

CALCULO DE TENSIONES Y VIBRACIONES DE
DISTINTOS MODELOS MATEMATICOS DE LA
ESTRUCTURA DE UN SATELITE DE APLICACIONES CIENTIFICAS

Edgardo L. Roggero

Jorge E. Eterovic

Sistemas Espaciales - Centro Espacial San Miguel.
Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales.
Av. Mitre 3100 - (1663) San Miguel - Bs.As.

Norma Rodriguez de Arechaga

Computación y Cálculo - Parque Tecnológico Miguelete.
Instituto Nacional de Tecnología Industrial.
Av. Gral Paz y Albarellos - (1650) Miguelete - Bs.As.

RESUMEN

El desarrollo del primer satélite Argentino se encuentra en los últimos pasos de la fase conceptual y exploratoria (fase A). Para la concreción de la misma y en cuanto a la estructura se refiere, se hacen necesarios un análisis preliminar, un análisis intermedio y un análisis acoplado entre satélite y lanzador. Se describe en este trabajo el primero de ellos cuyo objetivo es la definición de la estructura primaria. Para realizar esta tarea se modelizó mediante elementos finitos la estructura y se la analizó a través del programa SAP VI.

ABSTRACT

The development of the first Argentinian satellite is presently in the final steps of phase A. For its concretion and from the structural design viewpoint, three detailed analysis are needed. A preliminary analysis, an intermediate analysis and the analysis of the spacecraft-launcher coupling. The preliminary analysis to define the primary structure is described in this work. To carry out this task, a finite element modelisation of the structure was made and the SAP VI computer program was employed.

INTRODUCCION

El Satélite de Aplicaciones Científicas (SAC-I) está siendo desarrollado por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales. Será un satélite científico cuya misión es conocer el comportamiento del Sol durante el próximo máximo solar. La fecha de lanzamiento está entonces condicionada por este fenómeno que se producirá entre 1991 y 1992.

Dentro de las actividades necesarias para la realización de este proyecto está la definición de la estructura del satélite, siendo responsabilidad de la misma, alojar el equipamiento necesario para cumplir la misión y transmitir al vehículo lanzador los esfuerzos que generan las cargas de aceleración. Las tareas involucradas en una estructura espacial pueden dividirse en diseño, análisis, fabricación y ensayos. En este trabajo se describen las características principales de las 2 primeras.

DISEÑO Y ANALISIS

El diseño tiene por objeto definir todos y cada uno de los elementos constituyentes de la estructura, mientras que el análisis consiste en la realización de los cálculos que aseguren que el diseño será capaz de satisfacer las especificaciones.

El análisis de una estructura espacial radica específicamente en determinar las tensiones a las que serán sometidas sus partes así como sus modos de vibración y su respuesta en frecuencia. Esta etapa también permite validar la definición de la estructura primaria y secundaria poniendo en evidencia la calidad del diseño.

METODOLOGIA GENERAL PARA EL DISEÑO Y ANALISIS

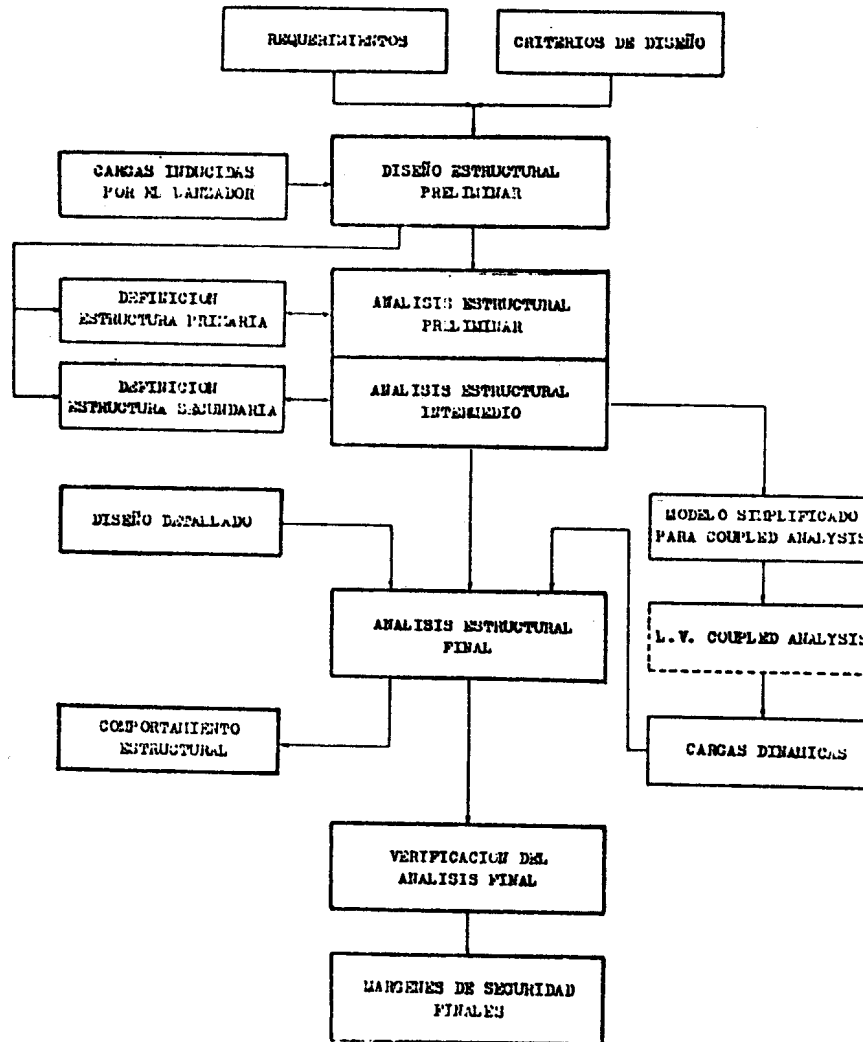
Para la definición de la estructura primaria se utiliza el clásico sistema basado en las cargas cuasiestáticas.

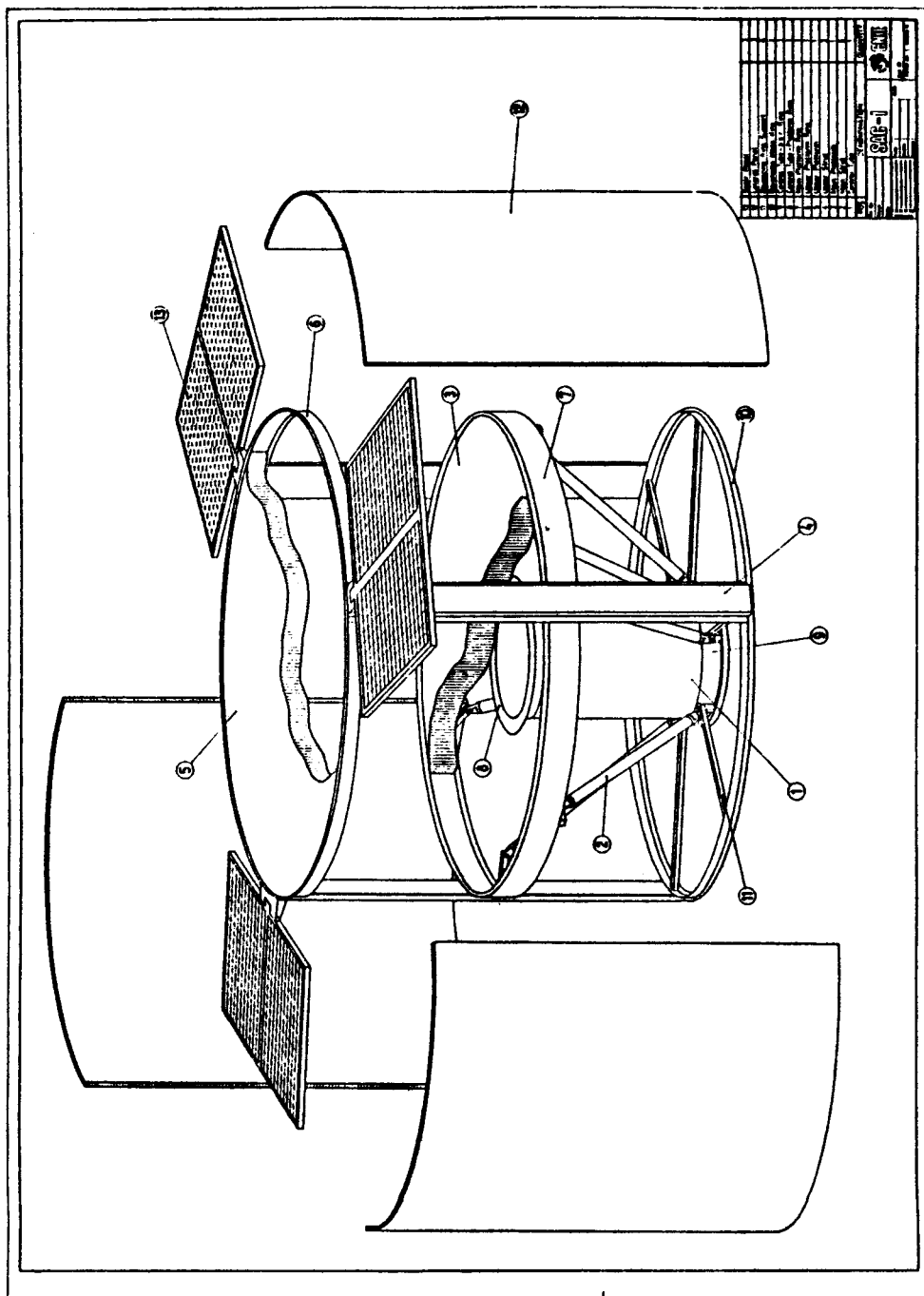
El diagrama en bloques adjunto muestra las actividades necesarias para realizar el diseño y análisis durante las Fases de desarrollo del Proyecto (FDP) y de Desarrollo de Hardware (FDH).

En la FDP se concretan el Análisis Estructural Preliminar y el Análisis Preliminar Intermedio para verificar la definición de las estructuras primaria y secundaria respectivamente. Con este propósito se elaboran modelos simples por elementos finitos, de la estructura primaria y de la estructura completa.

Con posterioridad a estos se condensará el modelo global de la estructura a un modelo simplificado de pocos grados de libertad para proceder al análisis acoplado con el vehículo lanzador (SCOUT), como resultado del mismo se obtendrán las cargas dinámicas reales que aparecerán sobre nuestro satélite.

En la fase FDH debe realizarse el diseño detallado de la estructura, procediéndose a concretar el análisis estructural final. Para este propósito se elaboran modelos por elementos finitos sumamente detallados. Finalmente cuando estén disponibles las cargas dinámicas del análisis acoplado se elaborará la verificación del análisis estático a fin de obtener los márgenes de seguridad reales que corresponden a las condiciones de vuelo.





ANÁLISIS ESTRUCTURAL PRELIMINAR

Este análisis permite la definición de la estructura primaria, y para su concreción es necesario realizar las siguientes tareas:

- * Modelado por elementos finitos.
- * Cálculo de las frecuencias y sus modos de vibración.
- * Análisis de sensibilidad.
- * Ajuste de frecuencias.
- * Análisis estático.
- * Ajuste dimensionales.

MODELADO POR ELEMENTOS FINITOS

Especificaciones Básicas.

Plano de separación: El "separation plane", determinado por el plano que divide el lanzador de la parte que será puesta en órbita, coincide con la estación 37,27 del lanzador SCOUT.

Sistema de referencia: Su origen debe coincidir con la intersección del eje de rotación del satélite con el plano de separación.

Unidades: Todos los datos numéricos están expresados en el sistema internacional MKS.

Modelo dinámico: Deberá ser suficientemente representativo del satélite para determinar su comportamiento a bajas frecuencias (menores que 100 Hz). El modelo deberá ser tridimensional no aceptándose medio modelo ni ninguna otra fracción.

Modelos Analizados.

Modelo Básico I: Es obtenido a través de la discretización en E.F. de todos los elementos de la estructura primaria, con las condiciones de vínculo más apropiadas (obtenidas a través del análisis de los modelos A, B, C y D). Distribuyéndose sobre éste las masas en forma uniforme.

Modelo Básico II: El MBII es idéntico al MBI con la sola excepción que las masas están representadas en forma más adecuada.

Modelo Completo I: El MCI es el MBI al que se le adicionan los elementos de la estructura secundaria.

Modelo Completo II: El MCII está formado por el MBII y la estructura secundaria.

Modelo Condensado: El MC será obtenido a partir de la condensación del MBII y el MCII en un modelo de no más de 120 grados de libertad, y su objetivo será conformar el análisis acoplado.

Modelos Accesorios

MA: A partir de las especificaciones generales de Modelización fue construido el modelo A que considera la estructura física discretizada (sin beams de refuerzo, con masas distribuidas y beams principales articulados).

MB: Será el MA al que se le adicionan los beams de refuerzo.

MC: Es igual al MB pero con masas concentradas.

MD: Parte también del MB pero todos los beams se encuentran empotrados.

Objeto de los Modelos

Modelos Básicos: Permiten conocer el comportamiento de la estructura primaria, tanto en un modelo simplificado como el MBI o un modelo como el MBII donde aparecen definidos con precisión cada uno de los equipos.

Modelos Completos: Estos modelos permiten conocer el comportamiento de la estructura completa, y serán definidos en el Análisis Estructural Intermedio.

Modelo Condensado: Este modelo se realiza luego del Análisis Estructural Intermedio y permite conocer las cargas dinámicas reales sobre el satélite.

MA: Su objeto será determinar la influencia de los beams de refuerzo.

MB: Es el modelo de referencia para evaluar la importancia de los cambios estudiados.

MC: Analizándolo se aprecia la influencia del conocimiento exacto de la distribución de equipos.

MD: A partir de éste se estará en condiciones de analizar la importancia de considerar la interfase física como empotrada o nó.

MA, MB, MC, MD: Analizándolos simultáneamente se podrá definir con mejor criterio el MBI a fin de que represente lo más acertadamente posible al modelo físico.

CALCULO DE LAS FRECUENCIAS Y SUS MODOS

Se procedió a determinar las frecuencias y sus modos correspondientes a fin de adquirir los criterios básicos de diseño que permitieron adoptar las características esenciales del MBI como modelo más representativo de la estructura física, así como el conocimiento preciso de la interfase física más adecuada para alcanzar el comportamiento dinámico deseado.

Los resultados obtenidos al analizar los cada uno de los modelos accesorios fueron los siguientes:

| FRECUENCIA | MA | MB | MC | MD |
|------------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 35,51 | 34,84 | 37,80 | 34,84 |
| 2 | 40,86 | 41,05 | 40,63 | 41,05 |
| 3 | 40,87 | 41,07 | 40,65 | 41,07 |
| 4 | 57,29 | 74,56 | 72,59 | 74,56 |
| 5 | 69,07 | 74,71 | 72,59 | 74,71 |
| 6 | 69,07 | 83,83 | 85,48 | 83,43 |

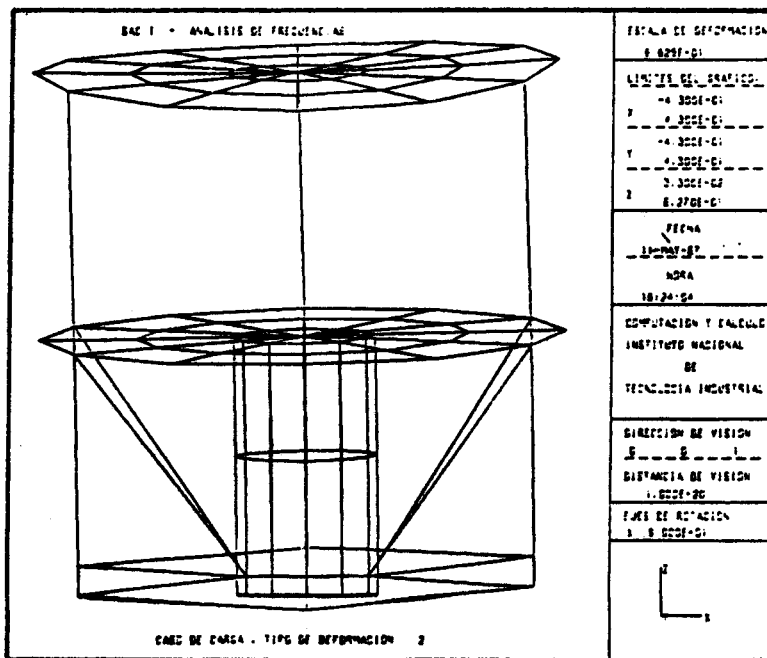
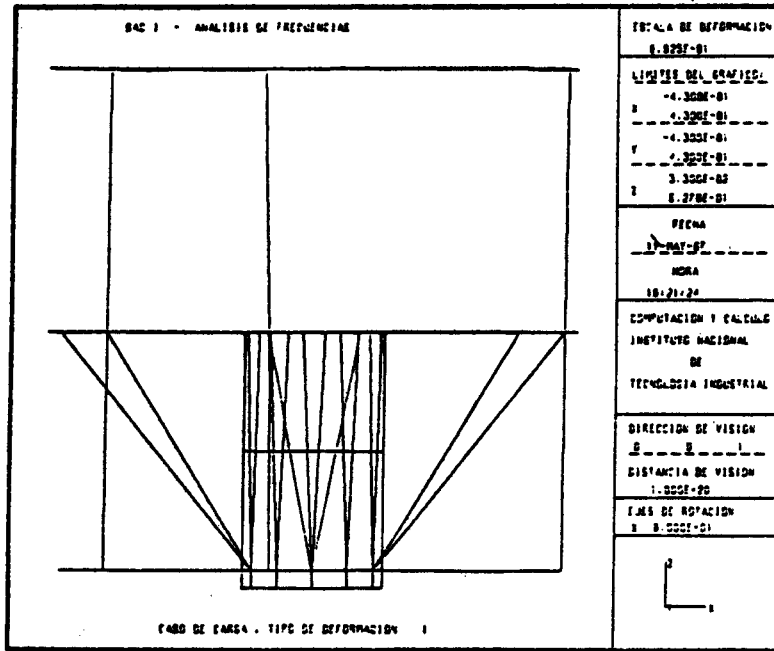
CONCLUSIONES

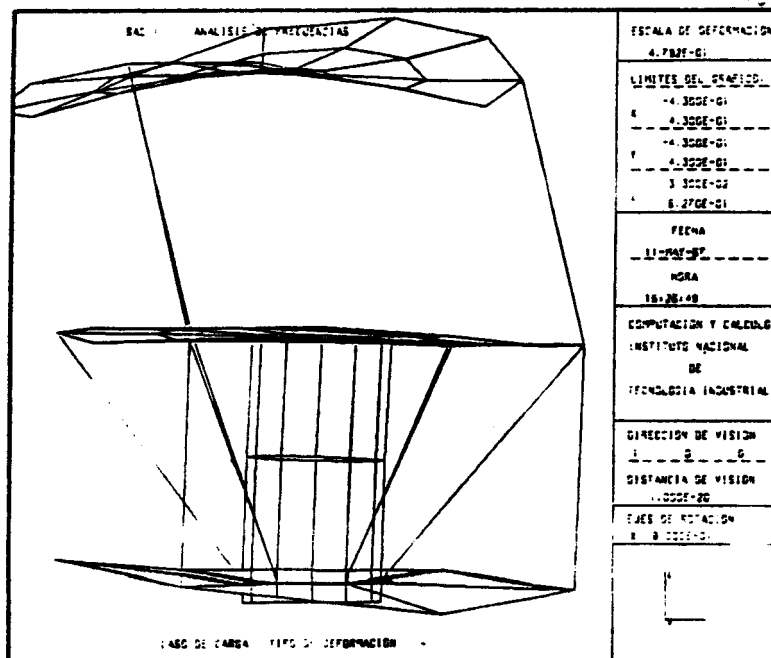
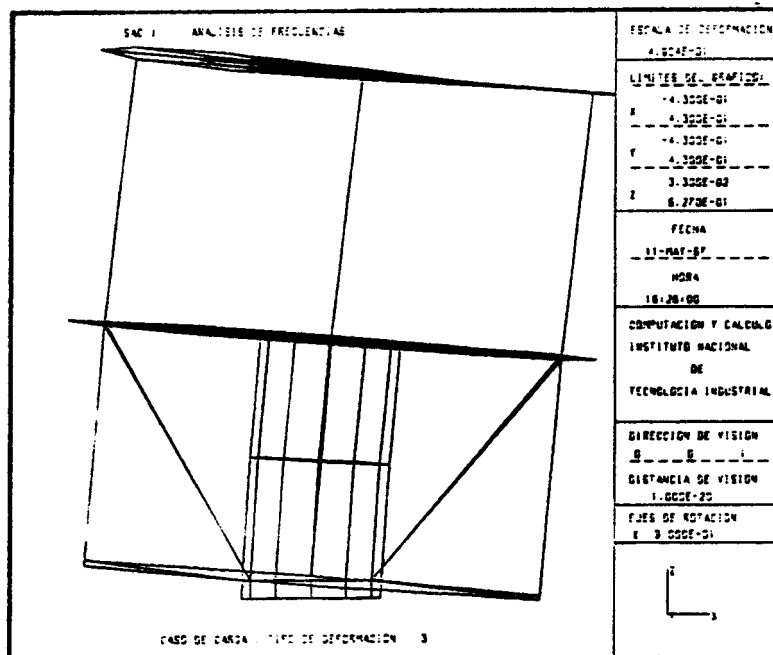
El empotramiento de los brazos principales no afecta en forma sensible al modelo utilizado como referencia.

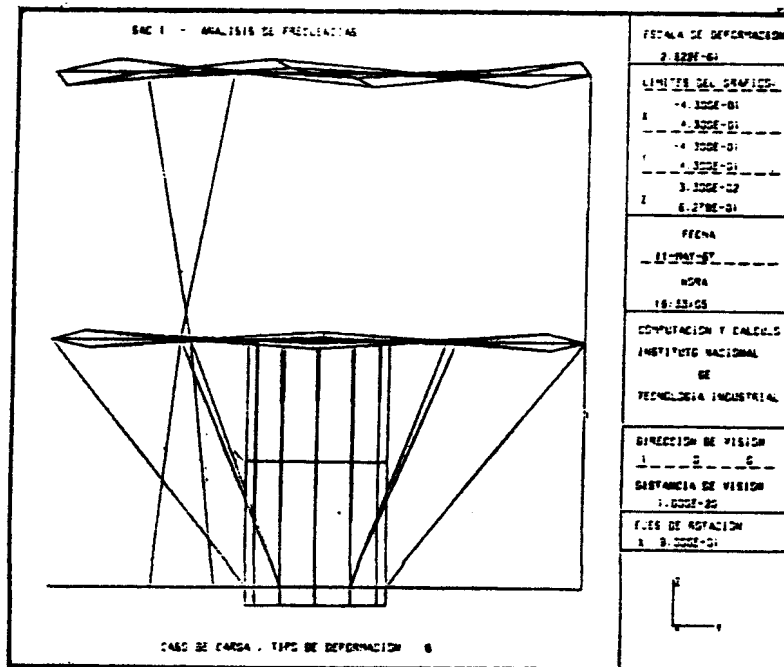
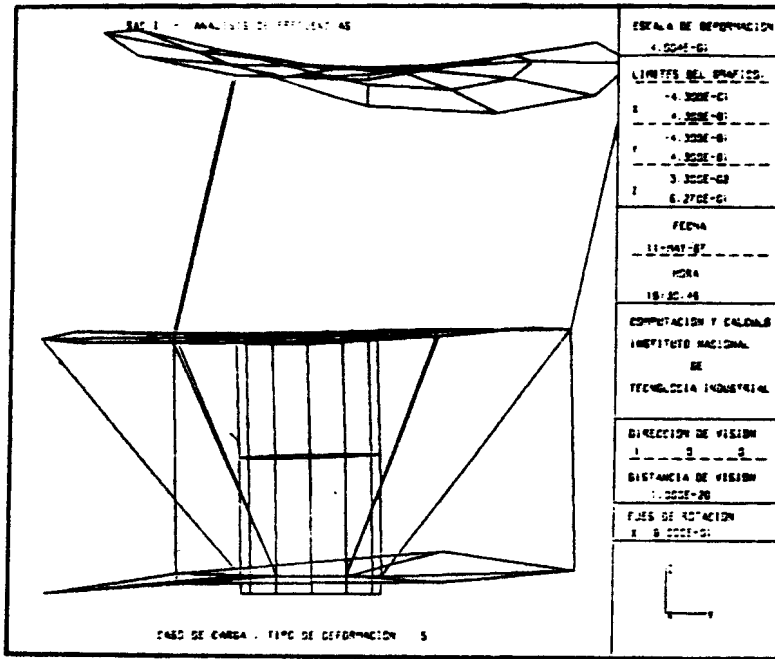
Se hace necesario una precisa definición en la posición de las cargas sobre la plataforma principal, ya que afecta a los modos torsionales en un valor inferior al 9% y a los modos laterales en un valor inferior al 3%.

La falta de los beams de refuerzo altera especialmente a las frecuencias altas, llevando la frecuencia N° 6 a un valor de 50% inferior, las frecuencias 4 y 5 se ven disminuidos en un 7%, las frecuencias 3 y 4 bajan un 3% y la primera se ve incrementada por efecto de la disminución de la masa al no existir estos anillos de refuerzo.

Se adoptó entonces como Modelo Básico I al modelo B donde todos los beams se encuentran empotrados con la sola excepción de los brazos principales que se encuentran articulados. En la página siguiente tenemos una representación de las 6 primeras frecuencias y sus modos correspondientes.







ANALISIS DE SENSITIVIDAD

Para predecir la influencia de eventuales cambios estructurales, se procedió a realizar un análisis de sensibilidad donde se aprecia el comportamiento de la estructura ante variaciones en las masas, geometría, cargas y propiedades de los materiales. El set analizado fue el siguiente:

| Variable | Cantidad de Variaciones |
|--|-------------------------|
| Espesor del tubo central | 2 |
| Masa de la plataforma principal | 2 |
| Masa de la plataforma superior | 2 |
| Altura de la plataforma principal | 2 |
| Altura de la plataforma superior | 3 |
| Propiedades de los materiales | 2 |
| Características de las barras verticales | 3 |
| Estados de carga | 4 |

Fueron determinadas las 6 primeras frecuencias y se plotearon y analizaron los modos que presentaban particularidades. La determinación de los valores correspondientes a cada variación fueron referidos al nominal, considerando una hipótesis de máxima y otra de mínima. Para facilitar el análisis se adjuntan los gráficos donde se aprecia como varían las frecuencias en función de cada una de las variables.

En cada gráfico aparecen 4 líneas que corresponden (de abajo hacia arriba) al primer modo de torsión, primer modo lateral (frecuencias 2 y 3), segundo modo lateral (frecuencias 4 y 5), y segundo modo de torsión (frecuencia 6).

CONCLUSIONES

La modificación del espesor del tubo central afecta solo las 5 primeras frecuencias, desde un 25% para el primer modo hasta un 10% en el número 5, aparece una ligerísima variación en la sexta frecuencia como consecuencia indirecta por la variación del peso del tubo central.

La masa de la plataforma principal influye, como es lógico, disminuyendo las frecuencias según se incrementa. La relación entre fre-

cuencia y masa es lineal. Sólo el segundo modo de torsión no se ve afectado senciblemente por esta variación debido a que esta forma de vibrar es fundamentalmente afectada por las características de las barras verticales y de la plataforma superior. En cuanto a la masa de la plataforma superior afecta a todas las frecuencias en un 30%, con excepción de la primera donde la variación es del 6%, esta circunstancia se debe a que el primer modo es simplemente la torsión del tubo central y sobre éste sólo influye la masa aplicada y no la distancia a la cual está como en los otros modos.

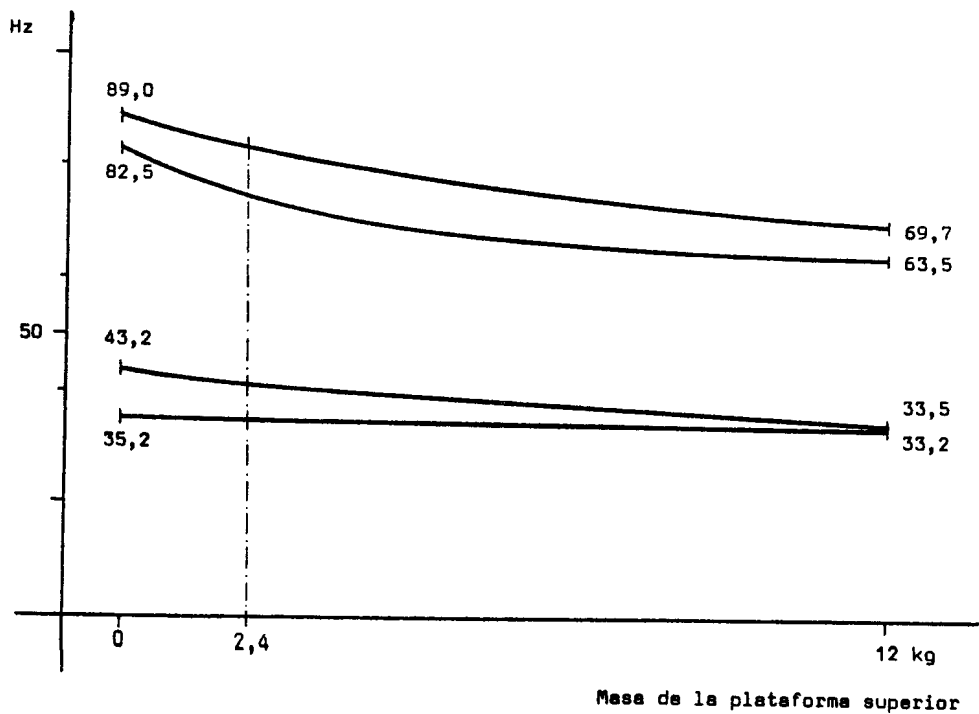
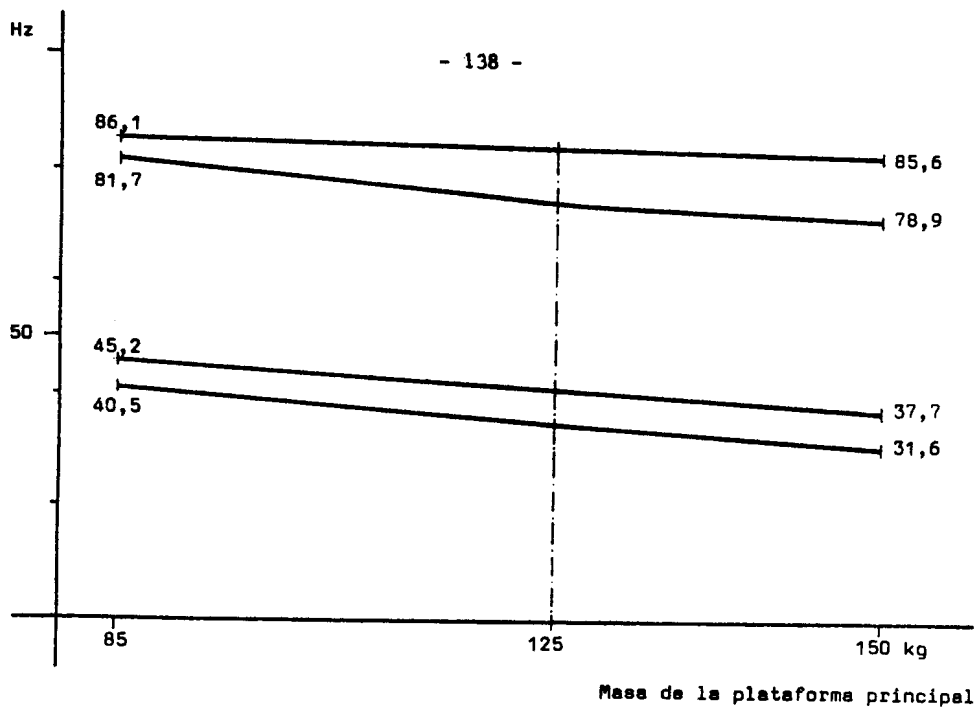
Altura de la plataforma principal, si incrementamos la masa debemos aumentar también la altura de las plataformas a fin de que las tensiones no superen los valores admisibles, entonces ésta variable altura de la plataforma trae asociada un aumento en la masa. Por ello al incrementar la altura no se incrementa sólo la rigidez y en consecuencia la frecuencia, como sería dable esperar, salvo en el segundo modo lateral (frecuencias 4 y 5), donde los elementos afectados son principalmente los brazos superiores que al aumentar la rigidez de la plataforma ven mejorada su condición de empotramiento.

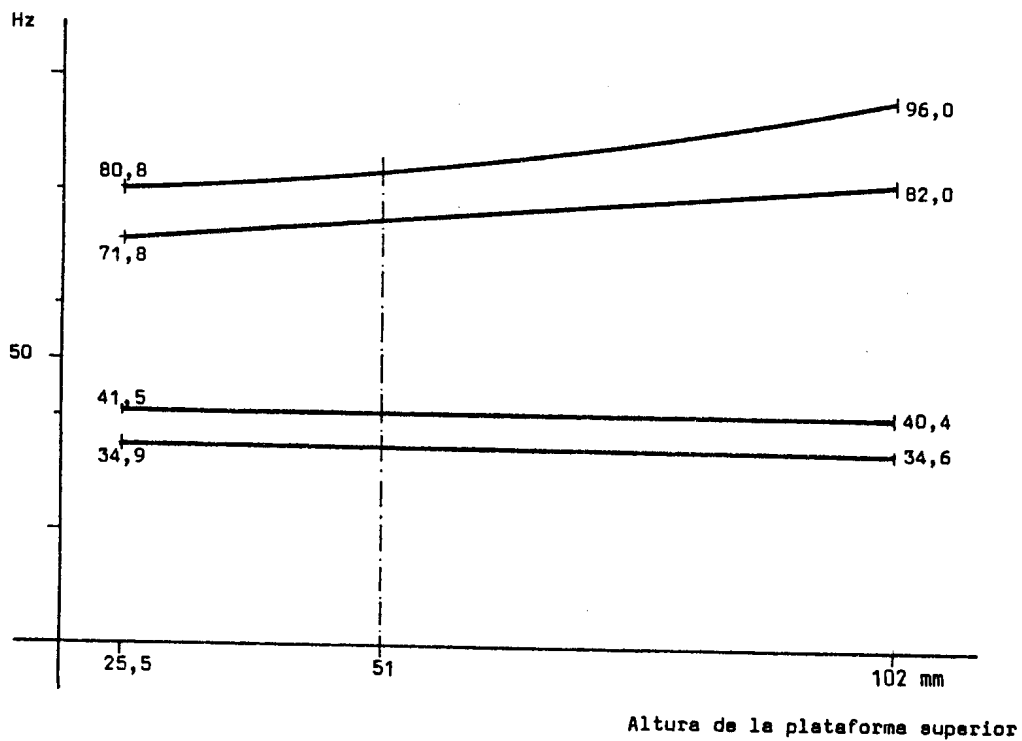
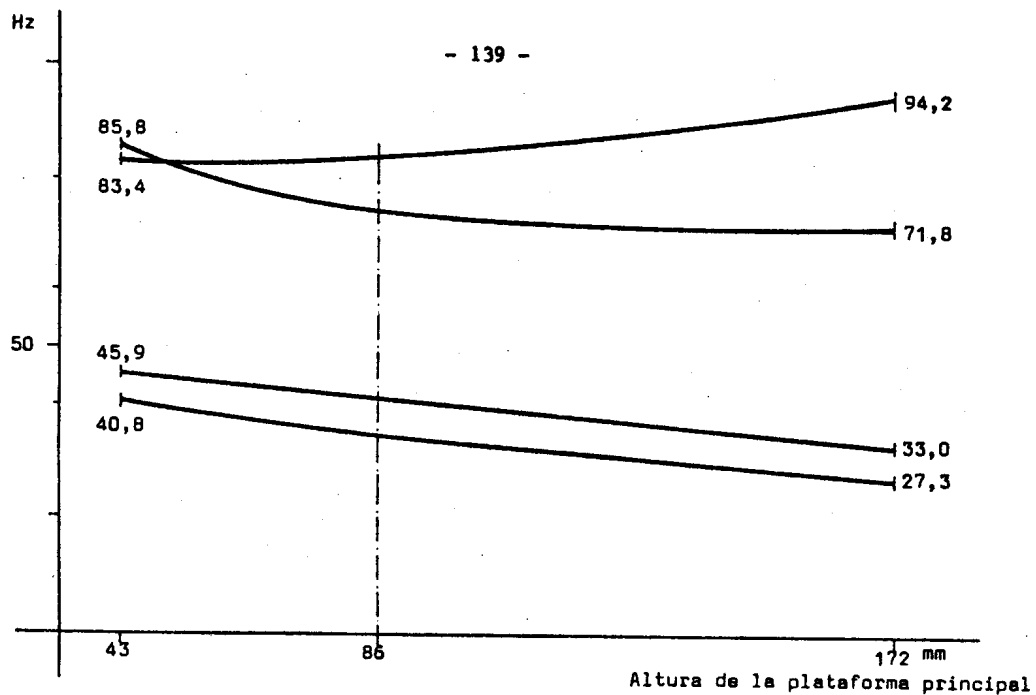
El gráfico de la altura de la plataforma superior tiene un sentido similar al de la principal, pero en este caso al rigidizar la plataforma rigidizamos los modos asociados a la misma (frecuencias 4, 5 y 6), en cambio las 3 primeras frecuencias que son especialmente determinadas por el tubo central no se ven modificadas sustancialmente.

Para la definición de la calidad y tipo de los materiales utilizados se variaron los módulos de Young de los materiales, apreciándose en el gráfico como se ven afectadas las frecuencias ante esta variación.

También fueron modificadas las características de las barras verticales a fin de optimizar el sistema concluyéndose en que es posible utilizar 4 paneles solares sin que se vea resentida la condición de mínimo peso, y que sería muy aceptable para el sistema desde el punto de vista dinámico la utilización de un material compuesto en las barras verticales.

Finalmente se sometió a la estructura a un análisis estático a fin de determinar las tensiones sobre los elementos para cuatro estados de carga aplicadas al Modelo Básico I, del que se desprende que todos los elementos resisten las tensiones a las que se ven sometidos, restando ahora realizar los ajustes necesarios ya que algunos de los márgenes de seguridad son relativamente elevados para una estructura espacial. Este análisis de sensibilidad es entonces la base sobre la que se sustentan el resto de las actividades necesarias para la definición de la estructura primaria.





CONCLUSION FINAL

La estructura del SAC-I se muestra sumamente estable como para resistir los cambios que pudieran producirse según la dinámica y evolución del sistema satelital concebido según las actuales premisas.

REFERENCIAS

- (1) Giraudbit, J.N. "Structural design of Aerospace Structures", Centre National d'Etudes Spatiales, Vol. I y II, 1982.
- (2) Roggero, E; Eterovic, J; Rodriguez, N; "Análisis Estructural Preliminar", C.N.I.E., Vol. I, 1987.
- (3) Thompson, W; "Vibration theory and applications", Prentice Hall, 1965.