

**ANALISIS DINAMICO DE LOS EDIFICIOS DE  
MICROBIOLOGIA DE LA UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA**

**Ing. Adolfo Matamoros  
Ing. Guillermo Santana Ph.D.  
Laboratorio de Ingeniería Sísmica  
Universidad de Costa Rica**

**RESUMEN**

En el presente trabajo se hace un análisis dinámico de los edificios de la Facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica, con el fin de poder determinar si satisfacen los requerimientos establecidos por el Código Sísmico de Costa Rica.

Además se llevaron a cabo varios análisis estructurales, empleando registros de los sismos de: Golfito, Costa Rica (1983), registrado en la base del Instituto Nacional de Seguros en San José; San Salvador, El Salvador (1986), registrado en el Instituto Geográfico Nacional; Loma Prieta, California (1989), registrado en la estación de campo libre de Corralitos. Se utilizaron estos registros con el fin de estimar el nivel de daños en la estructura en caso de verse sometida a diferentes excitaciones sísmicas.

Otro parámetro de comparación es el análisis de sismo utilizando el espectro de diseño para estructuras del Tipo 3 que aporta el Código Sísmico de Costa Rica.

En la modelación de la estructura se tomaron en cuenta los efectos que inducen las paredes de mampostería al reducir la longitud efectiva de las columnas, y el efecto distorcionador de elementos estructurales no tomados en cuenta en el proceso de diseño. Se relatan los resultados obtenidos con las diferentes excitaciones sísmicas y se establecen comparaciones entre ellos.

Como conclusión del trabajo se resalta la posibilidad de un sismo poco profundo y cercano al Valle Central, la vulnerabilidad de las estructuras similares a ésta, y las consecuencias puede acarrear esto al país.

**ABSTRACT**

The object of this paper is to make a dynamic analysis of the Faculty of Microbiology buildings at campus of the University of Costa Rica. The main purpose is to determine if they comply with the requirements established by the current Costa Rican Seismic Code.

Various dynamic analysis were performed, using the accelerograms from the following earthquakes: Golfito, Costa Rica (1983), recorded at the basement of the National Insurance Institute in downtown, San Jose; San Salvador, El Salvador (1986), recorded at the National Geographic Institute; Loma Prieta, California (1989), recorded at the free field station in Corralitos. These analyses were intended to estimate the damage

suffered by the structure when submitted to different seismic forces.

Another comparison is made using the design spectra specified by the Costa Rica's Seismic Code, for type three structures.

In the structure's model the effects of distorting elements like masonry walls, walls reducing the effective length of columns and the elevator's shaft walls were taken into account. The results obtained with the various seismic excitations is discussed.

Finally, the paper underlines the possibility of a superficial earthquake near the Central Valley, the vulnerability of structures similar to the one considered in this case and the consequences it can bring to the country.

### DESCRIPCION DE LAS ESTRUCTURAS

La facultad de Microbiología de la Universidad de Costa Rica cuenta con tres edificios, separados por juntas de construcción. El primero de ellos, que alberga las oficinas administrativas, es de una planta y no fue considerado en el análisis dinámico. Los otros dos edificios, el sur y el oeste, son de dos y tres pisos respectivamente (ver figura N°1), y en ellos están ubicadas los salones de clase y los laboratorios.

Como convención para todo el trabajo se designará la dirección este como X positiva y la dirección norte como Y positiva. Estas direcciones, como se indican en la figura N°2, no coinciden con el norte y este geográficos, pero se utiliza esta convención para simplificar la identificación de las estructuras.

Estos edificios fueron diseñados en el año de 1957. Como se puede ver más detalladamente en la figura N°2, el edificio sur está formado por siete marcos de un claro con dos pisos de altura y un voladizo en uno de sus extremos.

El edificio oeste, cuenta con un sistema estructural muy similar al del edificio sur, con la diferencia de que es de tres pisos en vez de dos, cuenta con un voladizo en su costado oeste, y que además el ducto de elevadores está ubicado en su extremo este.

Cada uno de estos dos edificios tiene catorce columnas, dispuestas en forma simétrica que van desde el nivel de la fundación hasta la losa de la azotea.

Los entrepisos están compuestos por losas coladas monolíticamente, con un espesor medido en el sitio de 22 cm.

### CARACTERISTICAS DINAMICAS

Para ambos edificios se supuso un modelo con el entrepiso infinitamente rígido, en el que cada nivel tiene tres grados de libertad (dos rotacionales y uno traslacional). Se calculó su masa, centro de masa, inercia y momento polar de inercia (con respecto al eje Z) incluyendo tanto a elementos estructurales (vigas, columnas, losas de entrepiso, marquesinas, muros de mampostería) como a elementos no estructurales (cielos, acabados).

Para efectos del análisis estructural, se utilizaron dos modelos. El primero de ellos incluye el efecto de las paredes de mampostería y el segundo no considera el efecto de estos elementos. Esto se hace por ser estos elementos los más propensos a fallar en un sismo, intentando estimar la variación en las características de la estructura que su ausencia ocasionaría.

En los dos edificios hay muros de mampostería que no alcanzan la altura total entre el piso inferior y el superior. Este tipo de detalle aumenta considerablemente la rigidez traslacional de las columnas en la porción confinada, originando a su vez fuerzas de cortante muy grandes en la porción no confinada.

En la tabla N°1 se resumen las características dinámicas más importantes del edificio sur, de acuerdo con el criterio de modelación utilizado. En la tabla N°2 se presenta la misma información para el edificio oeste.

Para calcular el centro de rigidez por piso se siguieron las recomendaciones que proporciona el Código Sísmico de Costa Rica, en su artículo 2.3.5.c.

Como se puede ver en ambas tablas los edificios no son regulares en planta. Además, es de esperar acoplamiento entre los modos rotacionales y traslacionales para los casos en que el cociente de la rigidez rotacional y la rigidez traslacional multiplicada por el radio de giro al cuadrado sea cercano a la unidad.

En la figura N°3 se grafica, para el edificio oeste, la proyección de los centros de rigidez y de los centros de masa por piso, del modelo que incluye el efecto de los paños de mampostería. En este modelo los paños de mampostería hacen que el centro de rigidez se desplace hacia el centro de la estructura y por tanto se reduzca la excentricidad respecto al centro de masa. Por esta razón refleja las características dinámicas que se pueden esperar para sismos que no induzcan cargas muy grandes a la estructura y que no causen pérdidas en la rigidez en los paños, como es el caso del sismo de Golfito.

Una vez que se sobrepase la capacidad elástica de los muros de mampostería, es muy probable que los mismos sufran una degradación considerable de su rigidez. Siendo este el caso, el elemento predominante en lo que se refiere a la rigidez del edificio oeste es el muro del ducto de elevadores. Este muro ocasionará que el centro de rigidez se desplace hacia él, como se muestra claramente en la figura N°4. Ante una excentricidad muy grande del centro de masa con respecto al centro de rigidez, el edificio se "pivotará" con respecto al ducto de elevadores, lo que a su vez ocasionará desplazamientos muy grandes en las columnas del costado oeste de este edificio. Este modelo, en el que no se considera el efecto de los paneles, representa las características dinámicas de la estructura una vez que se halla degradado la rigidez de los muros de mampostería. Esto se llega a dar para el nivel de sollicitaciones de sismo que requiere el Código Sísmico de Costa Rica. La forma en que se estimaron estas cargas se detalla posteriormente en la sección que analiza el compor-

tamiento de la estructura para las sollicitaciones sísmicas establecidas por dicho código.

Este tipo de comportamiento dinámico se llegará a dar para sismos que generen sollicitaciones mucho mayores que las del sismo de Golfito, como los de Loma Prieta y San Salvador (utilizados en este estudio).

En las figuras N°5 y N°6 se hace una comparación similar a la anterior para el edificio de Microbiología sur. Este edificio no cuenta con elementos distorcionantes de su respuesta dinámica, como el ducto de elevadores del edificio oeste. Se puede ver claramente en la figura N°6 que al degradarse la rigidez de los muros de mampostería el centro de rigidez no sufrirá un desplazamiento tan importante como en el caso del otro edificio.

Una característica común del comportamiento de ambos edificios es que al llegar a darse una degradación de la rigidez de los muros de mampostería, la rigidez traslacional en la dirección de los muros se vería disminuida considerablemente. Además, la rigidez torsional se disminuye también. Este efecto produciría sobre la estructura un acoplamiento entre los modos de oscilación torsionales y los modos traslacionales, que complicaría considerablemente su respuesta dinámica. Esto se puede ver claramente al comparar las propiedades de los dos modelos especificadas en las tablas N°1 y N°2.

Ambos edificios tienen refuerzo a cortante suficiente para que sea esperable un comportamiento dúctil en la mayor parte de sus vigas. Esto indica que si las cargas de sismo llegan a superar la capacidad en el rango elástico de la estructura, la disipación de energía se dará por deformaciones inelásticas de las columnas cortas y por deformaciones inelásticas de las vigas, antes de que se llegue a superar la capacidad de los muros de mampostería.

Como parámetro de comparación de la cantidad de energía que induce en la estructura cada sismo, se utilizará la historia de desplazamientos en la dirección Y del edificio sur. En las figuras N°8 a N°10 se muestran las historias de desplazamiento del segundo piso del edificio de Microbiología sur para los registros de los sismos utilizados en este estudio, utilizando el modelo de la estructura que incluye los paneles de cortante y las zonas rígidas. Estas historias de desplazamiento suponen un comportamiento elástico de las estructuras en todo momento. Este comportamiento no se dará en el caso de sismos que hagan que los elementos de la estructura entren en su rango inelástico, lo que sucede para sollicitaciones sísmicas menores a las que establece el Código Sísmico.

Es la intención al hacer esta comparación, el de mostrar las sollicitaciones que induciría cada sismo en comparación con las del espectro de diseño del Código Sísmico. Se muestra claramente que el sismo de Loma Prieta y el de San Salvador, ocasionarían desplazamientos mucho mayores que los que se dan con el espectro del Código. Si se considera que para una estructura tipo tres es de esperar que halla disipación de energía por deformación inelástica de los elementos, se reduciría la diferencia entre las áreas de las respectivas curvas de esfuerzo deformación (una que

suponga un comportamiento elastoplástico y otra que suponga un comportamiento elástico, las que se muestran en la figura N°11). Sin embargo es difícil cuantificar este efecto sin hacer un análisis inelástico.

Si se utiliza la definición de ductilidad que establece el Código Sísmico de Costa Rica y se considera que la estructura entra en su rango inelástico para desplazamientos similares al desplazamiento máximo inducido por la historia de tiempo del sismo de Golfito, se puede estimar un valor mínimo de ductilidad requerida por la estructura para no colapsar. En la figura N°11 se muestra una comparación entre la relación esfuerzo deformación para un modelo que considera que el comportamiento de los elementos de la estructura siempre es elástico y uno que considera que los elementos se comportan elastoplásticamente. Para valores de esfuerzo comprendidos en el rango de valores en que la estructura tiene un comportamiento elástico con ambos modelos, con un mismo esfuerzo, los desplazamientos obtenidos de las dos curvas son iguales. En este rango de esfuerzos la combinación de fuerzas de sismo y gravitacionales no ha superado la capacidad elástica de los elementos. El esfuerzo máximo para el que todos los elementos de la estructura se mantienen en el rango elástico, está denotado en la figura como  $\sigma_e$ , con su respectivo desplazamiento elástico. Una vez que se supera el límite del rango elástico, es donde se comienzan a dar diferencias entre los dos modelos. Para un esfuerzo  $\sigma_1$  comprendido entre el esfuerzo elástico máximo y el esfuerzo último o  $\sigma_u$ , se nota que los desplazamientos obtenidos con los dos modelos son diferentes para un mismo nivel de esfuerzos. Los desplazamientos que se obtienen con un análisis elástico son menores que los obtenidos a partir de un análisis inelástico. Esto se puede comprobar fácilmente en la figura al comparar los valores de desplazamiento que dan ambos tipos de comportamiento para un esfuerzo  $\sigma_1$ . Se puede apreciar claramente que el desplazamiento en la curva elástica es menor que el desplazamiento en la inelástica.

Suponiendo que el desplazamiento máximo obtenido con un análisis elástico va a ser menor o igual al desplazamiento último, se puede fijar como una cota mínima de ductilidad requerida por la estructura el cociente del desplazamiento máximo para cada condición de carga de sismo entre el desplazamiento elástico máximo (en este caso obtenido de la historia de desplazamientos del sismo de Golfito). De acuerdo con este criterio, la ductilidad debería ser de al menos 1.5 para las cargas obtenidas con el Código Sísmico, 4.10 para el sismo de San Salvador y 12.05 para el sismo de Loma Prieta.

Estas estimaciones se hacen partiendo de los desplazamientos máximos obtenidos con los modelos que consideran el efecto de las columnas cortas. Se debe tener en cuenta que al darse pérdidas considerables de rigidez por las deformaciones inelásticas en los elementos de la estructura, los desplazamientos en la realidad serán mucho mayores, por lo que esta cota mínima deja de ser un parámetro veraz conforme aumenten las cargas de sismo.

## RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS SOLICITACIONES DE SISMO

### Sismo de Golfito

Con el registro del sismo de Golfito se obtuvieron desplazamientos menores que en el resto de los casos. La aceleración máxima registrada en la base del Instituto Nacional de Seguros, que es el acelerograma utilizado para el análisis, fue de un 5 % de la aceleración de la gravedad. La duración total del registro es de 32 segundos, de los cuales aproximadamente 10 representan la fase de movimiento fuerte.

Debido al bajo nivel de las aceleraciones, en este caso solamente se presentan daños en las columnas cortas que ven excedida su capacidad a cortante. Como una forma de verificar la veracidad del modelo, se estimaron los desplazamientos necesarios para sobrepasar la capacidad a cortante de las columnas cortas, suponiendo que se encuentran doblemente empotradas. Estos desplazamientos, en comparación con la historia de desplazamientos que se obtuvo con el registro del sismo de Golfito en la base del INS, son graficados en la figura N°7. En ella se comprueba que los desplazamientos inducidos son mayores que los necesarios para hacer que se sobrepase la capacidad en el rango elástico de dichas columnas.

Además de esto se presentan rótulas en algunas vigas, pero considerando la posibilidad de redistribución de momentos que tienen las secciones, no se presentan problemas muy severos.

En lo que se refiere a la capacidad a flexocompresión de las columnas, el efecto rigidizante de las columnas cortas en un sentido y los paños de mampostería en el sentido contrario hacen que los desplazamientos horizontales sean muy pequeños. De esta forma las solicitaciones a flexión que se dan en las columnas no son muy grandes y su capacidad es suficiente para soportarlas.

Para estas solicitaciones no se presentan mayores problemas en la cimentación, pues no se dan esfuerzos excesivos.

### Espectro de estructura tipo 3 del CSCR

Para escoger las solicitaciones de sismo en este caso, se siguieron las recomendaciones establecidas por el Código Sísmico de Costa Rica en su artículo 2.3.2. Se clasificó la estructura como perteneciente al grupo B, considerando una probabilidad de excedencia del sismo de diseño de 0.4, lo que da como resultado un período de retorno de 100 años. Con este parámetro definido, se tomó de la figura 1.2.2 del mismo Código (mapa de isoaceleraciones para un período de retorno de 100 años) una aceleración máxima probable para San José del 18 % de la aceleración de la gravedad. Es importante notar que este valor es considerablemente mayor que la aceleración máxima registrada en el Instituto Nacional de Seguros durante el Sismo de Golfito. Si bien la aceleración máxima de un sismo y la aceleración máxima probable para efectos de diseño no son cantidades que se puedan comparar (hay que considerar una serie de aspectos como la duración del sismo, el período predominante del mismo, la duración de su fase

fuerte, la energía liberada, etc.), en este caso es evidente que los requerimientos del código son mucho mayores que las solicitudes que se pudieran haber dado en 1983.

Al analizar las solicitudes que se dan en la estructura con este tipo de cargas sísmicas, se aprecia un mayor grado de daños.

Las capacidades a flexión se ven excedidas en un porcentaje mayor que en el caso del sismo de Golfito. Es probable que se presenten problemas más severos en algunas de las vigas, pues su ductilidad no es adecuada lo que podría ocasionar colapsos locales en los entrepisos. Es conveniente aclarar que aunque hay algunos casos en que se presenta este problema esto se debe principalmente al efecto de elementos distorcionadores, y en general la ductilidad de la estructura es adecuada.

Las solicitudes sobre los paneles de cortante llegan a sobrepasar su capacidad o a alcanzar valores muy cercanos a ella (con esfuerzos cortantes que van desde 2 kg/cm<sup>2</sup> a 4 kg/cm<sup>2</sup> en los niveles inferiores). Si se llegara a dar la falla de las paredes de relleno, esto originaría serios problemas a la estructura por varias razones. La primera de ellas es que estos elementos limitan considerablemente los desplazamientos de la estructura (en conjunto con las columnas cortas), por lo que al degradarse su rigidez la magnitud de los desplazamientos se incrementaría considerablemente. Al realizar un nuevo análisis dinámico sin considerar los paneles de mampostería se comprobó que las solicitudes a flexocompresión en las columnas eran suficientes para superar su capacidad en el rango elástico en una gran cantidad de casos. Por otra parte, si no se llegara a dar la falla de todas las paredes al mismo tiempo (la cual es sumamente probable), la distribución casi aleatoria de elementos muy rígidos y que posiblemente no sean continuos en altura (es probable que fallen los paneles de los pisos inferiores antes que los de los superiores) puede originar otros problemas como excentricidades excesivas o un piso suave. Este problema es de mayor importancia en el edificio oeste por el efecto de elemento de pivote que ejercería el muro del ducto de elevadores.

Las columnas presentan la posible formación de rótulas plásticas en aislados casos, si se incluye el efecto de los paños de mampostería. Cabe resaltar que la capacidad a cortante de las columnas es suficiente para garantizar que no se de el colapso de la estructura mientras no se presente la degradación de la rigidez de los muros de mampostería.

La cimentación muestra mayores problemas para este tipo de carga. En el caso de que fallen los paños de mampostería, los momentos en la base de las columnas adquieren valores mucho mayores, originando presiones excesivas sobre el suelo.

#### **Sismo de San Salvador y sismo de Loma Prieta**

El caso del sismo de San Salvador es de gran interés debido a que se trata de un movimiento sísmico de poca profundidad originado en las cercanías de San Salvador por una falla local.

Por esta razón refleja condiciones que se pueden dar en la ciudad de San José.

El registro del sismo de Loma Prieta (17 de Octubre de 1989) proviene de la estación de campo libre de Corralitos que fue una de las más cercanas al epicentro del sismo, ubicada a 7 km de él. Su aceleración máxima es del 64 % de la aceleración de la gravedad. La falla que originó este sismo es una de corrimiento lateral.

En el caso de ambos sismos se dan solicitaciones que sobrepasan totalmente las capacidades de los muros de mampostería. Al realizar un análisis dinámico sin considerar el efecto de los paños de mampostería las solicitaciones sobre las columnas exceden sus capacidades considerablemente. De igual manera se exceden las capacidades de las vigas en todos los casos, lo que hace pensar que la estructura formaría un mecanismo.

### CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que la vulnerabilidad sísmica de las estructuras consideradas es alta.

El Código Sísmico de Costa Rica propone un espectro de diseño que contempla una reducción de las fuerzas sísmicas. Dicha reducción se hace en vista de la capacidad relativa de cada estructura para disipar energía mediante excursiones en el rango inelástico. Es necesario tener presente este hecho en el momento de comparar las demandas elásticas ejercidas sobre una edificación sometida a un registro de aceleraciones como los utilizados en este trabajo. Esto influye en la diferencia que se presenta entre las cargas obtenidas con los acelerogramas de los sismos de Loma Prieta y San Salvador y las obtenidas con el espectro de diseño del Código Sísmico de Costa Rica.

Empero, hay que tener en cuenta que la diferencia mostrada entre las demandas del Código Sísmico de Costa Rica y las presentadas por los eventos sísmicos reales son muy grandes, por lo que es posible concluir que estos eventos podrían causar daños muy grandes y posiblemente el colapso parcial o total de las estructuras consideradas.

Un factor muy importante de mencionar es que aunque en la fecha en que se diseñó este grupo de edificios no había regulaciones vigentes para el diseño antisísmico de estructuras, los edificios de la Facultad de Microbiología fueron diseñados para un cortante en la base de 5 % de su peso.

Si se considera que hay una gran cantidad de edificios que fueron diseñados sin las previsiones que se siguieron en este caso, los efectos de un sismo con epicentro en el Valle Central o sus alrededores serían devastadores sobre ellos.

Cabe destacar que las condiciones geológicas presentes en la ciudad de San Salvador son similares a las de la zona central de Costa Rica. La posibilidad de un sismo causado por fallamiento local con epicentro cercano es una realidad para poblaciones como Alajuela, Cartago, San José y Heredia, en donde se concentra la mayor actividad económica del país.

Finalmente, es de suma importancia el readecuar estructuras que fueron diseñadas antes del auge de la normativa para la prevención de los daños causados por sismos.

#### REFERENCIAS

- American Concrete Institute. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-89) and Commentary -ACI 318R-89", Detroit, Michigan, 1989.
- Gutiérrez, J., 1983. "Algunos comentarios sobre el nuevo Código Sísmico de Costa Rica". II Seminario de Ingeniería Estructural, volumen 2, 47-60.
- Gutiérrez, J., "Código Sísmico de Costa Rica 1986", Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago, 1987.
- Lin, T. Y. y Stotesbury, Sidney D., "Structural Concepts and Systems for Architects and Engineers", Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1988.
- Maison, B. F. y Neuss, C. F., "SUPER-ETABS: An Enhanced Version of the ETABS Program", Technical Report to the National Science Foundation, J.G. Bouwkamp, Inc., January 1983.
- Naeim, F. (ed), "The Seismic Design Handbook", Van Nostrand Reinhold, New York, 1989.
- Shakal, A. y Santana, G., "Resultados del Procesamiento de los Registros de Aceleraciones del Sismo de Golfito del 2 de abril de 1983", Instituto de Investigaciones en Ingeniería, Universidad de Costa Rica, Reporte IINI 38-87, San José, Costa Rica, Julio 1987.

## TABLAS

| TABLA N°1                                                                                              |      |                  |                  |                                  |                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| PROPIEDADES DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA<br>SEGUN EL MODELO ESTRUCTURAL<br>EDIFICIO DE MICROBIOLOGIA SUR |      |                  |                  |                                  |                                  |
| MODELO                                                                                                 | PISO | X<br>C Rig.<br>m | Y<br>C Rig.<br>m | $\frac{K\theta}{K_{xx} * r_i^2}$ | $\frac{K\theta}{K_{yy} * r_i^2}$ |
| Con Paneles                                                                                            | 1    | -2.19            | -2.40            | 21.21                            | 1.34                             |
| Sin Paneles                                                                                            | 1    | -2.21            | 0.00             | 0.17                             | 5.98                             |
| Con Paneles                                                                                            | 2    | 1.02             | 0.00             | 17.59                            | 1.36                             |
| Sin Paneles                                                                                            | 2    | -2.26            | 0.00             | 0.20                             | 3.39                             |

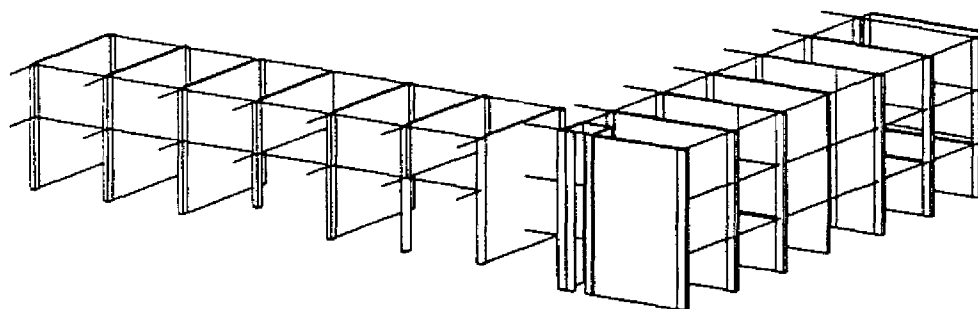
La ubicación del centro de rigidez está dada respecto al centro de masa.  
Ambos modelos contemplan el efecto de columnas cortas.

| TABLA N°2                                                                                                |      |                  |                  |                                  |                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| PROPIEDADES DINAMICAS DE LA ESTRUCTURA<br>SEGUN EL MODELO ESTRUCTURAL<br>EDIFICIO DE MICROBIOLOGIA OESTE |      |                  |                  |                                  |                                  |
| MODELO                                                                                                   | PISO | X<br>C Rig.<br>m | Y<br>C Rig.<br>m | $\frac{K\theta}{K_{xx} * r_i^2}$ | $\frac{K\theta}{K_{yy} * r_i^2}$ |
| Con Paneles                                                                                              | 1    | -1.62            | -1.61            | 0.93                             | 5.98                             |
| Sin Paneles                                                                                              | 1    | -1.62            | 11.23            | 2.19                             | 0.43                             |
| Con Paneles                                                                                              | 2    | -2.23            | -1.71            | 0.98                             | 12.75                            |
| Sin Paneles                                                                                              | 2    | -2.30            | 12.17            | 1.90                             | 0.69                             |
| Con Paneles                                                                                              | 3    | -2.34            | -1.49            | 1.04                             | 17.15                            |
| Sin Paneles                                                                                              | 3    | -2.40            | 15.19            | 2.19                             | 0.86                             |

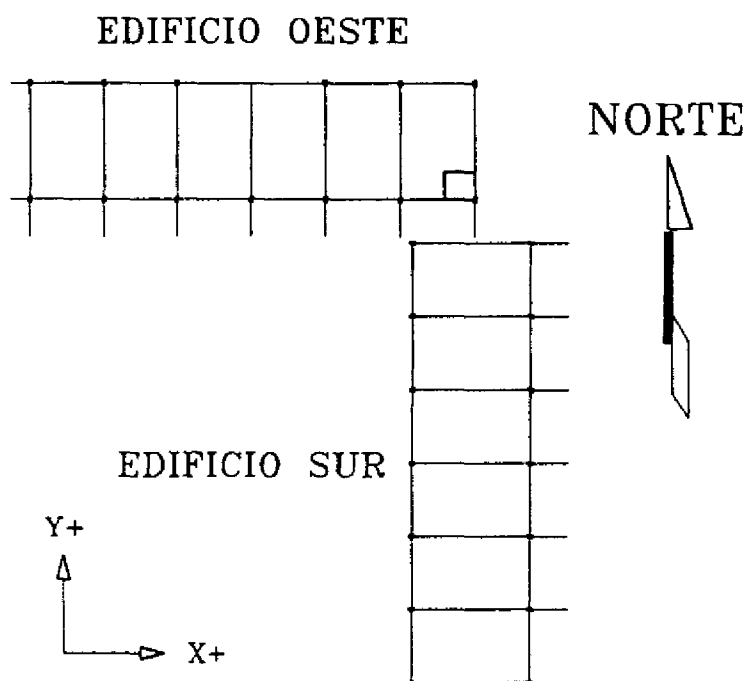
La ubicación del centro de rigidez está dada respecto al centro de masa.  
Ambos modelos contemplan el efecto de columnas cortas.

**FIGURAS**

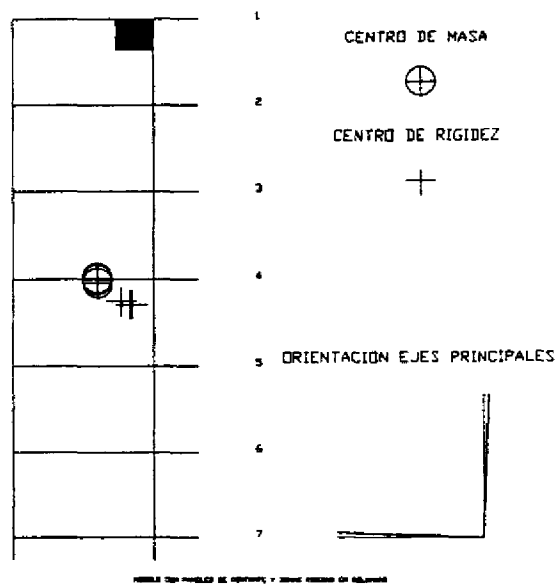
## EDIFICIOS DE MICROBIOLOGIA



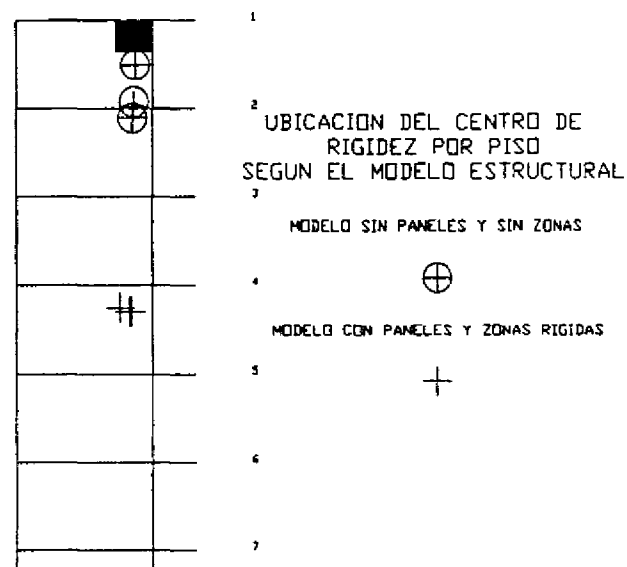
**Figura N°1** Edificios de Microbiología considerados en el análisis.



**Figura N°2** Vista en planta de los edificios.



**Figura N°3** Ubicación del centro de masa por piso y centro de rigidez para el edificio oeste.



**Figura N°4** Ubicación del centro de rigidez por piso para el edificio oeste según el modelo utilizado.

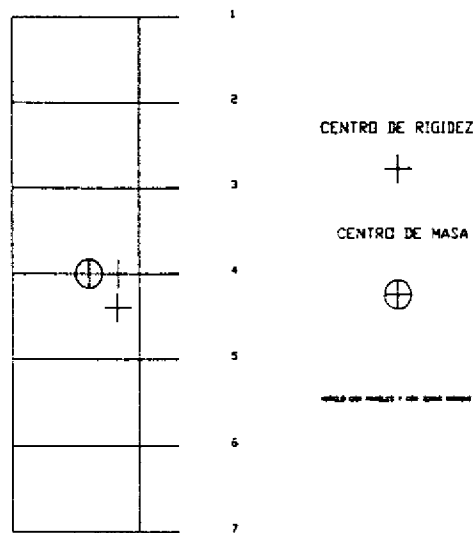


Figura N°5 Ubicación del centro de masa por piso y el centro de rigidez para el edificio sur.

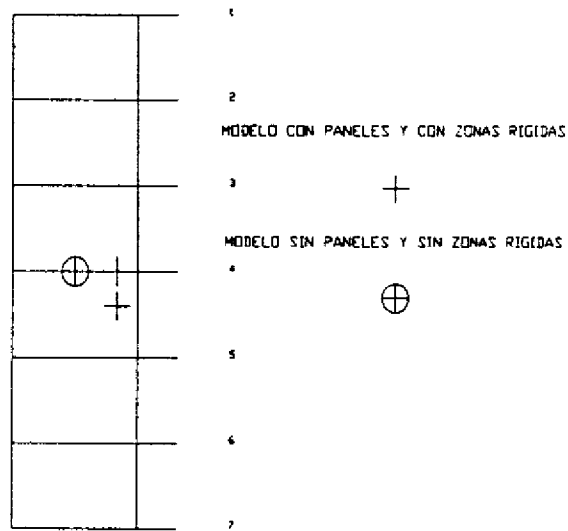
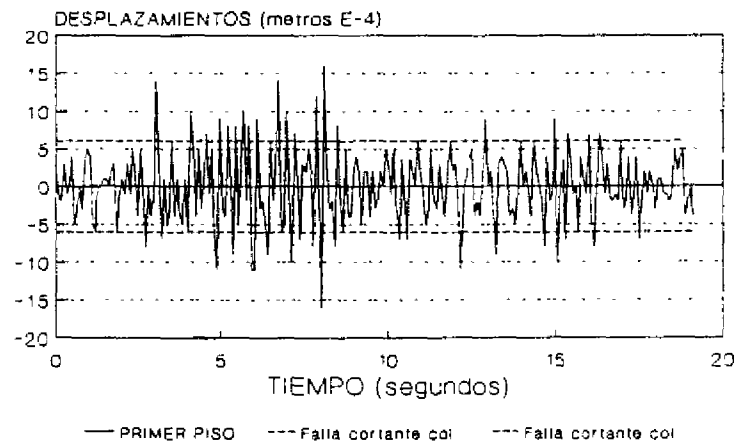
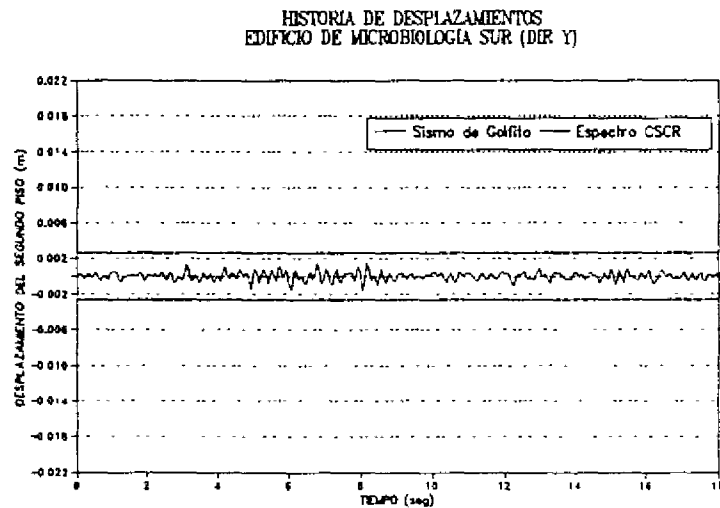


Figura N°6 Ubicación del centro de rigidez por piso para el edificio sur según el modelo utilizado.

## EDIFICIO DE MICROBIOLOGIA SUR HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS



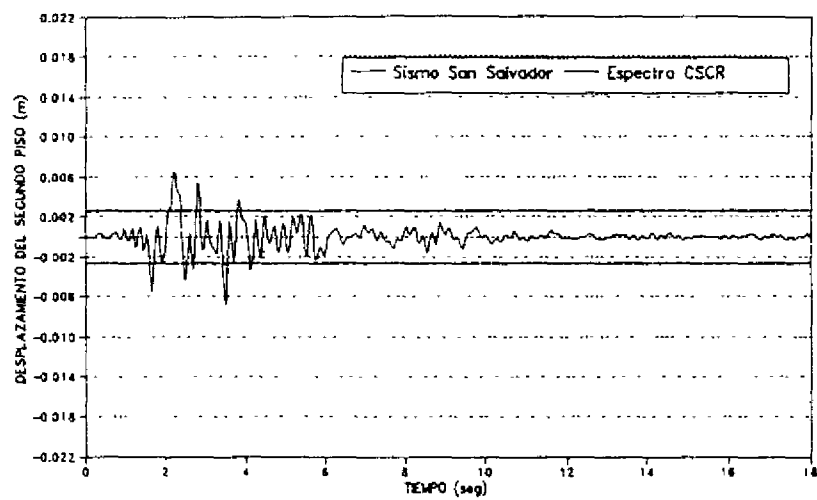
**Figura N°7** Historia de desplazamientos del edificio de microbiología sur para el registro del sismo de Golfito.



OBTENIDO CON EL REGISTRO DEL SISMO DE GOLFITO CH3

**Figura N°8** Historia de Desplazamientos del edificio de microbiología sur para el registro de Golfito.

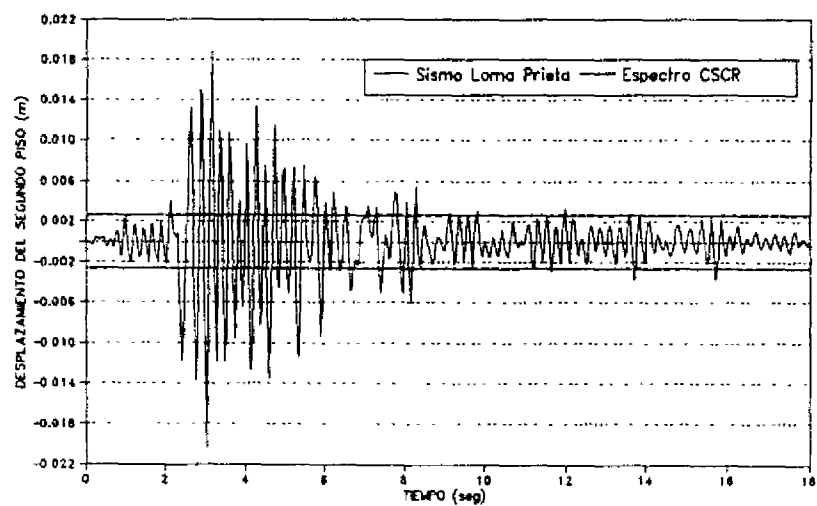
HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS  
EDIFICIO DE MICROBIOLOGIA SUR (DIR Y)



OBTENIDO CON EL REGISTRO DEL SISMO DE SAN SALVADOR CH3

**Figura N°9** Historia de desplazamientos del edificio de microbiología sur para el registro del sismo de San Salvador.

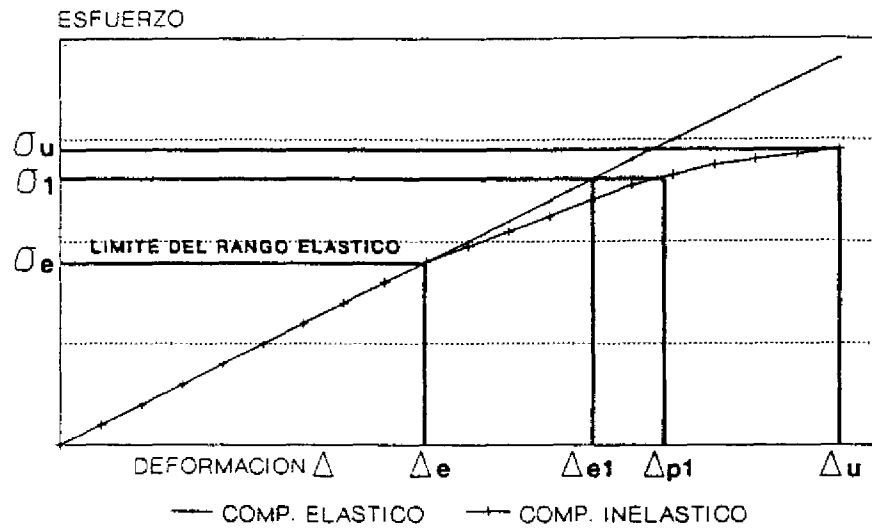
HISTORIA DE DESPLAZAMIENTOS  
EDIFICIO DE MICROBIOLOGIA SUR (DIR Y)



OBTENIDO CON EL REGISTRO DEL SISMO DE LOMA PRIETA CH3

**Figura N°10** Historia de desplazamientos del edificio de microbiología sur para el registro del sismo de Loma Prieta.

# RELACION ESFUERZO DEFORMACION ESTRUCTURAS LINEALES



**Figura N°11** Comparación de la relación esfuerzo deformación de un modelo elástico y un modelo elastoplástico de una estructura lineal.