

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Diseñar fundaciones consiste en seleccionar y dimensionar las fundaciones de manera tal de evitar los estados límites. Hay dos tipos de estados límites: Estados Límites Últimos (ULS¹) y Estados Límites de Servicio (SLS²). Los Estados Límites Últimos están relacionados con situaciones de riesgo que pueden involucrar consecuencias tales como el colapso estructural. Los Estados Límites de Servicio están relacionados con la pérdida de funcionalidad, y en el diseño de fundaciones muchas veces son provocados por asentamientos excesivos. El diseño en base a la confiabilidad (RBD³) es una filosofía de diseño cuyo objetivo es mantener la probabilidad de alcanzar los estados límites por debajo de algún valor límite. En otras palabras, el objetivo del diseño es producir estructuras cuyas probabilidades de falla sean menores que un valor aceptable determinado. Consecuentemente, el RBD permite una evaluación directa del riesgo, evaluación que no es posible con el diseño tradicional en base a las tensiones de trabajo. Salvo que se trate de un proyecto de gran presupuesto, el RBD no se puede aplicar en forma directa y resulta laborioso para los diseñadores. El Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD⁴) es una metodología de diseño que es similar a las prácticas existentes, pero que se puede desarrollar utilizando conceptos del RBD. El LRFD comparte la mayor parte de los beneficios del RBD, pero es mucho más fácil de aplicar. Tradicionalmente el LRFD se ha utilizado para verificar los Estados Límites Últimos de las estructuras, pero recientemente los Estados Límites de Servicio se han incorporado al marco del LRFD (AASHTO 1998).

El Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD) es un método de diseño en el cual las cargas de diseño se mayoran y las resistencias de diseño se minoran multiplicando por factores mayores y menores que la unidad, respectivamente. En este método las fundaciones se dimensionan de modo que las cargas mayoradas sean menores o iguales que las resistencias minoradas:

¹ ULS: *Ultimate Limit States*

² SLS: *Serviceability Limit States*

³ RBD: *Reliability-Based Design*

⁴ LRFD: *Load and Resistance Factor Design*

$$(RF) \cdot R_n \geq \sum (LF)_i Q_i \quad (1.1)$$

donde RF es el factor de resistencia, R_n es la resistencia nominal (no minorada), $(LF)_i$ es el factor de carga para una carga y combinación de cargas determinada, y Q_i es una carga de un tipo particular (por ejemplo, carga permanente, sobrecarga viva, etc.). La resistencia nominal R_n es análoga a la carga admisible calculada en el Diseño por Tensiones de Trabajo (WSD⁵) tradicional. Diferentes organizaciones de normalización (ASCE, ACI, AASHTO) han desarrollado diferentes factores de carga $(LF)_i$. En el Capítulo 2 se analiza la aplicabilidad de estos factores de carga al diseño geotécnico. Es necesario contar con un conjunto útil de factores de resistencia (RF) para el diseño geotécnico mediante LRFD. En este informe se proponen valores recomendados para los factores de resistencia a utilizar con los factores de carga tanto de AASHTO como de ASCE-7. Para desarrollar estos factores de resistencia se utilizan herramientas del Diseño Basado en la Confiabilidad.

En un análisis de confiabilidad es necesario utilizar como dato las incertidumbres de las variables. La mayoría de las variables del diseño tienen alguna incertidumbre asociada que muchas veces se expresa utilizando la desviación estándar. Las desviaciones estándar son sólo una parte de la definición de la incertidumbre de una variable. En el RBD, para describir completamente esta incertidumbre se utilizan Funciones de Densidad de Probabilidad (PDF⁶). Algunos tipos habituales de PDF incluyen las distribuciones normal, lognormal, uniforme y beta. Por lo tanto, un análisis de confiabilidad requiere determinar las PDF relevantes. Para que los métodos RBD logren resultados útiles y aceptación generalizada se requiere un enfoque sistemático para evaluar la incertidumbre. Este enfoque es particularmente importante para el LRFD, ya que los factores de resistencia se deben desarrollar con el mayor rigor posible. En el Capítulo 3 se presentan herramientas para un enfoque sistemático a la evaluación de las PDF, las cuales se utilizan en los capítulos subsiguientes para determinar factores de resistencia.

Como primer paso del diseño, los ingenieros geotécnicos deben interpretar ensayos y otros datos a fin de evaluar los parámetros del suelo. Los parámetros del suelo a utilizar en una ecuación de diseño se deben determinar de una manera reproducible que sea consistente

⁵ WSD: *Working Stress Design*

⁶ PDF: *Probability Density Function*

con el factor de resistencia. Este es uno entre numerosos puntos críticos que deben ser tratados antes que los métodos de diseño basados en la confiabilidad, tales como el LRFD, alcancen su máximo potencial en el diseño geotécnico (Becker 1996, Kulhawy y Phoon 2002). En el Capítulo 5 se utiliza el ensayo de penetración de cono (CPT⁷) para ilustrar un método para estimar los parámetros del suelo de una manera estadísticamente consistente.

1.2 Objetivos de la investigación

El principal objetivo de la presente investigación es proponer un método de Diseño por Estados Límites para fundaciones superficiales y profundas que esté basado en un estudio racional de los métodos de diseño en base a la probabilidad. En particular, se utiliza el Diseño por Factores de Carga y Resistencia para facilitar la metodología de Diseño por Estados Límites. Específicamente, los objetivos de la investigación son los siguientes:

- proporcionar una guía para la elección de los factores de carga para cargas permanentes y temporarias de diferentes tipos y bajo diferentes combinaciones;
- desarrollar recomendaciones sobre cómo determinar las resistencias características del suelo bajo diferentes condiciones de diseño (incluyendo tipo de suelo, tipo de estudio de suelo, tipo de análisis, etc.);
- desarrollar factores de resistencia compatibles con los factores de carga y el método de determinación de la resistencia característica.

1.3 Estructura del informe

- El Capítulo 2 presenta una discusión de los factores de carga especificados en los códigos existentes y los resultados de una investigación acerca de su aplicabilidad al diseño geotécnico.
- En el Capítulo 3 se propone un marco para el desarrollo de factores para el LRFD. Además, se presentan herramientas probabilísticas para evaluar la incertidumbre de las variables y los factores de resistencia.

⁷ CPT: *Cone Penetration Test*

- En los Capítulos 4 y 5 se aplica el marco del Capítulo 3 a las fundaciones superficiales. La Sección 5.2 describe un método para determinar la resistencia característica que es compatible con los factores de resistencia propuestos en el presente informe.
- En el Capítulo 6 se demuestra el diseño de fundaciones superficiales utilizando el método de las resistencias características y los factores del LRFD.
- El Capítulo 7 es una introducción a los métodos de diseño para fundaciones profundas que aspiramos a incorporar al marco del LRFD.
- En los Capítulos 8 y 9 se presentan los factores de resistencia para fundaciones profundas en arena y arcilla, respectivamente. La Sección 9.2.1 describe un método para que los diseñadores seleccionen factores de resistencia para métodos de diseño diferentes a los discutidos en el presente informe.
- En el Capítulo 10 se demuestra el diseño de fundaciones profundas utilizando el método de las resistencias características y los factores del LRFD.
- En el Capítulo 11 se resume la investigación, destacando sus contribuciones e identificando posibles direcciones en las cuales podrían avanzar investigaciones futuras.