

An Introduction to Soil Dynamics, por Arnold Verruijt, 2010, 434 páginas (con un CD-ROM), ISBN 978-90-481-3440-3, Vol. 24 de la serie: Theory and Applications of Transport in Porous Media, Springer, London-New York. Revisado por Luis E. Suárez, Catedrático, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez.

Escribir un libro sobre Dinámica de Suelos es ciertamente una tarea muy retadora. En la experiencia de este servidor, el problema principal es que para apreciar el tema el lector debe tener como mínimo conocimientos de Dinámica Estructural (o de vibraciones mecánicas). De otra manera, gran parte del curso (o del libro) se convierte en un texto introductorio de vibraciones y sólo se cubren aspectos muy limitados de Dinámica de Suelos, o se presentan en forma descriptiva. Por lo tanto, cuando se publica un libro sobre el tema es siempre interesante averiguar el enfoque del autor. En el caso del presente libro, el enfoque se puede resumir en una palabra: “*Elastodinámica*”.

El autor de este nuevo libro es un profesor de la reconocida Universidad de Delft en Holanda. El autor menciona que el libro está basado en un curso introductorio de Dinámica de Suelos para estudiantes de ingeniería civil en dicha institución. Si este material es de un curso introductorio, no me atrevo a imaginar lo que se trata en un curso avanzado.

El primer capítulo del libro (llamado “Vibrating Systems”, o sistemas vibratorios) contiene una breve exposición de la dinámica de un sistema masa-resorte. Se discuten temas clásicos como vibraciones libres, la razón de amortiguamiento, las vibraciones forzadas debido a una carga armónica y debido a una carga escalón (la solución se obtiene mediante la transformada de Laplace). En la última sección se introduce el modelo de amortiguamiento histerético (entiéndase, independiente de la frecuencia de la carga o movimiento) el cual es más apropiado para caracterizar los suelos que el clásico modelo viscoso. Este es un tema muy interesante y apropiado, si bien no se discute en detalle. Para este revisor es difícil de justificar un capítulo introductorio como el presente. La razón es que los lectores con conocimientos del área de vibraciones no van a encontrar nada nuevo, y para aquellos sin este bagaje intelectual es muy probable que el material presentado no sea suficiente para adquirir los conocimientos que le permitan apreciar los restantes capítulos.

El Capítulo 2 denominado “Waves in Piles” (ondas en pilotes) está dedicado a la propagación de ondas en un medio unidimensional (el autor se refiere a este medio como un “pilote” para darle un “sabor geotécnico” al tema). Se explican y usan tres métodos para hallar la solución de la ecuación de la onda: la transformada de Laplace, el tradicional método de separación de variables y el método de las características (un método gráfico-analítico). Se estudia la propagación de un desplazamiento en un extremo en una barra empotrada-libre y una carga periódica. Se considera además la reflexión y refracción en la interfaz de un medio semi-infinito compuesto por dos materiales con distinta rigidez y densidad. El capítulo concluye incluyendo el efecto de la fricción en el pilote e introduciendo un método numérico simple basado en diferencias finitas para resolver la ecuación de la onda unidimensional. Debe mencionarse que el libro contiene un disco compacto en donde se incluyen todos los programas usados a lo largo de los diversos capítulos.

El siguiente Capítulo 3 se titula “Earthquakes in Soft Layers” (terremotos en estratos blandos). En este capítulo se estudia la propagación de una onda armónica (de corte o S) en un medio unidimensional que en este caso representa un estrato uniforme de suelo blando con una base rígida (la roca madre). Se consideran dos casos: a) el borde superior del estrato está libre, y b) hay una masa rígida en el borde superior. Se obtiene también la solución para un depósito en donde el módulo de corte aumenta linealmente desde la superficie libre (el autor llama material de Gibson a este medio). Por último se estudia la propagación de ondas de corte en un depósito con amortiguamiento de tipo histerético. Por histerético se entiende, como en el Capítulo 1, un amortiguamiento que a diferencia del clásico modelo viscoso o de Kelvin, es independiente de la frecuencia del movimiento. Se discute la solución numérica de la ecuación de la onda usando diferencias finitas y se incluye un programa corto para tal fin.

El Capítulo 4 está dedicado a la Teoría de Consolidación (o poroelasticidad). Se describen las ecuaciones básicas que describen este fenómeno (conservación de masa, ecuaciones de equilibrio, la Ley de Darcy). Luego se describe la solución de un caso particular (el llamado Problema de Cryer: una esfera masiva sometida a una carga radial en toda su superficie con una capa de material filtrable sobre toda la esfera) y el problema de Terzaghi.

El Capítulo 5 se denomina “Dynamics of Porous Media” (dinámica de medios porosos). Al comenzar el capítulo se derivan las ecuaciones básicas de la dinámica de un medio poroso, compuesto por un material sólido formado por pequeños poros interconectados y rellenos de un fluido. Las ecuaciones derivadas son las de conservación de masa, ecuaciones de movimiento y las ecuaciones constitutivas en 3D. Debido a la complejidad de estos sistemas de ecuaciones diferenciales la discusión se enfoca en la propagación de ondas en un medio unidimensional. Se consideran dos casos especiales: ondas no drenadas (donde las partículas de suelo y fluido tienen igual velocidad) y cuando el

material sólido es muy rígido. Se deriva la solución para la propagación de una onda senoidal en un medio semi-infinito con un borde libre. El capítulo concluye con la presentación de una solución numérica mediante el método de diferencias finitas para un medio unidimensional.

El siguiente capítulo 6 se titula “Cylindrical Waves” (ondas cilíndricas). Al comienzo se discuten problemas estáticos, como por ejemplo un cilindro elástico con presión radial externa, y una cavidad cilíndrica en un medio infinito con presión interna. Luego se consideran problemas dinámicos comenzando con la misma cavidad pero con un desplazamiento armónico en las paredes. Si bien los medios considerados son elásticos, es interesante observar cómo la respuesta se atenúa por el amortiguamiento por radiación. También se considera la propagación de una onda de choque (esto es, la originada por una presión con variación en el tiempo tipo escalón). El capítulo concluye con un caso interesante de interés práctico: la propagación de ondas de corte en dirección radial desde un cilindro. Este caso es de interés porque puede arrojar luz sobre la transmisión de esfuerzos y desplazamientos verticales desde un pilote de fundación hacia el suelo.

El Capítulo 7, llamado “Spherical Waves” (ondas esféricas), es similar al anterior: aquí se estudian problemas con simetría esférica. Al igual que en el capítulo anterior, al comienzo se estudian problemas estáticos (una esfera con presión externa uniforme y la expansión de una cavidad esférica en un medio infinito). Luego se generalizan los casos a situaciones dinámicas. Se estudia la propagación de ondas debido a un desplazamiento radial senoidal en las paredes de la cavidad, continuando con la propagación de esfuerzos con la forma de un pulso tipo escalón aplicados a la cavidad.

El Capítulo 8 (“Elastostatics of a Half Space”, elastoestática de un semi-espacio) es una introducción al estudio de los llamados semi-espacios. En este capítulo se consideran casos de cargas estáticas verticales en la superficie libre. Se presentan las soluciones clásicas para una carga puntual y una línea de cargas (los que se conocen, respectivamente, como los problemas de Boussinesq y de Flamant). A continuación se describen soluciones aproximadas de algunos problemas del área que los autores llaman “Elastoestática Confinada”. La idea en que se basa esta teoría (la que se atribuye a Westergaard) es la siguiente. Si las cargas en la superficie del suelo consisten en esfuerzos normales verticales, los desplazamientos verticales en el semi-espacio serán mucho mayores que los desplazamientos horizontales y por lo tanto pueden estos últimos despreciarse para simplificar el análisis.

El siguiente capítulo (número 9) se titula “Elastodynamics of a Half Space” (elastodinámica de un semi-espacio). Este es un capítulo relativamente corto que comienza con un resumen de las ecuaciones de la elastodinámica, y las ecuaciones de ondas para las ondas de compresión (P) y de corte (S). El capítulo continúa con las ondas de Rayleigh y de Love.

El Capítulo 10 se titula “Confined Elastodynamics” (elastodinámica confinada). Como las ecuaciones de la elastodinámica son muy difíciles de resolver para sistemas con condiciones de borde generales, aún numéricamente, se acostumbra simplificar el problema mediante algunas suposiciones. Una de éstas, ya usada en el Capítulo 8, consiste en suponer que los dos desplazamientos horizontales son tan pequeños que se pueden despreciar frente a los verticales. Esta condición se conoce ahora como elastodinámica confinada. Empleando esta simplificación se resuelven problemas como el de una carga en línea con dos variaciones en el tiempo: tipo escalón y tipo pulso de muy corta duración. A continuación se obtiene la respuesta del suelo debido a una carga en franja con las dos mismas variaciones antes citadas. El último caso estudiado es el de una carga puntual en la superficie libre del depósito de suelo (o semi-espacio elástico) con una variación escalón en el tiempo. Se consideran dos tipos de cargas: un pulso de corte duración y una carga periódica.

El Capítulo 11 denominado “Line Load on Elastic Half Space” (cargas en línea sobre un semi-espacio elástico) es muy interesante desde un punto de vista conceptual y analítico. En él se obtiene la respuesta (desplazamientos y esfuerzos) en un semi-espacio debido a una carga en línea con dos variaciones en el tiempo: un impulso de muy corta duración y una carga escalón (o función de Heaviside). La derivación de la solución en el primer caso se describe con mucho detalle. No obstante, el proceso que involucra la aplicación de transformadas de Laplace y de Fourier, es sumamente complicado. Lo interesante de las soluciones es que cuando se grafican se puede verificar la generación de ondas P, S y de Rayleigh. Se incluyen varios programas para graficar las soluciones que de otra manera son imposibles de visualizar.

El Capítulo 12 llamado “Strip Load on Elastic Half Space” (cargas de franja sobre un semi-espacio elástico) presenta una generalización de los conceptos del Capítulo 11 (fuerzas sobre una línea) a una carga aplicada sobre una franja de ancho finito. La carga tiene una magnitud constante sobre la franja y se consideran dos variaciones en el tiempo: un pulso de muy corta duración (representado por una función delta de Dirac) y una carga escalón. Las soluciones que se

derivan son los esfuerzos (o tensiones) normales horizontal y vertical y el esfuerzo cortante. Las soluciones son exactas pero tan complicadas que sus valores numéricos sólo se pueden obtener mediante un programa de computadora; para esto se suministran varios programas cortos a lo largo del capítulo.

El material del Capítulo 13, titulado “Point Load on Elastic Half Space” (carga puntual sobre un semi-espacio elástico), es uno de los potencialmente más interesantes y útiles. Sin embargo, el alcance es más bien modesto debido, como menciona el autor, a la complejidad del problema. Solo se determinan los desplazamientos verticales en la superficie libre y en forma semi-analítica. La carga aplicada es una función escalón actuando sobre una superficie circular con un radio que tiende a cero.

El Capítulo 14 considera el caso de una carga dinámica que transita con velocidad constante por la superficie libre de un depósito de suelo. Se titula “Moving Loads on an Elastic Half Space” (cargas móviles sobre un semi-espacio elástico). Como muchos escritores de libros técnicos que a su vez son investigadores activos, el autor no pudo contenerse de incluir material de sus investigaciones en el libro. Se primero considera una carga armónica que se mueve por el eje horizontal del plano. Aunque nunca se dice explícitamente, el autor considera vibraciones en régimen (o sea se supone que la carga está aplicada desde un tiempo $-\infty$). Se considera que el suelo tiene amortiguamiento histerético (o sea independiente de la frecuencia).

Luego de cubrir temas muy analíticos parece extraño cerrar el libro con un tema tan “mundano” como vibraciones de fundaciones en el Capítulo 15 (titulado “Foundation Vibrations”, sic). Dado todo el material cubierto en los capítulos anteriores, uno esperaría que este capítulo debiera ser la coronación del libro, pero en la opinión de este revisor es una desilusión. En las 10 páginas (pp. 385-394) sólo se presentan, sin mucha explicación, algunas de las fórmulas conocidas como la analogía de Lysmer para vibraciones de fundaciones circulares no enterradas (las cuales se explican conocido libro de Richart, Woods & Hall). El capítulo concluye con una sección dedicada a los criterios de diseño que sólo contiene una “demostración” de las relaciones entre desplazamiento, velocidad, aceleración para movimiento sinusoidal. Es una lástima que un tema tan importante se trate tan superficialmente: un lector interesado en vibraciones de fundaciones no va a encontrar nada de interés aquí. Hubiera sido preferible omitir este capítulo para no dejar al lector con una mala impresión.

A pesar de la deficiencia del último capítulo, el libro tiene su atractivo, pero la audiencia no es muy extensa debido al bagaje matemático del material presentado. En este sentido, es adecuado para ingenieros con conocimientos previos de Dinámica de Suelos, por ejemplo para aquellos que están trabajando en investigación o en una tesis en esta área. Puede también ser atractivo para geofísicos y sismólogos a los que les interese compenetrarse con aplicaciones de propagación de ondas a la Dinámica de Suelos. Por último, el texto debería ser de particular interés para aquellos investigadores interesados en estudiar los fundamentos teóricos de algunos métodos geofísicos como por ejemplo, el método de Nakamura (o de la razón H/V) y el método conocido como Análisis Espectral de Ondas superficiales (SASW por sus siglas en inglés).

