

V Región

Microzonificación sísmica

La construcción de un proyecto en Viña del Mar debe comenzar por un exhaustivo análisis de las condiciones sísmicas del suelo, considerando especialmente los movimientos telúricos ocurridos en la zona como el de 1985.

Los planos reguladores que establecen el uso del suelo en zonas urbanas, deben tomar en cuenta en su definición, los peligros potenciales derivados de la ocurrencia de fenómenos naturales de carácter recurrente como inundaciones, aluviones, huracanes, nevadas y terremotos, entre otros. Los especialistas pueden identificar las zonas de riesgo, facilitando así la labor de las municipalidades y en general de las instituciones reguladoras que establecen las políticas de crecimiento de las ciudades, más allá de la simple valorización en términos de rentabilidad o de consideraciones arquitectónicas.

El Departamento de Obras Civiles de la Universidad Técnica Federico Santa María ha estudiado desde hace algunos años los peligros potenciales en las ciudades de Viña del Mar y Valparaíso asociados a inundaciones como las producidas por los esteros Reñaca en 1984, Marga Marga en 1987 y terremotos como los ocurridos en 1906 y 1985.

Entre otros aspectos asociados a movimientos sísmicos graves, se ha cuantificado el daño posterior al sis-

mo del 3 de Marzo de 1985, delimitándose las zonas de daño en un plano de microzonificación sísmica, se ha estudiado la vulnerabilidad del acueducto Las Vegas, y también la amplificación en sectores como Canal Beagle y en las zonas planas de Viña del Mar y Valparaíso.

Este artículo muestra algunos aspectos del estudio de amplificación sísmica realizado en la ciudad de Viña del Mar, trabajo que complementa una microzonificación sísmica anterior, realizada con la colaboración de la Ilustre Municipalidad de Viña del Mar después del terremoto de 1985.

En el estudio se revisaron los antecedentes geológicos y las propiedades de los suelos de fundación, información usada en el análisis de la amplificación del registro del sismo al atravesar las capas de suelo sedimentario de las zonas planas de la ciudad.

Investigación

Los sectores planos de Viña del Mar son el resultado de depósitos sedimentarios del estero Marga-Marga, en estratos que alcanzan profundidades del

Carlos Aguirre

Académico
Departamento de Obras Civiles
Universidad Técnica
Federico Santa María, Valparaíso
carlos.aguirre@usm.cl

Pamela Pérez

Ingeniero Civil
Golder Associates S.A.
pperez@golder.cl

orden de los 100 m entre la superficie y la roca fundamental. Debido a esto, los movimientos sísmicos registrados en estos sectores son de mayor intensidad que aquellos que se registran en las zonas más altas, donde la roca fundamental es más cercana a la superficie. Se cree que el daño sísmico observado en estas zonas es el resultado de la amplificación de las ondas sísmicas al transitar por los sectores de menor rigidez correspondientes a los rellenos sedimentarios.

En este trabajo se estudió la amplificación en los sectores planos de Viña del Mar a partir del análisis sísmico del depósito de suelo sometido a registros de diferentes sismos, en particular el terremoto del 3 de Marzo de 1985 ocurrido en el centro de Chile. Para identificar las zonas se utilizó indicadores de intensidad conocidos como la Aceleración Máxima del Suelo, la Intensidad de Arias, el Potencial Destructivo y el Aumento del Espectro de Respuesta de Aceleraciones. Para cada uno de ellos, se establecieron zonas sísmicas las cuales fueron comparadas con la zonificación de daño realizada por Pérez L. E. [1] en 1988. Para el análisis fue necesario estimar las propiedades del suelo (Módulo de Poisson, Módulo de Corte y Amortiguamiento), las cuales dependen del nivel de deformaciones producido por el sismo. El Módulo de Corte del relleno disminuye con la deformación sísmica, lo contrario ocurre con el amortiguamiento que aumenta con ella. Esta no linealidad provoca que el movimiento se amplifique más con sismos pequeños que con los de mayor magnitud, no obstante la gran amplificación de un sismo pequeño normalmente resulta menos significativa que la amplificación moderada de un gran sismo.

Metodología de análisis

Las propiedades del suelo se obtuvieron de la información disponible y resultados de laboratorio complementados con estudios geofísicos existentes [2,3], lo cual incluye: Ensayos de Penetración Estándar (SPT), ensayos de refracción sísmica y el registro acelerográ-

fico obtenido en Viña del Mar. Los ensayos SPT alcanzan los 30 m de profundidad y los de refracción entregan información hasta los 15 m de profundidad. Hay datos de la topografía de la roca obtenida mediante un método gravimétrico por Verdugo A. I. [4], quien estimó la profundidad máxima en aproximadamente 175 metros. Un estudio posterior realizado por Thorson [5] estableció para el relleno una profundidad máxima de aproximadamente 100 metros.

Para definir las propiedades del suelo en los estratos profundos fue necesario integrar toda la información y extrapolar las propiedades del suelo, (la metodología es explicada en detalle por Pérez P. [6]). El análisis se realizó con registros del terremoto de 1985, se usó para la calibración el registro de Viña del Mar obtenido en suelo aluvional y como excitación de análisis se usó el registro obtenido en suelo duro en Valparaíso.

La Tabla 1 muestra las propiedades de los registros mencionados. Los registros en roca presentan aceleraciones menores, contenido de frecuencias más altos y menores duraciones que los regis-

tros sobre depósitos de suelo. El máximo del espectro de aceleraciones en el depósito es mayor y está desfasado hacia los períodos altos respecto del registro en la roca basal. Los índices de daño resultan mayores sobre el depósito que los mismos en roca.

El análisis se realizó mediante un modelo de elementos finitos bidimensional [7]. Las variables se calibraron contrastando los resultados con modelos más simples y con el registro de aceleraciones medido. Se escogieron varias secciones de dirección paralela a la costa, la Fig. 1 muestra una de las mallas de elementos finitos, en ella se han marcado algunos puntos característicos. El análisis fue realizado con el registro USM obtenido en roca.

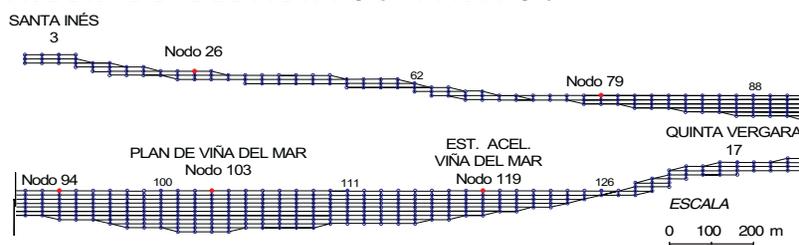
La excitación fue aplicada simultáneamente en todos los nodos basales de la malla y a partir de esta información se obtuvo la respuesta en los nodos superficiales. El registro de aceleraciones existente ubicado en el nodo 119 se empleó para calibrar el modelo, especialmente las propiedades del relleno bajo los 20 m y la profundidad de la roca. El mejor ajuste de las aceleracio-

TABLA 1
PROPIEDADES REGISTROS UTILIZADOS

Reg.	Dur(s)	Comp.	Amax (g)	Fr. Pr.1/(s)	PD (10 ⁻⁴ g s ³)	IA (m/s)
Viña del Mar	112	n70w	0.22	3.01	54.03	3.00
		s20w	0.35	2.36	113.49	5.50
		u-d	0.16	6.18	5.97	1.22
USM	79	n70e	0.18	4.81	5.79	1.13
		s20e	0.16	6.67	3.26	0.72
		u-d	0.12	8.05	1.17	0.39

FIGURA 1

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS



nes calculadas respecto de las del registro se obtiene con una profundidad máxima de 100 m, valor consistente con el propuesto por Thorson R. M. [5].

Determinación de las Intensidades

El análisis se realizó en 7 secciones, las cuales definen los 72 nodos superficiales en los cuales fueron obtenidos los registros de aceleraciones usados para la determinación de los indicadores de intensidades. Para cada uno de los indicadores se dibujaron las isosismas correspondientes, resultando así mapas para la Aceleración Máxima, Intensidad de Arias, Potencial Destructivo y Razones Espectrales. Se calcularon dos razones espectrales una Razón Espectral Media (REM) calculada en el intervalo de períodos 0,1seg a 1,25 seg y la Razón Espectral (RS) calculada para un período de 0,7seg., estimado como representativo de los edificios ubicados en esa área.

Resultados

Respuesta Sísmica. La Tabla 2 resume algunos índices calculados correspondientes a los nodos 79, 103 y 119, cuya ubicación se muestra en la Fig. 1. En la Fig. 2. se observa el espectro de respuesta de aceleraciones calculado para los nodos señalados y las razones espectrales respecto al registro basal.

Los resultados indican que el máximo del espectro cambia a medida que los nodos se desplazan hacia el centro del valle, en una distribución aproximadamente simétrica respecto de la zona más profunda. Los lugares cercanos a los cerros exhiben aceleraciones elevadas, no obstante los niveles de amplificación no son importantes. Los valores más altos de amplificación se registran en el centro del depósito para el período fundamental del suelo, sin embargo, debido a su lejanía del período predominante del registro, las aceleraciones resultan más bien pequeñas. La amplificación calculada resulta consistente con el daño observado después del terremoto de 1985.

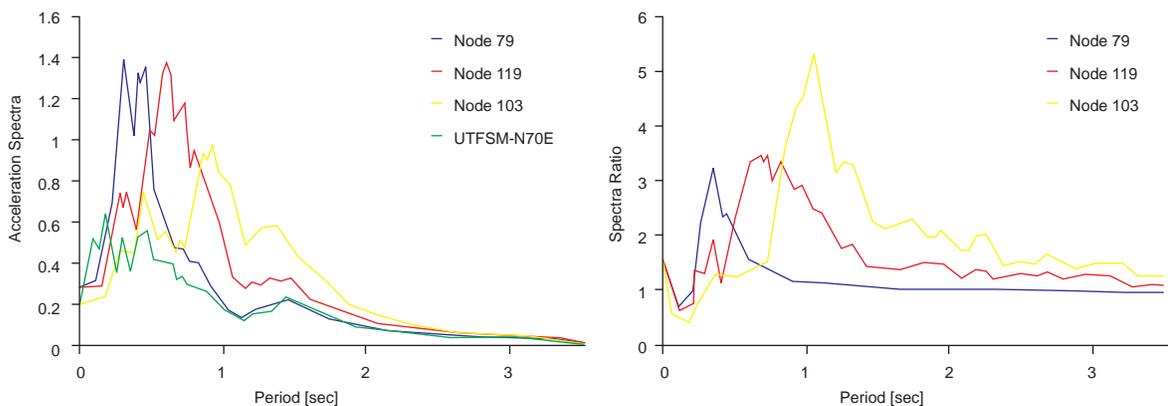
TABLA 2
INDICADORES OBTENIDOS DEL ANÁLISIS

Tn = 1,07 seg.: período calculado del relleno

Reg.	Dur(s)	Comp.	Amax (g)	Fr. Pr.1/(s)	PD (10 ⁻⁴ g s ³)	IA (m/s)
79	20	0.29	2.70	85.31	3.17	1.67
119	60	0.29	1.70	274.50	3.71	2.31
103	100	0.21	1.22	350.75	2.29	1.73

FIGURA 2

ESPECTRO DE RESPUESTA Y ACELERACIÓN ESPECTRAL



Isosismas y Microzonificación

Los parámetros de intensidad calculados en los nodos superficiales permitieron obtener planos con la distribución de isosismas, un detalle de las distribuciones para los distintos indicadores de intensidades se encuentra en la referencia [6].

Los diferentes mapas de isosismas fueron contrastados con el mapa de Microzonificación de Viña del Mar determinado a partir del daño observado después del movimiento de 1985. La comparación muestra que el potencial Destructivo y la Razón Espectral Media son los indicadores que mejor ajustan sus isosistas a las de daño. En términos generales la mayor amplificación se concentra en las zonas planas donde el relleno alcanza un mayor espesor, y disminuye a medida que los nodos se aproximan a los sectores más altos.

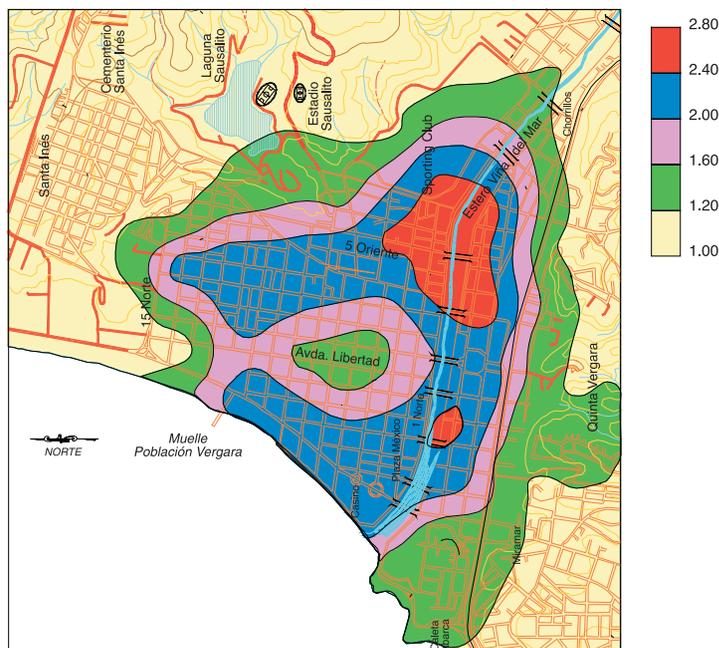
La Fig. 3 muestra un plano de zonas sísmicas para la ciudad de Viña del Mar, en el que se eligió la razón Espectral Media para el trazado de las zonas.

Conclusiones

- Los índices de daño por sí solos pueden ser insuficientes para determinar el daño en un lugar determinado, la limitación más importante pareciera ser que no consideran las características estructurales de las edificaciones.
- Los terremotos destructivos llevan al suelo al rango no lineal. Éste es más notable cuando el registro de aceleraciones alcanza valores altos, la amplificación es pequeña y ésta ocurre en el rango de períodos elevados.
- El modelo bidimensional presenta limitaciones en zonas de topografía abrupta, por lo cual resulta más apropiado su uso en rellenos sedimentarios estables. Fenómenos como licuación de arenas saturadas, estabilidad de taludes y existencia de fallas activas no fueron incluidos en el modelo.
- El ajuste de las zonas al mapa de Microzonificación existente es razonable y muestra un procedimiento alternativo a la metodología tradicionalmente seguida que es la medición del daño después de ocurrido un terremoto. La alternativa puede ser útil en zonas en las cuales no se dispone de información de daño y sí es posible disponer de un conocimiento razonable de las propiedades del subsuelo. **B**

FIGURA 3

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE VIÑA DEL MAR



Referencias

1. Pérez, L. E. (1988); «Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Viña del Mar». Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Federico Santa María.
2. Grimme, K y Alvarez, L. (1964); «El Suelo de Fundación de Valparaíso y Viña del Mar». Investigaciones geológicas de Chile. Boletín N° 16.
3. Luengo Nuñez, P. (1986); «Actualización de zonificación de suelos en Viña del Mar.» Memoria para optar al título de Constructor Civil. Universidad Técnica Federico Santa María.
4. Verdugo Palma, A. I. (1995); «Estudio geofísico de los suelos de fundación para una zonificación sísmica de Valparaíso y Viña del Mar». Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. U. de Chile.
5. Thorson, R. M. (1999); «La falla Marga-Marga. Viña del Mar», Departamento de Obras Civiles. Universidad Técnica Federico Santa María.
6. Pérez, P. I. (2000); «Amplificación de suelos y Microzonificación de los sectores planos de Viña del Mar y Valparaíso», Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Técnica Federico Santa María.
7. Idriss, I; Lysmer, J.; Hwang, R. And Seed, H. B. (1973); «A computer program for evaluating the seismic response of soil structures by variable damping finite element procedures». Earthquake Engineering Research Center. Report N° EERC 73-16.