

# **ANÁLISIS DINÁMICO DEL RESERVORIO DE AGUA DE LA ESPOL**

Autores:

L. Daniel Zambrano M.<sup>1</sup>

Eduardo Orcés <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2001

<sup>2</sup>Director de Tesis, M.Sc. en Ing. Mecánica, California Institute of Technology, 1974.

## **RESUMEN**

En esta tesis se investiga la respuesta dinámica del reservorio de agua de la ESPOL ante un terremoto típico. Además se verifica que la estructura cumple con el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), actualmente modernizado para tomar en cuenta los avances de la ingeniería sísmica.

Para esto, se determina la frecuencia fundamental de vibración y el cortante basal en el tanque, además de lógicamente los esfuerzos, producidos por las cargas dinámicas generadas en el sismo.

Para modelar el reservorio se utiliza AUTOCAD, y el análisis se lo realiza en SAP2000, habiendo previamente definido y asignado los materiales, restricciones y cargas presentes en el sistema real.

## **INTRODUCCIÓN**

El CEC, tomando en cuenta los avances de la ingeniería en terremotos, se ha visto en la obligación de reformar las normas de diseño antisísmico.

Muchos de los ingenieros encargados de diseñar, construir o fiscalizar obras de construcción no tienen un conocimiento a profundidad del análisis espectral; por lo que éste trabajo sirve para dar un conocimiento sólido sobre la forma de manejar un análisis dinámico de estructuras.

Este tipo de análisis se hace necesario cuando la estructura no es de tipo edificio en la cual se puede utilizar el método estático para investigar la resistencia sísmica.

El análisis dinámico espectral utiliza la mayor amplitud de los modos de vibración que aportan significativamente a la respuesta de la estructura.

Para el terremoto típico se somete la base a un acelerograma específico y se analiza la respuesta dinámica para incrementos pequeños en el tiempo.

Las combinaciones modales se realizan mediante el método Complete Quadratic Combination (CQC) que es una medida estadística para obtener la mayor respuesta total en el sistema estructural.

Para tomar en cuenta los efectos producidos por la dirección de la aceleración del suelo, se utiliza el método Square Root of the Sum of the Square (SRSS) que combina las orientaciones para que la estructura sea igualmente resistente en cualquier dirección

## CONTENIDO

### PREPROCESO

Esta etapa comienza con el modelizado de la estructura. La geometría se la dibuja en Autocad y se la importa desde SAP2000. El sistema se muestra en la figura 1

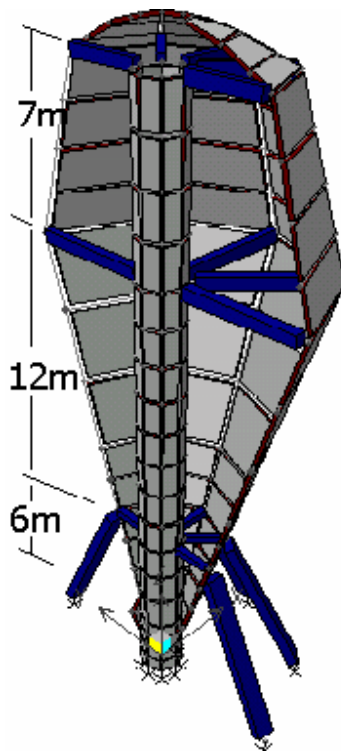


Figura 1 Modelo de la estructura

Se definen los materiales, que pueden ser isotrópicos u ortotrópicos, de los cuales están formadas las vigas, columnas y paredes del reservorio, y después se los asigna a éstos definiendo además el espesor si es una pared, o la sección y el refuerzo para las vigas y columnas dependiendo el caso

Se deben seleccionar las juntas que hacen de apoyo en la estructura y asignar las restricciones que para este caso son empotramientos. Como el extremo superior del tanque está rigidamente unido entre sí, asignamos una restricción de desplazamiento relativo.

El siguiente paso es definir las cargas que están presentes en la estructura y el tipo de éstas, es decir si son cargas muertas, vivas o de otro tipo. Para el presente caso, las paredes están sometidas a la presión del agua que es hacia fuera en la pared exterior del reservorio y hacia dentro en la pared interior del tanque. Esto se aprecia en la figura 2

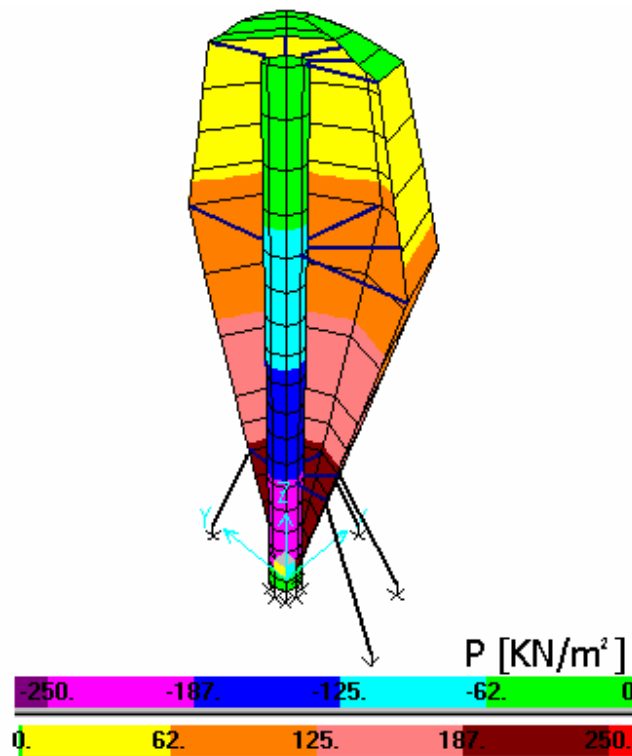


Figura 2 Distribución de presiones

## ANALISIS

Para el análisis modal, es decir, encontrar los modos de vibración (lo cual es necesario para el estudio sísmico) se utiliza el método Load Dependent Ritz, LDR. Este método es el recomendado debido a que toma en consideración la distribución espacial de la carga como vector inicial para las iteraciones.

Se ejecutan dos tipos de estudio sísmico:

- Análisis espectral
- Análisis en base a una historia de tiempo

### ANALISIS ESPECTRAL

Este es el método recomendado por el Código Ecuatoriano de la Construcción (CEC), para realizar un análisis sísmico para estructuras que no sean del tipo edificio.

Consiste en hallar la máxima respuesta probable para cada modo de vibración en la siguiente ecuación

$$M\ddot{u}(t)_a + C\dot{u}(t)_a + Ku(t)_a = -m_x\ddot{u}(t)_{xg} - m_y\ddot{u}(t)_{yg} - m_z\ddot{u}(t)_{zg}$$

donde:

M es la matriz diagonal de masa

C es la matriz de amortiguamiento

K es la matriz de rigidez

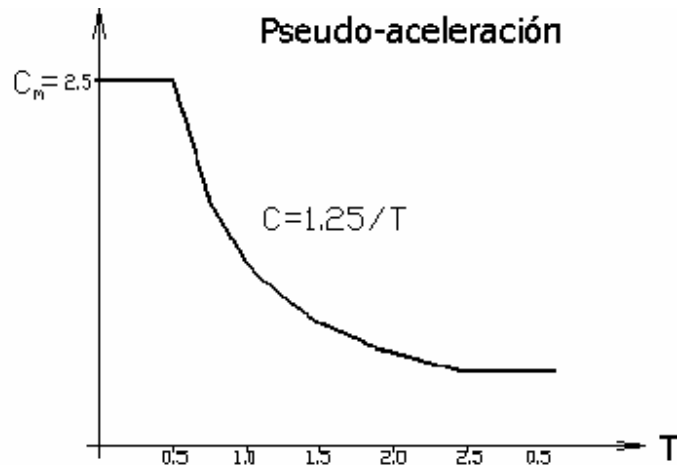
$u$ ,  $\dot{u}$  y  $\ddot{u}$  son los desplazamientos, velocidades y aceleraciones relativas con respecto al suelo

$m_x$ ,  $m_y$ ,  $m_z$  son las cargas de aceleración unitaria

$\ddot{u}_{gx}$ ,  $\ddot{u}_{gy}$  y  $\ddot{u}_{gz}$  son las componentes de la aceleración del suelo

La aceleración del suelo en cada dirección está dada como una curva del espectro de respuesta que es la respuesta de aceleración pseudo-espectral versus el período de la estructura.

Para el CEC, en Guayaquil, sobre suelo duro ésta curva es como se muestra en la figura 3

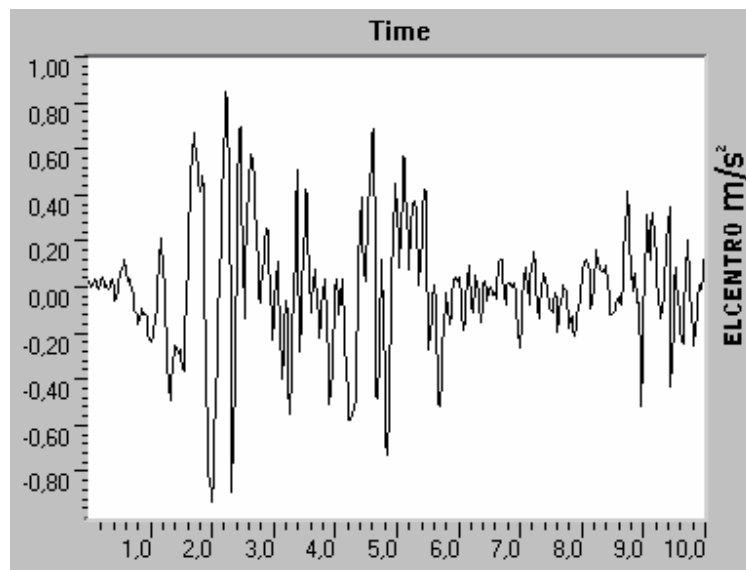


**Figura 3** Espectro de Respuesta del CEC

### ANALISIS EN BASE A UNA HISTORIA DE TIEMPO

Consiste en someter la base a un acelerograma específico y analizar la respuesta dinámica de la estructura

En este estudio se utiliza el acelerograma Elcentro, el cual se muestra en la figura 4



**Figura 4** Acelerograma Elcentro

### RESULTADOS

A continuación se muestra que el esfuerzo máximo en la pared exterior es de 3.5 KPa, tomando en cuenta que el límite de esfuerzo es de 10.4 MPa

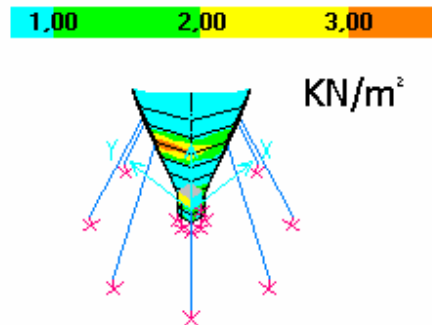


Figura 5 Esfuerzos transversales en la pared

La relación de capacidad de las columnas, que no es mas que la razón entre el esfuerzo presente en la columna y el límite máximo de esfuerzo, es para el elemento mas esforzado de 0.479.

Las vigas no se muestran debido a que estas no estan sometidas a cargas significativas en comparación con su resistencia

#### CONCLUSIONES

- La estructura cumple con el CEC con un amplio margen de seguridad
- La respuesta del sistema al acelerograma, está dentro de los límites esperados

#### REFERENCIAS

1. Daniel Zambrano, "Análisis Dinámico del Reservorio de Agua del Campus de la ESPOL" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001)
2. Edward L. Wilson, Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures, Computers and Structures, Inc, Third Edition, 1999
3. Thomson William T., Theory of Vibration with Applications, Prentice Hall, Second Edition, 1981
4. Berkeley, California, SAP2000, Basic Analysis Reference, Computers and Structures, Versión 7, 1998
5. Código Ecuatoriano de la Construcción, Peligro sísmico, Espectros de Diseño y Requisitos Mínimos de Cálculo para Diseño Sismo-Resistente