

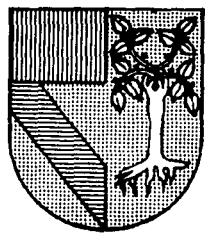
308917

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

35
24

ESCUELA DE INGENIERIA

Con estudios incorporados a la Universidad Nacional Autónoma de México



APLICACION DEL METODO DEL ELEMENTO FINITO EN LA DETERMINACION Y ANALISIS DE FUERZAS DE REACCION Y ESFUERZOS GENERADOS EN MOTORES ELECTRICOS SOMETIDOS AL METODO DIRECTO DE PRUEBAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA AREA: INGENIERIA MECANICA PRESENTA JOAQUIN MOTA VARGAS

DIRECTOR: ING. ALFREDO GONZALEZ RUIZ

MEXICO, D. F.

JULIO DE 1995

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A Dios, por darme la oportunidad de vivir.

A mis Padres, por su amistad, apoyo y ayuda incondicional.

**A mis hermanos, Gerardo y Roberto, por alentarme
a seguir adelante en todo momento.**

A mi Abuelita Luchita, por su amor y cariño.

A mi Abuelito José, donde quiera que esté.

**A mi tía Toña y mi prima Toñita, por su alegría y
el amor que nos han brindado siempre.**

A Yeyis, por transmitirme su forma de ver la vida.

**A Araceli, que con su entusiasmo y amor me
ayudo a concluir este trabajo.**

**A mis profesores, compañeros y amigos que
contribuyeron a mi formación personal y profesional.**

Indice

Introducción	i
Capítulo I: Método Directo de Pruebas a Motores de Inducción mayores de 500 H.P.	1
A) Definición y tipos de Motores de Inducción	1
1) Motor tipo Jaula de Ardilla	1
2) Motor de Inducción de Rotor Devanado	2
B) Clasificaciones para Motores de Inducción (500 H.P. o más)	2
1) Valores de Caballos de Potencia y Velocidad	2
2) Rangos de Voltaje	2
3) Frecuencias	2
4) Factor de Servicio	2
C) Método Directo de Pruebas a Motores de Inducción (500 H.P. o más)	3
1) Saturación en Vacío	4
2) Operación	4
3) Saturación con Carga	4
4) Rotor Bloqueado	4
5) Par Velocidad	5
6) Temperatura	5
7) Sobrevelocidad	5
D) Ventajas en la aplicación del Método Directo	6
1) Precisión	6
2) Confiabilidad	6
3) Tiempo de Prueba	6
4) Bajo Gasto de Energía	7
E) Laboratorio de Pruebas y Desarrollo Tecnológico para Motores de Inducción hasta 3000 H.P. 6.6 KV.	7

F) Sistemas que componen al Laboratorio de Pruebas de Motores de Inducción hasta 3000 H.P. 6.6 KV.	8
1) Sistema Mecánico	8
2) Sistema Eléctrico Regenerativo	9
3) Sistema de Control y Adquisición de Datos	11
E) Programa para la Sustitución de Motores Eléctricos Estándar por Motores Eléctricos de Alta Eficiencia	12
Capítulo II: Consideraciones Matemáticas en la aplicación del Método del Elemento Finito.	14
A) Introducción	14
B) Definición del Método del Elemento Finito	15
C) Historia del Método del Elemento Finito	16
D) Tipos de Elementos y Tipos de Análisis	17
E) Procedimiento General para la aplicación del Método del Elemento Finito	19
1) Preprocesamiento	19
2) Procesamiento	20
3) Postprocesamiento	20
F) Principios Matemáticos en la aplicación del MEF.	21
1) Ecuaciones Básicas	21
2) Solución a Esfuerzo Plano y Ejemplo de Aplicación	27
Capítulo III: Planteamiento y Especificaciones del Análisis	36
A) Introducción	36
B) El Diseño Metódico y el Diseño Total	37
C) Planteamiento, Alcances y Limitaciones del Problema	40
D) Objetivo General y Específico	41
E) Lista de Exigencias	43
F) Problemas relevantes para el análisis	43

Capítulo IV: Análisis a Detalle	45
A) Introducción	45
B) Características de Operación de los Motores bajo Prueba	45
1) Velocidad Síncrona	46
2) Torque Máximo	47
C) Prueba y Torque que rige al Diseño	48
D) Modelos que rigen al Diseño	49
E) Generación de Modelos en Elemento Finito	49
1) Introducción al Paquete ANSYS 5.0 de Elemento Finito	49
2) Programas en MEF	50
2.1) Valores Dimensionales Críticos	50
2.2) Comentarios sobre la generación del momento en la evaluación	51
2.3) Listado de Programas en Elemento Finito	51
Capítulo V: Solución y Postproceso de Información	57
A) Introducción	57
B) Fuerzas aplicadas y condiciones iniciales	57
1) Simulación del Torque en ANSYS 5.0	58
2) Condiciones Iniciales	59
C) El proceso de Solución en ANSYS 5.0	59
D) Evaluación y Análisis de Resultados	61
E) Determinación de fuerzas que regirán el diseño de la estructura de soporte	97
F) Programa General para la evaluación de reacciones y distribución de esfuerzos en motores sometidos a la prueba de rotor bloqueado	97
1) Listado de Variables	98
2) Listado del Programa	98

Conclusiones

102

Bibliografía

ANEXO I: Dimensiones de los Motores

ANEXO II: Listas de Exigencias

ANEXO III: Revisión de Conceptos e Instrucciones del ANSYS 5.0

ANEXO IV: Tablas, Figuras y Gráficas.

Introducción

En esta tesis se desarrolla el análisis de un problema mecánico en cinco diferentes capítulos y tres anexos, los cuales ayudarán a comprender mejor ciertas consideraciones estipuladas a través del cuerpo del trabajo.

Los dos primeros capítulos son teóricos con el fin de sentar las bases para el desarrollo y solución del problema planteado. El capítulo I es "Método directo de pruebas a Motores de Inducción mayores a 500 H.P.", en él se describen las características de las pruebas del método directo, según la norma NEMA, se describen las instalaciones necesarias para llevar a cabo este tipo de pruebas y las consideraciones de los planes del FIDE para la sustitución de motores por motores de alto rendimiento.

En el capítulo II se describen las "Consideraciones Matemáticas en la aplicación del Método del Elemento Finito" con el objeto de plantear las ecuaciones básicas en la aplicación del método a cualquier tipo de problema mecánico, en él se presenta un ejemplo para la solución del esfuerzo plano.

El Planteamiento y Especificaciones del Análisis lo podremos encontrar en el capítulo III, así como el objetivo general y específico, además de una descripción de la metodología aplicada en el desarrollo del análisis.

"Análisis a Detalle" es el título del capítulo IV, y en él se desarrolla la memoria de cálculo y los datos técnicos necesarios para la evaluación en MEF. También, en este capítulo se encontrarán los listados para la generación de los modelos y las consideraciones para la simulación del torque, aunque no será sino hasta el capítulo V titulado "Solución y Postproceso de Información" donde se describirán los pasos para la solución y la obtención de resultados, las condiciones iniciales y la simulación de las cargas aplicadas así como la simulación de la acción de la gravedad en el problema a evaluar. Al final de este capítulo se presenta un programa general para la obtención de esfuerzos y reacciones en motores sometidos a pruebas por el método directo.

Es en las conclusiones de este trabajo donde se presentan las respuestas y consideraciones alcanzadas a través del desarrollo de la tesis.

Las tablas, figuras y gráficas a las que se hace mención en el cuerpo de la tesis se encuentran en el anexo IV, ordenadas según aparecen en cada capítulo.

Capítulo I

Método directo de pruebas a Motores de Inducción mayores a 500 HP

A) Definición y tipos de Motores de Inducción.-

Un motor eléctrico es una máquina que transforma potencia eléctrica en potencia mecánica ¹. La clasificación general de los motores, según el tipo de corriente que manejan, son motores de corriente alterna (CA) y motores de corriente directa (CD) ².

Los motores de corriente alterna (CA), se dividen en tres tipos: Motores de Inducción, Motores Síncronos y los Motores de Devanado en serie ³, en esta sección se describirán las características del motor de inducción únicamente.

El motor de inducción es una máquina de corriente alterna en la cual el devanado primario de un miembro (usualmente el estator) es conectado a la fuente de alimentación, y un devanado secundario polifásico, o el devanado secundario en un motor de tipo jaula de ardilla, en el otro miembro (usualmente el rotor) transporta la corriente inducida. A su vez, existen dos diferentes tipos de motores de inducción que a saber son:

1) **Motor tipo Jaula de Ardilla.** Es un motor de inducción en el cual el circuito secundario (devanado de la jaula de ardilla) se compone de un número de barras conductoras que tienen sus extremos conectados, por aros metálicos o mediante láminas, a cada terminal ⁴.

2) **Motor de inducción de rotor devanado.** Es un motor de inducción que presenta su circuito secundario compuesto de un devanado o bobina polifásica cuyas terminales se encuentran corto circuitadas o cerradas a través de un circuito adecuado ⁵.

B) Clasificaciones para Motores de inducción (500 HP o más)

Para poder realizar una correcta clasificación de un motor de inducción se requiere conocer sus valores de caballos de potencia (HP), velocidad, frecuencia y voltaje. A continuación se presentan las diferentes clasificaciones que puede presentar un motor de inducción de 500 HP o más.

1) **Valores de Caballos de potencia y velocidad.-** La Tabla 1.1 presenta los valores de caballos de potencia y velocidad que puede presentar un motor de inducción de 500 HP o más. Los valores de velocidad sincrona son válidos para una frecuencia de operación de 60 hertz.

2) **Rangos de voltaje.-** Los rangos de voltaje son 460, 575, 2300, 4000, 6600 y 13200 volts. Estos voltajes aplican solamente para circuitos que trabajen a una frecuencia de 60 hertz. La Tabla 1.2 presenta la relación entre el rango de voltaje y el valor de los caballos de potencia.

3) **Frecuencias.-** Las frecuencias que puede manejar un motor de inducción son 50 hertz o 60 hertz ⁶.

4) **Factor de Servicio.-** El factor de servicio para un motor de inducción de 500 HP o más debe de ser igual a uno, siempre y cuando, trabaje dentro de los rangos de voltaje y frecuencia, así como su elevación de temperatura esté de acuerdo con la Tabla 1.3 que presenta los valores permitidos de elevación de temperatura para estos motores.

C) Método directo de pruebas a motores de inducción 500 HP o más.

En la fabricación, selección y aplicación de los motores eléctricos es necesario determinar sus características de funcionamiento, las cuales serán descritas posteriormente, para verificar que dichas características se encuentren dentro de los rangos calculados de diseño y cumplan los estándares internacionales.

En el caso de los motores de inducción grandes, esto es motores de más de 500 HP., las pruebas para determinar sus rangos de operación se vuelven más importantes y requieren de mayor precisión. El alto costo y su fabricación exclusiva para aplicaciones específicas, son el común denominador de estos motores, lo que hace difícil encontrar un motor con los mismos rangos de operación en el caso de que se presentará una falla en su funcionamiento. Es por esto que debemos conocer las características de operación reales del motor antes de que éste sea puesto en funcionamiento. El método directo de pruebas permite conocer las características reales de operación de cada motor, certificando con esto que el motor es cien por ciento confiable para nuestro cliente; sin embargo, en nuestro país sólo existe una instalación capaz de llevar a cabo estas pruebas y no cubre las necesidades del mercado nacional⁷, con lo cual se tienen que importar una gran cantidad de motores sólo porque los fabricados en nuestro país no tienen la certificación de ser confiables.

Se conoce con el nombre de método directo de pruebas a motores de inducción a una serie de pruebas realizadas con base en valores reales de operación de los motores de inducción⁸.

La secuencia de las pruebas, las cuales pueden realizarse en el orden que se requiera, se describen brevemente a continuación:

1. Saturación en vacío.

Consiste en operar el motor sin carga, a la frecuencia nominal, variando el voltaje desde aproximadamente un 20 % hasta un 130 % del voltaje nominal en pasos de 10 a 20 %, tomando y registrando lecturas de corriente, watts, RPM, temperaturas, determinando y registrando el factor de potencia en cada uno de los pasos.

2. Operación.

Esta prueba consiste en operar el motor a su voltaje y frecuencia nominal variando la carga desde un 25% hasta un 125 o 150 % en pasos de aproximadamente 25 % normalmente, leyendo y registrando corrientes, RPM, watts, par y temperaturas, determinando por medio de un sistema de control la potencia, factor de potencia y eficiencia de estos puntos medidos.

3. Saturación con carga.

Consiste en operar el motor a su carga nominal con frecuencia nominal variando el voltaje de un 80 % a un 130 % aproximadamente del voltaje nominal en pasos de 5 % o 10 % leyendo y registrando corrientes, RPM, watts, par y temperaturas.

4. Rotor bloqueado.

Consiste en bloquear el rotor del motor para simular el arranque del mismo aplicando el voltaje y la frecuencia nominales.

5. Par velocidad.

Esta prueba consiste en operar el motor a su frecuencia nominal y, dependiendo de la potencia desarrollada por el motor bajo prueba en el punto de par máximo, comparada con la potencia de dinamómetro, y tomando en cuenta la capacidad requerida en KVA al sistema de alimentación, aplicamos el voltaje nominal o el voltaje reducido; se incrementa después la carga hasta el punto de par máximo, mientras que continuamos disminuyendo la velocidad del dinamómetro hasta aproximadamente un 30 % de la velocidad nominal del motor, para determinar con ello el perfil de la curva par-velocidad y no solamente el punto de para máximo como normalmente se hace en dinamómetros sin sistema de control de pruebas directo.

6. Temperatura.

Consiste en operar el motor a la frecuencia y voltajes nominales, aplicando la carga nominal hasta que su temperatura indicada por detectores o termopares colocados en el interior del motor estabilice, logrando con esto determinar que la temperatura de trabajo del motor no exceda la temperatura permitida por la clase de aislamiento del devanado.

7. Sobrevelocidad.

Consiste en aplicar un 25 % de sobrevelocidad a los motores de 4 polos o más o un 20 % a los motores de 2 polos, y, se puede hacer alimentando la frecuencia adecuada al dinamómetro, al cual se acoplará el motor que se desea probar⁹.

D) Ventajas en la aplicación del Método Directo.

Para poder realizar este tipo de prueba es necesario contar con los sistemas apropiados, como es el caso del laboratorio de pruebas de Industrias IEM, en donde se aplica este método para asegurar la calidad de los motores que se fabrican y poder competir en el extranjero al certificar que sus productos cumplen con la norma UL.

Este método nos da ciertas ventajas sobre el método de aproximación o indirecto usado en la gran mayoría de los fabricantes de motores. Estas ventajas son:

1. Precisión.

La alta precisión, obtenida en los resultados de prueba, beneficia tanto al cliente, como a los inspectores y diseñadores del fabricante, ya que no hay necesidad de hacer aproximaciones o suposiciones para la deducción de las características de los motores.

2. Confiabilidad.

Debido a que se aplican de manera real las características de operación del equipo, la confiabilidad de que el producto haya superado las pruebas establecidas por la norma IEEE-112 hacen de el producto un bien de alta confiabilidad para el usuario final.

3. Tiempo de prueba.

El tener un sistema de captura de datos computarizado agiliza la lectura de las mediciones y reduce el tiempo necesario para reparar una posible falla de fabricación.

4. Bajo gasto de energía.

En los pisos de pruebas de este tipo de aplicación se utiliza un sistema regenerativo, por lo tanto no existen desperdicios de energía.

La desventaja que tiene este método es el costo de instalación del tren de pruebas y los sistemas de control. Aunque la apertura comercial actual nos permite competir en un mercado global y la necesidad de certificar los productos es urgente, pues si no se puede competir con las empresas internacionales, nuestra industria de electromanufacturas tendrá un declive muy pronunciado en los próximos años.

E) Laboratorio de Pruebas y Desarrollo Tecnológico para Motores de Inducción hasta 3000 HP 6.6.KV

Industrias IEM, ha construido un laboratorio de pruebas y desarrollo tecnológico en sus instalaciones de Tlalnepantla, con una superficie de 475 m². Esta instalación se ha especificado en la finalidad de cumplir con la realización de pruebas por el método directo para ejecutar con valores reales las condiciones de servicio normal de los motores así como para evaluación de los diseños de prototipos y el desarrollo tecnológico de nuevos productos.

A través de la evaluación de los resultados de las pruebas y la corrección de las desviaciones se podrán perfeccionar los diseños y los costos, asegurando la calidad de los motores bajo prueba, satisfaciendo al cliente.

El laboratorio de pruebas está dentro del marco de tecnología de punta y el equipo seleccionado es el más moderno en su tipo, no produce contaminación ambiental y puede ser trasladado a una futura localidad sin deterioro de su comportamiento, teniendo una proyección de vida útil de 20 años.

F) Sistemas que componen al Laboratorio de Pruebas de Motores de inducción hasta 3000 HP 6.6 KV.

Los sistemas de este laboratorio son : Sistema Mecánico, Sistema Eléctrico Regenerativo y el Sistema de Control y Adquisición de Datos, a continuación se describirán brevemente los elementos que conforman a los sistemas antes mencionados.

1) Sistema Mecánico.- El laboratorio cuenta con cuatro estaciones de prueba para motores de alta velocidad, dos polos, o motores de baja velocidad, 4-14 polos, ya sea para montaje horizontal o vertical. Sólo una estación opera a la vez. La figura 1.1 presenta un esquema del sistema mecánico.

La máquina sincrona o dinamómetro se usa principalmente como Dinamómetro de Absorción, pero también como fuente de giro para la prueba de sobrevelocidad. La capacidad del dinamómetro es de 3500 HP., 1800 r.p.m., para operación a par constante y de par reducido para 2250 r.p.m. Los devanados de la Máquina Sincrona son enfriados continuamente, con el objeto de mantener un adecuado enfriamiento aún a bajas velocidades.

La flecha del dinamómetro se extiende en ambos lados. Un lado está conectado a la sección de baja velocidad. Coples de alto amortiguamiento se instalaron con el objeto de manejar las vibraciones torsionales y se instalaron espaciadores para desacoplar el lado de alta velocidad o el de baja velocidad.

Las chumaceras del Dinamómetro son de lubricación forzada, con una chumacera aislada para prevenir daños causados por corrientes circulantes inducidas en el rotor. Los coples proveen aislamiento eléctrico a los extremos de la flecha, y una escobilla en la flecha mantiene el rotor conectado a tierra.

La flecha del Dinamómetro tiene integrado un mecanismo de bloqueo utilizado durante la prueba de rotor bloqueado.

El dinamómetro está conectado en un extremo a una caja de engranes de relación 1:2, con la cual se conecta el lado de dos polos, y a través de otra caja de engranes de 90 grados de giro se conecta la estación de pruebas verticales. De similar forma el lado de baja velocidad se conecta a través de una caja de engranes de 90 grados de giro.

Las cajas de engranes son del tipo helicoidal, bidireccionales y de diseño de bajo nivel de ruido. Estas se acoplan a los motores bajo prueba a través de coples flexibles. Al igual que las chumaceras del Dinamómetro, las cajas de engranes tienen lubricación forzada, por lo cual existe una consola de lubricación completa con bombas auxiliares y señalización de control y alarmas.

En cada estación de pruebas los transductores de par-velocidad están conectados entre las cajas de engranes y los motores bajo prueba. La medición de par se lleva a cabo por un puente de celdas de esfuerzo (strain gauge), las cuales están acopladas a las terminales estacionarias por medio de un transformador rotatorio. La medición de velocidad utiliza una rueda dentada con un detector magnético que produce un tren de pulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad.

2) Sistema Eléctrico Regenerativo.- En la figura 1.2 se muestra el diagrama unifilar del Laboratorio de Pruebas. A partir del alimentador de 23 KV., el circuito se deriva en dos caminos, cada uno con su interruptor. Un camino proporciona energía al motor bajo prueba. Esta energía, reducida por las pérdidas en el sistema se retorna al alimentador principal a través del Dinamómetro y el convertidor de frecuencia variable, los cuales están conectados al segundo camino.

La potencia hacia el motor bajo prueba primero pasa a través de un transformador regulador de operación bajo carga, el cual es capaz de ajustar la entrada de 23 kv. a cualquier voltaje entre 0 y 8320 volts, a una corriente de salida constante.

La salida del regulador va a un transformador reductor con tres devanados secundarios conectados a tres interruptores cuyos alimentadores servirán para probar a diferentes voltajes los motores bajo prueba.

Los tableros de estos interruptores contienen los transformadores de potencial y de corriente de protección.

Después de la red de alimentadores en el secundario del transformador reductor existe un cambiador de operación desenergizada para la selección del camino de la corriente con base a la corriente del motor bajo prueba. Cada camino contiene un conjunto trifásico de transformadores de corriente de medición, los cuales proporcionan la suficiente precisión para la medición de corrientes.

A continuación del selector de corriente, el circuito se divide en dos partes, una va a la estación de pruebas de alta velocidad (motores de dos polos) y la otra a la estación para motores de cuatro a catorce polos. Al extremo de estos dos caminos existen cuchillas de conexión principal, conexión a tierra y selección de varistores de protección.

El convertidor de frecuencia variable (VFC) que controla al Dinamómetro consiste de dos puentes de thyristores del tipo Back to Back y tipo Fuente de Corriente. El VFC opera alimentado por el secundario de un transformador reductor 23/2.1 KV. El transformador proporciona la impedancia necesaria para limitar la corriente de falla. El conjunto de thyristores dentro del AFD, tiene redundancia para permitir la operación aún con un thyristor corto-circuitado.

Las frecuencias de excitación del Dinamómetro van de 5 a 75 Hz, dentro de este rango, los volts por segundo de conmutación del convertidor son proporcionados por el voltaje inducido del Dinamómetro, operando este a un factor de potencia adelantado.

Cuando es necesario arrancar el tren de pruebas por medio del Dinamómetro, se opera a frecuencias de excitación menores a 5 Hz, por lo cual el VFC opera en el método de conmutación forzada. En este modo el VFC obtiene la señal de velocidad y posición analizando el voltaje inducido en la Máquina Síncrona, sin embargo al arrancar, el voltaje

inducido es inadecuado para facilitar el arranque, particularmente en vista de la amplitud del rango en inercia, a las que opera el laboratorio, el Dinamómetro tiene un sensor de posición que proporciona al VFC una información precisa de la localización del rotor.

3) Sistema de Control y Adquisición de Datos.- El sistema de control y adquisición de datos tiene como base un PLC, controlador lógico programable, a través del cual se procesan todas las señales de entrada/salida y la computadora personal (PC) la cual hace la interfase entre el operador y el equipo del laboratorio. En la figura 1.3 se presenta la configuración de este laboratorio.

Las salidas de los cuatro transductores de par-velocidad se conectan a un acondicionador de señales localizado en la consola, este acondicionador responde al PLC enviándole las mediciones de par-velocidad, las cuales mediante un control de malla cerrada controlan el Dinamómetro. Adicionalmente a la consola de control maestra llegan los secundarios de los transformadores de potencial, corriente de protección y corrientes de medición para utilizarse en los transductores de potencia, corriente y voltaje rms, así mismo todas las señales de temperatura ya sea por RTD o termopares se introduce al PLC, para análisis y/o alarma. Junto con la consola maestra se encuentra el tablero supervisor, el cual hace un enlace entre los transformadores, interruptores, tableros de distribución y el PLC.

Desde el punto de vista del operador, la interfase más importante es a través de la PC, la cual acepta los datos del motor bajo prueba, los datos de diseño, los requerimientos de prueba, almacena archivos de datos e imprime los reportes de prueba.

El control de la elaboración de las pruebas se realiza por medio de menús de pruebas desde la PC, la cual verifica las condiciones del sistema completo con respecto a los datos del motor bajo prueba y la prueba a ejecutarse.

Al conocer las características de cada uno de los sistemas que integran al laboratorio de pruebas podemos tener una idea global de la complejidad que representa el

realizar pruebas con cargas reales a motores de inducción de más de 500 HP., pero para nuestro país es de suma importancia desarrollar nuevas tecnologías y ponerlas al servicio de la industria sobre todo en el sector de motores de este tipo, como lo demuestra el Programa para la Sustitución de Motores Eléctricos Estándar por Motores Eléctricos de Alta Eficiencia.

G) Programa para la Sustitución de Motores Eléctricos Estándar por Motores Eléctricos de Alta Eficiencia.

Tomando en cuenta, que los motores eléctricos representan aproximadamente un 60 % del consumo de energía eléctrica, del sector industrial, principal consumidor de este recurso en México, de ahí la importancia de impulsar el uso de motores cuyo diseño y materiales utilizados para su fabricación permitan reducir su consumo gracias a su mayor eficiencia.

El FIDE, Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico, presentó un programa de sustitución de motores eléctricos convencionales por motores de alta eficiencia, el FIDE señala ¹⁰ que el principal sector consumidor de energía eléctrica en el país es el industrial, representando un 54.2 % del total nacional, seguido por los sectores residencial, comercial, agrícola y de servicios. De los diferentes destinos que tiene la energía eléctrica en el sector industrial, el más importante es el uso de motores, los que representan más del 70 % del total, mientras que la iluminación representa aproximadamente un 17 % y otros usos principalmente para procesos térmicos el 13 %. Debido a estas consideraciones, son los motores eléctricos el equipo que mayor relevancia tiene en cualquier esfuerzo para buscar la optimización energética en este sector.

Este proyecto cuenta con el apoyo de la Agencia Internacional de Desarrollo de los Estados Unidos (USAID), en lo que corresponde a su Programa de Eficiencia Energética.

Es por esto que las instalaciones enfocadas al desarrollo y pruebas de motores son actualmente un renglón de interés nacional, pues de este desarrollo tecnológico depende la correcta utilización de nuestros recursos energéticos eléctricos y elevar el nivel de eficiencia eléctrica de nuestro sector industrial.

¹ Cfr. NEMA Standard, Motors and Generators MG-1, Washington, D.C., NEMA publications, 1987, p. 4

² Ibidem

³ Cfr. NEMA Standard, Op. cit, nota 1, p. 5

⁴ Ibidem

⁵ Cfr. NEMA Standard, Op. cit, nota 1, p. 5

⁶ Ibidem, parte 20 p. 1

⁷ Cfr. Rodríguez, Luis, "Laboratorio de pruebas y desarrollo tecnológico para motores hasta 3000 HP/6.6 KV.", Revista técnica IEM, México, D.F., Año VII, No. 23, Abril-Junio 1991

⁸ Cfr. Sánchez, Humberto, "Método Directo de Pruebas a Motores", Revista Técnica IEM, México, D.F., Año VII, No. 23, Abril-Junio 1991

⁹ Ibidem

¹⁰ Cfr. Gerencia Industria FIDE, "Programa para la Sustitución de Motores Eléctricos Estándar por Motores Eléctricos de Alta Eficiencia", FIDE Energía Racional, México, D.F., Año 3, Num. 10, abril de 1994.

Capítulo II

Consideraciones Matemáticas en la aplicación del Método del Elemento Finito

A) Introducción

La mayoría de los problemas a los que un ingeniero se enfrenta presentan tal complejidad que prefiere dividirlos en pequeños subproblemas, que una vez resueltos de manera independiente, nos lleven a la solución más próxima al problema principal. La obtención de un modelo que represente en forma fiel al problema real depende de qué tan exhausta sea nuestra investigación y subdivisión de las entidades que lo conforman, además de elegir los elementos adecuados para simular a los factores reales que intervienen en él.

Esta discretización de los problemas no solamente es usada por los ingenieros, también es usual seguir un procedimiento semejante en la solución de problemas médicos, económicos y administrativos.

Este mismo principio es utilizado para el análisis de problemas por medio del Método del Elemento Finito (MEF). En muchas situaciones, el modelo adecuado de un problema no es posible solucionarlo con los métodos clásicos de análisis, pues es tan complejo que puede requerir análisis de esfuerzos, conducción de calor, análisis de frecuencias y otras muchas áreas, las cuales requieren de una gran cantidad de ecuaciones

relacionadas entre sí para su solución y que convierten en imposible, de manera tradicional, la obtención de un modelo matemático adecuado a la simulación del problema real.

En los últimos años, el desarrollo vertiginoso de las computadoras ha hecho posible que la Aplicación del Método del Elemento Finito sea utilizado en toda empresa que se jacte de estar a la vanguardia en el desarrollo tecnológico pues su aplicación es muy amplia.

B) Definición del Método del Elemento Finito.

Antes de dar una definición del Método del Elemento Finito es necesario dejar claros dos conceptos: los problemas discretos y los problemas continuos.

Existen situaciones a analizar que pueden ser simuladas dividiéndolas en un número finito de elementos, a este tipo de problemas se les llama problemas discretos ¹. Sin embargo existen otro tipo de situaciones en las cuales la subdivisión se torna infinita y para su correcto análisis es necesario utilizar la matemática infinitesimal, esto nos lleva a la solución de ecuaciones diferenciales, lo que implicaría un número infinito de elementos. A los problemas que presentan este tipo de características se les llama problemas continuos ².

Una vez claro el concepto de problemas discretos y problemas continuos se puede definir al Método de Elemento Finito, según O.C. Zienkiewicz, como el "procedimiento general de discretización de problemas continuos basado en relaciones matemáticas definidas para los elementos que conforman el modelo de simulación" ³.

C) Historia del Método del Elemento Finito.

La historia del Método del Elemento Finito (MEF) se remonta hasta 1906 cuando algunos matemáticos consideraron la posibilidad de estudiar los problemas continuos mediante un arreglo de barras con características elásticas definidas. Las propiedades que presentaban estas barras eran tales que causaban desplazamientos en las uniones aproximando así los desplazamientos en el continuo. Este método desbocó en el método de análisis estructural.

A Courant se le puede denominar como el primero en proponer el Método del Elemento Finito como lo conocemos actualmente⁴. En 1941 realiza un estudio matemático, publicado en 1943, donde utiliza el principio de la energía potencial estacionaria y la interpolación polinomial sobre regiones triangulares para estudiar el problema de Torsión de Saint-Venant. Desgraciadamente este trabajo matemático fue ignorado por los ingenieros ya que la respuesta a los problemas requería de la generación y solución de grandes arreglos de ecuaciones algebraicas simultáneas, es por esta razón que la evolución del Método del Elemento Finito está íntimamente ligado al desarrollo de las computadoras.

No es sino hasta 1953 cuando se utilizan computadoras digitales para solucionar matrices de ecuaciones de rigidez. La gran mayoría de este trabajo se realizó en la industria aeroespacial y en ese tiempo, los problemas más grandes tenían 100 grados de libertad. En 1953, trabajando para la Boeing Company, Turner propone la utilización de planos triangulares de esfuerzo para modelar una ala tipo delta, esta investigación no tuvo gran difusión debido a la política de la compañía de no publicar sus investigaciones.

El nombre de Método del Elemento Finito se le atribuye a Clough, quien en 1960 presentó una investigación proponiendo nuevos elementos para el análisis de esfuerzos aplicables a la solución de problemas mecánicos⁵. En 1963 el Método por Elemento Finito empieza a ganar respeto en el medio ingenieril al reconocerse su fundamentación

matemática: "la solución de un problema variacional mediante su minimización a un problema funcional" ⁶. Debido a esta información el área de aplicación envuelve a todos los problemas que se presenten en forma variacional.

A finales de los 60 y principios de los 70 aparecen una serie de programas de elemento finito que incluyen al ANSYS, SAP, NASTRAN. El impetuoso desarrollo de las computadoras y la aparición de las interfases gráficas han hecho que los programas de Elemento Finito se tornen más amigables para el ingeniero, así mismo el incluir funciones de preproceso para la entrada de datos y de postproceso, para la evaluación de resultados han hecho de la aplicación de el Método por Elemento Finito una herramienta de uso común para los ingenieros actuales.

En la figura 2.1 podemos observar el desarrollo de las bases matemáticas que dieron origen al Método del Elemento Finito y en la figura 2.2 se aprecia la evolución de paquetes de aplicación del MEF relacionados con la historia de las computadoras.

D) Tipos de Elementos Finitos y Tipos de Análisis.

En la solución de un problema en particular es necesario definir el tipo de elementos finitos que simulen de una mejor manera los fenómenos a evaluar. Para esto se han desarrollado matemáticamente diferentes tipos de elementos, entre los más frecuentes se encuentran:

- Marco o Armadura con dos o tres grados de libertad por nodo, empleados para modelar torres, puentes y naves ligeras.
- Viga con seis grados de libertad, utilizada para la evaluación de estructuras en general.
- Membrana con tres grados de libertad, aplicada en la solución de cubiertas y techos.
- Sólidos en dos dimensiones con dos grados de libertad, utilizados para partes de mecanismos.

- Sólidos en tres dimensiones con seis grados de libertad para partes de maquinaria, álabes de turbinas, reactores nucleares y recipientes de pared gruesa.
- Placa en tres dimensiones con cinco grados de libertad para recipientes de pared delgada, algunas partes de maquinaria.
- Elemento Tubo con seis grados de libertad para sistemas de tuberías.
- Elemento tipo gap con un grado de libertad, utilizada para elementos que transmiten cargas compresivas.
- Elemento cable con un grado de libertad aplicable en elementos transmitiendo tracción.
- Placa 3D composite utilizada para equipos deportivos, industria aeroespacial y automovilística.
- Sólido electrostático con seis grados de libertad, se utiliza en la evaluación de aislamientos eléctricos, y máquinas eléctricas.

Es conveniente remarcar que estos elementos se encuentran predefinidos en los paquetes de cómputo donde se aplica el Método del Elemento Finito y su nombre puede variar con respecto a los anteriormente mencionados, así como los grados de libertad que presenta cada uno ⁷.

Debido a la amplia gama de problemas que pueden ser evaluados a través del Método del Elemento Finito, se vuelve indispensable definir el tipo de análisis matemático a desarrollar. Los tipos de Análisis y su relación con los tipos de elementos finitos es la siguiente:

Análisis	Tipo de Elemento
• Estático y Dinámico, lineal o no lineal	• Marco o armadura, viga, sólido en 2D o 3D, placa, cascarón o tubo.

- Transferencia de Calor, uniforme o transitorio
- Colapso
- Electrostático
- Mecánica de Fluidos
- Térmico y de frontera, 2D ó 3D
- Viga, Cascarón, placa.
- Sólido Electrostático 3D
- Fluido en 2D.

Una vez seleccionado el tipo de análisis a utilizar y los elementos que nos brinden el modelo más similar al problema en cuestión procedemos a la captura de datos en el paquete a utilizar⁸.

E) Procedimiento General para la aplicación del Método del Elemento Finito.

En el esquema de la figura 2.3 se presenta un sistema propuesto para realizar procesamiento de datos para el MEF. El procedimiento general consta de tres secciones que son:

1) Preprocesamiento.- Los datos de cargas y esfuerzos iniciales a los que se somete nuestro problema se introducen de manera gráfica al generar una malla de elementos finitos y los nodos donde deben ser aplicados. Esta labor puede realizarse con interfase entre programas de CAD y programas de MEF facilitando así la evaluación de nuestro problema. El visualizar gráficamente los problemas brinda al ingeniero la posibilidad de realizar cualquier corrección sin necesidad de perder mucho tiempo en una reubicación de cargas o esfuerzos.

2) **Procesamiento.**- En este paso se solucionan las matrices de ecuaciones y los parámetros seleccionados para el problema, todas las evaluaciones son realizadas por la computadora y el tiempo de solución se encuentra íntimamente relacionado con las características del problema y la capacidad de la computadora utilizada.

3) **Postprocesamiento.**- En este paso se interpretan los resultados obtenidos. Para este propósito los resultados se presentan en forma numérica y de manera gráfica se muestran: campos de deformaciones y esfuerzos, movimientos, frecuencias de operación, campos de flujo, isoterms y tendencias de deformación de las estructuras, etc., lo cual facilita ampliamente el estudio del problema y las mejoras que deben realizarse al modelo inicial propuesto para solucionar de manera óptima el problema planteado.

Actualmente, las interfases gráficas (AUTOCAD, CADKEY, etc.) facilitan el preprocesamiento de datos al generar las mallas de nuestros diseños de manera automática, pero muchas veces sucede que al generar un mallado automático perdemos la relación de las distancias entre nodos y la ubicación específica de un nodo donde se aplica presión, fuerza, calor, etc. Es por esto que se sugiere no se utilicen los mallados automáticos sino hasta que se haya determinado con exactitud las posiciones de los nodos que soportarán las cargas de nuestro modelo. Además debemos recordar que el paso más importante es la introducción de datos y preprocesamiento de la información, pues de este paso dependerá el éxito o fracaso de nuestra simulación.

F) Principios Matemáticos en la aplicación del MEF.

1) Ecuaciones Básicas.

Si un cuerpo como el mostrado en la figura 2.4, es cargado en las direcciones XYZ, las componentes de deformación unitaria serán:

$$\begin{aligned}\epsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x} ; \quad \epsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y} ; \quad \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \\ \gamma_{xy} &= \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} ; \quad \gamma_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} ; \quad \gamma_{yz} = \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \quad \dots(1)\end{aligned}$$

de la ley de Hooke

$$\epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E} \quad \dots(2)$$

considerando las contracciones laterales

$$\epsilon_y = \frac{-\nu \sigma_x}{E} ; \quad \epsilon_z = \frac{-\nu \sigma_x}{E}$$

las totales en cada dirección

$$\epsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\epsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} \left\{ \sigma_x - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \right\} \dots (3)$$

De la misma figura 2.4, si XYZ son las cargas externas por unidad de volumen y se determina la suma de todas las fuerzas actuando en las caras del cuerpo:

$$\left[(\sigma_x)_1 - (\sigma_x)_2 \right] \delta_x \delta_z + \left[(\tau_{xy})_3 + (\tau_{xy})_4 \right] \delta_x \delta_z + \left[(\tau_{xz})_5 - (\tau_{xz})_6 \right] \delta_x \delta_z + x \delta_x \delta_y \delta_z = 0 \dots (4)$$

Para Y y Z se obtiene, de manera similar, si se divide entre $\delta_x; \delta_y; \delta_z$ y se lleva a $\delta_x \rightarrow 0, \delta_y \rightarrow 0, \delta_z \rightarrow 0$.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + x = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + y = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + z = 0 \dots (5)$$

Este grupo de ecuaciones son las denominadas ecuaciones de equilibrio.

En las ecuaciones (1) se ve que el estado de deformación de cualquier cuerpo está representado por tres funciones u, v y w, que son las funciones de desplazamiento.

Existen unas relaciones entre las deformaciones unitarias y las coordenadas x, y, z de las ecuaciones (1).

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} = \frac{\partial^3 u}{\partial x \partial y^2} ; \quad \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial y}$$

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^3 u}{\partial x \partial y^2} + \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial y}$$

con lo cual

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \dots (6)$$

adicionalmente con

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial^3 u}{\partial x \partial y \partial z}$$

$$\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} = \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z}$$

$$\frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} = \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}$$

$$\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} = \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial z}$$

se tiene

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \dots (7)$$

Finalmente en las direcciones Y y Z se tendrá:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xz}}{\partial x \partial z}$$

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x \partial z} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right)$$

$$2 \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right) \dots(8)$$

Estas últimas son las denominadas condiciones de compatibilidad.

Lo anterior significa que las funciones u, v y w deben cumplir las condiciones (6), (7) y (8) para poder aplicarse como solución al problema.

Particularizando para esfuerzo plano y deformación plana (ver figura 2.5).

De las ecuaciones (5)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + x = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + y = 0 \dots(9)$$

siendo (9) las ecuaciones diferenciales de equilibrio para problemas bidimensionales.

Considerando el peso del cuerpo como fuerza y el eje Y en dirección de la gravedad, entonces de (9)

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0 \dots(10a)$$

$$\frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \rho g = 0 \dots(10b)$$

tomando la condición de compatibilidad para este caso la ecuación (6)

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} \dots (11)$$

de las ecuaciones (3)

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_y)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu \sigma_x) \dots (12)$$

recordando que:

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy}$$

$$\tau_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy} \dots (13)$$

sustituyendo (12) y (13) en (11), derivando (10a) respecto a x y (10b) respecto a y, se demuestra que:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = 0 \dots (14)$$

Hasta esta parte se han establecido las ecuaciones (10a), (10b) y (14), las cuales deben ser satisfechas simultáneamente, se introduce aquí el concepto de la función de esfuerzos y se propone que:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - \rho g y$$

$$\sigma_y = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} - \rho g y$$

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x \partial y} \dots (15)$$

Sustituyendo (15) en (14) obtenemos

$$\frac{\partial^4 \Phi}{\partial x^4} + \frac{2 \partial^4 \Phi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \Phi}{\partial y^4} = 0 \dots (16)$$

Así la solución de un problema bidimensional, cuando el peso es la única fuerza del cuerpo se reduce a encontrar la solución a (16).

Si de las ecuaciones (5) tenemos X y Y como existentes, se encontrará que:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = -(1 + \nu) \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \right) \dots (17)$$

Para el caso de deformación plana se encontrará que

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) (\sigma_x + \sigma_y) = -\frac{1}{1 - \nu} \left(\frac{\partial X}{\partial x} + \frac{\partial Y}{\partial y} \right) \dots (18)$$

Esto nos da idea de que para casos bidimensionales, la determinación de esfuerzos se encuentra definida por una familia de ecuaciones de este tipo.

Cabe hacer notar que para el caso de fuerzas constantes de cuerpo, las ecuaciones no contienen las características elásticas del material y pueden aplicarse estas ecuaciones a todos los materiales isotrópicos.

2) Solución a esfuerzo plano y ejemplo de aplicación.

Para poder entender mejor las características necesarias en la aplicación del Método por Elemento Finito a continuación se presentan las ecuaciones para la solución a esfuerzos planos y un ejemplo de solución con carga para la misma figura 2.7.

La figura 2.6 muestra un elemento triangular típico, el cual consideraremos como base del desarrollo matemático que a continuación se presenta. Sus nodos están numerados como i, j, m, en orden contrario al sentido del reloj.

Los desplazamientos de un nodo tienen dos componentes:

$$a_i = \begin{pmatrix} u_i \\ v_i \end{pmatrix} \dots (1)$$

y las seis componentes del elemento pueden ser listados como un vector:

$$a^e = \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{Bmatrix} \dots (2)$$

los desplazamientos de este elemento están definidos únicamente por estas seis componentes. La representación más sencilla está dada por dos polinomios lineales que son:

$$\begin{aligned} u &= \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y \\ v &= \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y \dots (3) \end{aligned}$$

estas seis constantes alfa pueden ser definidas fácilmente si se solucionan los dos arreglos de tres ecuaciones simultáneas:

$$\begin{aligned}
 u_i &= \alpha_1 + \alpha_2 x_i + \alpha_3 y_i & v_i &= \alpha_4 + \alpha_5 x_i + \alpha_6 y_i \\
 u_j &= \alpha_1 + \alpha_2 x_j + \alpha_3 y_j & v_j &= \alpha_4 + \alpha_5 x_j + \alpha_6 y_j \\
 u_m &= \alpha_1 + \alpha_2 x_m + \alpha_3 y_m & v_m &= \alpha_4 + \alpha_5 x_m + \alpha_6 y_m \quad \dots(4)
 \end{aligned}$$

podemos solucionar para las constantes alfa 1, 2 y 3 en términos de los desplazamientos nodales U_i, j y m para obtener:

$$U = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + c_i y)u_i + (a_j + b_j x + c_j y)u_j + (a_m + b_m x + c_m y)u_m] \quad \dots(5)$$

donde

$$\begin{aligned}
 a_i &= x_j y_m - x_m y_j \\
 b_i &= y_j - y_m \\
 c_i &= x_m - x_j
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_j &= x_m y_i - x_i y_m \\
 b_j &= y_m - y_i \\
 c_j &= x_i - x_m
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_m &= x_i y_j - x_j y_i \\
 b_m &= y_i - y_j \\
 c_m &= x_j - x_i
 \end{aligned}$$

como las ecuaciones del desplazamiento v son similares también obtenemos:

$$V = \frac{1}{2\Delta} [(a_i + b_i x + c_i y)v_i + (a_j + b_j x + c_j y)v_j + (a_m + b_m x + c_m y)v_m] \quad \dots(6)$$

donde $2\Delta = 2 \cdot \text{área del triángulo } i, j, m$ para los dos casos.

Por lo tanto, representando de manera estándar las ecuaciones 5 y 6

$$U = \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = Na^* = [IN_1, IN_1, IN_m] a^* \dots (7)$$

donde N es el vector de las funciones de posición, I es la matriz identidad para cada posición y N es la función de posición para cada nodo.

Para relacionar las funciones de desplazamiento con la deformación unitaria del continuo tenemos:

$$\varepsilon = \begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = Su \dots (8)$$

que, precisamente en el caso de la deformación plana

$$S = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix}$$

sabiendo que

$$\varepsilon = Ba^* = [B_1 \ B_2 \ B_m] \begin{Bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_m \end{Bmatrix}$$

donde

$$B_i = SN_i = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_i}{\partial y} \\ \frac{\partial N_i}{\partial y} & \frac{\partial N_i}{\partial x} \end{bmatrix} = \frac{1}{2\Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 \\ 0 & c_i \\ c_i & b_i \end{bmatrix} \dots(9)$$

lo mismo obtendremos para B_j y B_m

conociendo que

$$\sigma = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = D \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} - \epsilon_0 \dots(10)$$

para el caso de esfuerzo plano en un material isotrópico tenemos por definición:

$$\begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{\sigma_x}{E} - \frac{\nu\sigma_y}{E} + \epsilon_{x_0} \\ \epsilon_y &= -\frac{\nu\sigma_x}{E} + \frac{\sigma_y}{E} + \epsilon_{y_0} \\ \gamma_{xy} &= \frac{2(1+\nu)\tau_{xy}}{E} + \epsilon_{xy_0} \dots(11) \end{aligned}$$

resolviendo para las ecuaciones anteriores tenemos que D es igual a:

$$D = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \dots(12)$$

tenemos entonces

$$\varepsilon = [D]\{U\} \quad \text{donde} \quad \{U\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} \quad \text{totales} \quad \dots (13)$$

tratándose de un caso de elasticidad lineal

$$\sigma = E\varepsilon = E[D]\{U\}$$

y por último

$$F = A\sigma \quad \dots (14)$$

tenemos

$$F = AE[D]\{U\} = [K]\{U\} \quad \dots (15)$$

que es la ecuación conocida como de rigidez.

Ejemplo de Aplicación.-

En la figura 2.7 tenemos una estructura compuesta por cuatro elementos, con longitudes e inclinación conocida. Para solucionar este problema primero lo subdividiremos en la forma que se presenta en la figura 2.8.

Sabiendo que $E=10$ psi y $\mu = 0.3$ tenemos:

a) Ecuación de Rigidez para cada elemento.

Elemento A: $A/L = 0.7/70$ $\cos \phi = 1$ $\sin \phi = 0$

$$\begin{Bmatrix} F_{x_1^A} \\ F_{x_2^A} \end{Bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix}$$

Elemento B: $A/L = 0.5/56.56$ $\cos \phi = -0.707$ $\sin \phi = 0.707$

$$\begin{Bmatrix} Fx_2^B \\ Fx_3^B \\ Fy_2^B \\ Fy_3^B \end{Bmatrix} = 10^5 \begin{bmatrix} 0.442 & & & & \\ -0.442 & 0.442 & \text{simétrica} & & \\ -0.442 & 0.442 & 0.442 & & \\ 0.442 & -0.442 & -0.442 & 0.442 & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix}$$

Elemento C: $A/L = 0.75/50$ $\cos \phi = 0.6$ $\sin \phi = 0.8$

$$\begin{Bmatrix} Fx_1^C \\ Fx_3^C \\ Fy_1^C \\ Fy_3^C \end{Bmatrix} = 10^5 \begin{bmatrix} 0.540 & & & & \\ -0.540 & 0.540 & \text{simétrica} & & \\ 0.720 & -0.720 & 0.960 & & \\ -0.720 & 0.720 & -0.960 & 0.960 & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_3 \\ v_1 \\ v_3 \end{Bmatrix}$$

Elemento D

$$\begin{Bmatrix} Fx_1^D \\ Fx_2^D \\ Fx_3^D \\ Fy_1^D \\ Fy_2^D \\ Fy_3^D \end{Bmatrix} = 10^5 \begin{bmatrix} 1.272 & & & & & & \\ -0.695 & 1.127 & & & & & \\ -0.577 & -0.433 & 1.010 & & & & \\ 0.613 & -0.035 & -0.577 & 1.272 & & & \\ 0.118 & -0.459 & 0.577 & 0.377 & 0.860 & & \\ -0.495 & 0.459 & 0 & -1.649 & -1.237 & 2.886 & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix}$$

Sumando las matrices anteriormente desarrolladas obtenemos la matriz de rigidez de la estructura.

$$\begin{Bmatrix} P_{x_1} \\ P_{x_2} \\ P_{x_3} \\ P_{y_1} \\ P_{y_2} \\ P_{y_3} \end{Bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 2.812 & & & & & & & \\ -1.695 & 2.569 & & & & & & \\ -1.117 & -0.875 & 1.992 & & & & & \\ 1.333 & -0.035 & -1.297 & 2.232 & & & & \\ -0.118 & -0.901 & 1.019 & 0.377 & 1.302 & & & \\ -1.215 & 0.936 & 0.278 & -2.609 & -1.678 & 4.288 & & \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{Bmatrix} \quad \text{simétrica}$$

De condiciones iniciales tenemos $U_1=V_1=V_2=0$ por lo tanto removemos la primera, la cuarta y la quinta líneas y :

$$\begin{Bmatrix} P_{x_2} \\ P_{x_3} \\ P_{y_3} \end{Bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} 2.569 & -0.875 & 0.936 \\ -0.875 & 1.992 & 0.278 \\ 0.936 & 0.278 & 4.288 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix}$$

Así $P_{x_2} = 4,000 \text{ lbs}$ $P_{x_3} = 10,000 \text{ lbs}$ $P_{y_3} = 2,000 \text{ lbs}$ sustituyendo e invirtiendo la matriz de rigidez llegamos a:

$$\begin{Bmatrix} u_2 \\ u_3 \\ v_3 \end{Bmatrix} = 10^{-6} \begin{bmatrix} 5.203 & 2.466 & -1.296 \\ 2.466 & 6.235 & -0.943 \\ -1.296 & -0.943 & 2.677 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} P_{x_2} \\ P_{x_3} \\ P_{y_3} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0.04288 \text{ in} \\ 0.07033 \text{ in} \\ -0.00926 \text{ in} \end{Bmatrix}$$

con los valores obtenidos y las líneas eliminadas anteriormente encontramos las reacciones.

$$\begin{Bmatrix} P_{x_1} \\ P_{y_1} \\ P_{y_2} \end{Bmatrix} = 10^3 \begin{bmatrix} -1.695 & -1.117 & -1.215 \\ -0.035 & -1.297 & -2.609 \\ -0.901 & 1.019 & -1.678 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.04288 \\ 0.07033 \\ -0.00926 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -14,000 \\ -6,857 \\ 4,857 \end{Bmatrix}$$

por último, para los miembros cargados axialmente:

Elemento A.- $U1=0$ por lo tanto

$$F_{x_1}^A = -F_{x_2}^A = -10^3 * 0.04288 = -4,288 \text{ lbs}$$

Elemento B.- Si $V2 = 0$ tenemos

$$\begin{Bmatrix} F_{x_2}^B \\ F_{y_2}^B \end{Bmatrix} = 0.442 * 10^3 \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.04288 \\ 0.07033 \\ -0.00926 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -1,623 \text{ lbs} \\ 1,623 \text{ lbs} \end{Bmatrix}$$

Así la carga axial será:

$$\sqrt{(-1623)^2 + (1623)^2} = 2294 \text{ lbs}$$

Elemento C.-

$$\begin{Bmatrix} F_{x_1}^C \\ F_{y_1}^C \end{Bmatrix} = -10^3 \begin{bmatrix} 0.540 & 0.720 \\ 0.720 & 0.960 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.07033 \\ 0.00926 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -3,131 \\ -4,175 \end{Bmatrix}$$

Encontrando los esfuerzos para el elemento D tenemos:

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = 3.925 * 10^3 \begin{bmatrix} 40 & 0 & 21 \\ 12 & 0 & 70 \\ -10.5 & 24.5 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0.04288 \\ 0.07033 \\ -0.00926 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 5969 \text{ psi} \\ -525 \text{ psi} \\ 4996 \text{ psi} \end{Bmatrix}$$

¹ Vid. Zienkiewicz, O.C., The Finite Element Method, Singapur, Mc Graw-Hill, 1989, 4ed., p. 1

² Ibidem

³ Cfr. Zienkiewicz, Op. Cit., nota 1, p. 2

⁴ Cfr. Cook, Robert, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, New York, John Wiley & Sons, 1989, 3ed., p. 14

⁵ Ibidem

⁶ Cfr. Cook, Op. Cit., nota 13, p. 16

⁷ Vid. Pineda, Marco A., "Solución de problemas mecánicos mediante la utilización de Elementos Finitos", Memoria del Primer Congreso Metropolitano para Estudiantes de Ingeniería, México, D.F., AMIME, 1991, Tomo VI, Mayo 1991.

⁸ Ibidem

Capítulo III

Planteamiento y Especificaciones del Análisis.

A) Introducción

La palabra diseño proviene del italiano *disegno* y significa Dibujo Muestra¹. En el caso del diseño mecánico entendemos por diseño, según Edward Shigley, "Formulación de un plan para satisfacer una necesidad Humana"².

La palabra análisis tiene sus raíces etimológicas en las palabras Griegas ANA: distinción, separación y en LISIS: solución. La definición de análisis es "reducción de un todo en sus partes"³.

De acuerdo con estas dos definiciones será necesario plantear un problema para poder diseñarlo y para entender este problema correctamente tendremos que realizar un análisis minucioso del mismo.

Durante la época de Leonardo Da Vinci, el diseño era algo intuitivo y que constituía básicamente en la realización de dibujos a escala que ilustraban cómo sería el modelo final, no sin antes realizar un estudio detallado de los mecanismos que conforman el movimiento del cuerpo humano, de los caballos o de las aves que el gran genio de Da Vinci transforma en elementos mecánicos construidos con madera en su mayoría e impulsados aprovechando la fuerza humana o la fuerza hidráulica.

En nuestros días, la gran complejidad de un problema y la especialización en diferentes campos de la ingeniería, provocan que el ingeniero requiera de un procedimiento para el análisis de problemas, deslindando responsabilidades y encontrando la solución adecuada para cada subproblema que conforma al problema general.

B) El Diseño Metódico y el Diseño Total

Existen diferentes estudios sobre procedimientos aplicables al análisis y diseño en ingeniería, dos de los más importantes en estos campos son el Diseño Metódico, de la Escuela Alemana ⁴, y el Diseño Total, de la Escuela inglesa ⁵.

Las principales características de estos dos métodos es que, uno de ellos, el de la Escuela Inglesa, está altamente concentrado en la parte administrativa del proceso de diseño, es decir, costos, proveedores, materiales, mientras que el diseño metódico está enfocado en la técnica y sus aplicaciones para la solución de un problema.

En esta tesis se utilizará el método del Diseño Metódico, como base para el planteamiento técnico y análisis del problema que más adelante se planteará, mientras que el Diseño Total sólo lo desarrollaremos para comprender el largo proceso que debe abarcar el análisis y diseño de productos en la ingeniería actual. Es debido a estas consideraciones que se describirán brevemente los pasos seguidos en la aplicación de los dos procedimientos de análisis y diseño.

Secuencia de aplicación del Diseño Metódico.

1. Planteamiento, alcances y limitaciones del análisis a realizar.

Se procede a plantear el objetivo general, y específicos de la tarea encomendada, generando una lista de exigencias y programando fechas para la realización de cada objetivo.

2. Planteamiento y conocimiento de los problemas importantes.

Se realizará un análisis de los futuros problemas a encontrar durante el diseño, estableciendo una diferencia entre problemas principales y problemas parciales, así como una estructura funcional que permita dar una jerarquía en la solución de cada problema principal.

3. Evaluación y selección de opciones.

Después de realizar una búsqueda de diferentes soluciones, se procederá a la evaluación y selección de la mejor opción. En caso de no encontrar una solución, se regresará al paso dos para conceptualizar mejor la idea.

Este paso es importante ya que una vez seleccionada la mejor solución se procederá a su desarrollo matemático y simulación con herramientas de apoyo como el CAD y el Método del Elemento Finito.

4. Bosquejos a Escala.

La realización de bosquejos a escala del análisis a realizar es fundamental para la evaluación técnica con base en la lista de exigencias.

5. Evaluación de Resultados y Conclusiones para el Diseño Definitivo.

Una vez con el bosquejo y aprobada la evaluación técnica se procederá a realizar el análisis y la evaluación de los resultados, obteniendo de éstos las conclusiones pertinentes para el desarrollo de un producto o proceso.

6. Optimización de Detalles.

En este punto se preparará toda la documentación necesaria: memoria de cálculo, resultados de simulaciones, y evaluación de resultados que nos permitirán obtener las conclusiones finales.

7. Presentación Final

Se preparará una presentación para la administración de la empresa que patrocinó el análisis, donde se destacará el cumplimiento de la lista de exigencias y los objetivos generales y específicos dentro de los alcances planeados por la administración, así como la utilización al máximo de los recursos disponibles para la elaboración de las tareas planteadas ⁶.

El Diseño Total presenta los siguientes pasos:

1. Planteamiento del Problema y establecimiento del grupo responsable.

La alta dirección de la empresa decidirá cuál es el diseño a realizar o mejorar, planteando como responsables a cada departamento involucrado en el producto, como puede ser proveedores, ingeniería, ventas y producción, estableciendo un grupo interdisciplinario de la misma empresa que será el grupo responsable del diseño final.

2. Establecimiento de responsabilidades para cada área involucrada.

El grupo responsable evaluará las necesidades a satisfacer para llevar a cabo el diseño y deslindará responsabilidades a cada representante con el fin de obtener un listado de tareas a realizar que lleva el nombre de base fundamental y del cual dependerá todo el seguimiento posterior del diseño.

3. Evaluación Técnico-Económica.

El Diseño Total considera la tecnología de cada diseño en estrecha relación con los recursos económicos de la empresa, es por esto que se llevará a cabo una evaluación tecnológica con el afán de encontrar si ya se ha realizado algo

semejante en la industria o si será un diseño que implique investigación y desarrollo, después de realizar este estudio se decidirá si conviene o no seguir adelante con el diseño final.

4. Desarrollo Técnico.

Se utilizarán técnicas de diseño como la generación de ideas, la evaluación de materiales y las hojas de tiempos para llevar a cabo el diseño y optimización del mismo.

5. Documentación y Presentación Final.

La documentación final será presentada a manera de reporte ante la alta dirección de la empresa destacando la tarea realizada por cada elemento y el grado de cumplimiento de la base fundamental planteada.

Como se puede apreciar el diseño metódico es para aplicación tecnológica mientras que el diseño total envuelve a una corporación para su correcta aplicación ⁷.

En las figuras 3.1 y 3.2 se presentan los procedimientos a seguir de cada método.

C) Planteamiento, Alcances y Limitaciones del Problema.

La industria electromanufacturera en nuestro país, como muchas otras ramas industriales, se encuentra en una etapa de gran reto comercial al competir en un mercado global.

En especial, para los usuarios de equipo eléctrico, la inversión al comprar motores de gran caballaje o transformadores de alta tensión, es alta y requieren que sus especificaciones se cumplan al cien por ciento.

Es debido a esto que la realización de pruebas a los motores mayores de 500 h.p., sometidos a las pruebas por el Método Directo, desarrollado en esta tesis en el capítulo I, requieren de instalaciones electromecánicas especiales como el Laboratorio de Pruebas de Industrias IEM. Una parte fundamental para el correcto desarrollo de la pruebas son las estructuras de soporte para los motores bajo prueba y que requieren de un amplio estudio y análisis mecánico debido a los requerimientos que tiene que cumplir.

El Problema consistirá en determinar las fuerzas de reacción y distribución de esfuerzos generados en los motores horizontales modelos 5000, 5800 y 6800, una vez que son sometidos a las pruebas del Método Directo, con el fin de conocer las especificaciones de diseño de la estructura de soporte para la realización de este tipo de prueba.

Esta estructura de soporte pertenece al sistema mecánico que a su vez estará relacionado con los sistemas eléctricos y de obtención de datos, que en conjunto integran un piso de pruebas industrial, sin embargo, esta tesis se enfoca únicamente al desarrollo del problema planteado en el párrafo anterior y para los modelos que en él se especifican.

La selección de los modelos a manejar se realizó con base en la producción de Industria Eléctrica de México, S.A. de C.V. que es la principal fábrica nacional de motores de gran caballaje y estos son los modelos internacionales de mayor capacidad que fabrica. Las especificaciones y dimensiones de estos modelos se encuentran en el anexo I.

D) Objetivo General y Específico.

El objetivo general de esta tesis es presentar el procedimiento de análisis de esfuerzos y reacciones, aplicando el Método del Elemento Finito, que se generan en los motores modelo 5000, 5800 y 6800, con el fin de obtener las especificaciones para el diseño de su estructura de soporte ya sea dentro de un Laboratorio de Pruebas o en campo.

Este análisis deberá cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- * Cumplir con la realización de las pruebas del Método Directo según la norma IEEE Std 112-1991; estas pruebas se describieron en el capítulo I y a saber son
 - Sobrevelocidad
 - Saturación sin carga
 - Funcionamiento
 - Saturación con carga
 - Par-velocidad
 - Rotor Bloqueado
 - Temperatura
 - Flujo de Aire
 - Vibración Mecánica
 - Resistencia de los devanados
 - Nivel de Ruido
 - Resistencia de los aislamientos
- * Mostrar la aplicación del Método del Elemento Finito en la determinación de los esfuerzos y reacciones generados en los motores.
- * Determinar cuál es la prueba que rige al análisis en cuestión.
- * Determinar el modelo que rige al análisis en cada uno de los tipos de motores a evaluar.
- * Determinar las cargas máximas para cada modelo.
- * Generar los Modelos en Elemento Finito de cada uno de los motores en cuestión.
- * Simulación de los esfuerzos generados por las cargas en los modelos de elemento finito.
- * Establecer las condiciones de frontera para cada evaluación.
- * Obtención de resultados y Determinación de parámetros para el diseño de la estructura.

E) Lista de Exigencias

Una vez planteado el problema y conociendo el objetivo general y específicos comenzaremos el análisis de este problema según el procedimiento establecido por el diseño metódico.

Con base en el objetivo específico se presenta una lista de exigencias⁸ realizada siguiendo las características de la realización de pruebas según la norma IEEE std 112-1991 y la experiencia personal.

En esta lista de exigencias se plantea la fecha establecida para realizar ya sea una investigación, presentación de avances, cálculos, etc, es decir, la lista de exigencias es un programa para la realización de cada problema parcial, además de contener características o acciones que pertenecen directa o indirectamente al problema y que deberán ser consideradas para el análisis a realizar, lo cual, en conjunto nos llevará a encontrar la solución del objetivo general.

Esta lista de exigencias es flexible a ser modificada, corregida o aumentada según el desarrollo del análisis. En el anexo II se encuentran la figura 3, la cual muestra la primera lista de exigencias y, las tablas con las modificaciones a esta lista.

F) Problemas relevantes para el análisis.

Con base en nuestra lista de exigencias, establecemos los problemas que tenemos que solucionar antes de comenzar el análisis formal. Muchas veces podemos encontrar que carecemos de la información completa para realizar una aproximación a la solución del problema planteado, es decir, este paso se realiza para retroalimentar a la persona que realiza el análisis.

En nuestro caso los problemas relevantes que tendremos que determinar antes de comenzar nuestro análisis formal son:

- * ¿ Cuáles son las densidades de los modelos a evaluar.?
- * ¿ Qué tipos de elementos finitos se utilizarán ?
- * ¿ Existen algunos parámetros comunes para nuestros modelos ?
- * ¿ Cómo se simularán las cargas a los motores ?
- * ¿ Podremos establecer un modelo en elemento finito que sirva para cualquier tipo de motor ?

Como se puede apreciar este tipo de preguntas planteadas son básicas para llevar a buen término nuestro análisis, es por esto que el Diseño Metódico establece que se realice un cuestionamiento similar al anterior con cada uno de los puntos establecidos en la lista de exigencias y se complemente ésta con los problemas relevantes para su solución. La lista de exigencias de la figura 3 se presenta con los problemas relevantes planteados.

¹ Cfr. Diccionario Enciclopédico Bruguera, Tomo VI, México D.F., Bruguera Mexicana de Ediciones, 1979, p. 675

² Cfr. Shigley, Joseph E., Diseño en Ingeniería Mecánica, México D.F., McGraw-Hill, 1992, 5ed, p. 4

³ Cfr. Diccionario Enciclopédico Bruguera, op. cit., nota 1, Tomo 2, p. 113

⁴ Vid. Dietz, Peter, "Diseño Metódico", Memoria del Curso de Diseño Metódico, México D.F., Universidad Panamericana, 1992.

⁵ Cfr. Pugh, Stuart, Total Design, Londres, Addison-Wesley, 1991, 2ed.

⁶ Cfr. Dietz, Peter, Op. Cit., nota 4, p.12

⁷ Cfr. Pugh, Stuart, Op. Cit., nota 5, p.11

⁸ Vid. Dietz, Peter, Op. Cit., nota 4, p.17

Capítulo IV

Análisis a Detalle

A) Introducción

Una vez que conocemos los objetivos general y específico del análisis, así como la lista de exigencias que debemos cubrir, podemos entrar a la fase del análisis a detalle que consiste en realizar todos los cálculos necesarios previos a la evaluación de nuestros modelos por medio del Elemento Finito y la obtención de resultados.

En este capítulo podremos observar para cada modelo su memoria de cálculo, sus características físicas que regirán a la evaluación en elemento finito, los listados de la programación en MEF, así como la determinación de la prueba que rige al análisis, las condiciones de frontera a evaluar, y la carga máxima que será simulada.

B) Características de operación de los motores bajo prueba.

A todo lo largo del análisis será necesario tomar en cuenta las dimensiones de los motores, las cuales se presentan en el anexo I, así como algunas de sus características de operación como son:

1. Velocidad Síncrona.

Esta velocidad se encuentra dada por la relación:

$$RPM = \frac{120 f}{\rho}$$

donde

f = Frecuencia

ρ = No de polos

A continuación se presenta la relación de polos y su velocidad síncrona para todos los modelos a probar.

No. de polos	RPM
2	3600
4	1800
6	1200
8	900
10	720
12	600
14	514.28
16	450
18	400
20	360

Estos son los valores para una frecuencia de operación de 60 hz, que es la utilizada en nuestro país.

2. Torque Máximo

Para cada tipo, el torque máximo en lbs*pulg está dado por:

$$T = \frac{396000(h.p.)}{2\pi(RPM)} \dots(4.1)$$

los h.p. para cada tipo son:

Tipo	h.p.
5000	500
5800	1500
6800	3000

Para encontrar el torque máximo de cada tipo será necesario considerar el caso de los modelos con veinte polos, y así utilizaremos el menor valor de RPM que tenemos.

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada tipo después de sustituir valores en la ecuación (4.1).

Tipo	lb*in	kg*m
5000	87,535.21	1008.51
5800	262,605.65	3025.54
6800	525,211.31	6051.08

Una vez que conocemos el torque de cada tipo a utilizar para el análisis, será necesario conocer la prueba que regirá el diseño mecánico del sistema.

C) Prueba y Torque que rige al diseño.

Para conseguir el objetivo planteado tendremos que basar el análisis en la prueba de rotor bloqueado, la cual se describió en el capítulo I y que consiste básicamente en la simulación del arranque de un motor, con lo cual la estructura se somete a las fuerzas y torques mayores que el sistema puede generar. En esta prueba el motor deberá arrancar por medio de un compensador a tensión reducida de modo que la tensión de arranque será de hasta un 50% de la tensión de línea.

Debido a esta consideración, y sabiendo que el torque de un motor de inducción y el porcentaje de tensión en la línea que toma en el arranque se encuentran relacionados por:

$$T=(V \%) \text{ por lo tanto } T=.25 = 25 \%$$

así el valor del torque que regirán nuestro diseño será:

$$\text{Torque máximo} = 6051.08 (.25) = 1512.772 \text{ kg}\cdot\text{m}$$

Ahora que conocemos las características principales de los motores bajo prueba podemos comenzar con el análisis a detalle para cada uno de los modelos a evaluar.

D) Modelos que rigen al análisis.

Los diferentes modelos de motores que existen presentan variaciones en sus dimensiones y características, sin embargo podemos realizar la evaluación de cada tipo de motor con base en uno solo de sus modelos.

De los cuarenta y nueve modelos diferentes de motores que podrán ser sometidos a prueba en el sistema mecánico, existen uno, de cada tipo, que por su menor densidad presenta la menor oposición al torque aplicado y con lo cual rige a la evaluación de ese tipo de motor. Estos modelos son : 5008 S, 5808 H, 6809 H. Las tablas 4.1 y 4.2 presentan los valores de la densidad para cada uno de los modelos.

E) Generación de Modelos en Elemento Finito.

1) Introducción al paquete ANSYS 5.0 de Elemento Finito

La aplicación del Método del Elemento Finito requiere de un paquete matemático confiable y de gran versatilidad. En la Escuela de Ingeniería de la Universidad Panamericana se puede utilizar uno de los paquetes más avanzados en el mercado: ANSYS 5.0.

Este programa se divide en tres etapas para su correcta aplicación y que corresponden al proceso de aplicación del Método del Elemento Finito descrito en el capítulo II, la primera es el preproceso conocida con el nombre de /PREP7, la segunda es el proceso de solución o /SOLU que presenta la posibilidad de aplicar diversas cargas, condiciones iniciales, presiones, etc., a las que puede ser sometido nuestro modelo; por último, tenemos la etapa de postproceso conocida como /POST1 que nos permitirá

observar los resultados de nuestro análisis en forma matemática o gráfica, según sean nuestras necesidades.

ANSYS 5.0 nos permite realizar evaluaciones de problemas estáticos, dinámicos, de transferencia de calor, vibraciones, fluidos y en todos estos casos podemos utilizar más de 50 diferentes tipos de elementos finitos, así como las características de los materiales aplicados para cada modelo. Como es de suponerse, existe un lenguaje de programación e instrucciones para la generación de nuestros modelos y su evaluación. Las instrucciones utilizadas, los tipos de elementos finitos aplicados y una descripción de las características del ANSYS 5.0 se pueden encontrar en el Anexo III de esta tesis. Para el lector que desea conocer más sobre ANSYS 5.0 se recomienda consulte los manuales disponibles en el Centro de Cómputo de la Universidad Panamericana.

Este capítulo se enfoca a la parte del preproceso, /PREP7, mientras que el capítulo V abarcará las etapas de solución, /SOLU, y de obtención de resultados, /POST1.

2) Programas en MEF.

2.1) Valores Dimensionales Críticos

Siguiendo las hojas de dimensiones del Anexo I, podemos generar un modelo en elemento finito que represente a cada uno de los modelos a evaluar que se determinaron anteriormente, es decir, el modelo 5008 S para los motores tipo 5000, el modelo 5808 H para los motores tipo 5800 y por último el modelo 6809 H para los tipo 6800.

La generación de cada malla requiere del conocimiento de algunas dimensiones críticas, las cuales fueron determinadas al visualizar la forma de generar el mallado

convenciente para este análisis, estas dimensiones fueron: la mitad del ancho, la mitad del largo, la distancia entre el punto de sujeción y el borde del motor, así como la mitad de la altura total.

2.2) Comentarios sobre la generación del momento en la evaluación.

Para poder generar un modelo correcto de los motores a evaluar debemos utilizar un tipo de elemento finito conocido con el nombre de sólido en tres dimensiones, este tipo de elemento es el número 45 para el paquete Ansys 5.0 y tiene sólo tres grados de libertad que son UX, UY y UZ. Como es de esperarse, esto representa un problema para simular correctamente la aplicación del torque al modelo.

Realizando un análisis de las posibles soluciones al problema de la simulación en la aplicación del torque se llegó a la conclusión de que la mejor forma era someter un elemento tipo 45, con las dimensiones y posición que tendría la flecha, a las fuerzas que generaran el torque máximo encontrado anteriormente. Es debido a esta consideración que el listado en elemento finito considera un elemento 45 como la flecha y en el capítulo cinco se podrá apreciar la forma de aplicar las fuerzas al modelo, así como una explicación a fondo de la forma de simular la carga en el mismo.

2.3) Listado de Programa en Elemento Finito.

En la generación de programas en elemento finito existen algunas características comunes para todos los paquetes de MEF, como lo son la determinación de nodos por medio de coordenadas y la determinación de elementos por medio de nodos. Sin embargo, para el caso del ANSYS 5.0 hay que definir algunos parámetros en el modo *BEGIN*, el cual se describe en el Anexo III. Estos parámetros son, las unidades que se manejarán, el nombre del archivo de trabajo y la descripción del mismo, además siempre se deberá

borrar la base de datos anterior al nuevo análisis utilizando el comando */Clear*. Como es de pensarse, en el modo *BEGIN* tendremos las mismas instrucción de programación para los tres análisis, estas instrucciones son:

BEGIN:	PROGRAMA DE INICIO.
<i>/CLEAR</i>	• Borramos la Base de Datos anterior.
<i>/UNITS, SI</i>	• Con lo cual determinamos al sistema internacional de medidas como el sistema a utilizar.
<i>/FILENAME,</i>	• Después de la coma ponemos el nombre del archivo a utilizar.
<i>/TITLE,</i>	• Después de la coma ponemos la descripción del análisis a realizar.

Una vez que hemos realizado estos comandos podemos entrar de lleno al modo de preproceso, */PREP7*, con sólo poner este comando en el modo *BEGIN*.

Para poder realizar este modelo será necesario utilizar el elemento 45 de ANSYS 5.0, sólido en tres dimensiones, de cuatro nodos y tres grados de libertad.

A continuación se presentan los listados de generación de modelo de los tres modelos de motores que rigen al análisis.

Motor Modelo 5008 S.

BEGIN :

```

/CLEAR
/UNITS,SI
/FILENAME,MOTOR_1
/TITLE,Cálculo de reacciones modelos 5000
/PREP7

```

/PREP7 :

```

ct,1,solid_45
mp,EX,1,20.68E10
mp,DENS,1,484.3
mp,EX,2,20.68E10
mp,DENS,2,97.526
type,1
mat,1
n,1
n,2,,.0636
n,3,,.2809
ngen,2,3,all,,0,0,.2159
ngen,2,3,4,6,1,0,0,.635
n,10,0,0,1.0505
n,11,.0635,0,1.0505
n,12,.2809,0,1.0505
ngen,2,12,all,,0,2809,0
ngen,2,12,13,24,1,0,.073025,0
ngen,2,12,25,36,1,0,2809,0
c,1,4,5,2,13,16,17,14
c,2,5,6,3,14,17,18,15
egen,3,3,all
cgen,2,12,all
local,11,0,3175,0
symm,0,48,all
esymm,,48,all
csys
mat,2
e,3,6,54,51,15,18,66,63
e,6,9,57,54,18,21,69,66
e,9,12,60,57,21,24,72,69
cgen,3,12,36,39,1
n,97,2809,2809,-.06985
n,98,.3540,2809,-.06985
n,99,2809,3540,-.06985
n,100,.3540,3540,-.06985
e,97,15,63,98,99,27,75,100
save
finish

```

Motor Modelo 5808 H.

BEGIN:

```

/CLEAR
/UNITS,SI
/FILENAME, MOTOR_2
/TITLE, Cálculo de recciones modelos 5800
/PREP7

```

/PREP7 :

```

ct,1,solid_45
mp,EX,1,20.68E10
mp,DENS,1,
mp,EX,2,20.68E10
mp,DENS,2,97.526
type,1
mat,1
n,1
n,2,,06985
n,3,,3254
ngen,2,3,all,,0,0,.254
ngen,2,3,4,6,1,0,0,.7112
n,10,0,0,1.2029
n,11,,06985,0,1.2029
n,12,,3254,0,1.2029
ngen,2,12,all,,0,,3254,0
ngen,2,12,13,24,1,0,,073025,0
ngen,2,12,25,36,1,0,,3254,0
c,1,4,5,2,13,16,17,14
c,2,5,6,3,14,17,18,15
egen,3,3,all
egen,2,12,all
local,11,0,,36195,0
symm,0,48,all
esymm,,48,all
csys
mat,2
c,3,6,54,51,15,18,66,63
c,6,9,57,54,18,21,69,66
c,9,12,60,57,21,24,72,69
egen,3,12,36,39,1
n,97,,3254,,3254,-.06985
n,98,,3984,,3254,-.06985
n,99,,3254,,3984,-.06985
n,100,,3984,,3984,-.06985
c,97,15,63,98,99,27,75,100
save
finish

```

Motor Modelo 6809 H.

BEGIN:

```

/CLEAR
/UNITS,SI
/FILENAME, MOTOR_3
/TITLE, Cálculo de reacciones modelos 6800
/PREP7
/REP7 :
ct,1,solid_45
mp,EX,1,20.68E10
mp,DENS,1,
mp,EX,2,20.68E10
mp,DENS,2,
type,1
mat,1
n,1
n,2,1143
n,3,4143
ngen,2,3,all,,0,0,.2921
ngen,2,3,4,6,1,0,0,.9194
n,10,0,0,1.4732
n,11,1143,0,1.4732
n,12,4143,0,1.4732
ngen,2,12,all,,0,.3889,0
ngen,2,12,13,24,1,0,.085725,0
ngen,2,12,25,36,1,0,.3889,0
e,1,4,5,2,13,16,17,14
e,2,5,6,3,14,17,18,15
egen,3,3,all
egen,2,12,all
local,11,0,.4572,0
symm,0,48,all
esymm,48,all
csys
mat,2
e,3,6,54,51,15,18,66,63
e,6,9,57,54,18,21,69,66
e,9,12,60,57,21,24,72,69
egen,3,12,36,39,1
n,97,4143,.3889,-.06985
n,98,.5,.3889,-.06985
n,99,4143,.4746,-.06985
n,100,.5,.4746,-.06985
e,97,15,63,98,99,27,75,100
save
finish

```


Los listados anteriores son los que conforman el modelo y la etapa de preproceso. En el anexo IV se presentan las gráficas de las mallas generadas, con lo cual se da por terminada la etapa de preproceso de la información y entramos de lleno a la etapa de evaluación final y obtención de resultados.

Capítulo V

Solución y Postproceso de Información.

A) Introducción.

En este capítulo se realiza el proceso de los datos en el programa de Elemento Finito, determinando las características iniciales y las fuerzas aplicadas para la simulación, así como la obtención de resultados y análisis final del problema. Al concluir este capítulo, se encontrará un programa con parámetros determinados que podrá ser utilizado para evaluar cualquier tipo de motor sometido a la prueba de rotor bloqueado.

B) Fuerzas aplicadas y condiciones iniciales.

Como se determinó en el capítulo anterior, existe un torque que rige al análisis, sin embargo también será necesario considerar la fuerzas de la gravedad para que la densidad del motor pueda ser simulada por la computadora en la evaluación que se realizará, en el caso de esta tesis el valor de la gravedad es de $9.81 \text{ Kg} \cdot \text{m/s}^2$, que es el valor del sistema internacional de medidas.

1) Simulación del torque en ANSYS 5.0

La simulación de torque en el programa ANSYS 5.0 depende del tipo de elemento finito que se esté utilizando, como se explicó en el capítulo II, los diferentes elementos finitos tienen grados de libertad que les permiten desarrollar características similares a los modelos reales a evaluar, para que un elemento pueda ser sometido directamente a una simulación de torque deberá contar con seis grados de libertad, si el elemento que estamos utilizando no cuenta con estos grados de libertad debemos transmitir el torque ayudándonos de otro elemento que cuente con seis grados de libertad, lo que nos permitirá utilizar las instrucciones para la simulación de momentos en ANSYS 5.0 o mediante una aplicación de fuerzas directa a otro miembro exterior a la estructura.

En el caso de nuestra simulación, la aplicación del torque fue sometida a dos análisis utilizando elementos diferentes al elemento 45, los cuales presentaban seis grados de libertad y podían ser sometidos al torque por medio de la instrucción directa para simulación de torque. Una vez realizados estos experimentos nos percatamos que la estructura no respondía a la aplicación de fuerzas pues este momento era aplicado en un solo punto de la estructura y el cual no podía reaccionar a la torsión por formar parte de un elemento con sólo tres grados de libertad. Fue debido a estas consideraciones obtenidas en los dos análisis previos que se llegó a la conclusión de que el modo de cargar correctamente a la estructura era mediante un elemento adicional al motor simulado que tuviera las mismas dimensiones de la flecha y que fuera del mismo tipo de elemento finito que toda la estructura, es decir que fuera un elemento tipo 45, al cual se le aplicarían las fuerzas en sus extremos directamente que al actuar sobre este elemento transmitiría la fuerza necesaria a todo el modelo.

La forma de generar este elemento se describió en el capítulo IV, a continuación se desarrollarán las instrucciones para simular la carga del mismo y en general las

instrucciones para la aplicación de fuerzas con las que cuenta el programa ANSYS 5.0 se encuentran en el Anexo III.

2) Condiciones iniciales.

Las condiciones iniciales que limitan a todos los modelos son cuatro apoyos que se encuentran limitados en sus seis grados de libertad, como es de esperarse estos puntos de apoyo se simulan como un nodo y aunque son diferentes en cuanto a posición para cada uno de los motores, su numeración nodal es la misma en las tres evaluaciones.

Será en estos nodos en donde se encuentren las fuerzas de reacción que estamos buscando y que determinarán el diseño de la estructura que soporte a dichos motores.

C) El Proceso de Solución en ANSYS 5.0

Una de las características que hacen del ANSYS 5.0 la más amigable de las versiones de este programa, es la estructuración de diferentes etapas de solución para un mismo modelo sin tener que volver a generar la malla y volver a cargar al modelo. En esta versión se cuenta con pasos de solución y en cada uno de estos pasos podemos determinar el tipo de análisis a realizar, las condiciones iniciales de la evaluación y determinar las fuerzas aplicadas así como los nodos que serán condicionados en sus grados de libertad, esto lo convierte en uno de los programas más avanzados de su tipo.

En el Anexo III se dan a conocer con mayor detalle las características del modo de solución y sus instrucciones para su correcta aplicación.

La instrucción para entrar al proceso de solución desde el nivel BEGIN es, /SOLU, con lo cual entramos de lleno al paso número uno de carga al modelo.

Las instrucciones para realizar el proceso de solución para cada modelo se enlistan a continuación.

MODELO 5008 S

BEGIN:

/SOLU

SOL_1:

ANTYPE,1
ACEL,0,-9.81,0
/PBC,ALL,1
D,5,ALL
D,8,ALL
D,53,ALL
D,56,ALL
F,97,FX,-760.5
F,100,FX,760.5
SOLVE
FINISH

MODELO 5808 H

BEGIN:

/SOLU

SOL_1:

ANTYPE,1
ACEL,0,-9.81,0
/PBC,ALL,1
D,5,ALL
D,8,ALL
D,53,ALL
D,56,ALL
F,97,FX,-760.5
F,100,FX,760.5
SOLVE
FINISH

MODELO 6809 H

BEGIN:

/SOLU

SOL_1:

ANTYPE,1

ACEL,0,-9.81,0

/PBC,ALL,1

D,5,ALL

D,8,ALL

D,53,ALL

D,56,ALL

F,97,FX,-1513.5

F,100,FX,1513.5

SOLVE

FINISH

El comando para comenzar la solución es, SOLVE con lo cual la computadora realiza todos los cálculos necesarios para solucionar el sistema y genera los archivos de solución para poder leerlos en la última etapa del análisis que es la etapa de POSTPROCESO.

D) Evaluación y Análisis de Resultados.

Una vez que se ha terminado la etapa de solución se generan los archivos que contienen la información tanto numérica como gráfica de la evaluación realizada. Los resultados obtenidos para las tres evaluaciones se presentan a continuación, así como las gráficas en donde podemos observar la distribución de esfuerzos y las reacciones, además de la deformación generada en la malla de Elemento Finito.

MODELO 5000

FUERZAS DE REACCION POR NODO

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	FX	FY	FZ
5	-102.41	-481.19	11.4280
8	-102.03	-433.37	-7.0444
53	106.80	-431.87	7.7625
56	97.649	-422.80	-12.146

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODO

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	UX	UY	UZ
1	0.19880E-08	0.15147E-07	-0.19739E-08
2	0.16497E-08	0.15122E-07	-0.12128E-08
3	-0.74848E-09	0.58895E-08	0.51713E-09
4	0.43462E-09	0.50084E-08	-0.47917E-09
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.13745E-09	0.11786E-07	-0.21351E-09
7	0.32660E-09	0.47112E-08	0.42660E-09
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	0.17480E-10	0.11618E-07	0.19642E-09
10	0.96145E-09	0.11335E-07	0.10643E-08
11	0.10331E-08	0.11299E-07	0.94508E-09
12	0.65212E-10	0.10756E-07	-0.84489E-10
13	0.43174E-09	0.90463E-08	0.40271E-08
14	0.17934E-08	0.10488E-07	0.38446E-08
15	-0.23268E-08	0.20347E-07	0.23273E-08
16	0.12377E-08	0.78899E-08	0.27471E-08
17	0.67115E-09	0.11018E-07	0.26952E-08
18	-0.27682E-09	0.10133E-07	0.18044E-08
19	0.90462E-09	0.71523E-08	-0.19013E-08
20	0.27972E-09	0.10280E-07	-0.17528E-08

NODO	UX	UY	UZ
21	-0.13818E-09	0.91353E-08	-0.54899E-09
22	-0.67062E-09	0.83544E-08	-0.29485E-08
23	-0.59337E-09	0.95343E-08	-0.26253E-08
24	-0.23377E-10	0.99391E-08	-0.97683E-09
25	-0.97588E-09	0.91428E-08	0.40173E-08
26	-0.20422E-08	0.10433E-07	0.35571E-08
27	0.49670E-08	0.20437E-07	0.22509E-08
28	0.27765E-09	0.87328E-08	0.26953E-08
29	0.10019E-09	0.11055E-07	0.24089E-08
30	-0.28309E-10	0.10430E-07	0.21375E-08
31	0.29161E-10	0.79201E-08	-0.17207E-08
32	0.34925E-10	0.10298E-07	-0.14113E-08
33	0.27166E-09	0.94170E-08	-0.68896E-09
34	-0.80812E-09	0.84297E-08	-0.26727E-08
35	-0.72504E-09	0.95594E-08	-0.22753E-08
36	-0.45465E-10	0.98690E-08	-0.90149E-09
37	-0.38183E-09	0.13621E-07	0.24689E-08
38	-0.10361E-09	0.12276E-07	0.17445E-08
39	0.10890E-09	0.58159E-08	0.14480E-08
40	0.94661E-09	0.14417E-07	0.17230E-08
41	0.79609E-09	0.12486E-07	0.15887E-08
42	0.63768E-09	0.11655E-07	0.19070E-08
43	0.39407E-09	0.12687E-07	0.68105E-09
44	0.20602E-09	0.10645E-07	0.92743E-09
45	0.24426E-09	0.11300E-07	0.72703E-09
46	0.25415E-10	0.10591E-07	0.51834E-09
47	-0.59593E-10	0.93242E-08	0.59520E-09
48	0.29135E-10	0.96732E-08	0.80431E-09
49	-0.35145E-09	0.12205E-07	-0.75142E-09
50	-0.82920E-09	0.12131E-07	-0.91526E-09
51	0.35774E-09	0.18373E-07	-0.46783E-09
52	-0.29605E-09	0.50009E-08	-0.25049E-09
53	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
54	-0.14856E-09	0.13144E-07	0.31015E-09
55	-0.32138E-09	0.47437E-08	0.25844E-09
56	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
57	-0.12056E-09	0.11565E-07	-0.17665E-09
58	-0.11336E-08	0.11000E-07	0.10246E-08
59	-0.12159E-08	0.10956E-07	0.64485E-09
60	0.35497E-11	0.10910E-07	0.14411E-09
61	0.11127E-08	0.10978E-07	0.38396E-08
62	0.21907E-08	0.12137E-07	0.36096E-08
63	-0.46219E-08	0.29796E-08	0.20477E-08
64	-0.81873E-09	0.78913E-08	0.28548E-08
65	-0.35819E-10	0.11257E-07	0.26095E-08
66	0.54596E-09	0.96589E-08	0.21806E-08
67	-0.71926E-09	0.69709E-08	-0.17106E-08
68	-0.10023E-09	0.10224E-07	-0.14854E-08
69	0.18478E-09	0.88836E-08	-0.80710E-09
70	0.71759E-09	0.80837E-08	-0.25974E-08
71	0.64908E-09	0.93469E-08	-0.24253E-08
72	0.14208E-09	0.99007E-08	-0.77448E-09
73	-0.30044E-11	0.11039E-07	0.35849E-08
74	-0.13547E-08	0.12057E-07	0.32820E-08
75	0.26024E-08	0.30595E-08	0.25131E-08
76	0.94658E-10	0.86199E-08	0.24739E-08
77	-0.59889E-10	0.11285E-07	0.24002E-08

NODO	UX	UY	UZ
78	0.22494E-09	0.99293E-08	0.17522E-08
79	0.20112E-09	0.77240E-08	-0.12606E-08
80	0.20509E-09	0.10239E-07	-0.11333E-08
81	0.49236E-10	0.91522E-08	-0.40814E-09
82	0.89166E-09	0.81773E-08	-0.25341E-08
83	0.78949E-09	0.93887E-08	-0.20577E-08
84	0.38478E-10	0.98343E-08	-0.10913E-08
85	-0.13981E-09	0.10400E-07	0.12202E-08
86	0.36217E-09	0.92792E-08	0.15991E-08
87	0.13310E-08	0.18303E-07	0.24588E-08
88	0.42237E-09	0.12880E-07	0.15411E-08
89	0.64346E-09	0.10774E-07	0.15758E-08
90	0.52752E-09	0.13038E-07	0.13822E-08
91	-0.11587E-09	0.12731E-07	0.10271E-08
92	0.65563E-10	0.10635E-07	0.92138E-09
93	0.27401E-09	0.11257E-07	0.10984E-08
94	0.24841E-09	0.10462E-07	0.70093E-09
95	0.37552E-09	0.91472E-08	0.10586E-08
96	0.78139E-10	0.98331E-08	0.58465E-09
97	-0.11110E-04	0.11058E-04	0.84441E-07
98	-0.11038E-04	-0.10992E-04	0.79323E-07
99	0.11038E-04	0.11037E-04	0.81927E-07
100	0.11111E-04	-0.11013E-04	0.87011E-07

MAXIMUM VALUES

NODO	100	97	100
VALUE	0.11111E-04	0.11058E-04	0.87011E-07

SOLUCION DE ESFUERZOS POR NODO

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
1	-1485.9	-4299.0	764.92	2675.0	-246.18
147.18	777.21	129.79	-5927.0	6704.2	
	6405.1				
2	-3155.9	-4389.1	-324.87	140.56	-3385.5
429.61	1611.0	-3140.3	-6340.7	7951.7	
	6929.9				
3	9650.2	13253.0	7218.2	7438.0	2342.2
-511.32	19301.0	7855.3	2965.6	16335.0	
	14521.0				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
4 126.61	450.17 3485.4 3807.6	2120.8 1094.5	1103.4 -905.49	-2024.2 4390.9	-102.22
5 177.48	2200.8 9260.2 6761.6	8726.5 3035.3	3434.8 2066.5	484.56 7193.7	-1719.1
6 220.48	-3661.4 706.99 7642.9	-3640.9 -3022.1	-3097.5 -8084.7	-4195.1 8791.7	1312.3
7 -174.60	497.92 2903.9 3347.2	1462.2 703.58	699.22 -948.13	-1856.1 3852.0	11.431
8 -27.112	1603.7 8185.7 6130.2	7871.2 2660.2	2962.3 1591.4	220.81 6594.4	1267.4
9 -141.65	-875.86 -475.27 1388.2	-1787.0 -1026.5	-893.39 -2054.4	431.49 1579.1	-405.71
10 62.361	710.60 2095.2 4999.4	-1931.5 1159.0	1169.0 -3306.1	2349.3 5401.3	88.010
11 70.906	-1329.0 2351.4 4814.6	-1618.1 -1283.3	906.15 -3109.0	449.70 5460.4	2368.7
12 -194.56	-430.35 535.26 1742.7	-458.37 -224.78	-259.13 -1458.3	-494.95 1993.6	-847.25
13 -48.771	4389.4 6534.9 8044.2	-364.14 979.14	799.15 -2689.6	-3810.8 9224.5	-951.54
14 -645.37	-198.51 1718.1 5003.2	-2058.8 -1171.3	-1255.0 -4059.1	-2641.8 5777.2	-278.74
15 0.11438E+07	-17228.0 0.16196E+07	-875.82 -28235.0	-2398.3 -0.16118E+07	-19204.0 0.32314E+07	-0.11411E+07 0.27987E+07
16 -16.398	-838.54 4940.9 5770.8	4901.9 -784.45	-781.12 -874.18	-321.23 5815.1	-348.59

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
17 -303.19	-215.10 4561.7 5286.5	3956.2 -563.13	-615.43 -872.84	1620.5 5434.5	-433.21
18 641.28	4290.1 5458.0 5353.5	2428.9 1953.2	-12.248 -704.37	1880.6 6162.3	-974.60
19 -54.260	-1008.6 4812.9 5722.7	4707.4 -715.65	-687.38 -1085.9	507.63 5898.8	585.43
20 56.390	-474.93 3711.1 4417.0	3505.8 -588.01	-723.04 -815.18	711.01 4526.2	602.33
21 -49.929	1971.0 2058.8 1730.9	834.75 816.17	151.14 81.846	316.00 1977.0	-226.49
22 -245.97	-140.56 985.13 2539.3	-469.18 -246.43	-586.70 -1935.1	-242.55 2920.3	1405.9
23 47.288	19.830 255.04 1162.9	-347.36 14.909	-411.65 -1009.1	-140.27 1264.2	612.08
24 414.89	1119.7 1274.8 1971.9	-590.85 323.21	76.696 -992.41	-79.023 2267.2	611.90
25 25.974	-4605.1 2067.9 6958.5	685.37 -2071.9	-2050.1 -5965.9	-3003.8 8033.8	-342.35
26 188.40	1707.0 3702.1 4453.1	775.09 -66.705	-58.441 -1211.7	-2405.6 4913.8	-86.884
27 -0.11446E+07, 0.15991E+07, 7946.8, -0.16333E+07, 0.32324E+07 0.27995E+07	-15141.0	-8135.2	-2976.0	-19574.0	-0.11410E+07
28 -102.79	740.56 6956.3 6323.4	6950.7 781.55	540.64 494.05	-168.85 6462.2	-83.450
29 76.465	-259.75 1299.4 2838.4	93.893 -1234.8	-1537.2 -1767.7	1359.0 3067.1	-310.97

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
30	2300.4	3056.2	-313.33	1729.3	-956.27
-1036.7	4827.8	932.20	-716.67	5544.5	
	4931.3				
31	1089.4	5985.6	605.50	659.95	354.43
103.19	6097.3	1009.3	574.02	5523.3	
	5319.0				
32	305.09	-136.24	-1294.6	457.89	544.09
96.152	668.70	-280.65	-1513.8	2182.5	
	1895.5				
33	-621.21	2135.6	-168.64	-2.1313	-314.99
259.18	2178.4	-87.658	-744.95	2923.3	
	2656.4				
34	-347.17	742.85	-540.45	612.00	945.22
183.61	1461.6	-537.13	-1069.2	2530.8	
	2311.1				
35	831.02	124.08	-345.14	164.67	536.93
135.87	930.33	376.48	-696.85	1627.2	
	1432.9				
36	657.47	81.776	235.53	-247.81	453.81
-93.485	878.08	416.40	-319.69	1197.8	
	1046.3				
37	1739.1	3188.4	981.62	714.58	-79.084
-136.30	3487.7	1464.8	956.57	2531.1	
	2319.2				
38	1081.7	1783.8	1034.5	98.848	-1037.3
-350.67	2566.6	1092.8	240.52	2326.1	
	2038.3				
39	4997.7	-9893.1	32.075	7742.4	1120.8
1543.3	8693.2	-353.40	-13203.0	21896.0	
	19058.0				
40	204.07	3573.1	408.30	230.61	-77.233
90.579	3590.4	442.66	152.42	3438.0	
	3302.5				
41	-147.15	702.35	-222.92	232.86	-534.79
-99.385	1002.6	-202.71	-467.57	1470.1	
	1357.2				
42	-161.59	-299.04	-783.19	-5151.3	660.09
175.56	4941.6	-727.89	-5457.5	10399.0	
	9018.2				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
43 38.127	32.987 3295.9 3000.2	3291.4 663.19	664.26 29.552	-55.106 3266.4	97.657
44 -36.475	-51.808 88.522 523.99	-11.979 -48.067	-386.00 -490.24	17.680 578.76	218.37
45 -21.101	736.42 1894.4 1448.1	1519.1 546.43	548.75 363.46	-653.85 1530.9	78.452
46 -7.1804	-220.23 1786.9 2005.8	1480.0 354.31	376.08 -505.43	739.89 2292.4	222.37
47 -38.522	145.77 513.55 1113.8	-195.00 -0.49112	-202.16 -764.44	424.84 1278.0	438.18
48 -12.253	82.601 154.52 447.90	-239.47 88.263	76.833 -322.82	155.49 477.34	92.612
49 144.73	2811.3 4128.3 5120.9	-400.92 2118.1	2143.4 -1692.7	-2402.9 5821.0	-270.91
50 489.07	-605.88 2976.7 3963.8	7.6681 -517.81	1726.7 -1330.4	-765.93 4307.1	-1717.3
51 -1541.1	4415.1 8525.8 19515.0	-9990.5 118.48	436.30 -13783.0	8304.8 22309.0	-499.59
52 -217.68	514.18 3138.9 3859.5	1349.0 393.80	395.30 -1274.2	2155.2 4413.0	-55.873
53 114.43	1499.8 8583.6 6545.8	8456.4 2776.5	2894.0 1490.1	-19.631 7093.5	-849.84
54 -184.37	-1580.0 3797.6 11191.0	-3712.7 -2074.5	-2092.1 -9107.8	-6354.4 12905.0	-312.22
55 124.12	423.56 2735.5 3304.9	1238.4 613.53	614.77 -1072.3	1855.5 3807.8	30.115
56 -1.9870	1514.4 8050.7 6138.0	7741.4 2416.7	2721.2 1509.6	-156.16 6541.1	1276.2

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
57 -47.708	-700.73 602.53 3276.5	-1801.2 -721.12	-745.39 -3128.7	-1731.7 3731.3	-435.22
58 -11.306	779.54 2181.9 5007.1	-1796.4 1329.3	1331.2 -3196.8	-2358.9 5378.6	74.455
59 -84.295	-1432.5 2127.3 4712.5	-1620.4 -1388.4	564.42 -3227.4	-490.42 5354.8	2385.1
60 60.798	-473.96 931.85 1952.9	-391.51 -89.111	388.32 -1319.9	676.42 2251.7	-763.94
61 -455.78	-4372.1 1816.3 7530.2	-818.01 -1913.9	-1758.3 -6850.9	-3454.4 8667.2	-1835.7
62 -322.01	781.84 3042.1 5052.8	6.2858 453.65	-72.718 -2780.4	-2408.3 5822.5	-1543.8
63	-14350.0 0.11447E+07, 0.15995E+07, 8130.6, 0.27990E+07	-8564.7 8130.6	-1909.0 -0.16324E+07	-19578.0, 0.11405E+07, 0.32319E+07	
64 -11.962	-1412.6 5458.0 6812.8	4977.6 -830.94	-717.31 -1779.3	-1433.2 7237.3	-1060.8
65 -108.62	-913.78 3805.7 4689.3	3746.0 -780.71	-787.29 -980.09	356.61 4785.8	-379.72
66 1089.4	5158.9 5918.0 5576.0	1579.7 1136.0	108.48 -206.84	1415.9 6124.8	652.20
67 3.7088	-926.87 4887.3 5746.7	4677.5 -671.88	-565.28 -1030.1	-641.55 5917.4	871.11
68 -65.888	-444.55 3553.0 4155.7	3490.4 -488.79	-689.53 -707.91	-459.92 4260.9	195.45
69 -309.92	2102.0 2247.1 2106.0	745.98 1047.5	262.08 -184.63	-254.34 2431.8	638.76
70 282.16	-91.184 983.07 2211.6	-319.99 -233.49	-408.93 -1569.7	271.36 2552.8	1204.2

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
71	11.091	-287.32	-490.74	140.19	985.79
-4.7528	618.88	1.0217	-1386.9	2005.7	
	1779.2				
72	1222.1	-478.51	617.54	-177.02	137.51
-88.060	1256.8	615.66	-511.28	1768.1	
	1550.3				
73	4133.4	710.41	759.21	-4163.8	-1339.0
483.60	7132.7	792.10	-2321.8	9454.5	
	8345.3				
74	624.78	-1539.5	-1005.7	-2607.8	-1389.4
712.05	2859.2	-1238.7	-3540.9	6400.1	
	5614.9				
75	-18062.0	-608.14	-3523.0	-19178.0,0.11405E+07	
-0.11441E+07,0.16187E+07,-28485.0,-0.16124E+07,0.32310E+07				0.27983E+07	
76	1283.2	5166.5	480.70	-1560.6	-820.80
112.07	5839.0	795.80	295.67	5543.3	
	5310.9				
77	571.16	-278.71	-1092.2	648.88	-274.99
308.92	932.17	-411.95	-1320.0	2252.1	
	1962.6				
78	1460.1	3621.1	-485.32	1587.5	657.71
-741.89	4472.5	1174.0	-1050.7	5523.2	
	4113.3				
79	1009.3	5861.7	465.83	-773.76	654.54
-65.677	6059.3	891.37	386.19	5673.1	
	5438.1				
80	242.82	-168.32	-1309.5	-221.73	117.66
-64.474	346.47	-258.81	-1322.6	1669.1	
	1463.5				
81	-754.48	2080.3	-321.64	48.264	568.25
163.49	2210.3	-389.03	-817.07	3027.3	
	2837.6				
82	-297.18	857.43	-846.33	-569.87	708.70
-195.50	1335.9	-519.23	-1102.7	2438.6	
	2205.5				
83	864.79	272.07	-385.96	-147.79	880.60
-158.04	1086.1	662.89	-998.13	2084.3	
	1908.2				
84	592.10	20.597	-311.52	35.900	-17.963
-206.25	639.39	18.413	-356.63	996.03	
	871.30				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
85 -147.04	-2530.9 -365.50 2258.1	-794.09 -686.19	-493.55 -2766.8	-651.49 2401.3	-209.95
86 -479.03	-1387.6 -570.18 2023.6	-2570.3 -1731.8	-1251.0 -2906.8	-706.66 2336.6	331.37
87 686.38	10163.0 20092.0 15520.0	13338.0 7314.8	6725.3 2819.7	8135.3 17272.0	-1644.4
88 35.012	16.648 3430.3 3054.8	3409.8 1018.5	1017.6 -4.7508	261.37 3435.1	-35.324
89 -184.79	353.98 491.41 928.16	-289.02 63.169	-83.938 -573.56	305.32 1065.0	227.84
90 -219.16	-2107.6 4446.8 9678.5	-97.927 -1624.1	-1686.5 -6714.7	-5401.3 11161.0	-938.00
91 39.468	130.15 3543.8 3172.2	3537.8 691.73	694.89 127.28	-11.604 3416.5	130.76
92 13.156	42.958 292.85 465.08	142.88 39.297	-97.595 -243.90	27.596 536.76	237.85
93 66.131	451.93 1795.7 1551.3	1507.9 379.31	352.81 -137.71	-621.77 1658.0	36.934
94 -64.469	-376.07 1665.0 2029.7	1388.3 136.97	151.81 -637.98	-728.08 2303.0	137.42
95 40.405	269.20 722.65 1085.5	-48.309 348.91	350.34 -500.33	-420.15 1223.0	412.57
96 112.10	107.28 139.86 691.50	-318.62 -269.15	-576.47 -658.53	55.376 798.40	156.61
97	0.75153E+06,1274.3,-3000.6,0.39004E+06-0.57101E+07 0.56974E+07,0.80672E+07,0.76561E+06,-0.80830E+07,0.16150E+08 0.14008E+08				

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				

98 0.75531E+06,5066.8,5768.3,0.39047E+06,0.57100E+07
0.56975E+07,0.84719E+07,-9425.3,-0.76963E+07,0.16168E+08
0.14008E+08

99 0.75611E+06,5651.9,2962.5,0.39007E+06,-0.57101E+07
-0.56974E+07,0.84708E+07,-8325.8,-0.76977E+07,0.16168E+08
0.14008E+08

100 0.75241E+06,1960.9,-5730.1,0.39049E+06,0.57100E+07
-5.6975E+06,0.80660E+07,0.76682E+06,-0.80841E+07,0.16150E+08
0.14008E+08

VALORES MINIMOS

NODO	75	51	100	63	97
100	86	75	100	48	
	48				

VALOR -18062.0 -9990.5 -5730.1,-19578.0,-0.57101E+07
-0.56975E+07,-570.18,-28485.0,-0.80841E+07,477.34
447.90

VALORES MAXIMOS

NODO	99	87	3	100	98
98	98	100	3	99	
	100				

VALORES 0.75611E+06,13338.0,7218.2,0.39049E+06,0.57100E+07
0.56975E+07,0.84719E+07,0.76682E+06,2965.6,0.16168E+08
0.14008E+08

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				

***** PARAMETROS ESTIMADOS CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA
DISCRETIZACION *****
VALORES MINIMOS

NODO	97	97	100	97	97
100	51	98	100	2	
	2				

VALORES-0.38213E-07,-0.45715E-07,-0.45785E-07,-0.41827E-07
-0.10283E-08,-0.10270E-08,-0.11339E-07,-0.45822E+07,
-0.12657E-08,0.00000E+00
0.00000E+00

VALORES MAXIMOS

NODO	99	99	98	100	98
98	98	100	3	99	
	100				

VALORES 0.53289E-07, 0.45784E-07, 0.45786E-07, 0.49633E-07
 0.10283E-08, 0.10270E-08, 0.13045E-08, 0.53396E-07, 0.11460E-07
 0.20741E-08
 0.18581E-08

***** END OF INPUT ENCOUNTERED *****

***** ROUTINE COMPLETED ***** CP = 1016.730

ALL CURRENT ANSYS DATA WRITTEN TO FILE NAME= file.db
 FOR POSSIBLE RESUME FROM THIS POINT

NUMBER OF WARNING MESSAGES ENCOUNTERED= 4

NUMBER OF ERROR MESSAGES ENCOUNTERED= 0

FUERZAS DE REACCION POR NODO

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	FX	FY	FZ
5	-105.22	-454.42	10.996
8	-106.42	-402.19	-5.4229
53	111.29	-381.95	6.9150
56	100.35	-396.59	-12.488

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	UX	UY	UZ
1	0.31668E-08	0.10533E-07	-0.23214E-08
2	0.25459E-08	0.10977E-07	-0.11139E-08
3	-0.16560E-08	-0.12466E-08	0.10582E-08
4	0.34510E-09	0.27205E-08	-0.48944E-09
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.21605E-09	0.81091E-08	-0.19084E-09
7	0.20265E-09	0.25989E-08	0.40918E-09
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	-0.22807E-10	0.85896E-08	0.23646E-09
10	0.83993E-09	0.72268E-08	0.87792E-09
11	0.86656E-09	0.73283E-08	0.84265E-09
12	0.11896E-09	0.73837E-08	-0.27757E-09
13	0.56044E-09	0.37711E-08	0.26361E-08
14	0.27266E-08	0.48177E-08	0.25406E-08
15	-0.32311E-08	0.20362E-07	0.12974E-08
16	0.69248E-09	0.44848E-08	0.16222E-08
17	0.51221E-09	0.62405E-08	0.16329E-08
18	-0.49220E-09	0.72024E-08	0.88098E-09
19	0.28774E-09	0.43607E-08	-0.14152E-08
20	-0.77921E-10	0.61542E-08	-0.13380E-08
21	-0.11992E-09	0.66667E-08	-0.25560E-09
22	-0.68849E-09	0.54289E-08	-0.22154E-08
23	-0.62766E-09	0.61914E-08	-0.20112E-08
24	-0.74399E-10	0.70388E-08	-0.63232E-09
25	-0.14786E-08	0.38475E-08	0.26875E-08
26	-0.34228E-08	0.47235E-08	0.23327E-08
27	0.68059E-08	0.20475E-07	0.10340E-08

NODO	UX	UY	UZ
28	0.10316E-09	0.49450E-08	0.18558E-08
29	-0.19242E-09	0.63154E-08	0.15574E-08
30	-0.12319E-09	0.72962E-08	0.14313E-08
31	-0.18705E-09	0.47687E-08	-0.15663E-08
32	-0.21486E-09	0.62075E-08	-0.12780E-08
33	0.18255E-09	0.67530E-08	-0.63311E-09
34	-0.74640E-09	0.54682E-08	-0.19119E-08
35	-0.70980E-09	0.61946E-08	-0.17734E-08
36	-0.13585E-09	0.69914E-08	-0.40887E-09
37	-0.18871E-08	0.93841E-08	0.23307E-08
38	-0.13027E-08	0.87737E-08	0.13027E-08
39	0.12636E-09	-0.80585E-09	0.44892E-09
40	0.33378E-09	0.91513E-08	0.12064E-08
41	0.30033E-09	0.81950E-08	0.94854E-09
42	0.25355E-09	0.69604E-08	0.13236E-08
43	-0.23644E-09	0.78109E-08	-0.21650E-09
44	-0.34717E-09	0.66760E-08	0.12774E-09
45	0.37077E-10	0.73033E-08	-0.76073E-10
46	-0.48058E-09	0.67399E-08	-0.30119E-09
47	-0.51116E-09	0.60720E-08	-0.40914E-09
48	-0.21142E-09	0.65246E-08	0.18436E-09
49	0.66684E-09	0.64653E-08	0.11931E-09
50	-0.30752E-10	0.63164E-08	-0.40755E-09
51	0.59300E-10	0.16547E-07	-0.43667E-09
52	-0.10736E-09	0.29038E-08	-0.57752E-10
53	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
54	-0.69260E-10	0.98226E-08	0.58322E-09
55	-0.20334E-09	0.27159E-08	0.73748E-10
56	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
57	-0.11972E-09	0.85309E-08	-0.33958E-09
58	-0.10607E-08	0.70123E-08	0.71213E-09
59	-0.11110E-08	0.70574E-08	0.26201E-09
60	0.84735E-10	0.76311E-08	0.66134E-10
61	0.14189E-08	0.85168E-08	0.23774E-08
62	0.33730E-08	0.92315E-08	0.21758E-08
63	-0.67081E-08	-0.48775E-08	0.90251E-09
64	-0.42744E-09	0.50114E-08	0.18400E-08
65	0.16575E-09	0.69923E-08	0.15991E-08
66	0.27017E-09	0.66531E-08	0.14570E-08
67	-0.29793E-09	0.43572E-08	-0.13927E-08
68	0.79598E-10	0.62836E-08	-0.11905E-08
69	-0.12775E-10	0.63213E-08	-0.68457E-09
70	0.58873E-09	0.52270E-08	-0.18523E-08
71	0.54849E-09	0.60698E-08	-0.18127E-08
72	0.77549E-10	0.69643E-08	-0.30885E-09
73	-0.44590E-09	0.85653E-08	0.21809E-08
74	-0.25923E-08	0.91173E-08	0.20583E-08
75	0.32830E-08	-0.47733E-08	0.14183E-08
76	-0.34255E-11	0.53718E-08	0.14365E-08
77	0.23350E-09	0.70500E-08	0.14181E-08
78	0.32032E-09	0.67271E-08	0.84382E-09
79	0.21179E-09	0.47709E-08	-0.10036E-08
80	0.25009E-09	0.63375E-08	-0.92481E-09
81	-0.19130E-10	0.64008E-08	-0.18886E-09
82	0.71217E-09	0.52894E-08	-0.19854E-08
83	0.64151E-09	0.60931E-08	-0.16899E-08

NODO	UX	UY	UZ
84	-0.35807E-10	0.69211E-08	-0.73011E-09
85	-0.14063E-08	0.51052E-08	-0.17598E-09
86	-0.70522E-09	0.41452E-08	0.72663E-09
87	0.19372E-08	0.16992E-07	0.19713E-08
88	0.44518E-09	0.77087E-08	0.75436E-09
89	0.64215E-09	0.63925E-08	0.89372E-09
90	0.12831E-09	0.87223E-08	0.54554E-09
91	0.76715E-12	0.82344E-08	0.19155E-09
92	0.11314E-09	0.69816E-08	0.41592E-10
93	0.96931E-10	0.72453E-08	0.49678E-09
94	0.42449E-09	0.68181E-08	-0.97705E-10
95	0.51660E-09	0.60103E-08	0.28332E-09
96	-0.14963E-09	0.67755E-08	-0.15035E-09
97	-0.22085E-04	0.21956E-04	0.16654E-06
98	-0.21941E-04	-0.21877E-04	0.15667E-06
99	0.21941E-04	0.21914E-04	0.15922E-06
100	0.22085E-04	-0.21920E-04	0.16906E-06

VALORES MAXIMOS

NODO	100	97	100
VALUE	0.22085E-04	0.21956E-04	0.16906E-06

SOLUCION DE ESFUERZOS POR NODO

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
1	-2852.0	-4247.1	-0.92872	1536.6	22.116
155.10	10.709	-1872.8	-5237.9	5248.6	
	4605.4				
2	-3512.7	-4892.4	-1333.6	106.36	-2371.1
430.64	-114.82	-3514.3	-6109.6	5994.8	
	5207.2				
3	13775.0	16969.0	9276.9	11737.0	2397.2
-875.27	27302.0	9965.7	2753.2	24548.0	
	21854.0				
4	141.23	1523.5	1047.6	-953.56	-0.81689E-02
-5.4435	2010.1	1047.7	-345.33	2355.4	
	2051.2				
5	1433.4	4618.2	2117.2	383.64	-1227.7
128.00	5145.6	1794.0	1229.2	3916.4	
	3666.7				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
6 314.70	-4400.6 3651.7 13567.0	-3860.5 -3513.7	-3596.7 -11996.0	-7698.4 15647.0	1350.0
7 -150.71	288.84 1676.5 1800.9	995.36 502.49	497.86 -396.94	-962.38 2073.5	21.779
8 -23.020	848.54 4285.2 3169.5	4108.7 1488.8	1658.9 842.22	104.91 3443.0	675.32
9 -156.27	-691.82 -461.39 884.40	-1123.1 -548.86	-581.58 -1386.3	-292.33 924.89	-262.56
10 85.343	320.02 1064.6 2620.2	-1046.3 613.81	652.93 -1751.7	1207.7 2816.4	108.73
11 75.611	-654.21 1420.2 2645.7	-818.35 -620.52	703.29 -1569.0	298.40 2989.2	1241.4
12 -180.61	-311.16 147.30 1062.9	-277.66 -273.95	-599.45 -1061.6	-64.313 1208.9	-555.43
13 -239.70	6799.7 10305.0 11990.0	98.672 1750.7	1758.2 -3399.4	-5972.8 13705.0	99.809
14 -777.81	1060.4 5144.2 9909.3	-2334.5 -1051.6	-917.77 -6284.5	-5385.0 11429.0	469.25
15 0.22737E+07	-25739.0 0.32160E+07 0.55607E+07	-2385.4 -43843.0	-4443.5 -0.32047E+07	-29820.0 0.64207E+07	-0.22663E+07
16 -24.424	-135.31 2804.6 3356.6	2318.2 -461.69	-475.30 -635.41	-1173.0 3440.1	236.66
17 -335.05	249.51 3462.4 4107.3	2226.1 -148.64	-167.66 -1005.8	1961.4 4468.2	-169.55
18 905.57	3604.9 5910.1 6797.2	1665.7 784.19	-376.70 -1800.3	3122.5 7710.4	-930.93
19 -27.035	-515.62 2558.4 3007.3	2540.2 -357.74	-356.47 -532.51	167.81 3090.9	163.42

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
20 25.714	-127.12 2309.6 2647.5	2070.7 -220.82	-295.94 -441.21	586.80 2750.9	498.22
21 -262.47	613.43 846.97 1341.3	-223.22 250.10	-77.736 -689.12	138.36 1536.1	-571.08
22 -114.24	-37.661 540.89 1461.5	-213.54 -53.777	-385.90 -1124.2	-39.129 1665.1	816.76
23 33.633	-52.114 -44.849 467.65	-283.49 -112.05	-363.75 -542.46	-41.476 497.62	209.44
24 388.01	983.40 1110.0 1603.8	-254.18 276.12	-82.111 -738.95	-172.57 1848.9	477.07
25 245.12	-6722.6 3462.4 11531.0	382.35 -2315.7	-2328.3 -9815.3	-5589.2 13278.0	407.56
26 460.52	33.250 5690.5 9232.9	808.09 -58.304	-168.72 -4959.5	-5253.3 10650.0	583.53
27 -0.22745E+07, 0.31850E+07,12646.0,-0.32367E+07,0.64218E+07 0.55616E+07	-23545.0	-11523.0	-3969.3	-30159.0	-0.22663E+07
28 -39.251	37.549 4560.2 4557.2	4274.3 265.98	293.45 -220.86	-1067.4 4781.1	371.38
29 181.49	-331.74 2086.2 3429.0	710.77 -693.14	-731.54 -1745.6	1823.2 3831.9	-89.210
30 -1299.9	3239.4 6171.2 6880.5	1833.2 -636.22	-317.97 -780.28	3159.5 6951.4	-947.82
31 58.133	586.20 3310.0 2810.0	3281.1 579.07	448.81 427.07	271.77 2882.9	64.902
32 67.135	252.18 871.69 1428.28	305.88 -72.898	-530.56 -771.30	473.83 1643.0	481.33

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
33 388.89	-834.34 893.34 1685.6	454.35 -310.12	-69.977 -1033.2	-32.820 1926.5	-612.22
34 86.121	-130.19 988.98 1365.2	436.75 -171.75	-4.4488 -515.12	384.08 1504.1	614.54
35 72.950	392.07 458.88 654.87	-23.488 51.069	-155.13 -296.50	132.97 755.38	195.89
36 -220.26	763.94 1059.7 1059.0	120.99 433.91	445.68 -163.02	-232.95 1222.7	409.53
37 -159.13	2971.0 3788.0 2328.0	3534.4 2743.3	1146.7 1120.7	454.68 2667.3	129.12
38 -488.17	2018.2 3690.5 2387.3	3187.7 2141.7	1567.5 941.20	57.238 2749.3	-979.20
39 1948.6	8579.6 14166.0 27006.0	-11762.0 731.82	1157.2 -16923.0	11445.0 31089.0	1535.7
40 116.79	223.27 1965.0 1968.0	1917.5 212.88	-126.98 -164.15	284.94 2129.2	25.293
41 -139.75	-210.26 1050.9 1441.8	764.72 -284.49	-265.93 -477.84	279.23 1528.7	-509.34
42 135.66	-579.32 6693.6 13814.0	-1944.6 -1393.2	-1433.1 -9257.3	-7895.9 15951.0	879.07
43 73.066	4.0916 1770.2 1650.2	1765.7 301.60	286.55 -15.509	-40.121 1785.7	74.992
44 3.7499	17.958 174.60 490.22	121.08 4.4255	-338.05 -378.03	47.138 552.63	140.86
45 69.213	819.40 1622.6 1501.5	719.75 537.05	529.59 -90.915	-850.86 1713.5	32.580
46 -21.169	-73.285 1016.1 1112.2	813.81 229.48	248.66 -256.39	419.72 1272.5	184.57

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
47 -10.273	95.400 312.93 780.64	-134.32 -145.07	-381.65 -588.43	279.42 901.36	260.83
48 114.43	253.70 407.85 665.87	-254.95 112.60	167.09 -354.60	245.05 762.45	24.412
49 158.75	3530.1 4103.6 2719.9	1686.4 1902.7	1852.7 1062.9	-1125.8 3040.7	-365.05
50 603.33	1079.1 2905.7 1898.2	2264.4 1664.2	1947.0 720.60	-511.46 2185.1	-446.08
51 -1925.1	7963.9 13729.0 26754.0	-11658.0 834.32	1226.8 -17030.0	11585.0 30759.0	-1131.0
52 -182.52	346.51 1654.0 2118.9	559.24 -41.511	-14.565 -721.35	1166.6 2375.4	-134.95
53 159.90	491.69 4290.2 3487.6	4272.2 1304.6	1287.8 456.91	79.382 3833.3	-224.71
54 -144.36	-1798.3 5848.6 14995.0	-3783.3 -2244.3	-2268.4 -11454.0	-8568.8 17303.0	-655.23
55 26.496	197.81 1512.0 1755.8	801.36 387.94	389.63 -511.18	964.67 2023.2	34.653
56 -33.478	739.73 4215.2 3276.9	4058.2 1185.6	1340.1 737.21	-78.539 3478.0	667.30
57 -112.76	-488.39 663.38 2621.7	-1120.2 -308.38	-341.90 -2305.5	-1426.4 2968.9	-269.50
58 16.024	430.09 1164.7 2647.1	-884.31 867.39	867.70 -1618.6	-1223.6 2783.2	83.478
59 -74.229	-818.85 1054.1 2522.6	-888.31 -797.51	144.71 -1819.0	-327.32 2873.1	1294.3
60 -72.376	-349.92 619.71 1177.8	-191.40 -190.43	239.16 -731.43	377.39 1351.1	-471.01

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SEQV	S1	S2	S3	SINT	
61	-6633.1	-473.98	-2173.9	-5914.6	-1552.5
-435.51	3339.0	-2227.4	-10393.0	13731.0	
	11963.0				
62	-437.92	361.46	-128.69	-5300.0	-1556.3
-546.10	5388.2	143.02	-5736.3	11125.0	
	9639.3				
63	-22951.0	-11698.0	-3047.5	-30214.0	0.22662E+07
0.22745E+07	0.31855E+07	12910.0	-0.32361E+07	0.64216E+07	
	0.55614E+07				
64	-1026.3	2934.2	-313.45	-1740.7	-931.48
-25.233	3773.6	-402.87	-1776.3	5550.0	
	5006.6				
65	-612.15	2304.0	-302.80	1099.0	-344.10
-213.66	2723.2	-340.72	-993.43	3716.6	
	3437.0				
66	4895.0	1023.9	-33.576	2806.7	851.50
1316.2	6729.4	-280.91	-563.20	7292.6	
	7155.7				
67	-416.79	2717.4	-156.75	-418.98	528.80
-5.0737	2863.7	-231.52	-488.33	3352.1	
	3231.3				
68	-99.630	2141.6	-230.28	-198.47	-20.988
-41.830	2159.2	-102.30	-245.18	2404.3	
	2336.2				
69	747.05	-287.17	208.88	-344.12	713.44
-411.67	1267.2	197.33	-795.76	2063.0	
	1787.0				
70	6.4694	-60.536	-63.704	121.33	558.85
132.53	555.43	-52.116	-621.08	1176.5	
	1019.1				
71	-4.7896	-201.25	-293.80	74.808	743.69
0.71456	503.58	-8.1598	-995.25	1498.8	
	1319.6				
72	1131.9	-117.37	661.49	-222.94	-265.00
121.04	1222.6	676.25	-222.82	1445.4	
	1264.1				
73	6677.9	631.89	1855.4	-6224.9	-1341.2
439.70	10709.0	1878.8	-3422.4	14131.0	
	12364.0				
74	1457.3	-2064.1	-715.72	-5402.6	-1475.5
813.28	5741.5	-978.98	-6085.0	11826.0	
	10274.0				

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
75	-26388.0	-2357.6	-5432.1	-29845.0	0.22661E+07
-0.22739E+07	0.32153E+07	-44176.0	-0.32053E+07	0.64207E+07	0.55607E+07
76	886.54	2142.7	149.26	-1824.2	-819.07
75.353	3592.5	249.59	-663.52	4256.0	
	3880.8				
77	615.48	1.5330	-382.43	1265.9	-278.48
344.69	1616.1	-163.31	-1218.3	2834.4	
	2481.3				
78	1983.9	2284.1	-684.97	2797.7	823.67
-967.34	4936.6	591.87	-1945.4	6882.0	
	6028.1				
79	490.79	3240.6	210.12	-510.80	432.04
-38.284	3391.1	404.79	145.63	3245.4	
	3123.9				
80	184.41	308.86	-621.43	-99.996	-60.740
-40.825	365.55	134.45	-628.16	993.71	
	900.67				
81	-984.65	433.51	-298.04	-178.97	685.90
321.55	845.16	-454.49	-1239.9	2085.0	
	1823.9				
82	-84.582	599.44	-509.91	-304.95	306.44
-82.355	792.24	-198.33	-588.96	1381.2	
	1233.2				
83	387.13	145.26	-369.10	-92.156	693.78
-98.884	686.43	329.37	-852.50	1538.9	
	1395.1				
84	653.97	45.427	-297.17	-135.68	-338.10
-294.10	740.07	250.42	-588.27	1328.3	
	1163.5				
85	-3385.0	-2433.6	-810.83	-221.12	-361.78
-149.85	-729.98	-2445.8	-3453.7	2723.7	
	2385.2				
86	-2504.5	-3913.2	-1929.6	-465.65	684.92
-476.24	-1390.4	-2770.6	-4186.3	2795.9	
	2421.4				
87	14328.0	16851.0	9124.8	11941.0	-1919.4
995.56	27628.0	9755.9	2919.5	24709.0	
	22098.0				
88	-79.741	2013.3	834.24	234.17	-119.56
97.723	2048.8	837.41	-118.46	2167.3	
	1881.3				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
89 -139.59	560.69 663.96 1007.5	-23.990 495.31	205.36 -417.21	265.16 1081.2	402.20
90 -306.07	-3042.4 5877.0 14516.0	-1891.3 -2584.2	-2658.1 -10885.0	-8282.0 16762.0	-1100.3
91 80.182	131.51 2138.9 1909.9	2133.0 386.37	363.98 103.21	-58.020 2035.7	88.822
92 22.055	167.37 433.10 355.11	389.16 170.62	76.240 29.042	-52.498 404.06	113.53
93 97.912	508.84 1471.6 1573.1	673.48 245.41	232.58 -302.09	-874.68 1773.7	24.011
94 -90.051	-255.03 875.46 1128.8	726.51 11.006	13.401 -401.59	-392.29 1277.1	73.470
95 13.823	262.06 571.64 675.18	73.377 346.02	394.76 -187.46	-274.77 759.10	224.02
96 143.39	280.09 313.96 902.61	-355.65 -344.35	-669.79 -714.97	77.238 1028.9	104.20
97	0.14884E+07, 1386.7, -7147.4, 0.76604E+06, -0.11352E+08 0.11328E+08, 0.16041E+08, 0.15093E+07, -0.16068E+08, 0.32109E+08 0.27849E+08				
98	0.14957E+07, 8766.2, 10004.0, 0.76640E+06, 0.11352E+08 0.11328E+08, 0.16836E+08, -12477.0, -0.15309E+08, 0.32144E+08 0.27849E+08				
99	0.14964E+07, 9270.3, 7115.6, 0.76606E+06, -0.11352E+08 -0.11328E+08, 0.16834E+08, -11529.0, -0.15310E+08, 0.32145E+08 0.27849E+08				
100	0.14891E+07, 1975.4, -9972.7, 0.76642E+06, 0.11352E+08 -0.11328E+08, 0.16040E+08, 0.15103E+07, -0.16069E+08, 0.32109E+08 0.27849E+08				

VALORES MINIMOS

NODO	75	39	100	63	97
100	86	75	100	92	
	92				

VALORES -26388.0 -11762.0 -9972.7,-30214.0,-0.11352E+08
-0.11328E+08,-1390.4,-44176.0,-0.16069E+08,404.06
355.11

VALORES MAXIMOS

NODO 99 3 98 100 98
98 98 100 87 99
100

VALORES,0.14964E+07,16969.0,10004.0,0.76642E+06,0.11352E+08
0.11328E+08,0.16836E+08,0.15103E+07,2919.5,0.32145E+08
0.27849E+08

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO SX SY SZ SXY SYZ
SXZ S1 S2 S3 SINT
SEQV

***** PARAMETROS ESTIMADOS CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA
DISCRETIZACION *****

VALORES MINIMOS

NODO 97 97 100 97 97
100 51 98 100 1
1

VALORES,-0.76031E-07,-0.90901E-07,-0.91015E+07-0.83255E+07
-0.20444E-08-0.20419E-08-0.22583E-07-0.91040E-07-0.25161E-08
0.00000E+00
0.00000E+00

VALORES MAXIMOS

NODO 99 99 98 100 98
98 98 100 87 99
100

VALORES,0.10588E-08,0.91008E-07,0.91015E-07,0.98579E-07
0.20444E-08,0.20419E-08,0.25927E-08,0.10602E-08,0.22754E-07
0.41236E-08
0.36940E-08

***** END OF INPUT ENCOUNTERED *****
***** ROUTINE COMPLETED ***** CP = 1316.840

ALL CURRENT ANSYS DATA WRITTEN TO FILE NAME= motor52.db
FOR POSSIBLE RESUME FROM THIS POINT

NUMBER OF WARNING MESSAGES ENCOUNTERED= 2
NUMBER OF ERROR MESSAGES ENCOUNTERED= 0

MODELO 6800

FUERZAS DE REACCION POR NODO

***** POST1 TOTAL REACTION SOLUTION LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X,Y,Z SOLUTIONS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	FX	FY	FZ
5	-157.63	-915.01	16.231
8	-159.27	-801.24	-4.8720
53	166.15	-758.28	9.4650
56	150.75	-781.50	-20.824

PRINT DOF NODAL SOLUTION PER NODE

***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	UX	UY	UZ
1	0.40332E-08	0.15757E-07	-0.31742E-08
2	0.23002E-08	0.18180E-07	-0.12831E-08
3	-0.21053E-08	-0.51546E-08	0.13215E-08
4	0.65901E-09	0.58281E-08	-0.84150E-09
5	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
6	0.10977E-09	0.10695E-07	-0.48412E-09
7	0.32209E-09	0.56791E-08	0.65201E-09
8	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
9	-0.12893E-09	0.11765E-07	0.47101E-09
10	0.87791E-09	0.11218E-07	0.11799E-08
11	0.91249E-09	0.11740E-07	0.12147E-08
12	0.16121E-09	0.11098E-07	-0.36946E-09
13	-0.22073E-09	0.84081E-08	0.43670E-08
14	0.48181E-08	0.86916E-08	0.41079E-08
15	-0.59709E-08	0.34541E-07	0.28416E-08
16	0.13244E-08	0.76488E-08	0.27625E-08
17	0.92579E-09	0.10578E-07	0.27486E-08
18	-0.77465E-09	0.11177E-07	0.20323E-08
19	0.85106E-09	0.69146E-08	-0.23747E-08
20	0.74199E-10	0.10280E-07	-0.21854E-08
21	-0.42274E-09	0.96994E-08	-0.95545E-09
22	-0.87121E-09	0.87375E-08	-0.34735E-08
23	-0.74866E-09	0.98671E-08	-0.31397E-08
24	-0.34956E-09	0.10560E-07	-0.16908E-08
25	0.20644E-09	0.84616E-08	0.39588E-08
26	-0.42896E-08	0.85709E-08	0.36921E-08

NODO	UX	UY	UZ
27	0.11134E-07	0.34741E-07	0.22681E-08
28	0.78602E-09	0.82676E-08	0.31827E-08
29	0.12813E-11	0.10600E-07	0.27102E-08
30	-0.42034E-09	0.11438E-07	0.29269E-08
31	0.60437E-10	0.74559E-08	-0.26345E-08
32	-0.71893E-10	0.10274E-07	-0.21337E-08
33	0.99194E-10	0.99401E-08	-0.16200E-08
34	-0.93220E-09	0.87510E-08	-0.31355E-08
35	-0.85437E-09	0.98781E-08	-0.27516E-08
36	-0.47090E-09	0.10505E-07	-0.12164E-08
37	-0.28484E-08	0.13715E-07	0.35615E-08
38	-0.12261E-08	0.14448E-07	0.18686E-08
39	-0.45474E-09	-0.39107E-08	0.11475E-08
40	0.10142E-09	0.14217E-07	0.20676E-08
41	0.20185E-09	0.13290E-07	0.16032E-08
42	0.42655E-09	0.10895E-07	0.24177E-08
43	-0.66668E-09	0.12236E-07	-0.27446E-09
44	-0.80962E-09	0.10518E-07	0.33775E-09
45	-0.36789E-09	0.11593E-07	-0.27039E-09
46	-0.93851E-09	0.10294E-07	-0.43276E-09
47	-0.92318E-09	0.94822E-08	-0.50086E-09
48	-0.81123E-09	0.10046E-07	0.26234E-09
49	0.15217E-08	0.12063E-07	0.15911E-09
50	-0.27250E-09	0.10455E-07	-0.77483E-09
51	0.55137E-09	0.28906E-07	-0.94070E-09
52	-0.42220E-10	0.71596E-08	-0.93587E-10
53	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
54	-0.23818E-09	0.14778E-07	0.77901E-09
55	-0.29587E-09	0.64482E-08	0.16441E-09
56	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
57	-0.19962E-09	0.12206E-07	-0.54923E-09
58	-0.12270E-08	0.11383E-07	0.90894E-09
59	-0.13362E-08	0.11562E-07	0.20608E-09
60	0.11300E-09	0.11708E-07	0.32501E-09
61	-0.55987E-09	0.12400E-07	0.33556E-08
62	0.39872E-08	0.14715E-07	0.34632E-08
63	-0.11329E-07	-0.10663E-07	0.20599E-08
64	-0.16163E-08	0.80400E-08	0.31668E-08
65	-0.23593E-09	0.12416E-07	0.28147E-08
66	0.25034E-09	0.89028E-08	0.29931E-08
67	-0.13610E-08	0.71930E-08	-0.22337E-08
68	-0.49352E-09	0.11030E-07	-0.19447E-08
69	-0.33993E-09	0.86628E-08	-0.17257E-08
70	0.14841E-09	0.87737E-08	-0.27532E-08
71	0.10907E-09	0.10058E-07	-0.27224E-08
72	-0.17213E-09	0.10256E-07	-0.10530E-08
73	0.77267E-10	0.12411E-07	0.38043E-08
74	-0.49641E-08	0.14566E-07	0.34019E-08
75	0.57343E-08	-0.10478E-07	0.30349E-08
76	-0.40541E-09	0.85155E-08	0.24767E-08
77	-0.91166E-09	0.12424E-07	0.24135E-08
78	0.17803E-09	0.91238E-08	0.19428E-08
79	-0.47180E-09	0.77335E-08	-0.15935E-08
80	-0.38512E-09	0.11026E-07	-0.14430E-08
81	-0.22831E-09	0.88903E-08	-0.81146E-09
82	0.32708E-09	0.88224E-08	-0.31038E-08
83	0.14616E-09	0.10097E-07	-0.25670E-08

NODO	UX	UY	UZ
84	-0.34548E-09	0.10209E-07	-0.18521E-08
85	-0.23151E-08	0.95571E-08	0.27226E-09
86	-0.48606E-09	0.68444E-08	0.16825E-08
87	0.22888E-08	0.30156E-07	0.34484E-08
88	0.19825E-09	0.13093E-07	0.14167E-08
89	0.59932E-09	0.10152E-07	0.16640E-08
90	0.20272E-09	0.15004E-07	0.11462E-08
91	-0.54678E-09	0.13385E-07	0.52233E-09
92	-0.38610E-09	0.10960E-07	0.24542E-09
93	-0.32003E-09	0.12050E-07	0.75736E-09
94	-0.26525E-09	0.10971E-07	0.11270E-09
95	-0.10619E-09	0.96427E-08	0.76896E-09
96	-0.77572E-09	0.10666E-07	-0.43277E-09
97	-0.44191E-04	0.43920E-04	0.33594E-06
98	-0.43903E-04	-0.43789E-04	0.31635E-06
99	0.43902E-04	0.43835E-04	0.31899E-06
100	0.44190E-04	-0.43874E-04	0.33853E-06

MAXIMUM VALUES

NODE	97	100	
VALUE	-0.44191E-04	0.43920E-04	0.33853E-06

SOLUCION DE ESFUERZOS POR NODO

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP=	1	SUBSTEP=	1
TIME=	1.0000	LOAD CASE=	0

THE FOLLOWING X,Y,Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
1	-4064.3	-3980.0	-71.821	2366.7	398.41
-39.748	-16.861	-1695.1	-6404.1	6387.3	
	5735.4				
2	-4826.7	-6677.6	-2248.1	-85.720	-3784.3
808.59	36.083	-4913.9	-8874.6	8910.7	
	7732.7				
3	21783.0	26451.0	14868.0	22852.0	3729.1
-1389.1	47193.0	15622.0	286.68	46907.0	
	41426.0				
4	227.90	1583.9	1166.0	-1644.8	189.28
-79.696	2711.3	1140.5	-873.93	3585.3	
	3112.8				
5	2174.9	6587.9	2900.7	532.24	-1949.5
293.14	7454.0	2585.3	1624.2	5829.8	
	5413.6				

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
6	-5942.3	-4691.6	-4767.7	-13689.0	2068.4
336.21	8508.0	-4694.5	-19215.0	27723.0	
	24018.0				
7	418.91	493.03	379.33	-1477.4	-169.33
-154.58	1934.0	415.66	-1058.4	2992.4	
	2591.6				
8	1302.5	5844.9	2367.6	128.09	996.23
-25.841	6113.0	2106.5	1295.5	4817.5	
	4467.5				
9	-465.93	-936.51	-485.31	-775.12	-303.53
-248.06	109.51	-353.60	-1643.7	1753.2	
	1573.6				
10	511.75	-1212.2	789.25	1695.1	-229.79
138.98	1551.4	812.78	-2275.4	3826.8	
	3516.2				
11	-957.98	-1200.6	859.25	329.44	1830.5
40.891	1943.8	-920.73	-2322.4	4266.2	
	3766.3				
12	-447.94	-499.87	-825.98	-486.84	-658.30
-225.20	149.78	-369.14	-1554.4	1704.2	
	1513.0				
13	9907.7	902.43	2676.6	-4763.2	-834.18
-33.409	11969.0	2819.8	-1302.4	13272.0	
	11765.0				
14	558.48	-3268.3	-1571.6	-6463.2	700.58
-1119.6	5626.3	-1810.5	-8097.3	13724.0	
	11899.0				
15	-40889.0	-3909.7	-8111.2	-53843.0	-0.45336E+07
0.45493E+07	0.64343E+07	-76178.0	-0.64110E+07	0.12845E+08	0.11125E+08
16	-352.85	2729.0	-750.21	-2436.0	53.721
106.06	4070.5	-735.49	-1709.1	5779.6	
	5359.6				
17	260.19	2804.5	-238.60	3408.5	-348.72
-485.25	5228.6	-275.04	-2127.4	7356.0	
	6626.9				
18	4864.1	3699.3	-530.91	3865.9	-1387.9
1505.3	8198.0	2000.5	-2166.0	10364.0	
	9032.7				
19	-791.06	2926.0	-572.29	-241.67	198.89
-57.998	2953.2	-575.16	-815.44	3768.7	
	3654.5				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
20 29.065	-343.40 2743.4 3320.4	2446.8 -420.76	-494.31 -713.64	650.33 3457.1	712.89
21 -547.57	498.07 1403.8 2049.3	551.17 565.47	-11.762 -931.78	-67.316 2335.6	-999.46
22 -267.88	-85.642 587.33 1806.1	-435.55 -171.92	-537.85 -1474.4	-98.032 2061.8	974.54
23 -2.9709	-104.08 -21.971 509.35	-351.41 -273.10	-447.70 -608.12	-141.04 586.15	187.50
24 691.59	989.14 1304.7 2535.4	-369.17 568.56	-264.11 -1517.4	-331.68 2822.0	991.64
25 80.423	-9844.8 945.90 10994.0	-806.33 -3412.0	-3373.4 -11559.0	-4291.4 12504.0	-411.47
26 630.00	1090.5 7631.9 11288.0	1345.7 540.96	351.20 -5385.5	-6408.2 13017.0	864.32
27 -0.45503E+07	-35176.0 0.63807E+07	-17091.0 0.28218.0	-4937.3 -0.64661E+07	-54318.0 0.12847E+08	-0.45336E+07 0.11126E+08
28 -175.71	-235.94 6338.7 6718.6	5593.9 438.97	445.72 -974.00	-2191.5 7312.7	232.06
29 262.15	-990.04 2912.5 5846.3	181.26 -1254.8	-1304.1 -3770.5	3264.8 6683.1	-229.80
30 -2020.3	4433.8 8388.6 9123.4	3182.5 -56.703	-572.14 -1287.8	3852.9 9676.4	-1425.4
31 26.389	568.27 4331.1 3778.2	4329.4 583.69	539.90 522.83	-4.0655 3808.3	79.131
32 48.320	32.313 583.38 1721.6	-242.75 -341.68	-950.88 -1403.0	515.52 1986.4	680.15
33 697.29	-1305.8 2099.1 3273.6	1422.5 -372.37	-3.5649 -1613.6	-338.83 3712.7	-1053.1

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
34 93.191	-375.91 865.18 1552.7	173.73 -411.73	-207.61 -863.23	443.51 1728.4	720.37
35 53.766	561.19 568.18 675.10	7.8932 118.16	-90.827 -208.08	23.974 776.26	157.97
36 -508.75	870.42 1858.5 2028.3	248.86 414.19	693.15 -460.32	-440.23 2318.9	903.43
37 -47.871	4131.3 4458.1 2760.8	2857.4 2574.1	1332.5 1289.0	722.13 3169.1	231.07
38 -734.99	2513.8 5144.2 3675.2	4063.5 2830.3	2303.8 906.49	-200.22 4237.7	-1731.6
39 2838.8	12435.0 25004.0 48181.0	-18468.0 680.25	1228.1 -30489.0	22684.0 55494.0	2534.5
40 213.37	579.91 2257.6 2192.6	2192.4 571.79	-164.11 -221.17	319.29 2478.7	62.201
41 -247.47	-134.99 1521.8 2066.6	931.54 -252.86	-274.81 -747.18	376.32 2269.0	-886.23
42 252.97	-909.95 12388.0 24878.0	-2978.3 -2206.0	-2268.1 -16338.0	-14253.0 28726.0	1408.2
43 122.62	196.75 2369.8 2080.2	2363.5 481.99	431.09 139.62	-72.492 2230.1	89.840
44 1.2786	10.481 13.858 611.08	-179.23 -106.63	-572.52 -648.49	20.721 662.35	188.72
45 121.01	1106.9 2873.7 2871.5	1369.0 860.71	843.95 -414.57	-1630.3 3288.3	84.282
46 37.689	-65.325 1130.1 1290.9	811.11 190.89	233.19 -341.99	556.56 1472.1	213.98

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
47 13.374	118.71 308.08 1011.0	-323.45 -224.42	-569.41 -857.81	296.53 1165.9	361.92
48 100.52	17.322 339.04 558.02	-285.61 -11.750	291.15 -304.43	-2.4389 643.48	102.23
49 34.710	5007.3 5545.6 4664.5	755.34 2278.0	2264.7 203.75	-1600.9 5341.9	-204.29
50 841.11	1065.0 3737.0 2801.7	2848.3 2352.3	2688.6 512.61	-875.32 3224.4	-411.28
51 -2766.9	11957.0 24878.0 48577.0	-18585.0 1068.7	1564.0 -31011.0	23096.0 55889.0	-2091.9
52 -321.13	611.17 1806.8 3161.0	-623.06 -448.40	-436.07 -1806.3	1668.8 3613.1	-17.676
53 249.77	909.08 6582.7 5226.3	6566.7 2090.3	2043.9 846.78	196.30 5735.9	-212.29
54 -240.55	-2070.7 11347.0 26501.0	-5781.5 -3192.2	-3234.2 -19241.0	-15137.0 30589.0	-1154.6
55 15.437	381.22 1695.8 2555.6	65.696 182.50	176.62 -1254.8	1457.5 2950.6	-163.46
56 -29.088	1177.5 6288.6 4878.9	6038.1 1683.3	1932.3 1175.9	-78.092 5112.7	1041.8
57 -211.24	-95.510 1797.8 4507.1	-1403.9 -115.62	-168.79 -3350.4	-2460.5 5148.1	-363.75
58 -24.982	732.54 1886.5 3747.3	-1052.3 1060.4	1061.6 -2205.0	-1816.0 4091.5	-297.27
59 -79.999	-1301.9 1477.4 3757.2	-1290.4 -1281.0	-13.129 -2801.8	-411.70 4279.2	1995.2
60 -78.812	-449.95 902.07 1661.7	-477.82 -277.21	554.31 -998.32	410.41 1900.4	-632.42

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
61 -400.17	-9574.1 575.63 11042.0	-1773.8 -3064.9	-2968.5 -11827.0	-4664.7 12403.0	-1035.6
62 -743.41	356.35 6934.7 11487.0	724.58 865.02	404.78 -6314.0	-6211.7 13249.0	-2192.4
63 0.45503E+07, 0.63809E+07,28353.0,- 0.11125E+08	-34580.0	-17510.0,-3993.2,-54366.0,	0.45332E+07	0.12846E+08	
64 77.580	-1596.3 4519.8 6425.9	3284.3 -589.83	-452.51 -2694.5	-2495.2 7214.3	-1008.3
65 -297.15	-1158.3 4240.7 5992.6	2886.2 -524.84	-499.09 -2487.0	2661.0 6727.7	-303.95
66 2024.9	6660.3 9143.2 9622.4	1848.3 -52.483	-273.48 -855.63	3578.5 9998.8	1155.4
67 70.638	-767.24 3221.7 3888.1	3035.2 -448.96	-347.70 -852.46	-351.73 4074.1	751.02
68 -14.331	-320.07 2701.0 3041.1	2696.5 -315.30	-355.12 -364.39	-6.0740 3065.4	-117.05
69 -708.23	786.55 2183.5 2846.0	227.35 211.35	301.96 -1079.0	-562.21 3262.6	1337.9
70 277.86	-53.890 720.39 1389.7	-234.06 -193.52	-64.033 -878.86	186.71 1599.3	722.11
71 43.796	-83.388 887.06 1954.2	-220.44 -104.60	-277.83 -1364.1	193.90 2251.2	1106.1
72 391.49	1277.7 1749.2 1882.7	-208.18 717.01	972.77 -423.88	-446.33 2173.1	-461.67
73 383.03	9608.6 12019.0 11711.0	1335.7 2615.7	2592.7 -1098.2	-5015.0 13118.0	-738.10

NODO	SX	SY	SZ	SXY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				
74	1198.5	-2897.1	-1306.3	-6222.9	-2078.5
1153.7	6316.1	-1748.9	-7572.1	13888.0	
	12080.0				
75	-41534.0	-3736.5	-9154.0	-53862.0	0.45332E+07
-0.45495E+07	0.64335E+0	-76428.0	-0.64115E+07	0.12845E+08	0.11124E+08
76	1076.7	2966.1	194.77	-2682.1	-862.15
-10.871	4967.8	314.16	-1044.4	6012.3	
	5461.2				
77	682.33	-676.94	-707.19	2850.8	-206.02
489.21	2951.5	-631.51	-3021.8	5973.3	
	5207.3				
78	2725.9	4620.6	-897.54	3606.1	1097.0
-1590.8	7403.1	1498.0	-2452.1	9855.2	
	8590.6				
79	527.67	4277.4	253.33	-565.52	633.12
-52.340	4456.4	449.76	152.17	4304.3	
	4163.5				
80	-51.052	-393.52	-1118.7	110.42	-186.29
-35.598	-11.289	-388.16	-1163.9	1152.6	
	1017.9				
81	-1611.8	1588.5	-383.30	-312.75	1304.8
633.46	2238.0	-558.80	-2085.7	4323.8	
	3797.9				
82	-267.49	468.51	-899.63	-360.67	402.44
-63.244	713.69	-401.35	-1011.0	1724.6	
	1514.8				
83	564.31	211.53	-469.13	41.051	1023.4
-71.319	949.89	567.90	-1211.1	2161.0	
	1997.6				
84	635.80	184.81	-549.07	-277.44	-557.10
-562.03	865.87	483.84	-1078.2	1944.0	
	1784.0				
85	-4945.1	-1995.1	-1197.5	-235.16	-417.87
57.837	-1013.3	-2160.6	-4963.9	3950.6	
	3520.1				
86	-3240.0	-5303.5	-2883.4	-733.28	1210.9
-803.90	-1690.7	-3872.0	-5864.2	4173.5	
	3615.6				
87	22171.0	26560.0	14412.0	23435.0	-3184.3
1553.1	47955.0	15119.0	70.207	47885.0	
	42413.0				

NODO SXZ	SX S1 SEQV	SY S2	SZ S3	SXY SINT	SYZ
88 202.64	-28.657 3299.6 2942.0	3273.7 1318.7	1292.3 -80.921	254.41 3380.5	-128.70
89 -283.94	720.16 860.28 1998.3	-781.22 401.50	-4.6497 -1327.5	453.32 2187.8	693.65
90 -328.48	-4678.1 11553.0 25638.0	-1751.8 -3621.7	-3686.3 -18048.0	-14616.0 29601.0	-1778.0
91 54.273	286.52 2996.2 2575.6	2988.2 601.45	594.38 271.46	-110.61 2724.7	93.634
92 -5.8970	249.94 250.38 448.08	-67.220 176.95	14.726 -229.88	-1.5758 480.26	199.45
93 167.38	624.17 2878.9 2996.5	1800.0 472.74	450.13 -477.42	-1557.3 3356.3	24.977
94 -163.22	-401.18 1043.2 1518.2	768.67 -38.484	-55.171 -692.37	-615.00 1735.5	47.298
95 23.235	447.87 860.72 1075.8	-41.848 526.74	638.99 -342.45	-323.79 1203.2	396.34
96 186.37	-18.968 15.020 1049.4	-344.17 -329.18	-1114.3 -1163.2	-52.441 1178.3	114.76
97	0.29695E+07, 492.61, -15576.0, 0.15284E+07, -0.22716E+08 0.22667E+08, 0.32098E+08, 0.30101E+07, -0.32153E+08, 0.64251E+08 0.55726E+08				
98	0.29841E+07, 15125.0, 18446, 0.15287E+07, 0.22716E+08 0.22667E+08, 0.33682E+08, -25798, -0.30639E+08, 0.64321E+08 0.55725E+08				
99	0.29848E+07, 15582, 15518, 0.15284E+07, -0.22716E+08 -0.22667E+08, 0.33681E+08, -24923, -0.30640E+08, 0.64321E+08 0.55725E+08				
100	0.29703E+07, 1102.2, -18389, 0.15288E+07, 0.22716E+08 -0.22667E+08, 0.32096E+08, 0.30112E+07, -0.32154E+08, 0.64251E+08 0.55726E+08				

VALORES MINIMOS

NODO	75	51	100	63	97
100	86	75	100	92	
	92				

VALORES -41534.0 -18585.0 -18389,-54366,-0.22716E+08
 -0.22667E+08,-1690.7,-76428,-0.32154E+08,480.26
 448.08

VALORES MAXIMOS

NODO	99	87	98	100	98
98	98	100	05	99	
	100				

VALORES 0.29848E+07,26560,18446,0.15288E+07,0.22716E+08
 0.22667E+08,0.33682E+08,0.30112E+07,1624.2,0.64321E+08
 0.55726E+08

***** POST1 NODAL STRESS LISTING *****

LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1
 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0

THE FOLLOWING X, Y, Z VALUES ARE IN GLOBAL COORDINATES

NODO	SX	SY	SZ	SKY	SYZ
SXZ	S1	S2	S3	SINT	
	SEQV				

***** PARAMETROS ESTIMADOS CONSIDERANDO EL EFECTO DE LA DISCRETIZACION *****

VALORES MINIMOS

NODO	97	97	100	97	97
100	51	98	100	1	
	1				

VALORES,-0.15223E-08,-0.18192E-08,-0.18211E-08,-0.16664E-08
 -0.40909E-08-0.40860E-08-0.45219E-07-0.18218E-08-0.50347E-08
 0.00000E+00
 0.00000E+00

VALORES MAXIMOS

NODO	99	99	98	100	98
98	98	100	3	99	
	100				

VALORES,0.21177E-08,0.18208E-08,0.18211E-08,0.19721E-08
 0.40909E-08,0.40860E-08,0.51875E-08,0.21204E-08,0.45477E-07
 0.82514E-08
 0.73918E-08

***** END OF INPUT ENCOUNTERED *****

EXIT THE ANSYS POST1 DATABASE PROCESSOR

***** ROUTINE COMPLETED ***** CP = 1843.350

96

ALL CURRENT ANSYS DATA WRITTEN TO FILE NAME= motor53.db
FOR POSSIBLE RESUME FROM THIS POINT

NUMBER OF WARNING MESSAGES ENCOUNTERED= 4

NUMBER OF ERROR MESSAGES ENCOUNTERED= 0

E) Determinación de fuerzas que regirán el diseño de la estructura de soporte.

Las magnitudes de las fuerzas de reacción se enlistaron en la sección anterior, con lo cual podemos determinar para cada uno de los nodos las fuerzas máximas y encontrar así las fuerzas que rigen al diseño de la estructura que soporte a los tres tipos de motores. Estas fuerzas son:

NODO	FX	FY	FZ
5	-157.63	-915.01	16.231
8	-159.27	-801.24	-4.8720
53	166.15	-758.28	9.4650
56	150.75	-781.50	-20.824

El modelo que genera estas fuerzas es el modelo 6809 H que es el último de los modelos evaluados.

Con estas fuerzas y la distribución de esfuerzos enlistados en la sección anterior damos respuesta a los problemas que motivaron esta tesis.

F) Programa general para la evaluación de reacciones y distribución de esfuerzos en motores sometidos a la prueba de rotor bloqueado.

Una vez que hemos concluido nuestro análisis podemos aportar un programa que sea posible aplicarse a cualquier tipo de motor y cualquier fuerza aplicada, siempre que cumpla con cuatro puntos de apoyo y los parámetros que a continuación se enlistan.

1) Listado de Variables.

Todo programa puede contener variables que dependan de las características específicas del problema que genera dicho programa, en el caso de nuestro programa general estas variables son:

• MAM	Mitad de la Altura del Motor
• AX	Distancia a los Apoyos en X
• AZ	Distancia a los Apoyos en Z
• DEA	Distancia Entre Apoyos
• DF	Diámetro de Flecha
• DND	Valor de Densidad
• LTM	Longitud Total del Motor
• MM	Mitad del Motor en X
• MLF	Mitad Longitud de la Flecha
• MT	Mitad del valor del Torque aplicado

2) Listado del Programa.

Una vez que conocimos las variables que intervienen en el programa general, se presentará el listado de todos los niveles de procesamiento de datos para el paquete ANSYS 5.0, vale la pena hacer notar que aunque este programa se realiza para un determinado paquete la similitud en la aplicación del elemento finito, como herramienta de ayuda para el ingeniero, hace que sólo comparando instrucciones entre diversos paquetes se pueda aplicar este programa como guía para la programación en diferentes paquetes disponibles en el mercado.

Programa General para la determinación de esfuerzos y reacciones en motores sometidos al Método Directo de Pruebas.

Begin:

```

/CLEAR
/UNITS,SI
/FILENAME, MOTOR_X
/TITLE, Programa General
/PREP7

```

PREP7:

```

et,1,solid_45
mp,EX,1,20.68e10
mp,DENS,1,DND
type,1
mat,1
n,1
n,2,AX
n,3,MM-(DF/2)
ngen,2,3,all,,0,0,AZ
ngen,2,3,4,6,1,0,0,DEA
n,10,0,0,LTM
n,11,AX,0,LTM
n,12,MM-(DF/2),0,LTM
ngen,2,12,all,,0,0,AMM-(DF/2),0
ngen,2,12,13,24,1,0,DF,0
ngen,2,12,25,36,1,0,AMM-(DF/2),0
e,1,4,5,2,13,16,17,14
e,2,5,6,3,14,17,18,15

```

```
egen,3,3,all
egen,2,12,all
local, l 1,0,MM,0
symm,0,48,all
esyymm,,48,all
csys
mat,2
e,3,6,54,51,15,18,66,63
e,6,9,57,54,18,21,69,66
e,9,12,60,57,21,24,72,69
egen,3,12,36,39,1
n,97,MM-(DF/2),AMM-(DF/2),-MLF
n,98,MM+(DF/2),AMM-(DF/2),-MLF
n,99,MM-(DF/2),AMM+(DF/2),-MLF
n,100,MM+(DF/2),AMM+(DF/2),-MLF
e,97,15,63,98,99,27,75,100
save
finish
```

BEGIN:

```
/SOLU
```

SOL_1:

```
ANTYPE,1
ACEL,0,-9.81,0
/PBC,ALL,1
D,5,ALL
D,8,ALL
D,53,ALL
```

D,56,ALL

F,97,FX,MT

F,100,FX,-MT

SOLVE

FINISH

CONCLUSIONES

La aplicación del Método del Elemento Finito en la determinación de esfuerzos y fuerzas de reacción nos brinda la posibilidad de diseñar con valores reales cualquier elemento o sistema mecánico.

En el caso de esta tesis se desarrollaron las principales características matemáticas de esta herramienta para después aplicarla en la obtención de fuerzas de reacción y distribución de esfuerzos en motores sometidos a pruebas por el Método Directo.

De todos los métodos existentes para llevar a cabo un análisis o diseño, se seleccionó el Método de la Escuela Alemana, El Diseño Metódico, como método para desarrollar el análisis, complementándolo con el Diseño Total de la Escuela Inglesa para englobar todas las áreas que intervienen en cualquier diseño.

De los cuarenta y seis diferentes modelos determinamos tres, uno por cada tipo de motor, que regirían al análisis y se tomaron en cuenta las características dimensionales de cada uno para poder simularlo correctamente. Se evaluaron los parámetros como la densidad, velocidad síncrona y torque máximo que serían utilizados en la simulación.

Una vez que toda esta información se reunió, se realizó el listado de instrucciones para el paquete ANSYS 5.0 perteneciente al Centro de Computo de la Universidad Panamericana, no sin antes determinar el tipo de Elemento Finito a utilizar que en este caso fue el elemento número 45, sólido en tres dimensiones, cuatro nodos y tres grados de libertad.

De los resultados obtenidos, se concluye que la información procesada realmente simula a los diferentes tipos de motores y los resultados numéricos se encuentran dentro de valores reales. Es muy importante hacer mención a lo anterior, debido a que las evaluaciones muchas veces salen de los parámetros reales, lo cual indica que el modelo evaluado no está siendo simulado correctamente.

Después de llevar a cabo el análisis estructurado de nuestro Problema y responder a los objetivos generales y específicos planteados, podemos concluir que el modelo 6809 H, es el modelo que regirá al diseño de la estructura, según las magnitudes presentadas en el último capítulo de esta tesis y que la distribución de esfuerzos en los modelos nos permite observar una concentración mayor de los mismos en las áreas medias del motor, de manera que el cuerpo de los motores reacciona al torque aplicado deformándose de manera torsional, es debida a esta reacción que los motores industriales tienen fallas en los rodamientos, desalineamientos con las catarinas de las unidades motrices, fallas en las bombas en equipos de enfriamiento de agua, o ruptura de las cuñas de seguridad en las flechas.

Además de estas consideraciones matemáticas y físicas, se aporta un programa que puede aplicarse a cualquier tipo de motor que quiera ser evaluado con el Método Directo de Pruebas, específicamente a la prueba de rotor bloqueado, lo cual permitirá a los ingenieros de las diferentes ramas de la industria una determinación real de las fuerzas de reacción a considerar en el montaje de cualquier motor en sus instalaciones.

El uso de estas herramientas en la ingeniería nos abre un nuevo horizonte a los ingenieros mecánicos, y la capacitación en la utilización de los paquetes de apoyo, conocidos como CAE, *Computer Aided Engineering*, Ingeniería Asistida por Computadora, nos permitirán

competir en la prestación de servicios de diseño a nivel mundial en una sociedad como la mexicana que se prepara para enfrentar la competencia de su economía globalizada. Es por esto que debemos estar conscientes que la capacitación constante es la mejor arma para sobresalir a nivel profesional.

TESIS SIN PAGINACION

COMPLETA LA INFORMACION

BIBLIOGRAFIA

BEER P., Ferdinand, Mecánica de Materiales, Gilberto Areiza, Bogotá, McGraw-Hill, 1981

-----, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Maria de los Dolores Ayala, México D.F., McGraw-Hill, 1988, 4a. ed., Volumen I: Estática.

-----, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Maria de los Dolores Ayala, México D.F., McGraw-Hill, 1988, 4a. ed., Volumen II: Dinámica.

JUVINALL, Robert C., Fundamentals of Machine Component Design, New York, John Wiley & Sons, 1983

WESTINGHOUSE CO., Electrical Maintenance, Pittsburgh, Westinghouse Press, 1985, 2a ed.

COOK D., Robert, Concepts and Applications of Finite Element Analysis, New York, John Wiley & Sons, 1989, 3era. ed.

POPOV, Egor P., Introducción a la Mecánica de Sólidos, México D.F., Editorial Limusa, 1989

DOYLE, Lawrence E., Materiales y Procesos de Manufactura para Ingenieros, Julio Fournier G., México D.F., Prentice Hall, 1985, 3era. ed.

ZIENKIEWICZ, O.C., The Finite Element Method, Londres, McGraw-Hill, 1991, 4a. ed., Volumen I: Fórmulas Básicas

-----, The Finite Element Method, Londres, McGraw-Hill, 1991, 4a. ed., Volumen II: Sólidos y Fluidos

OBBERG, Erick, Machinery's Handbook, New York, Industrial Pressing, 1992, 24a ed

SHIGLEY, Joseph E., Diseño en Ingeniería Mecánica, Francisco Paniagua B., México D.F., McGraw-Hill, 1990, 5a. ed.

PUGH, Stuart, Total Design, Londres, Addison-Wesley, 1991

JIMENEZ, Francisco, Montajes para Maquinado, México D.F., AGT Editor, 1985

DAWES, Chester, Tratado de Electricidad, México D.F., Ediciones G. Gili, 1987, 3era. ed.

TIMOSHENKO, S.P., Theory of Elasticity, Nueva York, McGraw-Hill, 1974, 4a. ed.

GALLAGER, Richard H., Finite Element Analysis, Nueva York, Prentice Hall, 1989, 5a. ed.

DIETZ, Peter, Diseño Metódico, México D.F., Universidad Panamericana, 1992.

VLACK, Van, Materiales para Ingeniería, Dr. Ariel A. Valladares, México D.F., C.E.C.S.A., 1980

OGATA, Katsuhiko, Dinámica de Sistemas, Guillermo López Portillo, México D.F., Prentice-Hall, 1987

KOSTENKO, Michael, Máquinas Eléctricas, Luis Ibañez, Barcelona, Montaner y Simon, 1979, 3era. ed., Volumen I

-----, Máquinas Eléctricas, Luis Ibañez, Barcelona, Montaner y Simon, 1979, 3era. ed., Volumen II

EHRICH, Frederich, Handbook of Rotordynamics, Boston, McGraw-Hill, 1992

LIST, Frederick, "Pruebas a Motores de Inducción por Dinamometro", Revista Técnica IEM, Serie 1era, Año V, No. 17, Abril-Junio de 1987.

PINEDA, Marco A., "Solución de Problemas Mecánicos mediante los Elementos Finitos", Memoria del Primer Congreso Metropolitano para Estudiantes de Ingeniería, Serie 1era, Año I, No. I, Mayo 1991, Tomo VI: Mecánica.

VARIOS, Gerencia Industrial FIDE, "Programa Piloto para la Sustitución de Motores Eléctricos Estándar por Motores Eléctricos de Alta Eficiencia", Energía Racional, Año 1, No. 10, Abril 1994.

RODRIGUEZ, Luis, "Laboratorio de Pruebas y Desarrollo Tecnológico para Motores hasta de 3000 H.P./6.6 K.V.", Revista Técnica IEM, Serie 3era, Año VII, No. 23, Abril-Junio de 1991

IEEE, STD-112-1991 : Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators, Nueva York, IEEE Press, 1991, 8a. de.

NEMA, MG-1: Motors and Generators, Washington D.C., NEMA Press, 1989, 12a. ed.

ANEXO I

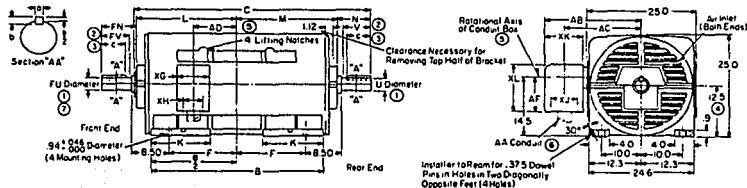


DS 120-001

New Information - August, 1990

Squirrel Cage Motors Drip-Proof and Weather Protected Type I

Short Shafts for Coupled Service
Anti-Friction, Split & Solid Sleeve Bearings
Frames 5006-6010
All Speeds



Dimensions, Inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved.
Applying to each frame number

Frame No.	B	C	D	K	L	M	AD	Shaft Extension		N & VD & FN & FV	Recommended Coupling Size		Approx. Wt., Pounds	
								UGD & Key Size	FUGD		Min.	Max.		
5006H	29.6	41.50	10.00	11.30	18.18	18.18	7.50	2.375	.825	3.00	5.08	2.370	2.370	2060
5006S	29.6	42.50	10.00	11.30	18.18	18.18	7.50	2.875	.750	4.00	6.08	2.870	2.870	2300
5006L	29.6	43.90	10.00	11.30	18.18	18.18	7.50	3.375	.875	5.00	7.08	3.370	3.370	2480
5006-H	24.6	46.50	12.50	13.80	20.68	20.68	7.38	2.375	.825	3.00	5.08	2.370	2.370	2245
5006-S	24.6	47.50	12.50	13.80	20.68	20.68	7.38	2.875	.750	4.00	6.08	2.870	2.870	2650
5006-L	24.6	48.50	12.50	13.80	20.68	20.68	7.38	3.375	.875	5.00	7.08	3.370	3.370	2860
5009-H	37.8	49.50	14.00	13.80	22.18	22.18	8.88	2.375	.825	3.00	5.08	2.370	2.370	2685
5009-S	37.8	50.50	14.00	13.80	22.18	22.18	8.88	2.875	.750	4.00	6.08	2.870	2.870	3065
5009-L	37.8	51.50	14.00	13.80	22.18	22.18	8.88	3.375	.875	5.00	7.08	3.370	3.370	3185
5010-H	41.6	53.50	16.00	13.80	24.18	24.18	10.88	2.375	.825	3.00	5.08	2.370	2.370	3645
5010-S	41.6	54.50	16.00	13.80	24.18	24.18	10.88	2.875	.750	4.00	6.08	2.870	2.870	3380
5010-L	41.6	55.50	16.00	13.80	24.18	24.18	10.88	3.375	.875	5.00	7.08	3.370	3.370	3420

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box, XG=7.0						Special Conduit Box, XG=10.0						Special Conduit Box, XG=20.0											
AA	AB	AC	AF	XH	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XL						
ⓐ	23.0	17.9	10.0	4.0	7.0	14.0	10.0	ⓑ	23.0	17.9	10.0	7.0	7.0	14.0	10.0	Ⓒ	23.0	17.9	10.0	17.0	7.0	14.0	10.0

Cast Iron Conduit Box

Special Conduit Box, XG=11.0						Special Conduit Box, XG=14.0									
AA	AB	AC	AF	XH	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XL				
ⓐ	23.0	17.5	10.0	9.0	7.5	15.3	9.8	ⓑ	26.0	19.4	13.0	10.0	10.0	18.8	12.9

- Manufacturers allowance $\pm .000$ - $.001$
- Dimensions V & F represent usable length of shaft.
- Motors are factory balanced with a half key of length c per NEMA MG-1-12.06
- Shaft height dimension may be $\pm .000$ - $.060$. When exact dimension is required shafts up to $.060$ inch may be necessary.
- Conduit boxes may be rotated in steps of 90° around center determined by dimension AD and 14.5 inches above the foot.
- Customer should specify either fabricated steel or cast iron conduit box, identifying box by "XG" dimension. If the special size of conduit, we will

drill clearance hole in fabricated steel box or bore top hole in cast iron box for size conduit specified. Dimensions XH & XL represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AC & AD represent center of this area. If conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box undrilled.

ⓐ Flange shaft extension furnished only when specially ordered.

Note: Sleeve bearings 5006 frame series motors for coupled service (frame suffix H, S & L) have end play as follows:

3000 rpm: synchronous speed and above have $\frac{1}{8}$ inch minimum end play. At or below have $\frac{1}{16}$ inch minimum end play.

Use of limited end float couplings are required on all sleeve bearing motors as recommended by NEMA MG-1-14.38

Caution Note: Air inlet openings are in the ends of motor and air exhaust openings are on sides of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than B inches to motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure causes exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better $\pm .001$ limits of NEMA Standard MG-1-12.05. Vibration in service however is determined not only by balance of motor and driven but may be greatly affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer		Application				Customer Order	
G.O.	Item	PH	HZ	Volts			
Hp	Rpm	Style					
Frame	Enclosure						
Certified By	Date						

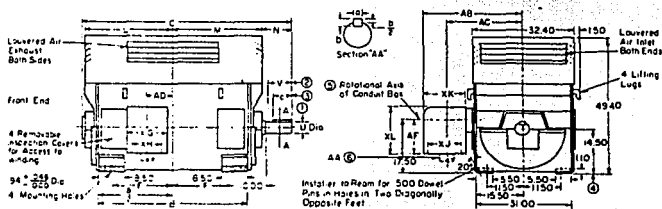


DS 120-003

New Information—June, 1991

**Squirrel Cage Motors
Drip-Proof and
Weather Protected Type I**

Short Shaft for Coupled Service
Split Sleeve Bearings
Frames 5806-5810
Speeds Above 1800 Rpm \odot



Dimensions, Inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved.
Applying to each frame number

Frame No.	B	C	F	L	V	AD	Rear Shaft Extension				Recommended Coupling Bore		Approx. WL, Pounds		
							U \odot	Key Size a	b	C \odot	N	V \odot		Min.	Max.
8808-H	38.00	53.50	14.00	23.68	23.68	5.80	2.875	.750	.750	4.00	6.06	5.50	2.872	2.873	3750
8809-H	42.00	57.50	16.00	25.68	25.68	7.80	2.875	.750	.750	4.00	6.06	6.50	2.872	2.873	4250
8810-H	45.00	61.50	18.00	27.68	27.68	9.80	2.875	.750	.750	4.00	6.06	6.50	2.872	2.873	4800

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box \boxtimes , XG=7.0

Special Conduit Box \boxtimes , XG=10.0

Special Conduit Box \boxtimes , XG=20.0

\boxtimes							\boxtimes							\boxtimes										
AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XL	XL		
28.4	23.2	10.0	4.0	7.0	14.0	10.0	28.4	23.2	10.0	7.0	7.0	14.0	10.0	28.4	23.2	10.0	17.0	7.0	14.0	10.0				

Cast Iron Conduit Box

Special Conduit Box \boxtimes , XG=11.0

Special Conduit Box \boxtimes , XG=14.0

\boxtimes							\boxtimes						
AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL
28.1	23.0	10.0	9.0	7.5	15.3	9.8	31.2	26.1	13.0	10.0	10.0	18.8	12.9

- Manufacturers name and size on end flange.
- Dimensions V represent usable shaft diameter.
- Motors are factory balanced with a tolerance of 10 mg per inch (1-12.0).
- Shaft height dimension may be increased to 100% of the standard dimension for 1/2" to 1 1/2" shafts. 100% may be necessary.
- Conduit boxes may be used in applications where center of rotation is above the motor.
- Customer should specify if they require steel or cast iron conduit box. Dimensions may vary depending on the specific application. The maximum height clearance for the motor is 100% of the shaft height for cast iron boxes. For steel boxes, it is 120%.

- Dimensions XH and XJ represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AC and AD represent center of this area.
- Conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box installed.
- Motors have unidirectional blowers. When ordering, location of rotation (clockwise or counter-clockwise) must be specified.
- Cast iron conduit boxes are normally supplied on weather protected type I motors. Drip-proof motors are supplied with fabricated steel conduit boxes unless otherwise specified.

Note: Motors have .50 inch minimum end play. Use of liming and limit coupling is required as recommended by NEMA MG-1-14.35.

Caution Note: Air inlet openings are in the ends of motor and air exhaust openings are in sides of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than 8 inches to motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure causes exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better the limits of NEMA Standard MG-1-12.05. Variations in service, however, is deemed not to be affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration, a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer		Item			Application		Customer Order		
G.O.									
Hp		Rpm			PH		HZ		Volts
Frame	Enclosure			Style					
Certified By					Date				

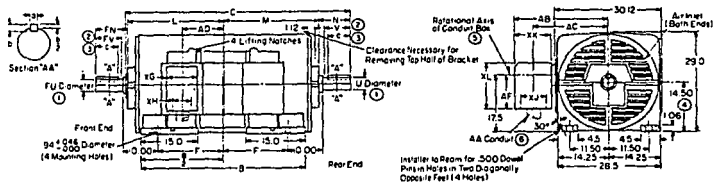


DS 120-004

New Information—June, 1991

Squirrel Cage Motors Drip-Proof and Weather Protected Type I

Short Shafts for Coupled Service
Anti-Friction, Split and Solid Sleeve Brgs.
Frames 580B-5810
1800 Rpm and Slower



Dimensions, inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved.
Applying to each frame number

Frame No.	B	C	F	L	M	AD	Rear Shaft Extension				Front Shaft Extension				Recommended Coupling Bore		Approx. Wt. Pounds				
							UD	N	V	W	FUD	FN	FV	FW	Min.	Max.					
580B-5	39.00	54.50	14.00	23.68	23.68	8.62	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.3720	3.3730	3630
580B-L	39.00	55.50	14.00	23.68	23.68	8.62	3.875	1.000	1.000	8.00	8.06	7.50	3.875	1.000	1.000	8.00	8.06	7.50	3.8720	3.8730	4100
580A-5	43.00	58.50	16.00	25.68	25.68	10.82	3.375	.875	.875	5.00	7.06	8.50	3.375	.875	.875	5.00	7.06	8.50	3.3720	3.3730	4348
580A-L	43.00	59.50	16.00	25.68	25.68	10.82	3.875	1.000	1.000	6.00	8.06	7.50	3.875	1.000	1.000	6.00	8.06	7.50	3.8720	3.8730	4650
5810-5	47.00	62.50	18.00	27.68	27.68	12.82	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.3720	3.3730	4905
5810-L	47.00	63.50	18.00	27.68	27.68	12.82	3.875	1.000	1.000	6.00	8.06	7.50	3.875	1.000	1.000	6.00	8.06	7.50	3.8720	3.8730	5100

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box, XQ=7.0								Special Conduit Box, XQ=10.0				Special Conduit Box XQ=20.0											
AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK
26.9	21.8	10.0	4.0	7.0	14.0	10.0	9.8	28.9	21.8	10.0	7.0	14.0	10.0	9.8	28.9	21.8	10.0	17.0	7.0	14.0	10.0	10.0	10.0

Cast Iron Conduit Box

Special Conduit Box, XQ=11.0								Special Conduit Box, XQ=14.0							
AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK
26.9	21.4	10.0	3.0	7.5	15.3	9.8	9.8	28.8	23.3	13.0	10.0	10.0	18.8	12.9	

- Manufacturers allowance + 0.000" - 0.001"
- Dimensions V & FV represent usable length of shaft.
- Motors are factory balanced with a half inch key length c per NEMA 1-12.05.
- Shaft height dimension may be + 0.000" - 0.000" When exact dimension is required, assume up to 0.000 inch may be necessary.
- Conduit boxes may be installed in steps of 90° around center determined by dimension AD.
- Customer should specify either fabricated steel or cast iron conduit box, identifying box by "XQ" dimension. If he specifies size of conduit, we will drill clearance hole in fabricated steel box or pipe top hole in cast iron box for size conduit he specifies.

Dimensions XH & XJ represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AC & AD represent center of this area.

If conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box undrilled.

Front shaft extension furnished only when specially ordered.

Notes: Sleeve bearing 5800 frame series motors for coupled service, (frame suffix S & L) have end play as follows:
1500 rpm synchronous speed and above have 1/8 inch minimum end play. All others have 1/4 inch minimum end play.

Use of limited end float couplings are required on all sleeve bearing motors as recommended by NEMA MG 1-14.3B.

Caution Note: All inlet openings are in the ends of motor and air exhaust openings are in sides of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than 8 inches to motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure causes exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better the limits of NEMA Standard MG1-12.05. Vibration in service, however, is determined not only by balance of motor and driven unit but may be greatly affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration, a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer				Customer Order			
G.O.	Item	Application	PH	HZ	Volts		
Hp	Rpm	Style	PH	HZ <td>Volts</td> <td colspan="2"></td>	Volts		
Frame	Enclosure	Style	PH	HZ <td>Volts</td> <td colspan="2"></td>	Volts		
Certified By	Date						

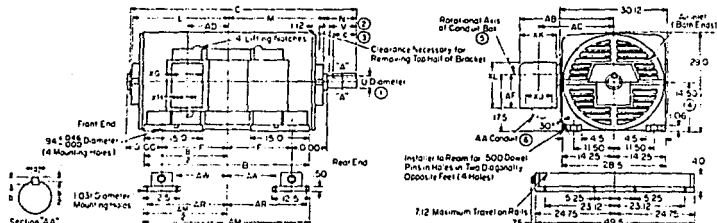


DS 120-005

New Information—June, 1991

Squirrel Cage Motors Drip-Proof and Weather Protected Type I

Long Shafts for Belted Service
Anti-Friction Bearings
Frames 5808-5810



Dimensions, Inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved.

Applying to each frame number

Frame No.	B	C	F	L	M	AD	Rear Shaft Extension			Slide Rails			Recommended Hub Bore		Approx. Wt. Pounds Motor	Rat. Pounds			
							U ^①	Key Size	N	V ^②	AM	AN	AW	Min.			Max.		
5808-U	39.00	60.12	14.00	23.68	23.68	8.62	4.125	1.000	1.000	10.82	12.88	12.12	4.050	19.275	8.775	4.1315	4.1225	4065	310
5808-B	39.00	63.36	14.00	23.68	23.68	8.62	4.875	1.250	1.250	12.88	14.94	14.38	4.050	19.275	8.775	4.8715	4.8725	4205	310
5809-U	43.00	64.12	16.00	25.68	25.68	10.62	4.125	1.000	1.000	10.62	12.68	12.12	44.50	21.25	10.75	4.1315	4.1225	4615	310
5809-B	43.00	66.36	16.00	25.68	25.68	10.62	4.875	1.250	1.250	12.88	14.94	14.38	44.50	21.25	10.75	4.8715	4.8725	4755	310
5810-U	47.00	68.12	18.00	27.68	27.68	12.62	4.125	1.000	1.000	10.62	12.68	12.12	48.80	23.25	12.75	4.1315	4.1225	5060	310
5810-B	47.00	70.36	18.00	27.68	27.68	12.62	4.875	1.250	1.250	12.88	14.94	14.38	48.80	23.25	12.75	4.8715	4.8725	5200	310

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box, XG=7.0

Special Conduit Box, XG=10.0

Special Conduit Box, XG=20.0

AA	AB	AC	AF	AH	XJ	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL
①	26.9	21.8	100	4.0	7.0	14.0	10.0	7.0	7.0	14.0	10.0	②	26.9	21.8	100	7.0	7.0	14.0	10.0

Cast Iron Conduit Box

Special Conduit Box, XG=11.0

Special Conduit Box, XG=14.0

AA	AB	AC	AF	AH	XJ	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	XL	
③	26.7	21.4	100	9.0	7.5	15.3	9.6	④	29.8	23.3	13.0	10.0	10.0	18.8	12.8					

① Manufacturer's allowance + CCG - C51.

② Dimension V represents inside length of shaft.

③ Motor and V represent shaft with a half key. All lengths in feet (NEMA 1-12.06).

④ Shaft height dimension may be + CCG - CCG.

⑤ Other excitation mechanisms required should be up to CCG.

⑥ Conduit Boxes are designed to support 250 lbs. around center determined by dimension AD.

⑦ Customer should specify either fabricated steel or

cast iron conduit box, identifying box by "XG" dimension. If no specific size of conduit, we will drill clearance hole in fabricated steel box or pipe flange hole in cast iron box for size conduit the specific dimensions AH & XJ represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AC & AD represent center of this area.

If conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box un-drilled.

⑧ Side rails furnished only when specially ordered.

Caution Note: Air inlet openings are in the ends of motor and an exhaust opening is in back of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than B inches to motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure causes exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better the limits of NEMA Sign-Jang IJG1-12.05. Vibration in service, however, is determined not only by balance of motor and driven unit but also by greater affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration, a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer			Customer Order			
G.O.		Item	Application			
Hp		Rpm	PH	HZ	Volts	
Frame	Enclosure		Style			
Certified By			Date			

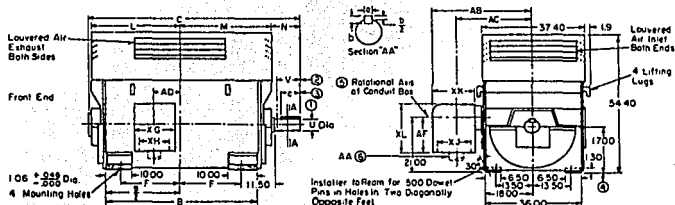


DS 120-006

New Information—October, 1990

Squirrel Cage Motors Drip-Proof and Weather Protected Type I

Short Shafts for Coupled Service
Split Sleeve Bearings
Frames 6806-6810
Speeds Above 1800 Rpm[Ⓢ]



Dimensions, Inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved. Applying to each frame number

Frame No.	B	C	F	L	M	AD [Ⓢ]	Rear Shaft Extension				N	V [Ⓢ]	Recommended Coupling Bore		Approx. Wt., Pounds
							U [Ⓢ]	Key Size	a	b			c [Ⓢ]	Min.	
6808-H	47.30	65.34	18.00	29.00	29.00	8.50	3.375	.875	.875	5.00	7.26	8.50	3.3720	3.3730	5750
6809-H	51.30	69.34	20.00	31.00	31.00	10.50	3.375	.875	.875	5.00	7.26	8.50	3.3720	3.3730	6200
6810-H	56.30	74.34	22.50	33.50	33.50	13.00	3.375	.875	.875	5.00	7.26	8.50	3.3720	3.3730	7050

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box [Ⓢ] , XG=8.0						Special Conduit Box [Ⓢ] , XG=13.0						Special Conduit Box [Ⓢ] , XG=28.6											
AA	AB	AC	AF	XH	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	
Ⓢ 23.8	27.2	14.0	5.0	10.0	18.0	13.0	Ⓢ 33.9	27.2	14.0	10.0	10.0	18.0	13.0	Ⓢ 33.9	27.2	14.0	23.0	10.0	18.0	13.0			

Cast Iron Conduit Box

Special Conduit Box [Ⓢ] , XG=11.0						Special Conduit Box [Ⓢ] , XG=14.0								
AA	AB	AC	AF	XH	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK
Ⓢ 30.7	25.4	10.0	9.0	7.5	15.3	9.8	Ⓢ 33.8	27.3	13.0	10.0	10.0	18.8	12.9	

- Ⓢ 1 manufacturer's allowance +.000" - .001"
- Ⓢ 2 Dimension V represents usable length of shaft
- Ⓢ 3 Motors are factory balanced with a half key of length c per NEMA MG 1-12.06.
- Ⓢ 4 Shaft height dimension may be +.000" - .060". When exact dimension is required, shims up to .060 inch may be necessary.
- Ⓢ 5 Conduit boxes may be rotated in steps of 90° around center determined by dimension AD, and 71.0 inches above the foot.
- Ⓢ 6 Customer should specify either fabricated steel or cast iron conduit box, identifying box by "XG"

dimension. If he specifies size of conduit, we will drill clearance hole in fabricated steel box or pipe tap hole in cast iron box for size conduit he specifies. Dimension XH & XJ represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AC & AD represent center of this area. If conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box undrilled.

Ⓢ 7 Motors have unidirectional blowers. When ordering, direction of rotation looking at front end must be specified.

Note: Motors have .50 inch minimum end play. Use of limited end float coupling is required as recommended by NEMA MG 1-14.38

Caution Note: Air inlet openings are the ends of motor and an exhaust openings are the sides of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than 9 inches to the motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure causes exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better the limits of NEMA Standard MG 1-12.05. Vibration in service, however, is determined not only by balance of motor and driven unit but may be greatly affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration, a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer			Customer Order		
G.O.	Item	Application			
Hp	Rpm	PH	HZ	Volts	
Frame	Enclosure	Style			
Certified By		Date			

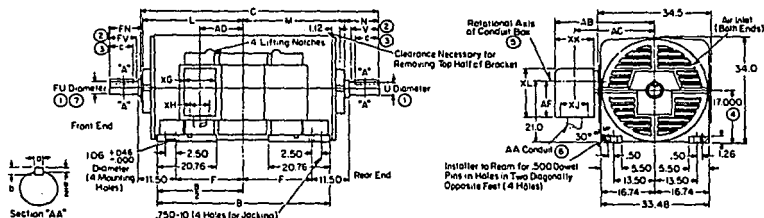


Squirrel Cage Motors Drip-Proof and Weather Protected Type I

Short Shafts for Coupled Service
Anti-Friction and Split Sleeve Bearings
Frames 6808-6810
1800 Rpm and Slower

DS 120-007

New Information—October, 1990



Dimensions, Inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved.

Applying to each frame number

Frame No.	A	C	F	L	M	AD	Rear Shaft Extension				Front Shaft Extension				Recommended Coupling Bars		Approx. Wt., Pounds
							U	V	N	W	U	V	N	W	Min.	Max.	
6808-B	48.50	67.34	18.00	28.00	29.00	10.38	4.378	1.00	1.00	7.00	9.28	8.50	4.3718	4.3725	5830		
6808-L	48.50	68.34	18.00	28.00	29.00	10.38	4.875	1.25	1.25	8.00	10.38	8.50	4.8718	4.8725	8160		
6809-B	52.50	71.34	20.00	31.00	31.00	12.38	4.375	1.00	1.00	7.00	9.28	8.50	4.3718	4.3725	6770		
6809-L	52.50	72.34	20.00	31.00	31.00	12.38	4.875	1.25	1.25	8.00	10.38	8.50	4.8718	4.8725	6900		
6810-B	57.50	76.34	22.50	33.50	33.50	14.88	4.375	1.00	1.00	7.00	9.28	8.50	4.3718	4.3725	7320		
6810-L	57.50	77.34	22.50	33.50	33.50	14.88	4.875	1.25	1.25	8.00	10.38	8.50	4.8718	4.8725	7600		
6810-1	57.50	78.58	22.50	33.50	33.50	14.88	5.900	1.25	1.25	9.25	11.50	10.75	5.9865	5.9875	7750		

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box, XG = 8.0

AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK
ⓐ	32.4	25.8	14.0	5.0	10.0	18.0	13.0	ⓐ	32.4	25.8	14.0	10.0	10.0	18.0	13.0

Cast Iron Conduit Box

Special Conduit Box, XG = 11.0

AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XK
ⓐ	29.2	23.9	10.0	9.0	7.5	15.3	9.8	ⓐ	22.3	25.8	13.0	10.0	10.0	18.0	12.9

- ⓐ Manufacturers allowance +.000" - .001".
- ⓑ Dimensions V & FV represent usable length of shaft.
- ⓒ Motors are factory balanced with a half key of length 5/8 per NEMA 1-11.20.
- ⓓ Shaft height dimension may be +.000" - .060". When exact dimensions are required, shims up to .060 inch may be necessary.
- ⓔ Conduit boxes may be rotated in steps of 90° around center determined by dimension AD and 21.0 inches above the foot.
- ⓕ Customer should specify either fabricated steel or cast iron conduit box, identifying box by XG dimension. If he specifies size of conduit, we will give clearance holes in fabricated steel box or pipe to allow a cast iron box for type conduit he specifies. Dimensions XH & XJ represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AC & AD represent center of this area.
- ⓖ If conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box un-drilled.
- ⓗ Front shaft extension furnished only when specially ordered.
- ⓓ This frame suffix is used on 1200 rpm and slower only.

Note: All sleeve bearing motors on 6800 frame series have 1/2 inch minimum end play.

Use of limited end float couplings are required on all sleeve bearing motors as recommended by NEMA MG 1-14.38.

Caution Note: Air inlet openings are in the ends of motor and air exhaust openings are the sides of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than 5 inches to the motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure causes exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better the limits of NEMA Standards MG 1-12.05 Vibration in service. However, it is determined not only by balance of motor and driven unit but may be greatly affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration, a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer				Customer Order		
G.O.	Item	Application	PH	HZ	Volts	
Hp	Rpm	Style				
Frame	Enclosure					
Certified By	Date					

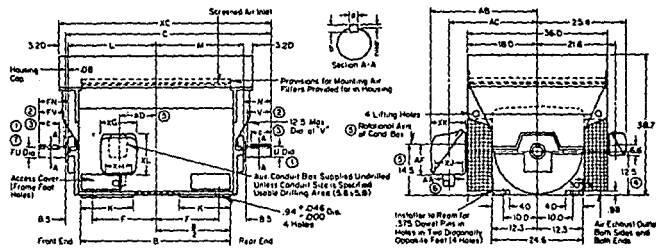


DS 120-008

New Information - August, 1990

Squirrel Cage Motors Weather Protected Type II

Short Shafts for Coupled Service
Split Sleeve and Anti-friction Bearings
Frames 5006-5010
1800 Rpm and slower



Dimensions, Inches Not to be used for construction purposes unless dimensions are approved. Applying to each frame number

Frame No.	B	C	F	K	L	M	AG	XC	Shaft Extension				Recommended Coupling Bore		Approx. Wt., Pounds		
									UD	EE	FN	VD	Min.	Max.			
5004-S	29.8	42.50	10.00	11.30	18.18	18.18	7.50	45.82	2.675	.750	.750	4.00	5.06	5.50	2.8770	2.8730	2800
5006-L	29.8	43.50	10.00	11.30	18.18	18.18	7.50	48.82	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.3170	3.3730	3000
5008-S	34.8	47.50	12.50	13.80	20.68	20.68	7.38	50.82	2.875	.750	.750	4.00	6.08	5.50	2.8770	2.8730	3100
5008-L	34.8	48.50	12.50	13.80	20.68	20.68	7.38	51.82	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.3770	3.3730	3300
5009-S	37.6	50.50	14.00	13.80	22.18	22.18	8.88	53.82	2.875	.750	.750	4.00	6.08	5.50	2.8770	2.8730	3500
5009-L	37.6	51.50	14.00	13.80	22.18	22.18	8.88	54.82	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.3770	3.3730	3600
5010-S	41.6	54.50	16.00	13.80	24.18	24.18	10.88	57.82	2.675	.750	.750	4.00	6.08	5.50	2.8770	2.8730	3850
5010-L	41.6	55.50	16.00	13.80	24.18	24.18	10.88	58.82	3.375	.875	.875	5.00	7.06	6.50	3.3170	3.3730	3900

Fabricated Steel Conduit Box

Standard Conduit Box, XG=7.0										Special Conduit Box, XG=10.0										Special Conduit Box, XG=20.0									
AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XL	XL	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XL	XL	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XL	XL	XL
28.5	23.4	10.0	4.0	7.0	14.0	10.0	10.0	10.0	10.0	28.5	23.4	10.0	7.0	7.0	14.0	10.0	10.0	10.0	10.0	28.5	23.4	10.0	17.0	17.0	17.0	14.0	10.0	10.0	10.0

Cast Iron Conduit Box

Standard Conduit Box, XG=11.0										Special Conduit Box, XG=14.0									
AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XL	XL	XL	AA	AB	AC	AF	XH	XJ	XL	XL	XL	XL
28.5	23.0	10.0	9.0	7.5	15.3	9.8	10.0	10.0	10.0	31.4	25.0	13.0	10.0	10.0	18.8	12.9	10.0	10.0	10.0

- Manufacturers allowance $\pm .000$ - $.001$
- Dimensions V & FV represent usable length of shaft
- Motors are factory balanced with a half inch of length c per NEMA AG-1-12.06
- Shaft height dimension may be $\pm .000$ - $.010$ when exact dimension is required, shims up to .040 inch may be necessary
- Conduit boxes will be raised in steps of 30° around center determined by dimension AD, and 74.5 inches above the feet
- Cast iron conduit boxes are standard. Fabricated steel conduit boxes are available when ordered. Customer should specify conduit box identifying box desired by 'FG' dimension if the specifies

- size of conduit, we will tap hole in cast iron box or drill clearance hole in fabricated steel box for size conduit he specifies.
- Dimensions XH & XJ represent usable drilling area for customer's conduit. Dimensions AG & AD represent center of this area.
- If conduit opening (AA) is not specified on the order, motor will be shipped with conduit box undrilled.
- Front shaft extension furnished only when specifically ordered.
- Note: Sleeve bearings 5000 frame series motors for coupled service (frame suffix S & L) have a inch minimum end play.

Use of limited and hot couplings are required on all sleeve bearing motors as recommended by NEMA MG-1-14.38

Caution Note: Air inlet openings are in the sides of motor and air exhaust openings are in ends of motor. When installing motor, avoid locating motor so that adjacent structures are closer than 6 inches to motor ends and sides. Also make certain that no adjacent structure covers exhaust air to be directed from exhaust openings into inlet openings.

Caution Note: All motors are dynamically balanced to meet or better the limits of NEMA Standard MG-1-12.05. Vibration in service, however, is determined not only by balance of motor and driven unit but may be greatly affected by the base on which they are mounted. To minimize vibration, a rigid base must be provided for motor and driven unit.

Approval

Customer				Customer Order			
G.O.	Item		Application				
Hp	Rpm		PH	HZ	Volts		
Frame	Enclosure		Style				
Certified By	Date						

ANEXO II

Tiempo Estimado	E / D	Exigencias	Responsable
	E	Determinar el objetivo general y específico.	JMV
	E	Encontrar las pruebas críticas al diseño.	JMV
	E	Determinar las dimensiones críticas del motor.	JMV
	E	Características de las pruebas a simular.	JMV
	E	Determinar los parámetros físicos que rigen el análisis.	JMV
	E	Determinar cómo simular el torque.	JMV
	E	Cumplir la realización de pruebas con cargas reales por medio del Método Directo IEEE-Std. 112.	JMV
	E	Localizar la carga crítica a soportar por la mesa.	JMV
	E	Capacidad para simular los modelos 5000, 5800 y 6800 en la estructura de soporte.	JMV
		Determinar los nodos donde se ejerce la carga.	JMV
		Valores de densidad	JMV
		Determinar la acción de la gravedad en la simulación.	JMV
		Determinar el tipo de análisis a realizar.	JMV
	D	Presentar la distribución de esfuerzos gráficamente.	JMV
	D	Establecer la posibilidad de generalizar los programas.	JMV
		Presentar los resultados.	JMV

Figura 3.3 Lista de Exigencias General

Tiempo Estimado	E / D	Exigencias	Responsable
	E	Definir el tipo de elemento a utilizar	JMV
	E	Analizar cómo aplicar el torque según el elemento que se vaya a utilizar	JMV
	E	Determinar los grados de libertad de los apoyos.	JMV
	E	Presentar listados de programas	JMV
	E	Determinar el tipo de material a utilizar.	JMV
	E	Evaluar la posibilidad de simular un tipo de motor con sólo un modelo que rija a los demas.	JMV
	E	Determinar cuántos pasos de carga se requieren para simular correctamente la carga	JMV
	E	Minimizar las Instrucciones necesarias para simular el motor.	JMV
	E	Utilizar instrucciones de generación de nodos y de elementos.	JMV
		Determinar los ejes de simetría de haberlos	JMV
		Determinar el modelo que rige a todo el análisis	JMV
		Determinar el efecto de esta prueba en la industria.	JMV
		Evaluación de resultados.	JMV
	D	Realizar conclusiones.	JMV
	D	Realizar una presentación del trabajo realizado.	JMV

ANEXO III

REVISION DE CONCEPTOS E INSTRUCCIONES DEL ANSYS V. 5.0

El paquete de Elemento Finito, ANSYS V. 5.0, creado por *SWANSON ANALYSIS SYSTEMS*, es uno de los paquetes de análisis para ingeniería, disponible comercialmente, más avanzados del mundo.

La versión 4.4A, que anteriormente era la versión utilizada en el Centro de Cómputo de la Universidad Panamericana, presentaba algunas deficiencias para el usuario pues las secciones de preproceso /PREP7 y POST1, de postproceso presentaban diferentes bases de datos para su correcta operación, además toda la información se manejaba con base en los diferentes tipos de archivos y, dependiendo de la necesidad, se tenían que cargar a memoria los archivos deseados. Otra de las limitaciones que presentaba esta versión era el manejo de los diferentes tipos de cargas y condiciones iniciales que podían ser aplicados a un modelo, siendo necesario establecer diferentes soluciones para cada caso a evaluar.

La versión 5.0 presenta diversas mejoras, las cuales serán descritas en este anexo, además de una breve descripción de las instrucciones utilizadas en esta tesis.

En esta nueva versión se presentan tres secciones la de Preproceso conocida como /PREP7, la de solución /SOLU y la de Postproceso /POST1. Estas tres secciones utilizan una misma base de datos la cual es residente en memoria.

La fase de solución presenta su propio procesador llamado *solution*, y del cual se pueden utilizar las siguientes instrucciones para entrar y salir del proceso:

/SOLU Para entrar

FINISH Para salir

En esta versión, el comando *SAVE* se utiliza para salvar la base de datos y para resumirla utilizamos el comando *RESUME*, los cuales pueden ser utilizados en cualquier nivel de ejecución del programa, característica que no poseían las versiones anteriores, de igual manera se pueden utilizar las opciones de *PLOT*, *LIST*, y *SELECT*.

Aunque en esta versión la base de datos se encuentra residente en la memoria de la computadora, al momento de realizar un comando *SAVE* se forman archivos que contienen diferente tipo de información los cuales son:

- BASE DE DATOS FILE.DB
- ARCHIVO LOG FILE.LOG
- ARCHIVO DE ERRORES FILE.ERR
- MATRIZ DE ELEMENTOS FILE.EMAT
- ARCHIVO DE GRAFICAS FILE.GRPH
- MATRIZ TRIANGULARIZADA FILE.TRI
- RESULTADOS ESTRUCTURALES FILE.RST
- RESULTADOS TERMICOS FILE.RTH
- RESULTADOS MAGNETICOS FILE.RMG

El prefijo *FILE* se define con la instrucción */FILENAME, NAME* en el nivel *BEGIN*, que posteriormente se describirá.

Al término de nuestra sesión con ANSYS 5.0 será necesario utilizar la instrucción */EXIT, ALL* con esta instrucción el paquete automáticamente salva la base de datos, los resultados y las diferentes gráficas utilizadas en el postproceso para un resumen posterior de todo el trabajo realizado, de no utilizar el término *ALL* solamente guardará en files la base de datos del modelo.

Después de conocer algunas de las mejoras a la versión 5.0 describiremos el proceso de utilización de este paquete, los niveles de aplicación y sus características.

PROCEDIMIENTO TÍPICO EN LA UTILIZACIÓN DE ANSYS 5.0

Las tres fases que conforman a la solución de un problema utilizando el paquete ANSYS V. 5.0 son:

a) Construcción del modelo

Para construir cualquier modelo en elemento finito habrá que determinar lo siguiente:

1. NOMBRE DEL TRABAJO y TÍTULO DEL ANALISIS.

Estas dos instrucciones deberán ser determinadas en el nivel de comienzo o global, que se denomina como *BEGIN LEVEL*, las instrucciones para realizar estas funciones son */FILENAME*, seguido del nombre del archivo y */TITLE*, seguido de una descripción del problema a solucionar.

2. TIPOS DE ELEMENTOS Y CONSTANTES REALES.

Un vez dado el nombre del trabajo a realizar y el título del mismo podemos comenzar con la parte de modelado del problema, para esto será necesario entrar a la sección de Preproceso o /PREP7, una vez que aparece el renglón de instrucciones podemos seleccionar entre 100 diferentes tipos de elementos finitos que nos permitirán simular las características mecánicas, térmicas, de vibración, entre otras de problemas para sólidos, con materiales compuestos, o de fluidos. La manera de seleccionar el tipo de elemento es a través de la instrucción "ET,X,Y" donde X es el número de elemento deseado, para utilizar más de un elemento tendrá que utilizarse la instrucción "TYPE,X" antes de definir los elementos que conformarán el modelo.

Para determinar, las características de el elemento a utilizar tenemos que definir una serie de parámetros conocidos como constantes reales o REAL CONSTANTS, entre estos parámetros se encuentran los esfuerzos iniciales, el área, la longitud, la tensión inicial, y pueden ser hasta sesenta y cuatro diferentes valores, de no definir estos parámetros el programa puede presentar valores de resultados fuera de toda lógica o no solucionar el problema. Las constantes se definen con la instrucción "R,X,Y...Z" donde X es el número del conjunto de constantes reales a utilizar y las letras Y..Z determinan los valores de estas constantes. Cuando se utiliza más de un conjunto de constantes reales, de tendrá que utilizar la instrucción "REAL,X" donde X es el número del conjunto seleccionado antes de definir un elemento en el modelo a evaluar.

3. PROPIEDADES DEL MATERIAL.

Así como seleccionamos los elementos para modelar correctamente el problema, será necesario seleccionar la propiedades del material que utilizaremos, para esto tendremos que definirlo con la instrucción "MP,X,Y,Z" donde X es el nombre de la propiedad del material a la cual le asignaremos un valor, la Y es el número del tipo de material que utilizaremos, en caso de utilizar más de un material, y la Z es el valor de la propiedad, cuando queremos cambiar de propiedades del material al fomar la geometría de nuestro modelo tenemos que utilizar la instrucción "MAT,Y" y todas la propiedades especificadas con este número serán las utilizadas.

4.GEOMETRIA DEL MODELO.

Después de definir el tipo de elementos a utilizar, las constantes reales y las características de los materiales aplicados, procedemos a realizar la definición de la geometría del modelo con base en nodos, los cuales son definidos por medio de coordenadas en un sistema bidimensional o tridimensional, la instrucción utilizada es "N,W,X,Y,Z" donde W es el número de nodo por definir y la X, Y y Z son sus coordenadas en los ejes correspondientes. Sólo falta para completar la geometría los elementos que la integrarán, esto lo especificamos con la instrucción "E,h,i,j,k,...,o" donde la h,i,j,k,...,o representan los números de los nodos que determinarán el elemento.

Además de estas dos instrucciones básicas, existe una cantidad considerable de instrucciones de ayuda, es decir, instrucciones que facilitan la construcción del modelo. Para una referencia más amplia con respecto a estas instrucciones se recomienda consultar los manuales del ANSYS 5.0 en el Centro de Cómputo de la Universidad Panamericana.

b) Carga y Solución.

La aplicación de carga y el proceso de solución, son pasos que se realizan en la sección /SOLU_1, la cual posee su propio procesador de solución. Los pasos a seguir para lograr solucionar un problema son:

1. TIPO DE ANALISIS.

Este es uno de los puntos fundamentales para el correcto funcionamiento de el paquete, los diferentes tipos de análisis que podemos realizar en el ANSYS 5.0 son, Análisis Estático y Dinámico, Análisis Térmico, Análisis de Frecuencia y Análisis de Fluidos, aunque algunas versiones de ANSYS también presentan Análisis Electromagnético; para definir el tipo de análisis tenemos que utilizar la instrucción "ANTYPE,X" donde X es un número que indica el tipo de análisis a realizar.

2. APLICACION DE LAS CARGAS Y CONDICIONES DE FRONTERA.

En todo problema, será importante especificar las cargas, entendiéndose fuerza, voltajes, corrientes, etc, que intervendrán para lograr la evaluación de nuestro modelo. Las fuerzas, momentos, presiones o aceleraciones se determinan en diferentes instrucciones que posteriormente se describirán con detalle.

En la versión 5.0 se cuenta con pasos de cargas, o LOAD STEPS, los cuales dan la posibilidad de evaluar un mismo modelo con diferentes condiciones iniciales o cargas.

Para iniciar la solución del problema es necesario utilizar la instrucción *SOLVE*.

c) Obtención de Resultados.

La última fase es la de obtener los resultados de la solución, para este objetivo ANSYS cuenta con una sección llamada POST1 la cual se enfoca a la presentación de los resultados de manera numérica o gráfica de acuerdo con los deseos del usuario. Las diferentes instrucciones utilizadas en esta sección se presentan en la relación de instrucciones de este anexo.

Es muy importante tomar en cuenta que el análisis de un problema mediante la utilización de cualquier tipo de herramienta computacional requiere de un análisis minucioso, puesto que el hecho de que este tipo de paquetes solucionen la parte numérica del problema planteado, siempre estarán subordinados a la capacidad del ingeniero para identificar las variables y los datos de entrada, recordemos que en una computadora si entra basura, sale más basura.

DESCRIPCION DE INSTRUCCIONES UTILIZADAS EN LA GENERACION DE LOS MODELOS EVALUADOS.

a) NIVEL BEGIN

- **/CLEAR** Borra la Base de Datos residente en memoria, permitiendo comenzar un nuevo análisis.
- **/FILENAME** Indica el nombre del archivo de trabajo; la Base de Datos tendrá este nombre y sus archivos de resultados.
- **/PBC** Permite representar en la pantalla las condiciones de frontera, cargas y aceleraciones de un modelo dado.
- **/POST1** Instrucción de entrada al Nivel de Postproceso, Obtención de Resultados.
- **/PREP7** Instrucción de entrada al Nivel de Preproceso, Geometría del Modelo.
- **/SOLU** Instrucción de entrada al Nivel de Solución del Modelo.
- **/TITLE** Al utilizar esta instrucción, podemos establecer la descripción para el problema a solucionar. Esta descripción aparecerá en la gráfica que representa al modelo dentro del programa.
- **/UNITS** Utilizando esta instrucción podemos definir el sistema de unidades a utilizar, en esta tesis se utilizaron las unidades MKS.
- **/VIEW** Esta es una de las instrucciones de ayuda que nos permite visualizar en diferentes ángulos el modelo de elemento finito establecido.

b) NIVEL PREP7:

- **ET** Utilizado para determinar el tipo de elemento a utilizar, existen cien diferentes tipos de elementos.
- **MP** Significa Propiedades del Material y con esta instrucción podemos dar valores del Módulo de Young, densidad, esfuerzos iniciales, valores térmicos, etc.
- **TYPE** Utilizada para determinar el tipo de elemento a generar.
- **MAT** Utilizada para determinar el tipo de material empleado para la simulación, puede utilizarse tantos materiales como sea necesario.
- **N** Los nodos se definen con esta instrucción dando el número de nodo y sus coordenadas
- **NGEN** Utilizada para generar nodos según un patrón establecido dentro de la misma instrucción.
- **E** Los elementos se generan con esta instrucción seguida de los números de los nodos que conforman al elemento.
- **EGEN** Utilizada para generar Elementos según un patrón establecido dentro de la misma instrucción.
- **LOCAL** Define un eje dentro de otro para realizar simetrías con respecto al nuevo eje.
- **SYMM** Utilizada para realizar simetrías de nodos
- **ESYMM** Utilizada para realizar simetrías de elementos
- **CSYS** Regresa al eje principal del modelo y deja en espera al generado por la instrucción local
- **SAVE** Guarda la Base de Datos de la simulación
- **FINISH** Nos regresa al nivel BEGIN

c) Nivel SOLU:

- ANTYPE Define el tipo de análisis a realizar según los tipos de análisis antes mencionados
- ACEL Define el valor de la aceleración y el sentido en el que actúa.
- /PBC Imprime las condiciones de frontera del modelo.
- D Determina los grados de libertad de un nodo
- F Determina la magnitud y el sentido de la fuerza a aplicar sobre un nodo determinado.
- SOLVE Comienza la solución del modelo.
- FINISH Nos regresa al nivel Begin.

ANEXO IV

MG 1-20.10**Rango de Caballos de Potencia y Velocidad**

El rango de Caballos de Potencia y velocidad Síncrona deberá ser como a continuación:

Rango de Caballos de Potencia

100	600	2500	9000	19000	45000
125	700	3000	10000	20000	50000
150	800	3500	11000	22500	55000
200	900	4000	12000	25000	60000
250	1000	4500	13000	27500	65000
300	1250	5000	14000	30000	70000
350	1500	5500	15000	32500	75000
400	1750	6000	16000	35000	80000
450	2000	7000	17000	37500	90000
500	2250	8000	18000	40000	100000

Rangos de Velocidad Síncrona, RPM a 60 Hertz*

3600	720	400	277
1800	600	360	257
1200	514	327	240
900	450	300	225

* A 50 hertz, las velocidad son 5/6 de las velocidades a 60 hertz.

Tabla 1.1 Rangos de Caballos de Potencia y Velocidades.

MG 1-20.12

Rangos de Voltaje.

Los voltajes deberán ser 460, 575, 2300, 4000, 4600, 6600 y 13200 volts, y aplican únicamente para circuitos que trabajen a 60 hertz.

Voltajes	Caballos de Potencia
450 o 575	100 a 600
2300	200 a 4000
4000 o 4600	400 a 7000
6600	1000 a 12000
13200	3500 a 25000

Tabla 1.2 Rangos de Voltajes.

No.	Elemento del Motor	Determinación de la temperatura	Tipo de Aislamiento.			
			A	B	F	H
1	Bobinas Aisladas					
	a Todos los rangos de Caballos de Potencia	Resistencia	60	80	105	125
	b 1500 hp o menos	Detector fijo	70	90	115	140
	c Mayores de 1500 hp					
	(1) 7000 volts o menos	Detector fijo	65	85	110	135
	(2) mayores a 7000 volts	Detector fijo	60	80	105	125
2	Las temperaturas soportadas por los núcleos, los embobinados de la Jaula de Ardilla y las escobillas no deberá lastimar el aislamiento de ninguna forma.					

Nota 1 - Estos valores de incremento en temperatura tienen su referencia a una temperatura de trabajo de 40 grados centígrados.

Nota 2 - Para temperatura de trabajo mayor de 40 grados centígrados y hasta 50 grados inclusive restar 10 grados a la tabla anterior.

Nota 3 - Para temperatura de trabajo mayor de 50 grados centígrados y hasta 60 grados inclusive restar 20 grados a la tabla anterior.

Tabla 1.3 Valores de incremento en Temperatura.

Bases Fundamentales del Método del Elemento Finito

INGENIERIA

MATEMATICAS

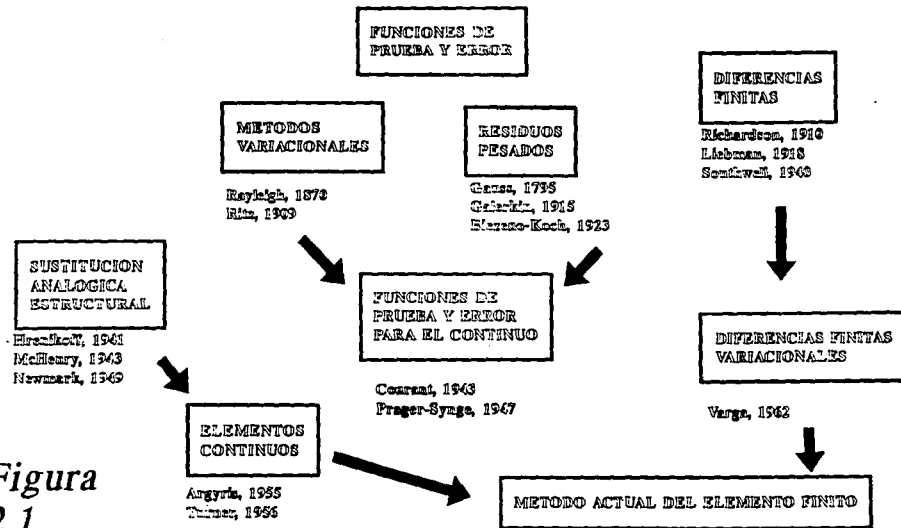


Figura 2.1

DESARROLLO HISTORICO DE COMPUTADORAS Y PAQUETES DE APLICACION "MEF"

- 1994 → *Continúa el avance en Programas de aplicación y equipo de cómputo.*
- 1990 → *El uso de mainframes facilita el acceso a programas de MEF.*
- 1981 → *Aparece la PC, desarrollo vertiginoso de la Industria.*
- 1979 → *Aparece la Hoja de Cálculo*
- 1977 → *Georgia continúa desarrollando el NASTRAN usado por la NASA.*
- 1970 → *Berkeley crea el Programa SAP*
- 1963 → *Programas de aplicación por Wilson*
- 1960 → *Primeras investigaciones por Clough*
- 1956 → *Primera publicación del MEF*
- 1946 → *Aparición de las primeras computadoras comerciales.*

Figura 2.2

SISTEMA MODERNO DE ANALISIS CON MEF

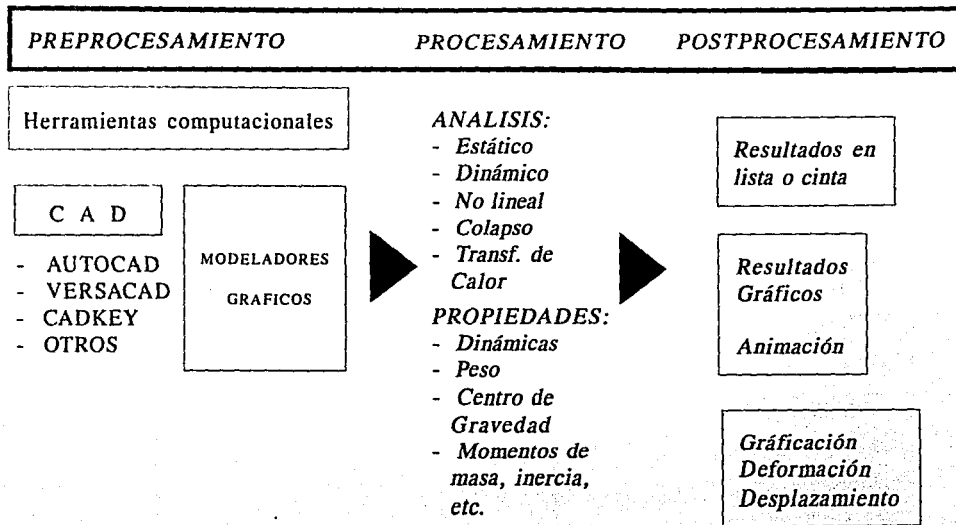


Figura 2.3

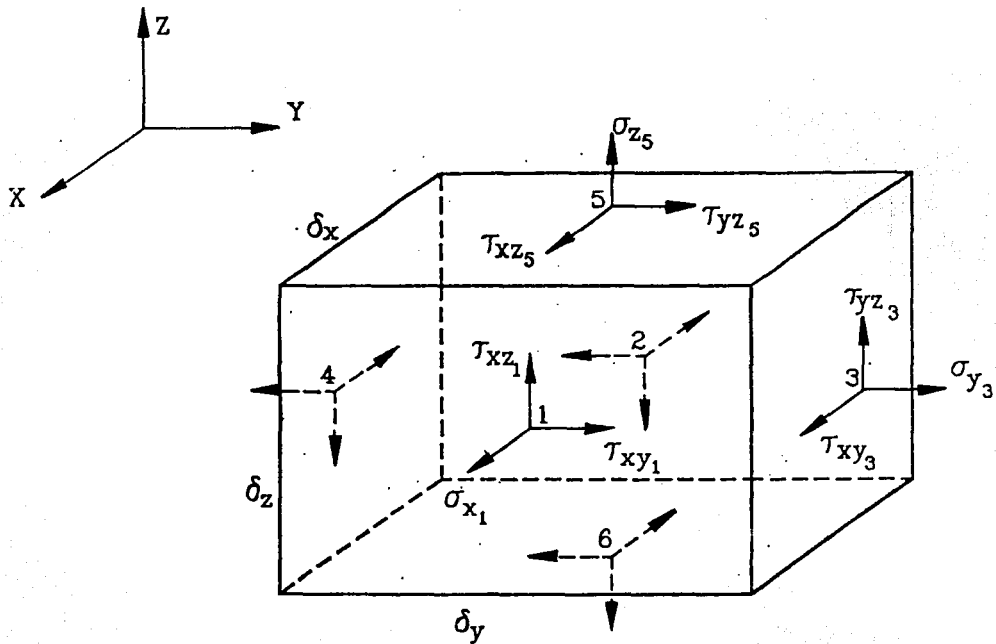


Figura 2.4 Cuerpo mostrando la aplicación de cargas

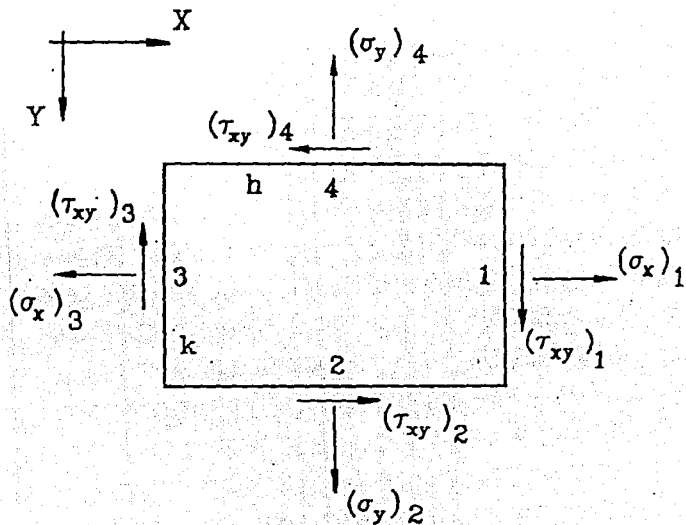


Figura 2.5 Localización de cargas para esfuerzo y deformación plana.

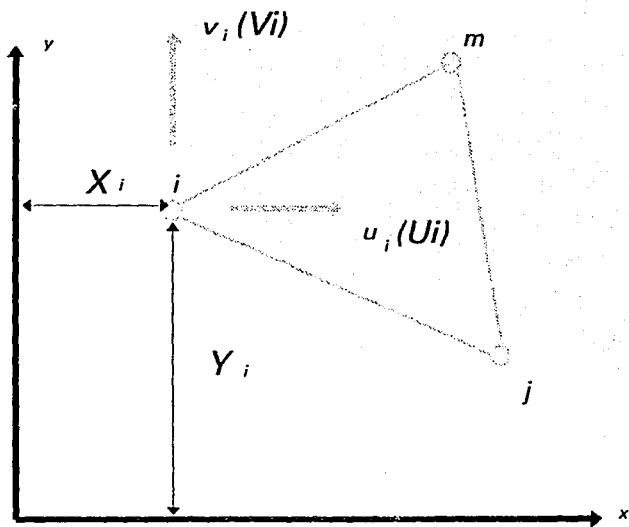


Figura 2.6 Elemento triangular típico de un continuum sometido a esfuerzo plano.

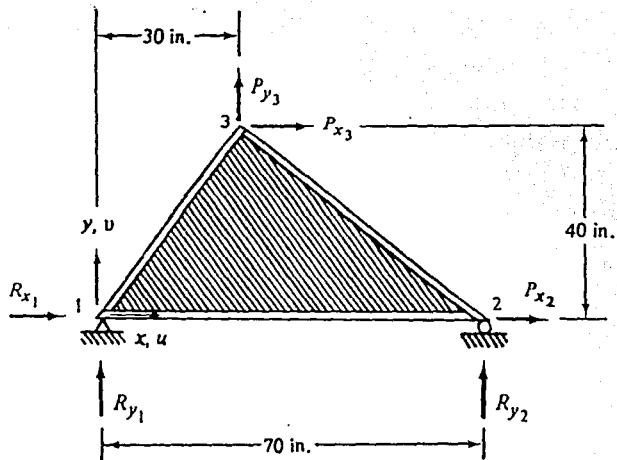


Figura 2.7 Ejemplo de aplicación.

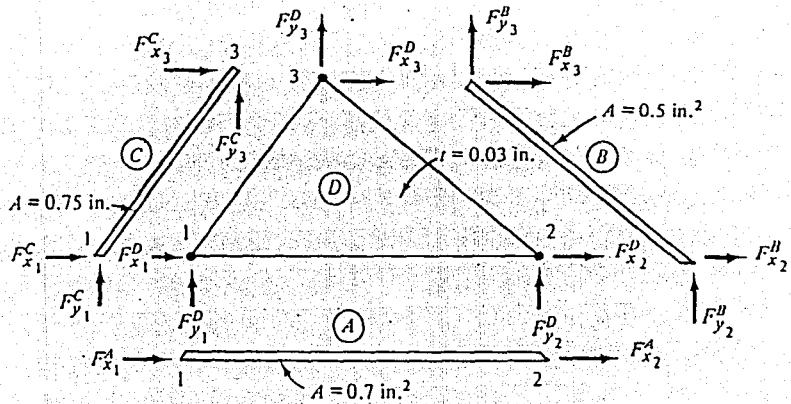


Figura 2.8 Separación de elementos y cargas aplicadas en el ejemplo de aplicación.

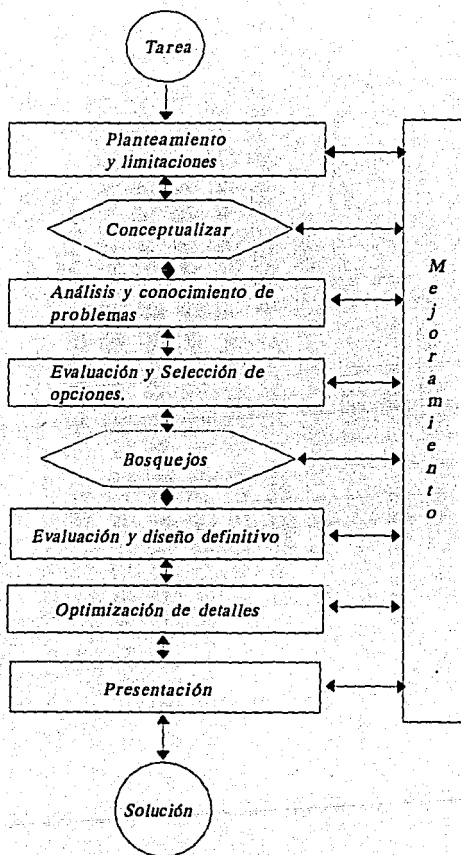


Figura 3.1 Metodología del Diseño Metódico.

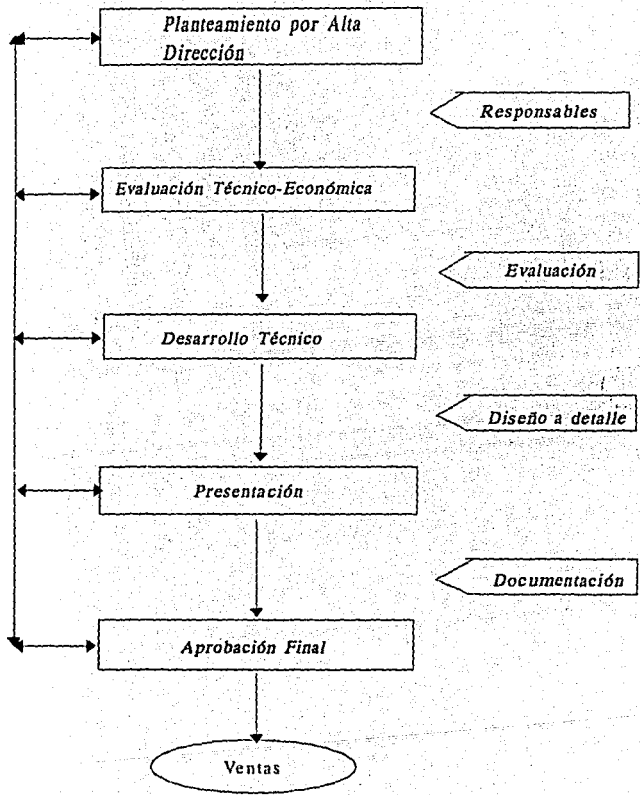


Figura 3.2 Metodología del Diseño Total

Modelo	Peso	Altura	Largo	Ancho	Volumen	Densidad
5006 U	1270.05	0.635	0.9235	0.635	0.3723763	347.67019
5006 S	1270.05	0.9845	0.9235	0.9845	0.8950934	144.63835
5006 L	1360.77	0.9845	0.9235	0.9845	0.8950934	154.96991
5008 U	1315.42	0.635	1.0505	0.635	0.4235879	316.557
5008 S	1408.14	0.9845	1.0505	0.9845	1.0181669	140.77711
5008 L	1498.85	0.9845	1.0505	0.9845	1.0181669	149.85864
5009 U	1482.84	0.635	1.1276	0.635	0.4546765	327.96334
5009 S	1587.57	0.9845	1.1267	0.9845	1.0922043	148.19179
5009 L	1655.61	0.9845	1.1267	0.9845	1.0922043	154.54299
5010 U	1551.29	0.635	1.2283	0.635	0.4952613	319.28027
5010 S	1746.33	0.9845	1.2283	0.9845	1.1905178	149.52782
5010 L	1789.01	0.9845	1.2283	0.9845	1.1905178	151.46957
TIPO I Modelos 5800						
5808 H	1700.97	1.2547	1.2029	0.7874	1.188406	145.90253
5808 S	1784.47	0.7366	1.2029	0.7239	0.641416	280.41772
5808 L	1850.72	0.7366	1.2029	0.7239	0.641416	284.12497
5808 U	1843.85	0.7366	1.2029	0.7239	0.641416	293.03316
5808 B	1907.35	0.7366	1.2029	0.7239	0.641416	303.12487
5809 H	1973.12	1.2547	1.3045	0.7874	1.2887818	156.06485
5809 S	1970.85	0.7366	1.3045	0.7239	0.6955917	288.82195
5809 L	2109.2	0.7366	1.3045	0.7239	0.6955917	309.09671
5809 U	2093.32	0.7366	1.3045	0.7239	0.6955917	306.76954
5809 B	2156.83	0.7366	1.3045	0.7239	0.6955917	316.07874
5810 H	2177.24	1.2547	1.4061	0.7874	1.3891576	159.76652
5810 S	2224.87	0.7366	1.4061	0.7239	0.7497673	302.48888
5810 L	2313.32	0.7366	1.4061	0.7239	0.7497673	314.51416
5810 U	2295.17	0.7366	1.4061	0.7239	0.7497673	312.04653
5810 B	2358.68	0.7366	1.4061	0.7239	0.7497673	320.88121
TIPO II Modelos 5800						
5808 H	1818.9	1.7084	1.2192	1.0922	2.2749229	81.502912
5808 S	1746.33	1.1303	1.2029	1.1582	1.5747326	113.04478
5808 L	1637.04	1.1303	1.3045	1.1582	1.7077385	109.65495
5809 H	2088.38	1.7084	1.3208	1.0922	2.4644998	85.552485
5809 S	1950.44	1.1303	1.2029	1.1582	1.5747326	126.25738
5809 L	2088.52	1.1303	1.3045	1.1582	1.7077385	124.54689
5810 H	2283.42	1.7084	1.4224	1.0922	2.6540768	86.932599
5810 S	2189.92	1.1303	1.2029	1.1582	1.5747326	142.40691
5810 L	2290.64	1.1303	1.3045	1.1582	1.7077385	136.73083

Tabla 4.1 Valor de densidad para los Modelos Horizontales 5000 y 5800

Modelo	Feso	Altura	Largo	Ancho	Volumen	Densidad
--------	------	--------	-------	-------	---------	----------

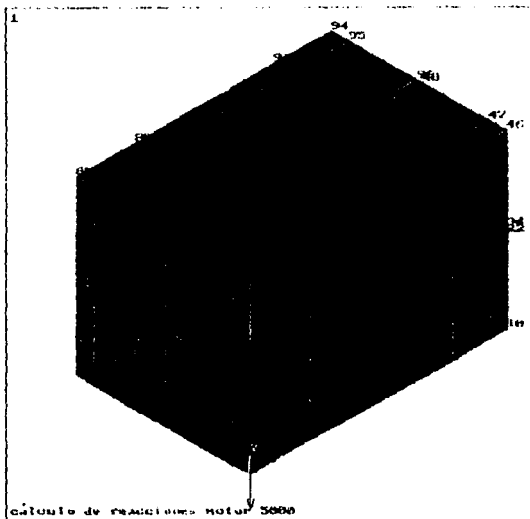
TIPO I Modelos 6800

6808 H	2608.15	1.3817	1.4732	0.9499	1.9335409	137.50238
6808 S	2644.44	0.8636	1.4732	0.8763	1.1148775	241.78957
6808 L	2794.12	0.8636	1.4732	0.8763	1.1148775	255.47528
6809 H	2812.27	1.3817	1.5748	0.9499	2.0668885	138.69824
6809 S	3070.82	0.8636	1.5748	0.8763	1.1917656	262.66034
6809 L	3129.78	0.8636	1.5748	0.8763	1.1917656	267.70344
6810 H	3197.82	1.3817	1.7018	0.9499	2.2335731	145.94353
6810 S	3320.29	0.8636	1.7018	0.8763	1.2878757	262.80465
6810 L	3447.3	0.8636	1.7018	0.8763	1.2878757	272.85763
6810 G	3492.66	0.8636	1.7018	0.8763	1.2878757	276.44793

TIPO II Modelos 6800

6808 H	2785.05	1.8354	1.4986	1.2192	3.3534467	84.658892
6809 H	2955.15	1.8354	1.6002	1.2192	3.580799	84.126065
6810 H	3329.36	1.8354	1.7272	1.2192	3.8649894	87.809891

Tabla 4.2 Valor de densidad para los Modelos Horizontales 6800



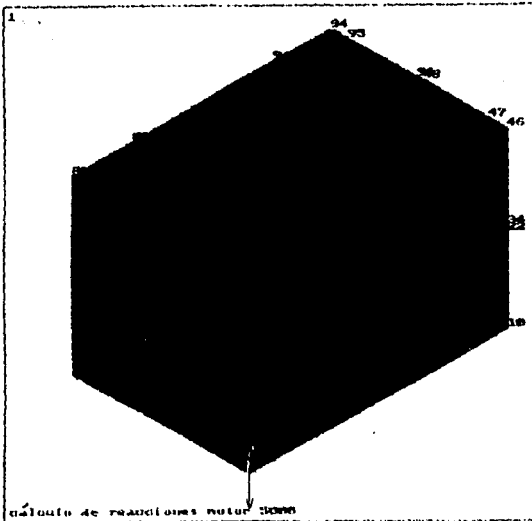
```

ANALYSIS 0.0
TIME 20.1799
15.10.10
PLOT NO. 1
DISPLACEMENT
STEP=1
SUB =1
TIME=1
RSYS=0
DMX =0.1571E-1
SEPC=97.507
U
F
MFOR
RFOR
ACEL

DECO=4272
XU =-1
YU =1
ZU =-1
DIST=0.669641
XY =0.3173
YF =0.317339
ZF =0.364922
CENTROID HIDDEN

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5000

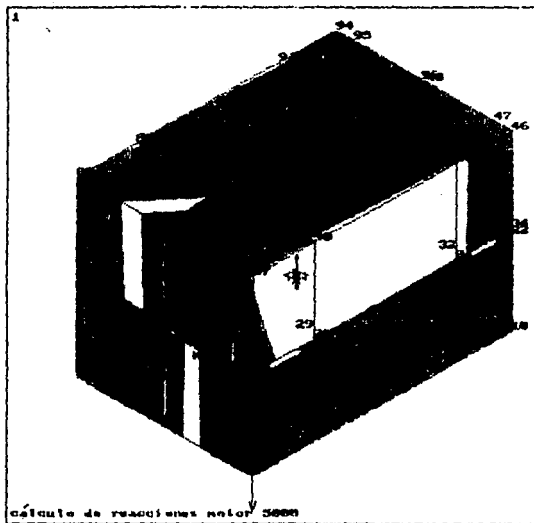


```

ANSYS 3.0
AUG 23 1993
15:23:42
FLYD NO. 4
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (MORUC)
RSYS=8
ROU =0.157E-04
SPR =-32828
SPR2=-0.382E+07
ROU =756.113
SPR2=0.533E+07
U
F
MFOR
RFOR
ACEL
-----
----- -32828
----- 54839
----- 142498
----- 238128
----- 317817
----- 483476
----- 493133
----- 588795
----- 668454
----- 756113

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5000

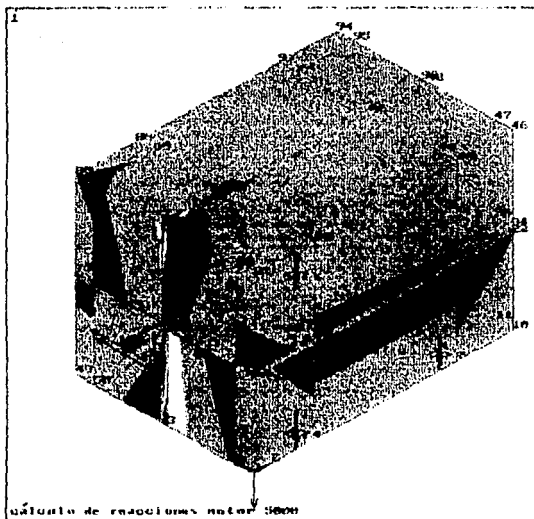


```

ANSYS 5.0
AUG 23 1993
15:20:33
PLOT NO. 5
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SV (NOAVC)
RMS=0
RMX =0.157E-04
RMY =-2.1957
RMO =-0.457E+07
RMX =15044
RMO =-0.456E+07
U
F
RFOR
RFOR
RCEL
-2.1957
-17790
-13623
-2437
-0390
-1.123
3844
7210
11377
15044

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5000

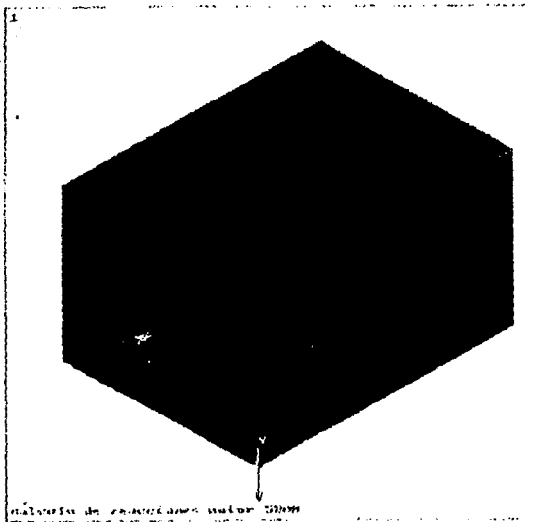


```

ANSYS 3.0
ARC 23 1997
15:23:59
PLOT NO. 6
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
ZZ (NOAUG)
RESYS=0
DMX =0.157E-04
SPN = -14646
SPNE = -0.459E+07
SMX = 18630
SMOE = 0.450E+07
U
F
RFOR
RFOR
ACEL
-----
----- -14646
----- -11916
----- -6993
----- -6133
----- -3324
----- -493.933
----- 2337
----- 5167
----- 7997
----- 18630

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5000

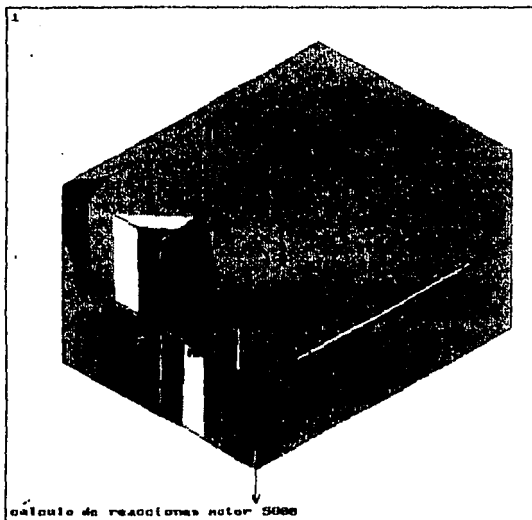


```

ANSYS 5.0
ARC 23 1993
16:04:59
PLOT 90, X
ELEMENT SURF150
STEP=1
S08 =1
TIME=1
SX
SYN=0 0100000
DPOX =0.311E+04
SP04 =-40177
S004 =-0.760E+07
S00X =0.120E+07
S00Z =0.1061+00
U
F
NFOR
RFOR
ACEL
-48177
123430
270072
466657
628324
800945
901370
0.115E+07
0.132E+07
0.150E+07

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5800

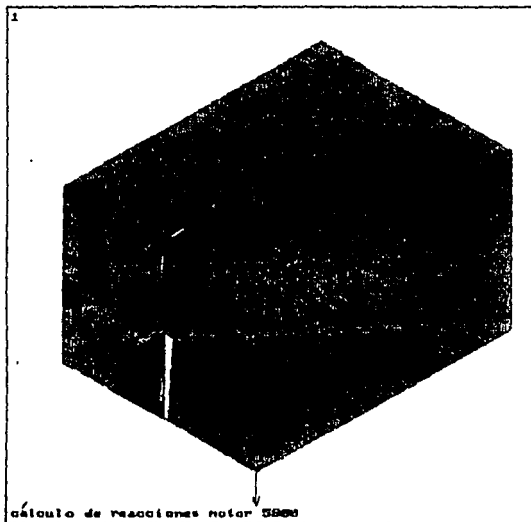


```

ANSYS 5.0
AUG 23 1993
16:03:07
PLOT NO. 3
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
BY (MORVC)
ESYS=8
MXX =-0.311E+04
MYY =-28257
MZZ =-0.309E+07
SPX =20123
SPY =-0.918E+07
U
F
NFOR
RFOR
ACEL
-28257
-22502
-17306
-12131
-4733
-1373
3326
3372
14747
20123

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5800



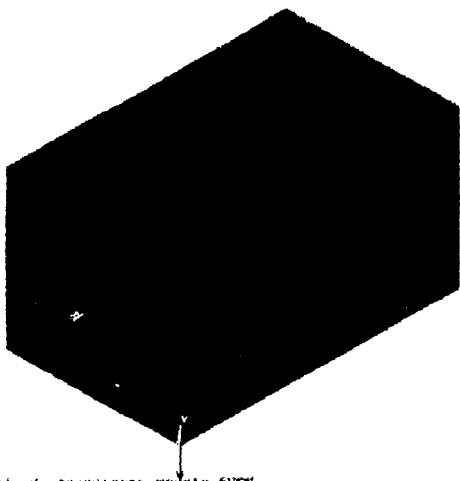
```

ANSYS 5.0
  AUG 23 1993
  16:00:12
  PLOT NO. 4
  ELEMENT SOLUTION
  STEP=1
  SUB =1
  TYPE=1
  SE (NOAUC)
  SEVS=0
  SPC =0.31E+04
  SPM =-20200
  SPCH=-0.918E+07
  SPC =15132
  SPC=0.918E+07
  U
  F
  NFOR
  RFOR
  ACEL
  -20200
  -16373
  -12349
  -0423
  -4497
  -071.236
  3000
  7200
  11200
  15132

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 5800

1



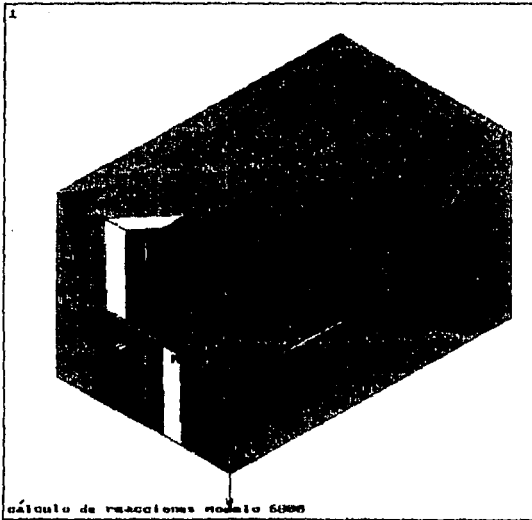
11/2/2011 10:06:00 AM C:\Program Files\Autodesk\Inventor 2011\bin\iisvcs.exe

```

ANSYS 3.9
ANSYS 3.9
16:43:00
PLOT NO. 2
ELEMENT 544 0.100
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SX (200.00)
RSTRT=0
DINC =0.0001 544
SPIN = 7.3041
SPIN = 0.0001 544
SIX = 0.0000007
SPIN = 0.0001 544
U
F
NFOR
RFOR
ACEL
0.0000 7.3041
0.0000 266.100
0.0000 606.012
0.0000 945.010
0.0000 0.1299E+07
0.0000 0.163E+07
0.0000 0.197E+07
0.0000 0.231E+07
0.0000 0.264E+07
0.0000 0.297E+07

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 6800

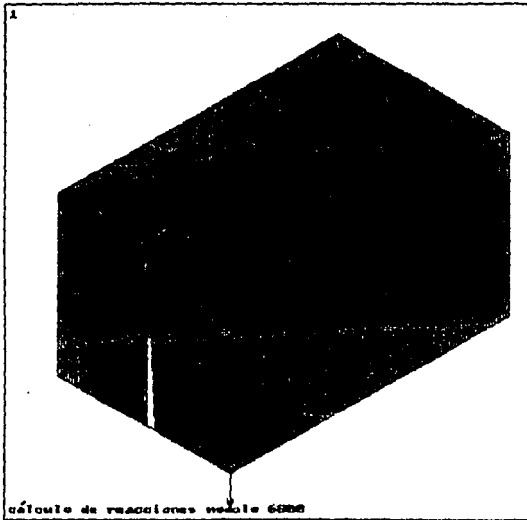


```

ANSYS 5.0
AUG 23 1993
16:49:49
PLDT NO. 3
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SBS =1
TIME=1
SV (NOAVC)
SEVS=8
MFX =0.622E-04
SPN =-43453
SPRN=-0.182E+08
SPC =31861
SPCR=0.182E+00
U
F
MFOR
RFOR
ACEL
-43453
-33176
-26896
-18616
-18237
-2837
6222
14582
22782
31861

```

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 6800



```

ANSYS 5.0
AUG 23 1993
16143150
PLOT NO: 4
ELEMENT SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SE
SEVE=0 (NO/UC)
MAX =0.623E+04
MIN =-31016
SUMM=-0.182E+00
MPC=0.182E+00
U
F
NFOR
RFOR
ACEL
-31016
-04989
-19922
-12970
-6829
-781.772
2265
11312
17297
23480

```

cálculo de reacciones modelo 6800

Distribución de esfuerzos y reacciones Modelo 6800