

APENDICES

APENDICE A : DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS PROGRAMAS

DE COMPUTACION USADOS

Este apéndice contiene los diagramas de flujo de los programas INSTA, INDRA, CORTE y SB, usados para el modelo Bidimensional (análisis inelástico estático y análisis inelástico dinámico), para el modelo Cortante y para el modelo Corte-Flexión respectivamente. Es menester recordar que para los modelos Elástico Equivalente y de Un Grado de Libertad se uso basicamente el programa de CORTE con algunas modificaciones.

La siguiente discusión solamente da una breve descripción y explicación de cada uno de los principales pasos de los programas, los convenientes para el entendimiento del funcionamiento de los mismos.

A.1. PROGRAMA CORTE . Respuesta Dinámica Tiempo-Historia:

Modelo Cortante

El diagrama de flujo se muestra en la figura A.1 y las subrutinas usadas son:

- Input [1] : ingreso de datos de la estructura.
- Input [2] : ingreso de datos de la onda sísmica y de control para las respuestas.
- Main [1] : valores iniciales de algunos parámetros.
- Acmax : parámetros iniciales para la ecuación de Newmark.
- Main [2] : ensambla la matriz de pseudo-rigidez por piso.
- Main [3] : comienza el ciclo iterativo.
- Main [4] : ensambla la matriz de pseudo-fuerza por piso.
- Main [5] : calcula la matriz de pseudo-desplazamiento ($\Delta \tilde{Y}_i = P_i/K_i$) para cada i-ésimo piso y para cada j-ésimo paso de tiempo.
- Main [6] : se calculan las respuesta de desplazamiento, velocidad y aceleración para el (j+1)-ésimo paso de tiempo.
- Dtri : se calcula la nueva rigidez de acuerdo con el lazo histerético escogido, el empleado en el presente trabajo es el modelo trilineal degradante (usado para columnas en el análisis riguroso).
- Main [7] : valores de respuesta para cada piso en cada paso. con el siguiente formato: tiempo, deflexión absoluta, deflexión relativa, corte, fuerza y momento de volteo.
- Main [8] : máximos valores de respuesta por piso. dados de la siguiente manera: piso, deflexión relativa y su tiempo de ocurrencia, corte y su tiempo de ocurrencia, coeficiente sísmico de piso (corte de piso/peso por piso), ductilidad -en base de desplazamientos- respecto al corte (d_{max}/d_c) y respecto a la fluencia (d_{max}/d_y).

A.2. PROGRAMA SB . Respuesta Dinámica Tiempo-Historia:

Modelo Corte-Flexión

En la figura A.2 se muestra el diagrama de flujo y subrutinas empleadas son las siguientes:

- Main [1]** : ingreso de datos de la estructura, onda sísmica y control de respuesta. impresión de datos de entrada a manera de comprobación.
- Main [2]** : cálculo de los valores iniciales y parámetros de entrada para la ecuación de Newmark-Wilson.
- Respm [1]** : comienza el ciclo iterativo (iter=1).
- Stiffo** : ensambla la matriz de rigidez de los resortes de corte (shear).
- Stiff [1]** : ensambla la matriz de los resortes de interacción de pisos (bending). y se adiciona con los resultados de Stiffo ensamblando así la matriz de pseudo-rigidez por piso.
- Respm [2]** : ensambla la matriz de pseudo-fuerza por piso.
- Lineq** : cálculo de la matriz de pseudo-desplazamiento ($DIS_i = F_{II} / S_{MI}$) para cada i-ésimo piso y en el paso j-ésimo de tiempo (mediante el método de Gauss).
- Respm [3]** : valores de respuesta para el desplazamiento, velocidad y aceleración en el (j+1)-ésimo paso de tiempo.
- Change** : inicialización del lazo histerético, el modelo usado es el trilineal degradante (empleado para columnas en el modelo riguroso).
- Stiff [2]** : ensambla la nueva matriz de pseudo-rigidez considerando la variación mediante el lazo histerético aplicado.
- Respm [4]** : impresión de los resultados para cada paso de tiempo mediante el siguiente formato: desplazamiento relativo de los diversos resortes (shear y bending), desplazamiento absoluto de piso relativo a la base, velocidad de los resortes, aceleraciones absolutas de piso, fuerzas deformantes de los resortes, fuerzas cortantes de piso y momentos de transtrocamiento de piso.
- Respm [5]** : valores máximos de respuesta, en base a los resultados parciales, para los diversos resortes (shear y bending) con su respectivo tiempo de ocurrencia.

A.3. PROGRAMA INSTA . Respuesta Estática: Modelo Bidimensional

Se muestra en la figura A.3 y a continuación la explicación de las subrutinas usadas:

Indata : información sobre el tipo de análisis (especificaciones para los cálculos), información general de la estructura, información sobre las cargas laterales o desplazamientos (de acuerdo a lo considerado), información sobre el efecto de cargas verticales (si son consideradas).

Input : información sobre los miembros, grupos de vigas y columnas con iguales propiedades elásticas y plásticas, identificación de vigas y columnas con las mismas propiedades, propiedades elásticas de las vigas y columnas (muros), propiedades plásticas de vigas y columnas, información sobre el problema del bond-slippage, información de las propiedades cortantes del muro de corte, información sobre los elementos de arriostamiento (elasto-plástico), información sobre el sway y rocking springs (elasto-plástico).

Auto : autogeneración de los puntos nodales para los miembros, longitudes y cosenos directores para los elementos de arriostamiento.

Print [1] : impresión de los datos de entrada (a manera de comprobación).

Init [1] : evaluación de la matriz de compatibilidad de desplazamientos (vigas y columnas) tomando en consideración las zonas rígidas, encuentra las propiedades elásticas para la matriz de rigidez de cada miembro.

Init [2] : inicialización para el lazo histerético (preparación de cálculos y grupos de condiciones iniciales).

Print [2] : continuación de la impresión de los datos de entrada.

Main [1] : formación del vector de cargas externas incrementales (o desplazamientos incrementales, según lo considerado), donde los valores a usar se denotan por: AM_i , fuerza de entrada por piso, KAZU, número de pasos de cálculo. ΔAM_i ,

incrementos de carga por piso. JP, iteración o paso de cálculo actual.

Dtrib : evaluación de la rigidez y momentos instantaneos de las vigas, de acuerdo al tipo de lazo histerético.

Dtric : evaluación de la rigidez y momentos instantaneos de las columnas, de acuerdo al tipo de lazo histerético.

Wall : evaluación de la rigidez de corte del muro, de acuerdo al tipo de lazo histerético.

Force : cálculos de la fuerza de restauración, fuerza de corte y fuerza horizontal por piso.

Main [2] : discernimiento del rango de rigidez actual. analiza la condición, elástica, de agrietamiento y fluencia, en que se encontrar los miembros (vigas, columnas y muros).

Main [3] : resultados parciales de cada paso: desplazamiento absoluto, desplazamiento relativo, fuerza, corte y rigidez por piso. ángulo de rotación en los nudos. relación M- θ . puede imprimir el valor de las ductilidades y fuerzas en los miembros en todo cambio de condición de fluencia.

Main [4] : desplazamiento absoluto, desplazamiento relativo, fuerza y corte máximos por piso. valores de ductilidad y máxima fuerza en los miembros (vigas, columnas y muros).

Spring : encuentra la matriz de flexibilidades de los miembros de acuerdo al modelo de viga inelástica de Giberson.

Parab : encuentra la matriz de flexibilidades de los miembros de acuerdo al modelo de viga inelástica de Takizawa.

Fsolv : formación del vector de cargas para el análisis y solución de la ecuación estática por el método de control de fuerzas.

Fsolv : formación del vector de desplazamientos para el análisis y solución de la ecuación estática por el método de control de desplazamientos.

Stiff : evaluación de la matriz de rigidez de los miembros y formación de la matriz de rigidez total de la estructura: inicialización, matriz de rigidez de columnas y contribución a la forma K-story, matriz

de rigidez de las vigas y contribución a la forma K-story, matriz completa K-story debido a vigas y columnas, contribución de los elementos de arriostre para el K-story y contribución del Sway y Rocking Spring para la K-story.

Invert : inversión de la matriz definida positiva y simétrica.

Solve : solución de la ecuación lineal (banda tridiagonal).

A.4. PROGRAMA INDRA . Respuesta Dinámica: Modelo Bidimensional

Se muestra en la figura A.4 y las subrutinas usadas se explican a continuación:

Indata : información sobre el tipo de análisis (especificaciones para los cálculos). información general de la estructura. información sobre la onda sísmica de entrada. información sobre el efecto de cargas verticales estáticas (si son consideradas).

Input : información sobre los miembros, grupos de vigas y columnas con iguales propiedades elásticas y plásticas. identificación de vigas y columnas con las mismas propiedades. propiedades elásticas de las vigas y columnas (muros). propiedades plásticas de vigas y columnas. información sobre el problema del bond-slippage. información de las propiedades cortantes del muro de corte. información sobre los elementos de arriostramiento (elasto-plástico). información sobre el sway y rocking springs (elasto-plástico).

Auto : autogeneración de los puntos nodales para los miembros. longitudes y cosenos directores para los elementos de arriostramiento.

Print [1] : impresión de los datos de entrada

Init [1] : evaluación de la matriz de compatibilidad de desplazamientos (vigas y columnas) tomando en consideración las zonas rígidas, encuentra las propiedades elásticas para la matriz de rigidez de cada miembro.

- Init [2]** : inicialización para el lazo histerético (preparación de cálculos y grupos de condiciones iniciales).
- Coeff** : evaluación de los coeficientes para la integración de la ecuación dinámica, es usada el operador " β " de Newmark, con $\beta = 1/4$.
- Main [1]** : inicio del cálculo de la respuesta; define como estado inicial el elástico en vigas columnas y muros para el lazo histerético. se encuentra la aceleración del sismo en el tiempo "TIME".
- Dtrib** : evaluación de la rigidez y momentos instantaneos de las vigas, de acuerdo al tipo de lazo histerético.
- Dtric** : evaluación de la rigidez y momentos instantaneos de las columnas, de acuerdo al tipo de lazo histerético.
- Wall** : evaluación de la rigidez de corte del muro, según el lazo histerético considerado.
- Force** : evaluación de la fuerza de restauración, fuerza de corte y fuerza horizontal por piso.
- Main [2]** : discernimiento del rango de rigidez actual, si se considera necesario para el estudio. analiza la condición, elástica, de agrietamiento y fluencia, en que se puede encontrar los miembros (vigas, columnas y muros).
- Main [3]** : resultados parciales de cada paso: desplazamiento absoluto, desplazamiento relativo, fuerza, corte por piso. relación M- θ en las secciones críticas, desplazamiento en los nudos (rotaciones).
- Main [4]** : máximos valores de respuesta para cada piso (desplazamiento absoluto, desplazamiento relativo, fuerza y corte) y su respectivo tiempo de ocurrencia. valores de ductilidad y máxima fuerza en los miembros (vigas, columnas y muros).
- Spring** : encuentra la matriz de flexibilidades de los miembros de acuerdo al modelo de viga inelástica de Giberson.
- Parab** : encuentra la matriz de flexibilidades de los miembros de acuerdo al modelo de viga inelástica de Takizawa.
- Stiff** : evaluación de la matriz de rigidez de los miembros y formación de la matriz de rigidez total de la

estructura: inicialización, matriz de rigidez de columnas y contribución a la forma K-story, matriz de rigidez de las vigas y contribución a la forma K-story, matriz completa K-story debido a vigas y columnas, contribución de los elementos de arriostre para el K-story y contribución del Sway y Rocking Spring para la K-story.

Invert : inversión de la matriz simétrica definida positiva.

Solve : solución de la ecuación lineal (banda tridiagonal).

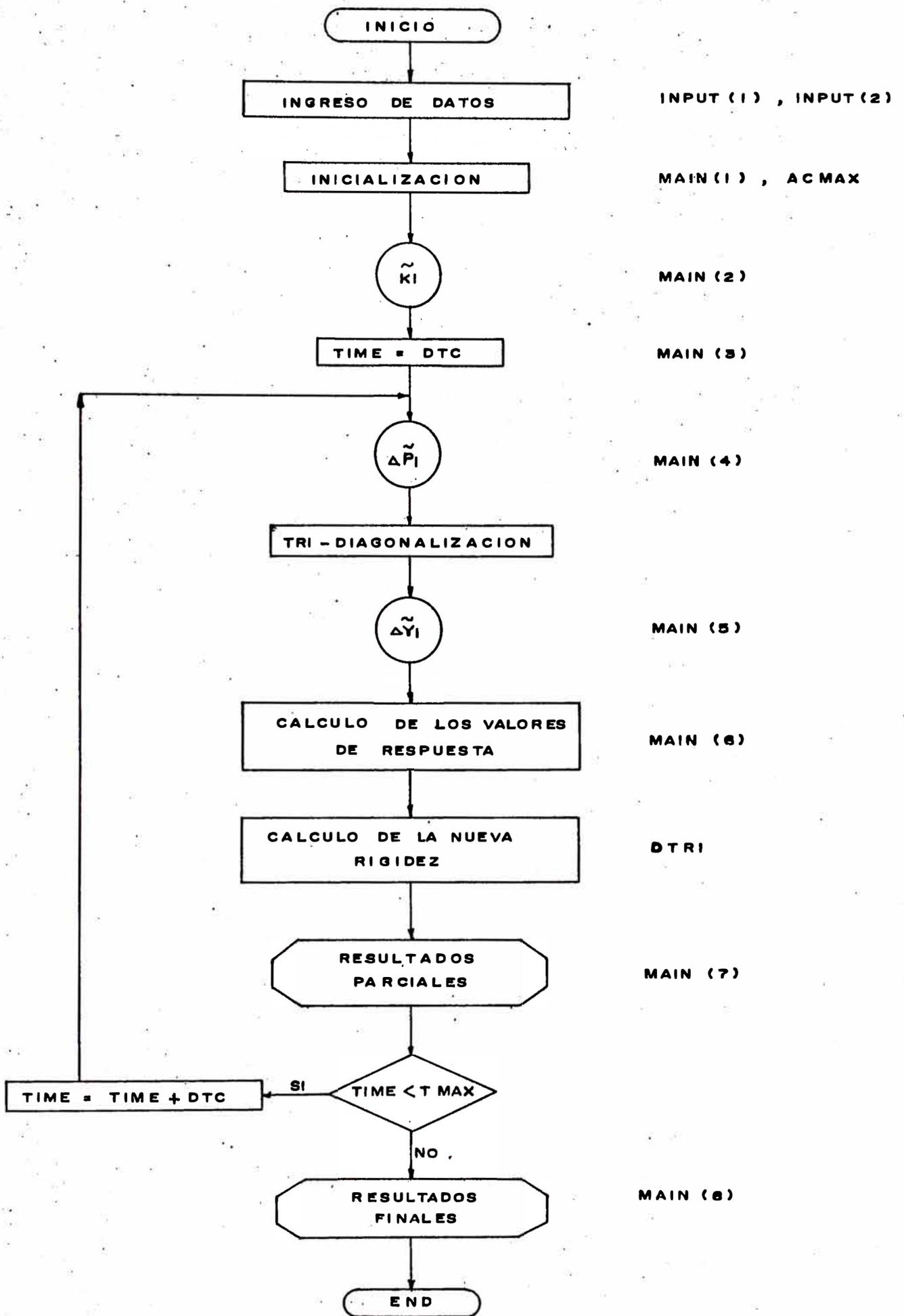


Figura N° A.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA CORTE

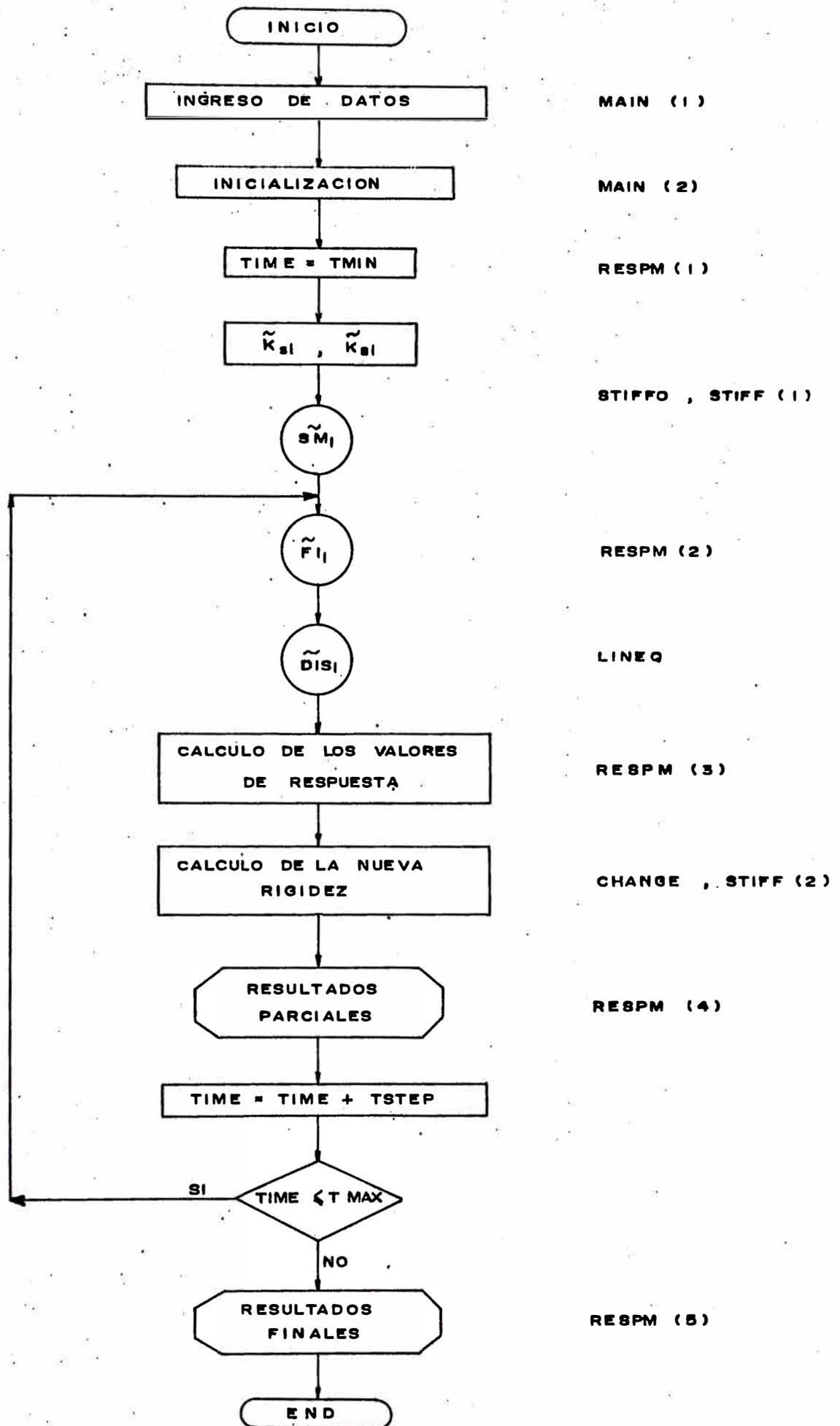
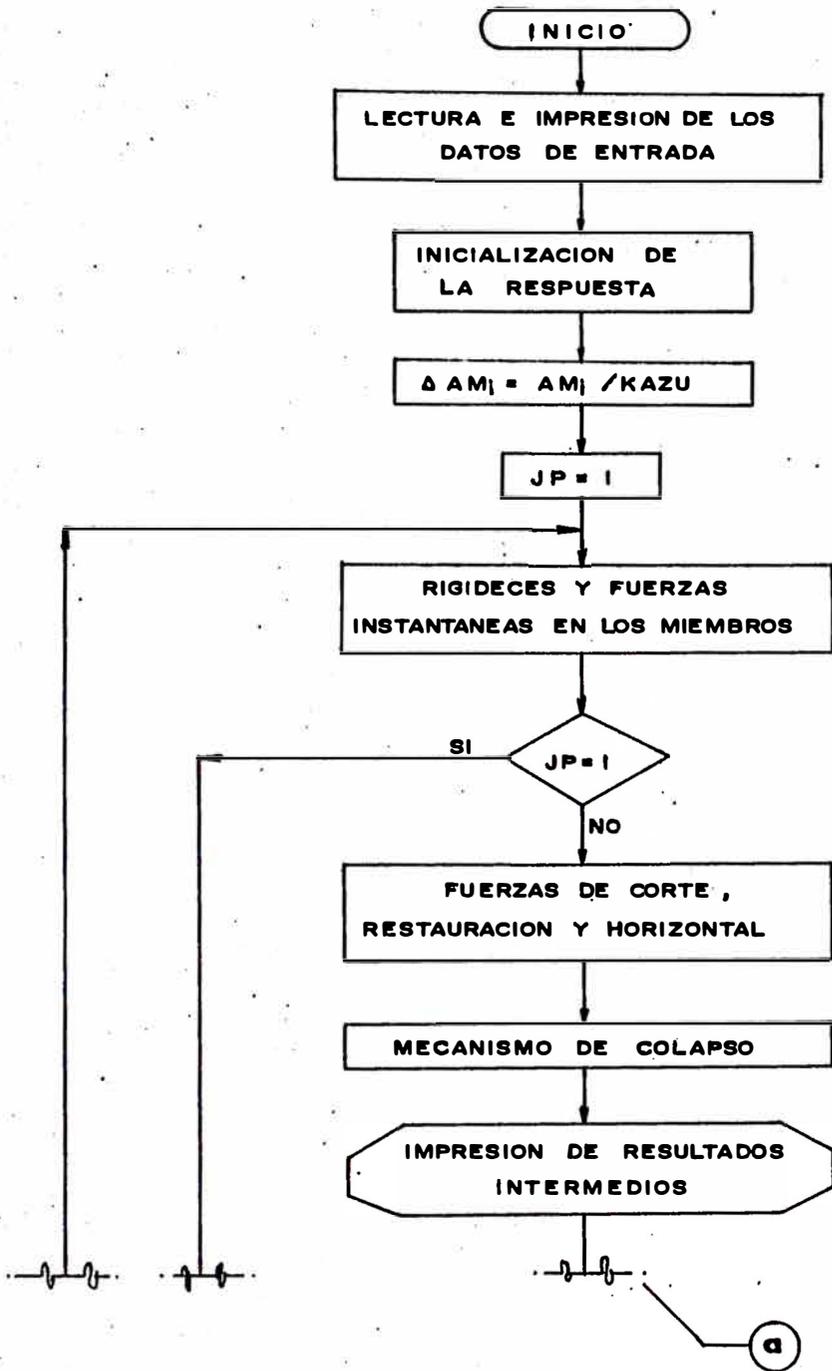


Figura N° A.2 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA SB



INDATA , INPUT , AUTO , PRINT (1)

INIT.1 , INIT 2 , PRINT (2)

MAIN (1)

DTRIB , DTRIC , WALL

FORCE

MAIN (2)

MAIN (3)

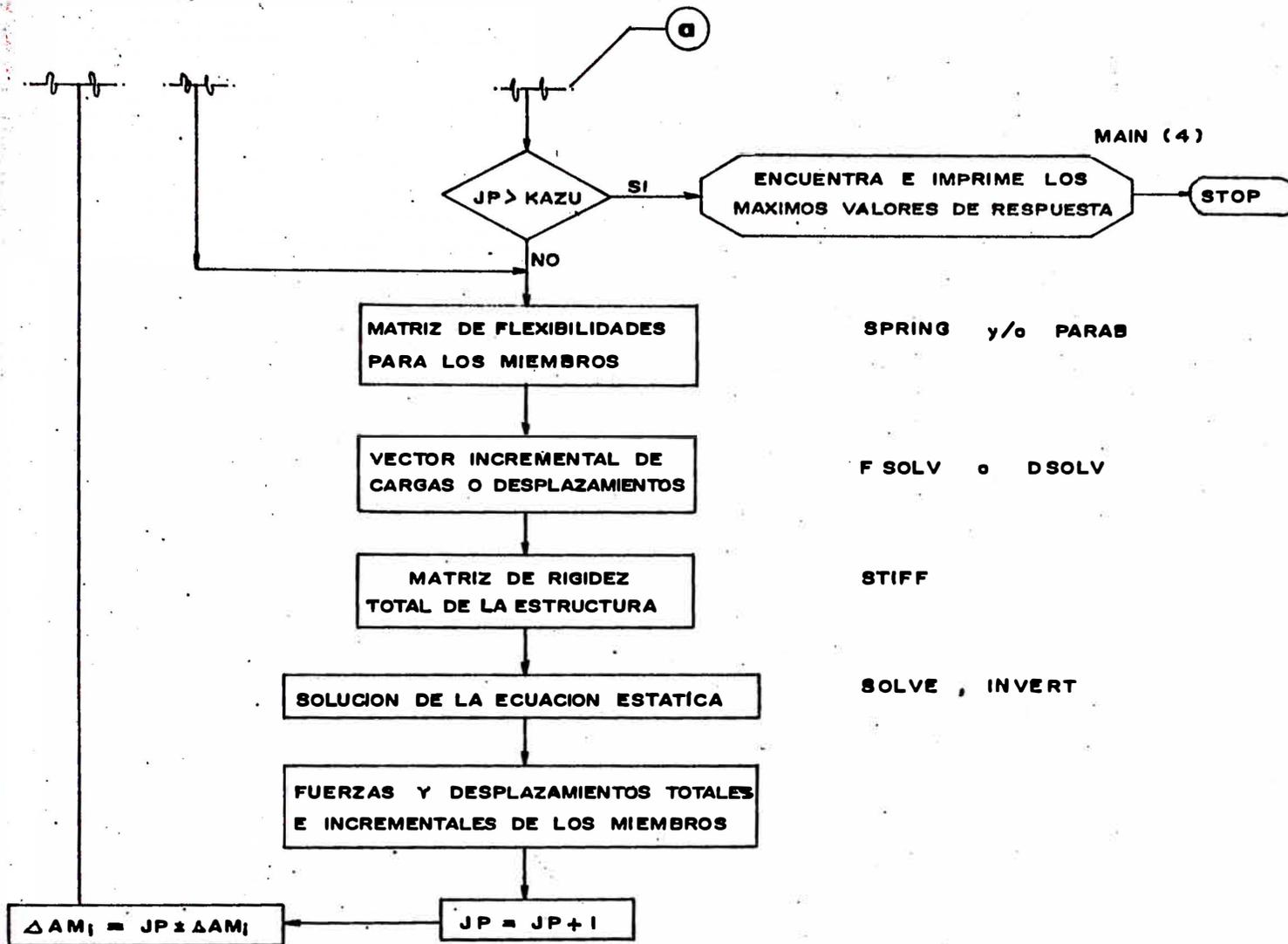


Figura N° A.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA INSTA

INICIO

LEER E IMPRIMIR LOS DATOS DE ENTRADA

INDATA, INPUT, AUTO, PRINT

INICIALIZACION

INIT 1, INIT 2, COEFF

TIME = TMIN

MAIN (1)

RIGIDEZ Y FUERZAS INSTANTANEAS EN LOS MIEMBROS

DTRIB, DTRIC, WALL

SI
TIME = TMIN

NO

FUERZAS DE CORTE, RESTAURACION Y HORIZONTAL

FORCE

MECANISMO DE COLAPSO

MAIN (2)

IMPRESION DE RESULTADOS INTERMEDIOS

MAIN (3)

TIME > TMAX

SI

ENCUENTRA E IMPRIME LOS MAXIMOS VALORES DE RESPUESTA

MAIN (4)

STOP

NO

g

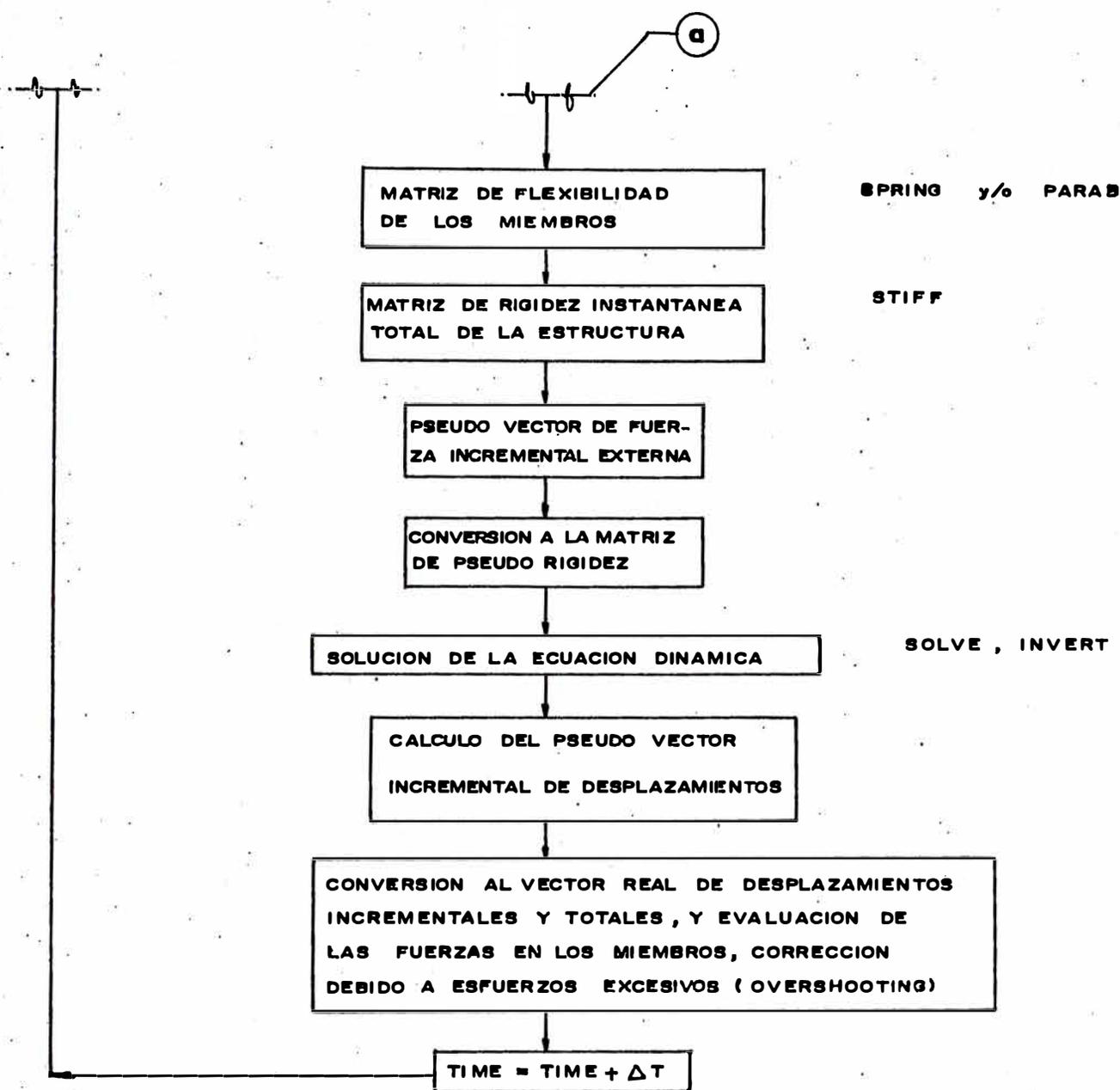


Figura N° A.4 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA INDRA

APENDICE B : METODOS PARA EL ANALISIS SISMICO Y FORMAS DE

EVALUACION DE LAS RESPUESTAS

B.1. Métodos Generales de Análisis Sísmico

B.1.1. Método Estático

Pretende conseguir una congruencia entre los efectos dinámicos que un sismo induce en una estructura y los efectos que pueda tener cuando el mismo edificio está sujeto a un sistema de fuerzas estáticas laterales correspondiente a formulas empíricas. Las fuerzas estáticas no representan realmente la acción de un sismo, pero los desplazamientos que estas originan en la estructura proporciona un cierto grado de confianza respecto a la estabilidad del edificio en caso de un movimiento sísmico real.

B.1.2. Método Dinámico

Analiza los esfuerzos y desplazamientos que se originan en la estructura de un edificio por efecto de una perturbación dinámica en su base, la que generalmente se introduce al problema en forma de pulsos de aceleración en una orientación determinada (aceleración del sismo). En este caso, las respuestas sísmicas del edificio son función del

tiempo, y lo que generalmente interese para efectos de diseño son los valores máximos de dichas respuestas.

B.2. Formas de Evaluación de las Respuestas Sísmicas

B.2.1. Evaluación Analítica

Se propone un modelo matemático del problema, se establecen las correspondientes ecuaciones que relacionan las diferentes variables que intervienen en el fenómeno, las que finalmente son resueltas en base a conocidas técnicas matemáticas.

B.2.2. Evaluación Experimental

Se someten a ensayos experimentales modelos a escala natural o reducida del edificio. Pruebas que pueden consistir en ensayos estáticos de carga o ensayos de cargas cíclicas. Entre los sistemas de prueba más sofisticados se encuentran los ensayos de modelos sobre plataformas vibratorias y los ensayos en base al muro de reacción, ambos bajo el control de computadoras.

B.2.3. Evaluación Analógica

El cálculo de las respuestas sísmicas del edificio es intermedio entre las dos formas de evaluación anteriores.

Estableciendose las ecuaciones que relacionan las variables que intervienen en el problema para el modelo matemático y el uso de simuladores analógicos.

APENDICE C : ANALISIS ESPECTRAL Y ANALISIS TIEMPO-HISTORIA

Para la evaluación analítica de las respuestas sísmicas de un edificio por el Método Dinámico, existen dos procedimientos generales.

C.1. Análisis Espectral

También llamado Análisis Modal o Procedimiento Aproximado. En este caso el modelo matemático sólo considera un comportamiento lineal de la estructura con o sin amortiguamiento viscoso proporcional. El procedimiento se puede simplificar en los siguientes puntos:

(i) Selección del espectro de diseño (espectro para un movimiento sísmico es el ploteo de las máximas respuestas de movimientos de un sólo grado de libertad de oscilaciones de periodos varios).

(ii) Determinación de formas de modo y periodos de vibración.

(iii) Lectura del nivel de respuestas del espectro para los periodos de cada modo considerado.

(iv) Cálculo de participación de cada modo correspondiente a un sólo grado de libertad.

(v) Adición de efectos de modos para obtener la combinación de máxima respuesta.

(vi) Traslación de la máxima respuesta combinada con cortes y momentos para usarla en el diseño de la estructura.

Es necesario hacer notar que el espectro da solamente el máximo nivel de respuesta para cada modo. Ello no tiene escala de tiempo y no hay manera de determinar en que momento durante el movimiento sísmico ocurre este máximo. Es muy improbable que el máximo valor para todos los modos ocurra simultáneamente. En este procedimiento generalmente es necesario el uso de estadísticas y de teorías de probabilidades, para obtener un resultado que represente los medios de combinación probables de máxima respuesta en los modos considerados.

C.2. Análisis Tiempo-Historia

También conocido como Análisis Paso-a-Paso o Procedimiento Exacto. Como el verdadero comportamiento dinámico de edificios debido a sismos de grandes amplitudes es no-lineal, un análisis real requiere un análisis plástico que registre el efecto acumulativo de la progresiva deformación plástica, e inclusive podría incluirse los efectos por cargas y aceleraciones verticales, aunque esto es muy poco frecuente.

El modelo matemático debe tomar en cuenta el comportamiento inelástico de las estructuras y los efectos del amortiguamiento del edificio. El cálculo de las respuestas sísmicas del edificio se efectúa paso a paso mediante técnicas numéricas, usando intervalos de tiempo bastante reducidos. Para la aplicación de este procedimiento de cálculo, el carácter de la perturbación dinámica en la base del modelo matemático debe ser determinística, es decir, dicha perturbación debe corresponder a un sismo o un conjunto de sismos definidos (reales o simulados) y caracterizados por sus correspondientes acelerogramas en la dirección en que se analiza el edificio.

Los pasos a seguir para este análisis son:

(i) Un record digitizado en pequeños intervalos de tiempo (generalmente de 0.01 a 0.04 seg.) con su nivel de aceleración ocurrido para cada intervalo.

(ii) Un modelo matemático que represente la estructura.

(iii) La ecuación es tomada relacionando, cada masa, tiempo y aceleración, y la fuerza actuando directamente sobre la masa.

(iv) La integración numérica es llevada a cabo para cada intervalo de tiempo, mediante un proceso numérico, puesto

que los datos de aceleraciones son imposibles de ajustar a alguna curva conocida. En cada instante es cambiada la aceleración del suelo, lo que obliga a una nueva redistribución de los esfuerzos tomando en cuenta los precedentes. La nueva aceleración puede ser de diferente intensidad y sentido, es decir que existe una interacción suelo-estructura a través del tiempo.

Durante el proceso son combinados todos los modos de vibración en cuanto ocurran. Así elimina la incertidumbre de combinar los modos que es inherente al análisis espectral.

A medida que se manifiesta las respuestas del edificio, aparecen grietas y zonas de fluencia, ya que las deformaciones plásticas absorben gran cantidad de energía vibratoria del edificio. Sobre esta base, es evidente que las deformaciones inelásticas de una estructura son un factor predominante en la limitación de las fuerzas desarrolladas en la estructura bajo un sismo severo.

BIBLIOGRAFIA

1. Chavez J., "Study of the Seismic Behavior of Two-Dimensional Frame Buildings. A Computer Program for the Dynamic Analysis: INDRA", Bulletin I.I.S.E.E., Vol.18, Japan, 1980.
2. Chavez J., "Estudio del Comportamiento Inelástico de Estructuras de Concreto Armado durante Sismos Severos", Congreso de Ingeniería Civil, Chiclayo, Perú, 1982.
3. Chavez J., "Comparison of Response Analysis of Reinforced Concrete Frames Represented by Shear Model, S-B Model and Frame Model", Bulletin Earthquake Engineering, Japan, 1977-1978.
4. Morales R., "Estudio del Factor de Reducción por Ductilidad en la Respuesta Sísmica de Edificaciones de Concreto Armado", Revista Tecnica, Vol.2, N°2, 1983.
5. Sugano S. and Koreishi I., "An Empirical Evaluation of Inelastic Behavior of Structural Elements in Reinforced Concrete Frames Subjected to Lateral Forces", Proc. 5-WCEE, Rome, Italy, June 1973.
6. Umemura H., Aoyama H. and Takizawa H., "Analysis of the Behavior of Reinforced Concrete Structures During Strong Earthquakes Based on Empirical Estimation of Inelastic Restoring Force Characteristics of Members", Proc. 5-WCEE, Rome, Italy, June 1973.
7. Aoyama H., "Simple Non-Linear Models for the Seismic Response of Reinforced Concrete Buildings", Report U.S.-Japan Cooperative Research Program, Honolulu, Hawaii, August 1975.
8. Aoyama H., "Non-Linear Response Analysis of Reinforced Concrete Structures", Fourth Regional Seminar on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, September 1976.
9. "Seismic Response Analysis of a 7 Story Reinforced Concrete Wall-Frame Structure" Report of Building Research Institute, Session V, 1980.
10. Gulkan P. and Sozen M., "Inelastic Responses of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions", ACI Journal, December 1974.
11. Shibata A. and Sozen M., "Use of Linear Models in Design to Reflect the Effect of Non-Linear Response", Report U.S.-Japan Cooperative Research Program, Honolulu, Hawaii, August 1975.

12. Shibata A. and Sozen M., "The Substitute Structure Method for Earthquake-Resistant Design of Reinforced Concrete Frames", Civil Engineering Studies, Structural Research Series N°412, Illinois, USA, October 1974.

13. Kabeyasawa T., Shiohara H., Otani S. and Aoyama H., "Analysis of the Full-Scale Seven-Story Reinforced Concrete Test Structures Test PSD-3", The Third Joint Technical Coordinating Committee Meeting U.S.-Japan Cooperative Research Program Utilizing Large Scale Testing Facilities, Building Research Institute, Tsukuba, Japan, July 14-16 1982.

14. Zavala A., "Estudio del Factor de Ductilidad y la Respuesta Sísmica en Pórticos con Placas", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 1986.

15. Bertero V., Aktan A., Charney F. and Sauce R., "Comparison of 1/5 th-Scale Model Shaking Table Test Results with those Obtained in Full-Scale Model Tests and those Predicted Analytically", Earthquake Engineering Research Center, June 1984.

16. Yoshimura M., "Reduction of M.D.O.F. System to S.D.O.F. System", Report of Building Research Institute, Tsukuba, Japan, May 1981.

17. "A Proposal for Determining the Acceleration Level for Pseudo-Dynamic Testing of the Reinforced Concrete 7 Story Building", Report of Building Research Institute, Session V, 1980.

18. Yoshimura M., "Evaluation on the Appropriateness of Single Degree Pseudo-Dynamic Testing", The 3rd JTCC Meeting, July 14-20, 1982.

19. Biggs J., "Introduction to Structural Dynamics", Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1964.

20. Roesset J., "Notas sobre Métodos Numéricos para Dinámica Estructural", M.I.T. Cambridge, Massachusetts, 1974.

21. Pique J., "Dinámica Estructural", Copias de Clase, Escuela de Post-Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, 1987-I.

22. Scaletti H., "Métodos Numéricos", Copias de Clase, Escuela de Post-Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, 1987-I.

23. "Normas de Diseño Sismo-Resistente, Reglamento Nacional de Construcciones", Ministerio de Vivienda y Construcción, Oficina de Investigación y Normalización Coordinadora, Lima-Perú.

24. Meneses J., "Evaluación de Acelerogramas y Determinación de Espectros de Respuesta en Lima", Tesis de Grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú, 1985.

25. Bazán E. y Meli R., "Manual de Diseño Sísmico de Edificios", Editorial LIMUSA S.A., Mexico, 1987.

26. Kardestuncer H., "Introducción al Análisis Estructural con Matrices", Libros Mc Graw-Hill de Mexico S.A., 1975.