

ANEXO C.- PROGRAMA SMIS

1.- INTRODUCCIÓN

La idea básica del programa-lenguaje SMIS, es la entrada de datos en forma de palabras y números que permiten al programa identificar y ejecutar una determinada operación mediante el nombre entregado por el usuario. Por ejemplo, si el usuario escribe la palabra MULT el programa reconoce la operación para multiplicar dos matrices y llama a la subrutina correspondiente.

La versión original de este programa escrito en lenguaje FORTRAN fue desarrollada por E. Wilson en 1963 en la Universidad de California en Berkeley. El programa fue con el transcurso de los años instalado y desarrollado en numerosas universidades, institutos de investigación y oficinas de ingeniería en el mundo.

Un desarrollo importante del programa fue realizado en Alemania en la Universidad de Bochum entre los años 1971 y 1980, donde el autor tuvo la oportunidad de participar /1/. Es de esa versión, que originalmente era para grandes computadores, que se desarrolló en el año 1985 en el Departamento de Obras Civiles de la Universidad de La Serena este programa para computadores personales (PC) en ambiente DOS.

Con el avance de los años, esa versión fue siendo modificada modernizándola e introduciéndole nuevas operaciones, pero siempre en ambiente DOS y en lenguaje FORTRAN 77. En el año 2005 se desarrolló una nueva versión del programa (SMIS-W) usando FORTRAN 90 y FORTRAN 95 bajo ambiente Windows /2/.

Existen en la presente versión 69 instrucciones que realizan todas las operaciones del álgebra matricial y en especial las empleadas para el análisis estructural estático y dinámico que son usadas en los cursos de Análisis Matricial de Estructuras e Ingeniería Antisísmica /3/.

La versión que se describe en este anexo corresponde a la antigua versión en ambiente DOS, sin embargo en lo fundamental las instrucciones de la versión SMIS-W son las mismas que las aquí descritas, sin necesidad de respetar los formatos del FORTRAN 77. El programa SMIS-W dentro de sus menús tiene como ayuda un manual similar al que aquí se muestra.

2.- ENTRADA DE DATOS

La entrada de datos al programa SMIS, es en forma de líneas separadas en columnas como se indica en la Figura 1, que emula las antiguas tarjetas perforadas usadas en el pasado como única forma de ingresar información al computador. Los nombres allí indicados tienen los siguientes significados.

OPER	A partir de la columna 1 hacia la derecha, nombre de la operación que se desea realizar (máximo 6 letras).
F1	A partir de la columna 7 hacia la derecha, nombre de una matriz (máximo 6 letras), si la operación indicada en OPER lo requiere.
F2	Igual que F1, pero a partir de la columna 13
F3	Igual que F1, pero a partir de la columna 19
F4	Igual que F1, pero a partir de la columna 25
N1	Número entero escrito de la columna 36 hacia la izquierda (máximo 6 cifras), si la operación indicada en OPER la requiere.
N2	Igual que N1, pero a partir de la columna 42 hacia la izquierda
N3	Igual que N1, pero a partir de la columna 48 hacia la izquierda
N4	Igual que N1, pero a partir de la columna 54 hacia la izquierda
S1	Número real entre las columnas 55 a 60, si la operación OPER lo requiere.
S2	Número real entre las columnas 61 a 66, si la operación OPER lo requiere.

El grupo de datos de entrada debe llevar al comienzo la operación START (en las columnas asignadas como OPER). Además, esta operación puede ser incluida adicionalmente en otra parte de la entrada de datos lo que hace al programa comenzar de nuevo borrando toda la información (matrices) generada hasta ese momento. Nótese que al ingresar datos numéricos, si se deja un espacio vacío, el programa asume el valor 0.

Al final de la entrada de datos debe ir la operación STOP que detiene la ejecución del programa. Las primeras veces que se utiliza el programa SMIS es conveniente imprimir la hoja con la Figura 1 y escribir las instrucciones y datos en dicha hoja, para respetar los formatos de entrada, y luego ingresar los datos a un archivo. Alternativamente, el programa SMIS-W tiene la opción de “insertar instrucción formateada”, que cumple el mismo objetivo.

3.- OPERACIONES (OPER) POSIBLES EN SMIS

Los símbolos (-) y (+), usados más adelante significan lo siguiente:

- (-) **La matriz correspondiente debe haber sido definida anteriormente.**
- (+) **La matriz es generada por la operación realizada.**

3.1.- OPERACIONES MATRICIALES DE TIPO GENERAL

- ADD** Suma de dos matrices.
F1= Nombre de la primera matriz (-).
F2= Nombre de la segunda matriz (-).
La suma de ambas matrices (F1+F2) queda almacenada en F1.
- DELETE** Borrar una matriz de la memoria.
F1= Nombre de la matriz que debe ser borrada de la memoria (-).
- DUPL** Duplicar una matriz.
F1= Nombre de la matriz que debe ser duplicada (-).
F2= Nombre de la matriz que será generada y cuyos elementos son idénticos con los de F1 (+)
- EXRC** Intercambiar filas y/o columnas de una matriz.
F1= Nombre de la matriz cuyas filas y/o columnas deben ser intercambiadas (-).
F2= Nombre de una matriz-fila (tipo "integer") que indica el intercambio (permutaciones) de columnas (-).
F3= Nombre de una matriz-fila (tipo "integer") que indica el intercambio (permutaciones) de filas (-).
La matriz resultante queda almacenada en F1.
- LOAD** Entrar una matriz del tipo "real".
F1= Nombre de la matriz que será entrada (+).
N1= Número de la fila de la matriz F1.
N2= Número de columnas.
Los elementos de la matriz F1 deben ser entregados a partir de la siguiente línea en un formato FORTRAN 12F6.0. Si se quiere cambiar el formato de entrada, por ejemplo a 6E12.5, debe escribirse este nuevo formato a partir de la columna 13 y cerrado entre paréntesis (6E12.5).
- LOADLM** Entrar una matriz del tipo "integer".
Igual que LOAD, con la diferencia que los elementos de la matriz son del tipo "integer".
Los valores de estos elementos deben ser entregados a partir de la siguiente línea en formato 12I6. El cambio de formato se realiza en forma análoga a LOAD.
- LPLOT** Realizar un "ploteo" de la matriz a escala logarítmica" (ver PLOT).
F1= Nombre de la matriz de cuyas filas se hará un "ploteo" a escala logarítmica. Esta matriz puede contener un máximo de nueve filas (-)
N1= Número de las líneas siguientes que contiene un texto como título del "ploteo".

MULT Multiplicación de dos matrices.
F1= Nombre de la primera matriz (-).
F2= Nombre de la segunda matriz (-).
F3= Nombre de la matriz que contiene el producto $F1 * F2$ (+).

- PLOT** Realizar un “ploteo” de la matriz.
- F1= Nombre de la matriz de cuyas filas se hará un “ploteo”. Esta matriz puede tener un máximo de nueve filas (-).
- N1= Número de líneas que siguen a continuación con un texto como título “ploteo” a realizar.
- Los elementos de la matriz F1 son llevados a un gráfico X-Y. En el eje X se lleva el número de la columna y en el eje Y el valor relativo de los elementos con respecto al mayor elemento de la matriz. Cada fila (máximo 9) se grafica por separado. Si se quiere una escala logarítmica del eje Y se debe ocupar la operación LPLOT.
- PRINT** Imprimir una matriz.
- F1= Nombre de la matriz a imprimir (-).
- N1= Número de las líneas de texto que vienen a continuación y serán impresas como título de la matriz .
- N2= 1 Elementos de la matriz F1 son del tipo "integer"
0 Elementos de la matriz F1 son del tipo "real".
- REMARK** Imprimir un texto comentario.
- N1= Número de líneas que siguen a continuación y que se imprimirán como texto comentario.
- START** Iniciar programa (borra todas las matrices).
- STOP** Terminar ejecución del programa.
- SUB** Restar dos matrices.
- F1= Nombre de la primera matriz (minuyendo) (-).
- F2= Nombre de la segunda matriz (subtraendo) (-).
- El resultado (F1-F2) queda almacenado en la matriz F1.
- TRANS** Transponer una matriz.
- F1= Nombre de la matriz a transponer (-).
- F2= Nombre de la matriz transpuesta ($F2=F1^T$) (+).
- TRFORM** Formar una matriz rectangular a partir de una matriz bandeada o a la inversa.
- F1= Nombre de la matriz simétrica bandeada.
- F2= Nombre de la matriz rectangular que contiene la mitad de la banda de la matriz F1.
- N2= 0 : se supone que F2 es conocida y se genera F1.
≠0 : se supone que F1 es conocida, se genera F2.

TRMULT Multiplicación de dos matrices transponiendo previamente la primera de ellas.
F1= Nombre de la primera matriz (-).
F2= Nombre de la segunda matriz (-).
F3= Nombre de la matriz que contiene el producto de la transpuesta de la primera por la segunda ($F3=F1 *F2$) (+).

3.2.- OPERACIONES CON ARCHIVOS EXTERNOS

READ Leer matrices desde un archivo externo (generado con la operación WRITE).
F1= Nombre del archivo externo.
N1= Número de matrices a leer.
En la línea siguiente deben aparecer los nombres de las N1 matrices a leer en formato 12A6, esto es, un máximo de 12 matrices con nombres de hasta 6 letras.

WRITE Escribir matrices en un archivo externo en forma binaria.
F1= Nombre del archivo externo.
N1= Número de matrices a escribir.
En la línea siguiente deben aparecer los nombres de las N1 matrices a escribir (ver instrucción READ)

3.3.- OPERACIONES CON SUB-MATRICES

ADDSM Sumar una sub-matriz F2 a partir de cierta fila y columna de una matriz F1.
F1= Nombre de la matriz en la cual una sub-matriz será sumada (-).
F2= Nombre de la sub-matriz (-).
N1,N2 Número de la fila y columna de la matriz F1 donde se sumará el primer elemento de la sub-matriz F2.

DELRC Reducción de una matriz eliminando filas y/o columnas.
F1= Nombre de la matriz que será reducida (-).
F2= Nombre de la matriz reducida (+).
F3= Nombre de una matriz-fila (tipo "integer") que contiene los números de las filas de la matriz F1 que serán eliminadas (-).
F4= Nombre de una matriz-fila (tipo "integer") que contiene los números de las columnas de la matriz F1 que serán eliminadas (-).

MERGE Sumar o introducir una sub-matriz F2 en determinadas filas y columnas de F1.
F1= Nombre de la matriz en la cual será sumada o introducida una sub-matriz F2 (-).
F2= Nombre de la sub-matriz que será sumada o introducida en F1 (-).
F3= Nombre de una matriz-fila (tipo "integer") que indica las filas de la matriz F1 donde se sumarán o introducirán las respectivas filas de F2 (-).

F4= Nombre de una matriz-fila (tipo "integer") que indica las columnas de la matriz F1 donde se sumarán o introducirán las respectivas columnas de F2 (-).

N1= 0 : los elementos de la sub-matriz F2 serán sumados a los de la matriz F1.
 ≠0 : los elementos de la sub-matriz F2 reemplazarán a los de la matriz F1.

RMVSM Formar una sub-matriz F2 a partir de cierta fila y columna de una matriz F1.

F1= Nombre de la matriz de la cual se extraerá una sub-matriz F2 (-).

F2= Nombre de la sub-matriz (+).

N1,N2 Número de la fila y columna de la matriz F1 que contiene el primer elemento de la sub-matriz F2.

N3,N4 Número de filas y columnas de la matriz F2.

STOSM Introducir una sub-matriz a partir de cierta fila y columna de una matriz F1. Esta operación es idéntica a ADDSM (F1, F2, N1 y N2, tienen igual significado) con la diferencia de que los elementos correspondientes de la matriz F1 son reemplazados (en lugar de sumados) por los elementos de la sub-matriz F2.

3.4.- OPERACIONES CON MATRICES DIAGONALES

DGADD Suma de una matriz cuadrada con una matriz diagonal.

F1= Nombre de una matriz cuadrada (-).

F2= Nombre de una matriz-fila, la cual contiene los elementos de la diagonal de una matriz diagonal (-).

El resultado de esta operación (F1+F2) queda almacenada en F1.

DGMPY Multiplicación de dos matrices diagonales.

F1,F2 Nombre de dos matrices-fila que contienen los elementos de las diagonales de las respectivas matrices diagonales (-).

El resultado de esta operación (F1*F2) queda almacenado en F1.

DGPOST Multiplicación de una matriz cualquiera por una matriz diagonal.

F1= Nombre de una matriz cualquiera (rectangular) (-).

F2= Nombre de una matriz-fila que contiene los elementos de la diagonal de una matriz-diagonal (-).

El resultado del producto (F1*F2) queda almacenado en F1.

DGPRE Multiplicación de una matriz diagonal por una matriz cualquiera.

F1 y F2 igual que en DGPOST.

El resultado del producto (F2*F1) queda almacenado en F1.

DGSUB Resta de una matriz cualquiera y una matriz diagonal.

F1 y F2 igual que en DGADD. El resultado de la resta (F1-F2) queda almacenado en F1.

- IDADD** Similar a DGADD, en que los elementos de la matriz diagonal son todos iguales.
 F1= Nombre de una matriz cuadrada (-).
 N4, S1 Con estos valores se forma un escalar $k=S1*10^{N4}$.
 El resultado de esta operación $F1+k*I$ (en que I es la matriz identidad) queda almacenado en F1.
- RMVDG** Formación de una matriz de una fila a partir de la diagonal de una matriz cuadrada.
 F1= Nombre de una matriz cuadrada (-).
 F2= Nombre de una matriz-fila que contendrá los elementos de la diagonal de F1 (+).
- STODG** Introducción de una matriz de una fila en la diagonal de una matriz cuadrada.
 F1= Nombre de una matriz cuadrada (-).
 F2= Nombre de una matriz-fila cuyos elementos reemplazarán a los elementos de la diagonal de la matriz F1 (-). El resultado de esta operación queda almacenado en F1.

3.5.- OPERACIONES CON LOS ELEMENTOS DE LAS MATRICES

- ENVEL** Determinación del mayor valor absoluto de cada fila de una matriz.
 F1= Nombre de la matriz de la cual se quiere determinar el mayor valor absoluto de cada fila
 F2= Nombre de una matriz-columna en la que se almacenarán los valores obtenidos (+).
 N1= Número de líneas que siguen a continuación y se imprimirán como texto.
- INVEL** Formación de una matriz con los valores recíprocos de sus elementos.
 F1= Nombre de la matriz cuyos elementos serán reemplazados por sus valores recíprocos (-)
- LOG** Formación de una matriz con los logaritmos de sus elementos.
 F1= Nombre de la matriz cuyos elementos serán reemplazados por sus logaritmos naturales (-)
- MSCALE** Multiplicación de una matriz por un escalar obtenido de otra matriz.
 F1= Nombre de la matriz que será multiplicada por un escalar (-).
 F2= Nombre de la matriz cuyo primer elemento será tomado como escalar (-).
- MTXMAP** Obtener elementos de una matriz que sean mayores que un escalar k dado.
 F1= Nombre de la matriz que será examinada (-).
 N1= Número de líneas que siguen a continuación y se imprimirán como texto.
 N4,S1 El escalar k se forma como $k = S1*10^{N4}$

La matriz F1 se imprime en forma simbólica de manera que * (asterisco) identifica a elementos cuyo valor absoluto es mayor que k, mientras que • (punto) identifica a los elementos con valor absoluto menor o igual a k

- SCALE** Multiplicación de una matriz por un escalar k dado.
 F1= Nombre de la matriz que será multiplicada por un escalar k (-).
 N4, S1 El escalar se forma como $k = S1 * 10^{N4}$
- SELECT** Seleccionar determinados elementos de una matriz-fila o matriz-columna.
 F1= Nombre de una matriz-fila o matriz-columna.
 Los elementos pueden ser del tipo "real" o "integer" (-).
 F2= Nombre de una matriz-fila que almacenará los elementos de F1 seleccionados (+).
 N1, N2 Se seleccionará cada N1 elementos de la matriz F1 partiendo del elemento N2.
- SQREL** Formación de una matriz con la raíz cuadrada de sus elementos (también sirve para elevar al cuadrado los elementos).
 F1= Nombre de la matriz (-).
 N3= 0 (o vacío) Saca la raíz cuadrada de los elementos
 N3= 1 Eleva al cuadrado los elementos
- SYMCHK** Comprobación de la simetría de una matriz.
 F1= Nombre de la matriz a examinar. Se aceptará un margen de error ε
 N4, S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, en que k es el primer elemento de la matriz F1
 Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$
- ZERO** Formación automática de una matriz (caso especial matriz llena con ceros).
 F1= Nombre de la matriz a formar (+).
 N1= Número de filas de la matriz F1.
 N2= Número de columnas de la matriz F1.
 S1= Valor de los elementos fuera de la diagonal (sólo para matriz cuadrada).
 S2= Valor de los elementos en la diagonal (sólo para matriz cuadrada).
 Si no se indican S1 y S2 se llena una matriz llena de ceros. En el caso $N1 \neq N2$ (matriz rectangular) no debe indicarse valores S1 y S2.

3.6.- SOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES

- BASOL1** Descomposición triangular de una matriz simétrica bandeda.
 F1= Nombre de la matriz rectangular que contiene la mitad de la banda de una matriz bandeda A (de la diagonal hacia el lado). La primera columna de F1 corresponde a la diagonal principal de A, la segunda columna de F1 contiene la segunda diagonal de A y así sucesivamente. La matriz F1 puede ser

entrada directamente mediante LOAD o bien ser generada a partir de una matriz bandeada A mediante la operación TRFORM.

Después de la descomposición F1 contiene la banda de la matriz triangular superior obtenida por CHOLESKY. Si durante la descomposición se detecta un elemento de la diagonal $a_{ii} < \varepsilon$ se indica "matriz singular".

N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, siendo k el primer elemento de la matriz F1. Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$

BASOL2 Solución sistema de ecuaciones con matriz simétrica bandeada (previamente triangularizada con BASOL1).

F1= Nombre de la matriz que contiene la banda de la matriz triangular superior (-).

F2= Nombre de la parte derecha del sistema de ecuaciones (-). Al finalizar la operación, F2 contiene la solución del sistema de ecuaciones.

CHOL1 Descomposición triangular de una matriz simétrica positiva definida mediante Cholesky

F1= Nombre de una matriz simétrica, positiva definida (-).

F2= Nombre de la matriz triangular superior que se origina mediante la descomposición por Cholesky (+).

N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, siendo k el primer elemento de la matriz F1. Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$

El programa utiliza automáticamente la operación SYMCHK para verificar la simetría de F1 usando el margen de error ε . Por otra parte verifica si la matriz F1 es positiva definida mediante $|a_{ij}| < \varepsilon$

CHOL2 Resolución de sistema de ecuaciones para matriz triangular inferior. Primera fase de solución sistema de ecuaciones mediante Cholesky.

F1= Nombre de una matriz triangular inferior. Puede ser obtenida por transposición de la matriz triangular superior obtenida con CHOL1. Una vez finalizada la operación CHOL2 la matriz F1 contiene la inversa de la matriz original (-).

F2= Nombre de la matriz que contiene la parte derecha del sistema de ecuaciones. Después de CHOL2, la matriz F2 contiene la solución del sistema de ecuaciones. Si no se indica una matriz F2 solo se realiza la inversión de la matriz F1.

N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, siendo k el primer elemento de la matriz F1. Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$

CHOL2 realiza los siguientes controles:

a) Si algún elemento a_{ij} de la matriz F1 ubicada sobre la diagonal es tal que $|a_{ij}| > \varepsilon$, se interrumpe la ejecución con el mensaje: *** Matrices son incompatibles ***

b) Si algún elemento a_{ii} de la diagonal de F1 es tal que $|a_{ii}| < \varepsilon$, se interrumpe la ejecución con el mensaje: *** Matriz no es positiva definida ***

- CHOL3** Resolución de un sistema de ecuaciones para una matriz triangular superior. Segunda fase sistema de ecuaciones mediante Cholesky.
- F1= Nombre de la matriz triangular superior. Puede obtenerse con CHOL1. Al terminar la operación CHOL3 la matriz F1 contiene la inversa de la matriz original (-).
- F2= Nombre de la parte derecha del sistema de ecuaciones. Puede ser obtenida mediante CHOL2. Luego de la operación CHOL3, la matriz F2 contiene la solución del sistema de ecuaciones. Si no se indica una matriz F2, la operación CHOL3 splo realiza la inversión de la matriz F1.
- N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, siendo k el primer elemento de la matriz F1. Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$. Los controles son similares a CHOL2.
- INVERT** Inversión de una matriz no singular.
- F1= Nombre de la matriz que se quiere invertir. Después de la operación INVERT; F1 contiene la inversa e la matriz original (-).
- N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, en que k es primer elemento de la matriz F1. Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$. La inversión se realiza mediante Gauss usando pivote por líneas e intercambiando columnas. Si alguno de estos elementos resulta $< \varepsilon$ entonces se interrumpe la ejecución con el mensaje: *** Matriz es singular ***
- INVSYM** Inversión de una matriz simétrica.
- F1= Nombre de la matriz simétrica (-).
- N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, en que k es primer elemento de la matriz F1. Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$. La inversión se realiza mediante Gauss sin intercambio de filas o columnas. Si algún elemento de la diagonal de F1 es $< \varepsilon$, entonces se interrumpe la ejecución con el mensaje *** Matriz es singular ***
- PSINV** Pseudo-inversión de una matriz rectangular con filas linealmente independientes.
- F1= Nombre de la matriz rectangular con n filas y m columnas en que $m > n$ (equivalente a la matriz \underline{a}^T en /2/). Una vez realizada la operación PSINV en F1 quedan los elementos de la matriz pseudo-inversa (-).
- F2= Nombre de una matriz-fila que contiene los números de las columnas de F1 elegidas como redundantes (incógnitas hiperestáticas en /2/).
- F3= Nombre de una matriz que contiene los elementos de la matriz \underline{b}_0 (ver /2/) (+).
- F4= Nombre de una matriz que contiene los elementos de la matriz \underline{b}_x (ver /2/) (+).

- SOLVE** Solución de un sistema de ecuaciones.
- F1= Nombre de una matriz cuadrada no-singular. Los elementos de esta matriz se pierden durante la ejecución de esta operación (-).
- F2= Nombre de una matriz que contiene la "parte derecha" del sistema de ecuaciones. Si existen varias "partes derechas", la matriz F1 posee varias columnas. Después de la operación SOLVE, F2 contiene la solución del sistema de ecuaciones (-).
- N4,S1 Similar a INVERT.

3.7.- OPERACIONES MATRICIALES PARA ANÁLISIS ESTRUCTURAL

- ADDSTF** Inclusión de la matriz de rigidez de un elemento k_j , en la matriz de rigidez global de la estructura K .
- F1= Nombre de la matriz de rigidez K . Antes de la primera llamada de ADDSTF, F1 debe estar definida (p.ej. usando la operación ZERO) (-).
Se distinguen dos casos:
Caso 1: F1 es cuadrada (no necesariamente simétrica). Todos los elementos de F2 se incluyen en F1 sin importar una posible simetría.
Caso 2: F1 es rectangular. Se supone que representa una matriz bandeada almacenada como se indica en BASOL1.
- F2= Nombre de la matriz k_j que será incluida en F1.
Esta matriz debe ser cuadrada y en el Caso 2 simétrica (-).
- F3= Nombre de una matriz-fila con cuya ayuda la matriz F2 se incluirá en F1.
Sus elementos deben ser enteros positivos (ver LOADLM) (-). Si el número de columnas de F2 y F3 no coinciden se interrumpe la ejecución con el mensaje: *** Matrices son incompatibles ***
Los elementos de la matriz F3 representan la relación entre los desplazamientos de los nudos del elemento y los desplazamientos de los nudos de la estructura en coordenadas globales (tabla de incidencia).
Si una misma matriz F2 debe ser incluida en distintas partes de F1, puede repetirse la operación ADDSTF con distintos F3. **Otra posibilidad es la siguiente:**
- F3= Nombre de una matriz de varias filas, cuyos elementos son enteros positivos. Cada fila de F3 representa una inclusión de F2 en F1. Los enteros N1 y N2 indican cuales filas de F3 se usarán para incluir F2 en F1 (-).
- N1= Número de la primera fila de F3 que se usará para incluir F2 en F1. Si no se indican, se asume N1=1.
- N2= Cantidad de filas de F3 a partir de la fila N1 que se usarán para incluir F2 en F1 (número de inclusiones).

- CONDEN** Condensación estática de la matriz de rigidez K

$$\underline{K} = \begin{bmatrix} \underline{K}_{11} & \underline{K}_{12} \\ \underline{K}_{21} & \underline{K}_{22} \end{bmatrix} \quad \underline{K}_{\text{cond}} = \underline{K}_{11} - \underline{K}_{12} * \underline{K}_{22}^{-1} * \underline{K}_{21}$$

- F1= Nombre de la matriz de rigidez K que será condensada. Después de la operación CONDEN la matriz F1 ya no contiene los elementos de la matriz de rigidez K (-)
- F2= Nombre de la matriz de rigidez condensada (K) (+).
- F3= Nombre de la matriz que contiene el producto $\underline{K}_{12} * \underline{K}_{22}^{-1} * \underline{K}_{21}$ (+).
- F4= Nombre de la matriz que contiene \underline{K}_{21} (+).
- N1= Dimensión de la Sub-matriz cuadrada \underline{K}_{11}
- N4,S1 Se forma $\varepsilon = k * S1 * 10^{N4}$, en que k es primer elemento de la matriz F1
Si no se indican los valores para N4 y S1, el programa asume $\varepsilon = k * 10^{-6}$. Si durante la condensación alguno de los elementos resulta $< \varepsilon$ entonces se interrumpe la ejecución con el mensaje: *** Matriz es singular ***

ENLACE Formación de la matriz de rigidez de un elemento de enlace para análisis pseudo- tridimensional. El elemento tiene 2 extremos (AB y CD) infinitamente rígidos con una zona intermedia (BC) flexible. Se deben ingresar las propiedades del tramo flexible y las coordenadas de los nudos A, B, C y D que definen el elemento (tomando como origen el nudo inicial A).

- F1= Nombre de la matriz de rigidez del elemento de enlace a formar (+)

A continuación se deben ingresar 2 líneas con datos:

Primera línea:

Columna:	1-12	Momento de Inercia I
	13-24	Área de Corte $A_Q = A/\kappa$
	25-36	Módulo de Elasticidad E
	37-48	Área de la Sección A
	49-60	Módulo de Poisson ν

Segunda línea:

Columna	1-12	Coordenada X del nudo B.
	13-24	Coordenada Y del nudo B.
	25-36	Coordenada X del nudo C.
	37-48	Coordenada Y del nudo C.
	49-60	Coordenada X del nudo D.
	61-72	Coordenada Y del nudo D.

De esta forma la línea con la operación ENLACE debe ser seguida por 2 líneas con datos.

Nota: Recuerde que las propiedades del tramo flexible corresponden a una viga que representa un tramo de losa. Esa viga tiene un ancho que corresponde al espesor de la losa. La deformación por corte es en este caso importante y debe ser considerada.

FORCEM Determinación de las fuerzas nodales de los elementos \underline{S}_j .

- F1= Nombre de la matriz de rigidez del elemento (-).
- F2= Nombre de una matriz de una o varias filas cuyos elementos son enteros positivos y con cuya ayuda se incluyó la matriz de rigidez del elemento F1 en la matriz de rigidez de la estructura (véase matriz F3 en la operación ADDSTF) (-).

- F3= Nombre del vector de desplazamientos de los nudos de la estructura (\underline{r}) obtenido de la resolución del sistema de ecuaciones $\underline{K} * \underline{r} = \underline{R}$. El número de columnas de F3 corresponde al número de estados de carga analizados (número de columnas de \underline{R}) (-).
- F4= Nombre de la matriz que contiene los esfuerzos nodales del elemento en coordenadas globales (\underline{S}_j) (+).
- N1,N2 Similar a ADDSTF respecto a la matriz F2.

FORMK Formación de la matriz de rigidez reducida \underline{k}_r^j de un elemento de viga tipo (a) como se indica en (2) con o sin consideración de esfuerzo normal, o bien la matriz de rigidez \underline{k}_j del elemento en coordenadas locales sin considerar el esfuerzo normal y posterior almacenamiento en la matriz hiper-diagonal \underline{k}_r o \underline{k} respectivamente.

- F1= Nombre de la matriz hiperdiagonal que almacenará las matrices de rigidez de los elementos (según Capítulo 6). $F1 = \text{diag}\{ \underline{k}_r^j \}$ o bien $F1 = \text{diag}\{ \underline{k}_j \}$.
- N1=2 forma la matriz de rigidez reducida \underline{k}_r^j de un elemento despreciando la deformación axial.
- N1=3 forma la matriz de rigidez reducida \underline{k}_r^j de un elemento con deformación axial.
- N1=4 forma la matriz de rigidez \underline{k}_j de un elemento en coordenadas locales despreciando la deformación axial.
- N2= Parámetro que indica la cantidad de matrices de rigidez que se formarán y almacenarán en F1. Se deben entregar N2 líneas con los datos necesarios para formar las matrices de los elementos (para la matriz de solo un elemento, N2=1, luego se necesita una línea a continuación). Los datos son los siguientes:

Columna	1-12	Momento de Inercia I
	13-24	Área de Corte A_Q
	25-36	Largo L
	37-48	Módulo de Elasticidad E
	49-60	Área de la Sección

Si N1=2 o N1=4 no se considera el área de la sección. Si no se quiere considerar deformación por corte se debe indicar $A_Q=0$.

FORMKD Formación de la matriz de rigidez en coordenadas globales \underline{k}^j de un elemento de viga plana con extremos rígidos (cachos rígidos) como se indica en Capítulo 6.

- F1= Nombre de la matriz \underline{k}^j a formar (+).
- N1= Indicador del tipo de matriz a formar:
 N1 =6 matriz de rigidez de viga plana con extremos rígidos
 N1 =4 matriz de rigidez de un reticulado (biela) plano
 A continuación se deben ingresar 2 líneas con datos:

Primera línea:

Columna	1-12	Momento de Inercia I (no se necesita si N1=4)
	13-24	Área de Corte $A_Q = A/\kappa$ (no se necesita si N1=4), si $A_Q = 0$, se desprecia deformación por esfuerzo de corte
	25-36	Módulo de Elasticidad E
	37-48	Área de la Sección A
	49-60	Módulo de Poisson ν (solo si N1≠4 y $A_Q \neq 0$)

Segunda línea:

Columna	1-12	Coordenada X del nudo izquierdo
	13-24	Coordenada Z del nudo izquierdo
	25-36	Coordenada X del nudo derecho
	37-48	Coordenada Z del nudo derecho
	49-60	Longitud tramo rígido izquierdo
	61-72	Longitud tramo rígido derecho

De esta forma la línea con la operación FORMKD debe ser seguida por 2 líneas con datos.

FORMKR Formación de la matriz de rigidez en coordenadas globales k_j de un elemento de viga plana con rótula de momento flector como se indica en Capítulo 6.

F1= Nombre de la matriz de rigidez en coordenadas globales k_j (6x6) de un elemento de viga con rótula de momento flector en su interior. (+)

N1= 6 (solo es posible matriz de rigidez de viga plana)

A continuación se deben ingresar 2 líneas con datos:

Primera línea:

Columna	1-12	Momento de Inercia I
	13-24	Area de Corte $A_Q = A/\kappa$
	25-36	Módulo de Elasticidad E.
	37-48	Area de la Sección A.
	49-60	Módulo de Poisson ν (solo si $A_Q \neq 0$)

Segunda línea:

Columna	1-12	Coordenada X del nudo izquierdo
	13-24	Coordenada Z del nudo izquierdo
	25-36	Coordenada X del nudo derecho
	37-48	Coordenada Z del nudo derecho
	49-60	Distancia desde nudo izquierdo a la rótula
	61-72	Distancia desde rótula al nudo derecho

De esta forma la línea con la operación FORMKR debe ser seguida por 2 líneas con datos.

Nota: Si se desea despreciar la deformación por corte, se debe indicar $A_Q=0$.

FORMKG Formación de la matriz de rigidez geométrica en coordenadas globales \underline{k}_g de un elemento de viga plana o reticulado plano como se indica en /2/.

F1= Nombre de la matriz de rigidez geométrica \underline{k}_g que se formará (+).

N1= Parámetro que indica el tipo de matriz \underline{k}_g que se quiere formar.

N1=4 matriz de rigidez geométrica en coordenadas globales de un elemento de reticulado plano en el plano X-Z según /2/.

N1=6 matriz de rigidez geométrica en coordenadas globales de un elemento de viga plana.

A continuación se deben ingresar 2 líneas con datos:

Primera línea:

Columna	1-12	Fuerza axial del elemento (debe ser negativa, esto es, de compresión)
---------	------	---

Segunda línea:

Columna	1-12	Coordenada X del nudo izquierdo
	13-24	Coordenada Z del nudo izquierdo
	25-36	Coordenada X del nudo derecho
	37-48	Coordenada Z del nudo derecho

De esta forma la línea con la operación FORMKG debe ser seguida por 2 líneas con datos.

FORMF Formación de la matriz de flexibilidad \underline{f} según /2/ de un elemento tipo (a).

F1= Nombre de la matriz de flexibilidad de la estructura f donde se almacenarán las matrices de flexibilidad de los elementos de viga tipo (a) según /2/ : $\underline{f} = \text{diag}\{ \underline{f}_j \}$ (+).

N1= Parámetro para considerar o no deformación axial:

N1=0 Se considera deformación axial.

N1≠0 No se considera deformación axial.

N2= Parámetro que indica la cantidad de matrices de flexibilidad \underline{f}_j que se formarán y almacenarán en F1.

A continuación deben seguir N2 líneas con datos para formar las matrices \underline{f}_j :

Columna	1-12	Momento de Inercia I
	13-24	Largo L
	25-36	Módulo de Elasticidad E
	37-48	Área de la Sección A

Nota: Si no se considera deformación axial (N1≠0) la información sobre el área A no es utilizada.

FORMT Formación de la matriz de equilibrio $(\underline{a}_j)^T$ de un elemento de reticulado plano o viga plana tipo (a) según /2/.

F1= Nombre de la matriz de equilibrio de un elemento (j) en coordenadas globales $(\underline{a}_j)^T$ según /2/.

N1= Parámetro que indica el tipo de elemento para el cual se formará la matriz $(\underline{a}_j)^T$.

N1=4 formación de la matriz $(\underline{a}_j)^T$ para un elemento de reticulado plano.

N1=6 formación de la matriz $(\underline{a}_j)^T$ para un elemento de viga plana tipo (a) (ver /2/).

Después de la línea con la operación FORMT debe seguir una línea con datos:

Columna	1-12	Coordenada X del nudo izquierdo
	13-24	Coordenada Z del nudo izquierdo
	25-36	Coordenada X del nudo derecho
	37-48	Coordenada Z del nudo derecho

SLOPED Formación de la matriz de rigidez en coordenadas locales k de un elemento de viga plana sin considerar deformación axial.

F1= Nombre de la matriz de rigidez \underline{k}_j de un elemento de viga plana (j) en coordenadas locales despreciando la deformación axial (+).

Después de la operación SLOPED debe seguir una línea con los siguientes datos:

Columna	1-12	Rigidez a flexión del elemento EI
	13-24	Largo del elemento L

TRUSS Formación de la matriz de rigidez en coordenadas globales \underline{k}_j de un elemento de reticulado espacial.

F1= Nombre de la matriz de rigidez \underline{k}_j del elemento de reticulado espacial en coordenadas globales que se va a formar (+).

F2= Nombre de una matriz para almacenamientos internos del programa (+).

F3= Nombre de la matriz que contiene la tabla de coordenadas de la estructura. El número de filas es igual al número de nudos de la estructura y el número de columnas es 3 (por cada nudo: coordenadas X, Y, Z) (-).

Después de cada operación TRUSS debe seguir una línea con datos:

Columna	1- 6	Número del nudo izquierdo
	7-12	Número del nudo derecho
	13-24	Módulo de elasticidad E
	25-36	Área de la sección A

3.8.- OPERACIONES MATRICIALES PARA ANÁLISIS DINÁMICO

EIGEN Solución del problema de valores propios $\underline{A} \underline{X} = \lambda \underline{B} \underline{X}$.

F1= Nombre de una matriz simétrica \underline{A} (-).

F2= Nombre de una matriz-fila que contiene los elementos de la diagonal de una matriz diagonal \underline{B} . El número de columnas de F2 debe coincidir con el número de filas y columnas de F1 (-).

F3= Nombre de una matriz donde se almacenarán los vectores propios \underline{X} . Cada fila de la matriz F3 corresponde a un vector propio. El ordenamiento de los vectores propios en F3 corresponde al ordenamiento de los valores propios en F4. Los vectores propios aparecen normalizados de manera que $\underline{X}^T \underline{B} \underline{X} = \underline{I}$ (matriz identidad) (+).

F4= Nombre de una matriz-fila donde se almacenarán los valores propios λ . El orden en que aparecen los valores propios depende del valor de N1.

N1= Número de valores y vectores propios que se quiere determinar. El ordenamiento de los valores propios depende del signo de N1. Si N1 es positivo los valores propios se ordenarán de mayor a menor (en valor absoluto). Si N1 es negativo se ordenarán de menor a mayor.

EIGKX Determinación de los valores propios de una matriz compleja $\underline{A} = \underline{B} + i \underline{C}$.

F1= Nombre de una matriz que contiene la parte real \underline{B} de una matriz compleja \underline{A} . Después de la operación EIGKX, F1 contiene en su diagonal la parte real de los valores propios de la matriz compleja \underline{A} (-).

F2= Nombre de la matriz que contiene la parte imaginaria \underline{C} de una matriz compleja \underline{A} . Luego de la operación EIGKX, F2 contiene en su diagonal la parte imaginaria de los valores propios de la matriz compleja \underline{A} (-).

F3= Nombre de una matriz en que se almacenará la parte real de los vectores propios (por columnas) (+).

F4= Nombre de una matriz en que se almacenará la parte imaginaria de los vectores propios (por columnas) (+).

FUNGN Determinación de las ordenadas de una función mediante interpolación.

F1= Nombre de una matriz de dos columnas que define una función por sus pares de valores abscisa X_i y ordenada Y_i . En la primera columna deben estar almacenados los X_i y en la segunda columna los correspondientes Y_i . Los pares de valores deben estar ordenados de modo que $X_{i+1} > X_i$ (-).

F2= Nombre de una matriz-fila en que se almacenarán la ordenadas interpoladas para valores equidistantes de abscisa, partiendo de la abscisa X_i . El primer valor almacenado en F2 es por lo tanto Y_i (+).

N1= Parámetro que indica la cantidad de intervalos a calcular.

S1= Intervalo de abscisa en que se determinarán las ordenadas.

Nota: En el caso de que $X_{i+1} < X_i$ o bien $X_{\max} - X_{\min} < N1 * S1$ se termina la ejecución con el mensaje: *** Matrices son incompatibles ***

RESPON Integración paso a paso de un sistema de n ecuaciones diferenciales desacopladas en análisis dinámico modal (ver /3/):

$$Y_i + 2\xi_i \omega_i \dot{Y}_i + \omega_i^2 Y_i = a_i F(t)$$

con las condiciones de borde $\dot{Y}_i(0) = Y_i(0) = 0$

F1= Nombre de una matriz-fila (1 x n) donde están almacenados los n valores propios ω_i ($i= 1,2,\dots,n$) (-).

F2= Nombre de una matriz-columna (n x 1) donde están almacenados los n coeficientes a_i (-).

F3= Nombre de la matriz que contiene la excitación $\underline{F}(t)$.

La matriz F3 debe ser de dimensión de n x p en que p es el número de puntos en que está definida la función. Cada línea representa la función excitante de la respectiva ecuación diferencial. Si la función excitante es la misma para

todas las n ecuaciones (caso de análisis modal de estructuras), se debe declarar la matriz $F3$ como matriz-fila con p columnas. Los elementos de $F3$ son las ordenadas de la función $\underline{F}(t)$ a intervalos fijos Δt (se puede determinar con FUNGN) (-).

- F4= Nombre de la matriz que contiene la "respuesta". El tipo de "respuesta" depende de N2 (+).
- N1= Parámetro para determinar el intervalo en que se quiere saber la "respuesta". N1 debe ser tal que $(p-1)/N1$ sea entero. Si $N1=1$ se imprimirá la "respuesta" para cada intervalo que se haya calculado.
- N2= Parámetro que indica el tipo de respuesta a imprimir:
 N2=0 desplazamiento $Y_i(t)$
 N2=1 velocidad $\dot{Y}_i(t)$
 N2=2 aceleración $\ddot{Y}_i(t)$
- S1= Valor de amortiguamiento respecto al amortiguamiento crítico ξ .
- S2= Intervalo de integración Δt elegido para la solución de la ecuación diferencial. Este intervalo debe ser menor o igual que el intervalo de la función $\underline{F}(t)$ y menor que el periodo más corto de los valores propios.

4.- REFERENCIAS

/1/ **MISS-SMIS**, Ein Matrizeninterpretationssystem der Strukturmechanik für Praxis, Forschung und Lehre. Institut für Konstruktiven Ingenieurbau Ruhr-Universität Bochum, Germany, Technical Reports N° 77-5, 1977.

/2/ **SMIS-W: Actualización del programa SMIS al ambiente Windows**. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Alejandro Muñoz F., Universidad de La Serena, 2005.

/3/ **INGENIERÍA ANTISÍSMICA**, Apuntes de Clases, Mario Durán L., Universidad de La Serena, 1990.