

Aplicaciones del Método de Reducción del Dominio

Domain Reduction Method Applications

Marcos Mendoza Linares^{1*}, Ever Rodríguez Guevara¹, Gerardo Trigos Torres², Segundo Linares Estrada¹, José Alcántara Tucto³, Yvette Jiménez Maza¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

²Oficina General de Proyectos de Infraestructura y Saneamiento, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

³Oficina de Servicios Generales, Universidad Nacional de Cajamarca, Av. Atahualpa 1070, C.P. 06003, Cajamarca, Perú

*Autor de correspondencia: mmendoza@unc.edu.pe

Resumen

Las aplicaciones del Método del Dominio Reducido (MDR), por sus siglas en inglés, se presentan ejemplos de análisis de sistemas estructurales complejos como edificaciones incluyendo interacción suelo-estructura, estructuras enterradas como túneles. Usando una metodología similar se pueden analizar sistemas estructurales más complejos como: tuberías, cisternas, etc.; estructuras de soporte, como muros de contención, estabilidad de laderas, entre otras. Este método fue investigado por Jacobo Bielak y otros en el año 2003 en la Universidad Carnegie Melon de Nueva York en Estados Unidos. En la actualidad se vienen realizando intensas investigaciones para ampliar las aplicaciones o mejorar otras.

Palabras clave: Análisis estructurales, edificio, Método del Dominio Reducido, sismo, suelo

Abstract

The applications of the Domain Reduced Method (MDR), for its acronym in English, present examples of analysis of complex structural systems such as buildings including soil-structure interaction, buried structures, such as tunnels. Using a similar methodology, more complex structural systems can be analyzed such as: pipes, cisterns, etc.; support structures, such as retaining walls, slope stability, among others. This method was investigated by Jacobo Bielak and others in 2003 at Carnegie Melon University in New York in the United States. At present, intensive research is being carried out to expand applications or improve others.

Keywords: building, earthquake, soil, Structural analysis, Reduced Domain Method

Introducción

Este trabajo presenta las aplicaciones para realizar el análisis de interacción suelo estructura a través del Método de Reducción de Dominios (MDR) en el dominio del tiempo. Las aplicaciones del Método de Reducción de Dominio se presentan con ejemplos sencillos de tal manera sirvan como guías para las aplicaciones a estructuras más complejas (Housner, 1970). Hasta la fecha, el estándar en la industria es realizar análisis de Interacción Suelo-Estructura (ISE) con el enfoque lineal de dominio de frecuencia utilizando códigos informáticos como SASSI. Guéguen et al. (2000) señalan que, durante más de 30 años, el modelado de SSI de instalaciones nucleares se ha utilizado continuamente en versiones mejoradas de SASSI o programas similares. Al mismo tiempo, se reconoce que estos códigos representan inherentemente el suelo/roca y las estructuras como materiales lineales y se basan en el principio de superposición. Adicionalmente, en el enfoque lineal equivalente actual, las tensiones inelásticas dentro del suelo son estimadas a partir de enfoques de propagación de ondas 1D, sin considerar la interacción con la estructura. Los suelos están representados únicamente por capas horizontales (Herrera y Bielak, 1994).

Materiales y métodos

El Método del Dominio Reducido (MDR), tiene las siguientes consideraciones:

1. Entrada sísmica en general en 3D (Ondas P, S, Love, Rayleigh, etc.),
2. No lineal (elasto-plástico),
3. Reemplazo consistente del momento sísmico liberado desde el hipocentro con fuerzas en una sola capa de elemento alrededor de NPPSSS,
4. Un gran dominio físico debe ser analizado para el comportamiento dinámico,
5. La fuente de perturbación es un historial de tiempo conocido de un campo de fuerzas $P_e(t)$,
6. La fuente de carga está muy lejos de una característica local que se excita dinámicamente con $P_e(t)$, (Ver Figura 1).

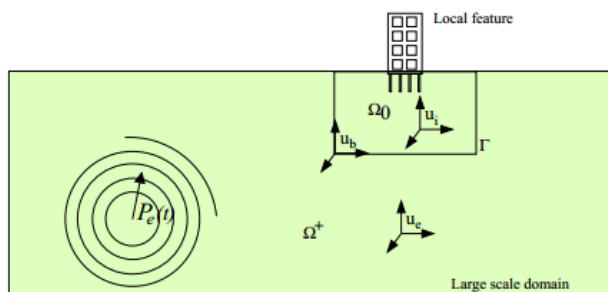


Figura 1. Fuente de carga alejada

7. Remover las características locales,

8. El dominio dentro del límite Γ se llama Ω_0 ,
9. El dominio fuera de la frontera Γ , es Ω^+
10. El dominio fuera de Ω^+ es el mismo como en el modelo original,
11. La simplificación se realiza en el dominio dentro de la frontera Γ , (Ver Figura 2).

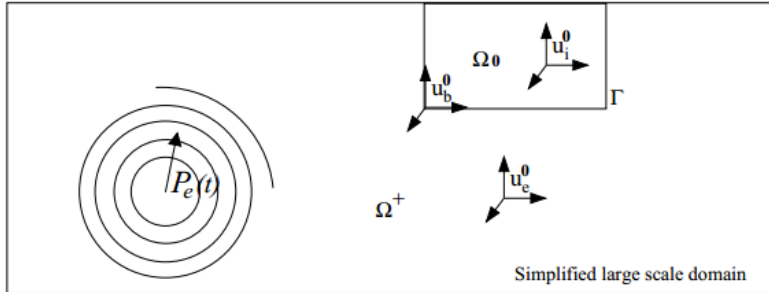


Figura 2. Dominio simplificado a larga escala

12. Las ecuaciones de movimiento para el sistema completo, son:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{P}_e(t)$$

Donde \mathbf{M} es la matriz de masas y \mathbf{K} es la matriz de rigidez. Los vectores $\ddot{\mathbf{u}}$ y \mathbf{u} representan el vector de aceleraciones y el vector de desplazamientos, respectivamente (Bielak, 1994). Finalmente, $\mathbf{P}_e(t)$ el vector de cargas.

13. La ecuación de movimientos para cada subdominio (interior, frontera y exterior de Γ) (Ver Figura 3).

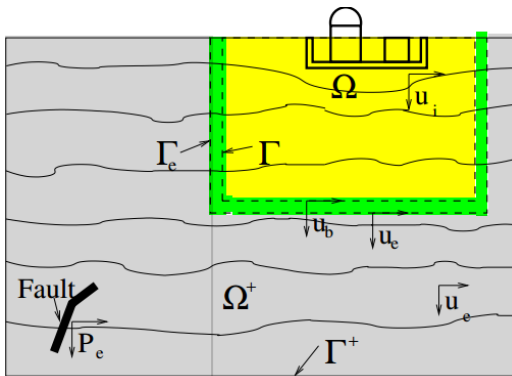


Figura 3. Movimientos para cada subdominio

Con esta teoría se pueden analizar una serie de estructuras desde las más sencillas como como se presentan en el presente trabajo, hasta las más complejas como estructuras de edificaciones de varios niveles (tienen miles de grados de libertad), estructuras enterradas como túneles, muros de contención tridimensionales, reactores nucleares, etc. Muchas de estas estructuras requieren millones de grados de libertad y con comportamiento

inelástico para su análisis y diseño. Surgiendo un inconveniente en el cálculo que requiere computadores de alta velocidad, muchas veces los ingenieros realizan estos cálculos con computadores enlazados en serie.

Resultados y discusión

Se presentan dos ejemplos de aplicación que se ha realizado considerando el Método del Dominio Reducido (MDR) utilizando el Software SAP2000 v. 20.2.0. En el primer ejemplo se trata de una viga 2'x3' para túnel enterrada. Los resultados se observan en las Figuras 4 y 5. Similarmente se ha considerado un segundo ejemplo en el cual se presenta un pórtico plano de tres niveles. Los resultados se observan en las Figuras 6 y 7. En el análisis sísmico de los dos ejemplos se han considerado la interacción suelo-estructura.

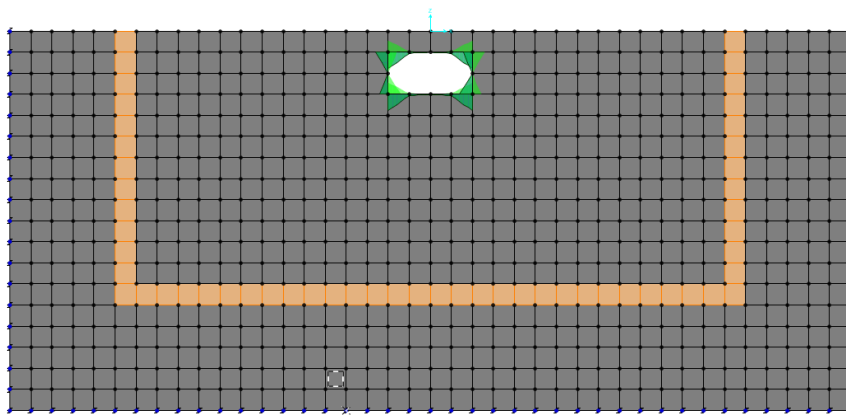


Figura 4. Viga de 2'x3', perimetral en el SAP2000

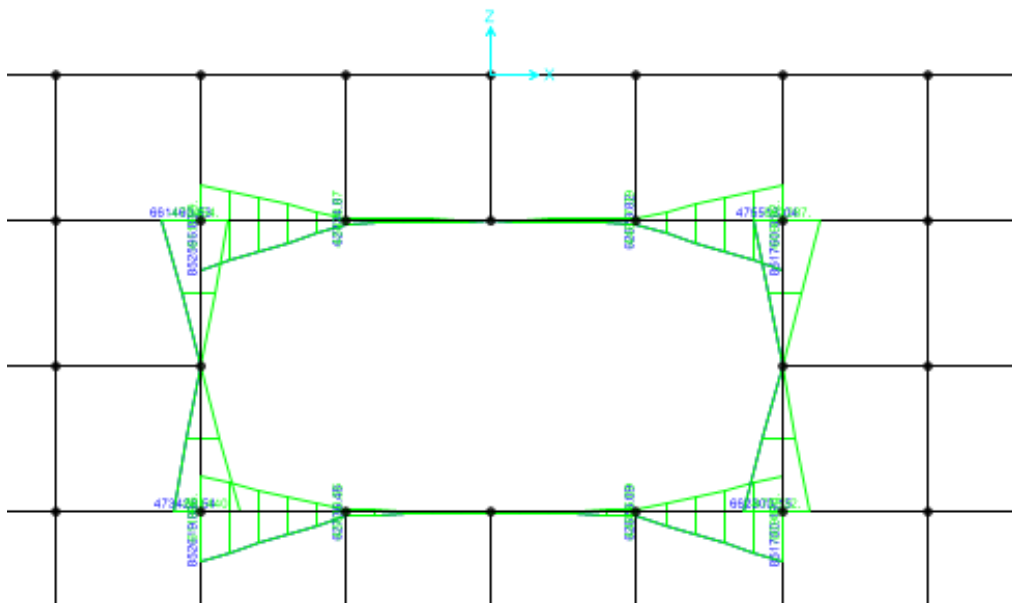


Figura 5. Resultados del análisis (Gráfico ampliado)

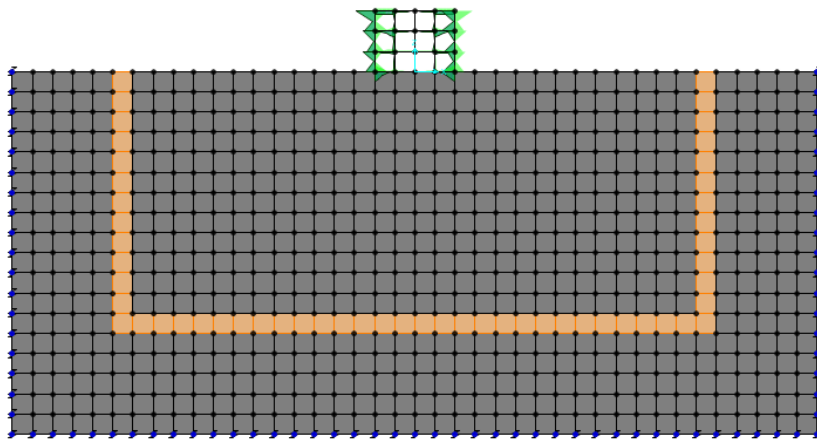


Figura 6. Vigas y columnas de 1.5'X2' en el SAP2000

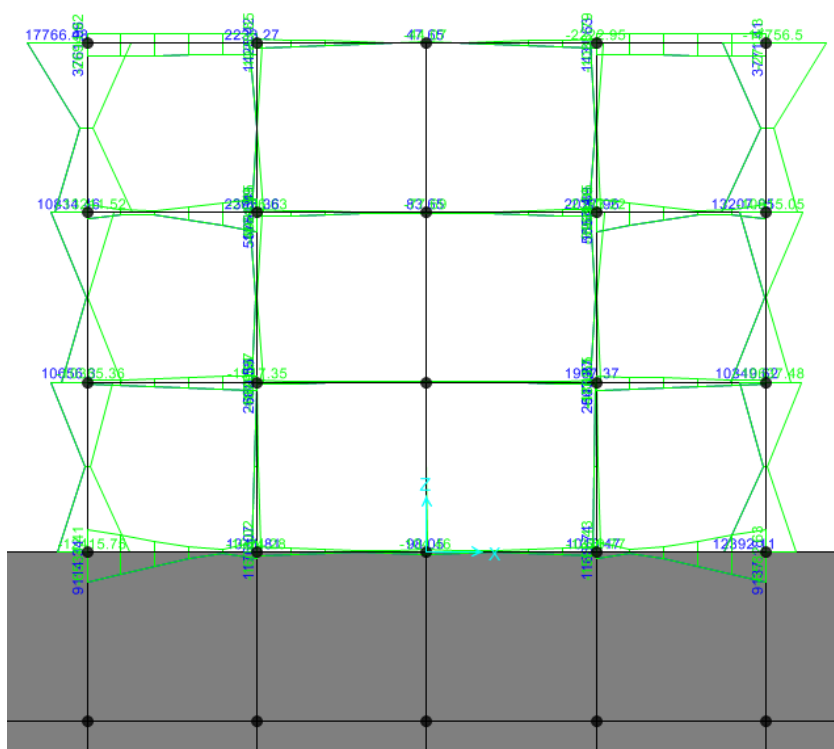


Figura 7. Resultados del análisis

El Método del Dominio Reducido, es una herramienta matemática que se puede implementar en cualquier software comercial, como, por ejemplo, el SAP2000 v. 20.2.0 que se ha utilizado para realizar los análisis de los dos ejemplos (Bielak et al., 2003). En efecto, los resultados son bastante claros mostrando los diagramas de momentos flectores debido a sismos como se observan en las Figuras 4-7.

Conclusiones

1. El Método del Dominio Reducido (MDR), es un método bastante general que se puede utilizar para diseños de todo tipo de sistemas estructurales considerando interacción suelo estructura: edificaciones, túneles, tanque de agua enterrados, etc.
2. El Método del Dominio Reducido, se puede implementar en cualquier software comercial y que permita hacer análisis tiempo-historia y utilizar el método de elementos finitos.
3. El Método del Dominio Reducido, requiere para la ejecución computadores de alta velocidad; si los sistemas tienen miles o millones de grados de libertad, se utilizan computadores que permitan ejecutar en serie.

Referencias

Bielak, J.; Loukakis, K.; Hisada, Y.; Yoshimura, C. 2003. Domain reduction method for three-dimensional earthquake modeling in localized regions. Part I: Theory. Bulletin of the Seismological Society of America; 93(2), 817–824.

Bielak, J. y Christiano, P. 1984. On the effective seismic input for nonlinear soil–structure interaction systems. Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 12, 107–119.

Herrera, I. y Bielak, J. 1977. Soil–structure interaction as a diffraction problem. Proceedings of the 6th World Conference in Earthquake Engineering, New Delhi; 4, 19–24.

Loukakis, K. y Bielak, J. 1994. Seismic response of two-dimensional sediment-filled valleys to oblique incident SVwaves calculated by the finite element method. Proceedings of the 5th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, Chicago; 3, 25–34.

Housner, G.W. 1970. Earthquake Engineering. Design Spectrum, Prentice Hall; 93-106.

Guéguen, P.; Bard, P. y Semblat, J.F. 2000. Engineering Seismology: Seismic Hazard and Risk Analysis: Seismic Hazard Analysis from Soil-Structure Interaction to Site-City Interaction. Proc. 12th World Conference on Earthquake Engineering.