

ASPECTOS DEL ANALISIS DINAMICO DE LA
CENTRAL NUCLEAR ATUCHA II

Carlos A. Prato
Departamento de Estructuras. Facultad de
Ciencias Exactas Fisicas y Naturales.
Universidad Nacional de Córdoba.
Córdoba - Argentina.

Luis M. Alvarez
Antonio R. Godoy
Pablo E. Capelli
Empresa Nuclear Argentina de Centrales
Electricas S.A. - ENACE S.A.
Buenos Aires - Argentina.

RESUMEN

En el presente trabajo se describen algunos aspectos salientes del análisis dinámico de distintos edificios de la Central Nuclear Atucha II sometidos a sollicitaciones de tipos sísmico e impulsivo (Onda de presión provocada por una explosión externa de origen químico).

ABSTRACT

This paper describes some important dynamical analysis aspects of Nuclear Power Plant Atucha II buildings, subjected to the seismic and impulsive loads (Chemical external explosion pressure wave).

I. OBJETIVO.

Se describen las metodologías de análisis seguidas para la obtención de espectros de respuesta de piso correspondientes al sismo potencial máximo en el Edificio del Reactor (UJA/B) y para la determinación de las respuestas dinámicas máximas ante una onda de presión producida por explosión química, en los Edificios de Maniobras (UBA) y Auxiliar del Reactor (UKA) de la Central Nuclear Atucha II.

II. INTRODUCCION.

La Central Nuclear Atucha II, actualmente en construcción, está emplazada junto a las instalaciones de la Central Nuclear Atucha I, a una distancia de 100 km de la Ciudad de Buenos Aires y cercana a la localidad de Lima. En las figs. 2.1 y 2.2 se presentan una perspectiva de la futura planta y de su layout general y en las figs. 2.3 a 2.7 se presentan cortes horizontales y verticales de los Edificios del Reactor y de Maniobras.

III. OBTENCION DE ESPECTROS DE RESPUESTA DE PISO EN EL EDIFICIO DEL REACTOR.

3.1) Características dinámicas del sitio de emplazamiento.

Las mismas están resumidas en los espectros de respuesta a campo libre del sismo potencial máximo de diseño (fig. 3.1), que se han adoptado a los efectos de la elaboración del presente trabajo. La estratigrafía correspondiente a la zona del sitio de emplazamiento ha sido graficada en la fig. 3.2.

3.2) Definición de la acción sísmica en la base del modelo de análisis.

Debido a que no se dispone de un dato preciso sobre la profundidad a que se encuentra la roca de base del lugar, se han formulado dos hipótesis diferentes a los efectos del presente análisis. Una de ellas consiste en suponer que el espesor significativo del manto de suelo es tal que el período natural del estrato de suelo sólo, coincide con el pico del espectro de respuesta definido a campo libre que se indica en la fig. 3.1. De esta manera se obtiene un espesor de suelo significativo de 30 metros. Con este dato se procedió a efectuar una deconvolución del espectro en superficie mediante el uso de acelerogramas representativos, utilizándose para ello un modelo de análisis basado en la viga de corte (Ref. 1). De esta manera se produjo un espectro en la base del estrato de suelo tal que su correspondiente espectro en superficie sea compatible con el espectro correspondiente al 7% de amortiguamiento crítico, proporcionado como dato en la fig. 3.1.

Como segunda hipótesis se le asignó al estrato de suelo una profundidad de 60 metros. Aplicando la misma

metodología se repitió el análisis de deconvolución llegándose a la conclusión que, con las propiedades mecánicas conocidas de los diferentes estratos, no es posible reproducir el espectro en superficie a través de una excitación en la base de dichos estratos que sea compatible con los parámetros básicos que justifican la acción sísmica posible en el sitio.

A partir de los acelerogramas "en roca", generados para una profundidad de 30 metros, se han utilizado los mismos para construir un espectro evolvente "en roca". Todos los espectros enunciados han sido representados en fig. 3.3.

3.3) Definición del modelo de análisis dinámico del sistema suelo-estructura.

Para la elaboración del mismo se ha aceptado la hipótesis que el comportamiento dinámico de la estructura puede ser convenientemente representado por medio de un modelo axilsimétrico. El mismo ha sido procesado por medio del programa ASHSD2 utilizándose elementos de cáscara para modelar el comportamiento de losas y tabiques circunferenciales, en tanto que con los elementos volumétricos ortótropos se ha modelado el comportamiento de los tabiques radiales y del suelo. La malla de elementos finitos esquematizada en figs. 3.4 á 3.6 está constituida por 90 elementos de cáscara y 126 elementos volumétricos, con un total de 575 grados de libertad dinámicos. Las propiedades mecánicas fundamentales utilizadas para el modelo son las siguientes :

TABLA I

| Propiedades de los Materiales | Hormigón | Acero | Suelo (Ref. 2) |
|-------------------------------|---|--|--------------------------|
| Módulo E | 3.50×10^7 KN/m ² | 2.10×10^{11} KN/m ² | 540 MN/m ² |
| Módulo G | 1.46×10^7 KN/m ² | 8.08×10^7 KN/m ² | 200 MN/m ² |
| Peso Específico | 24.0 KN/m ³ | 78.5 KN/m ³ | 1.9 tn/m ³ |

3.4) Descripción de los resultados obtenidos.

Por medio del modelo descrito en el apartado 3.3) se han calculado los primeros siete modos y frecuencias naturales de vibración del sistema, junto con sus correspondientes factores de participación modal, habiéndose obtenido los resultados que se describen en la tabla indicada en la página siguiente.

TABLA II

| Modo Natural | Período Natural | Factor de Participación |
|--------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | 0.70836 | 199.676 |
| 2 | 0.42961 | 42.879 |
| 3 | 0.39695 | 25.465 |
| 4 | 0.38155 | 19.155 |
| 5 | 0.33591 | 5.097 |
| 6 | 0.29948 | 22.721 |
| 7 | 0.27544 | 26.597 |

De la salida total de resultados correspondientes a los vectores característicos, se transcriben a continuación las componentes fundamentales correspondientes a corrimientos horizontales de cuatro nudos representativos de la ubicación de los equipos más importantes del Edificio del Reactor.

TABLA III

| Modo | Nudo 1 | Nudo 6 | Nudo 14 | Nudo 68 |
|------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | -.007598 | -.007184 | -.006500 | -.005639 |
| 2 | .014700 | .012630 | .009256 | .005243 |
| 3 | -.003359 | -.003171 | -.002833 | -.002380 |
| 4 | -.012440 | -.009572 | -.004968 | .000500 |
| 5 | -.009375 | -.006127 | -.000998 | .004712 |
| 6 | -.004335 | -.003826 | -.002954 | -.002047 |
| 7 | -.011680 | -.008324 | -.002981 | .002723 |

3.5) Determinación de los espectros de respuesta de piso.

A partir de los resultados obtenidos en el paso anterior y utilizando el método de análisis propuesto en la Ref. 3, se han elaborado los espectros de respuesta de la estructura correspondientes a los nudos indicados en la tabla anterior. Para el sistema primario se utilizó un coeficiente de amortiguamiento del 7%, en tanto que para el sistema secundario se utilizó un 3%. Los resultados finales obtenidos son los representados en la fig. 3.7, en la cual se pueden observar notables amplificaciones (del orden de 11.7) para las aceleraciones espectrales en coincidencia con el período fundamental de la estructura.

IV. CALCULO DINAMICO DEL EDIFICIO DE MANIOBRAS - EXPLOSION EXTERNA.

4.1) Introducción.

El análisis comprende la obtención de las respuestas dinámicas de los edificios de Maniobras, Auxiliar del Reactor y la del terreno de fundación (ver fig. 4.1), ante una onda de presión por explosión química.

4.2) Hipótesis de cálculo.

La formulación del modelo se fundamenta en las siguientes hipótesis:

- a) Modelo de estado plano según el eje transversal del edificio UBA.
- b) Materiales elásticos lineales con amortiguamiento de tipo viscoso.
- c) Comportamiento rígido del edificio UKA.

4.3) Descripción del modelo.

En la Fig. 4.2 se presenta el esquema de la malla de elementos finitos elaborada para la resolución del problema, en cuyo desarrollo se han utilizado un total de 346 nudos, 290 elementos de estado plano y 25 elementos de barra.

Edificio UBA: las figuras 2.6 y 2.7 muestran, respectivamente, un corte y una planta típicos de la estructura donde son presentados sus elementos estructurales principales. Los tabiques transversales son modelados por medio de elementos rectangulares de estado plano, mientras que los longitudinales lo son mediante elementos de barra. Se adopta una distribución discreta de masas en correspondencia con los niveles principales de la estructura.

Edificio UKA: su comportamiento rígido es simulado mediante elementos de barra, dispuestos en el contorno de su fundación y en la vinculación de su masa estructural, representada por medio de una masa concentrada, con el resto de la estructura.

Suelo: el perfil del terreno es modelado de manera de representar las variaciones de las características estadigráficas. Para ello fueron utilizados elementos rectangulares de estado plano con una distribución continua de masa. La zona modelada para el análisis abarca una longitud de 950 m y se extiende hasta una profundidad de 125 m.

4.4) Propiedades de los elementos.

a) Hormigón:

| | | |
|-----------------|----------------|-------------------|
| Módulo E (UBA) | $3 \cdot 10^7$ | KN/m ² |
| Módulo E (UKA) | $3 \cdot 10^7$ | KN/m ² |
| Coef. Poisson | 0.20 | |
| Coef. de Amort. | 5 % | |
| Peso Específ. | 24. | KN/m ³ |

b) Suelo:

La determinación del módulo G de los diferentes estratos surge a partir de los procedimientos definidos en las Refs. N° 4 y 5 y de la consideración de los estudios de suelos realizados para el proyecto. El coeficiente de

amortiguamiento fue adoptado en función de la distorsión media del suelo de fundación (Ref. 2). La siguiente tabla presenta un resumen de los valores utilizados.

TABLA IV

| Cota m | G KN/m ² | Coef. de Poisson | Coef. de Amort. | P. Esp. KN/m ² | Obs. |
|-----------|------------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|------|
| + 25 | 1.5x10 ³ | 0.35 | 5% | 18.0 | a) |
| - 15 | 3.0x10 ³ | 0.35 | 5% | 20.0 | b) |
| - 40 | 2.5x10 ³ | 0.35 | 5% | 18.0 | c) |
| - 45 | 4.5x10 ³ | 0.35 | 5% | 20.0 | d) |
| -100 | | | | | |

Obs: a) CL-CH, ML-MH. Valores medios.
 b) SP-SM. Valores medios.
 c) CH
 d) SP-SM

4.5) Funciones Carga-Tiempo.

La determinación de las funciones carga-tiempo surge de Informes de Cargas Especiales propios del proyecto (Ref. 6). Estas funciones son reproducidas en la figura 4.3.

4.6) Presentación de Resultados.

El análisis fue realizado mediante la aplicación del método de superposición modal, utilizando el programa SAP IV en la modalidad de integración numérica paso a paso de las ecuaciones dinámicas del sistema. En la tabla siguiente se presenta un resumen de los períodos fundamentales de los primeros diez modos naturales de vibración del sistema suelo- estructura.

TABLA V

| Modo | Período Natural (seg) |
|------|--------------------------|
| 1 | 1.226 |
| 2 | 1.176 |
| 3 | 1.030 |
| 4 | 0.910 |
| 5 | 0.902 |
| 6 | 0.798 |
| 7 | 0.753 |
| 8 | 0.720 |
| 9 | 0.693 |
| 10 | 0.685 |

En las figuras 4.4 á 4.7 se presentan los resultados de desplazamientos verticales correspondientes a cuatro zonas características del modelo analizado, en tanto que en la tabla siguiente se consignan los corrimientos horizontales absolutos máximos correspondientes a nudos de las mismas verticales.

TABLA VI

| Vertical | Nudo | Desp. Horiz. Abs. Máx. ($\times 10^{-3}$ m) |
|----------|------|---|
| I | 83 | 0.2136 |
| | 85 | 0.4936 |
| | 86 | 0.5223 |
| | 88 | 0.6222 |
| | 90 | 0.6754 |
| II | 161 | 0.8215 |
| | 163 | 1.1730 |
| | 164 | 1.2960 |
| | 165 | 1.3750 |
| | 166 | 1.3360 |
| III | 205 | 2.0280 |
| | 208 | 2.3340 |
| | 209 | 2.3990 |
| | 210 | 2.4890 |
| | 211 | 2.5660 |
| IV | 258 | 1.0150 |
| | 260 | 1.7350 |
| | 261 | 1.7750 |
| | 263 | 1.8410 |
| | 265 | 2.8000 |

4.7) Comentarios Finales.

Los resultados obtenidos para las distorsiones de los diferentes estratos de suelo, se encuentran dentro del rango de 2×10^{-4} á 2×10^{-3} e implican una reducción del módulo G del orden del 2% al 11%, mientras que para el coeficiente de amortiguamiento no se aprecia una variación de interés práctico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1) C. A. Prato, Elver Delmastro. "Análisis Dinámico de Vigas de Corte por Integración Numérica en el Dominio de la Frecuencia". Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba. Julio 1985.
- 2) Bolognesi, Moretto. "Informe Técnico N° 10". Informe Técnico de Suelos Para Atucha II. Enero 1981.
- 3) "Seismic Response Analysis of Multiple Connected Secondary Systems". R. A. Burdisso. Virginia Polytechnic Inst. of State University. April 1986.

4) H. Seed, I. Idriss. "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis". Report No. EERC 70-10 Univ. of California, Berkeley, 1970.

5) Hard y Drnevich. "Shear Modulus and Damping in Soils". Jour. Soil Mech. and Found. Div. ASCE, Vol. 98, N^o SM6, pp. 603-624, Jun. 1970 y N^o SM7, pp. 667-692, Jul. 1970.

6) Stangerberg y Zilch. "Richtlinien für die Bemessung von Stahlbetonbauteilen von Kernkraftwerken für außergewöhnliche äußere Belastungen". 1974.

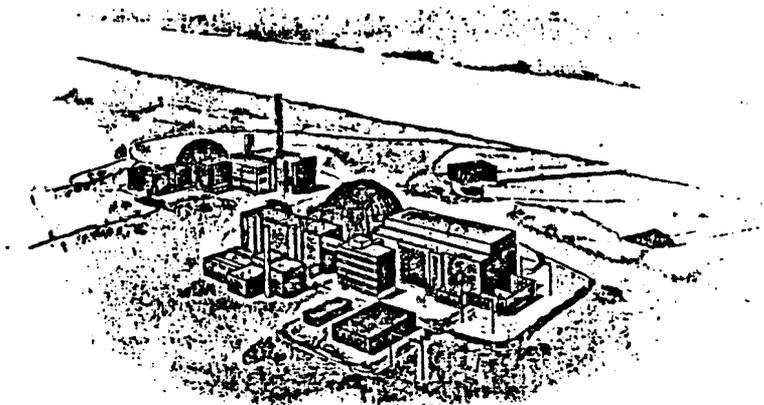
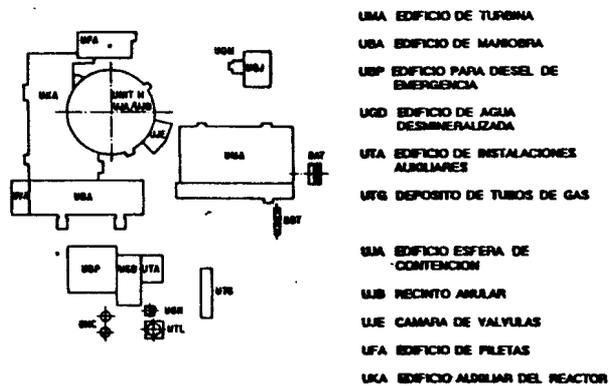


Figura 2.1



- UMA EDIFICIO DE TURBINA
- UBA EDIFICIO DE MANIOBRA
- UBP EDIFICIO PARA DIESEL DE EMERGENCIA
- UGD EDIFICIO DE AGUA DESMINERALIZADA
- UTA EDIFICIO DE INSTALACIONES AUXILIARES
- UTG DEPOSITO DE TUBOS DE GAS
- SIA EDIFICIO ESFERA DE CONTENCIÓN
- UEB RECINTO ANULAR
- UEE CAMARA DE VALVULAS
- UFA EDIFICIO DE PLETAS
- UCA EDIFICIO AUXILIAR DEL REACTOR

Figura 2.2

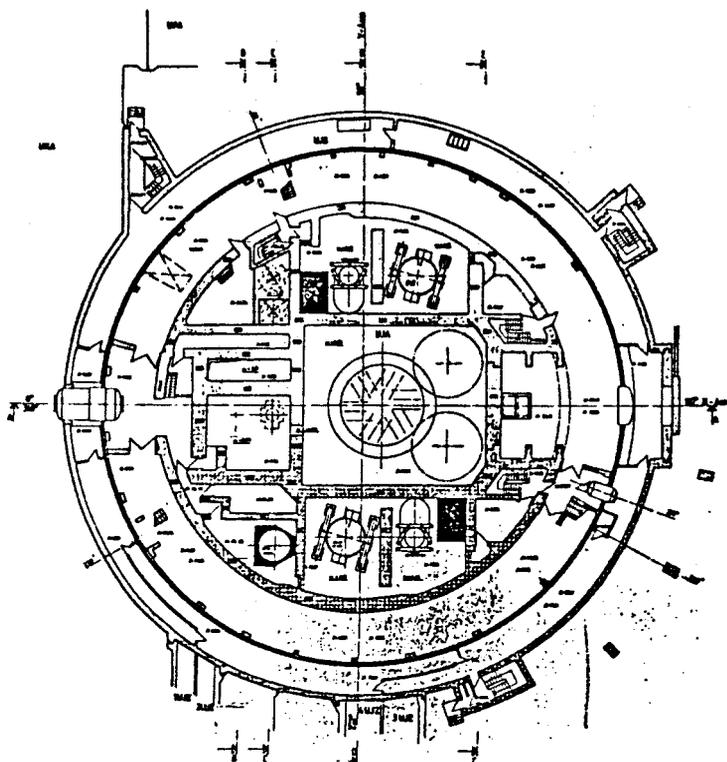


Figura 2.3

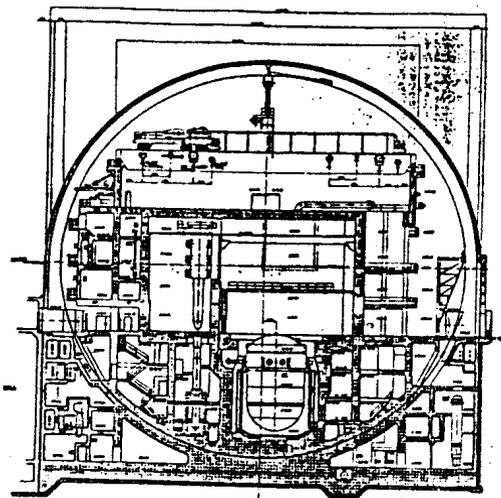


Figura 2.4

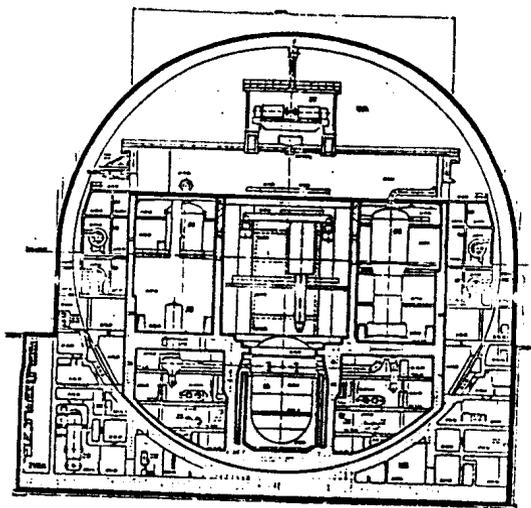


Figura 2.5

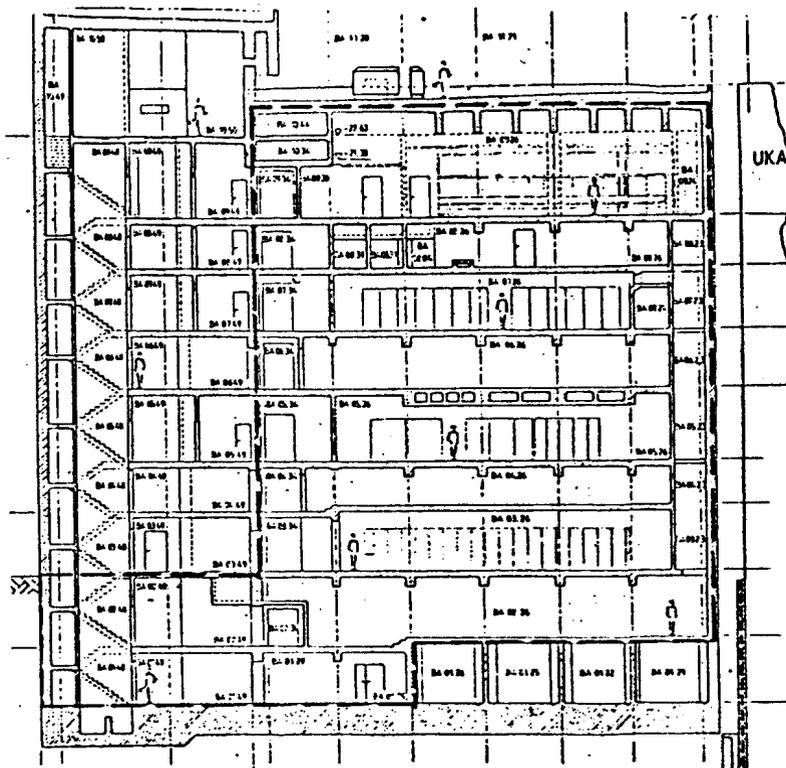


Figura 2.6

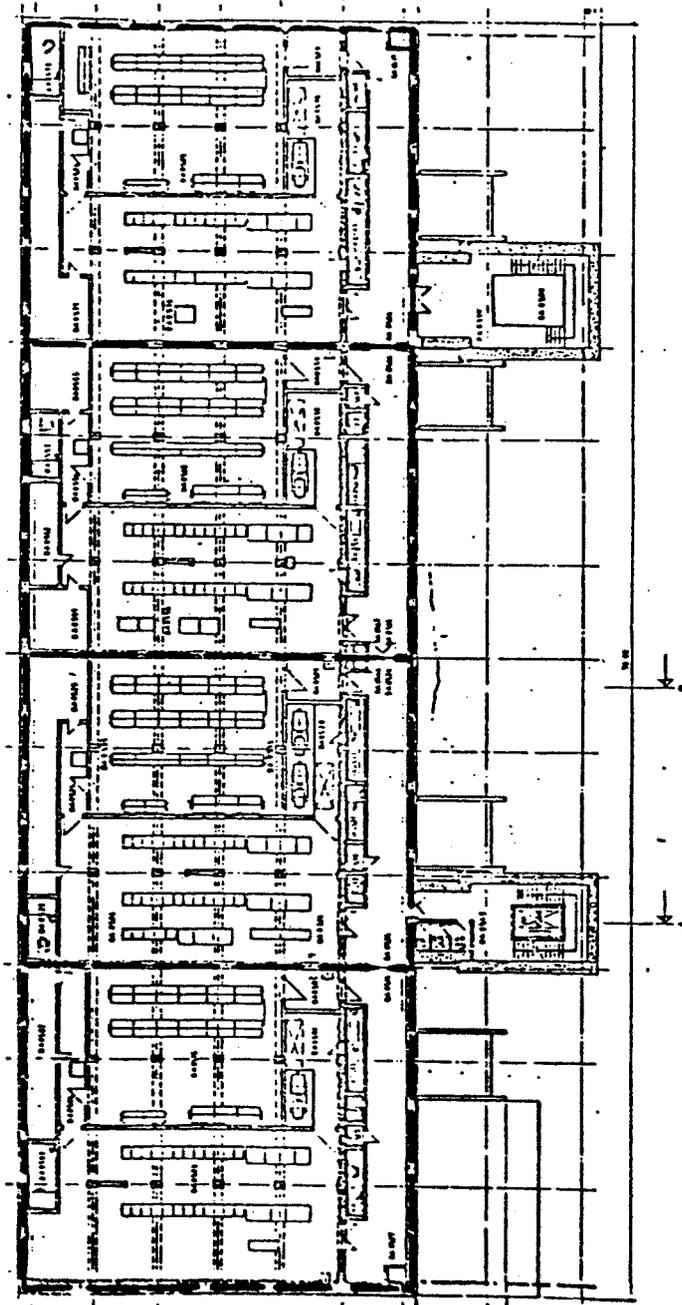


Figura 2.7

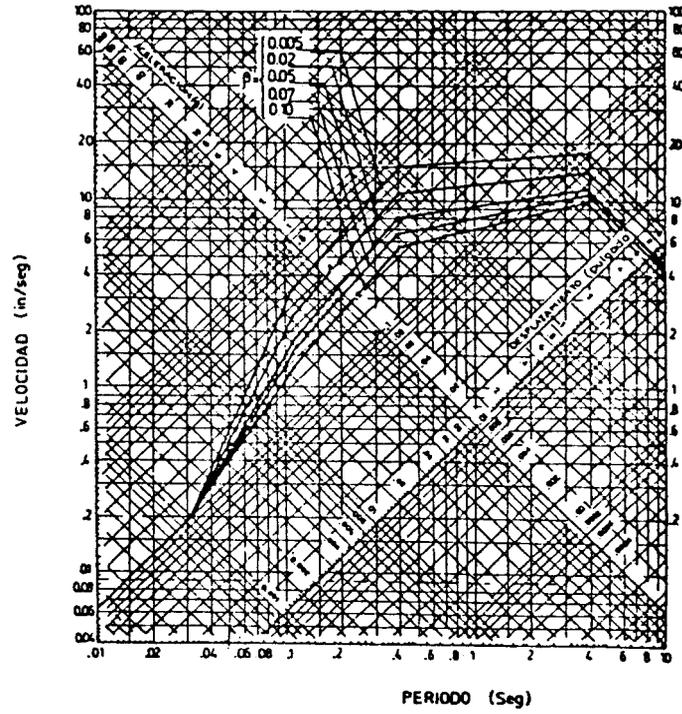


Figura 3.1

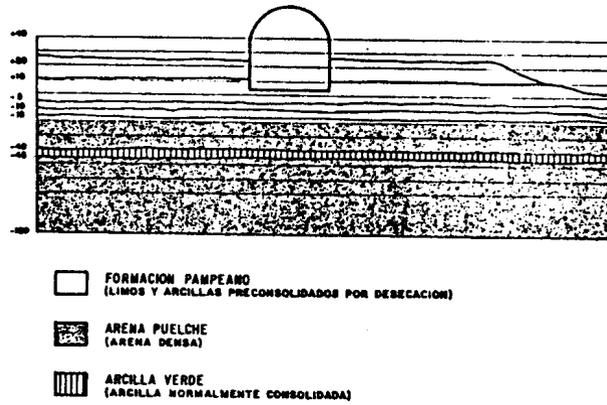


Figura. 3.2

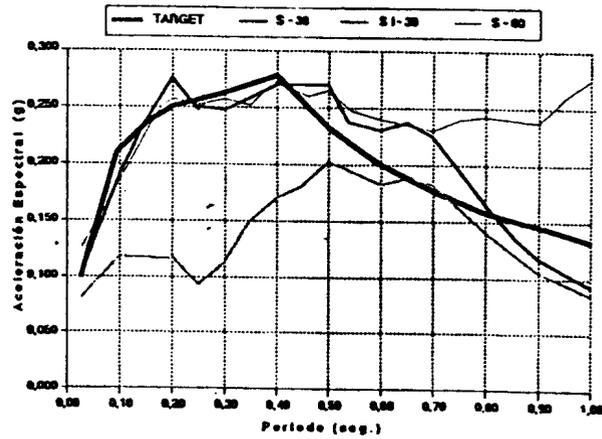


Figura 3.3

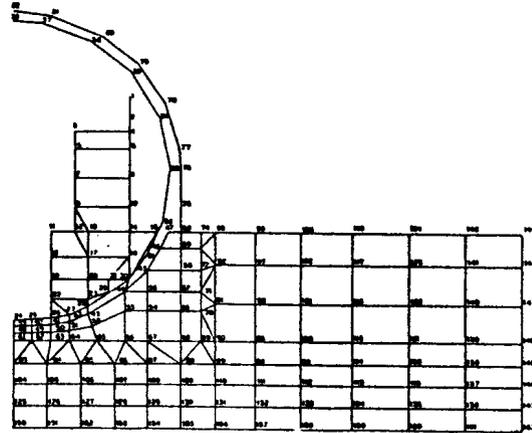


Figura 3.4

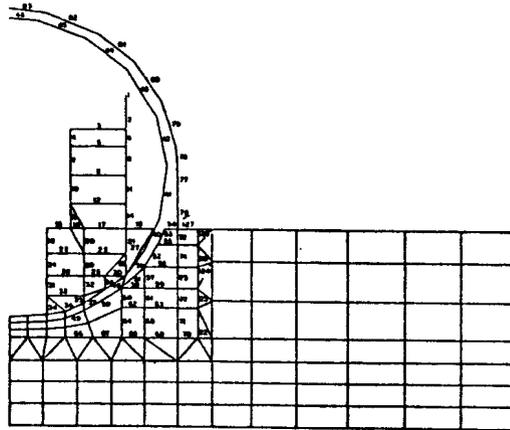


Figura 3.5

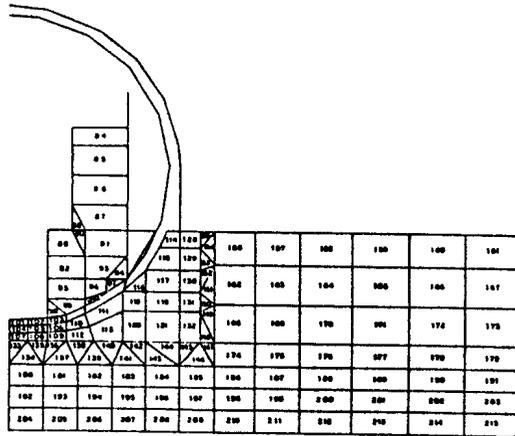


Figura 3.6

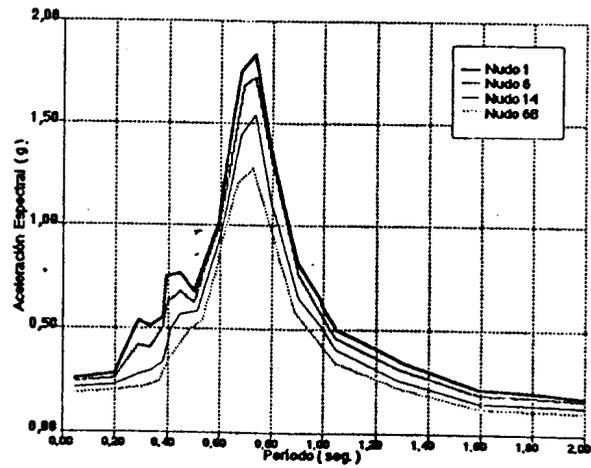


Figura 3.7

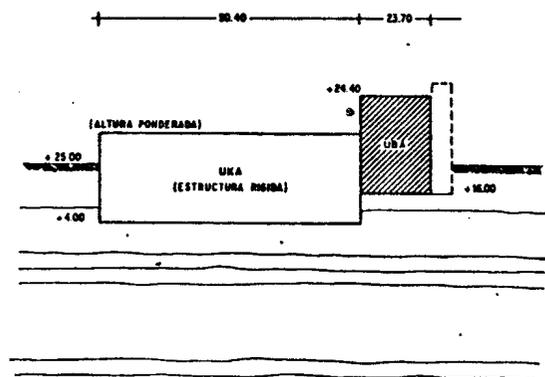


Figura 4.1

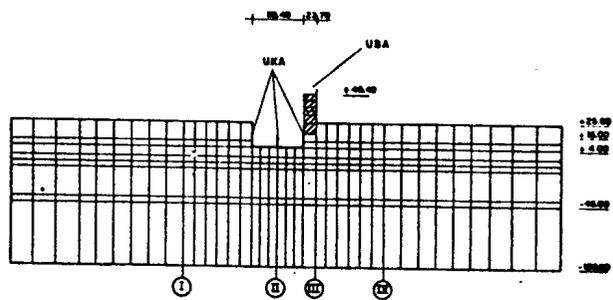


Figura 4.2

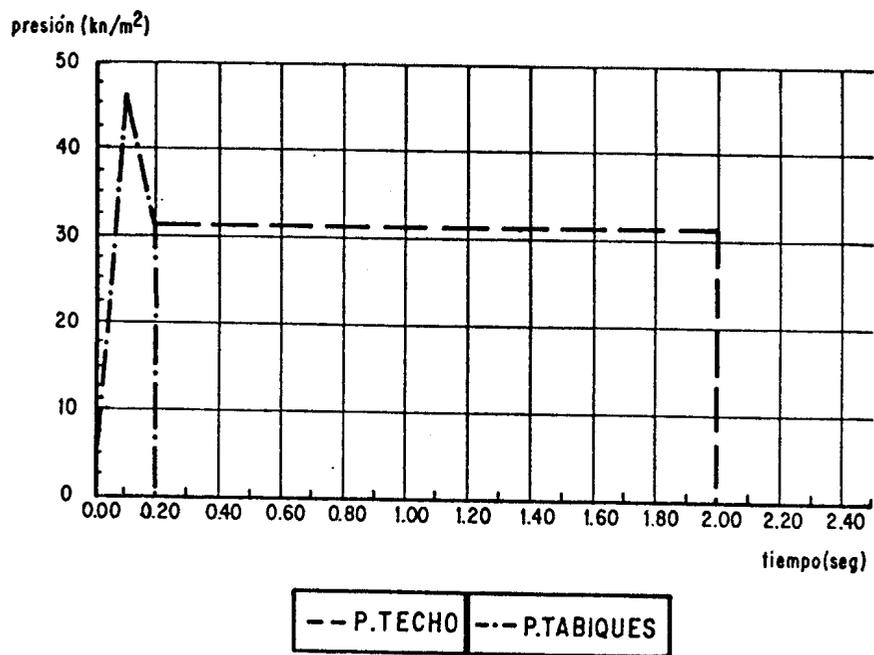


Figura 4.3

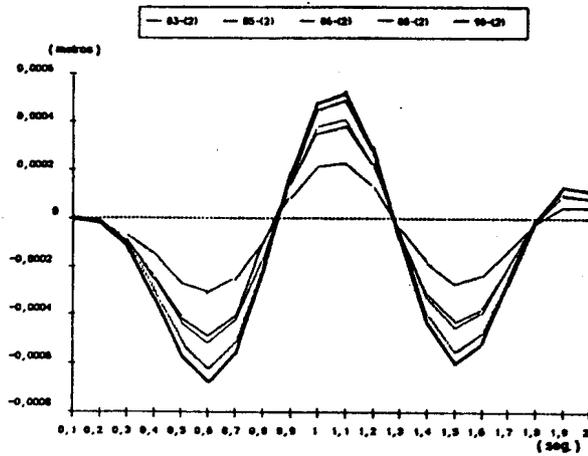


Figura 4.4

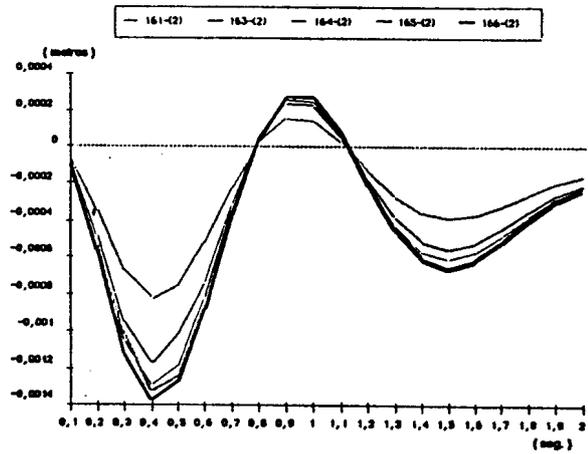


Figura 4.5

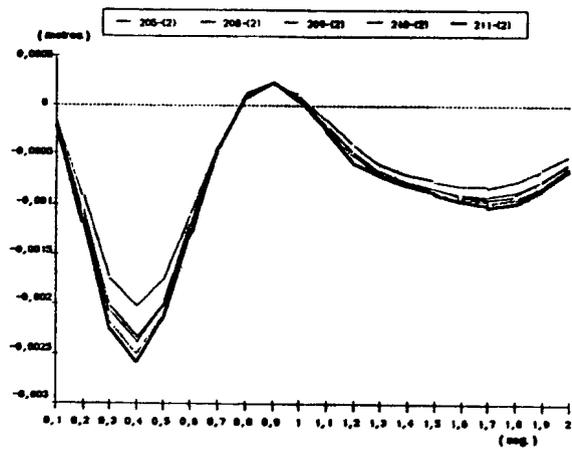


Figura 4.6

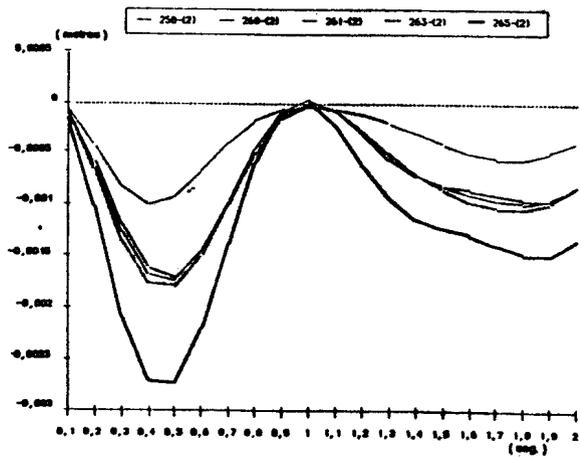


Figura 4.7