot{x}_1+Kx_1+k(x_1-x_2)+c(\dot{x}_1-\dot{x}_2)=P_0 \operatorname{sen} \omega t \qquad \text{II.4.6.}$$

$$m\ddot{x}_2+k(x_2-x_1)+c(\dot{x}_1-\dot{x}_2)=0 \qquad \text{II.4.7.}$$

los cuatro términos del lado izquierdo de la ecuación II.4.6 representan la fuerza de inercia de M, la fuerza del resorte principal, lafuerza del resorte del absorbedor, y la fuerza de amortiguamiento.

Estamos interesados en la solución de sistemas sujetos a vibraciones forzadas. Entonces, x_1 y x_2 son movimientos armónicos de frecuencia ω y pueden ser representados por vectores.

Suponiendo:

$x_1 = x_1 e^{i\omega t}$ y $x_2 = x_2 e^{i\omega t}$ y sustituyendo en II.4.6. y II.4.7. se obtiene:

$$-M\omega^2 x_1 + Kx_1 + k(x_1-x_2) + i\omega c(x_1-x_2) = P_0$$

$$-m\omega^2 x_2 + k(x_2-x_1) + i\omega c(x_2-x_1) = 0$$

donde x_1 y x_2 son incógnitas; i es equal a $\sqrt{-1}$. Factorizando :

$$(-M\omega^2+K+k+i\omega c)x_1 - (k+i\omega c)x_2 = P_e$$
$$-(k+i\omega c)x_1 + (-m\omega^2+k+i\omega c)x_2 = 0 \qquad \text{II.4.8.}$$

Estas ecuaciones pueden resolverse para x_1 y x_2 . Estamos principalmente interesados en el movimiento de la masa principal x_1. Expresando x_2 en función de x_1 :

$$x_1 = P_e \frac{(k-m\omega^2) + i\omega c}{((-M\omega^2+K)(-m\omega^2+k)-m\omega^2k)+i\omega c(-M\omega^2+K-m\omega^2)} \qquad \text{II.4.9.}$$

expresión que puede reducirse a la forma:

$$x_1 = P_e \left(A_1 + B_1 i \right) \qquad \text{II.4.10.}$$

donde A_1 y B_1 son números reales.

El significado de II.4.9. es que, en una representación vectorial del desplazamiento x_1, ésto consiste en dos componentes, una en fase con la fuerza P_e y la otra un cuarto de giro adelante de ella.

Sumando geométricamente ambos vectores, la magnitud de x_1 se puede expresar como

$$x_1 = P_e \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$$

Pero II.4.9. no es todavía de la forma II.4.10.; más bien es de la forma:

$$x_1 = P_0 \frac{A + iB}{C + iD}$$

ésta se puede transformar como sigue:

$$x_1 = P_0 \frac{(A+iB)(C-iD)}{(C+iD)(C-iD)} = P_0 \frac{AC+BD+i(BC-AD)}{C^2 + D^2}$$

así, la longitud del vector x_1 dividida entre P_0 es :

$$\frac{x_1}{P_0} = \sqrt{\left(\frac{AC + BD}{C^2 + D^2}\right)^2 + \left(\frac{BC-AD}{C^2+D^2}\right)^2} = \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}}$$

lo que, aplicándolo a II.4.9. nos permite escribir:

$$\frac{x_1^2}{P_0^2} = \frac{(k-m\omega^2)^2 + \omega^2c^2}{((-M\omega^2+K)(-m\omega^2+k)-m\omega^2k)^2 + \omega^2c^2(-M\omega^2+K-m\omega^2)^2} \qquad \text{II.4.11}$$

Aunque x_1 depende de siete variables ($P_0, \omega, c, K, k, M, m$) , éste número puede reducirse si escribimos la ecuación II.4.11 en forma adimensional, lo cual podemos lograr introduciendo los siguientes parámetros:

μ = m/M = cociente de masas.

ω_a^2 = k/m = frecuencia natural del absorbedor.

Ω_n^2 = K/M = frecuencia natural del sistema principal.

f = ω_a/Ω_n = cociente de frecuencias naturales.

g = ω/Ω_n = cociente de frecuencias de excitación.

x_{st} = P_0/K = deflexión estática del sistema.

C_c = $2m\Omega_n$ = amortiguamiento crítico.

La ecuación II.4.11. se transforma en :

$$\frac{x_1}{x_{st}} = \sqrt{\frac{2^2\left(\frac{C\,g}{Cc}\right)^2 + (g^2 - f^2)^2}{\left(\frac{2Cg}{Cc}\right)^2(g^2-1+\mu g^2)^2+(\mu f^2 g^2-(g^2-1)(g^2-f^2)}} \qquad \text{II.4.12.}$$

Este es el cociente de amplitudes de la masa principal con respecto a las cuatro variables g,f,C/Cc, μ , . En la figura II.4.2. se muestra x_1/x_{st} como función del cociente de frecuencias, g, para el sistema definido : f=1 , μ =1/20 y para varios valores de C/Cc. En otras palabras, la figura describe el comportamiento de un sistema en el cual la masa principal es veinte veces mayor a la del absorbedor, mien--- tras que la frecuencia del absorbedor es igual a la del sistema principal.

Es interesante hacer un análisis para diferentes amor-- tiguamientos. Para C/Cc =0, el pico es infinito; para C/Cc = ∞ , también es infinito. Cuando la relación de amortigua miento llega a infinito, las dos masas están virtualmente -- juntas, y tenemos un sistema de un grado de libertad con una masa igual a 21/20 de M. Otras dos curvas se han dibujado, para C/Cc =0.10 y 0.32.

En algún lugar debe existir un valor para C/Cc en el -- cual el pico sea el mínimo.

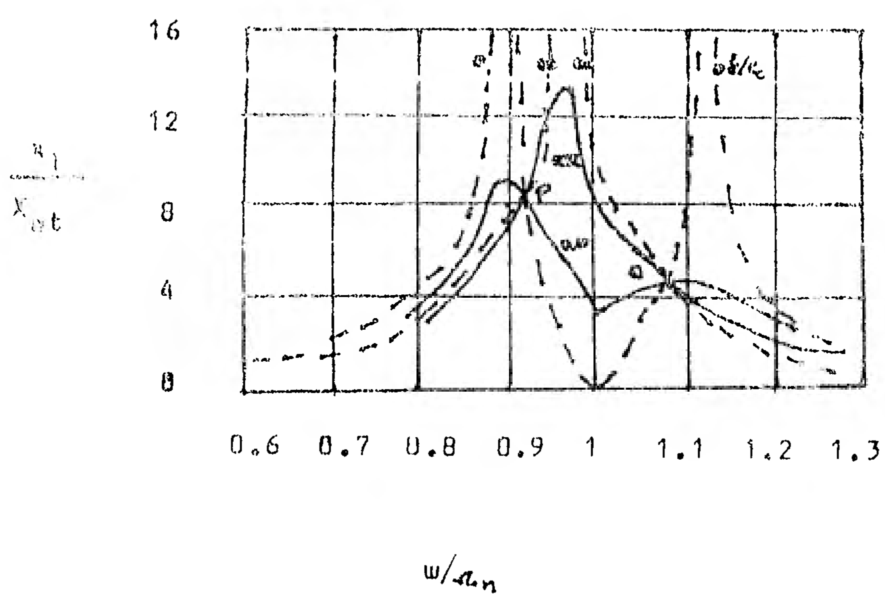


FIG. II.4.2.

Esta situación puede entenderse fisicamente, si se recuerda que, la amplitud de un sistema en resonancia de un grado de libertad está limitada únicamente por el amortiguamiento. La energía de amortiguamiento se disipa por ejemplo como calor y cuando la fuerza de amortiguamiento tiene una influencia considerable, la amplitud permanece pequeña.

Esta es una relación que también se cumple para sistemas más complicados. El trabajo realizado por la fuerza amortiguadora está dado por la fuerza multiplicada por el desplazamiento que opera. En nuestro caso, el desplazamiento es el movimiento relativo entre las dos masas.

Si $C/Co=0$, el amortiguamiento es nulo, y ningún trabajo se realiza, y por lo tanto, la amplitud en resonancia es infinito. Pero cuando $C/Co=\infty$, las dos masas están unidas una con la otra de tal manera que el desplazamiento relativo entre las dos masas es nulo, y tampoco se realiza ningún trabajo. En algún lugar entre cero e infinito, existe un amortiguamiento para el cual el producto de la fuerza amortiguadora y el desplazamiento es máximo, y entonces la amplitud es pequeña.

Antes de determinar este "amortiguamiento óptimo", observamos una peculiaridad especial en la figura II.4.2: las cuatro curvas se intersectan en los puntos P y Q .

Esto, como se verá más tarde, no es coincidencia; todas las curvas intersectan ambos puntos independientemente de su amortiguamiento.

Si podemos localizar ambos puntos, nuestro problema --- está casi resuelto, porque la curva más favorable será la -- que sea tangente a una horizontal en el mayor de los puntos P ó Q . La mejor amplitud a obtener, es la ordenada a ese - punto (con el amortiguamiento óptimo).

Variando el valor f, los dos puntos P y Q pueden moverse hacia arriba ó hacia abajo de la curva C/Cc=0. Cambiando el valor de f, un punto tenderá a subir y el otro a bajar. Claramente se observa que el caso más favorable es aquel que de acuerdo a un valor apropiado de f, los dos puntos se ajustan a la misma altura, y segundo, que un valor adecuado de C/Cc la curva es ajustable para pasar con una tangente horizontal por uno de ellos. Se verá más adelante en la figura II.4.3. que practicamente no existe diferencia entre cual de los puntos elegimos.

Regresando ahora a la ecuación II.4.[illegible] se [illegible] de ver si existe algún valor [illegible] g para el cual $x_1/[illegible]$ es independiente de C/Cc . La fórmula es de la forma:

$$\frac{x_1}{x_{st}} = \sqrt{\frac{A(C/Cc)^2 + B}{C(C/Cc)^2 + D}}$$

Lo cual será independiente del amortiguamiento si A/C= B/D., o escrito de otra manera más completa :

$$\left(\frac{1}{g^2 - 1 + \mu g^2}\right)^2 = \left(\frac{g^2 - f^2}{\mu f^2 g^2 - (g^2-1)(g^2-f^2)}\right)^2$$

Podemos eliminar ambas raices cuadradas, pero entonces tenemos que agregar un $\pm$ en cada ecuación. Después de multiplicar, y adoptando el signo menos, se tiene:

$$\mu f^2 g^2 - (g^2-1)(g^2-f^2) = -(g^2-f^2)(g^2-1+\mu g^2) \qquad \text{II.4.13.}$$

simplificando: $f^2 = -g^2 + f^2$ lo que lleva a $g^2=0$

Esto es un resultado trivial, pero cierto. Cuando g=0 ó w=0, la amplitud es x_{st} independientemente del amortiguamiento, simplemente porque el movimiento es tan lento, que no existe posibilidad de que se genere la fuerza amortiguadora.

La otra alternativa, es con el signo positivo, en el lado derecho de la ecuación II.4.13. Después de algunas - simplificaciones, la ecuación se transforma en:

$$g^4 - 2g^2 \frac{1+f^2+\mu f^2}{2+\mu} + \frac{2f^2}{2+\mu} = 0 \qquad \text{II.4.14.}$$

Esta ecuación cuadrática en g^2, da dos valores que son los puntos que andamos buscando. A las dos raices de la ecuación las denominamos g_1^2 y g_2^2 . Se puede observar que las coordenadas horizontales de los puntos P y Q son función de μ y f .

El siguiente objetivo es ajustar el valor de f para que la ordenada x/x_{st} de P y Q sean iguales.

Como en P y Q el valor de x/x_{st} es independiente del amortiguamiento, seleccionaremos un valor de C/Cc tal que se reduzca la ecuación II.4.12. a su forma más simplificada. Esto sucede cuando $C = \infty$, con lo que la ec. II.4.12. se convierte en :

$$\frac{x_1}{x_{st}} = \frac{1}{1 - g^2(1+\mu)} \qquad \text{II.4.15.}$$

sustituyendo g_1 y g_2 en esta ecuación, obtenemos:

$$\frac{1}{1 - g_1^2(1+\mu)} = \frac{1}{1 - g_2^2(1+\mu)} \qquad \text{II.4.16.}$$

Esto no es del todo correcto, puesto que la ecuación II.4.15. no es la representación real de la curva [illegible] de la figura II.[illegible], sino de una curva que tiene valores negativos para valores de g mayores de $1/\sqrt{1+\mu}$. Como P y Q se encuentran en lados diferentes de este valor de g, la ordenada P será positiva y Q será negativa, por lo que la ec. II.4.16. debe corregirse con un signo menos en cualquiera miembro. La ecuación corregida queda:

$$g_1^{\,2} + g_2^{\,2} = \frac{2}{1+\mu} \qquad \text{II.4.17.}$$

No es necesario siquiera resolver la ecuación II.4.17. para g_1 y g_2 , si recordamos que el coeficiente negativo del término central de una ecuación cuadrática es igual a la suma de las raices. En la ecuación II.4.14. tal forma es :

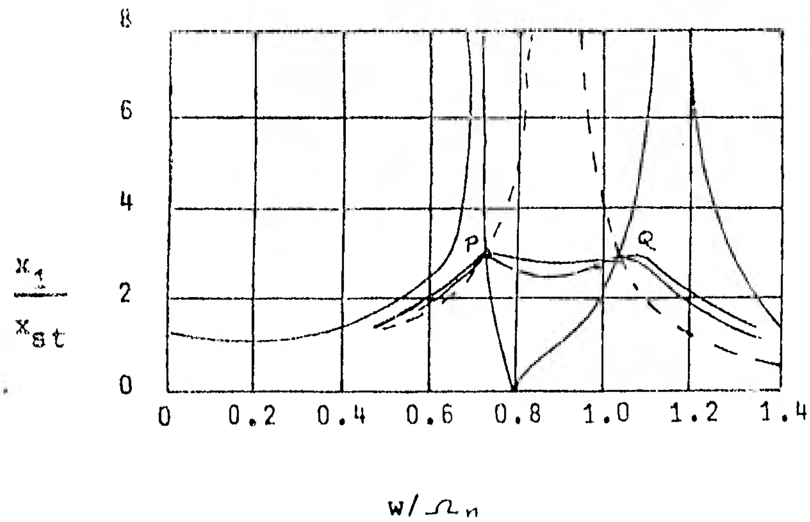
$$g_1^{\,2} + g_2^{\,2} = \frac{2(\ 1 + f^2 + \mu\ f^2)}{2+\mu}$$

que sustituyéndolo en la ecuación II.4.17. queda:

$$f = \frac{1}{1+\mu} \qquad \text{II.4.18.}$$

Esta es la fórmula simplificada que nos da el valor correcto de f en función del tamaño del absorbedor respecto al tamaño de la masa del sistema principal.

Ahora sabemos como encontrar el valor de f, pero no conocemos que amplitud x/x_{st} obtendremos al final. La figura II.4.3. representa casos de tal sintonización (f), con $\mu = 0{,}25$. Ahi se han dibujado dos curvas. Una pasa con tangente horizontal en Q y no en P . Se ve que prácticamente no se comete error si se toma cualquiera de las dos coordenadas como la máxima amplitud de la curva. Esta amplitud puede calcularse fácilmente.



$\mu = 0.25$

FIG. II.4.3

Esto se hace sustituyendo una raiz de la ec. II.4.14. en la expresión para x_1/x_{st} . Como en estos puntos (P,Q) - x_1/x_{st} es independiente del amortiguamiento, entonces la ec II.4.12. toma la forma de la ec. II.4.15. El resultado es:

$$\frac{x_1}{x_{st}} = \sqrt{1 + \frac{2}{\mu}} \qquad \text{II.4.19.}$$

Si la frecuencia natural del absorbedor difiere de la del sistema principal como se indica en 'II.4.18. la relación de amplitudes dada por la ecuación II.4.19. es la más favorable.

III PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

III.1 FRECUENCIAS NATURALES COMPLEJAS

III.2 COEFICIENTES DE AMORTIGUAMIENTO Y FRECUENCIAS NATURALES.

III.1 Frecuencias Naturales Complejas.

Los sistemas absorbedores son normalmente de menor tamaño que los edificios en los que han sido instalados. Como se puede ver en la Ref.6, un análisis modal convencional para sistemas con grandes diferencias en los valores de sus masas, rigideces y coeficientes de amortiguamiento, conducen a resultados irreales, por lo que dicho análisis debe llevarse en el plano complejo. Esto es, que las frecuencias naturales complejas, y la configuración modal compleja deben de ser tomadas en cuenta.

El análisis modal para sistemas de este tipo, se detalla en la Ref.5 . En éste análisis, se encontró que si un apéndice de varios grados de libertad se adapta a un edificio de varios grados de libertad, y si ambos sistemas tienen una frecuencia natural común ω_o , dos modos de la estructura resultante tienen frecuencias naturales complejas, dadas aproximadamente por :

$$\lambda_r = -\frac{1}{2}(\xi_b + \xi_a)\,\omega_o + i\omega_o \pm \frac{\omega_o}{2}\sqrt{(\xi_b + \xi_a)^2 - \delta_k^2\gamma} \qquad \text{III.1.1.}$$

donde λ_r representa la r-ésima frecuencia natural compleja, i es la unidad de los números imaginarios, w_o es la frecuencia natural común a los dos sistemas, considerados independientemente; ξ_b y ξ_a son los coeficientes de amortiguamiento, del edificio y del apéndice, respectivamente, considerados separadamente, δ_k es la amplitud de la masa que soporta el apéndice en la configuración modal con frecuencia w_o del edificio independiente, γ es el cociente de masas del apéndice y del edificio, definido como:

$$\gamma = \frac{m_j^*}{M_i^*} \qquad \text{III.1.2.}$$

donde m_j^* y M_i^* son las masas generalizadas del apéndice y edificio, respectivamente, considerados independientemente, con sus respectivas configuraciones modales con frecuencia w_o .

La masa generalizada de un sistema de varios grados de libertad se define como

$$M_i^* = \sum_{n=1}^{N} M_n \, \delta_n^2 (r)$$

donde $\delta_n(r)$ es la amplitud del r-ésimo modo del sistema a la altura de su n-ésima masa, y M_n representa el valor de dicha n-ésima masa.

III.2 Coeficientes de amortiguamiento y Frecuencias Naturales.

De acuerdo con la Ref.7, la r-ésima frecuencia natural compleja de un sistema es de la forma:

$$\lambda_r = -\xi_r \omega_r + i\omega'_r \qquad \text{III.2.1.}$$

donde ξ_r es el coeficiente de amortiguamiento del sistema en el r-ésimo modo, ω_r es la r-ésima frecuencia natural y

$$\omega'_r = \omega_r \sqrt{1 - \xi_r^2} \qquad \text{III.2.2.}$$

De acuerdo con las ecuaciones III.1.1. , III.2.1, --- III.2.2. dos de los coeficientes de amortiguamiento de un edificio con un apéndice, estarán dadas dependiendo de que se cumplan cualquiera de las dos desigualdades siguientes:

Caso 1 : $|\xi_b - \xi_a| \geq |\phi_k \sqrt{\gamma}|$

Caso 2 : $|\xi_b - \xi_a| \leq |\phi_k \sqrt{\gamma}|$

A partir de estas desigualdades se determinarán más adelante las propiedades dinámicas de los apéndices (Cap.V).

Si trabajamos con el Caso 2, el caso más favorable para diseñar el apéndice, sería en el cual se presentara la igualdad, ya que se presentaría el menor valor para γ y consiguientemente, el menor valor de m_j^*, lo que nos daría el diseño más económico.

IV PROCEDIMIENTO DE ANALISIS

IV.1 CALCULO DE FRECUENCIAS Y CONFIGURACIONES MODALES .

IV.2 ANALISIS DINAMICO

De lo expuesto anteriormente en el Cap. II.2., podemos inferir que la solución numérica de este tipo de ecuaciones es a base de una serie de iteraciones, dentro de las cuales tenemos que hacer intervenir todas las variables mencionadas en los capítulos II.2 (fs(t),fd(t),p(t)); II.3 ; III.2 (ξ_b, ξ_a) , hasta llegar a un resultado aceptable.

El llevar a cabo un análisis en el dominio del tiempo , manualmente, llevaría mucho tiempo, y se tendría que resolver cada caso que se presentara, en particular, lo cual generará un costo elevado de análisis; además, queda latente la posibilidad de incurrir en errores humanos durante el desarrollo de la solución numérica, lo cual nos conduciría a resultados poco confiables.

Por lo tanto, ante la necesidad de poder estudiar un amplio número de casos en un lapso de tiempo reducido, y con una confiabilidad en sus resultados, se buscó un programa para computadora que reuniera las características de cálculo y la capacidad necesaria para utilizarlo como herramienta para este fin.

El SAP IV es un programa de computadora de análisis estructural, de uso sencillo, ya que se encuentra codificado en Fortran IV.

La capacidad del programa depende principalmente de el número de nodos en el sistema, de la computadora que se utilice y el número de valores característicos necesarios para el análisis dinámico.

Practicamente no existe restricción alguna respecto al número de elementos que se utilicen, al número de sistemas de cargas, ó a el orden de la matríz de rigideces. Cada -- punto nodal del sistema puede tener desde cero, hasta seis grados de libertad. Los elementos de las matrices de rigideces y masas se trabajan en forma condensada, por lo que - el programa es igualmente eficiente para análisis de sistemas en una, dos ó tres dimensiones.

Primeramente, es necesario determinar las propiedades dinámicas de cada estructura primaria (configuración modal Frecuencia y Período natural de vibración). Posteriormente es necesario llevar a cabo el análisis dinámico Paso a Paso, de las estructuras sujetas a solicitaciones, para de-- terminar los desplazamientos máximos que sufren las estructuras primarias con y sin su apéndice. Para el caso de el análisis dinámico de la estructura primaria con su apéndice se debió tomar en cuenta la no proporcionalidad del amortiguamiento del sistema (Cap. II.3), lo cual se logró gra--- cias a la intervención del Dr. Roberto Villaverde Lazo, -- quién logró hacerle al programa los ajustes pertinentes.

IV.1 Cálculo de Frecuencias y Configuración Modal.

El análisis dinámico de una estructura, utilizando superposición de modos, requiere como primer paso, la solución del generalizado problema de los eigenvalores,

$$K \Phi = \omega^2 M \Phi \qquad \text{IV.1.1.}$$

donde ω, Φ, son las frecuencia de vibraciones libres, y la configuración modal, respectivamente. El programa supone que sólo el menor eigenvalor ρ y su correspondiente eigenvector, son necesarios. Por lo tanto, la solución de IV.1.1. queda:

$$K \Phi = M \Phi \Omega^2 \qquad \text{IV.1.2.}$$

donde Ω^2 es una matriz diagonal conteniendo los menores eigenvalores ρ (ej. Ω^2 =diag ω_i^2) y Φ contiene los correspondientes eigenvectores.

El programa tiene aquí, dos opciones, dependiendo del tamaño de la matriz de rigideces; si ésta se puede almacenar en un sólo bloque de memoria, se hace mediante la técnica de la búsqueda del determinante, y si no, por medio de iteraciones.

La primera opción, (utilizada en nuestro caso) es la mejor estudiada para sistemas donde la matriz de masas M y de rigideces K, tienen anchos de banda pequeños. Básicamente, el algoritmo de la solución combina una factorización triangular y una iteración inversa de vectores, de tal forma, que calcula los eigenvalores y eigenvectores necesarios los cuales son obtenidos en secuencia, comenzando por el último par dominante w_1^2, δ_1 . Se utiliza un procedimiento de iteraciones que opera con las características de polinomio

$$\varrho(w^2) = \det (K - w^2 M) \qquad \text{IV.1.3.}$$

para obtener un cambio cerca del siguiente eigenvalor desconocido. El teorema de separación de eigenvalores se utiliza en esta iteración. Cada evaluación del determinante, requiere una factorización triangular de la matriz $K-w^2M$.

Una vez que la aproximación cerca del eigenvalor desconocido es obtenida, se usa una iteración inversa para calcular el eigenvector; el eigenvalor se obtiene añadiendo el cociente de corrección de Rayleigh al valor aproximado.

IV. 2 Análisis Dinámico .

En el análisis dinámico, se requiere la solución de la ecuación

$$M \ddot{x} + C \dot{x} + K x = P(t) \qquad \text{IV.2.1.}$$

donde P(t) puede ser el vector de una carga que arbitrariamente cambie con el tiempo, ó cargas resultantes del movimiento del terreno. Específicamente, en el caso de movimientos del terreno, se asume que la estructura está sujeta a la aceleración del terreno $\ddot{x}_g$, donde la ecuación de equilibrio considerada es :

$$M \ddot{x}_r + C \dot{x}_r + K x_r = -M \ddot{x}_g \qquad \text{IV.2.2.}$$

donde x_r es el desplazamiento relativo de la estructura con respecto al terreno $(x_r = x - x_g)$.

La solución de la historia de respuesta puede ser llevada a cabo por superposición de modos, espectro de respuesta o integración paso a paso. En nuestros ejemplos, preferimos emplear éste último procedimiento.

La solución de las ecuaciones de movimiento IV.2.1 y IV.2.2. , pueden ser obtenidas por medio de integración directa. En el programa, se utiliza el método de la θ de Wilson . Debe notarse que el amortiguamiento proporcional de Rayleigh ($C = \alpha M + \beta K$) se toma como correcto, por lo que hubo de hacerle una serie de modificaciones al programa, de acuerdo a lo expuesto en II.3

El algoritmo usado puede resumirse como sigue:

1.- Cálculos Iniciales :

1º Calcular las siguientes constantes:

$\theta = 1.4$ $\tau = \theta \Delta t$

$a_0 = (6 + 3\alpha\tau)/(\tau^2 + 3\beta\tau)$

$b_0 = \alpha - \beta a_0$

$a_1 = 6/\tau^2 + 3b_0/\tau$

$a_2 = 6/\tau + 2b_0$

$a_3 = 2 + \tau b_0/2$

$a_4 = 6/(\theta(3\beta\tau + \tau^2))$

$a_5 = 3b_1/\tau - 6/(\tau^2\theta))$

$a_6 = 2b_1 - 6/(\tau\theta)$

$a_7 = b_1 \tau/2 + 1 - 3/\theta$

$b_1 = \beta a_4$

$a_8 = \Delta t/2$

$a_9 = \Delta t^2/3$

$a_{10} = \frac{1}{2} a_9$

2º Formar la Matriz de Rigideces.

$$K^* = K + a_6 M$$

3º Triangularizar K^*

2.- Para cada incremento de tiempo:

1º Forma efectiva del vector de carga P_t^*

$$P_t^* = P_t + \theta(P_{t+\Delta t} - P_t) + M\,(a_1 x_t + a_2 \dot{x}_t + a_3 \ddot{x}_t)$$

2º Solución del vector de desplazamientos efectivos x_t^*

$$K^* x_t^* = P_t^*$$

3º Calcular nuevos vectores de aceleración, velocidad y desplazamiento:

$$\ddot{x}_{t+\Delta t} = a_4 x_t^* + a_5 x_t + a_6 \dot{x}_t + a_7 \ddot{x}_t$$

$$\dot{x}_{t+\Delta t} = \dot{x}_t + a_8(\ddot{x}_{t+\Delta t} + \ddot{x}_t)$$

$$x_{t+\Delta t} = x_t + t\dot{x}_t + a_9 \ddot{x}_t + a_{10} \ddot{x}_{t+\Delta t}$$

V C A S O S P O R A N A L I Z A R

V.1 CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS

V.2 DISEÑO DE ABSORBEDORES DE VIBRACIONES

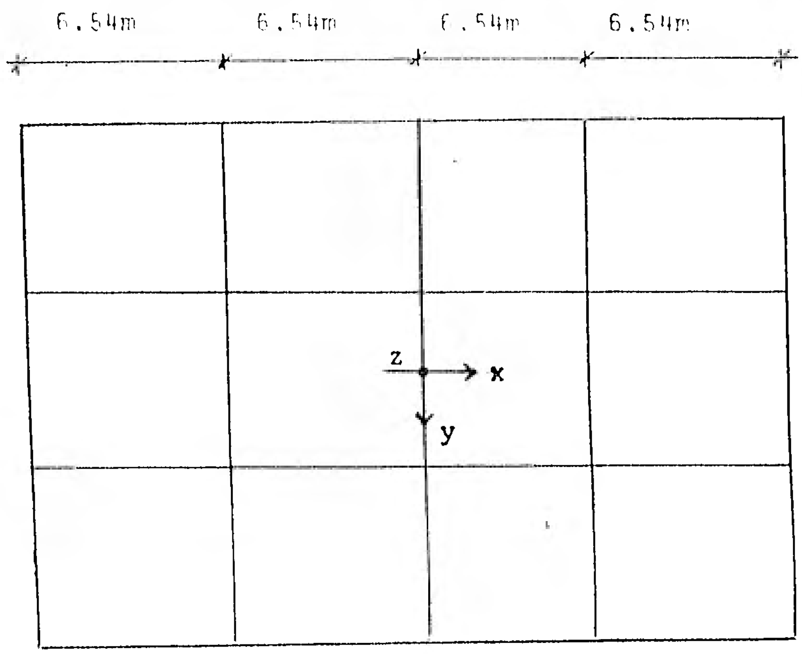
V.1 Características de las Estructuras.

Los edificios se idealizaron como estructuras esqueletales, cuya geometría elemental es la barra de eje recto limitado por dos puntos nodales, contando cada nodo con dos grados de libertad : desplazamiento en la dirección "y" en la que actúa el sismo, y giro respecto a su eje "x", donde la sección permanece constante.

La geometría de las estructuras analizadas, se cita a continuación:

Ejemplo #1 : Edificio de 5 niveles (fig. V.1.1.), cuyas medidas se detallan en la misma figura. Se supone de concreto reforzado. Las trabes son de sección rectangular de 0.30mX0.50m. , mientras que las columnas son de sección cuadrada de 0.60mX0.60m y 0.70mX0.70m.

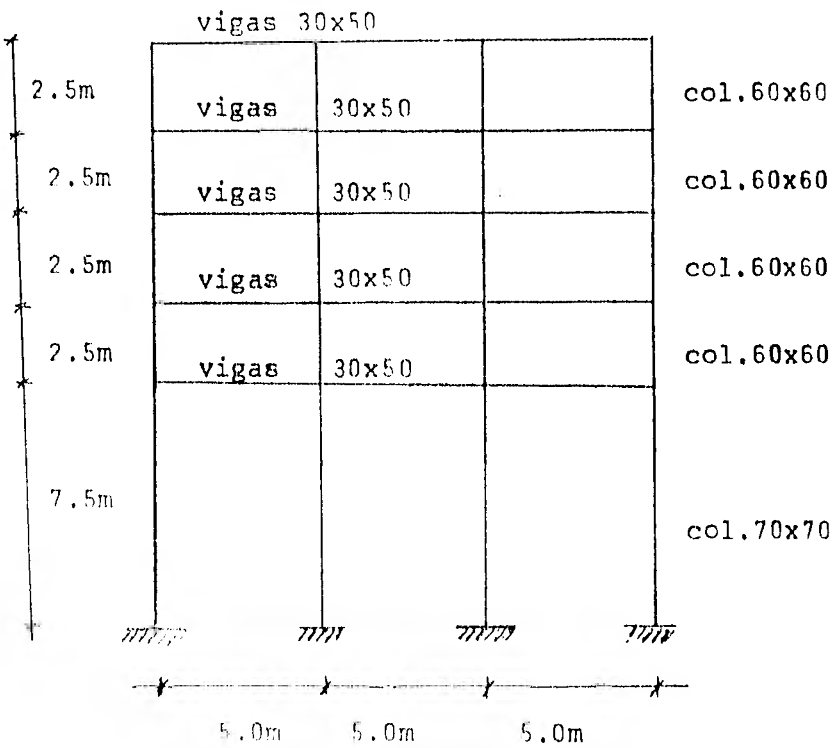
De acuerdo con la idealización del edificio como estructura esqueletal, esta formada por ciento veinte puntos nodales y doscientas cincuenta y cinco barras. Puesto que cada punto nodal tiene dos grados de libertad (con excepción de la cimentación), la estructura constará de doscientos grados de libertad y por lo tanto requerirá de un número igual de ecuaciones para resolvarla.



Descargas

por piso =1ton/m^2

PLANTA



ELEVACION

FIG. V.1.1.

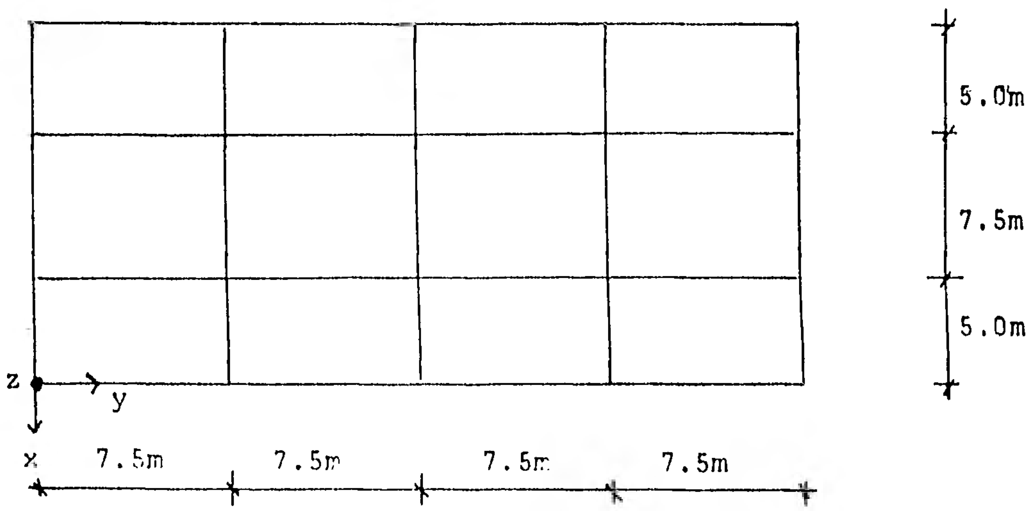
Por lo que respecta al material, se consideró que el comportamiento del concreto reforzado es elástico, lineal e isótropo, asociándole un módulo de Young de 141421.4 -- kg/cm^2 y una f'c=200 kg/cm^2.

Ejemplo #2: Edificio de un solo nivel (fig.V.1.2.), cuyas medidas se detallan en la misma figura. Las trabes son de sección WF 18W35, las columnas de igual sección -(WF) para 12W85 .

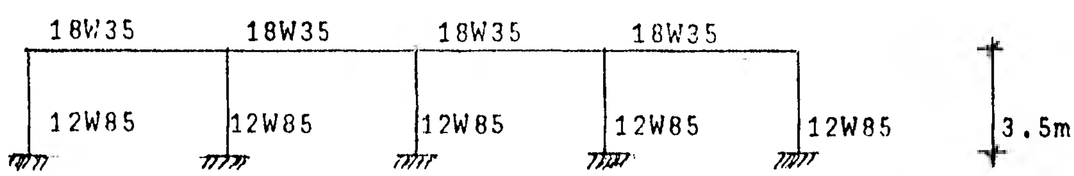
Esta estructura consta de cuarenta puntos nodales y cincuenta y un barras, teniendo cuarenta grados de libertad, requiriendo por lo tanto, de cuarenta ecuaciones para resolverla.

Por lo que respecta al material, se consideró acero A-36 con comportamiento elástico, lineal e isótropo, asociándole un módulo de Young de 2000,000 kg/cm^2.

Ejemplo #3: Edificio de diez niveles (fig.V.1.3.). Las trabes de sección WF varían desde 18W50 hasta 27W94; las columnas varían desde 14W61 hasta 14W158, como se indica en la figura.



PLANTA



ELEVACION

Descarga = 500 Kg/m^2

FIG. V.1.2.

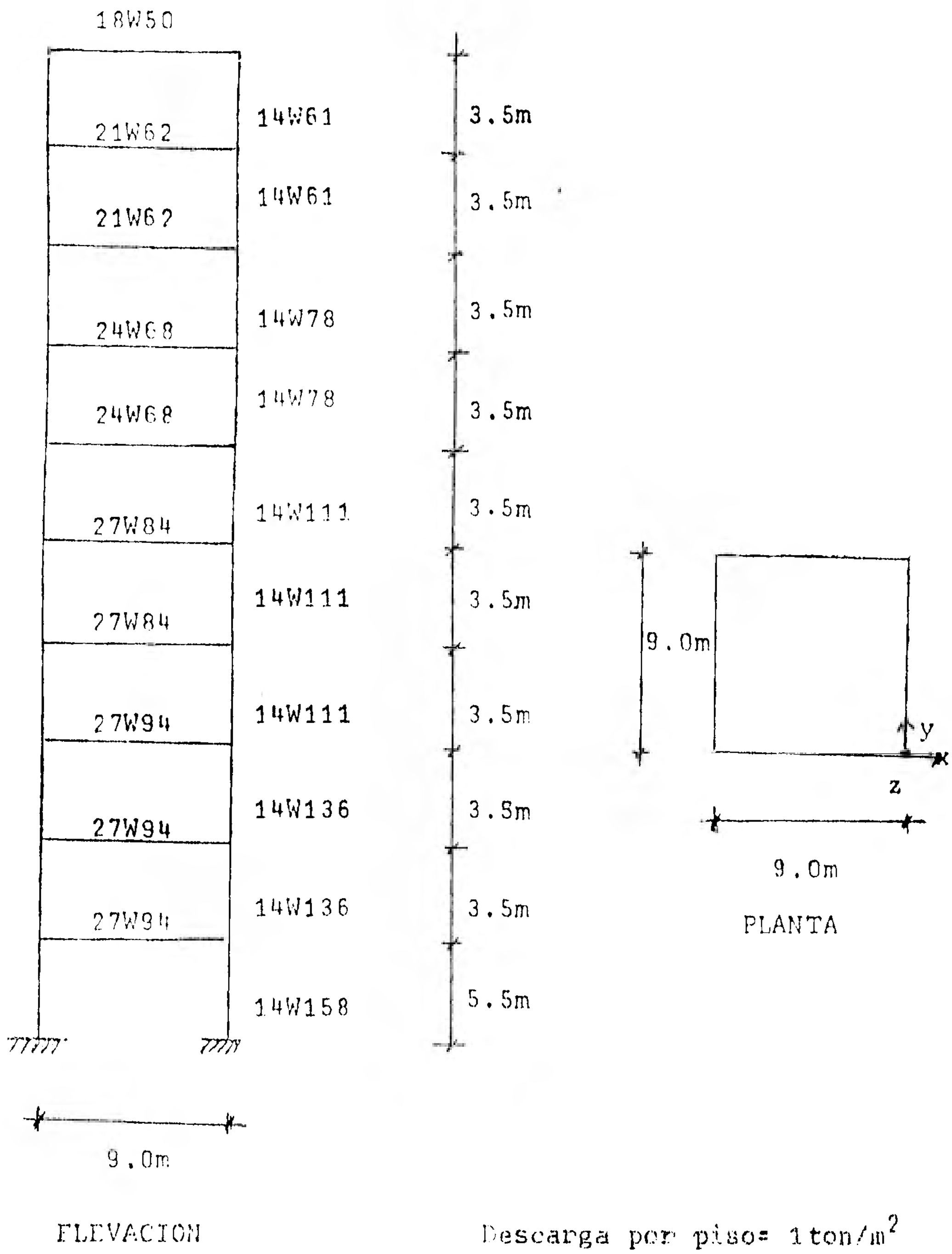

18W50
21W62
21W62
24W68
24W68
27W84
27W84
27W94
27W94
27W94
14W61
14W61
14W78
14W78
14W111
14W111
14W111
14W136
14W136
14W158
3.5m
3.5m
3.5m
3.5m
3.5m
3.5m
3.5m
3.5m
3.5m
5.5m
9.0m
FLEVACION
9.0m
y
z
9.0m
PLANTA
Descarga por piso= 1ton/m²

FIG. V.1.3.

Esta estructura cuenta con cuarenta y cuatro puntos nodales y ochenta barras, por lo que requiere de ochenta ecuaciones para resolverla.

El material es acero A-36, de las mismas características que en el Ejemplo #2.

Las solicitaciones utilizadas corresponden a los primeros tramos de tres temblores diferentes. Cada tramo de acelerograma es de 500 puntos a cada 0.02 de segundo, por lo que cada tramo dura 11 segundos. Los sismos utilizados son:

El Centro , Mayo 18 , 1940.

Pacoima , Febrero 9 , 1971

Taft. , Julio 21 , 1952.

V.2 Diseño de Absorbedores de Vibraciones.

Los absorbedores de vibraciones se idealizaron como vigas en cantilever, por facilidad de análisis y por el uso -- del programa de computadora, con una masa concentrada en el extremo libre de la viga (superior).

El diseño fué con base en tres condiciones:

1º $$\left| \xi_b - \xi_a \right| \doteq \left| \bar{\phi}_k \sqrt{\gamma} \right|$$

2º Frecuencia del apéndice igual a frecuencia de edificio : $\omega_a = \omega_b$

3º Amortiguamiento de los apéndices, grande en comparación con el del edificio (40% y 80% , comparado con 2%).

La rigidez del absorbedor se tomó como la de una viga en cantelever, con un grado de libertad:

$$k = \frac{12\,EI}{L^3}$$

donde:

E= módulo de Elasticidad.

I= momento de inercia.

L= longitud.

Procedimiento de Cálculo de las propiedades de los absorbedores:

1º Se obtienen las características dinámicas de las estructuras (ω_b , δ , ξ_b) a partir de un análisis modal.

2º La masa generalizada del apéndice es, por ser de un grado de libertad, igual en valor, a la masa del mismo apéndice.

3º Se obtiene la masa generalizada de la estructura --- primaria (M* , Cap. III.1).

4º De acuerdo a la primera condición de diseño (hoja - anterior), se obtienen las masas de los apéndices con un 40% y 80% de amortiguamiento, según el caso.

5º Con la segunda condición de diseño ($\omega_a=\omega_b$) y conociendo los valores de las masas de los apéndices, obtenemos su rigidez : $k = m_a \omega_a^2$.

6º Se determina la longitud (L) de el absorbedor, arbitrariamente, y posteriormente, con un módulo de elasticidad $E=2\times10^7$ ton/m^2 , se obtiene el momento de inercia de cada elemento, y su correspondiente sección transversal.

$$k_a = \frac{12\ EI}{L^3}$$

Ejemplo #1 :

1a. Condición : Modo fundamental $w_b = 5.092 \frac{rad}{seg}$

$$\Phi = \begin{Bmatrix} 1.787 \\ 1.698 \\ 1.549 \\ 1.322 \\ 1.000 \end{Bmatrix}$$

$$(\xi_b - \xi_a)^2 = \Phi_k^2 \frac{m^*}{M^*}$$

$\xi_b = 0.02$

$\xi_a = 0.40$ y 0.80

$\Phi_k = 1.787$

$$m^* = \frac{(\xi_b - \xi_a)^2}{\Phi_k^2} M^*$$

$$M^* = \sum_{i=1}^{5} Mn\, \Phi_n^2(r)$$

$$= ((1.787)^2+(1.698)^2+(1.549)^2+(1.322)^2+(1.000)^2)40\frac{t.s^2}{m}$$

$$= 448.946$$

$$m^* = (1.000)^2\, m_a$$

$$m_{a\,40\%} = \frac{(0.02-0.40)^2}{(1.787)^2} 448.946 = 20.300 \frac{ton'seg^2}{m}$$

$$m_{a\,80\%} = \frac{(0.02-0.80)^2}{(1.787)^2} 448.946 = 85.533 \frac{ton'seg^2}{m}$$

2a. Condición : Resonancia

$w_a = w_b$

$w_b = 5.092$ rad/seg

$w_a^2 = k_a/m_a$

$k_a = m_a\, w_a^{\,2}$

$k_{a\,40\%} = 20.300\,(5.092)^2 = 526.347$ ton/m

$ka_{80\%} = 85.533\,(5.092)^2 = 2217.739$ ton/m

con : $E = 2 \times 10^7$ ton/m^2

$L_{40\%} = 2.00$m

$L_{80\%} = 1.50$m

$$k_a = \frac{12\,EI}{L^3}$$

$I_{40\%} = 1.75449 \times 10^{-5}$ m^4 sección S7x20

$I_{80\%} = 3.11868 \times 10^{-5}$ m^4 sección WF 18W21

Ejemplo #2:

1a. Condición: $(\xi_b - \xi_a)^2 = \Phi_k^2 \dfrac{m^*}{M^*}$

Modo fundamental : $w_b = 23.16$ rad/seg.

$$\Phi = \{1.000\}$$

$$m^* = \frac{(\xi_b - \xi_a)^2}{\Phi_k^2} M^*$$

$\xi_b = 0.02$

$\xi_a = 0.40$ y 0.80

$\Phi_k = 1.000$

$$M^* = \sum_{i=1}^{n} Mn\, \Phi_n^2\, (r) = 26.748 \ \frac{\text{ton}\cdot\text{seg}^2}{\text{m}} (1.000)^2$$

$$m^* = (1.000)^2\, m_a$$

$$\underset{40\%}{m_a} = \frac{(0.02-0.40)^2}{(1.000)^2} 26.748 = 3.862 \ \frac{\text{ton}\cdot\text{seg}^2}{\text{m}}$$

$$\underset{80\%}{m_a} = \frac{(0.02-0.80)^2}{(1.000)^2} 26.748 = 16.273 \ \frac{\text{ton}\cdot\text{seg}^2}{\text{m}}$$

2a. Condición: Resonancia

$w_a = w_b$ $\qquad$ $w_b = 23.16$ rad/seg

$w_a^2 = k_a / m_a$

$k_a = m_a w_a^2$

$k_{a_{40\%}} = 3.862 (23.16)^2 = 2071.5212$ ton/m

$ka_{80\%} = 16.273(23.16)^2 = 8728.602$ ton/m

con $E = 2 \times 10^7$ ton/m^2

$L = 1.5$ mts.

$$k_a = \frac{12\ EI}{L^3}$$

$I_{40\%} = 1.22745 \times 10^{-4}\ m^4$ $\qquad$ sección : WF 14W30

$I_{80\%} = 2.91307 \times 10^{-5}\ m^4$ $\qquad$ sección : WF 10W15

Ejemplo #3:

1a. Condición: $(\xi_b - \xi_a)^2 = \Phi_k^2 \dfrac{m^*}{M^*}$

$\xi_b = 0.02$

$\xi_a = 0.40$

y 0.80

$\Phi_k = 5.526$

Modo fundamental:

$w_b = 2.68$ rad/seg

$$\Phi = \begin{Bmatrix} 5.526 \\ 5.276 \\ 4.864 \\ 4.372 \\ 3.804 \\ 3.295 \\ 2.783 \\ 2.235 \\ 1.673 \\ 1.000 \end{Bmatrix}$$

$$M^* = \sum_{i=1}^{n} M_n \, \Phi_n^2(r)$$

$$= ((5.526)^2+(5.276)^2+(4.864)^2+(4.372)^2+(3.804)^2+(3.295)^2$$

$$+(2.783)^2+(2.235)^2+(1.673)^2+(1.000)^2)\ 8.256\ \frac{\text{ton}\cdot\text{seg}^2}{\text{m}}$$

$$= 1180.9475$$

$$m^* = (1.000)^2\ m_a$$

$$m_{a\,40\%} = \frac{(0.02-0.40)^2}{(5.526)^2}\ 1180.9475 = 5.583\ \frac{\text{ton}\cdot\text{seg}^2}{\text{m}}$$

$$m_{a\,80\%} = \frac{(0.02-0.80)^2}{(5.526)^2}\ 1180.9475 = 23.523\ \frac{\text{ton}\cdot\text{seg}^2}{\text{m}}$$

2a. Condición: Resonancia

$w_a = w_b$ $\qquad$ $w_b = 2.68$ rad/seg

$w_a^2 = k_a / m_a$

$k_a = m_a w_a^2$

$k_{a_{40\%}} = 5.583\ (2.68)^2 \qquad = 40.099$ ton/m

$ka_{80\%} = 23.523\ (2.68)^2 \qquad = \quad 168.952$ ton/m

con $E = 2 \times 10^7$ ton/m^2

$L_{40\%} = 3.5$ m

$L_{80\%} = 2.0$ m

$$k_a = \frac{12\ EI}{L^3}$$

$I_{40\%} = 7.16354 \times 10^{-6}\ m^4$ $\qquad$ sección WF 12W26

$I_{80\%} = 5.63168 \times 10^{-6}\ m^4$ $\qquad$ sección S12x40.8

V I R E S U L T A D O S

VI.1 EJEMPLO #1

TABLA VI.1 A TABLA VI.3

VI.2 EJEMPLO #2

TABLA VI.4 A TABLA VI.6

VI.3 EJEMPLO #3

TABLA VI.7 A TABLA VI.9

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis dinámico de los tres tipos de edificios citados anteriormente, sujetos a la acción de los sismos de El Centro, Pacoima y Taft.

En las tablas se presentan los desplazamientos máximos de las losas de entrepiso de cada edificio, como consecuencia de la excitación en la base de los mismos.

En la primera columna, se indica la losa de entrepiso en cuestión. En la segunda, se presentan los desplazamientos máximos de cada losa de entrepiso de la estructura primaria con un 2% de amortiguamiento (ξ_1=2%).

En la siguiente columna, se indican los desplazamientos máximos de cada losa de entrepiso de la estructura original con su apéndice el cual tiene un 40% de amortiguamiento . En la parte baja de dicha columna, se compara el desplazamiento total que sufre el apéndice.

En la última columna se dan los resultados obtenidos - del sistema compuesto por la estructura original y su apéndice, el cual tiene un 80% de amortiguamiento.

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\xi_b=2\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=40\%$	$=2\%$, $=80\%$
1	32.0	7.9	8.9
2	42.0	10.5	12.0
3	49.0	12.5	14.3
4	54.0	13.9	16.2
5	57.0	14.9	17.4
Apéndice	-	29.2	25.9

TABLA VI.2 Ejemplo #1 Sismo Pacoima

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\xi_b=2\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=40\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=80\%$
1	9.4	2.5	2.8
2	12.5	3.4	3.8
3	14.6	3.9	4.6
4	16.1	4.3	5.2
5	16.9	4.6	5.6
Apéndice	-	8.5	8.6

TABLA VI.1 Ejemplo #1 Sismo El Centro

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\xi_b=2\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=40\%$	$=2\%$ $=80\%$
1	4.3	1.2	1.28
2	5.7	1.7	1.7
3	6.7	2.0	2.1
4	7.4	2.2	2.4
5	7.7	2.4	2.6
Apéndice	–	4.5	3.8

TABLA VI.3 Ejemplo #1 Sismo Taft

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms).		
	$\varepsilon_b = 2$ %	$\varepsilon_b=2$% , $\varepsilon_a=40$%	$\varepsilon_b=2$% , $\varepsilon_a=80$%
1	1.5	1.2	1.1
Apéndice	-	5.5	4.7

TABLA VI.4 Ejemplo #2 Sismo El Centro

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\xi_b=2\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=40\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=80\%$
1	6.0	4.0	2.2
Apéndice	-	6.1	6.2

TABLA VI.5 Ejemplo #2 Sismo Pacoima

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\xi_b=2\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=40\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=80\%$
1	0.88	0.69	0.52
Apéndice	--	1.7	1.4

TABLA VI.6 Ejemplo #2 Sismo Taft

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms.)		
	$\xi_b=2\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=40\%$	$\xi_b=2\%$, $\xi_a=80\%$
1	8.4	7.3	4.6
2	14.0	12.0	7.7
3	18.0	16.0	10.0
4	22.0	19.0	12.0
5	26.0	22.0	14.0
6	29.0	25.0	16.0
7	32.0	27.0	17.0
8	35.0	30.0	18.0
9	38.0	32.0	20.0
10	41.0	34.0	21.0
Apéndice	-	22.5	18.0

TABLA VI.7 Ejemplo #3 Sismo El Centro

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\varepsilon_b=2\%$	$\varepsilon_b=2\%$, $\varepsilon_a=40\%$	$\varepsilon_b=2\%$, $\varepsilon_a=80\%$
1	13.0	11.0	10.0
2	21.0	18.0	16.0
3	27.0	24.0	22.0
4	32.0	28.0	26.0
5	37.0	33.0	31.0
6	42.0	38.0	36.0
7	50.0	45.0	42.0
8	57.0	52.0	47.0
9	65.0	58.0	53.0
10	70.0	62.0	58.0
Apéndice	-	73.9	63.7

TABLA VI.8 Ejemplo #3 Sismo Pacoima

Losa de Entrepiso No.	Desplazamientos Máximos (cms)		
	$\varepsilon_b=2\%$	$\varepsilon_b=2\%$, $\varepsilon_a=40\%$	$\varepsilon_b=2\%$, $\varepsilon_a=80\%$
1	2.0	1.8	1.2
2	3.3	3.0	2.0
3	4.3	3.9	2.7
4	5.1	4.6	3.3
5	5.7	5.1	3.8
6	6.3	5.6	4.1
7	7.4	6.3	4.9
8	8.3	7.1	5.6
9	9.3	7.8	6.2
10	10.0	8.5	6.8
Apéndice	..	8.8	8.0

TABLA VI.9 Ejemplo #3 Sismo Taft

VII CONCLUSIONES

Y

RECOMENDACIONES

Analizando las tablas de resultados, se puede observar que un absorbedor de vibraciones puede llegar a reducir en forma significativa la respuesta de edificios ante solicitaciones dinámicas.

La respuesta del ejemplo #1 ante el sismo de El Centro con el aabsorbedor de 40% de amortiguamiento fué del orden del 26%; ante el sismo de Pacoima 25%; ante el sismo Taft ; 31%, de la respuesta máxima del edificio con 2% de amortiguamiento.

En el edificio de un solo nivel (ejemplo#2), la respuesta del sistema edificio-absorbedor con 2% y 40% de amortiguamiento, respectivamente, fué del orden del 80% ante el sismo de El Centro; 66% ante el sismo de Pacoima;78% ante el sismo Taft, de la respuesta máxima del edificio con2% de amortiguamiento. La respuesta del sistema edificio-absorbedor con 2% y 80% de amortiguamiento, respectivament, fué del orden del 73% ante el sismo de El Centro; 36% ante el sismo de Pacoima; 59% ante el sismo Taft, de la respuesta máxima del edificio con 2% de amortiguamiento.

Por lo que respecta al edificio de 10 niveles (ejemplo # 3), las respuestas del sistema edificio-absorbedor con 2% y 40% de amortiguamiento, respectivamente, fueron del orden del 84% ante el sismo de El Centro; 88% ante el sismo Pacoima y 86% ante el sismo Taft de la respuesta máxima del edificio con 2% de amortiguamiento.

La respuesta del sistema edificio-apéndice con 2% y -- 80% de amortiguamiento, respectivamente, fueron del orden - del 53% ante el sismo de El Centro; 82% ante el sismo Pacoima; 65 % ante el sismo Taft, de la respuesta máxima del edificio con 2% de amortiguamiento.

· Cabe mencionar que una ventaja de este tipo de absorbedores de vibraciones estribe en su utilidad para diferentes sismos .

El inconveniente que podría llegar a presentarse sería el coste del absorbedor, comparado con la reducción del coste de la estructura primaria, tomando en cuenta el efecto - benéfico del absorbedor. Esto se vería reflejado principalmente por la masa del absorbedor. Así tenemos que, en el - ejemplo #1, la masa del absorbedor con 40% de amortiguamiento es el 10% de la masa de la estructura primaria, mientras que la masa del absorbedor con 80% de amortiguamiento representa el 80% de la masa de la estructura primaria. En el - edificio de un nivel, la masa del absorbedor con 40% de amortiguamiento es el 11% de la masa de la estructura primaria, y la del absorbedor con 80% de amortiguamiento es el - 60% de la masa de la estructura primaria. Por último, en - el edificio de 10 niveles, la masa del absorbedor con 40% de amortiguamiento representa el 6% de la masa de la estructura primaria, y la del absorbedor con 80% de amortiguamiento representa el 28%.

Es muy importante el reconocer que todas estas ideas estan basadas en que los sistemas absorbedores son capaces de soportar las deformaciones a que estarán sometidos durante un sismo (en el ejemplo #2, ante el sismo El Centro el apéndice tuvo desplazamientos de 458% y 427% del desplazamiento máximo del edificio, con apéndices con 40% y 80% de amortiguamiento, respectivamente) y por lo tanto deberá ser factible su diseño.

Además, este es un estudio teórico del comportamiento de dichos sistemas, por lo que es recomendable y necesario llevarlo a la práctica, a casos reales, y comparar los resultados, para poder llegar a concluir si efectivamente son recomendables ó no .

VIII REFERENCIAS

1.- R. W. Clough and J. Penzien , "Dynamics of Structures" Mc. Graw-Hill Book Company , 1975.

2.- R. W. Clough and J. Penzien , "Analisis of Dynamic Response " . Mc. Graw-Hill Book Company .

3.- Den Hartog , J.P. "Mechanical Vibrations" Mc. Graw-Hill . New York 1956.

4.- N.M. Newmark y E. Rosenblueth . "Fundamentos de Ingeniería Sísmica " . Edit. Diana, México 1976.

5.- Villaverde R. , Newmark N.M. "Seismic Response of Light Attachments to Buildings ". Structural Research Series No. 469 . University of Illinois , Urbana III February 1980.

6.- Villaverde R. "Earthquake Response of Systems with Nonproportional Damping by the conventional Response Spectrum Method". Proc. Seventh World Conference on Earthquake Engineering . Istambul, Turkey , 1980

7.- Villaverde R. "Damping Ratios of Systems without Classical Modes " . Sometido a revisión para publicación en la revista de Engineering Mechanics . División ASCE

8.- Villaverde R. "A Note on the Damped Vibration Absorber in Buildings ".

9.- Klaus-Jürgen Bathe, E. L. Wilson, F. E. Peterson. " SAP IV A Structural Analysis Program for Static and Dynamic Response of Linear Systems ". A Report to the National Science Foundation. College of --- Engineering, University of California. Berkeley, California, June 1973. Revised April 1974.

R E C O N O C I M I E N T O S .

Se agradece al Dr. Roberto Villaverde L. sus comentarios e ideas, así como el haber encauzado el proceso de investigación de este trabajo. A la Dra. Sonia Ruiz C. por sus -- comentarios y sugerencias.

Muy especial agradecimiento al Dr. Luis Esteva Maraboto, por haber dedicado parte de su valioso tiempo en dirigir y supervisar el desarrollo de este trabajo.

Este trabajo se realizó en el Instituto de Ingeniería, U. N.A.M.

A P E N D I C E S

APENDICE A : Modificaciones al instructivo del usuario del programa SAP IV.

APENDICE B : Acelerograma sismo El Centro

Acelerograma sismo Pacoima

Acelerograma sismo Taft

APENDICE C : Datos Ejemplo #1 , 2% amortiguamiento.

Datos Ejemplo #1 , 2% amortiguamiento, apéndice con 40% amortiguamiento.

Datos Ejemplo #1 , 2% amortiguamiento, apéndice con 80% amortiguamiento.

Apéndice A .

IV. ELEMENT DATA

TYPE 2 - THREE-DIMENSIONAL BEAM ELEMENTS

B. Material Property Cards (I5,3F10.0) (antes)

*(I5,5F10.0) (ahora)

Columns	1-5	Matrial identification number
	6-15	Young's modulus
	16-25	Poisson's ratio
	26-35	Mass density
	36-45	Weight density
*	46-55	Mass-Damping constant "Alfa"
*	56-65	Stiffness-Damping constant "Beta".

* Modificaciones al instructivo, sólo si NDYN=4 y si KDFD =1 (ver siguiente modificación)

VII. ANALISIS DINAMICO (NDYN=4)

A. Control Card (5I5,3F10.0) (antes)

* (5I5,1F10.0,I5) (ahora)

Columns 1-5 Número de funciones respecto al tiempo

6-10 Indicador de aceleración del terreno

11-15 Número de tiempos de arrivo diferentes

16-20 Número de pasos de solución.

21-25 Intervalos de impresión de desplazamientos, esfuerzos.

26-35 Intervalo de tiempo

* 36-45 Constante de amortiguamiento "Alfa"

* 46-55 Constante de amortiguamiento "Beta"

** 56-60 KOFD : Kind of Damping

Proportional, KOFD=0

Non-proportional, KOFD=1

* Estas variables no intervienen si KOFD=1

** Modificación para indicar la existencia de apéndice.

C. Time Function Cards (I5,F10.0,12AI) (antes)

(2I5,F10.0,12AI) (ahora)

Columns * 1-5 NLA

6-10 NLP

11-20 Scale Factor

21-75

... de la Función

100	1.39113	10.83649	18.13006	8.03990	9.52645	16.67088	14.20611	12.0344
200	11.03797	8.52060	8.50077	13.11105	17.58530	19.31081	10.28479	14.01197
300	10.83587	6.19573	4.17012	6.55272	13.05049	19.64933	19.55110	1.55519
400	-3.03552	-14.08977	4.09000	12.02154	14.38907	20.25185	26.00436	32.51700
500	30.57070	17.24713	19.73804	10.28077	10.42839	0.05489	-2.48231	-15.01350
600	-23.02265	-25.63015	-33.62050	-40.38230	-49.16031	-41.66062	-35.93750	-27.10420
700	-23.48125	-33.94300	-41.20247	-52.97790	-63.92554	-73.17084	-65.17205	-59.91000
800	-39.96271	-39.97500	-6.31104	51.06702	70.72130	66.31325	48.44724	25.03079
900	5.91931	-13.43186	-30.81009	-49.49923	-79.96916	-99.42223	-121.05477	-152.81157
1000	-144.92535	-115.47485	-93.52962	-89.16927	-92.63496	-83.92709	-60.13573	-69.80451
1100	-120.05200	-32.76163	147.48489	206.63417	196.94075	203.40402	181.03524	172.50061
1200	175.23962	175.06187	160.47731	162.99003	134.65439	106.74593	78.15662	42.94914
1300	1.05978	-35.95285	-78.52480	-116.37714	-159.03007	-185.90655	-241.19053	-272.91740
1400	-303.50655	-319.96961	-341.09531	-272.13110	-232.41985	119.70587	237.25381	114.02310
1500	-186.54390	109.47763	75.26697	17.33133	-11.32400	-53.27748	-89.51700	-110.56085
1600	-175.06370	-57.01459	213.05737	154.74580	172.07524	101.17412	57.60645	-23.09066
1700	67.02713	196.02551	164.14008	168.52225	148.14666	123.14067	100.11258	75.11719
1800	52.26500	27.87390	4.38929	-16.78097	9.45492	43.45009	83.74560	95.09192
1900	71.02100	59.93700	33.39946	10.64851	-16.51489	-41.91477	-67.65328	9.07374
2000	37.22330	3.48976	-1.08170	-34.42790	-60.47572	-88.32030	-112.95505	-130.27793
2100	-21.09339	-24.07045	-68.26524	-68.90840	-131.76311	-135.20663	-203.97884	83.00347
2200	130.75550	64.15406	54.04355	-7.17821	-67.47364	100.07239	140.04613	107.06016
2300	116.62174	76.22290	55.92715	21.47827	12.55096	67.37665	34.01350	33.00826
2400	19.93450	-1.73114	-29.93202	-48.70971	-60.76095	-29.23537	3.00825	24.43756
2500	-7.60810	-21.87523	-56.79044	-86.55057	-170.59240	-147.63185	-173.67137	-82.18575
2600	-2.90213	-25.91032	-29.26054	5.47741	14.65624	-14.27990	-20.61990	-89.91043
2700	-64.48039	-95.73395	-112.78097	-144.67080	-162.98313	-164.46016	-175.00877	-198.37463
2800	-170.67180	-125.03687	120.66052	54.15030	38.36319	31.10742	111.79983	100.07277
2900	240.38093	202.52044	173.46561	131.71213	80.01037	31.53284	-15.40384	-31.01456
3000	-131.93000	-181.60104	5.75514	10.60773	-26.88172	-44.71120	-68.30710	-142.41416
3100	-175.86541	-245.55475	-108.51785	138.02200	99.00929	100.92960	90.67013	40.85799
3200	124.99083	211.11713	161.71808	169.10760	130.59576	111.14609	77.32202	51.02524
3300	54.37652	114.99991	120.93977	115.03040	114.49174	71.71318	54.55601	-6.30134
3400	80.38159	163.40997	65.90826	90.13058	39.60720	14.05162	-31.93373	-14.80063
3500	-87.51557	-87.19620	-19.76060	2.60931	-79.21087	-44.47690	-78.51316	-163.31650
3600	-135.21075	-160.06271	-186.12017	-120.05300	-63.98467	-21.35202	-31.36017	-37.36020
3700	-49.55653	-23.50975	6.40184	10.04780	11.20975	20.07910	24.76633	15.72550
3800	6.85154	-14.73151	-37.44438	-57.46045	-25.53965	4.01773	42.79471	13.27723
3900	-9.36055	-23.03427	12.90921	5.04825	-7.97694	-20.98245	-38.01433	-51.01187
4000	-15.72643	3.24454	11.10929	-8.40967	-7.57701	-3.50152	9.45971	3.01735
4100	1.57755	-3.84905	-8.52284	5.62072	30.36013	48.10626	24.40601	23.57391
4200	17.00064	12.07986	1.81669	-20.20550	10.82024	9.10122	3.34313	10.63732
4300	11.11170	9.00980	0.17755	-7.25625	-23.49007	-35.51109	-70.45042	-77.92561
4400	-18.42076	26.33437	12.43381	4.22046	-15.88300	-4.00934	21.08008	40.05207
4500	42.04349	21.58166	4.34251	-15.67531	-31.99120	-41.06017	-12.30045	10.02960
4600	20.36240	6.63043	20.55061	13.08529	5.46232	-6.27089	-13.39915	-20.58700
4700	-23.16930	-7.90313	0.82097	-19.98526	-43.45408	-49.24005	-19.14000	-4.19043
4800	2.22050	8.10572	-5.81660	-9.27204	-25.45441	-30.06719	-52.22234	-54.10110
4900	-45.49063	-39.76704	-55.94070	-75.60026	-36.53039	-41.60488	-9.77830	20.43000
5000	24.69026	40.51750	41.33069	47.07077	43.31474	45.71665	5.07143	-17.75084
5100	20.60275	49.19591	52.99001	30.16527	60.54209	35.75833	31.64534	20.51134
5200	20.54360	26.93179	34.52057	35.69311	21.05607	7.01600	-0.71008	-58.07429
5300	-31.02722	-35.77084	-34.11508	-35.63909	-20.05040	-36.47931	-11.14144	-21.03401
5400	-13.56621	-36.36007	86.10774	134.05509	134.17700	135.35797	119.65511	104.60699
5500	82.94056	65.11913	44.37042	25.77275	5.97130	9.10589	18.19502	14.70053
5600	-6.45012	-10.29200	-4.97128	-20.43200	-58.22705	-80.71211	-119.94091	-119.45530
5700	-111.13509	110.03500	36.03449	44.53314	23.57921	90.02071	15.56085	59.03334
5800	67.04710	55.19434	2.09016	-37.03207	-107.22455	-160.90327	-94.72765	-80.67733

5900	-66.72614	-13.24976	9.52146	52.64593	82.72440	115.18361	115.60188	36.31786
6000	36.87604	-2.90421	-54.49341	-117.60367	-160.99467	27.01819	-3.36463	5.58355
6100	-1.99511	-14.60177	-53.66257	-79.77605	20.54147	59.01616	16.91240	17.49469
6200	2.01445	-7.36996	-38.24026	-50.76308	-75.31921	-80.08080	-59.21251	-30.44211
6300	-2.26026	-6.38451	40.55036	45.08661				
6400	0.0							
6500	0.0							
6600	0.0							
6700	0.0							
6800	0.0							
6900	0.0							
7000	0.0							
7100	0.0							
7200	0.0							
7300	0.0							
7400	0.0							
7500	0.0							
7600	0.0							
7700	0.0							
7800	0.0							
7900	0.0							
8000	0.0							
8100	0.0							
8200	0.0							
8300	0.0							
8400	0.0							
8500	0.0							
8600	0.0							
8700	0.0							
8800	0.0							
8900	0.0							
9000	0.0							
9100	0.0							
9200	0.0							
9300	0.0							
9400	0.0							
9500	0.0							
9600	0.0							
9700	0.0							
9800	0.0							
9900	0.0							
10000	0.0							

100	7.75399	25.98662	12.23435	-25.94[illegible]	7.16152	26.10435	-36.58362	25.03331
200	34.13904	-37.14390	29.52635	34.12326	-36.19376	54.68264	16.33963	-36.98836
300	-31.17660	14.36660	7.10576	-14.60104	3.60529	-4.60678	-52.67412	-2.61364
400	71.56436	-16.34051	-102.92525	-71.94913	-11.92621	25.30926	59.41184	43.28625
500	-1.59796	-43.22595	-32.45924	-2.33373	-2.36073	10.60097	5.96160	-22.45700
600	-49.86743	4.92309	21.35708	22.36255	-23.33391	-10.35636	-93.07333	-79.72321
700	42.49947	94.[illegible]	26.23599	-15.13310	-21.17939	-57.60164	-24.97337	-5.27911
800	-59.11565	-61.55169	-35.33989	27.31560	61.90596	23.26070	-9.35311	-44.09633
900	-49.00445	-3.31542	15.61512	-20.44473	-24.82770	-24.97660	-10.38677	-41.34665
1000	-60.51190	-11.10037	-4.53265	-16.45616	-6.09610	-26.40816	-38.59328	-5.33525
1100	32.45415	43.02301	1.14116	-96.92[illegible]	-129.80607	-84.67331	-58.55783	-1.28586
1200	-4.97367	15.34971	68.42706	95.6[illegible]	72.12157	6.37328	-43.31137	-54.42083
1300	90.46701	185.11656	109.64516	72.653[illegible]	-6.77430	-85.41096	-56.43517	30.52135
1400	-72.96396	-159.79504	-117.79341	-175.74[illegible]	-163.84470	-123.34109	-55.63414	-24.35[illegible]
1500	-63.71152	-43.67750	19.67918	-6.45763	-147.61230	-215.51698	-164.57[illegible]	-74.46676
1600	34.60026	187.18756	262.67715	233.3[illegible]	169.94174	241.76278	316.64965	317.77[illegible]
1700	273.58351	627.96442	176.13043	140.99263	142.44997	141.03365	143.49333	205.423[illegible]
1800	455.99425	501.53662	637.78854	460.14575	340.73668	116.60026	-88.73876	-125.54[illegible]
1900	150.09785	407.06390	341.48901	457.50[illegible]	309.66611	256.36170	156.91182	-7.06[illegible]
2000	-259.60655	-139.57116	-217.15724	-275.69071	-390.40797	-349.15747	-366.17682	-304.83[illegible]
2100	-227.68446	-250.45567	-277.92334	-366.61436	-535.40259	-506.71196	-516.06325	-606.01[illegible]
2200	-447.69434	-259.98721	-241.42618	-171.60837	-221.92366	-186.68087	-84.10816	-9.01[illegible]
2300	-111.93495	-181.73756	60.11621	121.60845	56.86605	10.46547	-167.70721	-182.[illegible]
2400	-149.57994	-129.09157	45.03324	186.06345	222.65507	240.60867	254.13609	224.4413[illegible]
2500	213.99628	205.55641	175.76457	159.16590	186.67104	243.40570	253.62233	217.40[illegible]
2600	165.49966	118.15222	78.59535	64.70756	51.81602	65.70608	73.40386	56.71609
2700	-64.37778	-104.16541	-205.92601	-166.6[illegible]	-236.85269	-224.69645	-52.63638	216.77773
2800	432.67427	462.99738	219.06586	[illegible]	-104.07559	-151.53418	-196.575[illegible]	-246.9[illegible]
2900	-263.96936	-164.57455	-245.64497	-285.45166	[illegible]	-112.46799	189.00561	449.5[illegible]
3000	421.73901	183.66677	19.14523	39.64[illegible]	12.99193	26.30336	-61.9[illegible]	-199.9[illegible]
3100	-196.55667	-170.92715	-166.63700	-133.27075	-155.51659	-199.66420	-250.63429	-214.22770
3200	-146.99825	-34.94766	-22.68765	-7[illegible]	64.22655	221.34346	139.07473	26.46[illegible]
3300	-166.11665	-306.63354	-265.22876	-145.43959	-19.91469	66.64210	73.66573	-185.3[illegible]
3400	-191.60000	-74.07601	-82.81783	-65.[illegible]	-29.13321	-66.41756	-214.66310	-101.35[illegible]
3500	-36.64941	-30.75766	-19.96074	39.58675	31.54781	126.91907	263.9[illegible]	154.16[illegible]
3600	69.30725	95.41175	149.49368	234.40155	304.89722	316.62144	[illegible]	217.[illegible]
3700	97.60393	24.79077	5.37921	19.33[illegible]	61.40620	86.96532	84.49658	40.43336
3800	-25.65920	-240.71822	-74.50447	65.93[illegible]	-74.59624	-57.69528	-261.[illegible]	-400.28569
3900	-435.91190	-269.97412	-179.35983	-230.93136	-100.01405	187.52949	536.[illegible]	676.45005
4000	412.32617	195.29572	-31.94902	-114.27901	9.97002	-215.67812	-400.[illegible]	-359.31[illegible]
4100	-314.76341	-146.66667	-6.10676	[illegible]	56.18406	39.39438	-76.17774	-110.91341
4200	39.16646	344.29541	233.85432	-23.15956	-172.60655	-196.99429	-246.61601	-216.[illegible]
4300	-104.65677	-83.76256	-240.22455	-250.8[illegible]	-17.41557	36.78427	160.66705	183.15689
4400	41.96797	5.13406	-154.48626	-315.14831	2.57334	221.36633	65.44893	128.69611
4500	185.98390	288.15916	312.27710	143.40[illegible]	47.38969	-55.66585	-156.32266	-116.13779
4600	-261.27490	-366.33746	-305.64966	-121.10606	142.57387	521.26123	652.68319	662.68136
4700	375.61685	211.13242	66.30431	-31.42429	-16.65793	17.66949	76.08266	-5[illegible]
4800	-303.24951	-316.64036	-256.16621	-372.45557	-434.34375	-204.61373	-313.78189	-365.2[illegible]
4900	-232.10336	18.58960	678.23167	[illegible]	703.28101	431.47401	390.39014	65.67551
5000	6.46511	226.09687	71.84961	-26.35526	-77.14404	-155.65606	-443.68652	-557.14675
5100	-406.83223	-242.03551	-44.03689	186.69466	146.51137	167.61325	315.07471	416.46599
5200	676.90450	707.45696	388.70960	134.78336	166.71919	93.36407	-30.61577	-149.09054
5300	-86.37146	-1.65147	184.42459	506.31121	315.76639	-261.66977	-504.39610	-34[illegible]
5400	-509.97363	-652.47974	-602.93359	105.20717	368.14941	147.47926	51.61308	-34.38676
5500	-75.72676	-86.43329	5.30446	46.72647	-4.67664	224.46039	373.66617	242.64561
5600	-52.65431	-252.64011	-93.05324	-12.94479	13.72587	123.63386	65.77696	-12.93756
5700	22.66600	284.30444	175.30428	-99.11[illegible]	-87.58589	-110.17658	-187.13331	-225.13656
5800	-208.58514	-34.41866	280.67505	456.11763	420.34253	177.61773	-187.90771	-335.12441

5900	-386.53198	-353.20923	-309.45898	-286.77148	-216.89165	-31.91859	117.67519	188.59700
6000	160.74245	2.68514	-101.43950	-90.46467	-113.67136	-120.73047	-16.44751	96.34763
6100	169.46654	173.65990	156.47853	103.35022	3.13120	-76.14644	-125.56762	-154.10422
6200	-171.98620	-176.84700	-106.81071	62.36973	221.71420	303.34351	180.24626	50.75012
6300	-24.96588	-143.75510	-198.96419	-150.46035				
6400	0.0							
6500	0.0							
6600	0.0							
6700	0.0							
6800	0.0							
6900	0.0							
7000	0.0							
7100	0.0							
7200	0.0							
7300	0.0							
7400	0.0							
7500	0.0							
7600	0.0							
7700	0.0							
7800	0.0							
7900	0.0							
8000	0.0							
8100	0.0							
8200	0.0							
8300	0.0							
8400	0.0							
8500	0.0							
8600	0.0							
8700	0.0							
8800	0.0							
8900	0.0							
9000	0.0							
9100	0.0							
9200	0.0							
9300	0.0							
9400	0.0							
9500	0.0							
9600	0.0							
9700	0.0							
9800	0.0							
9900	0.0							
10000	0.0							
10100	0.0							
10200	0.0							

1.00	12.34101	-0.11235	0.41471	-3.01514	-4.13757	-2.05727	-1.05271	-3.01437
2.00	-1.03477	0.14096	2.21600	-5.42564	-3.27645	1.65383	-9.15369	-1.46924
3.00	-3.47320	-2.78448	-1.43120	5.74799	11.16880	15.40610	11.66829	0.25406
4.00	2.07440	-5.05790	-5.79030	-4.00003	-4.11732	-4.07513	-6.71604	-14.47038
5.00	-19.22464	-20.43433	-14.59983	-4.37755	7.62662	13.15326	7.40945	1.58722
6.00	-3.97022	-4.05060	-1.78275	1.04073	0.45426	9.10485	4.07700	-0.06367
7.00	-5.23129	-2.02207	4.00920	3.76013	2.09421	4.01394	4.00614	-6.53073
8.00	2.09777	0.35409	9.04054	7.01597	2.45438	-5.49096	-7.05892	-2.59036
9.00	1.70901	3.45176	2.36050	-9.04161	-17.52373	-13.70401	-3.95739	0.07040
10.00	17.26241	16.03754	14.53743	6.33136	-6.07342	-5.77723	6.64456	20.98740
11.00	22.58675	10.31975	-3.53156	-15.21050	-10.80519	-19.51274	-17.91046	-6.95011
12.00	8.51955	0.79420	14.73171	14.35550	11.38784	3.02600	-4.06085	-13.31479
13.00	-15.61007	-7.40726	1.13310	12.62113	14.21621	4.04410	-7.04118	-15.07051
14.00	-6.33111	7.34530	22.08014	30.32160	41.09747	20.10619	14.30604	-1.44706
15.00	-15.15209	-10.37970	-10.01825	-8.10980	-9.00739	-7.10334	-0.14679	-5.66385
16.00	-19.12180	-29.92458	-31.27969	-10.01713	1.36614	-10.02995	0.05609	4.10443
17.00	7.55254	9.05940	7.11233	9.06280	-0.20449	-10.00731	-12.01604	-9.25063
18.00	-8.21707	13.37002	12.96157	11.12815	18.38076	20.90401	27.04510	22.09084
19.00	24.21082	29.91035	36.79689	33.18867	24.00789	14.47936	10.17757	7.75051
20.00	6.24590	17.42450	27.29520	37.33704	41.89111	40.14149	39.94445	30.78407
21.00	32.77070	30.70070	30.21333	27.50591	21.44719	24.23999	32.78314	44.50090
22.00	54.33047	36.73354	5.14856	-27.62400	-66.52156	-62.22742	-42.41641	-19.97260
23.00	3.63401	25.59560	20.04973	1.51013	-19.59248	-41.58484	-63.41107	-65.06555
24.00	-107.52036	-123.01021	-113.19235	-94.05906	-74.08978	-57.52032	-56.43376	-40.10501
25.00	-21.72549	-15.18532	-10.92165	0.03467	9.43932	-13.30019	-35.01552	-26.07552
26.00	-2.17910	25.11261	43.57057	25.06010	-1.81709	-26.08230	-3.94000	35.23796
27.00	76.44772	116.07809	114.74594	74.44070	29.65929	-7.01214	-1.30201	0.41941
28.00	12.04045	0.09560	-10.82436	-34.40957	-31.02260	-24.02137	-30.23100	-50.92236
29.00	-72.28247	-56.55453	-39.73132	-17.54479	2.44142	25.03087	35.94102	24.48055
30.00	6.02400	2.39011	13.03443	23.30554	24.09046	32.51416	47.74122	57.02364
31.00	44.32097	24.95311	4.41260	-16.55274	-30.94306	-57.94754	-56.44521	-39.43386
32.00	-19.06275	3.16606	19.30562	25.78543	25.08121	22.79505	3.03462	-6.23540
33.00	-2.11440	5.02266	4.20552	-4.06610	-2.38144	0.06074	6.01702	7.80585
34.00	13.02293	13.10409	8.09248	0.78660	5.06152	-19.48930	-47.82500	-70.18056
35.00	-73.12865	-50.04178	-37.72220	-14.58305	1.19755	15.34453	-2.00309	-9.10865
36.00	10.16890	47.37665	77.48344	50.50022	3.38755	-24.98233	0.26918	42.28714
37.00	69.71530	80.73753	57.73450	24.43248	-12.92172	-23.02152	-0.49500	11.87690
38.00	35.07200	65.31737	31.14665	8.45459	-5.34346	15.47608	30.05914	27.51510
39.00	-1.43042	-29.45308	-61.98715	-76.01178	-77.13213	-74.48695	-73.65040	-75.92000
40.00	-63.77913	-43.34571	-20.08796	1.00362	25.39044	30.17012	-0.04710	-19.09186
41.00	-19.30065	-14.74199	-14.89343	-31.32565	-69.51842	-74.03930	-69.13040	-82.02046
42.00	10.97559	61.07103	105.18941	137.05521	127.56113	107.17047	84.06685	81.40116
43.00	92.12024	95.04101	67.79544	36.83557	2.17348	-31.06073	-65.06615	-90.14625
44.00	-103.50562	-84.06094	-65.01134	-43.80717	-61.12303	-74.20387	-90.08014	-77.02156
45.00	-55.34709	-29.96951	-5.41120	29.32696	44.52371	71.07273	85.77135	89.33510
46.00	85.20117	65.77073	31.37215	-3.17975	-40.08708	-55.40959	-47.04659	-37.60112
47.00	-25.01700	-14.96010	-3.29041	1.74005	4.95407	10.31026	38.41415	44.40445
48.00	25.24023	11.08700	20.53185	25.44848	13.75052	-6.71339	-10.39015	-22.00063
49.00	-20.57449	-21.38997	-21.51337	-9.59950	5.72312	7.72081	-12.04450	-15.47920
50.00	-0.94099	24.05096	47.92874	74.70947	60.23395	11.67915	-43.31000	-77.25134
51.00	-74.26524	-69.10997	-59.36757	-50.07016	-27.00973	-2.16570	20.01109	[illegible]
52.00	81.41110	72.26873	9.72681	-16.10144	-4.92046	16.07420	24.87300	3.90940
53.00	-19.01443	-45.01227	-72.09540	-85.02381	-67.71173	-45.73098	-19.34102	4.06750
54.00	30.56590	41.03071	41.42634	58.04891	78.19403	51.17041	11.67214	-26.56650
55.00	-28.06045	-10.00561	9.71193	32.49533	39.31404	16.72580	-25.76059	-51.40580
56.00	-31.13000	-2.07170	31.70375	55.27962	21.73575	45.43926	76.71424	78.77959
57.00	32.97043	7.03750	-5.78922	-33.05225	-71.09027	-100.11717	-147.96333	-152.60130
58.00	-112.42323	-67.82690	-20.05594	28.09400	55.80334	37.47264	14.42477	-14.63116

5900	-20.91470	-9.30360	-2.29789	-16.45459	-30.21156	-55.03033	-50.26057	-38.43020
6000	-38.38076	-26.73595	4.45698	49.14351	75.69243	75.09354	62.65370	50.33110
6100	65.68219	83.99071	106.34506	112.26085	107.77145	80.21167	32.56401	-10.20390
6200	-60.61900	-122.77720	-143.93582	-99.36682	-40.42039	14.70368	41.76008	20.04111
6300	-11.69657	-44.75004	-81.22087	-92.60413				
6400	0.0							
6500	0.0							
6600	0.0							
6700	0.0							
6800	0.0							
6900	0.0							
7000	0.0							
7100	0.0							
7200	0.0							
7300	0.0							
7400	0.0							
7500	0.0							
7600	0.0							
7700	0.0							
7800	0.0							
7900	0.0							
8000	0.0							
8100	0.0							
8200	0.0							
8300	0.0							
8400	0.0							
8500	0.0							
8600	0.0							
8700	0.0							
8800	0.0							
8900	0.0							
9000	0.0							
9100	0.0							
9200	0.0							
9300	0.0							
9400	0.0							
9500	0.0							
9600	0.0							
9700	0.0							
9800	0.0							
9900	0.0							
10000	0.0							

100 *** EXAMPLE 1 : FIVE STORY BUILDING / THREE DIMENSIONAL ANALYSIS ***

200	122	1	1	1	4					
300	1	1	1	1	1	1	1	-7.5	-13.08	0
400	5	1	1	1	1	1	1	-7.5	13.08	0.0
500	6	1	1	1	1	1	1	-2.5	-13.08	0.0
600	10	1	1	1	1	1	1	-2.5	13.08	
700	11	1	1	1	1	1	1	2.5	-13.08	0.0
800	15	1	1	1	1	1	1	2.5	13.08	
900	16	1	1	1	1	1	1	7.5	-13.08	
1000	20	1	1	1	1	1	1	7.5	13.08	0.0
1100	21	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.08	7.5
1200	25	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.08	7.5
1300	26	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.08	7.5
1400	30	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.08	7.5
1500	31	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.08	7.5
1600	35	1	0	1	0	1	1	2.5	13.08	7.5
1700	36	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.08	7.5
1800	40	1	0	1	0	1	1	7.5	13.08	7.5
1900	41	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.08	10.0
2000	45	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.08	10.0
2100	46	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.08	10.0
2200	50	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.08	10.0
2300	51	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.08	10.0
2400	55	1	0	1	0	1	1	2.5	13.08	10.0
2500	56	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.08	10.0
2600	60	1	0	1	0	1	1	7.5	13.08	10.0
2700	61	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.08	12.5
2800	65	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.08	12.5
2900	66	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.08	12.5
3000	70	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.08	12.5
3100	71	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.08	12.5
3200	75	1	0	1	0	1	1	2.5	13.08	12.5
3300	76	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.08	12.5
3400	80	1	0	1	0	1	1	7.5	13.08	12.5
3500	81	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.08	15.0
3600	85	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.08	15.0
3700	86	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.08	15.0
3800	90	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.08	15.0
3900	91	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.08	15.0
4000	95	1	0	1	0	1	1	2.5	13.08	15.0
4100	96	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.08	15.0
4200	100	1	0	1	0	1	1	7.5	13.08	15.0
4300	101	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.08	17.5
4400	105	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.08	17.5
4500	106	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.08	17.5
4600	110	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.08	17.5
4700	111	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.08	17.5
4800	115	1	0	1	0	1	1	2.5	13.08	17.5
4900	116	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.08	17.5
5000	120	1	0	1	0	1	1	7.5	13.08	17.5
5100	121	1	1	1	1	1	1	5.0	15.00	17.5
5200	122	1	1	1	1	1	1	0.0	0.0	17.5
5300	2	256								
5400	1	1414210.		1.0		0.0				
5500	1	45E-02		4003E-04		4003E-04		333E-04	200E-04	200E-04
5600	1	36E-02		30E-02		30E-02		10E-03	100E-04	117E-04
5700	3	15E-02		125E-03		125E-03		36E-04	135E-05	54E-04
5800	4	15E-02		125E-03		125E-03		34E-04	100E-02	54E-04

5900	3		15E-02		125E-03	125E-03	36E-04	135E-05	50E-04
6000	4		15E-02		125E-03	125E-03	36E-04	10E-02	50E-04
6100	5		3.774E-03				1.10E-07	4.060E-06	3.11E-05
6200		0.0							
6300		0.0							
6400		0.0							
6500	1	1	21	121	1	1			
6600	20	20	40	121	1	1			
6700	21	21	41	121	1	2			
6800	100	100	120	121	1	2			
6900	101	21	22	121	1	3			
7000	105	26	27	121	1	3			
7100	109	31	32	121	1	3			
7200	113	36	37	121	1	3			
7300	117	41	42	121	1	3			
7400	121	46	47	121	1	3			
7500	125	51	52	121	1	3			
7600	129	56	57	121	1	3			
7700	133	61	62	121	1	3			
7800	137	66	67	121	1	3			
7900	141	71	72	121	1	3			
8000	145	76	77	121	1	3			
8100	149	81	82	121	1	3			
8200	153	86	87	121	1	3			
8300	157	91	92	121	1	3			
8400	161	96	97	121	1	3			
8500	165	101	102	121	1	3			
8600	169	106	107	121	1	3			
8700	173	111	112	121	1	3			
8800	177	116	117	121	1	3			
8900	180	119	120	121	1	3			
9000	181	21	26	121	1	4			
9100	195	35	40	121	1	4			
9200	196	41	46	121	1	4			
9300	210	55	60	121	1	4			
9400	211	61	66	121	1	4			
9500	225	75	80	121	1	4			
9600	226	81	86	121	1	4			
9700	240	95	100	121	1	4			
9800	241	101	106	121	1	4			
9900	247	107	112	121	1	4			
10000	248	[illegible]	113	121	1	4			
10100	249	109	114	121	1	4			
10200	255	115	120	121	1	4			
10300	256	108	122	121	1	4			
10400	257	122	123	121	2	5			
10500	21	0			0.833				
10600	22	0			1.6670				
10700	23	0		0	1.667				
10800	24	0			1.667				
10900	25	0			0.833				
11000	26	0			1.667				
11100	27	0			3.333				
11200	28	0			3.333				
11300	29	0			3.333				
11400	30	0			1.667				
11500	31	0			1.667				
11600	32	0			3.333				
11700	33	0			3.333				
11800	34	0			3.333				
11900	35	0			1.667				

120[illegible]	36	0	0.833
121[illegible]	37	0	1.667
122[illegible]	38	0	1.667
123[illegible]	39	0	1.667
124[illegible]	40	0	0.833
125[illegible]	41	0	0.833
126[illegible]	42	0	1.667
127[illegible]	43	0	1.667
128[illegible]	44	0	1.667
129[illegible]	45	0	0.833
130[illegible]	46	0	1.667
131[illegible]	47	0	3.333
132[illegible]	48	0	3.333
133[illegible]	49	0	3.333
134[illegible]	50	0	1.667
135[illegible]	51	0	1.667
136[illegible]	52	0	3.333
137[illegible]	53	0	3.333
138[illegible]	54	0	3.333
139[illegible]	55	0	1.667
140[illegible]	56	0	0.833
141[illegible]	57	0	1.667
142[illegible]	58	0	1.667
143[illegible]	59	0	1.667
144[illegible]	60	0	0.833
145[illegible]	61	0	0.833
146[illegible]	62	0	1.667
147[illegible]	63	0	1.667
148[illegible]	64	0	1.667
149[illegible]	65	0	0.833
150[illegible]	66	0	1.667
151[illegible]	67	0	3.333
152[illegible]	68	0	3.333
153[illegible]	69	0	3.333
154[illegible]	70	0	1.667
155[illegible]	71	0	1.667
156[illegible]	72	0	3.333
157[illegible]	73	0	3.333
158[illegible]	74	0	3.333
159[illegible]	75	0	1.667
160[illegible]	76	0	0.833
161[illegible]	77	0	1.667
162[illegible]	78	0	1.667
163[illegible]	79	0	1.667
164[illegible]	80	0	0.833
165[illegible]	81	0	0.833
166[illegible]	82	0	1.667
167[illegible]	83	0	1.667
168[illegible]	84	0	1.667
169[illegible]	85	0	0.833
170[illegible]	86	0	1.667
171[illegible]	87	0	3.333
172[illegible]	88	0	3.333
173[illegible]	89	0	3.333
174[illegible]	90	0	1.667
175[illegible]	91	0	1.667
176[illegible]	92	0	3.333
177[illegible]	93	0	3.333
178[illegible]	94	0	3.333
179[illegible]	95	0	1.667
180[illegible]	96	0	0.833

```
18100    101    0                 0.833
18200    102    0                 1.667
18300    103    0                 1.667
18400    104    0                 1.667
18500    105    0                 0.833
18600    106    0                 1.667
18700    107    0                 3.333
18800    108    0                 3.333
18900    109    0                 3.333
19000    110    0                 1.667
19100    111    0                 1.667
19200    112    0                 3.333
19300    113    0                 3.333
19400    114    0                 3.333
19500    115    0                 1.667
19600    116    0                 0.833
19700    117    0                 1.667
19800    118    0                 1.667
19900    119    0                 1.667
20000    120    0                 0.833
20100      0
20200          0.0
20300      1    1    0  990   10      0.01          7.855E-03
20400      0
20500      0    1
20600          0.0
20700    800  800      0.01       TAFT ACCELERATION RECORD
20800      3
20900     21    2
21000     22    2
21100     23    2
21200     24    2
21300     25    2
21400     26    2
21500     27    2
21600     28    2
21700     29    2
21800     30    2
21900     31    2
22000     32    2
22100     33    2
22200     34    2
22300     35    2
22400     36    2
22500     37    2
22600     38    2
22700     39    2
22800     40    2
22900     41    2
23000     42    2
23100     43    2
23200     44    2
23300     45    2
23400     46    2
23500     47    2
23600     48    2
23700     49    2
23800     50    2
23900     51    2
24000     52    2
24100     53    2
```

242	54	2
243	55	2
244	56	2
245	57	2
246	58	2
247	59	2
248	60	2
249	61	2
250	62	2
251	63	2
252	64	2
253	65	2
254	66	2
255	67	2
256	68	2
257	69	2
258	70	2
259	71	2
260	72	2
261	73	2
262	74	2
263	75	2
264	76	2
265	77	2
266	78	2
267	79	2
268	80	2
269	81	2
270	82	2
271	83	2
272	84	2
273	85	2
274	86	2
275	87	2
276	88	2
277	89	2
278	90	2
279	91	2
280	92	2
281	93	2
282	94	2
283	95	2
284	96	2
285	97	2
286	98	2
287	99	2
288	100	2
289	101	2
290	102	2
291	103	2
292	104	2
293	105	2
294	106	2
295	107	2
296	108	2
297	109	2
298	110	2
299	111	2
300	112	2
301	113	2
302	114	2

303[illegible]	115	2
304[illegible]	116	2
305[illegible]	117	2
306[illegible]	118	2
307[illegible]	119	2
308[illegible]	120	2
309[illegible]	12[illegible]	2
310[illegible]	0	
311[illegible]	0	
312[illegible]	0	
313[illegible]	0	
314[illegible]	0	

UNAM

AR...USTRAC...

EJEM10 (06/26/82) 4:41 PM TUESDAY, AUGUST 3, 1982

```
1..      ***  EXAMPLE 1 : FIVE STORY BUILDING : THREE DIMENSIONAL ANALYSIS  ***
2..   123    1   1   1   0   1   1
3..     1    1   1   1   1   1   1    -7.5   -13.0    0
4..     5    1   1   1   1   1   1    -7.5   -13.0    0.0
5..     6    1   1   1   1   1   1    -7.5   -13.0    0.0
6..    10    1   1   1   1   1   1    -7.5   -13.0
7..    11    1   1   1   1   1   1     7.5   -13.0    0.0
8..    15    1   1   1   1   1   1     7.5   -13.0
9..    16    1   1   1   1   1   1     7.5   -13.0
10..   20    1   1   1   1   1   1     7.5   -13.0    0.0
11..   21    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0    7.5
12..   25    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0    7.5
13..   26    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0    7.5
14..   30    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0    7.5
15..   31    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0    7.5
16..   35    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0    7.5
17..   36    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0    7.5
18..   40    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0    7.5
19..   41    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   10.0
20..   45    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   10.0
21..   46    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   10.0
22..   50    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   10.0
23..   51    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   10.0
24..   55    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   10.0
25..   56    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   10.0
26..   60    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   10.0
27..   61    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   12.5
28..   65    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   12.5
29..   66    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   12.5
30..   70    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   12.5
31..   71    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   12.5
32..   75    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   12.5
33..   76    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   12.5
34..   80    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   12.5
35..   81    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   15.0
36..   85    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   15.0
37..   86    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   15.0
38..   90    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   15.0
39..   91    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   15.0
40..   95    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   15.0
41..   96    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   15.0
42..  100    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   15.0
43..  101    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   17.5
44..  105    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   17.5
45..  106    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   17.5
46..  110    1   0   1   0   1   1    -7.5   -13.0   17.5
47..  111    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   17.5
48..  115    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   17.5
49..  116    1   0   1   0   1   1     7.5   -13.0   17.5
50..  120    1   0   1   0   1   1     7.5    13.0   17.5
51..  121    1   1   1   1   1   1     5.0    15.00
52..  122    1   0   1   1   1   1     0.0     0.0   17.5
53..  123    1   0   1   1   1   1     0.0     0.0   19.0
54..    2  257   5   2
55..    1  1414210.0    0.0    0.0               7.855E-03
56..    2  2E+07                                  3.150E-01
57..    1  40E-02   4083E-04   4083E-04   333E-04   200E-04   200E-04
58..    2  30E-02   30E-02     30E-02     18E-03    100E-04   147E-04
```

5900	3		15E-02		125E-03		125E-03	36E-04	135E-05	54E-04
6000	4		15E-02		125E-03		125E-03	36E-04	10E-02	54E-04
6100	5		3.793E-03					1.67E-07	1.319E-06	1.754E-05
6200		0.0								
6300		0.0								
6400		0.0								
6500	1	1	21	121	1	1				
6600	20	20	40	121	1	1				
6700	21	21	41	121	1	2				
6800	100	100	120	121	1	3				
6900	101	21	22	121	1	3				
7000	105	26	27	121	1	3				
7100	109	31	32	121	1	3				
7200	113	36	37	121	1	3				
7300	117	41	42	121	1	3				
7400	121	46	47	121	1	3				
7500	125	51	52	121	1	3				
7600	129	56	57	121	1	3				
7700	133	61	62	121	1	3				
7800	137	66	67	121	1	3				
7900	141	71	72	121	1	3				
8000	145	76	77	121	1	3				
8100	149	81	82	121	1	3				
8200	153	86	87	121	1	3				
8300	157	91	92	121	1	3				
8400	161	96	97	121	1	3				
8500	165	101	102	121	1	3				
8600	169	106	107	121	1	3				
8700	173	111	112	121	1	3				
8800	177	116	117	121	1	3				
8900	180	119	120	121	1	3				
9000	181	21	26	121	1	4				
9100	195	35	40	121	1	4				
9200	196	41	40	121	1	4				
9300	210	55	60	121	1	4				
9400	211	61	60	121	1	4				
9500	225	75	80	121	1	4				
9600	226	81	80	121	1	4				
9700	240	95	100	121	1	4				
9800	241	101	106	121	1	4				
9900	247	107	112	121	1	4				
10000	248	122	113	121	1	4				
10100	249	109	114	121	1	4				
10200	255	115	120	121	1	4				
10300	256	106	122	121	1	4				
10400	257	122	123	121	2	5				
10500	21	0				0.833				
10600	22	0				1.667				
10700	23	0		0		1.667				
10800	24	0				1.667				
10900	25	0				0.833				
11000	26	0				1.667				
11100	27	0				3.333				
11200	28	0				3.333				
11300	29	0				3.333				
11400	30	0				1.667				
11500	31	0				1.667				
11600	32	0				3.333				
11700	33	0				3.333				
11800	34	0				3.333				
11900	35	0				1.667				

120[illegible]	40	0	0.833
121[illegible]	41	0	0.833
122[illegible]	42	0	1.667
123[illegible]	43	0	1.667
124[illegible]	44	0	1.667
125[illegible]	45	0	0.833
126[illegible]	46	0	1.667
127[illegible]	47	0	3.333
128[illegible]	48	0	3.333
129[illegible]	49	0	3.333
130[illegible]	50	0	1.667
131[illegible]	51	0	1.667
132[illegible]	52	0	3.333
133[illegible]	53	0	3.333
134[illegible]	54	0	3.333
135[illegible]	55	0	1.667
136[illegible]	56	0	0.833
137[illegible]	57	0	1.667
138[illegible]	58	0	1.667
139[illegible]	59	0	1.667
140[illegible]	60	0	0.833
141[illegible]	61	0	0.833
142[illegible]	62	0	1.667
143[illegible]	63	0	1.667
144[illegible]	64	0	1.667
145[illegible]	65	0	0.833
146[illegible]	66	0	1.667
147[illegible]	67	0	3.333
148[illegible]	68	0	3.333
149[illegible]	69	0	3.333
150[illegible]	70	0	1.667
151[illegible]	71	0	1.667
152[illegible]	72	0	3.333
153[illegible]	73	0	3.333
154[illegible]	74	0	3.333
155[illegible]	75	0	1.667
156[illegible]	76	0	0.833
157[illegible]	77	0	1.667
158[illegible]	78	0	1.667
159[illegible]	79	0	1.667
160[illegible]	80	0	0.833
161[illegible]	81	0	0.833
162[illegible]	82	0	1.667
163[illegible]	83	0	1.667
164[illegible]	84	0	1.667
165[illegible]	85	0	0.833
166[illegible]	86	0	1.667
167[illegible]	87	0	3.333
168[illegible]	88	0	3.333
169[illegible]	89	0	3.333
170[illegible]	90	0	1.667
171[illegible]	91	0	1.667
172[illegible]	92	0	3.333
173[illegible]	93	0	3.333
174[illegible]	94	0	3.333
175[illegible]	95	0	1.667
176[illegible]	96	0	0.833
177[illegible]	97	0	1.667
178[illegible]	98	0	1.667
179[illegible]	99	0	1.667
18000	100	0	0.833

```
18100         97    0                  1.667
18200         98    0                  1.667
18300         99    0                  1.667
18400        100    0                  0.833
18500        101    0                  0.833
18600        102    0                  1.667
18700        103    0                  1.667
18800        104    0                  1.667
18900        105    0                  0.833
19000        106    0                  1.667
19100        107    0                  3.333
19200        108    0                  3.333
19300        109    0                  3.333
19400        110    0                  1.667
19500        111    0                  1.667
19600        112    0                  3.333
19700        113    0                  3.333
19800        114    0                  3.333
19900        115    0                  1.667
20000        116    0                  0.833
20100        117    0                  1.667
20200        118    0                  1.667
20300        119    0                  1.667
20400        120    0                  0.833
20500        123                      85.533
20600          0
20700             0.0
20800          1    1     0   99.   10      0.01                        1
20900          0
21000          0    1
21100             0.0
21200        800  000      0.01        TAFT  ACCELERATION  RECORD
21300          3
21400         21    2
21500         22    2
21600         23    2
21700         24    2
21800         25    2
21900         26    2
22000         27    2
22100         28    2
22200         29    2
22300         30    2
22400         31    2
22500         32    2
22600         33    2
22700         34    2
22800         35    2
22900         36    2
23000         37    2
23100         38    2
23200         39    2
23300         40    2
23400         41    2
23500         42    2
23600         43    2
23700         44    2
23800         45    2
23900         46    2
24000         47    2
24100         48    2
```

242	49
243	50
244	51
245	52
246	53
247	54
248	55
249	56
250	57
251	58
252	59
253	60
254	61
255	62
256	63
257	64
258	65
259	66
260	67
261	68
262	69
263	70
264	71
265	72
266	73
267	74
268	75
269	76
270	77
271	78
272	79
273	80
274	81
275	82
276	83
277	84
278	85
279	86
280	87
281	88
282	89
283	90
284	91
285	92
286	93
287	94
288	95
289	96
290	97
291	98
292	99
293	100
294	101
295	102
296	103
297	104
298	105
299	106
300	107
301	108
302	109

303[illegible]	110	[illegible]
304[illegible]	111	[illegible]
305[illegible]	112	[illegible]
306[illegible]	113	[illegible]
307[illegible]	114	[illegible]
308[illegible]	115	[illegible]
309[illegible]	116	[illegible]
310[illegible]	117	[illegible]
311[illegible]	118	[illegible]
312[illegible]	119	[illegible]
313[illegible]	120	[illegible]
314[illegible]	121	[illegible]
315[illegible]	122	[illegible]
316[illegible]	123	[illegible]
317[illegible]	0	
318[illegible]	0	
319[illegible]	0	
320[illegible]	0	

1	***	EXAMPLE 1 : FIVE STORY BUILDING : THREE DIMENSIONAL ANALYSIS ***									
2	123	1	1	1	4						
3	1	1	1	1	1	1	1	-7.5	-13.0	0.0	1
4	5	1	1	1	1	1	1	-7.5	-13.0	0.0	1
5	6	1	1	1	1	1	1	-2.5	-13.0	0.0	1
6	10	1	1	1	1	1	1	-2.5	-13.0		1
7	11	1	1	1	1	1	1	2.5	-13.0	0.0	1
8	15	1	1	1	1	1	1	5.5	13.0		1
9	16	1	1	1	1	1	1	7.5	-13.0		1
10	20	1	1	1	1	1	1	7.5	-13.0	5.0	1
11	21	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.0	7.5	1
12	25	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.0	7.5	1
13	26	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.0	7.5	1
14	30	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.0	7.5	1
15	31	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.0	7.5	1
16	35	1	0	1	0	1	1	5.5	13.0	7.5	1
17	36	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.0	7.5	1
18	40	1	0	1	0	1	1	7.5	13.0	7.5	1
19	41	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.0	10.0	1
20	45	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.0	10.0	1
21	46	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.0	10.0	1
22	50	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.0	10.0	1
23	51	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.0	10.0	1
24	55	1	0	1	0	1	1	2.5	13.0	10.0	1
25	56	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.0	10.0	1
26	60	1	0	1	0	1	1	7.5	13.0	10.0	1
27	61	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.0	12.5	1
28	65	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.0	12.5	1
29	66	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.0	12.5	1
30	70	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.0	12.5	1
31	71	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.0	12.5	1
32	75	1	0	1	0	1	1	2.5	13.0	12.5	1
33	76	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.0	12.5	1
34	80	1	0	1	0	1	1	7.5	13.0	12.5	1
35	81	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.0	15.0	1
36	85	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.0	15.0	1
37	86	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.0	15.0	1
38	90	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.0	15.0	1
39	91	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.0	15.0	1
40	95	1	0	1	0	1	1	2.5	13.0	15.0	1
41	96	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.0	15.0	1
42	100	1	0	1	0	1	1	7.5	13.0	15.0	1
43	101	1	0	1	0	1	1	-7.5	-13.0	17.5	1
44	105	1	0	1	0	1	1	-7.5	13.0	17.5	1
45	106	1	0	1	0	1	1	-2.5	-13.0	17.5	1
46	110	1	0	1	0	1	1	-2.5	13.0	17.5	1
47	111	1	0	1	0	1	1	2.5	-13.0	17.5	1
48	115	1	0	1	0	1	1	2.5	13.0	17.5	1
49	116	1	0	1	0	1	1	7.5	-13.0	17.5	1
50	120	1	0	1	0	1	1	7.5	13.0	17.5	1
51	121	1	1	1	1	1	1	5.0	15.0		
52	122	1	0	1	1	1	1	0.0	0.0	17.5	
53	123	1	0	1	1	1	1	0.0	0.0	19.5	
54	2	.57	5	0	2						
55	1	1414214.0		0.0		0.0				7.865E-03	
56	2	2E+07								1.577E-01	
57	1	.49E-02		.4013E-04		.4083E-04		.333E-04	.200E-04	.200E-04	
58	2	.36E-02		.30E-02		.30E-02		.1PE-03	.100E-04	.10PE-04	

5900		0.0				
6000		0.0				
6100		0.0				
6200	1	1	21	121	1	1
6300	20	20	40	121	1	1
6400	21	21	41	121	1	2
6500	100	100	120	121	1	2
6600	101	21	22	121	1	3
6700	105	26	27	121	1	3
6800	109	31	32	121	1	3
6900	113	36	37	121	1	3
7000	117	41	42	121	1	3
7100	121	46	47	121	1	3
7200	125	51	52	121	1	3
7300	129	56	57	121	1	3
7400	133	61	62	121	1	3
7500	137	66	67	121	1	3
7600	141	71	72	121	1	3
7700	145	76	77	121	1	3
7800	149	81	82	121	1	3
7900	153	86	87	121	1	3
8000	157	91	92	121	1	3
8100	161	96	97	121	1	3
8200	165	101	102	121	1	3
8300	169	106	107	121	1	3
8400	173	111	112	121	1	3
8500	177	116	117	121	1	3
8600	180	119	120	121	1	3
8700	181	21	26	121	1	4
8800	195	35	40	121	1	4
8900	196	41	46	121	1	4
9000	210	55	60	121	1	4
9100	211	61	66	121	1	4
9200	225	75	80	121	1	4
9300	226	81	86	121	1	4
9400	240	95	100	121	1	4
9500	241	101	106	121	1	4
9600	247	107	112	121	1	4
9700	248	108	113	121	1	4
9800	249	109	114	121	1	4
9900	255	115	120	121	1	4
10000	256	108	122	121	1	4
10100	21	0			0.833	
10200	22	0			1.6670	
10300	23	0		0	1.667	
10400	24	0			1.667	
10500	25	0			0.833	
10600	26	0			1.667	
10700	27	0			3.333	
10800	28	0			3.333	
10900	29	0			3.333	
11000	30	0			1.667	
11100	31	0			1.667	
11200	32	0			3.333	
11300	33	0			3.333	
11400	34	0			3.333	
11500	35	0			1.667	
11600	36	0			0.833	
11700	37	0			1.667	
11800	38	0			1.667	
11900	39	0			1.667	

120[illegible]	36	0	0.833
121[illegible]	37	0	1.667
122[illegible]	38	0	1.667
123[illegible]	39	0	1.667
124[illegible]	40	0	0.833
125[illegible]	41	0	0.833
126[illegible]	42	0	1.667
127[illegible]	43	0	1.667
128[illegible]	44	0	1.667
129[illegible]	45	0	0.833
130[illegible]	46	0	1.667
131[illegible]	47	0	3.333
132[illegible]	48	0	3.333
133[illegible]	49	0	3.333
134[illegible]	50	0	1.667
135[illegible]	51	0	1.667
136[illegible]	52	0	3.333
137[illegible]	53	0	3.333
138[illegible]	54	0	3.333
139[illegible]	55	0	1.667
140[illegible]	56	0	0.833
141[illegible]	57	0	1.667
142[illegible]	58	0	1.667
143[illegible]	59	0	1.667
144[illegible]	60	0	0.833
145[illegible]	61	0	0.833
146[illegible]	62	0	1.667
147[illegible]	63	0	1.667
148[illegible]	64	0	1.667
149[illegible]	65	0	0.833
150[illegible]	66	0	1.667
151[illegible]	67	0	3.333
152[illegible]	68	0	3.333
153[illegible]	69	0	3.333
154[illegible]	70	0	1.667
155[illegible]	71	0	1.667
156[illegible]	72	0	3.333
157[illegible]	73	0	3.333
158[illegible]	74	0	3.333
159[illegible]	75	0	1.667
160[illegible]	76	0	0.833
161[illegible]	77	0	1.667
162[illegible]	78	0	1.667
163[illegible]	79	0	1.667
164[illegible]	80	0	0.833
165[illegible]	81	0	0.833
166[illegible]	82	0	1.667
167[illegible]	83	0	1.667
168[illegible]	84	0	1.667
169[illegible]	85	0	0.833
170[illegible]	86	0	1.667
171[illegible]	87	0	3.333
172[illegible]	88	0	3.333
173[illegible]	89	0	3.333
174[illegible]	90	0	1.667
175[illegible]	91	0	1.667
176[illegible]	92	0	3.333
177[illegible]	93	0	3.333
178[illegible]	94	0	3.333
179[illegible]	95	0	1.667
180[illegible]	96	0	0.833

```
18100        97    0                 1.667
18200        98    0                 1.667
18300        99    0                 1.667
18400       100    0                 0.833
18500       101    0                 0.833
18600       102    0                 1.667
18700       103    0                 1.667
18800       104    0                 1.667
18900       105    0                 0.833
19000       106    0                 1.667
19100       107    0                 3.333
19200       108    0                 3.333
19300       109    0                 3.333
19400       110    0                 1.667
19500       111    0                 1.667
19600       112    0                 3.333
19700       113    0                 3.333
19800       114    0                 3.333
19900       115    0                 1.667
20000       116    0                 0.833
20100       117    0                 1.667
20200       118    0                 1.667
20300       119    0                 1.667
20400       120    0                 0.833
20500       123                     20.300
20600         0
20700            0.0
20800         1    1    0  990   10      0.01                 1
20900         0
21000         0    1
21100            0.0
21200       800  800      0.01    EL CENTRO  ACCELERATION  RECORD
21300         3
21400        21    2
21500        22    2
21600        23    2
21700        24    2
21800        25    2
21900        26    2
22000        27    2
22100        28    2
22200        29    2
22300        30    2
22400        31    2
22500        32    2
22600        33    2
22700        34    2
22800        35    2
22900        36    2
23000        37    2
23100        38    2
23200        39    2
23300        40    2
23400        41    2
23500        42    2
23600        43    2
23700        44    2
23800        45    2
23900        46    2
24000        47    2
24100        48    2
```

242	49	2
243	50	2
244	51	2
245	52	2
246	53	2
247	54	2
248	55	2
249	56	2
250	57	2
251	58	2
252	59	2
253	60	2
254	61	2
255	62	2
256	63	2
257	64	2
258	65	2
259	66	2
260	67	2
261	68	2
262	69	2
263	70	2
264	71	2
265	72	2
266	73	2
267	74	2
268	75	2
269	76	2
270	77	2
271	78	2
272	79	2
273	80	2
274	81	2
275	82	2
276	83	2
277	84	2
278	85	2
279	86	2
280	87	2
281	88	2
282	89	2
283	90	2
284	91	2
285	92	2
286	93	2
287	94	2
288	95	2
289	96	2
290	97	2
291	98	2
292	99	2
293	100	2
294	101	2
295	102	2
296	103	2
297	104	2
298	105	2
299	106	2
300	107	2
301	108	2
302	109	2

303	110	
304	111	
305	112	
306	113	
307	114	
308	115	
309	116	
310	117	
311	118	
312	119	
313	120	
314	122	
315	125	
316	0	
317	0	
318	0	
319	0	
320	0	