

Tesis de Maestría



**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
**INSTITUTO DE INGENIERIA**

"Identificación de Parámetros en una estructura no lineal de siete niveles sometida a la acción de fuerzas sísmicas"



QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA DE ESTRUCTURAS**

PRESENTA:

**ING. ADRIAN RAYA BENITES**

H. VERACRUZ, VER.

JULIO 1997

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana



UNIVERSIDAD VERACRUZANA  
INSTITUTO DE INGENIERIA

H. Veracruz, Ver., Julio 22 de 1997  
DI301/97

Al candidato al Grado:  
ING. ADRIAN RAYA BENITES  
P R E S E N T E:

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a Usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Dr. Bonifacio C.A. Peña Pardo, para que lo desarrolle como tesis, para obtener el Grado de Maestro en Ingeniería de Estructuras:


T E M A:  
IDENTIFICACION DE PARAMETROS EN UNA ESTRUCTURA  
NO LINEAL DE SIETE NIVELES SOMETIDA A LA ACCION  
DE FUERZAS SISMICAS

Introducción  
Definición del problema  
Planteamiento del problema  
Hipótesis  
Objetivos

- I .- Sistemas lineales de un grado de libertad
  - II .- Sistemas lineales de varios grados de libertad
  - III .- Identificación de parámetros en sistemas no lineales
  - IV .- Conclusiones
- Apéndice  
Bibliografía

Sin otro particular, me es grato quedar de Usted como su atento y seguro servidor.

A T E N T A M E N T E  
"LIS DE VERACRUZ: ARTE, CIENCIA, LUZ"

  
DR. ENRIQUE A. MORALES GONZALEZ  
DIRECTOR



*Qué difícil habría sido imaginar este momento  
cuando por vez primera tomé un lápiz  
he hice mi primer garabato.*

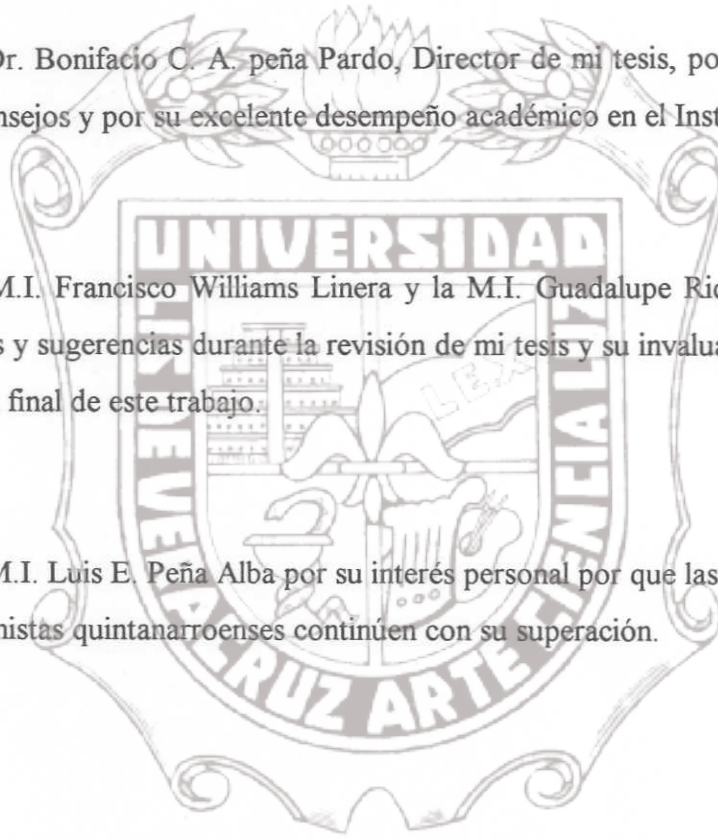
*Adrian*

## RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Bonifacio C. A. Peña Pardo, Director de mi tesis, por sus innumerables y atinados consejos y por su excelente desempeño académico en el Instituto de Ingeniería.

Al M.I. Francisco Williams Linera y la M.I. Guadalupe Riquer Trujillo por sus comentarios y sugerencias durante la revisión de mi tesis y su invaluable ayuda durante la preparación final de este trabajo.

Al M.I. Luis E. Peña Alba por su interés personal por que las nuevas generaciones de profesionistas quintanarroenses continúen con su superación.



## AGRADECIMIENTOS

A Dios ante todo, por prestarme la vida y darme la inteligencia suficiente para llevar a feliz término esta nueva etapa en mi existencia.

A mi hermana Yolanda y mi cuñado Alejandro por su apreciable ayuda durante mis estudios de Licenciatura y Postgrado.

Al Instituto de Ingeniería de la Universidad Veracruzana por darme la oportunidad de realizar este nuevo proyecto en mi vida.

Al M.I. Luis E. Peña Alba por interceder por mis compañeros y por mi, ante las autoridades del Estado de Quintana Roo para la obtención de una beca de estudios a nivel Maestría.

Al gobierno del Estado de Quintana Roo, que a través de la Secretaría de Educación y Cultura Popular me proporcionó la mencionada beca.

A todas aquellas personas que me ayudaron desde el primer día que llegué a esta Ciudad.

## DEDICATORIAS

**A mis padres Constantino y Zenaida:**

Con profundo agradecimiento: por permitirme alcanzar todas mis metas y el compartir conmigo momentos emotivos y difíciles durante mis años de estudio.

**A mi novia Berna:**

Con todo mi amor: por motivarme en más de una ocasión a seguir adelante en mi proyecto de tesis, por su paciencia y confianza y por la fortuna de considerarme como parte de su vida.

**A mis hermanos:**

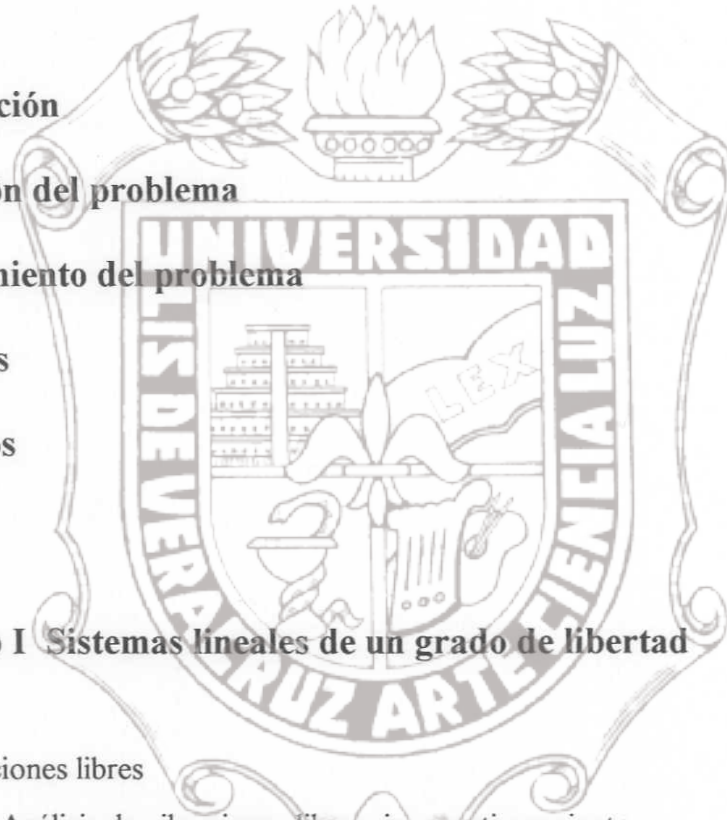
Yolanda  
Maria Guadalupe  
Isidoro  
Mario

**A mis sobrinos:**

Alejandro y Liliana  
Salvador  
Marlene Yasuri y Ricardo Constantino  
Lizet Amairani y Marilí Guadalupe

# Contenido

<b>Introducción</b>	iv
<b>Definición del problema</b>	vii
<b>Planteamiento del problema</b>	vii
<b>Hipótesis</b>	vii
<b>Objetivos</b>	vii
<b>Capítulo I Sistemas lineales de un grado de libertad</b>	
1.1 Vibraciones libres	4
1.1.1 Análisis de vibraciones libres sin amortiguamiento	4
1.1.2 Análisis de vibraciones libres con amortiguamiento	4
1.1.2.1 Sistemas subamortiguados	5
1.2 Respuesta para una carga cualquiera	5
1.2.1 Sistema sin amortiguamiento	5
1.2.2 Sistema subamortiguado	6



**Capítulo II Sistemas lineales de varios grados de libertad**

2.1 Sistema de varios grados de libertad	7
2.2 Condensación estática	12
2.3 Idealización considerando trabes rígidas	14
2.3.1 Ecuaciones de movimiento	15
2.3.1.1 Fuerzas externas	15
2.3.1.2 Movimiento en los apoyos	20

**Capítulo III Identificación de parámetros en sistemas no lineales**

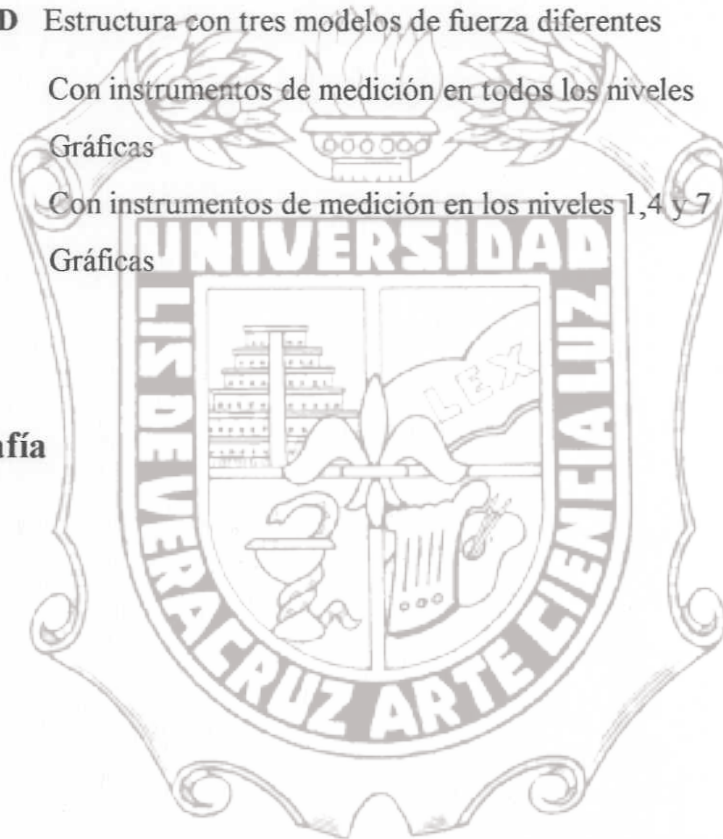
3.1 Modelo estructural e identificación de parámetros en sistemas no lineales	24
3.1.1 Estructura con un solo modelo de fuerza	25
3.1.2 Estructura con tres modelos de fuerza diferentes	27
3.2 Experimentación numérica	29
3.2.1 Estructura con un solo modelo de fuerza	30
3.2.2 Estructura con tres modelos de fuerza diferentes	33

**Capítulo IV Conclusiones** 36**Apéndice A** Método de rigidez directa 39**Apéndice B** Sismo de El Centro, California ( 18 de Mayo de 1940 )

Registro de la componente N-S	42
Acelerograma	45



<b>Apéndice C</b>	Estructura con un modelo de fuerza	
	Con instrumentos de medición en todos los niveles	46
	Gráfica	51
	Con instrumentos de medición solo en el nivel 7	52
	Gráficas	58
<b>Apéndice D</b>	Estructura con tres modelos de fuerza diferentes	
	Con instrumentos de medición en todos los niveles	60
	Gráficas	64
	Con instrumentos de medición en los niveles 1,4 y 7	67
	Gráficas	72
<b>Bibliografía</b>		75



## INTRODUCCIÓN

En Ingeniería Estructural usamos modelos matemáticos de estructuras para simular o predecir el comportamiento de sistemas estructurales. Estos modelos pueden usarse para una gran variedad de propósitos, desde la evaluación de resultados de pruebas físicas hasta la identificación de parámetros en una estructura sometida a un fuerte terremoto.

El proceso de usar mediciones físicas en conjunto con ecuaciones teóricas establecidas para determinar constantes empíricas se llama estimación de parámetros.

Tales parámetros están asociados con la absorción de energía que experimenta una estructura cuando se encuentra sometida a la acción de fuerzas sísmicas. La identificación de parámetros requiere datos experimentales, que generalmente se obtienen en una mesa de vibraciones o en las propias estructuras mediante instrumentación previamente colocada y con el mantenimiento adecuado.

Con el objeto de obtener los datos de observación, los simularemos mediante la selección de la componente horizontal N-S del sismo de El Centro, California ( 18 de Mayo de 1940 ) como excitación. La respuesta del marco será determinada considerando los verdaderos parámetros del modelo a identificar, partiendo de ciertas estimaciones y minimizando la diferencia entre la respuesta observada y la respuesta calculada. Se identificarán los parámetros utilizando filtrado no lineal de teoría de control.

El modelo empleado en este trabajo consiste en un sistema de siete niveles y siete grados de libertad en términos de desplazamientos laterales, donde consideraremos que las fuerzas restauradoras son del tipo  $f_i(u_i, \dot{u}_i, c) = c_{1i}u_i + c_{2i}u_i^3 + c_{3i}\dot{u}_i$ , es decir un comportamiento no lineal, toda vez que el parámetro  $c_{2i}$  está asociado a una función no lineal.

El propósito fundamental es identificar los parámetros  $c_{ji}$ .

Como se mencionó anteriormente, la identificación de parámetros precisa de datos experimentales, Clough y Tang los obtuvieron para un marco de tres niveles en la mesa de vibraciones del Centro de Investigaciones de Ingeniería Sísmica de la Universidad de California en Richmond ( **Shaking Table Tests of a Steel Frame - A progress Report**, Report EERC 74-8, Earthquake Engineering Center, University of California, 1974 ). Utilizando estos registros, Distefano y Peña lograron la identificación de parámetros no lineales para el mismo marco. Y sobre este último trabajo, Peña Pardo presentó un artículo en el **V Congreso Nacional de Ingeniería Estructural** en 1986.

En la actualidad se sigue investigando a los sistemas no lineales. Somos testigos que cada vez son más los artículos que se publican en torno a este tema, dada la importancia que representa en nuestros días contar con esta información que nos ayuda a entender de una mejor manera el comportamiento de tales sistemas cuando los consideramos en un modelo estructural.

Somos también testigos del uso creciente de la instrumentación en grandes edificios de ciudades con continuo riesgo de sufrir la acción de un terremoto. Esto nos conduce a un mejor estudio de las estructuras ya que podemos cuantificar el daño estructural que se tiene después de un sismo y dar una rápida solución al problema sin arriesgar a sus ocupantes.

La estructuración del trabajo es la siguiente :

En el Capítulo I se muestra la idealización de una estructura lineal de un solo nivel con trabe rígida y la solución de la ecuación de movimiento que rige su comportamiento ante el sistema de cargas a que se encuentra sujeta.

El Capítulo II trata sobre el comportamiento lineal de una estructura de siete niveles bajo la acción de fuerzas externas o sometida a fuerzas sísmicas. En un primer punto se considera la estructura con todos los grados de libertad y dado que los desplazamientos laterales son los que más influyen en su comportamiento, se hace una condensación estática para reducir los grados de libertad no deseados ( giros y deformaciones axiales ) sumando su efecto al desplazamiento lateral existente. Se menciona también el uso de las fórmulas de Wilbur, el cual es un método aproximado para determinar las rigideces de entrepiso de una estructura con ciertas características; y un método “exacto” para el mismo fin, llamado método de rigideces. En el segundo punto se trata la estructura idealizada con traveses rígidos.

En el Capítulo III se define la metodología a seguir para lograr los objetivos. Se prueba el sistema de identificación con dos estructuras de siete niveles con traveses rígidos, excitadas por la componente horizontal N-S del sismo ya mencionado. Se muestran los resultados obtenidos para diversas situaciones, como por ejemplo, qué sucede cuando solo tenemos instrumentos de medición en el primer nivel, o solo en el último, etc., para cada una de las estructuras.

En el Capítulo IV se expresan las Conclusiones a las que se llegó en el estudio realizado sobre las dos estructuras cuando utilizamos el sistema de identificación.

Por último se muestra el contenido de los diversos apéndices : El Método de Rigidez Directa, datos y acelerograma del sismo de El Centro, Cal., y finalmente los resultados numéricos obtenidos mediante simulación y las gráficas respectivas para cada una de las estructuras mencionadas.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema se define como: “ Identificación de Parámetros en una estructura no lineal de siete niveles sometida a la acción de fuerzas sísmicas “.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El planteamiento podemos enfocarlo de una manera particular hacia : ¿ Qué tan eficiente y valioso resulta ser un sistema de identificación cuando se prueba en una estructura no lineal de siete niveles sometida a la acción de fuerzas sísmicas ?

## HIPÓTESIS

Un sistema de identificación cuando se prueba en una estructura no lineal de siete niveles sometida al efecto de fuerzas sísmicas, resulta ser eficiente y muy útil ya que proporciona el historial de su comportamiento para cualquier instante, desde el inicio de la excitación hasta el tiempo máximo de su duración.

## OBJETIVOS

Se pretende mostrar que el sistema de identificación puede usarse para construir modelos estructurales no lineales simples que sirvan para simular el comportamiento de sistemas estructurales reales sometidos a la acción de fuerzas sísmicas, de tal manera que se conozca la respuesta de la estructura en cualquier instante, desde el inicio de la excitación hasta el tiempo máximo registrado.

## CAPÍTULO I

## SISTEMAS LINEALES DE UN GRADO DE LIBERTAD

Un sistema de un grado de libertad es aquel que tiene solo una coordenada de desplazamiento independiente.

Las propiedades físicas esenciales de un sistema mecánico o estructural, que está sujeto a una excitación externa o carga dinámica son: su masa, sus propiedades elásticas (flexibilidad o rigidez), y mecanismos de pérdida de energía (amortiguamiento).

En la figura 1.1 se muestra el modelo físico de este sistema.

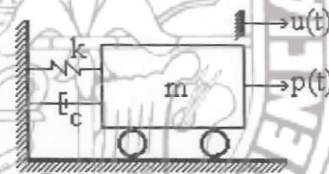


Figura 1.1

Modelo matemático para sistemas de un grado de libertad

La masa del sistema puede moverse solo en traslación simple, de manera que su posición queda completamente definida por la coordenada  $u(t)$ . La resistencia elástica al desplazamiento la proporciona el resorte de rigidez  $k$ , el mecanismo de disipación de energía está representado por el amortiguador  $c$  y la carga dinámica externa que produce la respuesta del sistema es la fuerza  $p(t)$ .

La identificación de los parámetros  $m$ ,  $c$ ,  $k$  para respuestas lineales se ha estudiado por diferentes autores. Entre ellos, el más sencillo de determinar es sin duda la masa de la estructura, ya que conociendo la suma de los pesos de cada entrepiso bastará con dividirlos por el valor de la constante gravitacional.

Para determinar el amortiguamiento de la estructura se complican las cosas en gran medida, ya que su valor no depende de la forma o dimensiones de sus elementos ni del amortiguamiento de los materiales usados.

Sería de gran ayuda para la Ingeniería tener datos de amortiguamiento de varios tipos de estructuras -edificios, puentes, presas, etc.- construidas con diferentes materiales -acero, concreto reforzado, concreto presforzado, mampostería, madera, etc.- para registros de sismos de magnitudes considerables. Estos datos proporcionarían las bases para estimar el amortiguamiento de estructuras existentes y así conocer su comportamiento ante un sismo o para el diseño de un nuevo edificio.

Un método para determinar experimentalmente el coeficiente de amortiguamiento de un sistema es iniciar con vibración libre, obtener un registro de su movimiento oscilatorio, y medir la variación de su amplitud de movimiento. Esta variación en la amplitud se expresa de manera conveniente por el *decremento logarítmico*  $\delta$  que se define como el logaritmo natural de dos de sus amplitudes máximas sucesivas,  $u_1$  y  $u_2$  en vibración libre, esto es:

$$\delta = \ln \frac{u_1}{u_2} = \xi \omega T_D \quad (1-1)$$

o sustituyendo el periodo amortiguado de vibración,  $T_D$

$$\delta = \frac{2\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}} \quad (1-2)$$

Como podemos ver, el radio de amortiguamiento  $\xi$  puede calcularse a partir de la ecuación anterior, después de obtener experimentalmente las amplitudes de dos picos sucesivos del sistema en vibración libre. Para valores pequeños de  $\xi$  la ecuación ( 1-2 ) puede aproximarse con:

$$\delta \cong 2\pi\xi \quad (1-3)$$

El parámetro  $k$  puede determinarse de varias maneras, una de ellas es el método de rigideces. En este método se tiene como ayuda el hecho que ya son conocidos los coeficientes de rigidez para cuando el elemento está articulado y cuando está empotrado en su cimentación, solo resta numerar los nodos de manera adecuada, hacer un ensamble matricial y posteriormente condensar estáticamente a los grados de libertad que se desea, que en este caso corresponden a las rigideces laterales de la estructura.

Otra forma de obtener  $k$  es aplicar una fuerza externa a la estructura y medir su desplazamiento después de liberada esta fuerza.

También podemos determinar  $k$  conocido el periodo de vibración del edificio y las masas concentradas en los entrepisos.

La ecuación de movimiento para un sistema de un grado de libertad es :

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = p(t) \quad (1-4)$$



## 1.1 VIBRACIONES LIBRES

### 1.1.1 ANÁLISIS DE VIBRACIONES LIBRES SIN AMORTIGUAMIENTO

La solución de la ecuación de movimiento para una estructura sujeta a vibración libre y condiciones iniciales no nulas es :

$$u(t) = u_0 \text{Cos} \omega t + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \text{Sen} \omega t \quad (1-5)$$

donde  $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Esta solución representa un movimiento oscilatorio. La cantidad  $\omega$  es definida como frecuencia circular (rad / seg.).

### 1.1.2 ANÁLISIS DE VIBRACIONES LIBRES CON AMORTIGUAMIENTO

Si existe amortiguamiento en el sistema, la solución de la ecuación de movimiento presenta tres casos:

- Sistemas subamortiguados.
- Sistemas con amortiguamiento crítico.
- Sistemas sobreamortiguados.

De los tres casos el único que tiene oscilaciones es el primero.

### 1.1.2.1 Sistemas subamortiguados

La respuesta de estos sistemas considerando condiciones iniciales no nulas es:

$$u(t) = \left[ u_0 \cos \omega_D t + \left( \frac{\dot{u}_0 + u_0 \xi \omega}{\omega_D} \right) \text{Sen} \omega_D t \right] e^{(-\xi \omega t)} \quad (1-6)$$

donde  $\omega_D = \omega \sqrt{1 - \xi^2}$ .

Para valores de amortiguamiento pequeños, que son típicos de la mayoría de las estructuras ( $\xi < 20\%$ ) la relación  $\frac{\omega_D}{\omega} = \sqrt{1 - \xi^2}$  es cercana a la unidad.

## 1.2. RESPUESTA PARA UNA CARGA CUALQUIERA ( VIBRACIONES FORZADAS )

### 1.2.1 SISTEMA SIN AMORTIGUAMIENTO

La ecuación de movimiento  $m\ddot{u}(t) + ku(t) = p(t)$  considerando una carga cualquiera, tiene como solución para condiciones iniciales nulas:

$$u(t) = \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \text{Sen} \omega(t - \tau) d\tau \quad (1-7)$$

la cual es conocida como integral de Duhamel y representa el desplazamiento total producido por la fuerza excitadora  $p(t)$  actuando en el oscilador no amortiguado. Se considera que la carga se aplica desde  $t = 0$  y que la estructura estaba en reposo hasta ese tiempo.

Si la función  $p(t)$  no puede expresarse analíticamente, la evaluación deberá desarrollarse por algún método numérico apropiado.

Para incluir el efecto de desplazamientos y velocidades iniciales en  $t = 0$ , es necesario sumar el efecto debido a tales condiciones. Así, el desplazamiento total del sistema de un grado de libertad sin amortiguamiento, con una carga arbitraria está dado por:

$$u(t) = u_0 \cos \omega t + \frac{\dot{u}_0}{\omega} \text{Sen} \omega t + \frac{1}{m\omega} \int_0^t p(\tau) \text{Sen} \omega (t - \tau) d\tau \quad (1-8)$$

### 1.2.2 SISTEMA SUBAMORTIGUADO

La derivación de la integral de Duhamel, que expresa la respuesta de un sistema amortiguado a una carga cualquiera, es equivalente para el caso no amortiguado, excepto que la respuesta de vibración libre iniciada por la carga impulsiva diferencial  $p(\tau)d\tau$  experimenta una disminución exponencial.

La respuesta de este sistema es:

$$u(t) = \left[ u_0 \cos \omega_D t + \left( \frac{\dot{u}_0 + u_0 \xi \omega}{\omega_D} \right) \text{Sen} \omega_D t \right] e^{(-\xi \omega t)} + \frac{1}{m\omega_D} \int_0^t p(\tau) e^{[-\xi \omega (t - \tau)]} \text{Sen} \omega_D (t - \tau) d\tau \quad (1-9)$$

## CAPÍTULO II

## SISTEMAS LINEALES DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD

## 2.1 SISTEMA DE VARIOS GRADOS DE LIBERTAD

Sabemos que una estructura tiene infinito número de grados de libertad. Sin embargo, el proceso de idealización o selección de un modelo matemático apropiado permite la reducción en el número de grados de libertad a un número discreto y en algunos casos a un solo grado de libertad.

En la figura 2.1 podemos observar que cuando consideramos deformaciones axiales los grados de libertad por nodo son un giro y dos desplazamientos ( fig. 2.1a ) y cuando despreciamos tales deformaciones los grados de libertad se reducen a un giro por nodo y un desplazamiento lateral por nivel ( fig. 2.1b ).

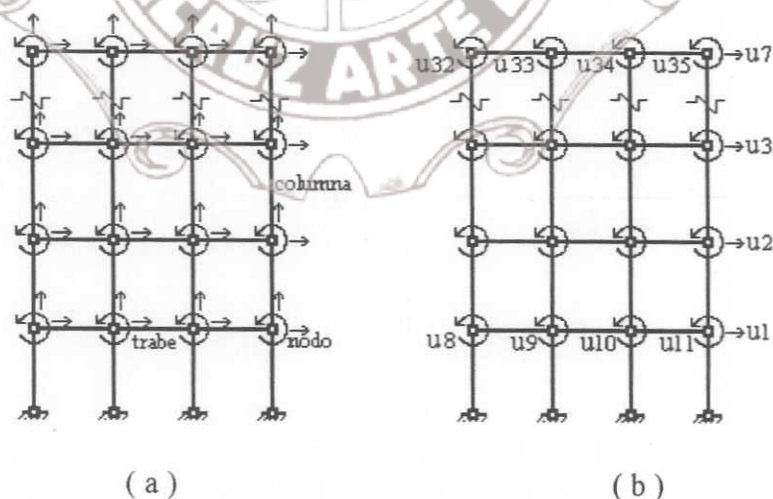


Fig. 2.1

Grados de libertad para una estructura de siete niveles: ( a ) Considerando deformaciones axiales. ( b ) Despreciando las deformaciones axiales.

La figura siguiente muestra la discretización de una estructura tipo viga, dividida en un número finito de puntos a fin de estudiar su equilibrio dinámico ante el sistema de cargas a que se encuentra sujeta.

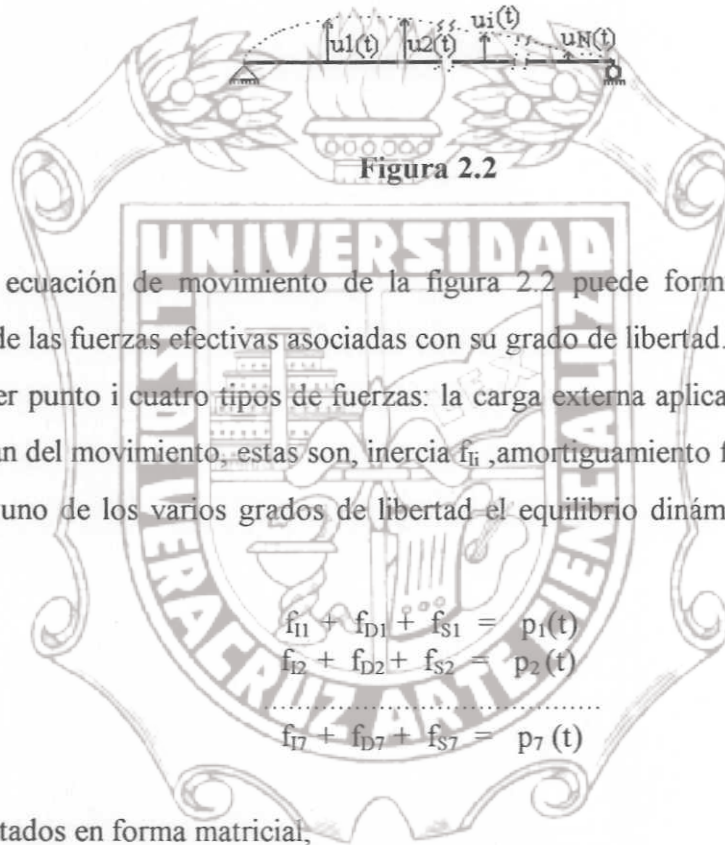
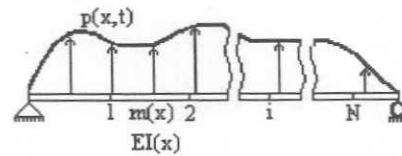


Figura 2.2

La ecuación de movimiento de la figura 2.2 puede formularse expresando el equilibrio de las fuerzas efectivas asociadas con su grado de libertad. En general, actuarán en cualquier punto  $i$  cuatro tipos de fuerzas: la carga externa aplicada  $p_i(t)$  y las fuerzas que resultan del movimiento, estas son, inercia  $f_{i1}$ , amortiguamiento  $f_{Di}$  y elásticas  $f_{Si}$ . Así, para cada uno de los varios grados de libertad el equilibrio dinámico puede expresarse como:

$$\begin{aligned} f_{i1} + f_{Di} + f_{Si} &= p_i(t) \\ f_{i2} + f_{Di2} + f_{Si2} &= p_2(t) \\ \dots & \\ f_{i7} + f_{Di7} + f_{Si7} &= p_7(t) \end{aligned} \quad (2-1)$$

o representados en forma matricial,

$$\{f_i\} + \{f_D\} + \{f_S\} = \{p(t)\} \quad (2-2)$$

Cada una de las fuerzas resistentes se expresa en forma más conveniente mediante una serie de coeficientes de influencia. Consideremos por ejemplo, la componente de fuerza elástica desarrollada en el punto 1; ésta depende en general de la componente de desplazamiento desarrollada en todos los puntos de la estructura:

$$f_{S1} = k_{11}u_1 + k_{12}u_2 + k_{13}u_3 + \dots + k_{1N}u_N \quad (2-3)$$

de manera similar, la fuerza elástica correspondiente al grado de libertad  $u_2$  es

$$f_{s2} = k_{21}u_1 + k_{22}u_2 + k_{23}u_3 + \dots + k_{2N}u_N \quad (2-4)$$

y en general,

$$f_{si} = k_{i1}u_1 + k_{i2}u_2 + k_{i3}u_3 + \dots + k_{iN}u_N \quad (2-5)$$

En estas expresiones se ha supuesto que el comportamiento de la estructura es lineal, de manera que el principio de superposición de causas y efectos puede ser aplicado. Los coeficientes  $k_{ij}$  son llamados coeficientes de rigidez, definidos como sigue:

$k_{ij}$  = fuerza correspondiente a la coordenada  $i$  debido a un desplazamiento unitario de la coordenada  $j$ , siendo los demás desplazamientos en las otras coordenadas nulos.

En forma matricial, la relación completa de las fuerzas elásticas puede escribirse como:

$$\begin{Bmatrix} f_{s1} \\ f_{s2} \\ \cdot \\ f_{s7} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdot & k_{17} \\ k_{21} & k_{22} & \cdot & k_{27} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ k_{71} & k_{72} & \cdot & k_{77} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ u_7 \end{Bmatrix} \quad (2-6)$$

o simbólicamente,

$$\{f_s\} = [K]\{u\} \quad (2-7)$$

donde la matriz de coeficientes de rigidez  $[K]$  es llamada matriz de rigidez de la estructura ( para la serie de coordenadas de desplazamiento especificadas ) y  $\{u\}$  es un vector de desplazamientos representando la deformada de la estructura.

Consideraremos un amortiguamiento de tipo viscoso en el cual la fuerza de amortiguamiento depende de la velocidad.

Las fuerzas de amortiguamiento correspondientes a los grados de libertad seleccionados pueden ser expresadas mediante los correspondientes coeficientes de influencia de manera similar al caso desarrollado anteriormente. Por analogía con la ecuación ( 2-6 ), la serie completa de fuerzas de amortiguamiento está dada por:

$$\begin{Bmatrix} f_{D1} \\ f_{D2} \\ \vdots \\ f_{D7} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{17} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{27} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{71} & c_{72} & \dots & c_{77} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \\ \vdots \\ \dot{u}_7 \end{Bmatrix} \quad (2-8)$$

en donde  $\dot{u}_i$  representa la velocidad asociada a la coordenada de desplazamiento  $i$  y los coeficientes  $c_{ij}$  son llamados coeficientes de amortiguamiento. La definición de estos coeficientes es como sigue:

$c_{ij}$  = fuerza correspondiente a la coordenada  $i$  debido a una velocidad unitaria de la coordenada  $j$ , siendo las demás velocidades en las otras coordenadas nulas.

En forma matricial, la ecuación ( 2-8 ) puede escribirse como:

$$\{f_D\} = [C]\{\dot{u}\} \quad (2-9)$$

donde la matriz de coeficientes de amortiguamiento es llamada matriz de amortiguamiento de la estructura y  $\{\dot{u}\}$  es el vector de velocidades.

Las fuerzas de inercia pueden ser expresadas de manera similar, por una serie de coeficientes denominados coeficientes de masa. Estos representan la relación entre las aceleraciones de los grados de libertad y las fuerzas de inercia resultantes. Por analogía con la ecuación ( 2-6 ), las fuerzas de inercia pueden expresarse como:

$$\begin{Bmatrix} f_{11} \\ f_{12} \\ \vdots \\ f_{17} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{17} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{27} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{71} & m_{72} & \dots & m_{77} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \\ \vdots \\ \ddot{u}_7 \end{Bmatrix} \quad (2-10)$$

donde  $\ddot{u}_i$  es la aceleración asociada a la coordenada de desplazamiento  $i$  y los coeficientes  $m_{ij}$  son los coeficientes de influencia de masa, definidos como sigue:

$m_{ij}$  = fuerza correspondiente a la coordenada  $i$  debido a una aceleración unitaria de la coordenada  $j$ , siendo las demás aceleraciones en las otras coordenadas nulas.

Matricialmente la ecuación ( 2-10 ) puede ser escrita de la forma:

$$\{f_i\} = [M]\{\ddot{u}\} \quad (2-11)$$

donde  $[M]$  es la matriz de masa de la estructura y  $\{\ddot{u}\}$  es su vector de aceleración.

Sustituyendo las ecuaciones ( 2-7 ), ( 2-9 ) y ( 2-11 ) en la ecuación ( 2-2 ) nos da el equilibrio dinámico completo de la estructura, considerando todos los grados de libertad, esto es:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \quad (2-12)$$

Así, la ecuación ( 2-12 ) expresa las  $N$  ecuaciones de movimiento que definen la respuesta de un sistema de varios grados de libertad.



## 2.2 CONDENSACIÓN ESTÁTICA

Para evaluar las propiedades de masa, rigidez elástica y rigidez geométrica se pueden considerar:

1.- Una aproximación elemental que toma en cuenta solo los desplazamientos laterales y que considera que la estructura tiene trabes muy rígidas comparadas con las columnas.

2.- Una aproximación que calcula las rigideces laterales de la estructura considerando que los giros en todos los nodos de un nivel son iguales ( Fórmulas de Wilbur ).

3.- La obtención mediante elemento finito de las matrices  $[ M ]$ ,  $[ C ]$  y  $[ K ]$  y posteriormente utilizar condensación estática o condensación dinámica para reducir el número de grados de libertad.

La primera es considerablemente fácil de aplicar, ya que no solo se definen las propiedades del elemento de manera simple sino también el número de coordenadas a considerar en el análisis es mucho menor. Aparentemente, en grados de libertad los giros son mucho menos significativos en el análisis que los desplazamientos.

El método de masas concentradas presenta un problema especial cuando la matriz de rigidez elástica ha sido formulada considerando los giros en los nodos. Si la evaluación de todas las otras propiedades han excluido estos grados de libertad, es necesario excluirlos también de la matriz de rigidez antes de poder escribir las ecuaciones de movimiento.

El proceso de eliminar estos grados de libertad no deseados de la matriz de rigidez se llama *condensación estática*.

Consideremos que los grados de libertad por giros y desplazamientos han sido segregados de manera que la ecuación (2-6) puede escribirse en la forma fraccionada siguiente:

$$\begin{bmatrix} k_{tt} & k_{t\theta} \\ k_{\theta t} & k_{\theta\theta} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_t \\ u_\theta \end{Bmatrix}_s = \begin{Bmatrix} f_t \\ f_\theta \end{Bmatrix}_s = \begin{Bmatrix} f_t \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (2-13)$$

donde  $u_t$  representa las traslaciones y  $u_\theta$  las rotaciones, con correspondientes subíndices para identificar las submatrices de los coeficientes de rigidez. Ahora, si ninguno de los otros vectores fuerza actuando en la estructura incluye cualquier componente de giro, es evidente que las fuerzas elásticas de rotación también deben desaparecer, esto es,  $f_\theta = 0$ . Cuando esta restricción estática se introduce en la ecuación (2-13) es posible expresar los desplazamientos debidos a los giros en términos de las traslaciones mediante la segunda ecuación matricial, con el resultado:

$$u_\theta = -k_{\theta\theta}^{-1} k_{\theta t} u_t \quad (2-14)$$

Sustituyendo esta en la primera de las ecuaciones matriciales de la ecuación (2-13) nos conduce a:

$$(k_{tt} - k_{t\theta} k_{\theta\theta}^{-1} k_{\theta t}) u_t = f_t \quad (2-15)$$

$$\text{o} \quad k_t u_t = f_t \quad (2-16)$$

$$\text{donde} \quad k_t = k_{tt} - k_{t\theta} k_{\theta\theta}^{-1} k_{\theta t} \quad (2-17)$$

es la rigidez elástica de traslación; la cual nos proporciona las rigideces laterales de la estructura.

### 2.3 IDEALIZACIÓN CONSIDERANDO TRABES RÍGIDAS

El estudio de la dinámica de edificios de varios niveles comienza con su idealización más sencilla, tal como se muestra en la figura 2.3.

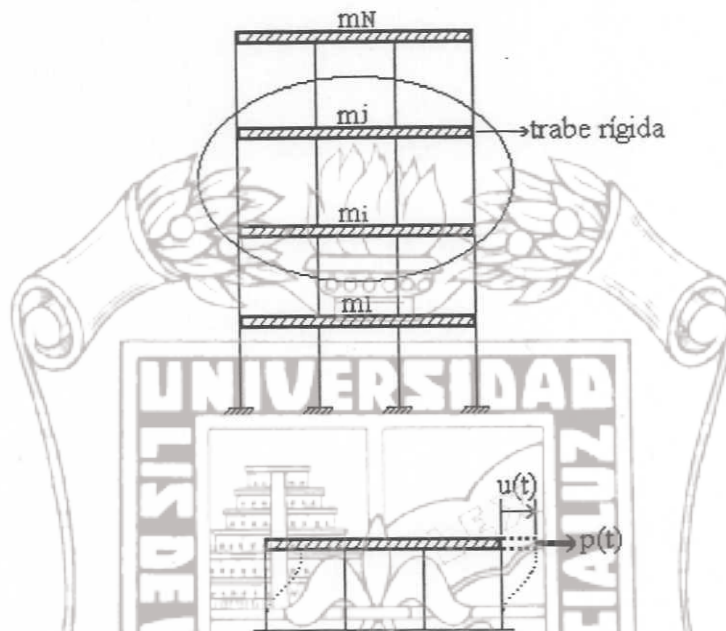


Figura 2.3

Estructura idealizada y detalle de piso.

En esta idealización, consideramos que la masa de las columnas que interconectan los sistemas de piso es despreciable, y que la masa total de la estructura se concentra en cada piso; los sistemas de piso y vigas son rígidos, mientras que las columnas son flexibles a deformaciones laterales pero rígidas en la dirección vertical. Se considera que la estructura está cimentada sobre suelo rígido. Este modelo llamado edificio de cortante es útil para desarrollar los conceptos básicos de la dinámica de edificios de varios niveles. Sin embargo, son necesarias las idealizaciones más refinadas para determinar de manera precisa la respuesta dinámica de estas estructuras.

Las masas concentradas sobre los pisos se denotan por  $m_1, m_2, \dots, m_7$ . Las propiedades de rigidez del sistema, se caracterizan por las rigideces laterales  $k_1, k_2, \dots, k_7$  de cada nivel, esto es, la fuerza de cortante requerida para causar una deformación unitaria en dicho nivel, siendo los desplazamientos en los otros niveles nulos.

2.3.1 ECUACIONES DE MOVIMIENTO

2.3.1.1 FUERZAS EXTERNAS

La figura 2.4 muestra un edificio de siete niveles sujeto a fuerzas dinámicas externas  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ , ...,  $p_7(t)$  aplicadas en los niveles uno, dos, ..., siete, respectivamente. Bajo la influencia de estas fuerzas, la estructura se desplaza en la dirección lateral. En un instante cualquiera, la configuración de la estructura desplazada puede especificarse por los desplazamientos  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ , ...,  $u_7(t)$  del primero, segundo, ..., séptimo niveles respectivamente.

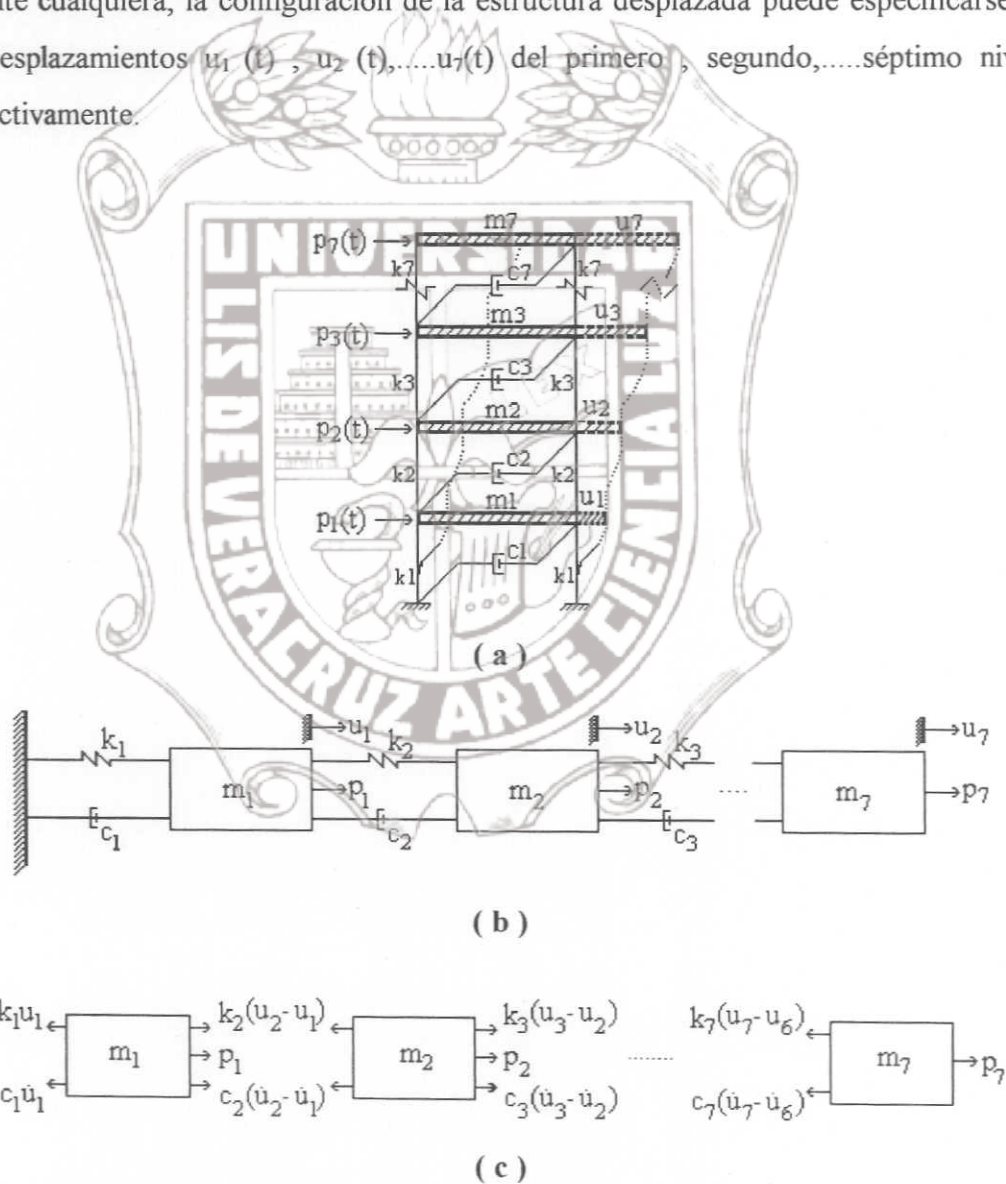


Fig. 2.4

(a) Idealización estructural. (b) Modelo matemático. (c) Diagrama de cuerpo libre

Instituto de Ingeniería y Tecnología Universidad Veracruzana

Las fuerzas que actúan sobre las masas de cada piso se muestran en los diagramas de cuerpo libre de la figura 2.4c. Éstas incluyen las fuerzas externas  $p_j(t)$ , las fuerzas de amortiguamiento  $f_{Dj}$  y las fuerzas elásticas resistentes  $f_{sj}$ .

Aplicando la segunda ley de Newton, el equilibrio dinámico en cualquier instante  $t$  estará dado por la relación:

$$\sum \bar{F} = m\ddot{u} \quad (2-18)$$

Para un nivel  $j$  podemos expresar la relación anterior en las dos maneras siguientes:

$$p_j - f_{sj} - f_{Dj} = m_j \ddot{u}_j \quad \text{o} \quad m_j \ddot{u}_j + f_{Dj} + f_{sj} = p_j(t) \quad (2-19)$$

Esta última ecuación en su forma desarrollada está representada por las ecuaciones (2-1).

Para una estructura lineal, las fuerzas elásticas son referidas a los desplazamientos del nivel a través de las rigideces de piso:

$$\begin{aligned} f_{s1} &= k_1 u_1 - k_2 (u_2 - u_1) \\ f_{s2} &= k_2 (u_2 - u_1) - k_3 (u_3 - u_2) \\ &\dots \\ f_{s7} &= k_7 (u_7 - u_6) \end{aligned} \quad (2-20)$$

Las fuerzas de amortiguamiento  $f_{Dj}$  están relacionadas con las velocidades  $\dot{u}_j$  de cada piso. El  $j$ -ésimo coeficiente de amortiguamiento de piso  $c_j$ , relaciona al cortante de piso  $V_j$  (debido a los efectos del amortiguamiento), con la velocidad  $\dot{\Delta}_j$ , asociada a la deformación del piso en cuestión. Esto es:

$$V_j = c_j \dot{\Delta}_j \quad (2-21)$$

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana

De manera similar a la ecuación ( 2-20 ), podemos derivar:

$$\begin{aligned}
 f_{D1} &= c_1 \dot{u}_1 && - c_2 (\dot{u}_2 - \dot{u}_1) \\
 f_{D2} &= c_2 (\dot{u}_2 - \dot{u}_1) && - c_3 (\dot{u}_3 - \dot{u}_2) \\
 &..... \\
 f_{D7} &= c_7 (\dot{u}_7 - \dot{u}_6)
 \end{aligned}
 \tag{ 2-22 }$$

Las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento definido por los desplazamientos  $u_1(t), u_2(t), \dots, u_7(t)$  del sistema estructural sujeto a las fuerzas externas  $p_1(t), p_2(t), \dots, p_7(t)$  son:

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{u}_1 + c_1 \dot{u}_1 + k_1 u_1 - c_2 (\dot{u}_2 - \dot{u}_1) - k_2 (u_2 - u_1) &= p_1(t) \\
 m_2 \ddot{u}_2 + c_2 (\dot{u}_2 - \dot{u}_1) + k_2 (u_2 - u_1) - c_3 (\dot{u}_3 - \dot{u}_2) - k_3 (u_3 - u_2) &= p_2(t) \\
 &..... \\
 m_7 \ddot{u}_7 + k_7 (u_7 - u_6) + c_7 (\dot{u}_7 - \dot{u}_6) &= p_7(t)
 \end{aligned}
 \tag{ 2-23 }$$

Estas ecuaciones deben resolverse simultáneamente para determinar la respuesta de la estructura. En notación matricial se expresan como:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = p\{t\}
 \tag{ 2-24 }$$

Para una estructura de siete niveles los vectores de desplazamientos y fuerzas externas son:

$$\{u\} = \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \\ u_7 \end{Bmatrix} \qquad p\{t\} = \begin{Bmatrix} p_1(t) \\ p_2(t) \\ p_3(t) \\ p_4(t) \\ p_5(t) \\ p_6(t) \\ p_7(t) \end{Bmatrix}
 \tag{ 2-25 }$$

Instituto de Ingeniería  
 Universidad Veracruzana

Y sus respectivas matrices de masa, amortiguamiento y rigidez son:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & & & & & & \\ & m_2 & & & & & \\ & & m_3 & & & & \\ & & & m_4 & & & \\ & & & & m_5 & & \\ & & & & & m_6 & \\ & & & & & & m_7 \end{bmatrix} \quad (2-26)$$

$$[C] = \begin{bmatrix} (c_1+c_2) & -c_2 & & & & & \\ -c_2 & (c_2+c_3) & -c_3 & & & & \\ & -c_3 & (c_3+c_4) & -c_4 & & & \\ & & -c_4 & (c_4+c_5) & -c_5 & & \\ & & & -c_5 & (c_5+c_6) & -c_6 & \\ & & & & -c_6 & (c_6+c_7) & -c_7 \\ & & & & & -c_7 & c_7 \end{bmatrix} \quad (2-27)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} (k_1+k_2) & -k_2 & & & & & \\ -k_2 & (k_2+k_3) & -k_3 & & & & \\ & -k_3 & (k_3+k_4) & -k_4 & & & \\ & & -k_4 & (k_4+k_5) & -k_5 & & \\ & & & -k_5 & (k_5+k_6) & -k_6 & \\ & & & & -k_6 & (k_6+k_7) & -k_7 \\ & & & & & -k_7 & k_7 \end{bmatrix} \quad (2-28)$$

Cada término de la ecuación de movimiento para una estructura de un solo nivel es representado por una matriz en las ecuaciones de movimiento para la estructura de varios niveles. El orden de las matrices corresponde al número de niveles en el edificio.

Para resolver las ecuaciones ( 2-23 ) se requiere aplicar una transformación normal de coordenadas para convertir las N ecuaciones lineales acopladas en una serie de N ecuaciones desacopladas. Para resolver estas ecuaciones desacopladas debemos primeramente resolver el problema de eigenvalores:

$$([K] - \omega^2[M])\{\hat{u}\} = \{0\} \quad (2-29)$$

a fin de obtener las formas modales requeridas  $\phi_n$  (  $n = 1, 2, \dots, N$  ) y las frecuencias correspondientes  $\omega_n$ . Los porcentajes de amortiguamiento  $\xi_n$  se estiman de manera experimental. Esta ecuación es una forma de expresar lo que se llama problema de eigenvalores o de valores característicos.

Para una solución no trivial, se requiere que el determinante de los coeficientes del vector desconocido  $\{\hat{u}\}$  sea igual a cero, esto es,

$$[K] - \omega^2[M] = 0 \quad (2-30)$$

la cual es llamada ecuación de frecuencias del sistema. La expansión del determinante dará las ecuaciones algebraicas de los siete grados de libertad en el parámetros de frecuencias  $\omega^2$  para el sistema considerado. Las siete raíces de esta ecuación ( $\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_7^2$ ) representan las frecuencias de los siete modos de vibrar que son posibles en el sistema. El modo que tiene la menor frecuencia es llamado primer modo, la siguiente frecuencia mayor es el segundo modo, etc. El vector de todos los modos de vibrar, ordenados en secuencia, se llama vector de frecuencias  $\omega$ :

$$\{\omega\} = \begin{Bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \dots \\ \omega_7 \end{Bmatrix} \quad (2-31)$$



La respuesta total del sistema de varios grados de libertad debe ahora obtenerse resolviendo las  $N$  ecuaciones modales desacopladas y superponiendo sus efectos.

Para matrices de masa y rigidez reales, simétricas y positivas definidas de un sistema estructural estable, todas las raíces de las ecuaciones de frecuencias serán reales y positivas.

### 2.3.1.2 MOVIMIENTO EN LOS APOYOS

Los esfuerzos y deflexiones dinámicas pueden inducirse en la estructura no solo por la acción de una fuerza externa  $p(t)$ , sino también por el movimiento en los apoyos. Un ejemplo de este tipo de excitación es el movimiento de la cimentación del edificio producido por un sismo ( figura 2.5 ).

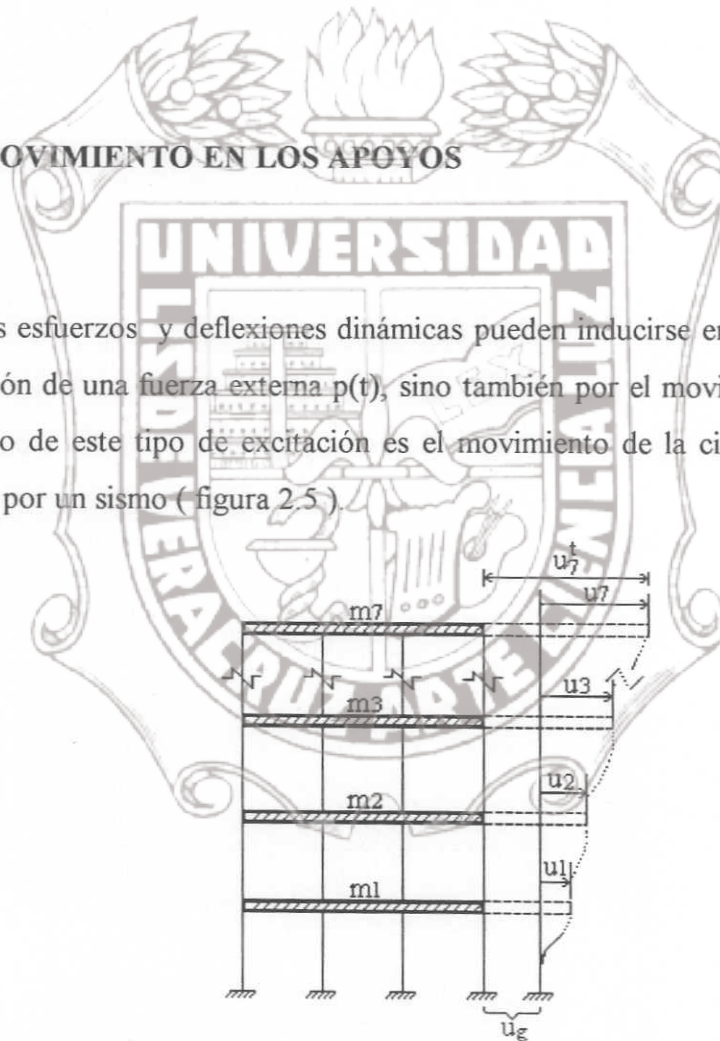


Figura 2.5

El movimiento horizontal del suelo causado por esta excitación se manifiesta por un desplazamiento  $u_g(t)$  de la base de la estructura, relativo a un eje fijo de referencia.

Si llamamos  $u_j(t)$  a los desplazamientos relativos, entonces los desplazamientos absolutos para cada nivel son:

$$\begin{aligned} u_1'(t) &= u_g(t) + u_1(t) \\ u_2'(t) &= u_g(t) + u_2(t) \end{aligned} \quad (2-32)$$

$$\dots\dots\dots$$

$$u_7'(t) = u_g(t) + u_7(t)$$

Las ecuaciones de equilibrio dinámico son las mismas que las ( 2-1 ) igualadas a cero ya que ahora no existen fuerzas externas.

Las fuerzas elásticas dependen solo de los desplazamientos relativos, las fuerzas de amortiguamiento dependen solo de las velocidades relativas y las fuerzas de inercia dependen de las aceleraciones absolutas, entonces:

$$\begin{aligned} f_{11} &= m_1 u_1'(t) = m_1 (\ddot{u}_g + \ddot{u}_1) \\ f_{12} &= m_2 u_2'(t) = m_2 (\ddot{u}_g + \ddot{u}_2) \\ \dots\dots\dots \\ f_{17} &= m_7 u_7'(t) = m_7 (\ddot{u}_g + \ddot{u}_7) \end{aligned} \quad (2-33)$$

Por lo tanto, las ecuaciones de equilibrio dinámico pueden expresarse como las ecuaciones ( 2-23 ) cambiando únicamente el miembro derecho de éstas por  $-m_j \ddot{u}_g(t)$ .

Estas ecuaciones rigen el movimiento definido por los desplazamientos  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$ , ...,  $u_7(t)$  de una estructura de siete niveles sujeta a una excitación  $\ddot{u}_g(t)$  producida por la componente horizontal del sismo.

En notación matricial pueden escribirse como:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{1\}\{\ddot{u}_g(t)\} \quad (2-34)$$

donde  $\{1\}$  es un vector de siete elementos ambos iguales a la unidad.

La respuesta  $\{u(t)\}$  de la estructura a una aceleración del terreno  $\ddot{u}_g(t)$  será idéntica a la respuesta de la estructura sobre base fija sujeta a fuerzas externas iguales a masas de piso veces por la aceleración del terreno, actuando opuesta al sentido de esta aceleración. El movimiento del suelo puede entonces remplazarse por fuerzas efectivas iguales a  $-m_j\ddot{u}_g(t)$ ,  $j = 1, 2, \dots, 7$ .

En la figura 2.6 podemos observar la forma en que se aplican estas fuerzas efectivas en los respectivos niveles.

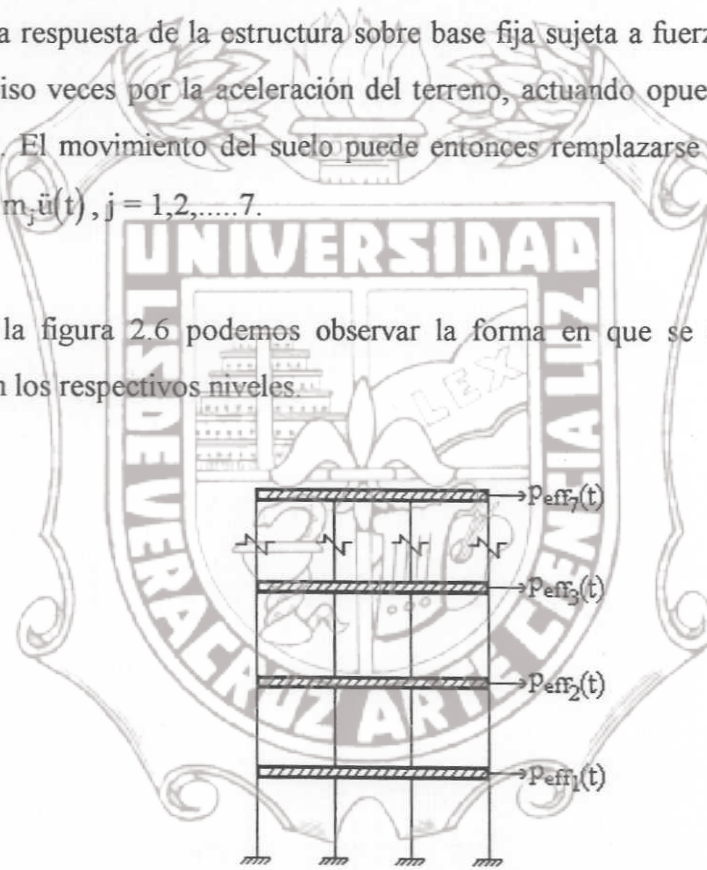


Figura 2.6

Esta fuerza efectiva ( $p_{eff j}(t)$ ) denota la carga de excitación efectiva de los soportes, en otras palabras, las deformaciones estructurales causadas por una aceleración del suelo  $\ddot{u}_g(t)$  son exactamente las mismas que aquellas que se producirían por una carga externa  $p(t)$  igual a  $-m_j\ddot{u}_g(t) = p_{eff}(t)$ .

El signo negativo en esta carga efectiva indica que la fuerza se opone al sentido del movimiento del suelo, dado que la estructura sufre oscilaciones. En la práctica esto tiene poco significado puesto que nosotros como ingenieros estamos interesados únicamente en el máximo valor absoluto de  $u(t)$ .

Dadas la matrices de masas  $[M]$ , de rigidez  $[K]$ , de amortiguamiento  $[C]$  y las fuerzas de excitación  $\{p(t)\}$  o aceleración del suelo  $\ddot{u}_g(t)$ , un problema fundamental en Dinámica Estructural es determinar la respuesta  $\{u(t)\}$  de la estructura. Las fuerzas internas y otras cantidades de interés pueden determinarse posteriormente a partir de esta respuesta.

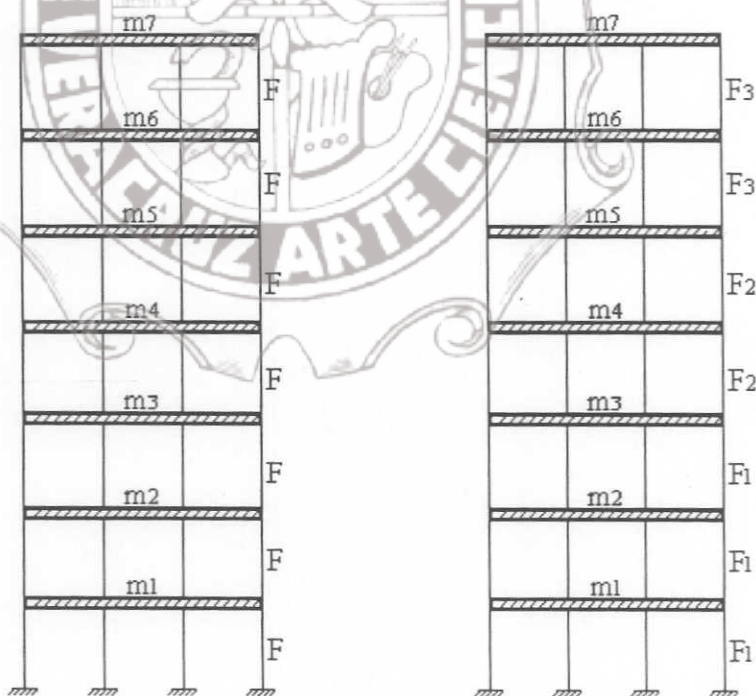


## CAPÍTULO III

## IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS EN SISTEMAS NO LINEALES

## 3.1 MODELO ESTRUCTURAL E IDENTIFICACIÓN DE PARÁMETROS EN SISTEMAS NO LINEALES

Trataremos en este capítulo con dos estructuras de siete niveles idealizadas con traveses rígidas; estudiaremos su comportamiento durante la simulación que se realizará para identificar los parámetros relacionados en los modelos de fuerza correspondientes. En las figuras 3.1 y 3.2 se muestran tales estructuras y se señalan los niveles donde se aplican las fuerzas mencionadas.



FIGS. 3.1 Y 3.2

MODELOS ESTRUCTURALES

Para fuerzas sísmicas, la ecuación general de movimiento para un sistema no lineal se obtiene a partir de la Segunda Ley de Newton:

$$[M]\{\ddot{u}\} + F(u, \dot{u}, c) = [M]\{\ddot{u}\}g \quad (3-1)$$

donde  $g$  es la aceleración de la gravedad ( igual a  $981 \text{ cm/seg}^2$  ).

### 3.1.1 ESTRUCTURA CON UN SOLO MODELO DE FUERZA

Mediante una generalización de la ecuación ( 3-1 ) obtenemos las ecuaciones de movimiento para cada uno de los siete niveles cuando se considera un solo modelo de fuerza actuando en la estructura.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{u}_1 + F(u_1 - u_0, \dot{u}_1 - \dot{u}_0, c) - F(u_2 - u_1, \dot{u}_2 - \dot{u}_1, c) &= -m_1 \ddot{u}_g \\ m_2 \ddot{u}_2 + F(u_2 - u_1, \dot{u}_2 - \dot{u}_1, c) - F(u_3 - u_2, \dot{u}_3 - \dot{u}_2, c) &= -m_2 \ddot{u}_g \\ m_3 \ddot{u}_3 + F(u_3 - u_2, \dot{u}_3 - \dot{u}_2, c) - F(u_4 - u_3, \dot{u}_4 - \dot{u}_3, c) &= -m_3 \ddot{u}_g \\ m_4 \ddot{u}_4 + F(u_4 - u_3, \dot{u}_4 - \dot{u}_3, c) - F(u_5 - u_4, \dot{u}_5 - \dot{u}_4, c) &= -m_4 \ddot{u}_g \\ m_5 \ddot{u}_5 + F(u_5 - u_4, \dot{u}_5 - \dot{u}_4, c) - F(u_6 - u_5, \dot{u}_6 - \dot{u}_5, c) &= -m_5 \ddot{u}_g \\ m_6 \ddot{u}_6 + F(u_6 - u_5, \dot{u}_6 - \dot{u}_5, c) - F(u_7 - u_6, \dot{u}_7 - \dot{u}_6, c) &= -m_6 \ddot{u}_g \\ m_7 \ddot{u}_7 + F(u_7 - u_6, \dot{u}_7 - \dot{u}_6, c) &= -m_7 \ddot{u}_g \end{aligned} \quad (3-2)$$

El modelo de fuerza a que se hace referencia en las ecuaciones ( 3-2 ) está representado por la ecuación no lineal:

$$F = c_1 u + c_2 u^3 + c_3 \dot{u} \quad (3-3)$$

Las ecuaciones ( 3-2 ) podemos escribirlas en términos de ecuaciones diferenciales de primer orden, para ello cada una de las variables originales y sus derivadas se las asignamos a una nueva variable.

Con este proceso reducimos el orden de las derivadas y facilitamos la solución del sistema. También sabemos que las constantes son iguales para todos los pisos, de manera que las ecuaciones de movimiento simplificadas para la estructura son:

$$\dot{u}_1 = u_2$$

$$\dot{u}_2 = \ddot{u}_1 = \frac{1}{m_1}(-a_1 D_1 - a_2 D_1^3 - a_3 DD_1) + \frac{1}{m_1}(a_1 D_2 + a_2 D_2^3 + a_3 DD_2) - \ddot{u}_g$$

$$\dot{u}_3 = u_4$$

$$\dot{u}_4 = \ddot{u}_3 = \frac{1}{m_2}(-a_1 D_2 - a_2 D_2^3 - a_3 DD_2) + \frac{1}{m_2}(a_1 D_3 + a_2 D_3^3 + a_3 DD_3) - \ddot{u}_g$$

$$\dot{u}_5 = u_6$$

$$\dot{u}_6 = \ddot{u}_5 = \frac{1}{m_3}(-a_1 D_3 - a_2 D_3^3 - a_3 DD_3) + \frac{1}{m_3}(a_1 D_4 + a_2 D_4^3 + a_3 DD_4) - \ddot{u}_g$$

$$\dot{u}_7 = u_8$$

$$\dot{u}_8 = \ddot{u}_7 = \frac{1}{m_4}(-a_1 D_4 - a_2 D_4^3 - a_3 DD_4) + \frac{1}{m_4}(a_1 D_5 + a_2 D_5^3 + a_3 DD_5) - \ddot{u}_g$$

$$\dot{u}_9 = u_{10}$$

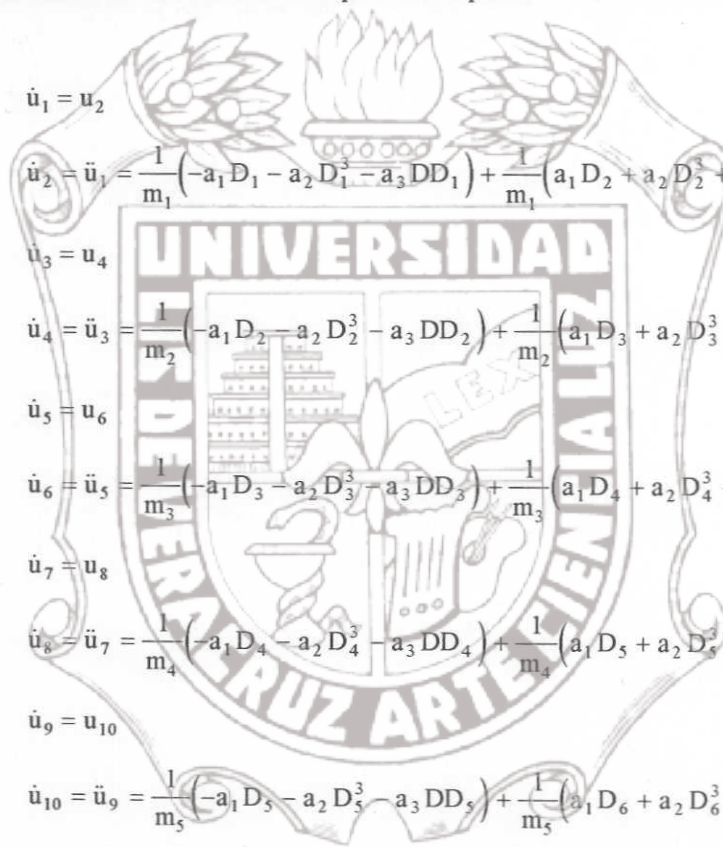
$$\dot{u}_{10} = \ddot{u}_9 = \frac{1}{m_5}(-a_1 D_5 - a_2 D_5^3 - a_3 DD_5) + \frac{1}{m_5}(a_1 D_6 + a_2 D_6^3 + a_3 DD_6) - \ddot{u}_g$$

$$\dot{u}_{11} = u_{12}$$

$$\dot{u}_{12} = \ddot{u}_{11} = \frac{1}{m_6}(-a_1 D_6 - a_2 D_6^3 - a_3 DD_6) + \frac{1}{m_6}(a_1 D_7 + a_2 D_7^3 + a_3 DD_7) - \ddot{u}_g$$

$$\dot{u}_{13} = u_{14}$$

$$\dot{u}_{14} = \ddot{u}_{13} = \frac{1}{m_7}(-a_1 D_7 - a_2 D_7^3 - a_3 DD_7) - \ddot{u}_g$$



Definiendo  $D_j$  como las diferencias relativas entre desplazamientos y  $DD_j$  como las diferencias relativas entre las velocidades se tiene:

diferencias entre desplazamientos

diferencias entre velocidades

$$D_1 = u_1 - u_0$$

$$DD_1 = \dot{u}_1 - \dot{u}_0$$

$$D_2 = u_2 - u_1$$

$$DD_2 = \dot{u}_2 - \dot{u}_1$$

$$D_3 = u_3 - u_2$$

$$DD_3 = \dot{u}_3 - \dot{u}_2$$

$$D_4 = u_4 - u_3$$

$$DD_4 = \dot{u}_4 - \dot{u}_3$$

$$D_5 = u_5 - u_4$$

$$DD_5 = \dot{u}_5 - \dot{u}_4$$

$$D_6 = u_6 - u_5$$

$$DD_6 = \dot{u}_6 - \dot{u}_5$$

$$D_7 = u_7 - u_6$$

$$DD_7 = \dot{u}_7 - \dot{u}_6$$

### 3.1.2 ESTRUCTURA CON TRES MODELOS DE FUERZA DIFERENTES

Aplicando nuevamente la ecuación ( 3-1 ), las ecuaciones generalizadas para esta nueva estructura son:

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{u}_1 + F_1(u_1 - u_0, \dot{u}_1 - \dot{u}_0, c) - F_1(u_2 - u_1, \dot{u}_2 - \dot{u}_1, c) &= -m_1 \ddot{u}_g \\
 m_2 \ddot{u}_2 + F_1(u_2 - u_1, \dot{u}_2 - \dot{u}_1, c) - F_1(u_3 - u_2, \dot{u}_3 - \dot{u}_2, c) &= -m_2 \ddot{u}_g \\
 m_3 \ddot{u}_3 + F_1(u_3 - u_2, \dot{u}_3 - \dot{u}_2, c) - F_2(u_4 - u_3, \dot{u}_4 - \dot{u}_3, c) &= -m_3 \ddot{u}_g \\
 m_4 \ddot{u}_4 + F_2(u_4 - u_3, \dot{u}_4 - \dot{u}_3, c) - F_2(u_5 - u_4, \dot{u}_5 - \dot{u}_4, c) &= -m_4 \ddot{u}_g \quad (3-4) \\
 m_5 \ddot{u}_5 + F_2(u_5 - u_4, \dot{u}_5 - \dot{u}_4, c) - F_3(u_6 - u_5, \dot{u}_6 - \dot{u}_5, c) &= -m_5 \ddot{u}_g \\
 m_6 \ddot{u}_6 + F_3(u_6 - u_5, \dot{u}_6 - \dot{u}_5, c) - F_3(u_7 - u_6, \dot{u}_7 - \dot{u}_6, c) &= -m_6 \ddot{u}_g \\
 m_7 \ddot{u}_7 + F_3(u_7 - u_6, \dot{u}_7 - \dot{u}_6, c) &= -m_7 \ddot{u}_g
 \end{aligned}$$

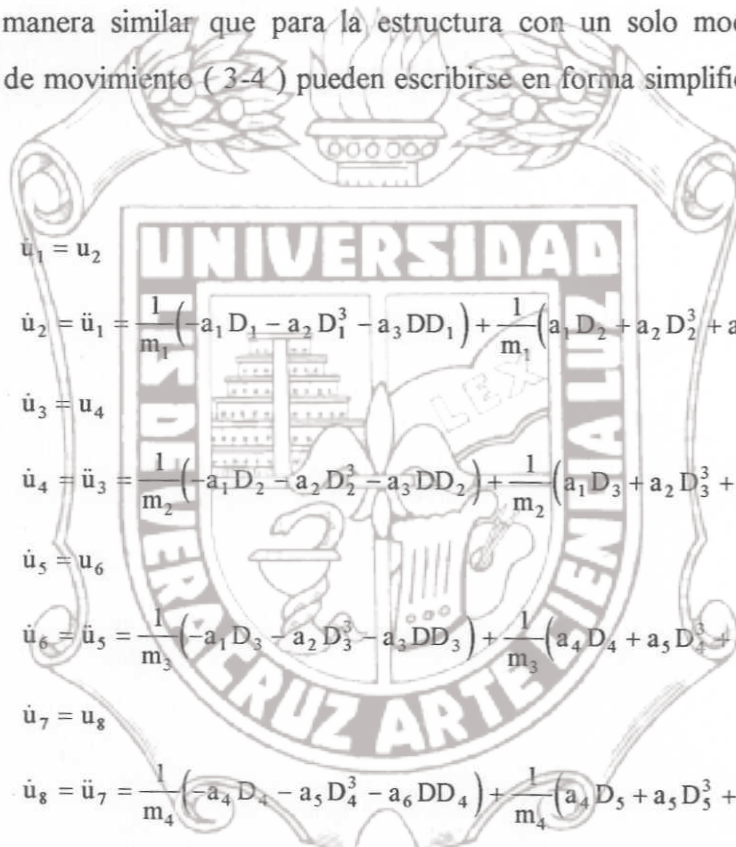


Observamos que existen ahora tres modelos de fuerza diferentes actuando en la estructura ( ver figura 3.2 ). Estas fuerzas son de carácter no lineal y están definidas como:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= c_1 u + c_2 u^3 + c_3 \dot{u} \\
 F_2 &= c_4 u + c_5 u^3 + c_6 \dot{u} \\
 F_3 &= c_7 u + c_8 u^3 + c_9 \dot{u}
 \end{aligned}
 \tag{3-5}$$

De manera similar que para la estructura con un solo modelo de fuerza, las ecuaciones de movimiento ( 3-4 ) pueden escribirse en forma simplificada de la siguiente manera:


$$\begin{aligned}
 \dot{u}_1 &= u_2 \\
 \dot{u}_2 &= \ddot{u}_1 = \frac{1}{m_1} (-a_1 D_1 - a_2 D_1^3 - a_3 DD_1) + \frac{1}{m_1} (a_1 D_2 + a_2 D_2^3 + a_3 DD_2) - \ddot{u}_g \\
 \dot{u}_3 &= u_4 \\
 \dot{u}_4 &= \ddot{u}_3 = \frac{1}{m_2} (-a_1 D_2 - a_2 D_2^3 - a_3 DD_2) + \frac{1}{m_2} (a_1 D_3 + a_2 D_3^3 + a_3 DD_3) - \ddot{u}_g \\
 \dot{u}_5 &= u_6 \\
 \dot{u}_6 &= \ddot{u}_5 = \frac{1}{m_3} (-a_1 D_3 - a_2 D_3^3 - a_3 DD_3) + \frac{1}{m_3} (a_4 D_4 + a_5 D_4^3 + a_6 DD_4) - \ddot{u}_g \\
 \dot{u}_7 &= u_8 \\
 \dot{u}_8 &= \ddot{u}_7 = \frac{1}{m_4} (-a_4 D_4 - a_5 D_4^3 - a_6 DD_4) + \frac{1}{m_4} (a_4 D_5 + a_5 D_5^3 + a_6 DD_5) - \ddot{u}_g \\
 \dot{u}_9 &= u_{10} \\
 \dot{u}_{10} &= \ddot{u}_9 = \frac{1}{m_5} (-a_4 D_5 - a_5 D_5^3 - a_6 DD_5) + \frac{1}{m_5} (a_7 D_6 + a_8 D_6^3 + a_9 DD_6) - \ddot{u}_g \\
 \dot{u}_{11} &= u_{12} \\
 \dot{u}_{12} &= \ddot{u}_{11} = \frac{1}{m_6} (-a_7 D_6 - a_8 D_6^3 - a_9 DD_6) + \frac{1}{m_6} (a_7 D_7 + a_8 D_7^3 + a_9 DD_7) - \ddot{u}_g \\
 \dot{u}_{13} &= u_{14} \\
 \dot{u}_{14} &= \ddot{u}_{13} = \frac{1}{m_7} (-a_7 D_7 - a_8 D_7^3 - a_9 DD_7) - \ddot{u}_g
 \end{aligned}$$



### 3.2 EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

La experimentación numérica se realiza mediante un programa de computadora que simula el comportamiento de una estructura ante la acción de un sismo.

Como punto de partida para la simulación se requiere conocer los valores reales de los parámetros, de manera que podamos comparar nuestro modelo experimental con un hecho real. Los parámetros reales son entonces:



$c_1 = 25$	$c_4 = 20$	$c_7 = 15$
$c_2 = 2.5$	$c_5 = 2.0$	$c_8 = 1.8$
$c_3 = 1.0$	$c_6 = 1.0$	$c_9 = 1.0$

Los valores de los parámetros estimados, necesarios para efectuar la simulación son los siguientes:

$a_1 = 15$	$a_4 = 10$	$a_7 = 10$
$a_2 = 0.0$	$a_5 = 0.0$	$a_8 = 0.0$
$a_3 = 0.0$	$a_6 = 0.0$	$a_9 = 0.0$

La aceleración del suelo se considera como  $\ddot{u}_g = (a_{EC40})g$ , donde  $a_{EC40}$  corresponde a las aceleraciones registradas durante el sismo de El Centro, California del 18 de Mayo de 1940.

En la figura 3.3 se muestra en forma esquemática una comparación entre las respuestas obtenidas cuando se consideran como datos de entrada las aceleraciones del suelo, los parámetros reales de la estructura y sus respectivas masas y cuando solamente se cambia a los datos anteriores los parámetros reales por parámetros supuestos.

Con lo anterior se entiende que la simulación no puede realizarse sin que se tenga un punto de comparación con una situación real, tal y como se observa en la figura siguiente.

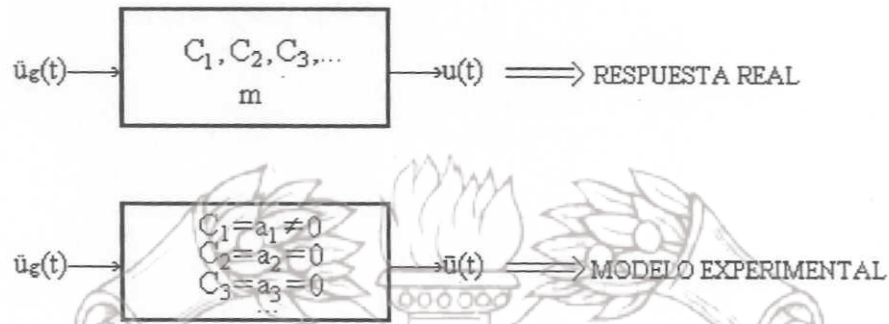


Fig. 3.3

### 3.2.1 ESTRUCTURA CON UN SOLO MODELO DE FUERZA

Los resultados obtenidos mediante simulación, para la estructura de siete niveles con un solo modelo de fuerza, se muestran en la tabla 1; donde en la primera columna se señala en qué nivel han sido colocados los instrumentos que miden los desplazamientos y aceleraciones de la estructura cuando se presenta el sismo, en la segunda los valores de los parámetros identificados y en la tercera el error que se tiene con respecto a los valores reales.

**TABLA 1 ESTRUCTURA CON UN SOLO MODELO DE FUERZA**

NIVEL OBSERVADO	SIMULADO C1, C2, C3	ERROR %
--------------------	------------------------	------------

	24.855	0.58
1	2.552	2.08
	1.029	2.90
	24.993	0.03
1, 2	2.501	0.02
	1.000	0.00
	25.002	0.00
1, 2, 3	2.500	0.00
	1.000	0.01
	24.996	0.02
1, 2, 3, 4	2.503	0.10
	1.000	0.01
	24.999	0.00
1, 2, 3, 4, 5	2.500	0.02
	1.000	0.02
	24.999	0.00
1, 2, 3, 4, 5, 6	2.500	0.00
	1.000	0.03
	24.999	0.00
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	2.500	0.00
	1.000	0.02
	24.999	0.00
2, 3, 4, 5, 6, 7	2.500	0.00
	1.000	0.00

Instituto de Ingeniería  
 Universidad Veracruzana

	25.002	0.00
3, 4, 5, 6, 7	2.500	0.00
	1.000	0.00
	24.993	0.03
4, 5, 6, 7	2.500	0.00
	1.000	0.02
	24.999	0.00
5, 6, 7	2.500	0.00
	1.000	0.02
	25.008	0.03
6, 7	2.500	0.00
	1.001	0.05
	24.971	0.12
7*	2.501	0.03
	1.001	0.06
	24.997	0.01
2, 3, 4, 5, 6	2.501	0.03
	1.000	0.02
	25.004	0.02
3, 4, 5	2.500	0.00
	0.998	0.16
	25.010	0.04
4	2.499	0.05
	0.999	0.08

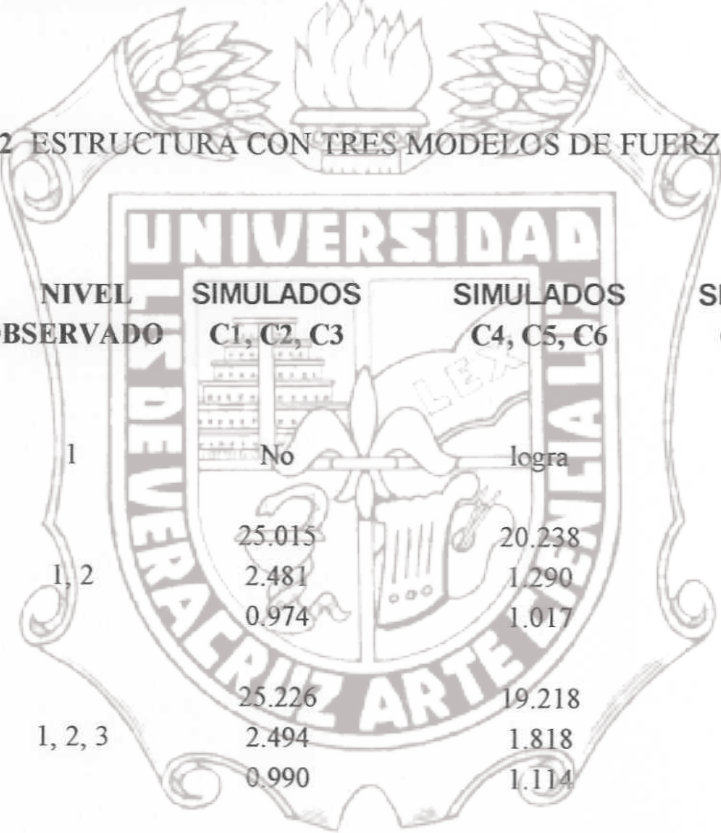
\* Resultados obtenidos a los 16 segundos.

## 3.2.2 ESTRUCTURA CON TRES MODELOS DE FUERZA DIFERENTES

Para la estructura de siete niveles con tres modelos de fuerza diferentes, la identificación de los nueve parámetros se resumen en la tabla 2, donde se muestra en la primera columna el nivel que se está observando, y en las posteriores el valor de los parámetros identificados.

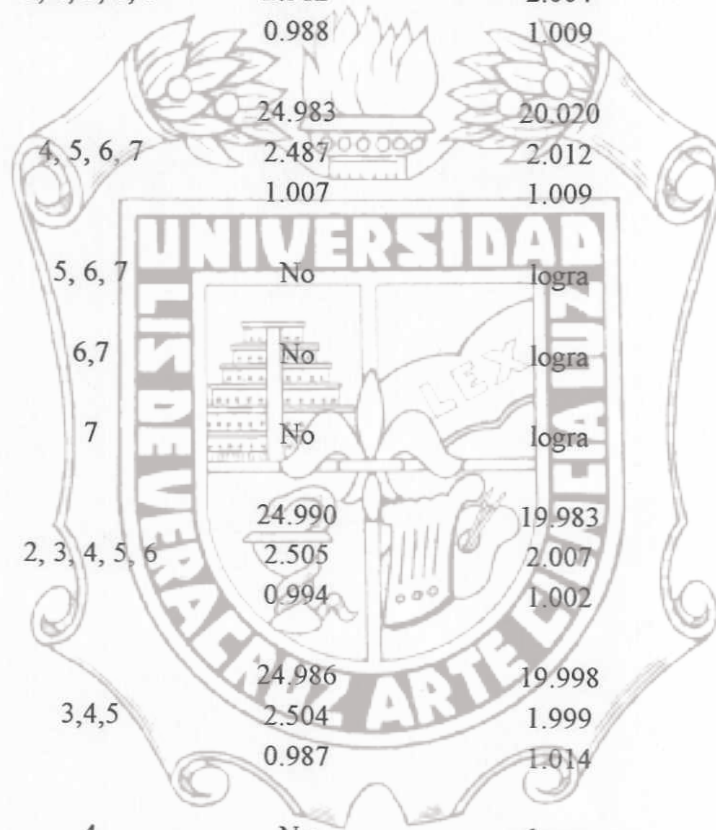
Los resultados se obtienen a los 20 segundos.

TABLA 2 ESTRUCTURA CON TRES MODELOS DE FUERZA DIFERENTES

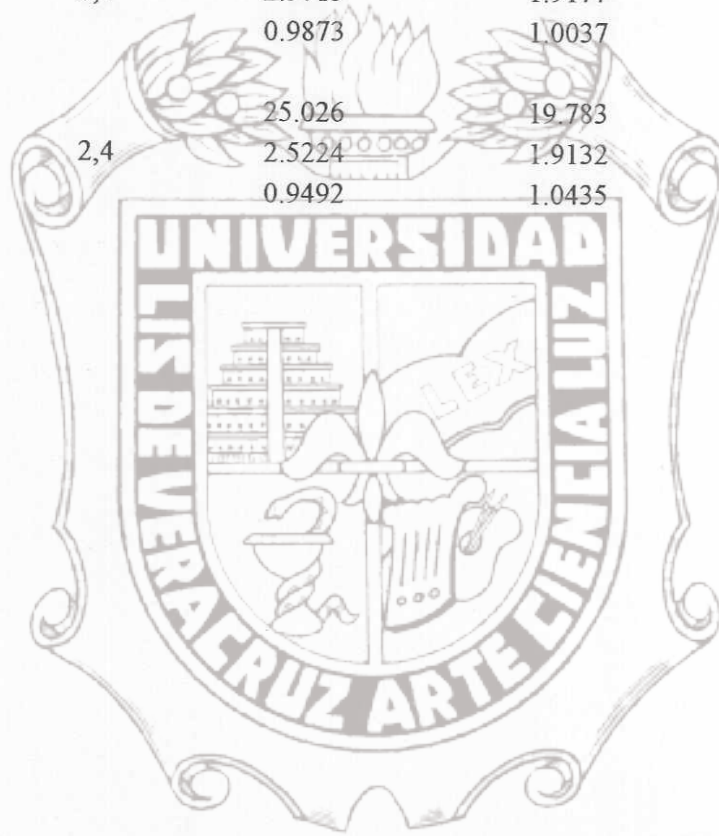


NIVEL OBSERVADO	SIMULADOS C1, C2, C3	SIMULADOS C4, C5, C6	SIMULADOS C7, C8, C9
1	No	logra	identificar
1, 2	25.015 2.481 0.974	20.238 1.290 1.017	16.942 0.924 1.438
1, 2, 3	25.226 2.494 0.990	19.218 1.818 1.114	15.347 1.606 1.054
1, 2, 3, 4	25.010 2.499 0.997	19.946 2.003 1.009	14.989 1.812 0.992
1, 2, 3, 4, 5	24.989 2.502 0.997	20.011 1.998 0.998	15.024 1.787 1.007
1, 2, 3, 4, 5, 6	24.995 2.502 0.997	19.989 2.004 1.001	14.998 1.800 1.001

	24.997	19.992	15.002
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	2.502	2.001	1.800
	0.997	1.003	1.001
	24.990	19.987	15.002
2, 3, 4, 5, 6, 7	2.500	2.002	1.800
	0.994	1.003	1.002
	24.993	19.969	14.993
3, 4, 5, 6, 7	2.512	2.004	1.807
	0.988	1.009	1.001
	24.983	20.020	15.006
4, 5, 6, 7	2.487	2.012	1.797
	1.007	1.009	0.997
5, 6, 7	No	logra	identificar
6, 7	No	logra	identificar
7	No	logra	identificar
	24.990	19.983	14.994
2, 3, 4, 5, 6	2.505	2.007	1.800
	0.994	1.002	1.002
	24.986	19.998	14.959
3, 4, 5	2.504	1.999	1.795
	0.987	1.014	1.000
4	No	logra	identificar
	24.989	19.957	14.999
1, 4, 7	2.509	2.015	1.787
	0.995	0.997	1.003
2, 5, 7	No	Logra	Identificar
3, 5, 7	No	Logra	Identificar
1, 6	No	Logra	Identificar



1,4	24.854	20.115	15.153
	2.5715	1.9177	1.6788
	0.9873	1.0037	1.091
2,7	24.854	20.115	15.153
	2.5715	1.9177	1.6788
	0.9873	1.0037	1.091
3,7	24.854	20.115	15.153
	2.5715	1.9177	1.6788
	0.9873	1.0037	1.091
2,4	25.026	19.783	15.651
	2.5224	1.9132	1.223
	0.9492	1.0435	1.222





## CAPITULO IV

### CONCLUSIONES

Resulta satisfactorio y aun más motivante el hecho de comprobar que el sistema de identificación cumple con los objetivos planteados en un principio. Es decir el sistema puede usarse para considerar modelos estructurales no lineales que sirvan para simular el comportamiento de sistemas estructurales reales expuestos a la acción de fuerzas sísmicas.

El sistema de identificación se probó en dos estructuras de siete niveles, una de ellas con un solo modelo de fuerza restauradora actuando en todos sus niveles y la otra con tres modelos de fuerza diferentes actuando según se muestra en la figura 3.2 del capítulo anterior.

Para la primera estructura el proceso de simulación resultó muy efectivo, se hicieron 16 corridas, cada una de ellas con diferentes series de datos, procurando cubrir las combinaciones más comunes en que se colocarían los instrumentos en el edificio.

Para ésta estructura la identificación de los parámetros se aproxima cada vez más a los parámetros verdaderos a medida que aumentan los niveles con instrumentos de medición. En todos los casos, los parámetros se identificaron a los 10 segundos con un porcentaje de error mínimo, se estabilizaron los valores a los 15 segundos y a los 20 segundos los parámetros calculados son casi iguales a los reales.

Un caso especial se presentó cuando observamos solo el nivel 7, lo especial radica en que la identificación se logró a lo 10 segundos y los valores se estabilizan a los 16 segundos, después de este tiempo los valores pierden interés para nuestro estudio ya que el proceso de identificación parece perderse por tener pocos niveles con datos observados.

Para la estructura con tres modelos de fuerza diferentes, la identificación de los parámetros se complica significativamente.

Cuando observamos solo el nivel 1 no se logra identificar ningún parámetro, ya que son tres los modelos de fuerzas que se relacionan en el sistema de ecuaciones y que resuelve el sistema de identificación; sucede lo mismo cuando observamos los niveles 5,6 y 7 aquí se relacionan dos modelos de fuerza pero los datos observados están muy alejados de la aplicación de las fuerzas sísmicas; y de la misma manera cuando observamos solo los niveles 6 y 7; también al observar únicamente el nivel 7; o cuando se colocan instrumentos de medición únicamente en el nivel 4. Para el caso en que se colocan instrumentos de medición en los niveles 1, 4 y 7 la identificación es un éxito y puede comprobarse que la interrelación de los tres modelos de fuerzas satisfacen el sistema de ecuaciones.

Cuando se consideran como niveles observados el 1 y 4; 2 y 7; 3 y 7, se obtuvieron resultados idénticos, también se logró la identificación cuando observamos los desplazamientos y velocidades en los niveles 2 y 4, aunque no con mucha precisión en los parámetros C8 y C9.

No se tuvieron buenos resultados cuando la simulación se realizó considerando los niveles 2,5 y 7; 3,5 y 7; y por último los niveles 1 y 6.

Para los demás casos presentados la identificación toma una buena aproximación a los 15 segundos, siendo los valores estables a los 20 segundos.

La conclusión a este hecho es de esperarse, ya que no es posible que el sistema de identificación sea igualmente efectivo para cuando la estructura tiene una sola función restauradora en todos sus niveles que para cuando las funciones restauradoras que rigen en los niveles de la otra estructura son diferentes. Esto se debe a que el sistema de identificación pierde la relación entre una función y otra y resulta difícil que exista la convergencia.

Este resultado nos permite continuar el estudio de las estructuras en un futuro próximo, de tal forma que podamos abarcar la mayor cantidad de modelos tomando en cuenta las estructuras ya existentes o de las que estén en proceso de diseño.

Debido a su situación geográfica y a la proximidad a una de las zonas de más alto riesgo sísmico del país ( Costa del pacífico mexicano ), la Ciudad de México representa un laboratorio natural de gran importancia para el estudio de los fenómenos sísmicos en el mundo entero. Esta ciudad ha sido escenario de sismos de magnitudes considerables, recordemos por ejemplo el más reciente de ellos, el del 19 de Septiembre de 1985.

Este fenómeno que causó muchas pérdidas tanto humanas como materiales tuvo como consecuencia la inmediata movilización de especialistas de todo el mundo, principalmente de aquellos países que tienen condiciones de riesgo sísmico similares al nuestro, para estudiar las causas del colapso de numerosas estructuras ante la acción de este fenómeno natural.

A raíz de este acontecimiento se incrementó el uso de la instrumentación en edificios de la Ciudad de México, que años atrás comenzara a implementarse pero que hubo de frenarse por el alto costo de esta nueva tecnología al servicio de la seguridad del hombre.

Los principales edificios que ahora cuentan con instrumentación son aquellos que protegen equipos de alto costo y que por lo mismo su inversión se justifica.

Por otro lado, el elevado costo de adquisición y mantenimiento de estos instrumentos es la principal causa de que muchos propietarios de edificios aun no puedan estar a la vanguardia con la nueva tecnología, pero que a final de cuentas habrán de adquirir para prevenir los accidentes que se derivan de los daños estructurales que no pueden detectarse a simple vista y que son ocasionados por los terremotos.

APÉNDICE A

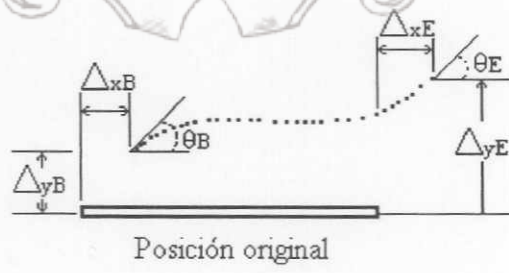
MÉTODO DE RIGIDEZ DIRECTA



(a) Elemento local



(b) Coordenadas locales de las fuerzas de extremo del miembro del marco



(c) Coordenadas locales de los grados de libertad del miembro del marco

fig. 1

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana

El método de rigidez directa proporciona una forma alternativa para plantear un método de rigidez mucho más eficaz y que puede ampliarse fácilmente para desarrollar programas de análisis estructural con propósitos generales. En lugar de plantear la representación matricial de la compatibilidad, de equilibrio y de fuerza-desplazamiento en términos de cantidades globales, dicho método se inicia formando primero estas tres relaciones matriciales a nivel del elemento o del miembro. El resultado neto de este primer paso es una matriz de rigidez del elemento que representa la condición de fuerza-desplazamiento para un elemento. La matriz de rigidez de la estructura es entonces formada "directamente" aplicando el equilibrio y la compatibilidad a la estructura como un todo.

El objetivo de este punto es definir la matriz de rigidez del elemento para un miembro de marco. Antes de proceder, deben definirse los grados de libertad para el elemento, así como las fuerzas sobre el extremo del miembro. La figura 1 ilustra las seis posibles fuerzas sobre el extremo del miembro y los desplazamientos de extremo que pueden existir sobre un miembro trabajando a flexión. Se pretende definir la matriz que relaciona el conjunto de los seis desplazamientos  $\{\Delta_e\}_L$  con las seis fuerzas  $\{F_e\}_L$ .

$$\{F_e\}_L = [K_e]_L \{\Delta_e\}_L$$

donde  $[K_e]_L$  es la matriz de rigidez del elemento (e) en las coordenadas locales (L), y

$$\{\Delta_e\}_L = \begin{Bmatrix} \theta_B \\ \Delta_{XB} \\ \Delta_{YB} \\ \theta_E \\ \Delta_{XE} \\ \Delta_{YE} \end{Bmatrix} \quad \{F_e\}_L = \begin{Bmatrix} M_B \\ F_{XB} \\ F_{YB} \\ M_E \\ F_{XE} \\ F_{YE} \end{Bmatrix}$$

Debido a que el sistema es lineal, la fuerza total sobre los extremos del miembro (provocadas por la ocurrencia simultánea de todos los desplazamientos) es sencillamente la suma de los casos individuales (superposición). Matricialmente, esto podría plantearse de manera concisa como:

$$\begin{Bmatrix} M_B \\ F_{XB} \\ F_{YB} \\ M_E \\ F_{XE} \\ F_{YE} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} \\ \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} \\ 0 & -\frac{AE}{L} & 0 & 0 & \frac{AE}{L} & 0 \\ \frac{6EI}{L^2} & 0 & -\frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_B \\ \Delta_{XB} \\ \Delta_{YB} \\ \theta_E \\ \Delta_{XE} \\ \Delta_{YE} \end{Bmatrix}$$

$$\{P_e\} = [K_e]_L \{\Delta_e\}_L$$

donde  $[K_e]_L$  es la matriz de rigidez del elemento del miembro del marco en coordenadas locales.

Instituto de Ingeniería  
 Universidad Veracruzana

APÉNDICE B

TABLA III.1

EL CENTRO, CALIFORNIA. 1940

DATOS CORRESPONDIENTES A LA COORDENADA N-S DEL SISMO OCURRIDO EN EL CENTRO, CAL., EL 18 DE MAYO DE 1940.

SE PROPORCIONA TIEMPO-ACELERACIÓN, LEYENDO LOS DATOS FILA POR FILA.

0.000	0.0108	0.042	0.0010	0.097	0.0159	0.161	-0.0001	0.221	0.0189	0.263	0.0001
0.291	0.0059	0.332	-0.0012	0.374	0.0200	0.429	-0.0237	0.471	0.0076	0.581	0.0425
0.623	0.0094	0.665	0.0138	0.720	-0.0088	0.720	-0.0256	0.789	-0.0387	0.789	-0.0568
0.872	-0.0232	0.872	-0.0343	0.941	-0.0402	0.941	-0.0603	0.997	-0.0789	1.066	-0.0666
1.066	0.0381	1.094	-0.0429	1.168	0.0897	1.315	-0.1696	1.384	-0.0828	1.412	-0.0828
1.440	-0.0945	1.481	-0.0885	1.509	-0.1080	1.537	-0.1280	1.628	0.1144	1.703	0.2355
1.800	0.1428	1.855	0.1777	1.924	-0.2610	2.007	-0.3194	2.215	0.2952	2.270	0.2634
2.320	-0.2984	2.395	0.0054	2.450	0.2865	2.519	-0.0469	2.575	0.1516	2.652	0.2077
2.708	0.1087	2.769	-0.0325	2.893	0.1033	2.976	-0.0803	3.068	0.0520	3.129	-0.1547
3.212	0.0065	3.253	-0.2060	3.386	0.1927	3.419	-0.0937	3.530	0.1708	3.599	-0.0359
3.668	0.0365	3.738	-0.0736	3.835	0.0311	3.904	-0.1833	4.014	0.0227	4.056	-0.0435
4.106	0.0216	4.222	-0.1972	4.314	-0.1762	4.416	0.1460	4.471	-0.0047	4.618	0.2572
4.665	-0.2045	4.756	0.0608	4.831	-0.2733	4.970	0.1779	5.039	0.0301	5.108	0.2183
5.199	0.0267	5.233	0.1252	5.302	0.1290	5.330	0.1089	5.343	-0.0239	5.454	0.1723
5.510	-0.1021	5.606	0.0141	5.690	-0.1949	5.773	-0.0242	5.800	-0.0050	5.809	-0.0275
5.869	-0.0573	5.883	-0.0327	5.925	0.0216	5.980	0.0108	6.013	0.0235	6.085	-0.0665
6.132	0.0014	6.174	0.0493	6.188	0.0149	6.188	-0.0200	6.229	-0.0381	6.279	0.0207
6.326	-0.0058	6.368	-0.0603	6.382	-0.0162	6.409	0.0200	6.459	-0.0176	6.478	-0.0033
6.520	0.0043	6.534	-0.0040	6.562	-0.0099	6.575	-0.0017	6.603	-0.0170	6.645	0.0373
6.686	0.0457	6.714	0.0385	6.728	0.0009	6.769	-0.0288	6.769	0.0016	6.811	0.0113
6.852	0.0022	6.908	0.0092	6.991	-0.0996	7.074	0.0360	7.121	0.0078	7.143	-0.0277
7.149	0.0026	7.171	0.0272	7.226	0.0576	7.295	-0.0492	7.370	0.0297	7.406	0.0109
7.425	0.0186	7.461	-0.0253	7.525	-0.0347	7.572	0.0036	7.600	-0.0628	7.641	-0.0280
7.669	-0.0196	7.691	0.0068	7.752	-0.0054	7.794	-0.0603	7.835	-0.0357	7.877	-0.0716
7.960	-0.0140	7.987	-0.0056	8.001	0.0222	8.070	0.0468	8.126	0.0260	8.126	-0.0335
8.195	-0.0128	8.223	0.0661	8.278	0.0305	8.334	0.0246	8.403	0.0347	8.458	-0.0369
8.533	-0.0344	8.596	-0.0104	8.638	-0.0260	8.735	0.1534	8.818	-0.0028	8.860	0.0233
8.882	-0.0261	8.915	-0.0022	8.956	-0.1849	9.053	0.1260	9.095	0.0320	9.123	0.0955
9.150	0.1246	9.253	-0.0328	9.289	-0.0451	9.427	0.1301	9.441	-0.1657	9.510	0.0419
9.635	-0.0936	9.704	0.0816	9.815	-0.0881	9.898	0.0064	9.939	-0.0006	9.995	0.0586
10.022	-0.0713	10.050	-0.0448	10.050	-0.0221	10.105	0.0093	10.105	0.0024	10.188	0.0510

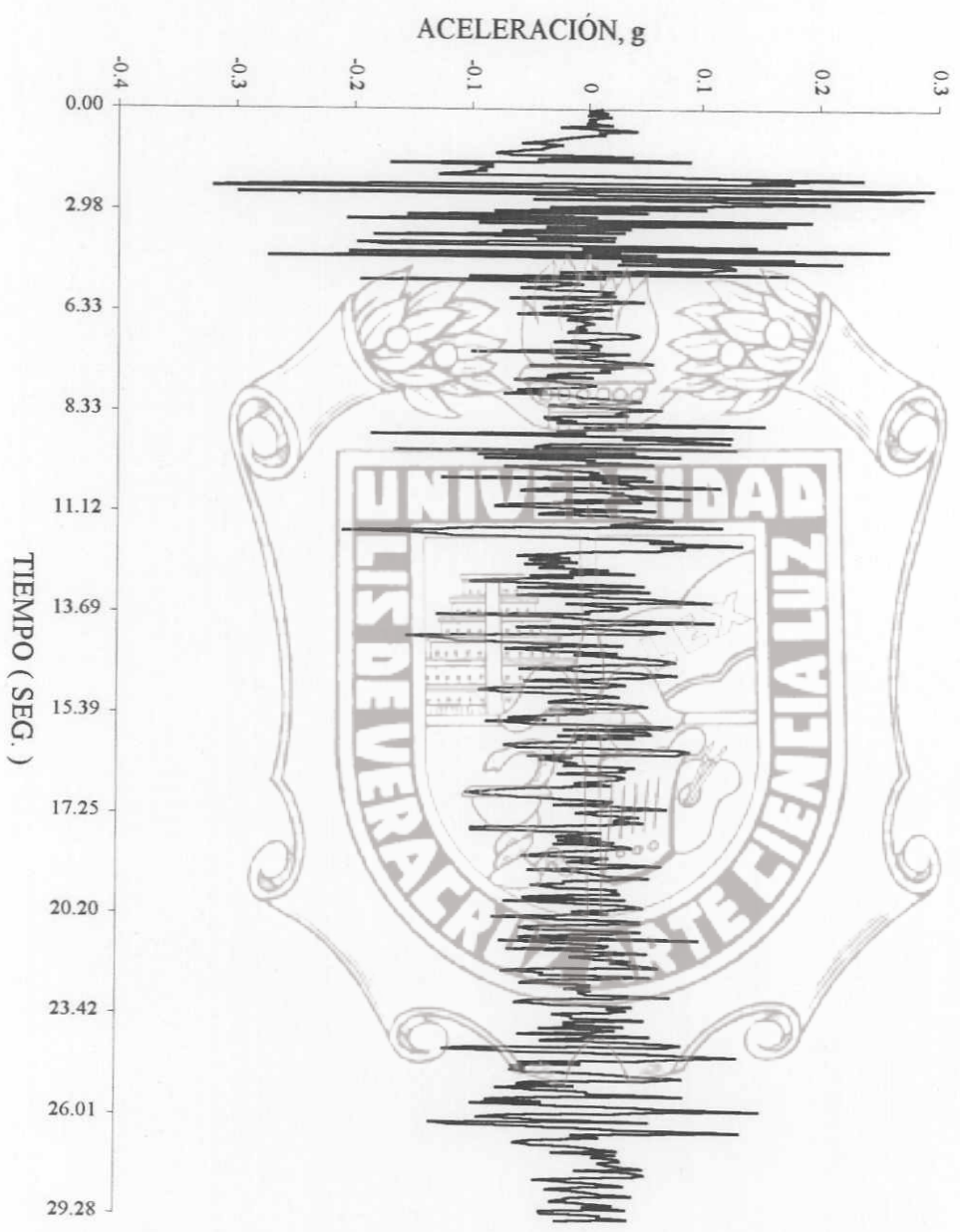
Instituto de Ingeniería y Universidad Veracruzana

10.272	-0.1243	10.382	0.0587	10.424	0.0133	10.452	0.0386	10.465	0.1164	10.507	-0.0374
10.534	-0.0572	10.645	0.0308	10.701	0.0223	10.714	0.0515	10.770	0.0903	10.839	-0.0194
10.922	0.0471	10.922	-0.0677	10.964	-0.0794	10.991	-0.0120	11.074	0.0608	11.088	-0.0269
11.116	-0.0416	11.207	0.0293	11.207	0.0552	11.227	0.0756	11.268	0.0431	11.324	0.0208
11.434	0.1180	11.573	-0.0999	11.656	-0.1247	11.725	-0.2094	11.725	-0.1418	11.780	-0.1163
11.808	0.0000	11.877	0.0762	11.919	0.0570	11.988	0.1354	12.043	0.0673	12.113	0.0865
12.168	0.0641	12.168	-0.0077	12.209	-0.0272	12.209	-0.0599	12.254	-0.0155	12.254	-0.0492
12.362	-0.0087	12.376	-0.0531	12.431	-0.0201	12.473	-0.0408	12.556	0.0183	12.625	-0.0143
12.702	0.0411	12.763	-0.0483	12.841	-0.0130	12.957	-0.0688	13.012	-0.1005	13.040	-0.0202
13.137	0.0497	13.220	-0.0591	13.234	0.0037	13.275	0.0555	13.317	-0.0008	13.331	-0.0597
13.358	0.0182	13.358	0.0704	13.414	0.1093	13.428	-0.0170	13.483	0.0082	13.525	0.0354
13.538	0.0270	13.608	-0.0014	13.622	0.0017	13.691	-0.1282	13.718	-0.0209	13.732	0.0050
13.829	0.1115	13.857	0.0432	13.912	-0.0027	13.954	-0.0595	14.004	0.0309	14.037	0.0691
14.106	0.0542	14.106	-0.0792	14.142	-0.1544	14.175	-0.1224	14.203	-0.1122	14.203	-0.0468
14.300	0.0309	14.363	-0.0323	14.363	-0.0695	14.369	-0.0325	14.438	0.0263	14.494	-0.0099
14.563	0.0289	14.563	0.0698	14.604	0.0791	14.646	0.0691	14.646	0.0043	14.687	-0.0163
14.715	-0.0571	14.771	-0.0021	14.771	0.0497	14.812	0.0801	14.826	0.0497	14.853	0.0043
14.853	-0.0530	14.909	0.0173	14.937	0.0335	14.950	0.0179	14.950	-0.0794	14.978	-0.0921
15.020	-0.0727	15.047	-0.0001	15.117	0.0281	15.144	0.0005	15.144	-0.0221	15.186	-0.0318
15.214	0.0312	15.249	0.0543	15.296	0.0359	15.310	-0.0305	15.366	0.0050	15.393	-0.0027
15.393	-0.0422	15.407	-0.0664	15.476	-0.0350	15.518	-0.0856	15.573	-0.0482	15.629	0.0770
15.670	0.0675	15.692	-0.0188	15.753	0.0537	15.781	0.0576	15.836	-0.0236	15.933	0.0420
15.961	-0.0090	16.003	-0.0090	16.016	-0.0495	16.052	-0.0702	16.080	-0.0596	16.091	0.0829
16.135	0.0913	16.155	0.0819	16.210	-0.0496	16.252	-0.0122	16.293	-0.0394	16.321	-0.0181
16.349	-0.0077	16.390	-0.0187	16.440	0.0421	16.446	0.0298	16.473	0.0344	16.501	-0.0238
16.542	0.0266	16.584	0.0335	16.625	0.0273	16.667	0.0104	16.695	-0.0092	16.750	0.0211
16.750	-0.0186	16.764	-0.0601	16.764	-0.0856	16.805	-0.1028	16.833	-0.0895	16.833	-0.0591
16.847	-0.0212	16.944	0.0228	16.971	0.0189	17.013	-0.0270	17.068	0.0406	17.138	0.0721
17.207	0.0099	17.207	-0.0077	17.235	0.0099	17.248	0.0469	17.262	0.0307	17.304	0.0249
17.359	0.0508	17.498	0.0184	17.553	-0.0249	17.553	-0.0985	17.595	-0.0985	17.733	0.0133
17.769	-0.0053	17.863	-0.0248	17.941	0.0131	17.996	-0.0228	18.107	0.0245	18.134	-0.0266
18.217	0.0329	18.231	0.0405	18.259	0.0064	18.494	-0.0236	18.550	-0.0394	18.583	-0.0547
18.702	0.0189	18.738	0.0075	18.757	-0.0153	18.785	0.0092	18.840	0.0672	18.896	0.0118
18.909	-0.0490	18.951	-0.0049	18.979	0.0067	19.042	0.0180	19.090	0.0560	19.145	0.0217
19.145	-0.0184	19.186	-0.0184	19.214	-0.0462	19.214	-0.0249	19.339	0.0270	19.380	0.0237
19.422	0.0298	19.436	-0.0241	19.463	-0.0530	19.602	-0.0349	19.671	-0.0697	19.740	-0.0090
19.851	0.0369	19.920	0.0508	20.017	0.0211	20.045	-0.0108	20.114	0.0196	20.169	-0.0244
20.197	-0.0798	20.308	-0.0256	20.377	0.0485	20.432	0.0485	20.501	-0.0255	20.501	-0.0563
20.585	-0.0472	20.668	0.0491	20.737	0.0245	20.737	-0.0214	20.751	-0.0571	20.958	0.0998
21.008	-0.0734	21.111	-0.0296	21.185	0.0202	21.221	0.0170	21.263	-0.0667	21.374	0.0003
21.498	0.0548	21.567	0.0134	21.664	-0.0124	21.747	0.0083	21.767	0.0401	21.817	0.0230
21.872	0.0486	21.941	0.0648	21.955	-0.0459	21.996	-0.0714	22.080	-0.0361	22.121	-0.0380
22.218	0.0583	22.273	0.0152	22.273	-0.0409	22.315	-0.0556	22.398	0.0045	22.453	0.0045
22.509	-0.0163	22.592	0.0050	22.642	-0.0046	22.675	0.0012	22.772	0.0752	22.791	0.0246
22.799	-0.0478	22.841	-0.0595	22.938	-0.0302	23.090	0.0411	23.132	0.0204	23.215	0.0360
23.251	0.0218	23.298	-0.0267	23.353	-0.0111	23.422	-0.0110	23.533	0.0521	23.630	-0.0173
23.685	-0.0173	23.768	0.0339	23.810	-0.0379	23.865	0.0259	23.926	0.0075	23.976	-0.0563
24.073	0.0575	24.101	-0.0020	24.142	-0.0370	24.211	0.0544	24.294	0.0849	24.322	0.0739
24.322	-0.1035	24.378	-0.1212	24.461	-0.0623	24.461	0.0812	24.544	0.1324	24.558	0.0884
24.571	0.0489	24.585	-0.0562	24.682	-0.0038	24.751	-0.0623	24.779	-0.0506	24.834	-0.0635
24.862	-0.0512	24.904	0.0168	24.987	0.0400	25.097	0.0863	25.125	0.0553	25.125	-0.0466
25.167	-0.0570	25.236	-0.0087	25.264	-0.0754	25.305	-0.0455	25.333	0.0017	25.374	0.0037



25.527	0.0864	25.554	-0.0414	25.596	-0.0841	25.651	-0.0370	25.762	-0.0969	25.845	-0.0239
25.859	0.0625	25.928	0.1520	25.928	0.0561	25.956	0.0270	25.956	-0.0656	25.970	-0.0915
26.011	-0.0444	26.108	0.0569	26.122	-0.1328	26.149	-0.1166	26.316	-0.0341	26.329	0.0254
26.426	0.1351	26.490	0.0600	26.662	-0.0100	26.786	0.0126	26.828	-0.0186	26.828	-0.0523
26.855	-0.0600	26.925	-0.0464	26.952	-0.0048	27.021	0.0107	27.091	0.0289	27.160	-0.0270
27.271	0.0278	27.326	0.0078	27.381	0.0293	27.423	0.0313	27.487	0.0132	27.506	0.0197
27.520	0.0333	27.589	0.0522	27.672	-0.0066	27.811	0.0415	27.852	0.0538	27.880	0.0435
27.921	-0.0108	28.004	-0.0424	28.052	-0.0139	28.060	0.0165	28.129	0.0350	28.198	-0.0098
28.240	-0.0318	28.337	-0.0044	28.337	0.0143	28.351	0.0425	28.392	-0.0115	28.433	-0.0173
28.447	-0.0280	28.530	0.0009	28.669	0.0253	28.724	0.0005	28.821	0.0369	28.890	-0.0374
28.960	-0.0360	29.126	0.0147	29.167	0.0134	29.278	0.0382	29.389	-0.0237	0.000	0.0000





ACELEROGRAMA

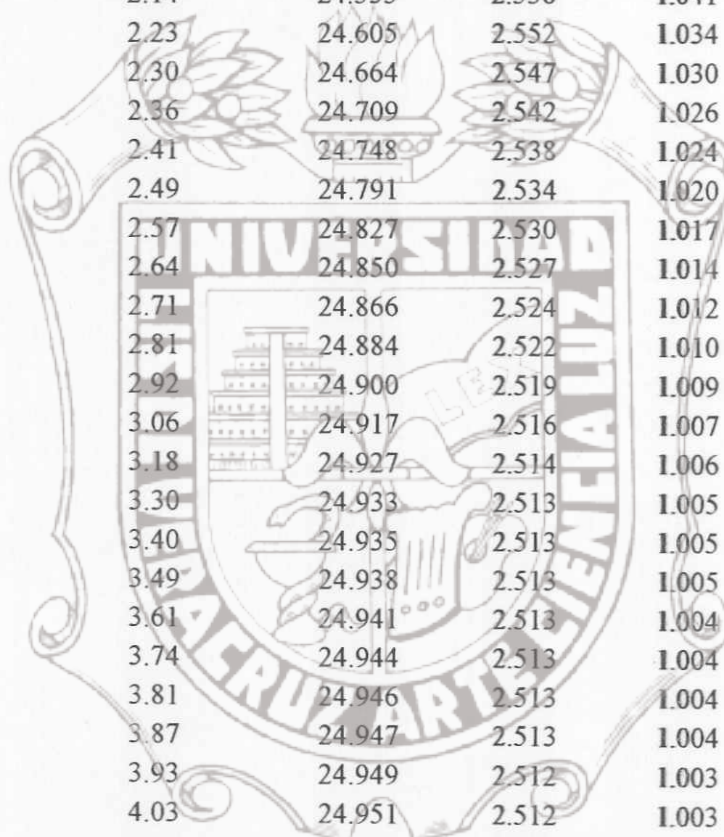
ACELEROGRAMA - EL CENTRO, CAL.

APÉNDICE C Estructura con un modelo de fuerza

Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana

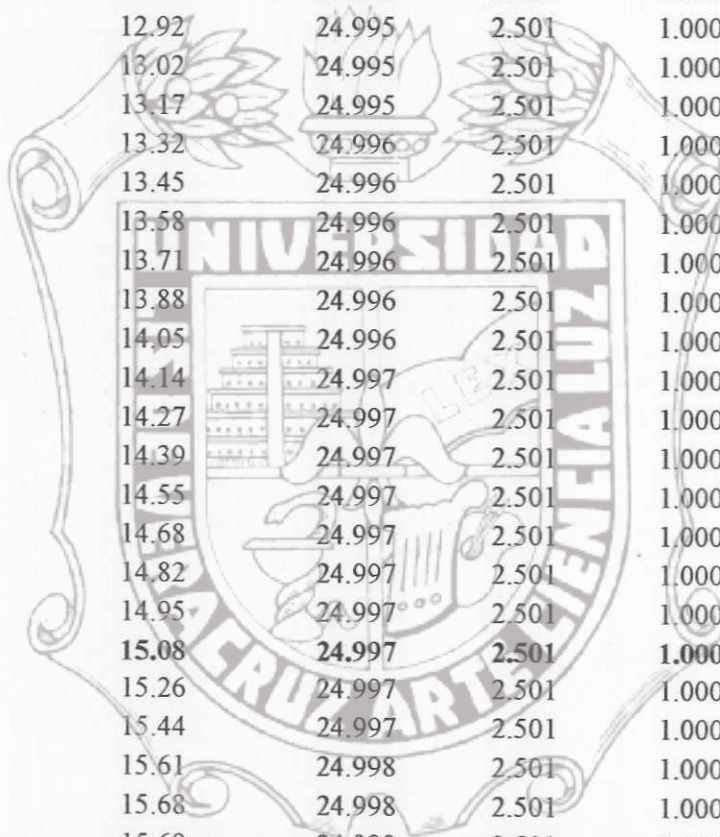
Tiempo (seg.)	PARÁMETROS IDENTIFICADOS		
	C1	C2	C3
0.00	15.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000
0.03	15.000	0.000	0.000
0.05	15.000	0.000	0.000
0.08	15.000	0.000	0.001
0.10	15.000	0.000	0.003
0.14	15.001	0.000	0.018
0.19	15.004	0.000	0.064
0.24	15.014	0.000	0.155
0.30	15.037	0.000	0.328
0.38	15.099	0.001	0.624
0.42	15.144	0.002	0.791
0.47	15.228	0.005	0.996
0.53	15.339	0.010	1.168
0.60	15.516	0.020	1.447
0.67	15.708	0.040	1.815
0.75	15.956	0.090	2.194
0.82	16.371	0.193	2.344
0.89	17.144	0.342	2.151
0.96	18.020	0.455	1.835
1.05	19.010	0.562	1.583
1.08	19.337	0.599	1.540
1.14	19.948	0.671	1.509
1.21	20.853	0.854	1.458
1.29	21.736	1.164	1.365
1.36	22.339	1.561	1.319
1.44	22.727	2.096	1.305
1.47	22.866	2.298	1.298
1.50	22.973	2.414	1.291
1.54	23.102	2.498	1.282
1.57	23.231	2.545	1.273
1.61	23.334	2.574	1.265
1.64	23.417	2.598	1.257

1.68	23.527	2.626	1.240
1.72	23.641	2.636	1.218
1.76	23.756	2.630	1.194
1.79	23.870	2.619	1.170
1.81	23.969	2.608	1.149
1.84	24.063	2.599	1.129
1.91	24.212	2.585	1.098
1.98	24.340	2.574	1.075
2.05	24.441	2.567	1.057
2.14	24.535	2.558	1.041
2.23	24.605	2.552	1.034
2.30	24.664	2.547	1.030
2.36	24.709	2.542	1.026
2.41	24.748	2.538	1.024
2.49	24.791	2.534	1.020
2.57	24.827	2.530	1.017
2.64	24.850	2.527	1.014
2.71	24.866	2.524	1.012
2.81	24.884	2.522	1.010
2.92	24.900	2.519	1.009
3.06	24.917	2.516	1.007
3.18	24.927	2.514	1.006
3.30	24.933	2.513	1.005
3.40	24.935	2.513	1.005
3.49	24.938	2.513	1.005
3.61	24.941	2.513	1.004
3.74	24.944	2.513	1.004
3.81	24.946	2.513	1.004
3.87	24.947	2.513	1.004
3.93	24.949	2.512	1.003
4.03	24.951	2.512	1.003
4.13	24.953	2.511	1.003
4.22	24.955	2.510	1.003
4.31	24.956	2.510	1.003
4.42	24.956	2.510	1.002
4.53	24.958	2.510	1.002
4.63	24.959	2.510	1.002
4.70	24.960	2.509	1.002
4.76	24.961	2.509	1.002
4.85	24.962	2.509	1.002
4.95	24.963	2.509	1.002
<b>5.06</b>	<b>24.964</b>	<b>2.509</b>	<b>1.001</b>
5.18	24.964	2.508	1.001
5.33	24.965	2.508	1.001



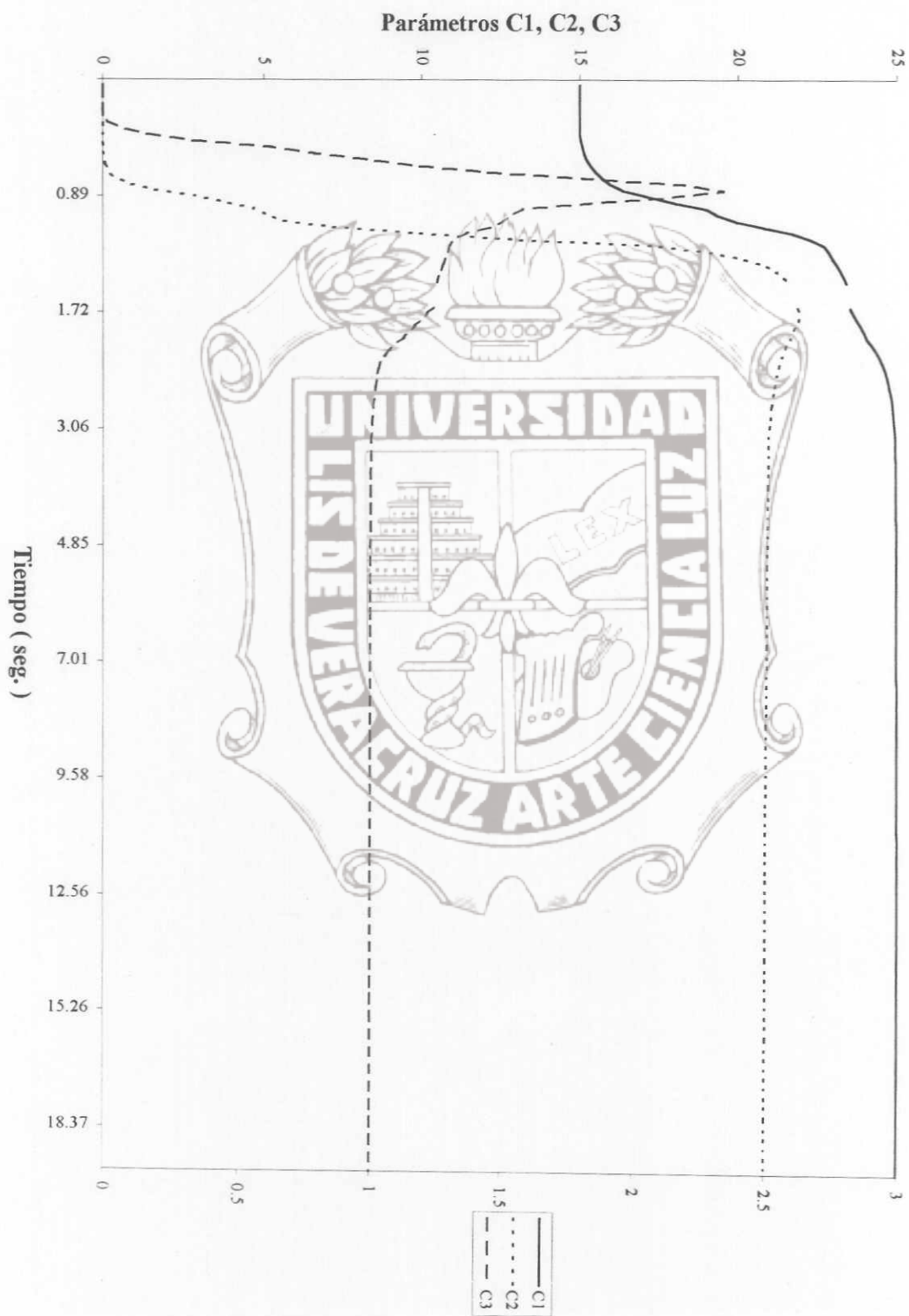
5.34	24.965	2.508	1.001
5.36	24.965	2.508	1.001
5.43	24.965	2.508	1.001
5.56	24.965	2.508	1.001
5.71	24.966	2.508	1.001
5.85	24.966	2.508	1.001
5.95	24.967	2.508	1.001
6.04	24.967	2.508	1.001
6.20	24.968	2.508	1.001
6.30	24.969	2.508	1.001
6.46	24.969	2.508	1.001
6.63	24.970	2.508	1.001
6.80	24.971	2.507	1.001
6.93	24.971	2.507	1.001
7.01	24.972	2.507	1.001
7.21	24.973	2.507	1.001
7.35	24.974	2.507	1.001
7.49	24.975	2.507	1.001
7.64	24.976	2.506	1.001
7.79	24.977	2.506	1.001
8.01	24.978	2.506	1.001
8.21	24.980	2.505	1.001
8.41	24.982	2.505	1.001
8.56	24.982	2.505	1.001
8.71	24.983	2.505	1.001
8.86	24.983	2.505	1.001
8.97	24.984	2.504	1.001
9.09	24.985	2.504	1.001
9.21	24.986	2.504	1.001
9.31	24.987	2.504	1.001
9.42	24.987	2.503	1.001
9.47	24.988	2.503	1.001
9.51	24.988	2.503	1.001
9.58	24.988	2.503	1.001
9.73	24.988	2.503	1.001
9.86	24.989	2.503	1.001
<b>10.01</b>	<b>24.990</b>	<b>2.503</b>	<b>1.001</b>
10.20	24.990	2.503	1.001
10.33	24.990	2.503	1.001
10.51	24.991	2.503	1.001
10.70	24.991	2.503	1.000
10.83	24.991	2.502	1.000
10.93	24.992	2.502	1.000
11.05	24.992	2.502	1.000

11.24	24.992	2.502	1.000
11.46	24.993	2.502	1.000
11.61	24.993	2.502	1.000
11.77	24.993	2.502	1.000
11.91	24.993	2.502	1.000
12.09	24.994	2.502	1.000
12.24	24.994	2.502	1.000
12.44	24.994	2.502	1.000
12.56	24.994	2.502	1.000
12.72	24.995	2.502	1.000
12.92	24.995	2.501	1.000
13.02	24.995	2.501	1.000
13.17	24.995	2.501	1.000
13.32	24.996	2.501	1.000
13.45	24.996	2.501	1.000
13.58	24.996	2.501	1.000
13.71	24.996	2.501	1.000
13.88	24.996	2.501	1.000
14.05	24.996	2.501	1.000
14.14	24.997	2.501	1.000
14.27	24.997	2.501	1.000
14.39	24.997	2.501	1.000
14.55	24.997	2.501	1.000
14.68	24.997	2.501	1.000
14.82	24.997	2.501	1.000
14.95	24.997	2.501	1.000
15.08	24.997	2.501	1.000
15.26	24.997	2.501	1.000
15.44	24.997	2.501	1.000
15.61	24.998	2.501	1.000
15.68	24.998	2.501	1.000
15.69	24.998	2.501	1.000
15.72	24.998	2.501	1.000
15.91	24.998	2.501	1.000
16.08	24.998	2.501	1.000
16.18	24.998	2.501	1.000
16.34	24.998	2.501	1.000
16.49	24.998	2.501	1.000
16.74	24.998	2.501	1.000
16.90	24.998	2.501	1.000
17.05	24.998	2.500	1.000
17.30	24.998	2.500	1.000
17.45	24.999	2.500	1.000
17.57	24.999	2.500	1.000



17.79	24.999	2.500	1.000
18.05	24.999	2.500	1.000
18.37	24.999	2.500	1.000
18.68	24.999	2.500	1.000
18.84	24.999	2.500	1.000
19.12	24.999	2.500	1.000
19.36	24.999	2.500	1.000
19.62	24.999	2.500	1.000
19.74	24.999	2.500	1.000
19.94	24.999	2.500	1.000







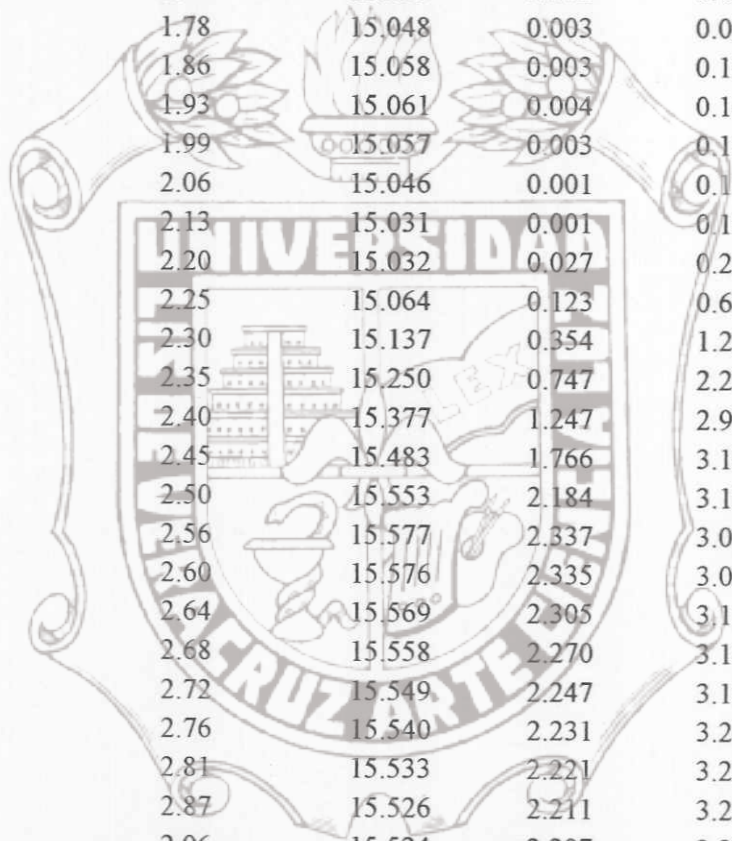
**ESTRUCTURA CON UN MODELO DE FUERZA**

Instrumentos de medición solo en en nivel 7

**PARÁMETROS IDENTIFICADOS**

Tiempo ( seg. )	C1	C2	C3
0.00	15.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000
0.02	15.000	0.000	0.000
0.03	15.000	0.000	0.000
0.04	15.000	0.000	0.000
0.06	15.000	0.000	0.000
0.07	15.000	0.000	0.000
0.09	15.000	0.000	0.000
0.11	15.000	0.000	0.000
0.13	15.000	0.000	0.000
0.16	15.000	0.000	0.000
0.19	15.000	0.000	0.000
0.22	15.000	0.000	0.000
0.26	15.000	0.000	0.000
0.30	15.000	0.000	0.000
0.34	15.000	0.000	0.000
0.39	15.000	0.000	0.000
0.44	15.000	0.000	0.000
0.49	15.000	0.000	0.000
0.54	15.000	0.000	0.000
0.59	15.000	0.000	0.000
0.65	15.000	0.000	0.000
0.72	15.000	0.000	0.000
0.78	15.000	0.000	0.000
0.85	15.000	0.000	0.000
0.92	15.000	0.000	0.000
0.98	15.000	0.000	0.000
1.06	15.000	0.000	0.000
1.07	15.000	0.000	0.000

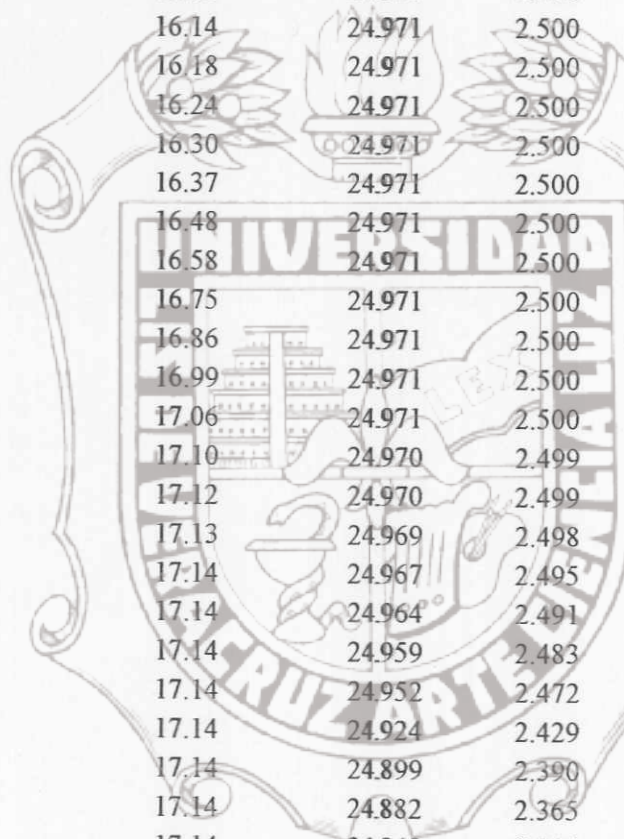
1.07	15.000	0.000	0.000
1.10	15.000	0.000	0.000
1.17	15.000	0.000	0.000
1.24	15.001	0.000	0.001
1.31	15.002	0.000	0.001
1.38	15.004	0.000	0.003
1.45	15.007	0.000	0.004
1.55	15.014	0.000	0.009
1.62	15.023	0.001	0.023
1.70	15.035	0.002	0.054
1.78	15.048	0.003	0.098
1.86	15.058	0.003	0.133
1.93	15.061	0.004	0.141
1.99	15.057	0.003	0.133
2.06	15.046	0.001	0.125
2.13	15.031	0.001	0.156
2.20	15.032	0.027	0.293
2.25	15.064	0.123	0.627
2.30	15.137	0.354	1.293
2.35	15.250	0.747	2.218
2.40	15.377	1.247	2.915
2.45	15.483	1.766	3.180
2.50	15.553	2.184	3.150
2.56	15.577	2.337	3.076
2.60	15.576	2.335	3.080
2.64	15.569	2.305	3.111
2.68	15.558	2.270	3.153
2.72	15.549	2.247	3.185
2.76	15.540	2.231	3.207
2.81	15.533	2.221	3.222
2.87	15.526	2.211	3.233
2.96	15.524	2.207	3.237
3.01	15.522	2.216	3.236
3.06	15.504	2.250	3.242
3.16	15.331	2.450	3.326
3.27	14.960	2.880	3.311
3.38	14.401	3.297	2.526
3.46	13.756	3.504	1.680
3.58	13.340	3.572	1.146
3.70	13.333	3.703	1.796
3.75	13.222	3.793	2.005
3.79	13.144	3.844	2.064
3.84	13.111	3.867	2.069
3.90	13.112	3.875	2.058



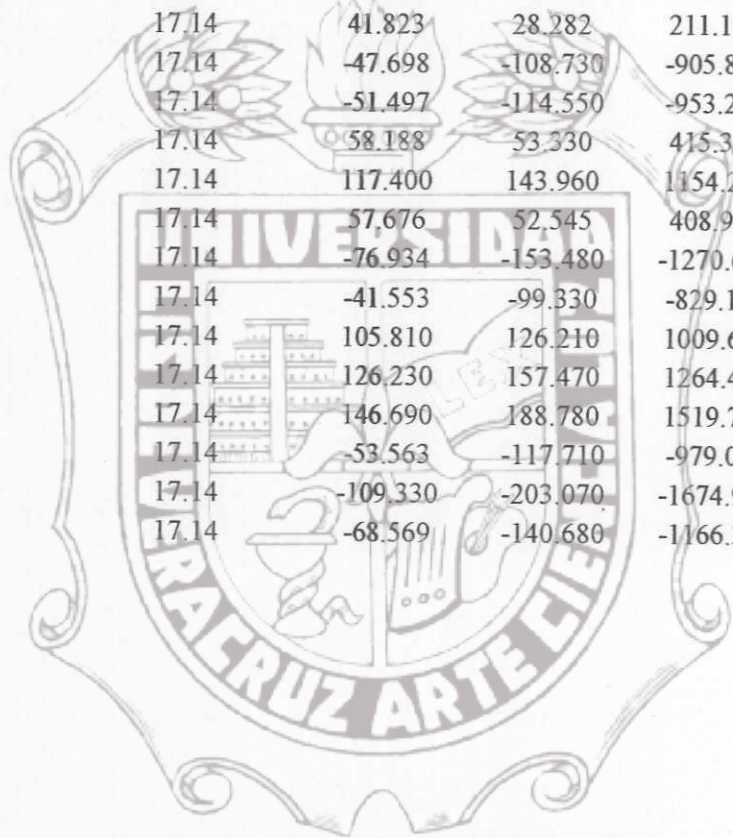
4.00	13.557	3.843	1.906
4.05	14.115	3.766	1.792
4.11	15.110	3.607	1.653
4.23	16.692	3.373	1.552
4.37	16.878	3.442	1.674
4.48	16.598	3.571	1.783
4.59	16.325	3.730	1.881
4.67	16.404	3.815	1.895
4.74	16.857	3.824	1.822
4.81	17.669	3.760	1.653
4.92	18.641	3.654	1.369
5.02	18.869	3.648	1.156
5.13	18.743	3.685	1.094
5.24	19.290	3.576	1.141
5.35	20.541	3.327	1.187
5.48	21.837	3.073	1.178
5.63	22.604	2.926	1.134
5.77	22.877	2.878	1.106
5.87	22.959	2.865	1.098
6.03	23.044	2.853	1.090
6.12	23.084	2.846	1.085
6.20	23.121	2.839	1.080
6.33	23.164	2.831	1.074
6.50	23.247	2.813	1.071
6.64	23.322	2.795	1.060
6.80	23.348	2.793	1.073
6.97	23.645	2.746	1.114
7.14	24.189	2.643	1.103
7.30	24.549	2.571	1.062
7.51	24.725	2.533	1.032
7.78	24.799	2.516	1.020
7.92	24.819	2.512	1.018
8.11	24.841	2.508	1.017
8.23	24.854	2.505	1.016
8.43	24.877	2.500	1.014
8.61	24.892	2.497	1.012
8.75	24.898	2.496	1.010
8.89	24.896	2.496	1.009
9.00	24.894	2.497	1.008
9.12	24.891	2.498	1.008
9.23	24.890	2.498	1.008
9.39	24.890	2.499	1.008
9.47	24.890	2.499	1.008
9.58	24.892	2.498	1.009

9.74	24.907	2.495	1.011
9.87	24.929	2.490	1.013
<b>10.01</b>	<b>24.956</b>	<b>2.483</b>	<b>1.014</b>
10.15	24.978	2.478	1.014
10.27	24.991	2.476	1.012
10.42	24.997	2.475	1.010
10.58	25.002	2.474	1.009
10.79	25.007	2.474	1.008
10.90	25.009	2.473	1.008
11.01	25.011	2.473	1.008
11.17	25.013	2.473	1.008
11.36	25.015	2.473	1.007
11.65	25.018	2.473	1.006
11.85	25.018	2.473	1.006
12.09	25.016	2.473	1.006
12.24	25.015	2.474	1.006
12.39	25.014	2.474	1.006
12.58	25.013	2.475	1.006
12.80	25.013	2.475	1.007
13.03	25.016	2.474	1.007
13.14	25.019	2.473	1.007
13.27	25.022	2.472	1.007
13.42	25.025	2.472	1.006
13.57	25.027	2.471	1.006
13.75	25.028	2.471	1.006
13.97	25.029	2.471	1.006
14.11	25.029	2.471	1.006
14.26	25.029	2.471	1.005
14.52	25.029	2.471	1.005
14.74	25.029	2.471	1.005
<b>15.08</b>	<b>25.028</b>	<b>2.472</b>	<b>1.006</b>
15.22	25.028	2.472	1.006
15.28	25.028	2.472	1.006
15.35	25.027	2.472	1.006
15.38	25.027	2.472	1.006
15.43	25.027	2.472	1.006
15.47	25.027	2.472	1.006
15.51	25.027	2.472	1.006
15.54	25.027	2.472	1.006
15.61	25.027	2.472	1.006
15.65	25.027	2.472	1.006
15.70	25.027	2.472	1.006
15.75	25.024	2.474	1.007
15.77	25.014	2.480	1.007

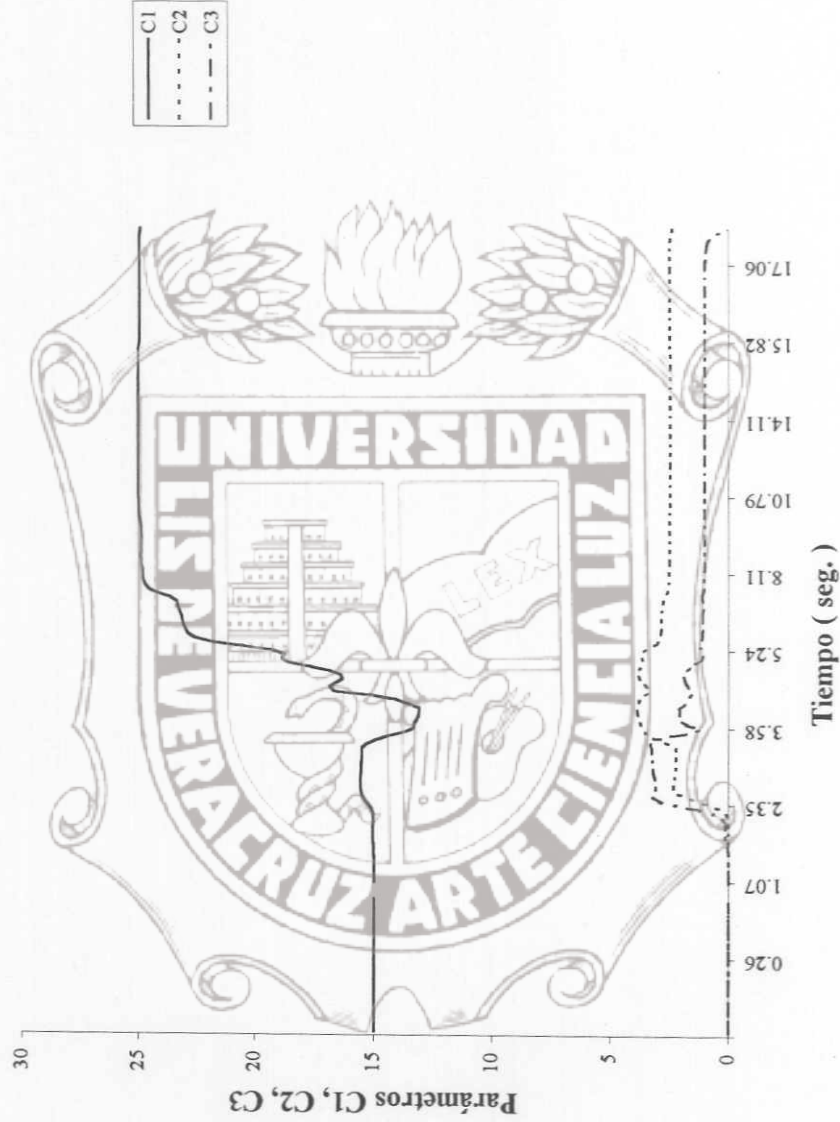
15.79	24.992	2.492	1.007
15.82	24.973	2.500	1.005
15.84	24.971	2.501	1.004
15.88	24.970	2.501	1.004
15.92	24.970	2.501	1.003
15.94	24.970	2.501	1.002
15.97	24.971	2.501	1.001
16.02	24.971	2.501	0.999
<b>16.05</b>	<b>24.971</b>	<b>2.500</b>	<b>0.999</b>
16.10	24.971	2.500	0.998
16.14	24.971	2.500	0.998
16.18	24.971	2.500	0.998
16.24	24.971	2.500	0.998
16.30	24.971	2.500	0.998
16.37	24.971	2.500	0.997
16.48	24.971	2.500	0.996
16.58	24.971	2.500	0.996
16.75	24.971	2.500	0.996
16.86	24.971	2.500	0.996
16.99	24.971	2.500	0.995
17.06	24.971	2.500	0.994
17.10	24.970	2.499	0.989
17.12	24.970	2.499	0.984
17.13	24.969	2.498	0.975
17.14	24.967	2.495	0.949
17.14	24.964	2.491	0.917
17.14	24.959	2.483	0.854
17.14	24.952	2.472	0.763
17.14	24.924	2.429	0.411
17.14	24.899	2.390	0.100
17.14	24.882	2.365	-0.111
17.14	24.842	2.304	-0.606
17.14	24.769	2.191	-1.524
17.14	24.506	1.788	-4.808
17.14	24.265	1.420	-7.813
17.14	24.104	1.174	-9.821
17.14	23.762	0.649	-14.093
17.14	22.813	-0.802	-25.928
17.14	19.985	-5.132	-61.222
17.14	17.471	-8.980	-92.595
17.14	14.586	-13.397	-128.600
17.14	10.138	-20.206	-184.110
17.14	11.482	-18.151	-167.360
17.14	20.022	-5.080	-60.794



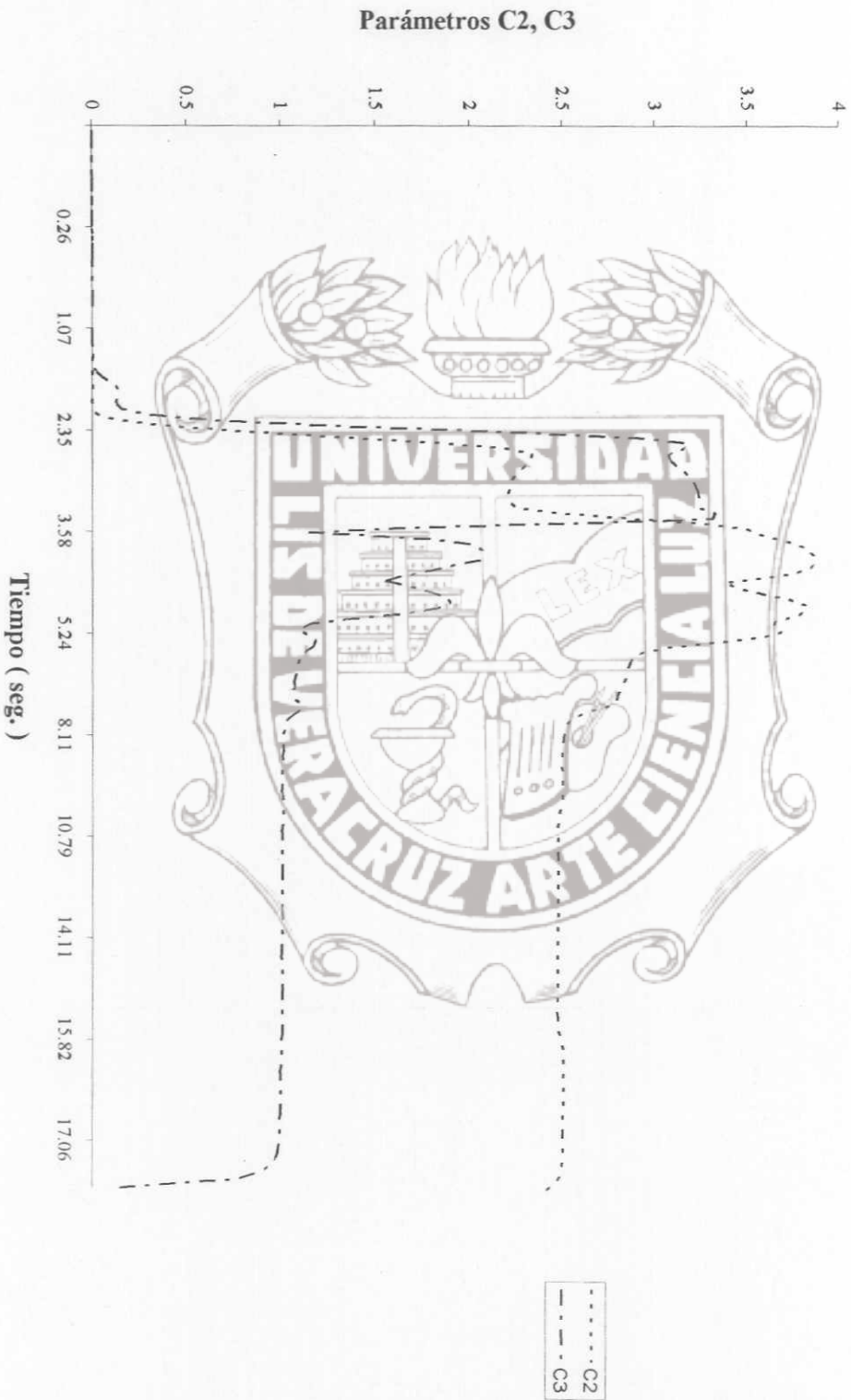
17.14	36.600	20.293	146.050
17.14	43.169	30.347	228.020
17.14	52.770	45.041	347.810
17.14	47.417	36.847	281.010
17.14	20.062	-5.022	-60.321
17.14	-18.381	-63.861	-540.000
17.14	3.816	-29.888	-263.040
17.14	55.349	48.986	379.980
17.14	62.670	60.191	471.320
17.14	83.021	91.339	725.250
17.14	41.823	28.282	211.190
17.14	-47.698	-108.730	-905.830
17.14	-51.497	-114.550	-953.230
17.14	58.188	53.330	415.390
17.14	117.400	143.960	1154.200
17.14	57.676	52.545	408.990
17.14	-76.934	-153.480	-1270.600
17.14	-41.553	-99.330	-829.160
17.14	105.810	126.210	1009.600
17.14	126.230	157.470	1264.400
17.14	146.690	188.780	1519.700
17.14	-53.563	-117.710	-979.030
17.14	-109.330	-203.070	-1674.900
17.14	-68.569	-140.680	-1166.300



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN SOLO EN EL NIVEL 7



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN SOLO EN EL NIVEL 7





## APÉNDICE D

**IDEN731.RES**  
**SE OBSERVA TODOS LOS NIVELES**

Tiempo seg.	PARÁMETROS IDENTIFICADOS								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.04	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.07	15.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.11	15.000	0.000	0.004	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.16	15.001	0.000	0.012	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.22	15.004	0.000	0.042	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.32	15.016	0.000	0.109	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.36	15.024	0.000	0.148	10.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000
0.40	15.036	0.000	0.193	10.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000
0.44	15.051	0.000	0.249	10.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000
0.49	15.068	0.000	0.306	10.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000
0.53	15.091	0.000	0.372	10.001	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.58	15.129	0.001	0.489	10.001	0.000	-0.002	10.000	0.000	0.001
0.64	15.182	0.001	0.741	10.001	0.000	-0.005	10.000	0.000	0.001
0.70	15.262	0.005	1.172	10.001	0.000	-0.005	10.000	0.000	0.002
0.76	15.360	0.015	1.542	10.002	0.000	0.001	10.000	0.000	0.002
0.82	15.529	0.036	1.765	10.004	0.000	0.011	10.001	0.000	0.002
0.87	15.853	0.069	1.758	10.005	0.000	-0.001	10.001	0.000	0.001
0.93	16.249	0.098	1.607	10.002	0.000	-0.040	10.001	0.000	-0.001
1.00	16.682	0.122	1.503	10.005	0.000	-0.049	10.002	0.000	-0.010
1.06	17.045	0.142	1.545	10.028	0.000	0.042	10.001	0.000	-0.028
1.08	17.188	0.151	1.578	10.042	0.000	0.097	10.001	0.000	-0.037
1.11	17.351	0.164	1.616	10.058	0.001	0.165	10.000	0.000	-0.046
1.15	17.769	0.236	1.692	10.101	0.001	0.341	9.997	0.000	-0.069
1.21	18.668	0.577	1.725	10.199	0.003	0.712	9.993	0.000	-0.098
1.26	19.600	1.106	1.658	10.337	0.005	1.130	9.991	0.000	-0.104
1.31	20.374	1.688	1.587	10.527	0.011	1.498	9.991	0.000	-0.087
1.37	20.970	2.351	1.576	10.798	0.019	1.709	9.993	0.000	-0.060
1.44	21.409	2.815	1.599	11.140	0.028	1.668	9.999	0.000	-0.013
1.48	21.642	2.846	1.603	11.337	0.031	1.590	10.011	0.000	0.048
1.51	21.812	2.808	1.602	11.482	0.034	1.533	10.027	0.000	0.116
1.54	21.975	2.754	1.600	11.636	0.036	1.483	10.052	0.000	0.214
1.58	22.111	2.710	1.597	11.804	0.039	1.452	10.091	0.001	0.345
1.65	22.221	2.730	1.589	12.181	0.048	1.473	10.211	0.002	0.658

1.71	22.388	2.762	1.542	12.625	0.087	1.551	10.368	0.004	0.920
1.77	22.781	2.725	1.453	13.132	0.248	1.629	10.558	0.006	1.101
1.81	23.159	2.673	1.377	13.558	0.612	1.677	10.736	0.008	1.164
1.85	23.508	2.624	1.313	13.936	1.344	1.695	10.936	0.010	1.127
1.89	23.784	2.589	1.266	14.149	2.221	1.674	11.146	0.012	0.985
1.93	23.975	2.572	1.233	14.205	2.698	1.657	11.329	0.013	0.807
1.96	24.084	2.567	1.211	14.223	2.777	1.665	11.427	0.014	0.714
1.98	24.163	2.563	1.193	14.249	2.771	1.681	11.477	0.014	0.680
2.01	24.245	2.557	1.173	14.295	2.752	1.702	11.513	0.015	0.683
2.06	24.398	2.543	1.126	14.449	2.758	1.743	11.561	0.021	0.782
2.10	24.488	2.533	1.091	14.630	2.812	1.758	11.629	0.054	0.920
2.15	24.522	2.530	1.070	14.839	2.859	1.743	11.742	0.170	1.042
2.18	24.528	2.534	1.057	15.153	2.853	1.700	11.882	0.466	1.136
2.22	24.532	2.542	1.047	15.644	2.778	1.631	12.000	1.042	1.200
2.26	24.555	2.549	1.034	16.352	2.646	1.530	12.028	1.815	1.240
2.31	24.595	2.548	1.020	16.974	2.533	1.437	11.996	2.174	1.279
2.34	24.629	2.544	1.011	17.339	2.469	1.379	11.999	2.241	1.314
2.37	24.657	2.539	1.005	17.577	2.429	1.339	12.023	2.253	1.341
2.40	24.684	2.534	1.001	17.791	2.393	1.300	12.066	2.260	1.366
2.42	24.707	2.530	0.999	17.966	2.361	1.267	12.112	2.271	1.383
2.49	24.745	2.526	0.999	18.328	2.283	1.200	12.222	2.330	1.398
2.57	24.769	2.527	0.999	18.641	2.213	1.145	12.532	2.350	1.354
2.63	24.792	2.526	0.996	18.863	2.172	1.110	13.136	2.247	1.271
2.67	24.808	2.524	0.995	18.974	2.153	1.095	13.514	2.172	1.221
2.78	24.851	2.518	0.994	19.180	2.117	1.070	14.264	2.019	1.109
2.89	24.876	2.516	0.995	19.304	2.099	1.060	14.662	1.922	1.046
3.01	24.901	2.513	0.995	19.408	2.084	1.054	14.838	1.870	1.021
3.13	24.927	2.510	0.995	19.496	2.070	1.045	14.896	1.850	1.014
3.25	24.939	2.508	0.994	19.559	2.061	1.039	14.922	1.840	1.012
3.35	24.938	2.507	0.995	19.627	2.053	1.035	14.929	1.834	1.010
3.44	24.939	2.506	0.996	19.685	2.047	1.030	14.911	1.835	1.010
3.55	24.940	2.505	0.996	19.737	2.044	1.025	14.893	1.836	1.011
3.61	24.940	2.505	0.996	19.747	2.045	1.024	14.901	1.834	1.012
3.65	24.940	2.505	0.996	19.750	2.046	1.024	14.911	1.832	1.011
3.70	24.941	2.505	0.996	19.753	2.047	1.023	14.918	1.832	1.011
3.74	24.941	2.504	0.996	19.758	2.046	1.023	14.920	1.833	1.010
3.79	24.942	2.504	0.996	19.762	2.045	1.023	14.921	1.833	1.010
3.83	24.943	2.504	0.996	19.765	2.045	1.023	14.924	1.833	1.010
3.87	24.944	2.504	0.996	19.768	2.044	1.022	14.927	1.832	1.010
3.92	24.945	2.504	0.996	19.772	2.044	1.022	14.930	1.830	1.009
3.96	24.945	2.504	0.995	19.776	2.043	1.021	14.934	1.829	1.009
4.00	24.945	2.504	0.995	19.781	2.042	1.021	14.940	1.826	1.009
4.04	24.945	2.504	0.995	19.785	2.041	1.021	14.944	1.825	1.009
4.13	24.947	2.504	0.995	19.792	2.039	1.020	14.947	1.823	1.010
4.19	24.946	2.505	0.995	19.795	2.039	1.020	14.949	1.822	1.009
4.31	24.946	2.505	0.994	19.802	2.039	1.020	14.958	1.819	1.007
4.38	24.946	2.505	0.994	19.805	2.039	1.020	14.963	1.817	1.006
4.49	24.944	2.506	0.994	19.816	2.036	1.019	14.966	1.815	1.006
4.60	24.940	2.509	0.994	19.835	2.032	1.017	14.967	1.814	1.005
4.67	24.937	2.511	0.995	19.849	2.028	1.015	14.969	1.814	1.005
4.74	24.935	2.512	0.995	19.859	2.025	1.013	14.972	1.813	1.004
4.81	24.935	2.513	0.994	19.869	2.023	1.012	14.975	1.812	1.004

Proyecto de Digitalización de Tesis

Responsable M.B. Alberto Pedro Morandi Medina

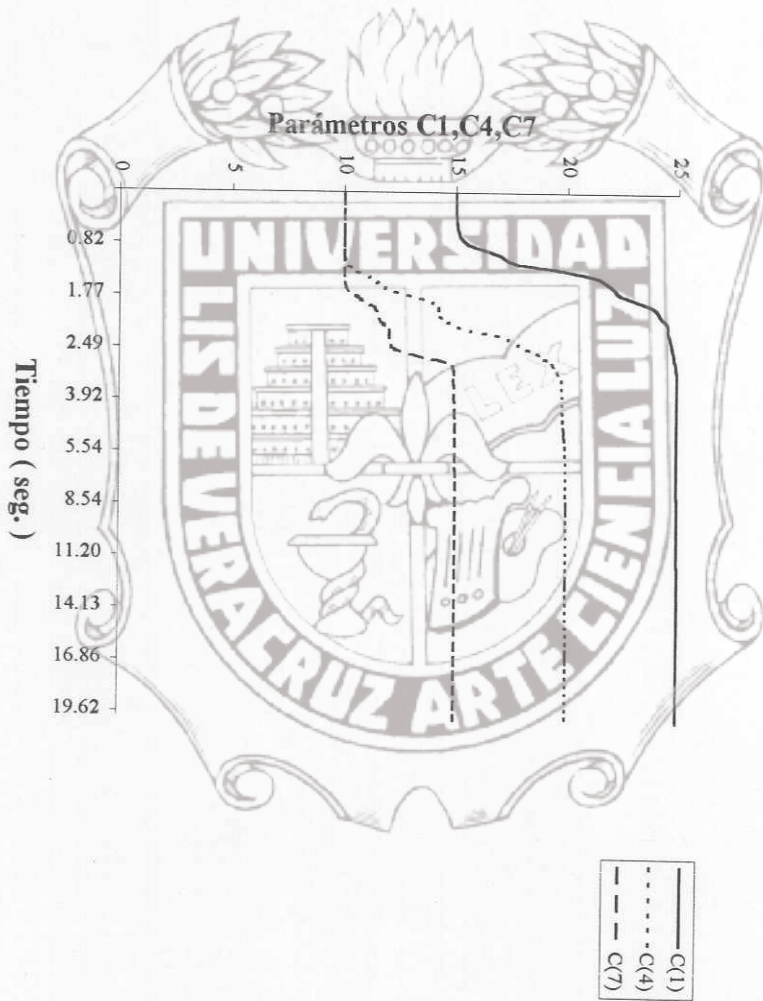
Colaboradores: Estanislao Ferman Garcia

M.B. Enrique Rodríguez Magaña

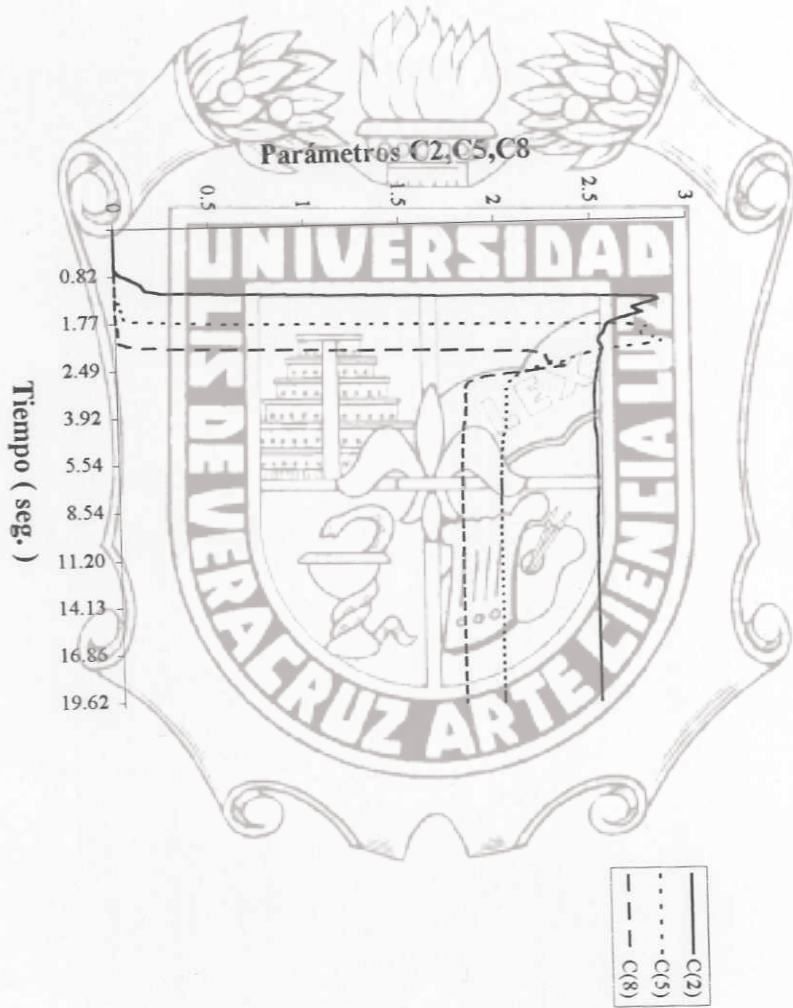
4.91	24.934	2.513	0.994	19.878	2.021	1.011	14.978	1.811	1.004
5.01	24.934	2.514	0.995	19.886	2.020	1.010	14.979	1.810	1.004
5.12	24.933	2.514	0.995	19.897	2.018	1.009	14.977	1.810	1.004
5.19	24.933	2.514	0.995	19.903	2.018	1.008	14.975	1.810	1.004
5.32	24.933	2.514	0.995	19.912	2.017	1.007	14.973	1.810	1.003
5.43	24.934	2.514	0.995	19.918	2.016	1.006	14.973	1.810	1.003
5.54	24.934	2.514	0.995	19.924	2.015	1.005	14.976	1.809	1.003
5.68	24.934	2.514	0.996	19.928	2.014	1.005	14.980	1.808	1.003
5.82	24.934	2.514	0.996	19.930	2.013	1.004	14.983	1.808	1.003
5.92	24.936	2.514	0.996	19.933	2.013	1.004	14.983	1.808	1.003
6.05	24.940	2.514	0.997	19.936	2.012	1.004	14.983	1.807	1.002
6.19	24.943	2.513	0.997	19.939	2.012	1.004	14.984	1.807	1.002
6.37	24.947	2.512	0.997	19.943	2.011	1.003	14.986	1.806	1.003
6.46	24.947	2.512	0.997	19.945	2.011	1.003	14.987	1.806	1.003
6.56	24.948	2.512	0.997	19.946	2.010	1.003	14.989	1.806	1.003
6.67	24.949	2.512	0.997	19.947	2.010	1.003	14.991	1.806	1.003
6.81	24.950	2.512	0.997	19.949	2.009	1.003	14.994	1.805	1.002
6.96	24.951	2.512	0.997	19.951	2.009	1.003	14.994	1.805	1.002
7.14	24.951	2.512	0.997	19.952	2.009	1.003	14.994	1.805	1.002
7.32	24.953	2.512	0.997	19.953	2.009	1.004	14.995	1.805	1.002
7.44	24.954	2.512	0.997	19.954	2.009	1.004	14.995	1.804	1.002
7.64	24.956	2.512	0.997	19.956	2.008	1.004	14.996	1.804	1.001
7.88	24.959	2.511	0.997	19.957	2.008	1.004	14.997	1.804	1.001
8.12	24.961	2.511	0.997	19.960	2.007	1.004	14.997	1.804	1.001
8.28	24.964	2.510	0.996	19.961	2.007	1.004	14.998	1.804	1.001
8.54	24.967	2.509	0.996	19.963	2.006	1.003	14.998	1.803	1.001
8.73	24.969	2.509	0.996	19.965	2.006	1.003	14.999	1.803	1.001
8.88	24.970	2.509	0.996	19.965	2.006	1.003	14.999	1.803	1.001
9.00	24.971	2.509	0.996	19.966	2.006	1.003	14.999	1.803	1.001
9.11	24.972	2.508	0.996	19.966	2.006	1.003	14.999	1.803	1.001
9.22	24.973	2.508	0.996	19.967	2.006	1.003	15.000	1.803	1.002
9.38	24.974	2.508	0.996	19.967	2.005	1.003	15.000	1.803	1.002
9.47	24.975	2.508	0.996	19.968	2.005	1.003	15.000	1.803	1.002
9.58	24.976	2.507	0.996	19.968	2.005	1.003	15.000	1.803	1.002
9.74	24.977	2.507	0.996	19.969	2.005	1.003	15.000	1.802	1.002
9.87	24.978	2.507	0.996	19.970	2.005	1.003	15.000	1.802	1.002
10.01	24.979	2.507	0.996	19.971	2.005	1.003	15.000	1.802	1.002
10.15	24.980	2.507	0.996	19.972	2.004	1.004	15.000	1.802	1.002
10.27	24.981	2.507	0.996	19.972	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
10.41	24.981	2.506	0.996	19.973	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
10.57	24.982	2.506	0.996	19.973	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
10.74	24.982	2.506	0.996	19.974	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
10.91	24.983	2.506	0.996	19.975	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
11.04	24.983	2.506	0.996	19.975	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
11.20	24.984	2.506	0.996	19.976	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
11.44	24.985	2.505	0.996	19.977	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
11.55	24.985	2.505	0.996	19.977	2.004	1.004	15.001	1.802	1.002
11.73	24.986	2.505	0.996	19.978	2.003	1.003	15.001	1.802	1.002
11.87	24.986	2.505	0.996	19.978	2.003	1.003	15.001	1.802	1.002
12.06	24.987	2.505	0.996	19.978	2.003	1.003	15.001	1.802	1.002
12.16	24.987	2.505	0.996	19.979	2.003	1.003	15.001	1.801	1.002
12.31	24.988	2.505	0.996	19.979	2.003	1.003	15.001	1.801	1.002

12.52	24.988	2.505	0.996	19.979	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
12.71	24.989	2.504	0.996	19.980	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
12.80	24.989	2.504	0.996	19.980	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
12.98	24.990	2.504	0.996	19.981	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
13.13	24.990	2.504	0.996	19.981	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
13.31	24.991	2.504	0.996	19.982	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
13.43	24.991	2.504	0.996	19.982	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
13.58	24.992	2.504	0.996	19.983	2.003	1.003	15.001	1.801	1.001
13.74	24.992	2.504	0.996	19.983	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
13.90	24.992	2.504	0.996	19.983	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.06	24.992	2.504	0.996	19.984	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.13	24.993	2.504	0.996	19.984	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.24	24.993	2.504	0.996	19.984	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.38	24.993	2.503	0.996	19.984	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.53	24.993	2.503	0.996	19.985	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.69	24.993	2.503	0.996	19.985	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.82	24.993	2.503	0.996	19.985	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
14.95	24.993	2.503	0.996	19.986	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
15.07	24.994	2.503	0.996	19.986	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
15.26	24.994	2.503	0.996	19.986	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
15.44	24.994	2.503	0.996	19.986	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
15.63	24.994	2.503	0.996	19.987	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
15.72	24.994	2.503	0.996	19.987	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
15.83	24.994	2.503	0.996	19.987	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
16.01	24.995	2.503	0.996	19.988	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
16.10	24.995	2.503	0.996	19.988	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
16.19	24.995	2.503	0.996	19.988	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
16.32	24.995	2.503	0.996	19.988	2.002	1.003	15.001	1.801	1.001
16.54	24.995	2.503	0.996	19.989	2.002	1.003	15.002	1.800	1.001
16.70	24.995	2.503	0.996	19.989	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
16.86	24.996	2.503	0.996	19.989	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
16.94	24.996	2.503	0.996	19.989	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.09	24.996	2.503	0.996	19.989	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.21	24.996	2.503	0.996	19.990	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.34	24.996	2.503	0.996	19.990	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.51	24.996	2.503	0.996	19.990	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.61	24.996	2.503	0.996	19.990	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.71	24.996	2.502	0.996	19.990	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
17.87	24.996	2.502	0.996	19.990	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
18.08	24.996	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
18.33	24.996	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
18.54	24.997	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
18.64	24.997	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
18.83	24.997	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
18.92	24.997	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
19.06	24.997	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
19.19	24.997	2.502	0.997	19.991	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
19.33	24.997	2.502	0.997	19.992	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
19.47	24.997	2.502	0.997	19.992	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
19.62	24.997	2.502	0.997	19.992	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
19.77	24.997	2.502	0.997	19.992	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001
20.04	24.997	2.502	0.997	19.992	2.001	1.003	15.002	1.800	1.001

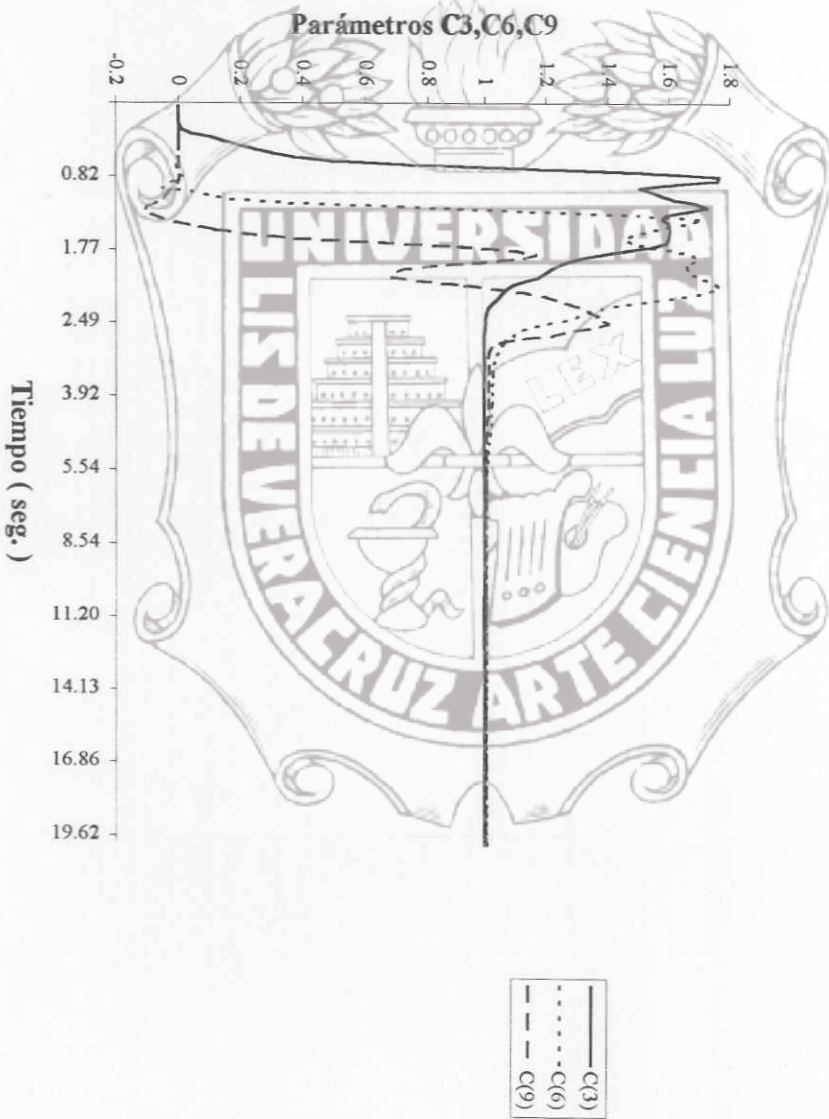
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN TODOS LOS NIVELES



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN TODOS LOS NIVELES



INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN TODOS LOS NIVELES



## SE OBSERVA LOS NIVELES 1, 4 Y 7

Tiempo seg.	PARÁMETROS IDENTIFICADOS								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.00	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.01	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.02	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.03	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.04	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.06	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.08	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.11	15.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.14	15.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.17	15.000	0.000	0.001	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.21	15.000	0.000	0.002	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.24	15.001	0.000	0.002	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.28	15.001	0.000	0.003	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.34	15.001	0.000	0.003	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.38	15.001	0.000	0.003	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.42	15.001	0.000	0.003	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.45	15.001	0.000	0.002	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.000
0.49	15.001	0.000	0.002	10.000	0.000	0.000	10.000	0.000	0.001
0.53	15.001	0.000	0.002	10.000	0.000	-0.001	10.000	0.000	0.001
0.57	15.001	0.000	0.012	10.000	0.000	-0.001	10.000	0.000	0.003
0.61	15.003	0.000	0.057	10.000	0.000	-0.001	10.000	0.000	0.005
0.64	15.009	0.000	0.143	10.000	0.000	-0.002	10.000	0.000	0.007
0.67	15.021	0.001	0.254	9.999	0.000	-0.002	10.000	0.000	0.009
0.72	15.045	0.003	0.374	9.999	0.000	-0.005	9.999	0.000	0.004
0.76	15.070	0.005	0.430	9.999	0.000	-0.008	9.996	0.000	-0.010
0.81	15.093	0.007	0.457	9.998	0.000	-0.011	9.990	0.000	-0.034
0.86	15.112	0.009	0.515	9.998	0.000	-0.012	9.983	0.000	-0.055
0.90	15.136	0.011	0.609	10.000	0.000	-0.010	9.978	0.000	-0.062
0.95	15.172	0.015	0.705	10.003	0.000	-0.009	9.976	0.000	-0.055

Instituto de Ingeniería  
 Universidad Veracruzana



0.99	15.223	0.020	0.794	10.009	0.000	-0.012	9.976	0.000	-0.044
1.04	15.299	0.026	0.893	10.019	0.000	-0.026	9.977	0.000	-0.042
1.08	15.404	0.035	0.991	10.031	0.000	-0.059	9.975	0.000	-0.048
1.13	15.610	0.070	1.071	10.050	0.000	-0.135	9.965	0.000	-0.069
1.17	15.872	0.157	1.047	10.064	0.000	-0.227	9.940	0.000	-0.126
1.20	16.128	0.275	0.935	10.071	0.000	-0.309	9.897	-0.001	-0.234
1.24	16.351	0.398	0.800	10.075	0.000	-0.394	9.831	-0.001	-0.382
1.28	16.548	0.525	0.701	10.074	0.000	-0.513	9.729	-0.004	-0.548
1.34	16.757	0.723	0.659	10.066	0.000	-0.630	9.571	-0.010	-0.650
1.38	16.920	1.071	0.675	10.072	0.000	-0.629	9.447	-0.017	-0.556
1.41	17.028	1.559	0.755	10.100	0.000	-0.544	9.392	-0.021	-0.312
1.44	17.091	2.155	0.881	10.150	0.001	-0.403	9.394	-0.023	0.001
1.48	17.105	2.770	1.013	10.224	0.004	-0.227	9.433	-0.023	0.248
1.53	17.078	3.181	1.081	10.320	0.008	-0.066	9.449	-0.023	0.279
1.58	17.045	3.351	1.112	10.456	0.012	0.083	9.426	-0.023	0.194
1.64	17.028	3.386	1.202	10.775	0.018	0.293	9.404	-0.023	0.072
1.69	17.218	3.450	1.322	11.225	0.034	0.431	9.472	-0.019	-0.081
1.73	17.707	3.434	1.394	11.626	0.080	0.507	9.666	-0.010	-0.241
1.76	18.469	3.287	1.475	12.025	0.198	0.599	9.995	0.002	-0.391
1.79	19.383	3.060	1.584	12.406	0.487	0.720	10.399	0.017	-0.497
1.82	20.227	2.865	1.696	12.705	1.061	0.837	10.757	0.029	-0.549
1.85	20.873	2.767	1.773	12.887	1.891	0.887	10.980	0.036	-0.582
1.89	21.263	2.770	1.799	12.954	2.677	0.832	11.042	0.037	-0.634
1.92	21.359	2.803	1.798	12.958	2.961	0.794	11.033	0.037	-0.656
1.96	21.336	2.796	1.787	12.978	2.988	0.907	11.091	0.039	-0.585
2.01	21.291	2.801	1.660	13.175	3.288	1.223	11.216	0.045	-0.412
2.05	21.167	2.854	1.483	13.475	3.720	1.436	11.221	0.049	-0.321
2.09	21.006	2.916	1.367	13.690	4.011	1.486	11.124	0.049	-0.316
2.13	20.926	2.990	1.304	13.787	4.067	1.452	10.978	0.042	-0.359
2.17	20.937	3.073	1.269	13.792	3.960	1.416	10.803	0.016	-0.410
2.21	20.940	3.164	1.236	13.733	3.864	1.406	10.583	-0.055	-0.434
2.25	20.879	3.265	1.183	13.599	3.870	1.405	10.370	-0.172	-0.384
2.29	20.884	3.333	1.127	13.404	3.875	1.421	10.419	-0.118	-0.227
2.32	21.133	3.365	1.084	13.113	3.775	1.557	10.789	0.245	0.037
2.36	21.628	3.373	1.069	12.738	3.649	1.876	11.330	0.691	0.355
2.41	22.166	3.373	1.070	12.462	3.637	2.261	11.806	1.121	0.614
2.45	22.403	3.386	1.064	12.522	3.728	2.427	11.890	1.552	0.665
2.50	22.378	3.400	1.049	12.832	3.713	2.351	11.826	1.857	0.610
2.52	22.332	3.400	1.040	13.061	3.626	2.252	11.893	1.949	0.580
2.55	22.295	3.389	1.032	13.332	3.484	2.125	12.095	2.002	0.552
2.61	22.343	3.327	1.030	13.884	3.081	1.845	12.935	2.035	0.488
2.69	22.559	3.244	1.064	14.071	2.731	1.687	13.772	2.046	0.402
2.75	22.748	3.193	1.092	14.071	2.605	1.641	14.146	2.046	0.344
2.81	22.952	3.149	1.091	14.235	2.574	1.587	14.316	2.016	0.334

Proyecto de Digitalización de Tesis

Responsable M.B. Alberto Pedro Morandi Medina

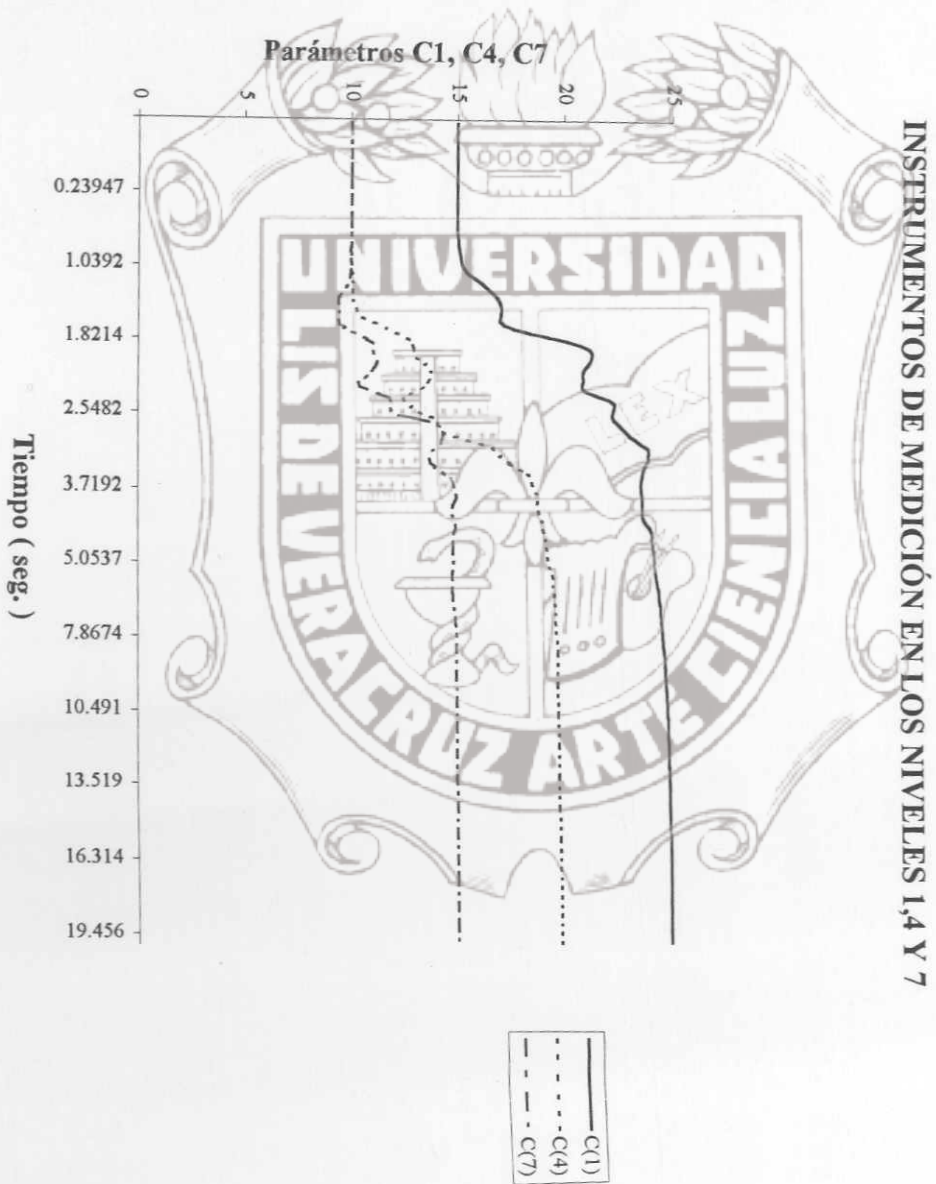
Colaboradores: Estanislao Ferman García

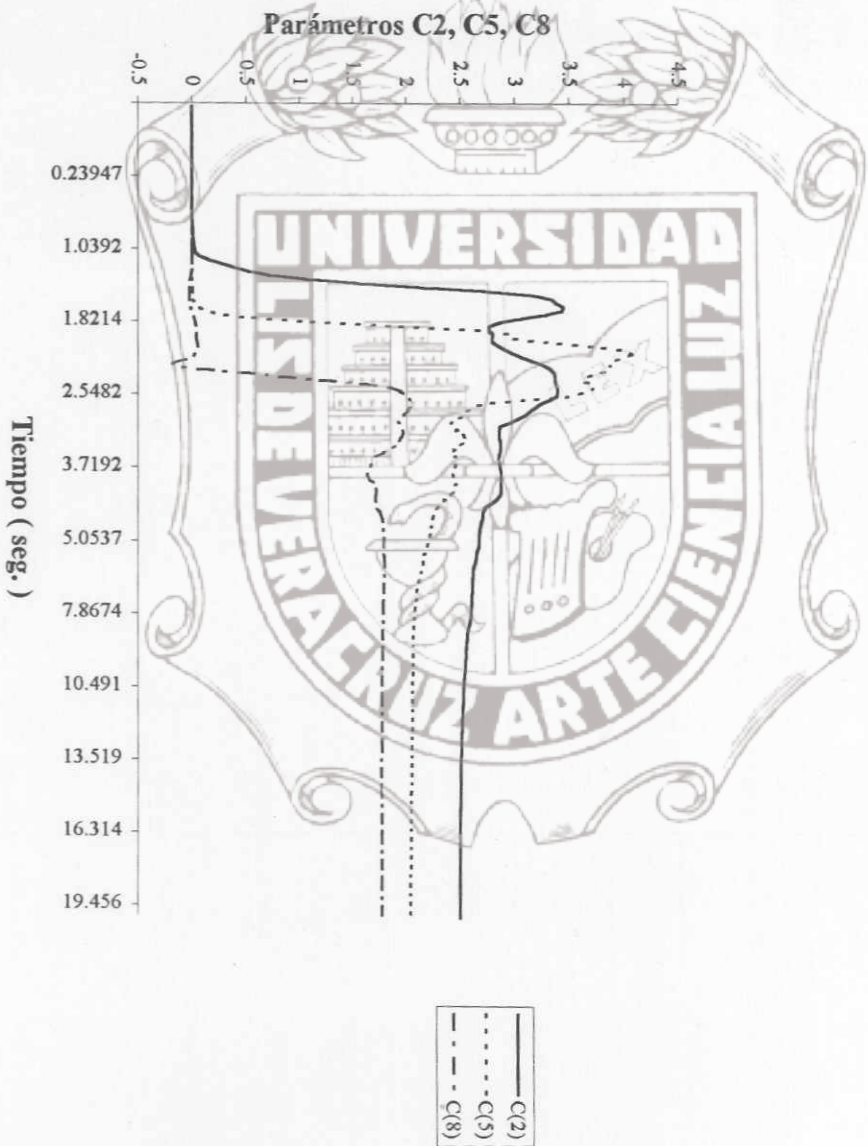
M.B. Enrique Rodríguez Magaña

2.87	23.139	3.109	1.063	14.607	2.555	1.509	14.355	1.978	0.375
2.94	23.416	3.034	1.014	15.408	2.489	1.357	14.310	1.936	0.472
2.99	23.651	2.962	0.986	16.015	2.430	1.239	14.241	1.925	0.541
3.09	23.961	2.869	0.951	16.688	2.410	1.107	14.036	1.947	0.624
3.16	23.974	2.863	0.934	16.868	2.471	1.080	13.875	1.970	0.653
3.25	23.953	2.865	0.929	17.044	2.534	1.070	13.753	1.973	0.674
3.36	23.976	2.866	0.933	17.271	2.546	1.068	13.688	1.956	0.694
3.44	23.870	2.872	0.932	17.500	2.547	1.077	13.787	1.931	0.705
3.48	23.793	2.874	0.937	17.757	2.504	1.090	13.947	1.895	0.716
3.51	23.729	2.872	0.945	18.080	2.448	1.106	14.162	1.845	0.733
3.55	23.687	2.866	0.957	18.370	2.415	1.116	14.409	1.786	0.754
3.61	23.655	2.855	0.970	18.516	2.453	1.119	14.713	1.717	0.781
3.64	23.640	2.857	0.973	18.528	2.478	1.124	14.812	1.695	0.794
3.68	23.631	2.867	0.975	18.594	2.468	1.135	14.861	1.679	0.810
3.72	23.637	2.876	0.978	18.702	2.445	1.146	14.914	1.659	0.832
3.76	23.657	2.879	0.983	18.792	2.434	1.153	14.981	1.638	0.856
3.80	23.682	2.879	0.988	18.828	2.443	1.157	15.011	1.633	0.874
3.84	23.691	2.878	0.993	18.825	2.459	1.162	14.934	1.664	0.877
3.89	23.689	2.879	0.995	18.823	2.466	1.163	14.823	1.704	0.872
3.92	23.684	2.879	0.994	18.843	2.458	1.161	14.780	1.720	0.867
3.96	23.683	2.878	0.992	18.893	2.435	1.156	14.785	1.723	0.866
4.00	23.707	2.870	0.990	18.967	2.400	1.151	14.826	1.718	0.870
4.05	23.798	2.839	0.987	19.043	2.358	1.146	14.892	1.713	0.878
4.10	23.943	2.789	0.987	19.076	2.323	1.144	14.955	1.712	0.886
4.16	24.079	2.740	0.991	19.080	2.298	1.146	14.976	1.719	0.891
4.32	24.129	2.716	0.998	19.126	2.268	1.142	14.873	1.754	0.905
4.39	24.125	2.717	0.998	19.160	2.258	1.136	14.842	1.764	0.913
4.50	24.143	2.711	0.996	19.206	2.247	1.126	14.820	1.775	0.924
4.63	24.179	2.700	0.992	19.242	2.237	1.117	14.818	1.782	0.930
4.70	24.202	2.692	0.990	19.259	2.233	1.112	14.820	1.784	0.933
4.77	24.225	2.685	0.987	19.273	2.229	1.107	14.823	1.786	0.935
4.86	24.246	2.678	0.984	19.288	2.226	1.103	14.830	1.787	0.937
4.96	24.252	2.676	0.982	19.313	2.219	1.097	14.839	1.787	0.938
5.05	24.249	2.678	0.982	19.343	2.209	1.091	14.847	1.787	0.938
5.18	24.248	2.678	0.982	19.379	2.201	1.086	14.844	1.788	0.937
5.32	24.286	2.666	0.987	19.462	2.189	1.078	14.816	1.791	0.938
5.40	24.318	2.658	0.989	19.521	2.175	1.071	14.805	1.792	0.940
5.51	24.347	2.653	0.988	19.575	2.159	1.062	14.805	1.793	0.942
5.64	24.365	2.648	0.987	19.573	2.157	1.059	14.808	1.793	0.944
5.79	24.397	2.640	0.989	19.565	2.158	1.060	14.801	1.794	0.947
5.94	24.459	2.628	0.990	19.590	2.147	1.060	14.802	1.795	0.950
6.09	24.474	2.627	0.989	19.601	2.139	1.058	14.813	1.795	0.951
6.26	24.475	2.626	0.989	19.603	2.137	1.057	14.818	1.795	0.951
6.42	24.497	2.623	0.992	19.644	2.127	1.057	14.835	1.795	0.955

6.60	24.544	2.618	0.992	19.684	2.107	1.048	14.894	1.791	0.960
6.75	24.556	2.618	0.992	19.680	2.103	1.044	14.918	1.789	0.962
6.93	24.562	2.617	0.992	19.685	2.101	1.044	14.918	1.789	0.964
7.11	24.576	2.615	0.992	19.686	2.098	1.044	14.927	1.788	0.967
7.20	24.587	2.614	0.992	19.687	2.096	1.045	14.940	1.787	0.970
7.29	24.602	2.613	0.991	19.691	2.092	1.046	14.959	1.785	0.972
7.47	24.622	2.611	0.989	19.704	2.084	1.046	14.985	1.784	0.973
7.67	24.634	2.609	0.987	19.715	2.079	1.045	14.994	1.783	0.973
7.87	24.646	2.606	0.986	19.726	2.078	1.045	14.995	1.783	0.973
8.12	24.665	2.600	0.985	19.748	2.075	1.044	14.993	1.782	0.974
8.30	24.683	2.594	0.984	19.768	2.072	1.042	14.992	1.781	0.975
8.55	24.716	2.584	0.984	19.792	2.068	1.038	14.996	1.780	0.977
8.72	24.736	2.578	0.984	19.798	2.066	1.035	14.999	1.779	0.978
8.87	24.750	2.574	0.983	19.802	2.065	1.033	15.000	1.779	0.979
8.99	24.761	2.571	0.983	19.804	2.065	1.032	15.000	1.779	0.980
9.10	24.770	2.569	0.983	19.805	2.064	1.031	15.000	1.778	0.981
9.21	24.782	2.566	0.983	19.805	2.064	1.030	15.002	1.778	0.982
9.30	24.793	2.563	0.984	19.805	2.063	1.029	15.005	1.777	0.983
9.41	24.805	2.561	0.984	19.804	2.062	1.028	15.010	1.776	0.984
9.46	24.810	2.559	0.984	19.803	2.062	1.028	15.012	1.776	0.984
9.56	24.822	2.557	0.984	19.802	2.061	1.028	15.016	1.775	0.984
9.71	24.835	2.554	0.984	19.801	2.060	1.027	15.021	1.775	0.985
9.85	24.841	2.553	0.984	19.802	2.060	1.027	15.022	1.774	0.985
10.00	24.850	2.550	0.984	19.805	2.060	1.027	15.023	1.773	0.986
10.11	24.860	2.547	0.984	19.807	2.060	1.027	15.027	1.772	0.987
10.23	24.873	2.544	0.984	19.809	2.059	1.027	15.033	1.771	0.988
10.37	24.886	2.541	0.984	19.811	2.058	1.027	15.039	1.771	0.989
10.49	24.891	2.540	0.984	19.811	2.057	1.027	15.041	1.771	0.989
10.61	24.894	2.539	0.984	19.811	2.058	1.027	15.042	1.771	0.989
10.74	24.896	2.538	0.984	19.813	2.058	1.027	15.043	1.771	0.989
10.91	24.899	2.537	0.984	19.816	2.058	1.026	15.042	1.771	0.989
11.04	24.902	2.535	0.983	19.819	2.058	1.026	15.042	1.771	0.990
11.21	24.907	2.533	0.983	19.825	2.058	1.025	15.042	1.771	0.990
11.45	24.917	2.530	0.983	19.838	2.056	1.022	15.038	1.771	0.991
11.58	24.921	2.528	0.983	19.843	2.055	1.021	15.036	1.771	0.991
11.78	24.927	2.526	0.983	19.846	2.054	1.019	15.033	1.772	0.992
11.92	24.932	2.525	0.983	19.846	2.054	1.019	15.033	1.771	0.992
12.11	24.936	2.524	0.984	19.848	2.054	1.018	15.033	1.771	0.992
12.26	24.940	2.522	0.984	19.849	2.054	1.017	15.034	1.771	0.992
12.51	24.949	2.520	0.985	19.849	2.053	1.016	15.036	1.771	0.993
12.63	24.953	2.520	0.985	19.848	2.053	1.016	15.037	1.770	0.993
12.75	24.954	2.519	0.985	19.848	2.053	1.016	15.037	1.770	0.993
12.94	24.957	2.519	0.985	19.849	2.053	1.015	15.037	1.770	0.993
13.05	24.959	2.518	0.985	19.850	2.053	1.016	15.038	1.770	0.993

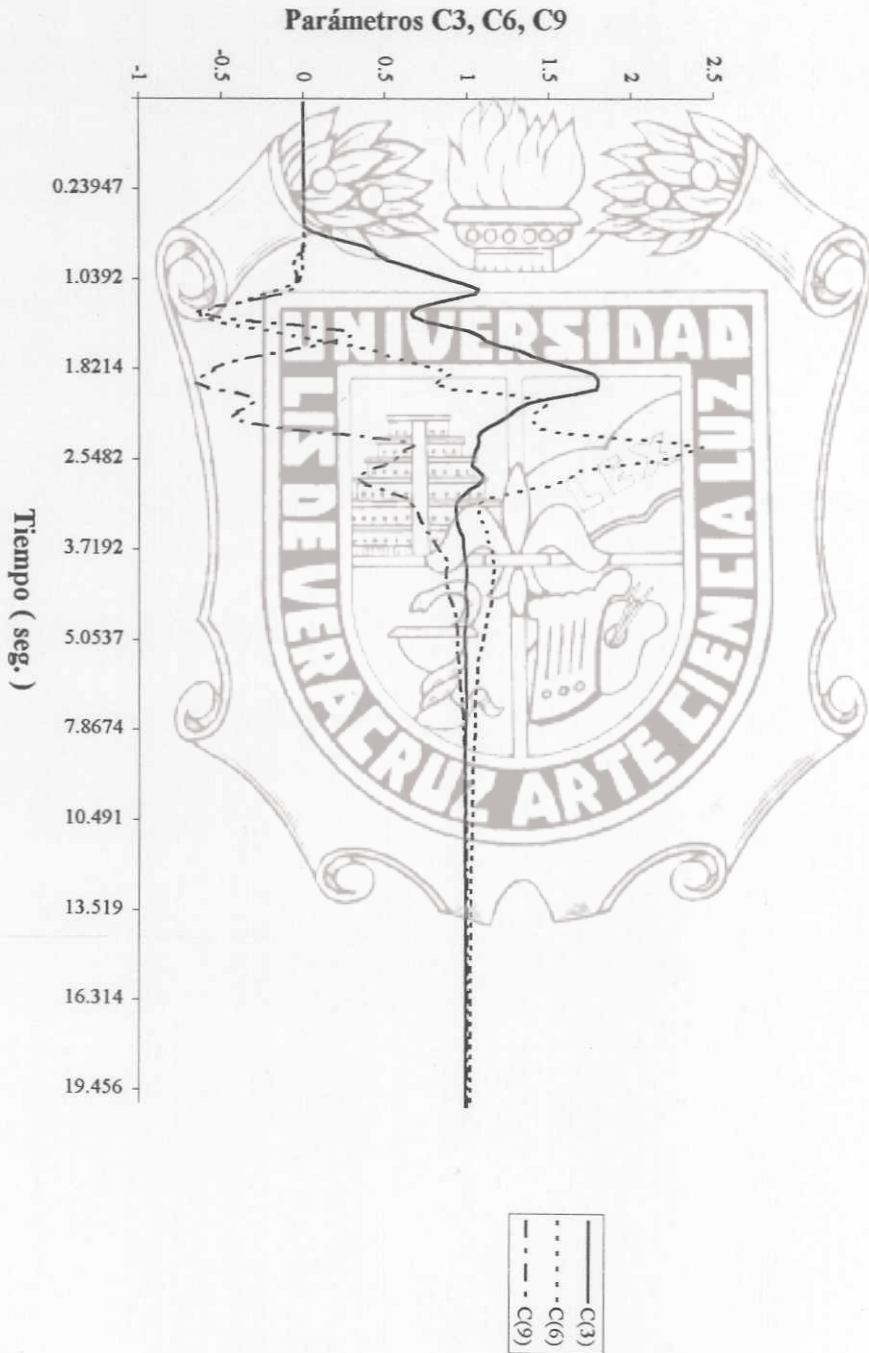
13.24	24.965	2.516	0.985	19.852	2.052	1.016	15.041	1.769	0.994
13.39	24.970	2.515	0.985	19.853	2.052	1.016	15.044	1.768	0.994
13.52	24.974	2.514	0.985	19.855	2.051	1.016	15.046	1.768	0.994
13.70	24.977	2.513	0.985	19.857	2.051	1.016	15.046	1.768	0.994
13.84	24.978	2.512	0.985	19.860	2.050	1.016	15.045	1.769	0.994
14.01	24.979	2.512	0.985	19.862	2.049	1.016	15.046	1.768	0.994
14.13	24.980	2.512	0.985	19.863	2.049	1.016	15.046	1.768	0.994
14.24	24.981	2.512	0.985	19.864	2.049	1.016	15.046	1.768	0.994
14.37	24.982	2.511	0.985	19.865	2.049	1.016	15.046	1.768	0.994
14.51	24.982	2.511	0.985	19.866	2.048	1.016	15.046	1.768	0.994
14.69	24.983	2.511	0.985	19.868	2.048	1.015	15.045	1.769	0.994
14.83	24.983	2.511	0.985	19.871	2.047	1.015	15.043	1.769	0.994
14.95	24.984	2.511	0.985	19.873	2.046	1.014	15.042	1.769	0.994
15.07	24.984	2.510	0.985	19.875	2.046	1.014	15.040	1.769	0.995
15.26	24.985	2.510	0.986	19.878	2.045	1.014	15.038	1.770	0.995
15.44	24.987	2.510	0.986	19.880	2.045	1.014	15.038	1.770	0.995
15.63	24.987	2.510	0.986	19.883	2.044	1.013	15.037	1.770	0.995
15.72	24.987	2.510	0.986	19.886	2.044	1.013	15.036	1.770	0.995
15.84	24.987	2.510	0.986	19.888	2.043	1.013	15.035	1.770	0.995
16.02	24.988	2.510	0.986	19.891	2.042	1.013	15.034	1.770	0.995
16.15	24.989	2.509	0.986	19.893	2.042	1.013	15.034	1.770	0.995
16.31	24.990	2.509	0.987	19.894	2.042	1.013	15.035	1.770	0.995
16.59	24.991	2.508	0.987	19.894	2.042	1.013	15.035	1.770	0.995
16.74	24.992	2.508	0.987	19.895	2.042	1.013	15.035	1.770	0.995
16.85	24.992	2.508	0.987	19.896	2.042	1.013	15.035	1.770	0.995
16.98	24.993	2.508	0.987	19.896	2.042	1.013	15.035	1.770	0.995
17.11	24.993	2.508	0.987	19.897	2.042	1.013	15.035	1.769	0.995
17.29	24.993	2.507	0.987	19.897	2.042	1.013	15.036	1.769	0.995
17.50	24.994	2.507	0.987	19.898	2.042	1.013	15.036	1.769	0.995
17.61	24.994	2.507	0.987	19.898	2.042	1.013	15.036	1.769	0.995
17.71	24.994	2.507	0.987	19.899	2.042	1.013	15.036	1.769	0.995
17.89	24.994	2.507	0.987	19.899	2.042	1.013	15.036	1.769	0.995
18.11	24.995	2.507	0.987	19.901	2.041	1.013	15.035	1.769	0.995
18.41	24.995	2.507	0.987	19.902	2.041	1.013	15.035	1.769	0.995
18.52	24.996	2.507	0.987	19.903	2.041	1.013	15.034	1.769	0.995
18.65	24.996	2.506	0.987	19.903	2.041	1.013	15.034	1.769	0.995
18.82	24.996	2.506	0.987	19.904	2.041	1.013	15.034	1.769	0.995
18.98	24.996	2.506	0.987	19.905	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995
19.14	24.997	2.506	0.988	19.906	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995
19.28	24.997	2.506	0.988	19.907	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995
19.46	24.998	2.506	0.988	19.908	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995
19.64	24.998	2.506	0.988	19.908	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995
19.84	24.999	2.505	0.988	19.908	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995
20.02	24.999	2.505	0.988	19.908	2.040	1.013	15.034	1.769	0.995





INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN LOS NIVELES 1,4 Y 7

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN LOS NIVELES 1,4 Y 7



## BIBLIOGRAFÍA

1. Bazán Zurita, Meli Piralla. Manual de Diseño Sísmico de Edificios. Limusa 1995.
2. Chopra Anil K. Dynamics of Structures, a primer. Earthquake Engineering Research Institute. 1980.
3. Chopra Anil K. Dynamics of Structures, theory and applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall.
4. Clough Ray W., Penzien Joseph. Dynamics of Structures. McGraw-Hill. Second edition.
5. Hindmarsh, A. C. GEAR: Ordinary Differential Equation Solver. Lawrence Livermore Laboratory. University of California, Livermore, Report No. UCID-30001, Rev. 1. Aug. 20, 1972.
6. Laible Jeffrey P. Análisis Estructural. McGraw-Hill. México 1992.
7. N. Distefano and B. Peña-Pardo. System Identification of Frames Under Seismic Loads. ASCE National Structural Engineering Convention. New Orleans, Louisiana. April 1975.
8. Paz Mario. Structural Dynamics, theory and computations. Van Nostrand Reinhold Company, Inc. Second edition.
9. Peña Pardo Bonifacio C. A. Apuntes de Dinámica Estructural. Instituto de Ingeniería, U. V. Marzo-Julio/95.



10. Peña Pardo Bonifacio C. A. Apuntes de Elemento Finito. Instituto de Ingeniería, U. V., Sep-95/ Feb-96.
11. Peña Pardo Bonifacio C. A. V Congreso Nacional de Ingeniería Estructural. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A. C. Veracruz, Ver., Abril 30 a Mayo 3, 1986.



Instituto de Ingeniería  
Universidad Veracruzana