

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

COMPARACIÓN DEL DISEÑO DE CIMENTACIONES CON EL MÉTODO DE  
RESISTENCIA ÚLTIMA Y EL MÉTODO DE ESFUERZOS DE TRABAJO

Tesis sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de  
Posgrado en Ingeniería Civil para optar al grado y título de Maestría Académica  
en Ingeniería Geotécnica

SERGIO MARTÍNEZ VILLAVICENCIO

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

2018

## ***Dedicatoria***

A Dios y mis madres que están en el cielo en su compañía, pues les debo mi vida y todo lo que soy y tengo.

Además, a mi esposa, quién ha estado en todo éste proceso a mi lado, acompañándome y brindándome su incondicional apoyo.

## ***Agradecimientos***

Gracias Dios, por brindarme tu apoyo y tu mano, para guiar mis pasos y mi camino, y darme en todo momento las fuerzas y capacidad para poder finalizar mi tesis.

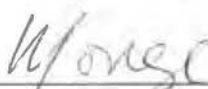
Gracias a mi esposa, por permanecer a mi lado en éste largo proceso y acompañarme hasta el finiquito.

Un especial agradecimiento a don Sergio Sáenz, que, como director de mi tesis, siempre me brindó su incondicional apoyo y ayuda en todo momento.

Agradezco a mi asesor, don Miguel Cruz, que siempre me recibió y brindó su tiempo para ayudarme en el proceso de cálculos de mi trabajo; y a don Marco Valverde, por su siempre anuencia, colaboración y e invalorable disposición para con mi persona, en el proceso de elaboración de mi tesis.

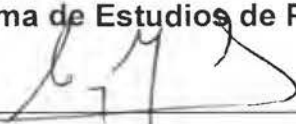
Finalmente, agradezco a Dios y a la vida, que nuevamente me han dado la oportunidad de constatar por experiencia propia, que en la vida hay siempre que seguir adelante, pese a las adversidades, luchar por lo que se quiere y no rendirse ante los obstáculos que se te presenten en el camino, y que levantarse y avanzar sin importar las veces que caigamos, es la única opción que se tiene para alcanzar y lograr las metas que nos fijamos en el pasar por éste mundo, como logros personales, académicos y profesionales.

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Académica en Ingeniería Geotécnica”



Ing. William Vargas Monge, Ph.D.

**Representante del Decano  
Sistema de Estudios de Posgrado**



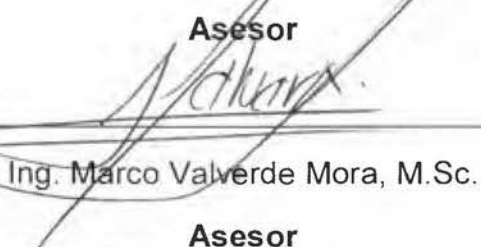
Ing. Sergio Sáenz Aguilar, M.Sc.

**Director de Tesis**



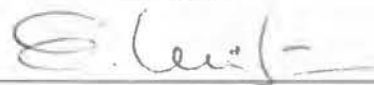
Ing. Miguel Cruz Azofeifa, Dr.Sc.

**Asesor**



Ing. Marco Valverde Mora, M.Sc.

**Asesor**



Ing. Eduardo Avilés Madrigal, M.Sc.

**Representante del Director**

**Programa de Posgrado en Ingeniería Civil**



Sergio Martínez Villavicencio

**Candidato**

# INDICE

INDICE.....	V
RESUMEN .....	XI
INDICE DE TABLAS .....	XII
INDICE DE FIGURAS .....	XV
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XVI
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 PROBLEMA ESPECÍFICO .....	1
1.2 IMPORTANCIA .....	3
1.3 ANTECEDENTES TEÓRICOS Y PRÁCTICOS DEL PROBLEMA .....	4
1.4 INVESTIGACIÓN DE ESTUDIOS SIMILARES EN OTROS PAÍSES.....	7
1.4.1 <i>Diseño de fundaciones profundas por estados límites (Foye, Abou Jaoude, &amp; Salgado, 2004), Evaluación de las variables incertidumbre para el diseño de cimentaciones basado en la confiabilidad (Foye, Salgado, &amp; Scott, 2006), Evaluación de los actuales factores de carga para su uso geotécnico en el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (Scott, Kim, &amp; Salgado, 2003).....</i>	<i>7</i>
1.4.2 <i>Bases de cálculo del Eurocódigo 7. Un cambio en la metodología para el proyecto de cimentaciones (Crespo Rodriguez, Parrilla Alcaide, Estaire Gepp, Ortega Conejo, &amp; Pérez Caldentey, 2013), Bases del Anejo nacional español del Eurocódigo EC-7 (proyecto geotécnico) (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, &amp; Perucho Martínez, 2014), Comparación del dimensionamiento de cimentaciones superficiales aplicando el Eurocódigo 7 y las normativas españolas (Estaire Gepp &amp; Perucho Martínez, 2008) ..</i>	<i>10</i>
1.4.2.1 <i>Cimentaciones superficiales .....</i>	<i>14</i>
1.4.2.2 <i>Cimentaciones profundas .....</i>	<i>19</i>
1.4.3 <i>Tesis: Análisis y diseño de cimentaciones: una comparación de prácticas (Juarez Morales, 2013).....</i>	<i>22</i>

1.4.4	INGENIERÍA GEOTÉCNICA CIRCULAR NO. 6 – Cimentaciones Superficiales (Kimmerling, 2002)	22
1.4.5	Manual de Referencia LRFD para Análisis Sísmico y Diseño de Fundaciones y Transporte en el Ámbito Geotécnico y Estructural (Kavazanjian, Wang, & Martin, 2011)	23
1.5	OBJETIVOS	24
1.5.1	Objetivo General	24
1.5.2	Objetivos Específicos	24
1.6	ALCANCES Y LIMITACIONES DEL PROYECTO	25
1.6.1	Alcances	25
1.6.2	Limitaciones	26
<b>II.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>28</b>
2.1	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS GEOTÉCNICOS	28
2.1.1	Generalidades	28
2.1.2	Arcillas – suelo cohesivo	29
2.1.3	Arenas – suelo granular	30
2.1.4	Arena con arcilla – suelo granular con finos	32
2.2	DEFINICIÓN DE CARGAS	32
2.3	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO PARA CADA MÉTODO DE DISEÑO	35
2.3.1	Cimentaciones superficiales	35
2.3.2	Cimentaciones profundas	38
2.3.3	Comparación entre procedimientos de métodos de diseño	43
2.4	CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD FS Y FACTOR DE REDUCCIÓN $\phi$	44
2.4.1	Cimentaciones superficiales	44
2.4.1.1	Cálculo de FS en función del valor B obtenido del método de Resistencia	45
2.4.1.1.1	Sin excentricidad, $e = 0$	45
2.4.1.1.2	Con excentricidad, $e < B/6$	46
2.4.1.1.3	Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$	46

2.4.1.2	Cálculo de $\emptyset$ en función del valor B obtenido del método de Esfuerzos de Trabajo .....	47
2.4.1.2.1	Sin excentricidad, $e = 0$ .....	47
2.4.1.2.2	Con excentricidad, $e < B/6$ .....	48
2.4.1.2.3	Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$ .....	49
2.4.2	<i>Cimentaciones profundas</i> .....	49
2.4.2.1	Cálculo de FS en función del valor de $n_p$ obtenido del método de Resistencia .....	49
2.4.2.1.1	Sin excentricidad, $e = 0$ .....	50
2.4.2.1.2	Con excentricidad, $e < B/6$ .....	51
2.4.2.1.3	Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$ .....	51
2.4.2.2	Cálculo de $\emptyset$ en función del valor B obtenido del método de Esfuerzos de Trabajo .....	51
2.4.2.2.1	Sin excentricidad, $e = 0$ .....	52
2.4.2.2.2	Con excentricidad, $e < B/6$ .....	53
2.4.2.2.3	Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$ .....	53
2.4.3	<i>Cálculo de variación de factor de seguridad FS y factor de reducción <math>\emptyset</math>, y porcentajes de variación</i> .....	53
2.5	ESQUEMA DE METODOLOGÍA .....	54
2.5.1	<i>FASE I – Investigación bibliográfica</i> .....	54
2.5.2	<i>FASE II – Marco teórico</i> .....	56
2.5.3	<i>FASE III – Diseño - dimensión de las cimentaciones</i> .....	56
2.5.4	<i>FASE IV – Comparaciones entre métodos de diseño</i> .....	59
2.5.5	<i>FASE V – Resultados y análisis de resultados</i> .....	60
2.5.6	<i>FASE VI – Conclusiones</i> .....	62
2.5.7	<i>FASE VII – Recomendaciones</i> .....	62
<b>III.</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>63</b>
3.1	GENERALIDADES .....	63
3.2	TIPOS DE CIMENTACIONES .....	64
3.2.1	<i>Cimentaciones superficiales</i> .....	66

3.2.1.1	Placas aisladas .....	68
3.2.1.1.1	Clasificación de las placas por su forma de trabajar .....	68
3.2.1.1.2	Clasificación de las placas por su forma geométrica .....	72
3.2.1.1.3	Clasificación de las placas por la ubicación de la columna ..	74
3.2.1.1.4	Clasificación de las placas por la forma geométrica en planta 75	
3.2.1.1.5	Clasificación de las placas desde el punto de vista estructural 75	
3.2.2	<i>Cimentaciones profundas</i> .....	76
3.2.2.1	Tipos de pilotes .....	78
3.2.2.1.1	Tipos de pilotes según el material de construcción .....	78
3.2.2.1.2	Tipos de pilotes según el mecanismo de transferencia de carga 78	
3.2.2.1.3	Tipos de pilotes según su colocación .....	81
3.3	METODOLOGÍAS DE DISEÑO DE CIMENTACIONES .....	82
3.3.1	<i>Método de diseño de resistencia</i> .....	82
3.3.2	<i>Método de diseño por esfuerzos de trabajo</i> .....	86
<b>IV.</b>	<b>MODELOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>90</b>
4.1	CIMENTACIONES SUPERFICIALES .....	90
4.1.1	<i>Variación en la dimensión B</i> .....	91
4.1.2	<i>Variación en porcentaje de la dimensión B</i> .....	95
4.1.3	<i>Variación del Factor de Seguridad obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método LRFD</i> .....	99
4.1.4	<i>Variación en porcentaje del Factor de Seguridad, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método LRFD</i> .....	103
4.1.5	<i>Variación del Factor de Reducción, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método ASD</i> .....	107
4.1.6	<i>Variación en porcentaje del Factor de Reducción, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método ASD</i> .....	111



4.1.7	<i>Análisis de caso adicional para revisión de tendencia particular en escenario de suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta</i>	115
4.2	CIMENTACIONES PROFUNDAS.....	118
4.2.1	<i>Variación en el número de pilotes</i> .....	119
4.2.2	<i>Variación en porcentaje del número de pilotes</i> .....	123
4.2.3	<i>Variación del Factor de Seguridad obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método LRFD</i> .....	128
4.2.4	<i>Variación en porcentaje del Factor de Seguridad, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método LRFD</i> .....	133
4.2.5	<i>Variación del Factor de Reducción, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método ASD</i> .....	137
4.2.6	<i>Variación en porcentaje del Factor de Reducción, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método ASD</i> .....	137
4.3	COMPARACIÓN DE VALORES DEL FACTOR DE REDUCCIÓN $\phi$ ENTRE CSCR Y NORMAS INTERNACIONALES .....	145
4.3.1	<i>Cimentaciones superficiales</i> .....	145
4.3.2	<i>Cimentaciones profundas</i> .....	147
4.4	PROPUESTA DE VALORES DEL FACTOR DE REDUCCIÓN $\phi$ PARA COMPATIBILIZACIÓN DE METODOLOGÍAS .....	149
4.4.1	<i>Combinaciones Estáticas</i> .....	149
4.4.2	<i>Combinaciones Pseudoestáticas</i> .....	151
4.4.3	<i>Propuesta final de valores de factor de reducción <math>\phi</math></i> .....	153
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>155</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>157</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>158</b>
<b>VIII.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>163</b>
8.1	ANEXO 1: TABLAS DE DATOS – CIMENTACIONES SUPERFICIALES	164

8.2 ANEXO 2: TABLAS DE DATOS – CIMENTACIONES PROFUNDAS ...	165
8.3 ANEXO 3: GRÁFICOS – CIMENTACIÓN UBICADA EN PERÍMETRO DEL EDIFICIO .....	166

# RESUMEN

El diseño geotécnico de las cimentaciones se puede realizar por medio de dos metodologías, que son el Método Último (MU: LRFD) según el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR) y el Método de Esfuerzos de Trabajo (MET: ASD); ambas metodologías permitidas en el Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR).

El objetivo del estudio es compatibilizar los resultados del dimensionamiento de cimentaciones utilizando el método de diseño último y el método de esfuerzos de servicio, al ajustar los valores del factor de reducción  $\phi$ .

En Costa Rica existen dos estudios que realizan una comparación entre los dimensionamientos realizados con los dos métodos de diseño, sin embargo, no han llegado a un resultado o propuesta para disminuir la diferencia entre las dimensiones obtenidas por cada método de diseño.

El presente estudio realiza un análisis de cimentaciones utilizando tres tipos de cargas (medias, altas y muy altas) en tres ubicaciones distintas del edificio (centro, perímetro y esquina) y en las condiciones de sin excentricidad y tres distintas excentricidades (B/4, B/10 y la obtenida de M/P). Lo anterior se combina con tres tipos de suelos (cohesivo, granular y granular con finos) con tres grados de consistencia (suelta, compacta y densa). Luego se procede al dimensionamiento de placas aisladas y pilotes, en función de las combinaciones de carga del CSCR, CCCR y ASCE.

Las dimensiones obtenidas por método último, se utilizan como dato en el método de esfuerzos de trabajo (en las combinaciones del CCCR y ASCE) para despejar el valor del factor de seguridad FS. De igual forma, el valor de dimensión obtenido con el método de esfuerzos de trabajo se utiliza en el método último para despejar el valor del factor de reducción  $\phi$ . Los datos obtenidos se comparan entre sí para determinar la tendencia de los resultados y definir las variaciones entre ambos métodos de diseño.

Los datos obtenidos se utilizan en un análisis estadístico, para obtener el valor representativo de  $\phi$  para cada situación.

Finalmente, se realiza la propuesta de nuevos valores del factor de reducción  $\phi$ , como propuesta de cambio en los códigos nacionales

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de cimentación y magnitud de cargas, utilizadas en las tesis de referencia .....	5
Tabla 2. Tipos de suelo y parámetros geotécnicos, utilizados en las tesis de referencia .....	6
Tabla 3. Factores de carga de códigos de Estados Unidos, Canadá y Europa ..	9
Tabla 4. Factores de carga y combinación de carga gravitatoria representativa	9
Tabla 5. Factores de resistencia recomendados para capacidad de carga en arena y arcilla, aplicables para $D/B \leq 1$ (cimentaciones superficiales).....	11
Tabla 6. Tabla resumen para el diseño de fundaciones profundas en arena....	12
Tabla 7. Tabla resumen para el diseño de fundaciones profundas en arcilla. ..	13
Tabla 8. Uso de los coeficientes parciales de seguridad en los diferentes Enfoques de Proyecto .....	14
Tabla 9. Enfoques de Proyecto elegidos por los diferentes países europeos ...	15
Tabla 10. Valor del coeficiente parcial de resistencias en el dimensionamiento del estado límite de hundimiento de cimentaciones superficiales.....	16
Tabla 11. Propuesta de valores de coeficientes de seguridad parciales para aplicación en el Eurocódigo 7 .....	18
Tabla 12. Valores de los coeficientes parciales de minoración de resistencia para el cálculo de cimentaciones por pilotes por el método analítico.....	21
Tabla 13. Valor del coeficiente parcial de resistencias en el dimensionamiento del estado límite de hundimiento de pilotes perforados .....	21
Tabla 14. Factores de resistencia para el estado de esfuerzo límite para cimentaciones superficiales (modificado después de la tabla 10.5.5-1, AASHTO, 1998).....	23
Tabla 15. Factores de resistencia para cimentaciones profundas .....	24
Tabla 16. Comparativa entre distintos autores para definición de parámetros de suelos cohesivo.....	30
Tabla 17. Parámetros geotécnicos del suelo cohesivo .....	30

Tabla 18. Relación de valores para los parámetros de resistencia .....	31
Tabla 19. Comparativa entre distintos autores para definición de parámetros de suelos granular.....	31
Tabla 20. Parámetros geotécnicos para arena .....	32
Tabla 21. Parámetros geotécnicos para arenas con finos .....	32
Tabla 22. Modelos de edificios y valores de reacciones en las bases.....	34
Tabla 23. Definición y cálculo de parámetros generales.....	35
Tabla 24. Procedimiento de cálculo para placa con excentricidad $B/6 < e < B/3$ .....	36
Tabla 25. Procedimiento de cálculo para placa con excentricidad $e < B/6$ .....	37
Tabla 26. Procedimiento de cálculo para placa con excentricidad $e = 0$ .....	38
Tabla 27. Definición y cálculo de parámetros generales.....	39
Tabla 28. Procedimiento de cálculo para grupo de pilotes con excentricidad $B/6 < e < B/3$ .....	40
Tabla 29. Procedimiento de cálculo para grupo de pilotes con excentricidad $e < B/6$ .....	41
Tabla 30. Procedimiento de cálculo para grupo de pilotes con excentricidad $e = 0$ .....	42
Tabla 31: Factores de reducción $\phi$ para la capacidad soportante de los suelos, según CSCR 2002 y 2010 .....	84
Tabla 32. Factores de reducción $\phi$ para el cálculo de la capacidad admisible de los pilotes (Modificado de US Army Corps of Engineers).....	85
Tabla 33: Factores de seguridad para capacidad soportante .....	87
Tabla 34: Factores de seguridad para cargas excéntricas.....	88
Tabla 35. Factores de seguridad para el cálculo de la capacidad admisible de los pilotes (Modificado de US Army Corps of Engineers) .....	88
Tabla 36. Comparación de factores de reducción de distintas normas internacionales para cimentaciones superficiales .....	146
Tabla 37. Comparación entre factor de reducción normado en Eurocódigo 7, valor recomendado por estudio y el normado en CSCR.....	146

Tabla 38. Comparación de factor de reducción de normas internacionales y los estipulados en CSCR, para pilotes .....	148
Tabla 39. Tratamiento estadístico a los valores del factor de reducción $\phi$ calculados a partir de la dimensión B de metodología ASD.....	150
Tabla 40. Cálculo de propuesta de factor de reducción.....	150
Tabla 41. Tratamiento estadístico a los valores del factor de reducción $\phi$ calculados a partir de la dimensión B de metodología ASD.....	152
Tabla 42. Comparación entre los valores $\phi$ entre CSCR 2002 y 2010.....	153
Tabla 43. Propuesta de valores de factor de reducción $\phi$ .....	154
Tabla 44. Propuesta de valores de $\phi$ y comparación con los valores vigentes	154

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo para las verificaciones de los estados límite últimos STR y GEO aplicando el Enfoque de Proyecto 2 (y 2*) mediante cálculos.....	17
Figura 2. Esquema comparativo del análisis del estado límite último de hundimiento por el sistema habitual español y por el EC-7 .....	18
Figura 3. Modelo de edificio y ubicación de placas en estudio .....	33
Figura 4. Comparación de procedimiento de métodos de diseño .....	44
Figura 5. Esquema metodológico.....	55
Figura 6. Nivel de desplante y ancho de una cimentación superficial .....	65
Figura 7. Cimentación semiprofunda o por pozos .....	65
Figura 8. Cimentación profunda mediante pilotes .....	66
Figura 9. Tipos de cimentación superficial.....	67
Figura 10. Placa aislada.....	68
Figura 11. Ubicación de columna en placa aislada .....	69
Figura 12. Placa combinada.....	70
Figura 13. Placa corrida bajo columnas .....	71
Figura 14. Placa corrida bajo muro .....	71
Figura 15: Placas arriostradas con viga de amarre.....	72
Figura 16. Placa recta.....	72
Figura 17. Placa escalonada.....	73
Figura 18. Placa ataluzada o piramidal .....	73
Figura 19. Placa nervada .....	74
Figura 20. Placas según ubicación de columna .....	74
Figura 21. Tipos de placas según su forma en planta.....	75
Figura 22. Placas rígidas y flexibles .....	76
Figura 23. Esquema general de un pilote .....	77
Figura 24. Pilotes de carga de punta (a y b) y pilotes por fricción (c).....	79

## LISTA DE SÍMBOLOS

AASHTO:	Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (siglas en inglés, American Association of State Highway and Transportation Officials)
ACI:	Instituto Americano del concreto (siglas en inglés, American Concrete Institute)
AISC:	Instituto Americano de Construcción en Acero (siglas en inglés, American Institute of Steel Construction)
API:	Instituto Americano del Petróleo (siglas en inglés, American Petroleum Institute)
ASCE:	Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (siglas en inglés, American Society of Civil Engineers)
ASD:	Diseño por Esfuerzos Permisibles (siglas en inglés, Allowable Stress Design)
B:	Menor dimensión de la placa, cimentación superficial
c:	Cohesión
CCCR:	Código de Cimentaciones de Costa Rica
CSCR:	Código Sísmico de Costa Rica
DGI:	Instituto Geotécnico Danés (siglas, Danish Geotechnical Institute)
EC-7:	Eurocódigo 7, Proyecto geotécnico
ECS:	Eurocódigo 1, Bases para el diseño y acciones en estructuras
FS:	Factor de Seguridad
LRFD:	Diseño por Factores de Carga y Resistencia ó Estados límites (siglas en inglés, Load and Resistance Factor Design)
M:	Momento, expresado en las unidades T/m <sup>2</sup>
MET:	Método de Esfuerzos de Trabajo
MOT:	Ministerio de Transporte, Canadá (siglas en inglés, Ministry of Transportation)
MU:	Método Último
NRC:	Consejo Nacional de Investigación, Canadá (siglas en inglés, National Research Council)
NTC:	Normas Técnicas Complementarias
$\phi_i$ :	Ángulo de fricción interna del material
$\phi$ :	Factor de reducción
P:	Carga, expresada en T
RCDF:	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal
WSD:	Diseño por Esfuerzos de Trabajo (siglas en inglés, Working Stress Design)



# I. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Problema Específico

El diseño geotécnico de las cimentaciones se puede realizar por medio de dos metodologías: Método de Resistencia y Método de Esfuerzos de Trabajo.

El método de resistencia utiliza cargas "mayoradas" por medio de combinaciones de las cargas permanentes, temporales y accidentales (viento y sismo), y la reducción de la capacidad portante del terreno mediante un factor de reducción ( $\phi$ ). El método de esfuerzos de trabajo, se diferencia en el uso de combinaciones de cargas sin "mayorar" y la reducción de la capacidad soportante del material utilizando un factor de seguridad (FS).

El Código Sísmico de Costa Rica 2010 (CSCR) norma el diseño geotécnico de los elementos estructurales de las cimentaciones mediante el uso del método último. Por otro lado, el actual Código de Cimentaciones de Costa Rica (CCCR) acepta el uso de ambas metodologías.

En Costa Rica, se han realizado a la fecha, dos estudios (Rodríguez-Marín, 2007; Villalobos-Camacho, 2008), correspondientes a trabajos finales de graduación, en la Universidad de Costa Rica (UCR). Éstos trabajos realizan una comparación del diseño de varios tipos de cimentación con ambas metodologías; obteniendo la dimensión de la cimentación e identificando sus variaciones e impacto en el costo. Estos estudios proporcionaron valiosa información de las variaciones entre resultados con el uso de ambas metodologías; pero no han sido concordantes en sus conclusiones.

El problema específico de ésta investigación es identificar la variabilidad entre las metodologías a utilizar en el diseño de cimentaciones, y calibrar

variables para que los factores de seguridad y los factores de reducción se encuentren dentro de un rango de seguridad aceptable desde un punto de vista práctico.

Los resultados de los estudios antes mencionados demuestran que el método de esfuerzos de trabajo es el más conservador y que con el método último se obtienen cimentaciones de menor dimensión. La cantidad de parámetros geotécnicos y niveles de carga empleados en ambos estudios, no constituyen una muestra suficientemente representativa para comparación y definición de la aceptabilidad de las variaciones de dimensión producto del uso de los factores de reducción ( $\phi$ ) y factores de seguridad (FS) establecidos en éstos códigos. Los estudios mencionados, demostraron la incongruencia del diseño al realizar un procedimiento inverso con las dimensiones obtenidas entre los métodos. El procedimiento inverso, consiste en utilizar el valor B de la cimentación, que se calcula con el MET; luego el valor B se emplea en el procedimiento de cálculo del MU, y se despeja el valor de  $\phi$ . De forma similar, se emplea el valor de B obtenido con el MU, en el procedimiento de cálculo del MET y se despeja el valor del FS. Se verifica que éste valor era inadmisibles respecto a los mínimos estipulados en los códigos.

En el presente estudio se realizó un análisis extenso y riguroso, por medio del uso de distintas cargas que representen el ámbito desde cargas medias hasta cargas muy altas, y combinarlas con los tipos de suelos en diferentes grados de consistencia. Combinando lo anterior con varios tipos de cimentación definidos, se aumenta la calidad de la muestra al considerar un mayor rango de combinaciones.

Finalmente, con el insumo de la información a obtener, se identificó el comportamiento del dimensionamiento de las cimentaciones ante diferentes niveles de cargas en distintos tipos de suelos y se analiza si se requiere una propuesta de nuevos valores para los parámetros de la resistencia nominal ( $\phi$ ) en función del factor de seguridad (FS), para que converjan los resultados de

ambas metodologías. Esto brindará un importante aporte a los códigos vigentes para la reglamentación del uso de los métodos de diseño.

## **1.2 Importancia**

La importancia del presente trabajo reside en identificar, definir y establecer el grado de confianza que los métodos establecidos en el CSCR y CCCR proporcionan, en el diseño de cimentaciones superficiales y profundas. Esto se consigue al comparar los resultados de cada método en un análisis inverso para obtención de los factores de seguridad y factores de reducción de cargas.

En el presente estudio se verificaron las variaciones en el uso de los métodos de resistencia última y esfuerzos de trabajo, para entender las implicaciones en su uso y así uniformizar el diseño geotécnico de las cimentaciones.

Además, se realizó una revisión crítica de los factores de reducción y de seguridad estipulados en los códigos para el uso de ambas metodologías. Asimismo, se definió una propuesta de nuevos valores para los parámetros de factor de reducción ( $\phi$ ) y factor de seguridad (FS) que converjan los resultados de ambas metodologías.

La definición de una propuesta de nuevos valores de  $\phi$  y FS o la verificación de la viabilidad de éstos en su uso a nivel internacional, brindará un importante aporte a los códigos vigentes en la reglamentación del uso de los métodos de diseño, referente a los valores de los parámetros en la tabla 13.1 y cuadros 3.2-3.3 del CSCR y CCCR respectivamente.

Actualmente, en el CCCR se presenta una clara recomendación y descripción de procedimientos a seguir para el análisis de cimentaciones en suelos cohesivos y suelos granulares. Sin embargo, no hay ninguna indicación o

comentario referente a las cimentaciones en suelos que presenten material granular con fino, lo cual deja sin apoyo normativo en éste tipo de escenario.

### **1.3 Antecedentes Teóricos y Prácticos del Problema**

En Costa Rica, el primer código para normar el diseño fue el Código Sísmico de 1974 (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 1974), en el cual se permite el uso del método último y método de esfuerzos de trabajo para el diseño geotécnico de cimentaciones.

Posteriormente, se publicó el Código Sísmico de Costa Rica 2002 (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2003) y en esta edición se limitó el diseño de cimentaciones al uso del método último.

En 1994 surgió el Código de Cimentaciones de Costa Rica (Asociación Costarricense de Geotecnia, 1994), que propone el uso del método de esfuerzos de trabajo para el diseño geotécnico. Ésta normativa se mantiene en las posteriores reimpressiones correspondientes al 2001 (primera), 2002 (segunda) y 2003 (tercera y última).

Lo explicado en el párrafo anterior origina una divergencia entre el Código de Sísmico de Costa Rica 2010 y el Código de Cimentaciones de Costa Rica, tercera reimpresión 2003; provocando que el diseño estructural se desarrolle con el método último y al incursionar en el diseño geotécnico de la cimentación se utilice el método de esfuerzos de trabajo.

El Código de Cimentaciones de Costa Rica vigente (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009), permite el uso de ambas metodologías para

el diseño geotécnico de las cimentaciones: método último y método de esfuerzos de trabajo.

En la documentación investigada y revisada para la elaboración del presente documento, se identificaron dos trabajos de graduación (Rodríguez-Marín, 2007; Villalobos-Camacho, 2008), cuyo objetivo fue el cuantificar las diferencias entre el uso de ambas metodologías al realizar una comparación de los diseños geotécnicos de los cuatro tipos de cimentaciones de uso más común, con la definición de condiciones de carga para cada cimentación, en combinación con tres tipos de suelo. En las tablas 1 y 2, se indican los tipos de cimentación estudiadas con las magnitudes de cargas aplicadas a cada una de estas, y los parámetros geotécnicos para cada uno de los tipos de suelo respectivamente, utilizados en las dos tesis de referencia.

**Tabla 1.** Tipos de cimentación y magnitud de cargas, utilizadas en las tesis de referencia

CP: Carga permanente CT: Carga temporal MP: Momento permanente MT: Momento temporal			<i>Rodríguez- Marín (2007)</i>	<i>Villalobos- Camacho (2008)</i>	
<i>Cimentación</i>	<i>Carga</i>	<i>Unidad</i>	<i>Magnitud</i>		
Cargas	Placa aislada	CP	T	45	110
		CT	T	30	46
	Placa combinada	CP1	T	40	110
		CP2	T	50	110
		CT1	T	25	46
		CT2	T	35	46
	Placa corrida	CP	T/mL	20	110
		CT	T/mL	10	46
	Pilotes	CP	T	325	110
		CT	T	220	46
		MP <sub>x</sub>	T-m	100	65
		MT <sub>x</sub>	T-m	50	
		MP <sub>y</sub>	T-m	70	50
		MT <sub>y</sub>	T-m	40	

**Tabla 2.** Tipos de suelo y parámetros geotécnicos, utilizados en las tesis de referencia

			Rodríguez-Marín (2007)	Villalobos-Camacho (2008)
Tipos de Suelo	Parámetro	Unidad	Valor	
Cohesivo	$\gamma_t$	ton/m <sup>3</sup>	1,75	1,75
	$c_u$	ton/m <sup>2</sup>	7	7
	$\phi$	°	0	0
	$D_r$	m	1,5	1,5
Granular	$\gamma_t$	ton/m <sup>3</sup>	2,1	2,1
	$c$	ton/m <sup>2</sup>	0	0
	$\phi$	°	30	30
	$D_r$	m	1,5	1,5
Mixto	$\gamma_t$	ton/m <sup>3</sup>	1,85	1,85
	$c$	ton/m <sup>2</sup>	3	3
	$\phi$	°	20	20
	$D_r$	m	1,5	1,5

Las conclusiones definidas en ambos trabajos coinciden en varios resultados, tales como que el método de esfuerzos de trabajo es el más conservador y que el método último genera las menores dimensiones, y la semejanza en la identificación de las variaciones en dimensiones.

Al comparar las conclusiones entre las tesis de referencia, se identifica que la diferencia más relevante corresponde a las cargas aplicadas, como lo muestran los siguientes puntos de conclusión:

- Rodríguez-Marín (2007), concluye que “para el caso de magnitudes de carga mucho mayores (el doble o triple) en cada modelo de análisis, se intuye que el comportamiento sería el mismo al obtenido en este trabajo” (p. 116); esto por cuanto las cargas utilizadas son bajas.
- Por otro lado, Villalobos-Camacho (2008) indica que “en cimentaciones tipo placa, como con cargas menores equivalentes a 1 o 2 pisos, los métodos de diseño son más similares. Conforme crecen las cargas

(cargas equivalentes a 3 pisos) aumenta la diferencia entre metodologías” (p. 137).

Un aspecto importante es la recomendación de ambos proyectos de realizar trabajos adicionales con mayor profundidad, y la necesidad de revisar los factores de reducción propuestos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010.

Por lo anterior se pretende con éste nuevo proyecto estudiar con mayor detalle y profundidad las recomendaciones de los estudios antes mencionados.

## **1.4 Investigación de estudios similares en otros países**

En el presente apartado, se presenta un resumen los trabajos de investigación, artículos, normas y códigos recopilados, asociados al tema de definición de factores de reducción del método de resistencia, más ampliamente conocido como método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD, por sus siglas en inglés); y se indicarán sus principales aportes para la comparación con el presente estudio.

### **1.4.1 Diseño de fundaciones profundas por estados límites (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004), Evaluación de las variables incertidumbre para el diseño de cimentaciones basado en la confiabilidad (Foye, Salgado , & Scott, 2006), Evaluación de los actuales factores de carga para su uso geotécnico en el Diseño por Factores de Carga y Resistencia (Scott, Kim, & Salgado, 2003)**

Tal como indica (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004):

*Durante las últimas cuatro décadas, a partir de la adopción en 1963 del Código ACI (American Concrete Institute Building Design Code), en Estados Unidos se ha puesto en práctica un método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD1) (Goble 1999). En el campo del diseño estructural, actualmente el LRFD es aceptado mundialmente junto con un método de diseño tradicional, el diseño por tensiones admisibles (ASD2), también llamado diseño por tensiones de trabajo (WSD3). En vista de la tendencia hacia el mayor uso del LRFD, en los últimos tiempos los nuevos Códigos sobre LRFD de Estados Unidos, Canadá y Europa (AASHTO 1994, API 1993, MOT 1992, NRC 1995, y ECS 1994) han incluido la implementación del LRFD para el diseño geotécnico. Además, un documento de ACI actualmente en preparación también aboga por el diseño LRFD para fundaciones superficiales. El Código AASHTO (1994, 1998) propone utilizar para el diseño de las fundaciones las mismas cargas, factores de carga y combinaciones de carga empleadas para el diseño estructural. Los factores de resistencia del Código AASHTO fueron calibrados para los mismos factores de carga utilizados en el diseño de elementos estructurales. Debido a que los factores de carga y resistencia utilizados para el diseño estructural han sido calibrados y ajustados a través de su empleo en la práctica durante muchos años, sería apropiado utilizar las mismas cargas, factores de carga y combinaciones de cargas para el diseño de las fundaciones, para así mantener la consistencia con las prácticas estructurales actuales. Utilizando los mismos factores de carga no sólo es posible obtener un diseño consistente entre las superestructuras y las subestructuras, sino que también es posible simplificar significativamente el proceso de diseño en sí (Withiam, et al. 1997). (p.5).*

Específicamente el informe plantea que:

*“los factores de carga indicados en estos Códigos han sido determinados mediante procesos de calibración ya sea antes o después que los códigos adoptaran el LRFD para su implementación en la práctica de diseño. La calibración de los códigos se puede realizar de varias maneras: aplicando el criterio y la experiencia profesional, por ajuste contra los Códigos de diseño tradicional (es decir, Diseño por Tensiones Admisibles), utilizando análisis de confiabilidad en base a una teoría de la probabilidad racional, o empleando una combinación de estos enfoques (Barker, et al. 1991). Los factores de carga y resistencia de los Códigos sobre LRFD de Estados Unidos y Canadá han sido calibrados principalmente utilizando la teoría de la probabilidad, la cual ha proporcionado una base teórica para el LRFD desde fines de la década del 60 en Estados Unidos” (p.7).*

En la tabla 3, se recopilan los factores de carga de los códigos de Estados Unidos, Canadá y Europa.



**Tabla 3.** Factores de carga de códigos de Estados Unidos, Canadá y Europa

<i>Cargas</i>	<i>Estado Unidos</i>				<i>Canadá</i>		<i>Europa</i>	
	<i>AASHTO (1998)</i>	<i>ACI (1999)</i>	<i>AISC (1994)</i>	<i>API (1993)</i>	<i>MOT (1992)</i>	<i>NRC (1995)</i>	<i>DGI (1985)</i>	<i>ECS (1995)</i>
Permanentes	1.25 - 1.95	1.4	1.2 - 1.4	1.1 - 1.3	1.1 - 1.5	1.25	1	1.0 - 1.35
Sobrecargas vivas	1.35 - 1.75	1.7	1.6	1.1 - 1.5	1.15 - 1.4	1.5	1.3	1.3 - 1.5
Viento	1.4	1.3	1.3	1.2 - 1.35	1.3	1.5	1.3	1.3 - 1.5
Sísmicas	1.0	1.4	1.0	0.9	1.3	1.0	1.0	1.0

Fuente: (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004, pág. 26); (Scott, Kim, & Salgado, 2003, pág. 288)

En la tabla 4 se comparan los distintos factores de carga y combinación de carga gravitacional para distintos códigos respecto a la combinación 2 del CSCR.

**Tabla 4.** Factores de carga y combinación de carga gravitatoria representativa

<i>Código</i>	<i>Combinación de carga representativa</i>
AASHTO (1998)	1.25CP + 1.75CT
ACI (1999)	1.4CP + 1.7CT
<b>AISC (1994)</b>	<b>1.2CP + 1.6CT</b>
API (1993)	1.3CP + 1.5CT
MOT (1992)	1.2CP + 1.4CT
NRC (1995)	1.25CP + 1.5CT
DGI (1985)	1.0CP + 1.3CT
ECS (1995)	1.35CP + 1.5CT
<b>CSCR (2010)</b>	<b>1.2 CP + 1.6 fR CT + 1.6 CE</b>

Fuente: (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004, pág. 26) modificada por el autor.

La metodología para determinar los factores de resistencia (factores de reducción, tal como se conocen en nuestro medio), indica (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004, pág. 35) que:

*“existen muchas técnicas posibles para seleccionar Factores de Resistencia (RF) para utilizar en el diseño LRFD aplicado a la geotecnia. Una técnica muy común consiste en “calibrar” los factores de resistencia usando como datos de partida los factores de seguridad existentes y los Factores de Carga especificados en los códigos. De este modo se pueden especificar factores de resistencia que permitan obtener resistencias consistentes con los factores de seguridad existentes. Esta técnica es aceptable como primer paso en la adopción del LRFD, pero también hay mejores métodos disponibles. El método más racional disponible para determinar factores de resistencia es el análisis de confiabilidad.” En éste respecto el informe difiere en el método de evaluación de la incertidumbre de las variables de diseño utilizadas como datos de partida en el análisis de confiabilidad, por lo que su propuesta índice en el uso de Funciones de Densidad de Probabilidad (PDF); finalmente proponen una metodología para calcular los factores de resistencia (RF) a utilizar en LRFD para aplicaciones geotécnicas, dentro de un marco de probabilidad y estadística, para fundaciones superficiales y profundas, obteniendo como resultado los siguientes RF.”*

En la tabla 5 se muestran los factores de resistencia para el diseño de cimentaciones superficiales según ASCE y AASHTO; y en las tablas 6 y 7, los factores de resistencia para el diseño de cimentaciones profundas en arena y arcilla, respectivamente.

#### **1.4.2 Bases de cálculo del Eurocódigo 7. Un cambio en la metodología para el proyecto de cimentaciones (Crespo Rodriguez , Parrilla Alcaide , Estaire Gepp, Ortega Conejo, & Pérez Caldentey, 2013), Bases del Anejo nacional español del Eurocódigo EC-7 (proyecto geotécnico) (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014), Comparación del dimensionamiento de cimentaciones superficiales aplicando el Eurocódigo 7 y las normativas españolas (Estaire Gepp & Perucho Martínez, 2008)**

Como lo resume (Crespo Rodriguez , Parrilla Alcaide , Estaire Gepp, Ortega Conejo, & Pérez Caldentey, 2013, págs. 31-32), el Eurocódigo 7 supone un importante cambio en la forma de abordar el proyecto de las cimentaciones, respecto a la práctica tradicional en Europa, ya que implica pasar de los métodos

basados en tensiones admisibles, a los métodos de cálculo basados en los estados límite y la introducción de los coeficientes parciales en el ámbito de la ingeniería geotécnica, de forma que las bases de cálculo del proyecto geotécnico sean acordes con las establecidas en los demás Eurocódigos para el proyecto del resto de la estructura.

**Tabla 5.** Factores de resistencia recomendados para capacidad de carga en arena y arcilla, aplicables para  $D/B \leq 1$  (cimentaciones superficiales)

Caso de diseño		Factores de resistencia de ASCE-7		Factores de resistencia de AASHTO (1998)	
		$D/B < 0.1$	$D/B \Rightarrow 0.1$	$D/B < 0.1$	$D/B \Rightarrow 0.1$
<b>Placas en arena</b>					
Placa rectangular usando CPT	$\emptyset \leq 39^\circ$	0.4	0.45	0.42	0.47
	$\emptyset > 39^\circ$	0.3	0.35	0.31	0.36
Placa rectangular usando SPT		0.3	0.35	0.31	0.36
<b>Placas en arcilla</b>					
Zapatas rectangulares usando factores de Salgado et al. (2003) (CPT)		0.73		0.76	
Zapatas rectangulares usando factores de Meyerhof (1951) (CPT)		0.7	0.78	0.73	0.81
Zapatas rectangulares usando factores de Salgado et al. (2003) (ensayos en laboratorio)		0.52		0.54	
Zapatas rectangulares usando factores de Meyerhof (1951) (ensayos en laboratorio)		0.48	0.54	0.5	0.56

**Fuente:** (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004, pág. 75)

Según indica (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014):

*El Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico [1] (EC-7) propugna, en concordancia con los demás Eurocódigos estructurales, la utilización del método de los coeficientes parciales para la verificación de los diferentes estados límite últimos. A este respecto, el EC-7 distingue los siguientes tipos de estados límite últimos: de equilibrio estático (tipo EQU), de rotura o deformación excesiva de un elemento estructural (tipo STR) o de una sección del terreno (tipo*

**Tabla 6.** Tabla resumen para el diseño de fundaciones profundas en arena.

<i>Diseño de pilotes hincados de punta cerrada en base a las propiedades del suelo</i>	
Capacidad friccional	RF = 0.37 (ASCE-7)
	RF = 0.40 (AASHTO)
	FS = 3.9
Capacidad de punta	RF = 0.5 (ASCE-7)
	RF = 0.5 (AASHTO)
	FS = 3.0
<i>Diseño directo de pilotes hincados de punta cerrada</i>	
Capacidad friccional	RF = 0.51 (ASCE-7)
	RF = 0.53 (AASHTO)
	FS = 2.9
Capacidad de punta	RF = 0.56 (ASCE-7)
	RF = 0.59 (AASHTO)
	FS = 2.6
<i>Diseño de pilotes hincados de punta abierta en base a las propiedades del suelo</i>	
Capacidad friccional	RF = 0.37 (ASCE-7)
	RF = 0.40 (AASHTO)
	FS = 3.9
Capacidad de punta	RF = 0.58 (ASCE-7)
	RF = 0.60 (AASHTO)
	FS = 2.6
<i>Diseño directo de pilotes hincados de punta abierta (CPT)</i>	
Capacidad friccional	RF = 0.37 (ASCE-7)
	RF = 0.40 (AASHTO)
	FS = 3.9
Capacidad de punta	RF = 0.66 (ASCE-7)
	R = 0.69 (AASHTO)
	FS = 2.3
<i>Diseño directo de pilotes perforados en base a las propiedades del suelo</i>	
Capacidad de punta	RF = 0.56 (ASCE-7)
	RF = 0.58 (AASHTO)
	FS = 2.7
<i>Diseño directo de pilotes perforados (CPT)</i>	
Capacidad de punta	RF = 0.64 (ASCE-7)
	RF = 0.67 (AASHTO)
	FS = 2.3

**Fuente:** (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004, pág. 140), modificada por el autor.

**Tabla 7.** Tabla resumen para el diseño de fundaciones profundas en arcilla.

<i>Diseño de pilotes hincados en arcilla en base a las propiedades del suelo</i>	
Capacidad friccional	RF = 0.44 (ASCE-7)
	RF = 0.46 (AASHTO)
	FS = 2.9
Capacidad de punta	RF = 0.66 (ASCE-7)
	RF = 0.69 (AASHTO)
	FS = 2.3
<i>Diseño de pilotes perforados en base a las propiedades del suelo</i>	
Capacidad de punta	RF = 0.66 (ASCE-7)
	RF = 0.69 (AASHTO)
	FS = 2.3

Fuente: (Foye, Abou Jaoude, & Salgado, 2004, pág. 163), modificada por el autor.

GEO), de comprobación hidráulica de la subpresión (tipo UPL) y de fallo por levantamiento o inestabilidad (tipo HYD). En el caso del estado límite últimos de rotura o deformación excesiva (STR y GEO), la verificación se realiza mediante la expresión  $E_d \leq R_d$ , donde  $E_d$  es el valor de cálculo de los efectos de las acciones y  $R_d$  es el valor de cálculo de la resistencia del terreno. (p.47).

La determinación de los valores de los coeficientes parciales se ha realizado teniendo como principio básico que se consiga un nivel de seguridad similar al que se tiene en la práctica geotécnica española habitual. Sin embargo, el primer problema que se plantea para conseguir dicho objetivo es la inexistencia de un procedimiento único que se pudiera denominar «español», puesto que existen tres documentos de carácter geotécnico, con diferente rango normativo, como son la R.O.M. 0.5-05, la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera y el Código Técnico de la Edificación, que presentan diferentes formulaciones que conducen, en ocasiones y como es bien sabido, a dimensionamientos dispares (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 48).

España adoptó el Enfoque de Proyecto 2 para las actuaciones geotécnicas, como se indica en tabla 9, que se diferencia principalmente en los parámetros a los que se aplican simultáneamente los coeficientes parciales de seguridad: acciones, materiales o resistencias. En éste se mejoran las acciones (o efectos de las acciones) y se minoran las resistencias, dejando los valores de los parámetros geotécnicos sin factorizar, como se resume en la tabla 8.

### 1.4.2.1 Cimentaciones superficiales

De acuerdo con la normativa del Eurocódigo, como se indica en (Estaire Gepp & Perucho Martínez, 2008, pág. 79), sección 3.5.3: **la capacidad portante de proyecto ( $R_d$ )** se puede calcular análiticamente mediante las correspondientes expresiones recogidas en el Anejo D del Eurocódigo 7 (...). Una vez obtenida la cuantía de la capacidad portante de proyecto, a través de la utilización de ese conjunto de expresiones, **el valor se debe dividir por el coeficiente parcial de resistencia ( $\gamma_R$ )**. Éste coeficiente es únicamente diferente de la unidad en el Método de Proyecto 2, para el que toma un valor de 1.40. Esto se esquematiza en el diagrama de la figura 1, donde  $\gamma_M$  y  $\gamma_E$  son los coeficientes parciales para los parámetros geotécnicos y para los efectos de las acciones respectivamente,  $\Delta_a$  es un factor para obtener el valor de las dimensiones de cálculo y  $\Psi_i$  un factor para obtener las acciones representativas.

**Tabla 8.** Uso de los coeficientes parciales de seguridad en los diferentes Enfoques de Proyecto

Enfoque de Proyecto	Mayoración de acciones	Minoración de parámetros geotécnicos	Minoración de resistencias
1			
Combinación 1	X		
Combinación 2		X	Xa
2	Xb		X
3	Xb	X	

Notas: Xa: solo pilotes cargados axialmente y anclajes; Xb: o efectos de las acciones  
**Fuente:** (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 48)

En el Eurocódigo 7, la determinación del factor de minoración de la capacidad portante se definió a partir de la comparación del sistema de proyecto utilizado en la práctica geotécnica habitual española y el preconizado en el Eurocódigo, a partir del esquema de la figura 2.

**Tabla 9.** Enfoques de Proyecto elegidos por los diferentes países europeos

País	Enfoque de Proyecto	País	Enfoque de Proyecto
Alemania	2 / 2*	Hungría	2 / 2*
Austria	2	Irlanda	1 / 2 / 3.
Bélgica	1	Islandia	1
Chipre	2 / 2*	Italia	1 / 2.
Croacia	2	Lituania	1
Dinamarca	3	Luxemburgo	2
Eslovaquia	2	Noruega	3
Eslovenia	2	Polonia	2 / 2*
Estonia	2	Portugal	1
Finlandia	2 / 2*	República Checa	1 / 2 / 3.
Francia	2	Rumanía	1
Gran Bretaña	1	Suecia	3
Grecia	2 / 2*	Suiza	3
Holanda	3		

Nota: El Enfoque de Proyecto 2\* es una variante del Enfoque de Proyecto 2.

**Fuente:** (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 49)

Según (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 50):

*El esquema comparativo de ambos métodos de dimensionamiento lleva a la conclusión de que el coeficiente global (FS) habitualmente utilizado, es, en realidad, equivalente al producto del coeficiente parcial de acciones ( $\gamma_F$ ) y de resistencias ( $\gamma_R$ ). Esto implica que la incertidumbre con la que se plantea habitualmente el dimensionamiento con el método de los coeficientes globales se debe considerar dividida, al aplicar el EC-7, en dos partes: una parte que afecta a la*

cuantificación de las cargas y otra parte que se refiere a la determinación de las resistencias del terreno. Por tanto, el uso de la expresión anterior  $[FS = \gamma_R \gamma_F]$  permite determinar el coeficiente parcial de minoración de resistencias si se tienen en cuenta los valores de los coeficientes parciales de mayoración de acciones y del FS utilizado normalmente. A este respecto y a efectos cuantitativos globales, se puede hacer la suposición de que, en general, las cargas permanentes suponen 2/3 del total, teniendo el tercio restante carácter variable, por lo que, en ese caso, el coeficiente parcial de acciones  $\gamma_F$  toma un valor medio de 1,40, ya que las acciones variables se mayoran por 1,35 y las permanentes por 1,50. Por otra parte, las normas y guías españolas de carácter geotécnico, en particular la Guía de Cimentaciones de Obras de Carretera, aboga por un factor de seguridad frente al hundimiento de 2,60 para la combinación de acciones características, que se puede asimilar a las situaciones persistentes y transitorias. Por lo tanto, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, el coeficiente parcial de resistencia se puede obtener tal y como se muestra a continuación:  $FS = \gamma_R \cdot 1,40 = 2,60 \Rightarrow \gamma_R = 1,85$ . (p.50).

En la tabla 10 se indican los valores de coeficientes parciales de resistencia adoptados por varios países, adicionalmente se indica el valor del factor de reducción  $\phi$  al que equivale cada coeficiente parcial.

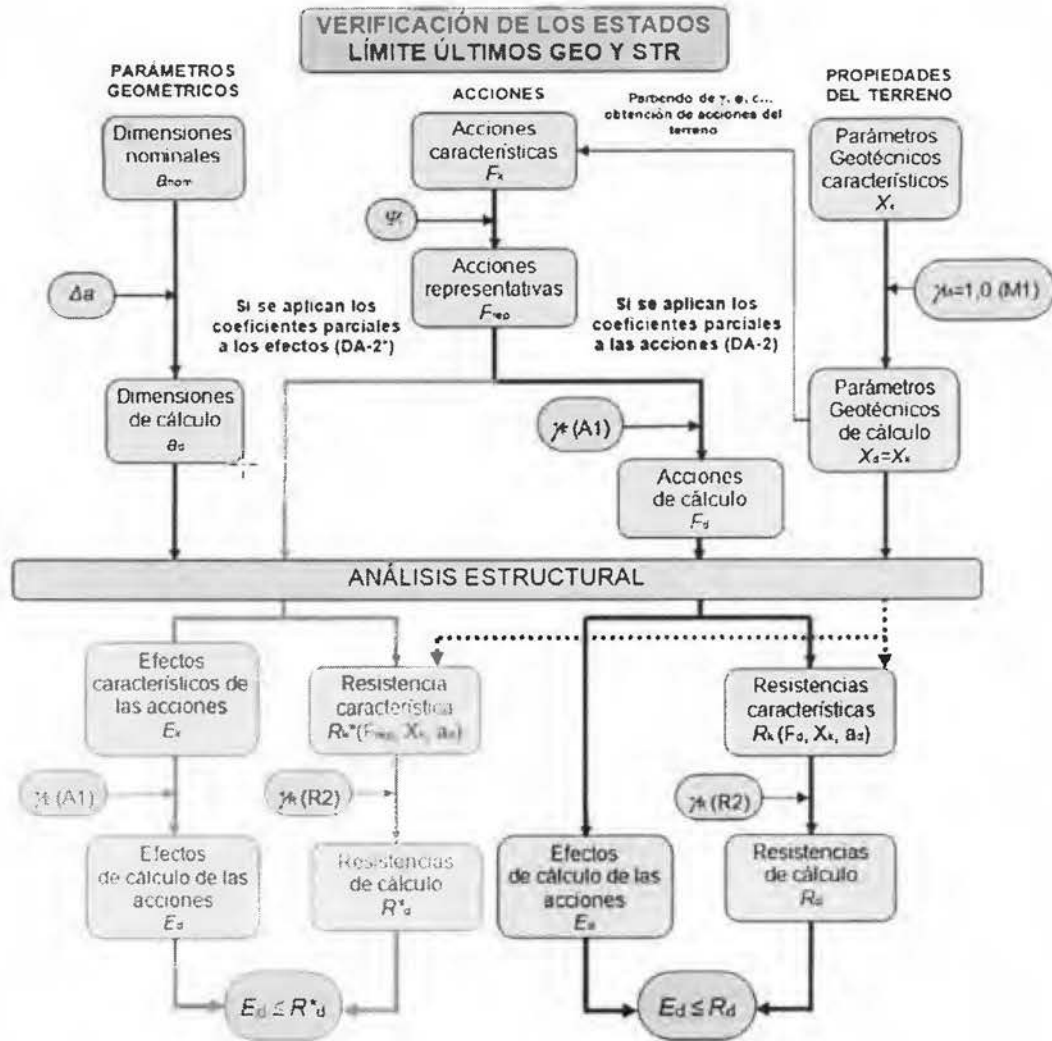
**Tabla 10.** Valor del coeficiente parcial de resistencias en el dimensionamiento del estado límite de hundimiento de cimentaciones superficiales

<i>Pais</i>	$\gamma_R$	<i>Valor <math>\phi</math> equivalente</i>
España	1.85	0.54
EC-7 (valor recomendado)	1.40	0.71
Alemania	1.40	0.71
Francia	1.40	0.71
Chipre	1.40	0.71
Finlandia	1.55	0.65
Italia	2.30	0.43

**Fuente:** (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 50), modificado por el autor por cálculo de valor  $\phi$  equivalente



Figura 1. Diagrama de flujo para las verificaciones de los estados límite últimos STR y GEO aplicando el Enfoque de Proyecto 2 (y 2\*) mediante cálculos



Fuente: (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martinez, 2014, pág. 40)

Finalmente para cimentaciones superficiales, el estudio de (Estaire Gepp & Perucho Martinez, Comparación del dimensionamiento de cimentaciones superficiales aplicando el Eurocódigo 7 y las normativas españolas, 2008), propone el coeficiente parcial de minoración de la resistencia indicado en la tabla

**Figura 2.** Esquema comparativo del análisis del estado límite último de hundimiento por el sistema habitual español y por el EC-7

ESPAÑA	EC-7
$q_{actante} = \frac{N}{B \cdot L^*}$ $q_{admisible} = \frac{q_h}{FS}$ $q_{actante} = q_{admisible} \Rightarrow B^*$ $\frac{N}{B \cdot L^*} = \frac{q_{h,español}}{FS} \Rightarrow FS = \frac{B \cdot L^* \cdot q_h}{N}$	$E_d \leq R_d$ $E_d = q_{actante,d} = \frac{N \gamma_F}{B \cdot L^*}$ $R_d = \frac{q_{h,EC}(X_k / \gamma_M)}{\gamma_R}$ $D. A. 2 \rightarrow \gamma_M = 1 \Rightarrow q_{h,EC} = q_{h,español}$ $\frac{N \gamma_F}{B \cdot L^*} = \frac{q_h}{\gamma_R}$ $\gamma_R \gamma_F = \frac{B \cdot L^* \cdot q_h}{N}$
$FS = \gamma_R \cdot \gamma_F$	

Fuente: (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 50)

**Tabla 11.** Propuesta de valores de coeficientes de seguridad parciales para aplicación en el Eurocódigo 7

Método de Proyecto	Capacidad portante		Valor $\phi$ equivalente	
	Valor recomendado	EC-7	Valor recomendado	EC-7
2	2.10	1.40	0.48	0.71

Fuente: (Estaire Gepp & Perucho Martínez, 2008, pág. 85), modificado por el autor para indicar sólo los valores de interés

Cabe resaltar, para el presente estudio, que de las conclusiones en el artículo de (Estaire Gepp & Perucho Martínez, Comparación del

dimensionamiento de cimentaciones superficiales aplicando el Eurocódigo 7 y las normativas españolas, 2008, pág. 85), indica:

1. En todos los casos analizados, e independientemente del método de proyecto elegido, las cargas actuantes máximas deducidas del Eurocódigo 7 son mayores que las obtenidas a partir de las normativas españolas.
2. Diferencias en las cimentaciones calculadas oscilan entre 16%-120% para el caso de cálculos en terrenos con drenaje y entre 52%-115% para cálculos sin drenaje (siendo los valores menores producto de EC-7).

#### 1.4.2.2 Cimentaciones profundas

Similar al planteamiento de cimentaciones superficiales, el tema de las cimentaciones por pilotes se aborda de manera amplia en el capítulo 7 del EC-7.

El estado límite de hundimiento implica la verificación de la expresión  $E_d \leq R_d$ , donde  $E_d$  es el valor de cálculo de los efectos de las acciones y  $R_d$  es el valor de cálculo de la resistencia del terreno frente a una acción. El valor de cálculo de la resistencia del terreno que, en este caso, es la capacidad portante de cálculo del terreno ( $R_{c;d}$ ), se obtiene de la suma de la resistencia de cálculo por punta ( $R_{b;d}$ ) y por fuste ( $R_{s;d}$ ), tal como se recoge en la ecuación 1 (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 52):

$$R_{c;d} = R_{b;d} + R_{s;d} \quad (\text{ecuación 1})$$

Las resistencias de cálculo por punta y por fuste se obtienen a partir de los valores característicos minorados por el coeficiente parcial de resistencia correspondiente ( $\gamma_b$  para la resistencia por punta y  $\gamma_s$  para la resistencia por fuste), tal como se indica en las expresiones de la ecuación 2:

$$R_{b;d} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b}; \quad R_{s;d} = \frac{R_{s;k}}{\gamma_s} \quad (\text{ecuación 2})$$

Como indica (Estaire Gepp, Pardo de Santayana Carrillo, & Perucho Martínez, 2014, pág. 53): los valores de los coeficientes de minoración de resistencia por punta y fuste y del coeficiente de modelo se pueden determinar a partir de las ecuaciones 3 y 4, similares a la ecuación anteriormente deducida para las cimentaciones superficiales:

$$\text{Resistencia por punta} \rightarrow FS_b = \gamma_F * \gamma_b * \gamma_{R;d} \quad (\text{ecuación 3})$$

$$\text{Resistencia por fuste} \rightarrow FS_s = \gamma_F * \gamma_s * \gamma_{R;d} \quad (\text{ecuación 4})$$

Una vez obtenida la capacidad portante característica del terreno, la capacidad portante de cálculo se obtiene minorando dicho valor por el coeficiente de minoración de resistencias ( $\gamma_t$ ), tal como se indica en la ecuación 5:

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} \quad (\text{ecuación 5})$$

Con el objeto de tener en cuenta el diferente grado de incertidumbre asociado a la ejecución de los distintos tipos de pilotes (pilotes hincados y pilotes barrenados con y sin control de parámetros de ejecución), el EC-7 español, ha optado por dar valores diferentes de los coeficientes parciales para dichos tipos de pilotes, tal como se recoge en la tabla 12.

**Tabla 12.** Valores de los coeficientes parciales de minoración de resistencia para el cálculo de cimentaciones por pilotes por el método analítico

Concepto	Símbolo	Pilotes hincados		Pilotes perforados		Pilotes de barrena continua con control de parámetros		Pilotes de barrena continua sin control de parámetros	
		EC-7	$\phi$ equivalente	EC-7	$\phi$ equivalente	EC-7	$\phi$ equivalente	EC-7	$\phi$ equivalente
Resistencia por punta	$\gamma_b$	1.25	0.80	1.35	0.74	1.45	0.69	1.50	0.67
Resistencia por fuste	$\gamma_s$	1.05	0.95	1.10	0.91	1.15	0.87	1.20	0.83
Modelo	$\gamma_{R,d}$	1.40	0.71	1.40	0.71	1.40	0.71	1.40	0.71
<b>Resistencia total</b>	<b><math>\gamma_r</math></b>	<b>1.15</b>	<b>0.87</b>	<b>1.25</b>	<b>0.80</b>	<b>1.30</b>	<b>0.77</b>	<b>1.35</b>	<b>0.74</b>

**Fuente:** (Estaire Gepp & Perucho Martínez, 2008, pág. 53), modificado por el autor para indicar los valores  $\phi$  equivalentes

Por último, con el objeto de comparar la propuesta española con las de otros países, en la tabla 13 se recogen los valores indicados en los EC-7 aplicado a los países que han elegido el Enfoque de Proyecto 2.

**Tabla 13.** Valor del coeficiente parcial de resistencias en el dimensionamiento del estado límite de hundimiento de pilotes perforados

País	$\gamma_b$		$\gamma_s$		$\gamma_r$		$\gamma_{R,d}$	
	Norma	$\phi$ equivalente	Norma	$\phi$ equivalente	Norma	$\phi$ equivalente	Norma	$\phi$ equivalente
España	1.35	0.74	1.10	0.91	1.25	0.80	1.40	0.71
EC-7 (valor recomendado)	1.10	0.91	1.10	0.91	1.10	0.91	1.00	1.00
Alemania	1.40	0.71	1.40	0.71	1.40	0.71	1.00	1.00
Francia	1.60	0.63	1.30	0.77	1.45	0.69	1.00	1.00
Chipre	1.10	0.91	1.10	0.91	1.10	0.91	1.25	0.80
Finlandia	1.20	0.83	1.20	0.83	1.20	0.83	1.60	0.63
Italia	1.35	0.74	1.15	0.87	1.25	0.80	1.00	1.00

**Fuente:** (Estaire Gepp & Perucho Martínez, 2008, pág. 54), modificado por el autor para indicar los valores  $\phi$  equivalentes

### **1.4.3 Tesis: Análisis y diseño de cimentaciones: una comparación de prácticas (Juarez Morales , 2013)**

En éste trabajo de tesis, el autor indica que de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF) y Normas Técnicas Complementarias (NTC), para cimentaciones superficiales, que los factores de resistencia ( $F_R$ ), relativos a la capacidad de carga de cimentaciones serán:

1.  $F_R = 0.35$  para la capacidad de carga ante cualquier combinación de acciones en zona I, y placas con desplante menor a 5 metros en zonas II y III, y pilotes apoyados en estrato resistente.
2.  $F_R = 0.7$  para los otros casos.

Para cimentaciones profundas,  $F_R = 0.7$  para capacidad por punta y fricción.

### **1.4.4 INGENIERÍA GEOTÉCNICA CIRCULAR NO. 6 – Cimentaciones Superficiales (Kimmerling, 2002)**

Se presenta en el informe de (Kimmerling, 2002) la tabla 14, donde se indican los valores de los factores de reducción a emplear en el método LRFD.

Como se puede identificar en la tabla 14, es evidente que el valor del factor de reducción está relacionado con el método utilizado para obtener el parámetro de resistencia ( $c$  y  $\phi$ ).

**Tabla 14.** Factores de resistencia para el estado de esfuerzo límite para cimentaciones superficiales (modificado después de la tabla 10.5.5-1, AASHTO, 1998)

Capacidad de carga	Arena	
	Procedimiento semi-empírico utilizando datos de SPT	0.45
	Procedimiento semi-empírico utilizando datos de CPT	0.55
	Método Racional:	
	uso de $\phi f$ estimado de datos SPT	0.35
	uso de $\phi f$ estimado de datos CPT	0.45
	Arcilla	
	Procedimiento semi-empírico utilizando datos de CPT	0.5
	Método Racional:	
	uso de medidas de resistencia al corte en pruebas de laboratorio	0.6
uso de medidas de resistencia al corte en pruebas de campo	0.6	
uso de resistencia al corte estimado de datos CPT	0.5	

*Fuente:* (Kimmerling, 2002) - Tabla C-5; (Goble, 2005)

#### 1.4.5 Manual de Referencia LRFD para Análisis Sísmico y Diseño de Fundaciones y Transporte en el Ámbito Geotécnico y Estructural (Kavazanjian, Wang, & Martin, 2011)

El documento citado indica que según la AASHTO Guía de Especificaciones para LRFD para Diseño Sísmico de Puentes, recomienda para cimentaciones superficiales el uso de factor de reducción igual a 1 en los diseños sísmicos de todos los elementos del diseño de la fundación, excepto:

1. Fundación profunda:  $FR = 0.8$
2. Fundación de muros de retención según NCHRP 12-70:  $FR = 0.67$

Para cimentaciones profundas, se indican en la tabla 15 los valores propuestos de factores de reducción.

**Tabla 15.** Factores de resistencia para cimentaciones profundas

<i>Estado Límite</i>	<i>Componente de Resistencia</i>	<i>Geomaterial</i>	<i>Método</i>	<i>Factor de Resistencia, <math>\phi</math></i>
Evento Extremo I y II	Resistencia al levantamiento por carga axial, componente geotécnica	Todos los geomateriales	Método citado para esfuerzo en Estado Límite	0.8
	Resistencia lateral, componente geotécnica	Todos los geomateriales	Métodos p-y análisis Puchover	0.8
	Todos los otros casos	Todos los geomateriales	Método citado para esfuerzo en Estado Límite	1

*Fuente:* (Kavazanjian, Wang, & Martin, 2011)

## 1.5 Objetivos

### 1.5.1 Objetivo General

Compatibilizar los resultados del dimensionamiento de cimentaciones utilizando el método de diseño último y el método de esfuerzos de servicio.

### 1.5.2 Objetivos Específicos

- i. Determinar los valores de magnitud de los distintos tipos de cargas y de los parámetros geotécnicos para los distintos tipos de suelos a utilizar en los cálculos para cada metodología de diseño.
- ii. Realizar el cálculo de dimensiones de cimentación para cada uno de los tipos de fundación definidos con el Método de Resistencia Última (MRU) y el Método de Esfuerzos de Trabajo (MET).



- iii. Determinar el Factor de Seguridad (FS) con los datos obtenidos por medio del MRU.
- iv. Determinar el Factor de Reducción ( $\phi$ ) con los datos obtenidos por medio del MET.
- v. Realizar análisis y comparaciones de los resultados de los diseños por ambas metodologías.
- vi. Establecer un criterio para la aceptación o propuesta de readecuación de los valores de parámetros  $\phi$  en comparación con los valores del FS, establecidos en los códigos vigentes y a nivel internacional.

## **1.6 Alcances y limitaciones del proyecto**

### **1.6.1 Alcances**

- i. No se realizará ningún tipo de prueba especial en laboratorio o campo.
- ii. Los cálculos se realizarán basados solamente en el método último y el método de esfuerzos de trabajo, autorizados por el CCCR.
- iii. Solo se definirán los valores para los parámetros geotécnicos de los tres tipos de suelo en tres grados de resistencia cada uno.
- iv. Sólo se considerará que la cimentación a diseñar se ubica sobre un único estrato o tipo de suelo, no se analizarán casos con combinación de estratos o cercanía a taludes.
- v. Sólo se definirán tres tipos de cargas (media, alta y muy alta) que se utilizarán en la aplicación de los métodos de diseño de cimentaciones.
- vi. El análisis se realizará en base a las metodologías de diseño establecida en el ámbito geotécnico para obtención de la dimensión de la fundación.

- vii. Los dos tipos de cimentación a estudiar, serán los considerados como de mayor uso en nuestro medio (placa aislada y pilotes).
- viii. Las propuestas para solventar o reducir la brecha entre los resultados obtenidos con ambas metodologías, se enfocará solamente en los valores de factor de reducción y factor de seguridad.
- ix. En el cálculo de cimentaciones profundas, en el escenario de suelo granular con finos (granular-cohesivo), para determinar la capacidad por punta del pilote, no se considera la limitación de valor máximo  $q_{lim} \cdot A_b$  tal como se define en el CCCR; sino que se utiliza el valor según fórmula sin límite. Ésta acción se realiza para que la comparación entre métodos sea más real.
- x. Solamente se estudiarán cimentaciones de concreto reforzado y se consideran como rígidas.
- xi. Se excluye del presente trabajo revisiones por deformabilidad (asentamientos), punzonamiento o cortante bidireccional, cortante unidireccional, aplastamiento, vuelco, área de contacto ni presión de contacto placa-suelo (CSCR - Art 13.4).
- xii. En pilotes se excluye la revisión por desplazamiento y se considera como pilote largo y diámetro normal.
- xiii. Para el caso de placas aisladas, no se incluirá el uso o diseño de vigas de amarre a nivel de la cimentación para la interconexión de columnas, según el artículo 13-6 del CSCR, por tanto, no se reducirá el momento flector transmitido al terreno por medio de la base de la columna.

### 1.6.2 Limitaciones

- i. El enfoque de la investigación se centra en la compatibilización de los métodos de diseño solamente, sin valorar las diferencias entre la variabilidad de las propiedades de los suelos de grano grueso ( $\emptyset$ ) y de

grano fino (c - arcillosos); y la influencia del método de obtención del parámetro.

- ii. El presente estudio generará gran cantidad de información producto de los casos a analizar por las combinaciones de cargas y tipos de suelo para las diferentes cimentaciones. Al no existir estudios semejantes en combinación de factores, no se tiene un patrón de comparación de los resultados contra cuales cotejar.
- iii. El diseño de cimentaciones incluye una serie de análisis de revisión a cumplir, y que no se consideran en los alcances del presente proyecto: cortante unidireccional, punzonamiento, aplastamiento, vuelco, desplazamiento en pilotes.
- iv. No se realizarán estudios de laboratorio o similar, ni diseño estructural (concreto y acero).
- v. La carga máxima a analizar se limitará a un edificio de 15 pisos (muy alta).

## II. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La cantidad de casos o diseños a realizar fueron 3.456, para cada tipo de cimentación (placa aislada y pilotes), para un total de 6.912 dimensionamientos de cimentación. El presente trabajo consiste en tres etapas de cálculo, correspondientes al diseño de cimentaciones, cálculo del factor de seguridad calculado en función de la dimensión de cimentación obtenida por el método último y cálculo del factor de reducción en función de la dimensión de cimentación obtenida por el método de esfuerzos de trabajo. Éstas tres etapas con la en total dan como resultado un total de 13.824 cálculos, producto de la combinación de:

- 3 tipos de suelo con 3 distintos grados de consistencia (subtotal = 9 combinaciones).
- 3 tipos de carga asociada a edificios de distintos niveles y en 2 tipos de ubicación del edificio: centro y perímetro (subtotal = 6)
- 6 combinaciones de carga según CSCR empleadas en las metodologías LRFD y ASD (12) y 4 combinaciones de carga según ASCE (subtotal = 16)
- 4 grados de excentricidad: B/4, B/10, 0 y (M/P)
- 2 tipos de cimentación definidos de mayor uso: placa aislada y pilotes

### 2.1 Definición de parámetros geotécnicos

#### 2.1.1 Generalidades

Los parámetros geotécnicos a emplear en los cálculos para el dimensionamiento de las cimentaciones en estudio, se definieron para tres tipos de material y tres diferentes grados de consistencia:

- a. Arcillas – suelo cohesivo
- b. Arena – suelo granular
- c. Arena con arcilla – suelo granular con finos

Los datos para la definición de los valores correspondientes, son tomados de las siguientes referencias:

- i. (Rodríguez-Marín, 2007) y (Villalobos-Camacho, 2008): de éstos dos trabajos de tesis, cuyos valores de los parámetros utilizados en sus cálculos son los mismos. Se consideran éstos valores con el fin de tener un parámetro de comparación con los resultados a obtener en el presente estudio.
- ii. Bibliografía que indique valores promedio de los parámetros geotécnicos, en función de la consistencia y compacidad relativa.
- iii. Definición de parámetros geotécnicos para cada grado de consistencia, en función de la experiencia del Ing. Sergio Sáenz.

### **2.1.2 Arcillas – suelo cohesivo**

En la tabla 16, se correlacionan los valores de peso volumétrico y resistencia a la compresión simple para arcilla, en función de su grado de consistencia, de acuerdo a las tablas de las referencias bibliográficas indicadas.

En la tabla 17, se indica para el suelo cohesivo, la definición de los parámetros geotécnicos para cada grado de consistencia.

**Tabla 16.** Comparativa entre distintos autores para definición de parámetros de suelos cohesivo

(Das B. M., Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012, pág. 84)			(Das B. M., Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015, pág. 55)		(González de Vallejo, 2002, pág. 27)
Número de penetración estándar, $N_{60}$	Consistencia	Resistencia a la compresión simple, $q_u$ ( $kN/m^2$ )	Tipo de suelo	$\gamma_d$ ( $T/m^3$ )	$\gamma_d$ ( $T/m^3$ )
<2	Muy blanda	<25			<1.40
2-8.	Blanda	25-80	Arcilla blanda	1.15-14.50	1.40–1.55
8-15.	Media	80-150			1.55-1.70
15-30	Firme	150-400	Arcilla dura	1.70	1.70–1.80
>30	Muy firme	>400			>1.80

**Tabla 17.** Parámetros geotécnicos del suelo cohesivo

Tipo de suelo	Consistencia	$\gamma$ ( $T/m^3$ )	$c$ ( $T/m^2$ )	$\phi$ ( $^\circ$ )
Cohesivo	Blanda	1,65	5	0
Cohesivo	Media	1,7	10	0
Cohesivo	Firme	1,75	15	0

### 2.1.3 Arenas – suelo granular

En función del  $N_{SPT}$  (Número de Penetración Estándar), la tabla 18 señala la compacidad y ángulo de fricción, que definen los parámetros geotécnicos a implementar para arenas.

En una comparación entre (González de Vallejo, 2002, pág. 25), Cuadro 2.1 y (Das B. M., Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015, pág. 55), Tabla 3.1, se elabora la tabla 19, que indica el peso volumétrico y el ángulo de fricción interno del material para distintas compacidades definidas por el  $N_{SPT}$ .

**Tabla 18.** Relación de valores para los parámetros de resistencia

COMPACIDAD (Suelo Granular)	Grado de Compacidad	N (SPT)	Resistencia a la penetración estática	$\phi$
Muy suelta	< 0.2	< 4	< 20	< 30
Suelta	0.2 - 0.4	4-30	20 - 40	30 - 35
Compacta	0.4 - 0.6	10-30	40 - 120	35 - 40
Densa	0.6 - 0.8	30 - 50	120 - 200	40 - 45
Muy densa	> 0.8	> 200	> 200	> 45

*Fuente:* (INTERNATIONAL, ASTM, 1996, pág. 3)

**Tabla 19.** Comparativa entre distintos autores para definición de parámetros de suelos granular

(INTERNATIONAL, ASTM, 1996, pág. 3)			(Das B. M., Fundamentos de ingeniería geotécnica, 2015, pág. 55), <i>Tabla 3.1</i>	(González de Vallejo, 2002, pág. 27), <i>Cuadro 2.2</i>	
Número de penetración estándar, $N_{SPT}$	Consistencia	$\phi$ (°)	Tipo de suelo	$\gamma_d$ ( $kN/m^3$ )	$\gamma_d$ ( $T/m^3$ )
<4	Muy suelta	<30			<1.4
4-10	Suelta	30-35	Arena uniforme floja	14.5	1.40–1.60
10-30	Compacta	35-40			1.60-1.75
30-50	Densa	45-50	Arena uniforme densa	18	1.75–1.85
>50	Muy densa	>45			>1.85

Con la información recopilada en las tablas 18 y 19, se definen los parámetros geotécnicos para suelo granular a utilizar en los cálculos, que se indican en la tabla 20.

**Tabla 20.** Parámetros geotécnicos para arena

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Compacidad</i>	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	<i>c</i> (T/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
<i>Granular</i>	<i>Suelta</i>	2	0	30
<i>Granular</i>	<i>Compacta</i>	2,1	0	35
<i>Granular</i>	<i>Densa</i>	2,2	0	40

#### 2.1.4 Arena con arcilla – suelo granular con finos

Los valores para éste tipo de suelo, fueron definidos en conjunto con el ing. Sergio Sáenz, basado en su experiencia y bagaje profesional y académico; y en comparación con la información bibliográfica de tablas con valores representativos (Bardet, 1997) (Holtz & Kovacs, 1981), al igual que para suelo cohesivo y granular. En la tabla 21 se indican los parámetros geotécnicos para suelos granulares con finos definidos para el presente estudio.

**Tabla 21.** Parámetros geotécnicos para arenas con finos

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Consistencia</i>	$\gamma$ (T/m <sup>3</sup> )	<i>c</i> (T/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
<i>Granular con finos</i>	<i>Suelta</i>	1,85	3	20
<i>Granular con finos</i>	<i>Compacta</i>	1,9	4	25
<i>Granular con finos</i>	<i>Densa</i>	2	6	30

## 2.2 Definición de cargas

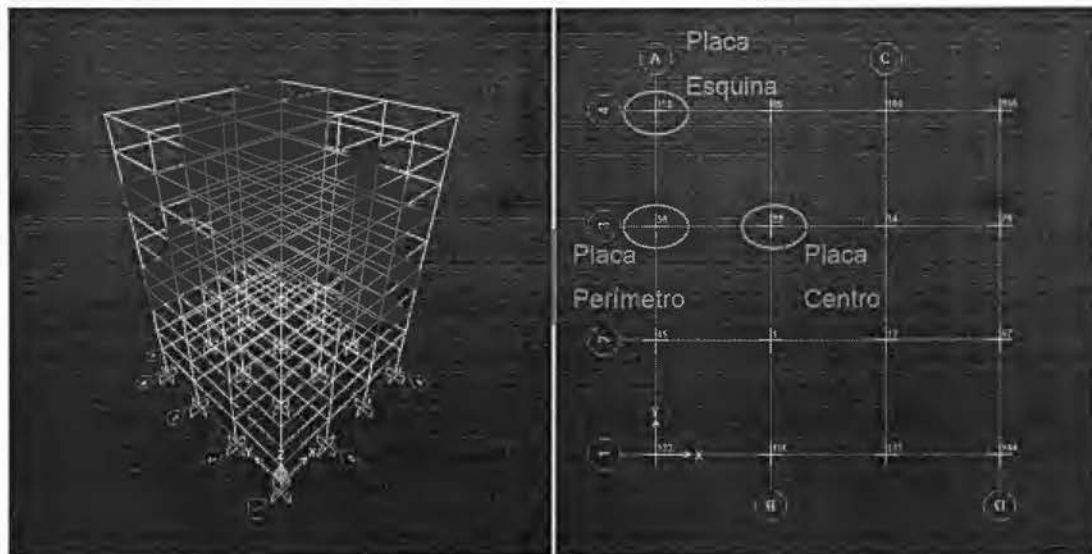
Los valores de las cargas a emplear se obtuvieron de dos fuentes, modelos y caso real.

Los modelos de edificios, fueron facilitados por el ingeniero Manuel Cruz (Cruz Torres, 2013), de los cuales se obtuvieron los datos de reacciones en las



bases para el diseño de la cimentación de placas, en las ubicaciones central, esquina y colindancia del edificio modelo, como se muestra en la figura 3. Los modelos corresponden a edificios de 6 y 10 niveles, correspondientes a las cargas de magnitud alta y muy alta respectivamente.

**Figura 3.** Modelo de edificio y ubicación de placas en estudio



El caso real corresponde a un edificio diseñado por la empresa Miguel Cruz y Asociados Ltda., Ingeniería Estructural. El edificio corresponde al requerimiento de carga media, y debido a confidencialidad de la información brindada por la empresa, el edificio se denomina para efectos del presente trabajo como Edificio Acero.

En la tabla 22 se indican los valores de cargas a emplear correspondientes a éstos modelos.

Se aclara que las reacciones se encuentran en el vínculo de apoyo, que se define en el nivel de desplante de la cimentación.

Tabla 22. Modelos de edificios y valores de reacciones en las bases.

Edificio	Ubicación carga	Reacciones en la base					
		Base	Caso de carga	Tipo de caso	Fuerza	Momento	Nivel Carga
					Tonf	Tonf-m	
E6_3_6_6_U4_S3	Centro	23	CP total	LinStatic	211.73392	0.06762	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Centro	23	CT total	LinStatic	53.01911	0.02255	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Centro	23	CSdin x	LinRespSpec	0.47851	0.00016	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Perímetro	56	CP total	LinStatic	120.29827	0.0324	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Perímetro	56	CT total	LinStatic	26.83446	0.01154	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Perímetro	56	CSdin x	LinRespSpec	17.94479	0.00015	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Esquina	155	CP total	LinStatic	71.60651	0.25978	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Esquina	155	CT total	LinStatic	14.00728	0.012	Alta
E6_3_6_6_U4_S3	Esquina	155	CSdin x	LinRespSpec	17.9185	0.0002	Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Centro	23	CP total	LinStatic	360.61545	0.11411	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Centro	23	CT total	LinStatic	84.65802	0.03457	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Centro	23	CSdin x	LinRespSpec	1.44255	0.00042	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Perímetro	56	CP total	LinStatic	222.99747	0.063	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Perímetro	56	CT total	LinStatic	45.84702	0.0186	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Perímetro	56	CSdin x	LinRespSpec	40.80331	0.00036	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Esquina	155	CP total	LinStatic	144.27656	0.33018	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Esquina	155	CT total	LinStatic	25.44136	0.01905	Muy Alta
E10_3_6_6_U4_S3	Esquina	155	CSdin x	LinRespSpec	40.73397	0.00042	Muy Alta
Acero_C	Centro	449	CP total	Combination	16.1372	1.01723	Media
Acero_C	Centro	449	CT total	Combination	7.4389	0.5634	Media
Acero_C	Centro	449	CSdin x	LinRespSpec	3.102	3.67426	Media
Acero_C	Perímetro	511	CP total	Combination	21.2482	1.64352	Media
Acero_C	Perímetro	511	CT total	Combination	10.0937	0.9141	Media
Acero_C	Perímetro	511	CSdin x	LinRespSpec	1.1818	4.22227	Media
Acero_C	Esquina	439	CP total	Combination	8.1782	0.39654	Media
Acero_C	Esquina	439	CT total	Combination	3.0352	0.20931	Media
Acero_C	Esquina	439	CSdin x	LinRespSpec	3.8936	4.24026	Media

## 2.3 Procedimiento de cálculo para cada método de diseño

### 2.3.1 Cimentaciones superficiales

En el presente apartado, se detallará el procedimiento de cálculo según el método de diseño definido para la obtención de las dimensiones de la cimentación superficial y del tipo de excentricidad, detallado en las tablas 23 a 26. En la tabla 23 se indican la definición y cálculo de parámetros requeridos para los cálculos de las cimentaciones superficiales.

**Tabla 23.** Definición y cálculo de parámetros generales

<i>General - igual para todas los métodos</i>	1	Definición de los parámetros geotécnicos	$\gamma_1$ (T/m <sup>3</sup> )
			$\gamma_2$ (T/m <sup>3</sup> )
			c (T/m <sup>2</sup> )
			$\phi$ (°)
	2	Cálculo factores de capacidad de carga	$N_q$
			$N_c$
			$N_v$
	3	Cálculo factores de corrección	$s_c$
			$s_v$
	4	Definición de un valor supuesto para el parámetro "B" - primera aproximación	B
5	Cálculo de capacidad de carga - en función de "B"	$q_u$	
6	Definición de los parámetros de la placa	$h_{placa}$ (m)	
		$\gamma_c$ (T/m <sup>3</sup> )	
		$D_r$ (m)	
		Espesor terreno sobre placa ( $D_r - h_{placa}$ )	
7	Definición de las cargas a utilizar (producto análisis SAP)	CP	
		CT	
		CS din X	
8	Cálculo de otros pesos (OW) - en función de la "B" supuesta	Peso placa	
		Peso suelo sobre placa	
9	Calculo de Carga Permante = CP (SAP) + OW	CP total	
10	Cálculo de cada una de las combinaciones de carga según la metodología y la excentricidad definida	CU (simbología CSCR)	

En las tablas 24, 25 y 26, se presentan los pasos que deberán seguirse según la condición de excentricidad.

**Tabla 24.** Procedimiento de cálculo para placa con excentricidad  $B/6 < e < B/3$

	<i>LRFD</i>	<i>ASD</i>	<i>ASD-ASCE</i>	
<b>e = B/4</b>	11	Cálculo de las combinaciones de carga factorizadas (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga sin factorizar (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga del ASCE (CU)
	12	Definición del factor de reducción ( $\phi$ ) según la combinación de carga y la relación $q_{\min}/q_{\max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max}$
	13	Cálculo de la capacidad de carga por el factor de reducción ( $\phi \cdot q_u$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )
	14	Cálculo de la excentricidad en función de la "B" supuesta (B/4)	Cálculo de la excentricidad en función de la "B" supuesta (B/4)	Cálculo de la excentricidad en función de la "B" supuesta (B/4), multiplicada por los factores de reducción para la carga de sismo, correspondientes a la combinación de carga
	15	Cálculo de "B'" ( $3 \cdot B/2 - e$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de "B'" ( $3 \cdot B/2 - e$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de "B'" ( $3 \cdot B/2 - e$ ) en función de la "B" supuesta
	16	Cálculo de $q_{\max}$ ( $2P/(B \cdot B')$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de $q_{\max}$ ( $2P/(B \cdot B')$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de $q_{\max}$ ( $2P/(B \cdot B')$ ) en función de la "B" supuesta
	17	Definición de $q_{\min} = 0$	Definición de $q_{\min} = 0$	Definición de $q_{\min} = 0$
	18	Pasar la desigualdad $q_{\max} \leq \phi \cdot q_u$ a la ecuación $q_{\max} - \phi \cdot q_n = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de "B" para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la "B" supuesta	Pasar la desigualdad $q_{\max} \leq \phi \cdot q_u$ a la ecuación $q_{\max} - \phi \cdot q_n = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de "B" para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la "B" supuesta	Pasar la desigualdad $q_{\max} \leq \phi \cdot q_u$ a la ecuación $q_{\max} - \phi \cdot q_n = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de "B" para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la "B" supuesta
	19	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW, CU y e	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW, CU y e	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW, CU y e

Tabla 25. Procedimiento de cálculo para placa con excentricidad  $e < B/6$ 

		<b>LRFD</b>	<b>ASD</b>	<b>ASD-ASCE</b>
<b>e = B/10</b>	11	Cálculo de las combinaciones de carga factorizadas (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga sin factorizar (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga del ASCE (CU)
	12	Definición del factor de reducción ( $\phi$ ) según la combinación de carga y la relación $q_{\min}/q_{\max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max}$
	13	Cálculo de la capacidad de carga por el factor de reducción ( $\phi \cdot q_u$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )
	14	Cálculo de la excentricidad en función de la "B" supuesta (B/10)	Cálculo de la excentricidad en función de la "B" supuesta (B/10)	Cálculo de la excentricidad en función de la "B" supuesta (B/4), multiplicada por los factores de reducción para la carga de sismo, correspondientes a la combinación de carga
	15	Cálculo de $q_{\min}$ ( $P/B^2(1-6e/B)$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de $q_{\min}$ ( $P/B^2(1-6e/B)$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de $q_{\min}$ ( $P/B^2(1-6e/B)$ ) en función de la "B" supuesta
	16	Cálculo de $q_{\max}$ ( $(P/B^2(1+6e/B))$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de $q_{\max}$ ( $(P/B^2(1+6e/B))$ ) en función de la "B" supuesta	Cálculo de $q_{\max}$ ( $(P/B^2(1+6e/B))$ ) en función de la "B" supuesta
	17	Pasar la desigualdad $q_{\max} \leq \phi \cdot q_u$ a la ecuación $q_{\max} - \phi \cdot q_u = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de "B" para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la "B" supuesta	Pasar la desigualdad $q_{\max} \leq \phi \cdot q_u$ a la ecuación $q_{\max} - \phi \cdot q_u = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de "B" para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la "B" supuesta	Pasar la desigualdad $q_{\max} \leq \phi \cdot q_u$ a la ecuación $q_{\max} - \phi \cdot q_u = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de "B" para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la "B" supuesta
	18	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW, CU, e, ( $q_{\min}/q_{\max}$ ) y $\phi$ , para el despeje de "B"	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW, CU, e, ( $q_{\min}/q_{\max}$ ) y $\phi$ , para el despeje de "B"	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW, CU, e, ( $q_{\min}/q_{\max}$ ) y $\phi$ , para el despeje de "B"

**Tabla 26.** Procedimiento de cálculo para placa con excentricidad  $e = 0$

		<b>LRFD</b>	<b>ASD</b>	<b>ASD-ASCE</b>
<b>e = 0</b>	11	Cálculo de las combinaciones de carga factorizadas (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga sin factorizar (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga del ASCE (CU)
	12	Definición del factor de reducción ( $\phi$ ) según la combinación de carga y la relación $q_{\min}/q_{\max} = 1$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max} = 1$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max} = 1$
	13	Cálculo de la capacidad de carga por el factor de reducción ( $\phi^*q_u$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )
	14	Se calcula el área requerida como $CU/(\phi^*q_u)$	Se calcula el área requerida como $CU/q_{adm}$	Se calcula el área requerida como $CU/q_{adm}$
	15	Se despeja "B" como raíz del área calculada	Se despeja "B" como raíz del área calculada	Se despeja "B" como raíz del área calculada
	16	Con el valor de "B" obtenido, se recalcula OW y con un proceso de reiteración se recalcula "B"	Con el valor de "B" obtenido, se recalcula OW y con un proceso de reiteración se recalcula "B"	Con el valor de "B" obtenido, se recalcula OW y con un proceso de reiteración se recalcula "B"

Las combinaciones de carga para método ASD – ASCE fueron tomadas del artículo 2.4.1 del ASCE Standard – “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (American Society of Civil Engineers, 2010, pág. 8).

### 2.3.2 Cimentaciones profundas

En el presente apartado, se detallará el procedimiento de cálculo según el método de diseño definido para la obtención del número de pilotes del grupo de pilotes para la cimentación profunda y el tipo de excentricidad, detallado en las tablas 27 a 30.

En la tabla 27 se indican la definición y cálculo de parámetros requeridos para los cálculos de las cimentaciones profundas.

**Tabla 27.** Definición y cálculo de parámetros generales

<i>General - igual para todas las metodologías y condiciones de excentricidad</i>	1	Definición de los parámetros geotécnicos	$\gamma_1$ (T/m <sup>3</sup> )
			$\gamma_2$ (T/m <sup>3</sup> )
			$c$ (T/m <sup>2</sup> )
			$\phi$ (°)
	2	Cálculo factores de capacidad de carga	$N^*_q$
	4	Definición de un valor supuesto número de pilotes (np)	np
	5	Definición de los parámetros del pilote	Diámetro
			$\gamma_c$ (T/m <sup>3</sup> )
			Longitud (m)
			Espesor terreno y placa sobre grupo de pilotes (Dr-h <sub>placa</sub> )
6	Cálculo de capacidad de carga del pilote, en función del tipo de suelo	$Q_u$	
7	Definición de las cargas a utilizar (producto análisis SAP)	CP	
		CT	
		CS din X	
8	Cálculo de otros pesos (OW) - en función del área de placa acorde al número de pilotes del grupo de pilotes	Peso placa	
		Peso suelo sobre placa	
9	Calculo de Carga Permante = CP (SAP) + OW	CP total	
10	Cálculo de cada una de las combinaciones de carga según la metodología y la excentricidad definida	CU (simbología CSCR)	

En las tablas 28, 29 y 30, se presentan los pasos que deberán seguirse según la condición de excentricidad.

**Tabla 28.** Procedimiento de cálculo para grupo de pilotes con excentricidad  $B/6 < e < B/3$

		<i>LRFD</i>	<i>ASD</i>	<i>ASD - ASCE</i>
$e = B/4$	11	Cálculo de las combinaciones de carga factorizadas (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga sin factorizar (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga del ASCE (CU)
	12	Definición del factor de reducción ( $\phi$ ) según la combinación de carga y la relación $q_{\min}/q_{\max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max}$
	13	Cálculo de la capacidad de carga por el factor de reducción ( $\phi \cdot q_u$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )
	14	Cálculo del $P_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $P_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $P_i$ máximo del grupo de pilotes
	15	Cálculo del $\phi_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $\phi_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $\phi_i$ máximo del grupo de pilotes
	16	Pasar la desigualdad $\phi_{CCCR} \leq \phi_i \text{ máx}$ a la ecuación $\phi_{CCCR} - \phi_i \text{ máx} = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de número de pilotes para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la $n_p$ supuesta	Pasar la desigualdad $\phi_{CCCR} \leq \phi_i \text{ máx}$ a la ecuación $\phi_{CCCR} - \phi_i \text{ máx} = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de número de pilotes para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la $n_p$ supuesta	Pasar la desigualdad $\phi_{CCCR} \leq \phi_i \text{ máx}$ a la ecuación $\phi_{CCCR} - \phi_i \text{ máx} = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de número de pilotes para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la $n_p$ supuesta
	17	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW y CU	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW y CU	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW y CU



**Tabla 29.** Procedimiento de cálculo para grupo de pilotes con excentricidad  $e < B/6$

		<i>LRFD</i>	<i>ASD</i>	<i>ASD - ASCE</i>
<b><math>e = B/10</math></b>	11	Cálculo de las combinaciones de carga factorizadas (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga sin factorizar (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga del ASCE (CU)
	12	Definición del factor de reducción ( $\phi$ ) según la combinación de carga y la relación $q_{min}/q_{max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{min}/q_{max}$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{min}/q_{max}$
	13	Cálculo de la capacidad de carga por el factor de reducción ( $\phi \cdot q_u$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga dividida por el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )
	14	Cálculo del $P_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $P_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $P_i$ máximo del grupo de pilotes
	15	Cálculo del $\phi_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $\phi_i$ máximo del grupo de pilotes	Cálculo del $\phi_i$ máximo del grupo de pilotes
	16	Pasar la desigualdad $\phi_{CCCR} \leq \phi_i \text{ máx}$ a la ecuación $\phi_{CCCR} - \phi_i \text{ máx} = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de número de pilotes para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la $n_p$ supuesta	Pasar la desigualdad $\phi_{CCCR} \leq \phi_i \text{ máx}$ a la ecuación $\phi_{CCCR} - \phi_i \text{ máx} = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de número de pilotes para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la $n_p$ supuesta	Pasar la desigualdad $\phi_{CCCR} \leq \phi_i \text{ máx}$ a la ecuación $\phi_{CCCR} - \phi_i \text{ máx} = 0$ , se iguala a cero y por un proceso de iteración se recalcula el valor de número de pilotes para que se cumpla la ecuación igualada a cero y sustituye a la $n_p$ supuesta
	17	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW y CU	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW y CU	Con el proceso de iteración del punto anterior, se recalculan los valores de OW y CU

**Tabla 30.** Procedimiento de cálculo para grupo de pilotes con excentricidad  $e = 0$

		<i>LRFD</i>	<i>ASD</i>	<i>ASD - ASCE</i>
$e = 0$	11	Cálculo de las combinaciones de carga factorizadas (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga sin factorizar (CU)	Cálculo de las combinaciones de carga del ASCE (CU)
	12	Definición del factor de reducción ( $\phi$ ) según la combinación de carga y la relación $q_{\min}/q_{\max} = 1$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max} = 1$	Definición del factor de seguridad (FS) según la combinación de carga (con sismo o sin sismo) y la relación $q_{\min}/q_{\max} = 1$
	13	Cálculo de la capacidad de carga del pilote por el factor de reducción ( $\phi \cdot q_u$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga del pilote dividida entre el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )	Cálculo de la $q_{adm}$ - capacidad de carga del pilote dividida entre el factor de seguridad ( $q_u/FS$ )
	14	Se calcula del número de pilotes como $CU/(\phi \cdot q_u)$	Se calcula del número de pilotes como $CU/q_{adm}$	Se calcula del número de pilotes como $CU/q_{adm}$
	16	Con el valor de $n_p$ obtenido, se recalcula OW y con un proceso de reiteración se recalcula $n_p$	Con el valor de $n_p$ obtenido, se recalcula OW y con un proceso de reiteración se recalcula $n_p$	Con el valor de $n_p$ obtenido, se recalcula OW y con un proceso de reiteración se recalcula $n_p$

Como se indica en las tablas 28 a 30, la escogencia de los valores de FS y de  $\phi$ , se realiza en función de la relación  $q_{\min}/q_{\max}$ , para lo cual cabe realizar la siguiente aclaración en pos de justificar dicho procedimiento:

- Al cargarse una placa de forma uniforme, se produce un esfuerzo de igual magnitud en toda el área de la placa, denominado  $q_{\max}$ , el cual se valora en función del  $Q_{adm}$  (método de Esfuerzos de Trabajo) o  $\phi$  veces la  $q_n$  del terreno (método de Resistencia).
- Cuando se tiene excentricidad la distribución cambia, y ésta produce en los extremos valores diferentes de magnitud, siendo  $q_{\max}$  el valor mayor de la carga y  $q_{\min}$  el valor menor. Lo que la técnica indica es que, en éste escenario, se debe hacer uso del concepto de placa equivalente, en donde se calcula el  $Q_{representativo}$ , que es equivalente al  $0.75 \cdot q_{\max}$  y utilizando ésta equivalencia aproximada, trabajar sólo en función del

$q_{\text{máx}}$ ; así se puede disminuir el FS a utilizar, o bien, aumentar o disminuir el factor de reducción  $\phi$  a emplear. De ésta forma, se iguala el  $Q_{\text{representativo}}$  en función del  $q_{\text{máx}}$  a  $\phi \cdot q_n$ , y así se puede variar el valor de  $\phi$ .

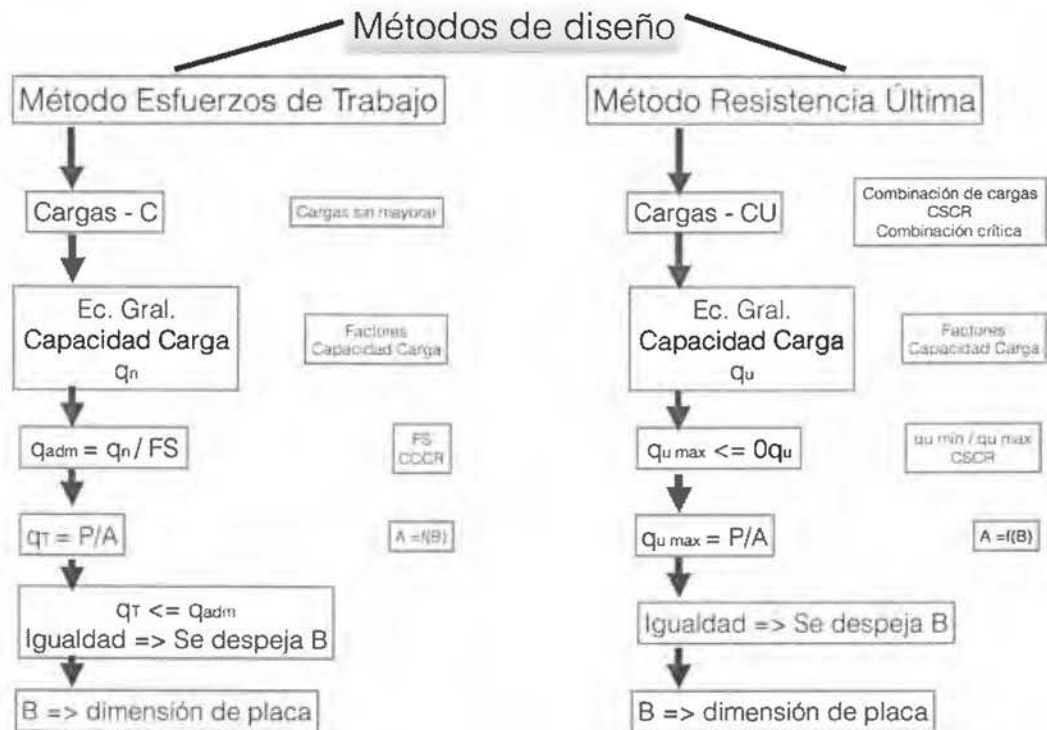
- Por lo expuesto anteriormente, dicho concepto del  $Q_{\text{representativo}}$  y placa equivalente no aplica al caso con pilotes, debido a que éstos elementos están sometidos a compresión y tracción.
- En el presente estudio, se simplifica el cálculo de la carga para pilote individual  $P_i$  definiendo el  $P_{\text{mín}}$  igual a cero (resultados negativos se igualan a cero). Se aclara que se utilizará el mismo concepto del  $Q_{\text{representativo}}$  y del área equivalente representativa debajo de pilotes, así, por tanto, se utilizará para pilotes los valores del factor de reducción establecidos en el CSCR en función de la relación  $q_{\text{mín}}/q_{\text{máx}}$ , similar a su uso en cimentación superficial tipo placa aislada.

Para los diseños por ambas metodologías y tipos de fundación, para efectos del cálculo se definió una excentricidad específica que se encuentra dentro del rango posible para las dos opciones disponibles.

### 2.3.3 Comparación entre procedimientos de métodos de diseño

En el diagrama de la figura 4, se resume el procedimiento de cálculo con el uso de los métodos de diseño indicados anteriormente para cimentaciones superficiales tipo placa aislada.

Figura 4. Comparación de procedimiento de métodos de diseño



## 2.4 Cálculo del factor de seguridad FS y factor de reducción $\phi$

### 2.4.1 Cimentaciones superficiales

En el presente apartado se definen las fórmulas utilizadas en el cálculo del factor de seguridad y factor de reducción, con la indicación de los parámetros utilizados en cada fórmula.

### 2.4.1.1 *Cálculo de FS en función del valor B obtenido del método de Resistencia*

El método de resistencia emplea el factor de reducción para disminuir la capacidad portante del terreno, y con las distintas combinaciones de carga, se despeja el valor de la dimensión de la placa (B).

El valor de la dimensión B obtenida con el método de resistencia, se emplea en la formulación del método de esfuerzos de trabajo, y la variable a despejar es el factor de seguridad. Así se define el factor de seguridad equivalente al factor de reducción empleado en el método de resistencia.

En los siguientes apartados se definen las fórmulas para el cálculo del factor de seguridad en función de la dimensión B obtenida con el método de resistencia.

#### 2.4.1.1.1 Sin excentricidad, $e = 0$

En el caso de placas sin excentricidad, se despeja el factor de seguridad del procedimiento para el método de esfuerzos de trabajo (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009), en función de la dimensión B obtenida por el método de resistencia, y se obtiene finalmente:

$$FS_{\emptyset} = \frac{q_{n \emptyset} * B_{\emptyset}^2}{CU_{FS}} \quad (\text{ecuación 6})$$

Donde:

$FS_{\emptyset}$ : factor de seguridad calculado con el método de esfuerzos de trabajo, en función del valor B obtenido con el método de resistencia última.

$q_{n\phi}$ : capacidad de carga del terreno obtenido para el cálculo con el método de resistencia última; se utiliza el valor en éste método ya que está en función del valor obtenido para la dimensión  $B_\phi$ .

$B_\phi$ : valor de dimensión B de la placa, obtenido en el cálculo con el método de resistencia última.

$CU_{FS}$ : valor de la combinación de carga obtenida para el cálculo con el método de esfuerzos de trabajo; se utiliza éste valor, dado que se utiliza dicho método para despejar el FS en función del valor obtenido de B con el método de resistencia última.

#### 2.4.1.1.2 Con excentricidad, $e < B/6$

Para el presente trabajo, el caso de  $e < B/6$  se evalúa para  $e = B/10$ , sustituyendo en el procedimiento del método de esfuerzos de trabajo para carga excéntrica (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009), y despejando el factor de seguridad se obtiene:

$$FS_\phi = \frac{q_{n\phi}}{\frac{CU_{FS}}{B_\phi^2} \left( 1 + \frac{6 \cdot \left( \frac{B_\phi}{10} \right)}{B_\phi} \right)} \quad (\text{ecuación 7})$$

#### 2.4.1.1.3 Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$

Para el presente trabajo, el caso de  $B/6 < e < B/3$  se evalúa para  $e = B/4$ , sustituyendo en el procedimiento del método de esfuerzos de trabajo para carga excéntrica (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009), se define la carga máxima como:

$$q_{\text{máx}} = \frac{2P}{3L \left( \frac{B}{2} \frac{B}{4} \right)} \quad (\text{ecuación 8})$$

Dado que las placas son cuadradas,  $L = B$ , cumpliendo con el procedimiento del método de esfuerzos de trabajo, se despeja el FS:

$$FS_{\emptyset} = \frac{q_{n\emptyset}}{\left[ \frac{2CU_{FS}}{3B_{\emptyset} \left( \frac{B_{\emptyset}}{2} \frac{B_{\emptyset}}{4} \right)} \right]} \quad (\text{ecuación 9})$$

#### **2.4.1.2 Cálculo de $\emptyset$ en función del valor $B$ obtenido del método de Esfuerzos de Trabajo**

El método de esfuerzos de trabajo emplea el factor de seguridad para disminuir la capacidad portante del terreno, y con las distintas combinaciones de carga, se despeja el valor de la dimensión de la placa ( $B$ ).

El valor de la dimensión  $B$  obtenida con el método de esfuerzos de trabajo, se emplea en la formulación del método de resistencia, y la variable a despejar es el factor de reducción. Así se define el factor de reducción equivalente al factor de seguridad empleado en el método de esfuerzos de trabajo.

En los siguientes apartados se definen las fórmulas para el cálculo del factor de reducción en función de la dimensión  $B$  obtenida con el método de esfuerzos de trabajo.

##### **2.4.1.2.1 Sin excentricidad, $e = 0$**

En el caso de placas sin excentricidad, se despeja el factor de reducción del procedimiento para el método de resistencia (Asociación Costarricense de

Geotecnia, 2009), en función de la dimensión B obtenida por el método de esfuerzos de trabajo, y se obtiene finalmente:

$$\emptyset_{FS} = \frac{CU_{\emptyset}}{q_{nFS} * B_{FS}^2} \quad (\text{ecuación 10})$$

Donde:

$\emptyset_{FS}$ : factor de reducción calculado con el método de resistencia última, en función del valor B obtenido con el método de esfuerzos de trabajo.

$q_{nFS}$ : capacidad de carga del terreno obtenido para el cálculo con el método de esfuerzos de trabajo; se utiliza el valor en éste método ya que está en función del valor obtenido para la dimensión B<sub>FS</sub>.

B<sub>FS</sub>: valor de dimensión B de la placa, obtenido en el cálculo con el método de esfuerzos de trabajo.

CU<sub>∅</sub>: valor de la combinación de carga obtenida para el cálculo con el método de resistencia última; se utiliza éste valor, dado que se utiliza dicho método para despejar el ∅ en función del valor obtenido de B con el método de esfuerzos de trabajo.

#### 2.4.1.2.2 Con excentricidad, e < B/6

Para el presente trabajo, el caso de e < B/6 se evalúa para e = B/10, sustituyendo en el procedimiento del método de resistencia para carga excéntrica (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009), y despejando el factor de reducción se obtiene:



$$\phi_{FS} = \frac{\frac{CU_{\phi}}{B_{FS}^2} \left( 1 + \frac{6e \left( \frac{B_{FS}}{10} \right)}{B_{FS}} \right)}{q_{nFS}} \quad (\text{ecuación 11})$$

#### 2.4.1.2.3 Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$

Para el presente trabajo, el caso de  $B/6 < e < B/3$  se evalúa para  $e = B/4$ , sustituyendo en el procedimiento del método de resistencia para carga excéntrica (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009), y despejando el factor de reducción se obtiene:

$$\phi_{FS} = \frac{\left[ \frac{2CU_{\phi}}{3B_{FS} \left( \frac{B_{FS}}{2} - \frac{B_{FS}}{4} \right)} \right]}{q_{nFS}} \quad (\text{ecuación 12})$$

### 2.4.2 Cimentaciones profundas

En el presente apartado se definen las fórmulas utilizadas en el cálculo del factor de seguridad y factor de reducción, con la indicación de los parámetros utilizados en cada fórmula.

#### 2.4.2.1 Cálculo de FS en función del valor de $n_p$ obtenido del método de Resistencia

El método de resistencia emplea el factor de reducción para disminuir la capacidad portante del terreno, y con las distintas combinaciones de carga, se despeja el valor de número de pilotes del grupo de pilotes ( $n_p$ ).

El valor de  $n_p$  obtenido con el método de resistencia, se emplea en la formulación del método de esfuerzos de trabajo, y la variable a despejar es el factor de seguridad. Así se define el factor de seguridad equivalente al factor de reducción empleado en el método de resistencia.

En los siguientes apartados se definen las fórmulas para el cálculo del factor de seguridad en función del valor  $n_p$  obtenido con el método de resistencia.

#### 2.4.2.1.1 Sin excentricidad, $e = 0$

En el caso de pilotes sin excentricidad, se tiene que cumplir la siguiente ecuación:

$$FS_{\emptyset} = \frac{Q_{u\ FS} * n_{p\ \emptyset}}{CU_{FS}} \quad (\text{ecuación 13})$$

Donde:

$FS_{\emptyset}$ : factor de seguridad calculado con el método de esfuerzos de trabajo, en función del valor  $n_p$  obtenido con el método de resistencia.

$Q_{u\ FS}$ : capacidad de carga del pilote.

$n_{p\ \emptyset}$ : número de pilotes del grupo, obtenido en el cálculo con el método de resistencia.

$CU_{FS}$ : valor de la combinación de carga obtenida para el cálculo con el método de esfuerzos de trabajo; se utiliza éste valor, dado que se utiliza dicho método para despejar el FS en función del valor obtenido de  $n_p$  con el método de resistencia.

#### 2.4.2.1.2 Con excentricidad, $e < B/6$

Para el presente trabajo, el caso de  $e < B/6$  se evalúa para  $e = B/10$ , sustituyendo y despejando FS se obtiene:

$$FS_{\emptyset} = \frac{Q_u FS}{\frac{CU_{FS}}{n_p \emptyset} + \left( \frac{CU_{FS} * \left(\frac{B_{\emptyset}}{10}\right) * y_i \emptyset}{\sum k_i y_i \emptyset^2} \right)} \quad (\text{ecuación 14})$$

#### 2.4.2.1.3 Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$

Para el presente trabajo, el caso de  $B/6 < e < B/3$  se evalúa para  $e = B/4$ , sustituyendo y despejando FS se obtiene finalmente:

$$FS_{\emptyset} = \frac{Q_u FS}{\frac{CU_{FS}}{n_p \emptyset} + \left( \frac{CU_{FS} * \left(\frac{B_{\emptyset}}{4}\right) * y_i \emptyset}{\sum k_i y_i \emptyset^2} \right)} \quad (\text{ecuación 15})$$

#### 2.4.2.2 *Cálculo de $\emptyset$ en función del valor B obtenido del método de Esfuerzos de Trabajo*

El método de esfuerzos de trabajo emplea el factor de seguridad para disminuir la capacidad portante del terreno, y con las distintas combinaciones de carga, se despeja el valor del número de pilotes ( $n_p$ ).

El valor de  $n_p$  obtenido con el método de esfuerzos de trabajo, se emplea en la formulación del método de resistencia, y la variable a despejar es el factor de reducción. Así se define el factor de reducción equivalente al factor de seguridad empleado en el método de esfuerzos de trabajo.

En los siguientes apartados se definen las fórmulas para el cálculo del factor de reducción en función del valor de  $n_p$  obtenido con el método de esfuerzos de trabajo.

#### 2.4.2.2.1 Sin excentricidad, $e = 0$

En el caso de placas sin excentricidad, sustituyendo y despejando  $\emptyset$  se obtiene finalmente:

$$\emptyset_{FS} = \frac{CU_{\emptyset}}{Q_{u\emptyset} * n_{pFS}} \quad (\text{ecuación 16})$$

Donde:

$\emptyset_{FS}$ : factor de reducción calculado con el método de resistencia, en función del valor  $n_p$  obtenido con el método de esfuerzos de trabajo.

$Q_{uFS}$ : capacidad de carga del pilote.

$n_{pFS}$ : número de pilotes, obtenido en el cálculo con el método de esfuerzos de trabajo.

$CU_{\emptyset}$ : valor de la combinación de carga obtenida para el cálculo con el método de resistencia; se utiliza éste valor, dado que se utiliza dicho método para despejar el  $\emptyset$  en función del valor obtenido de  $n_p$  con el método de esfuerzos de trabajo.

#### 2.4.2.2.2 Con excentricidad, $e < B/6$

Para el presente trabajo, el caso de  $e < B/6$  se evalúa para  $e = B/10$ , sustituyendo y despejando  $\emptyset$  se obtiene:

$$\emptyset_{FS} = \frac{\frac{CU_{\emptyset}}{n_p FS} + \left( \frac{CU_{\emptyset} * \left(\frac{B_{FS}}{10}\right) * y_i FS}{\sum k_i y_i FS^2} \right)}{Q_{u \emptyset}} \quad (\text{ecuación 17})$$

#### 2.4.2.2.3 Con excentricidad, $B/6 < e < B/3$

Para el presente trabajo, el caso de  $B/6 < e < B/3$  se evalúa para  $e = B/4$ , sustituyendo y despejando  $\emptyset$ , se obtiene:

$$\emptyset_{FS} = \frac{\frac{CU_{\emptyset}}{n_p FS} + \left( \frac{CU_{\emptyset} * \left(\frac{B_{FS}}{4}\right) * y_i FS}{\sum k_i y_i FS^2} \right)}{Q_{u \emptyset}} \quad (\text{ecuación 18})$$

### 2.4.3 Cálculo de variación de factor de seguridad FS y factor de reducción $\emptyset$ , y porcentajes de variación

La variación entre los valores de B para las distintas metodologías y combinaciones de carga, así como la variación de los factores de seguridad y reducción, se calculan tomando como valor de comparación o referencia, los valores obtenidos por el método LRFD.

La variación se calcula como el valor LRFD menos el valor ASD (ASCE), y se divide entre el valor LRFD.

## **2.5 Esquema de Metodología**

La metodología que se usará para la realización del presente proyecto, será del tipo *Teórica-Especulativa*, dado que el proyecto tratará el estudio, verificación, comentarios y conclusiones sobre los métodos de análisis para el diseño de cimentaciones; que se expone en libros y trabajos técnicos tal como tesis de licenciatura en ingeniería civil. Se explicará la hipótesis o cuestión básica, el cómo se desarrollará el trabajo y los instrumentos a recurrir en el estudio.

La realización de éste estudio consistirá en las fases y etapas que se resumen en el diagrama en la figura 5, y que se detallan a continuación.

### **2.5.1 FASE I – Investigación bibliográfica**

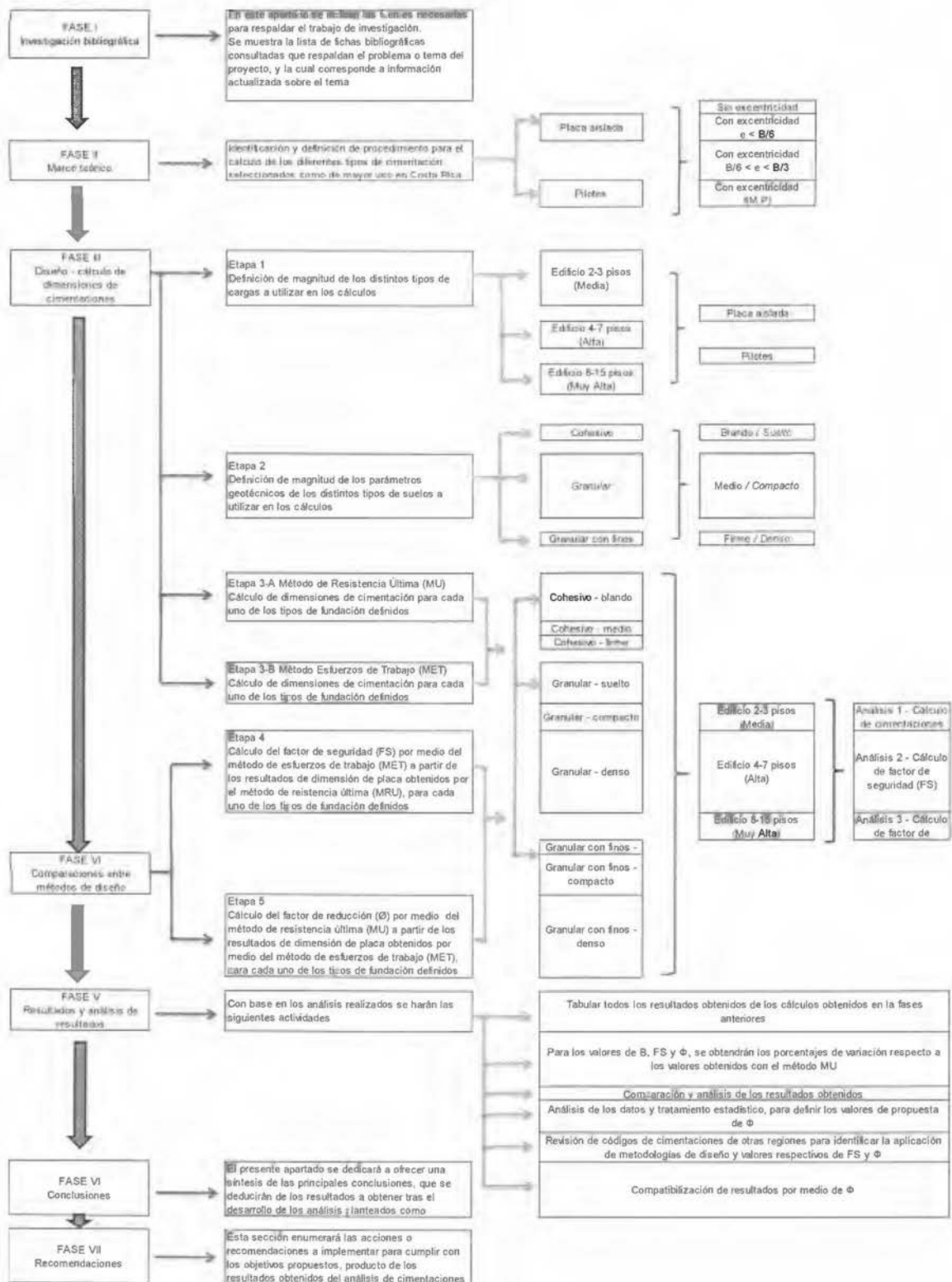
Se recopila información para la elaboración de los diseños de las cimentaciones definidas, la cual se indagará en los siguientes tipos de fuentes

- a. Libros referenciados en el apartado de bibliografía
- b. Congresos nacionales y extranjeros, en donde se hallan expuesto temas afines al enfoque del presente trabajo
- c. Búsquedas en bases de datos existentes en la red de internet, con información referente a la ingeniería de cimentaciones
- d. Documentación en bibliotecas virtuales de universidades nacionales y extranjeras

Adicionalmente, se obtiene información referente a estudios en la temática del presente trabajo, para obtener la información de estudios o normas internacionales que definen los valores de factores de reducción y compararlos con los valores normados en los códigos de Costa Rica.

La información recopilada se indica en el apartado "Estudios similares de otros países", en el presente documento.

Figura 5. Esquema metodológico



### 2.5.2 FASE II – Marco teórico

Identificar y definir los procedimientos para el cálculo de los diferentes tipos de cimentación seleccionados como de mayor uso en Costa Rica.

- a. Placa aislada sin excentricidad
- b. Placa aislada con excentricidad
  - i.  $e < B/6$
  - ii.  $B/6 < e < B/3$
  - iii.  $e = f(M,P)$
- c. Pilotes sin excentricidad
- d. Pilotes con excentricidad
  - i.  $e < B/6$
  - ii.  $B/6 < e < B/3$
  - iii.  $e = f(M,P)$

Todos los diferentes tipos de cimentación seleccionados como de mayor uso en Costa Rica, indicados anteriormente, conforman los siguientes grupos de análisis:

- i. Análisis 1 - Cálculo de cimentaciones (dimensión)
- ii. Análisis 2 - Cálculo de factor de seguridad (FS)
- iii. Análisis 3 - Cálculo de factor de reducción ( $\phi$ )

### 2.5.3 FASE III – Diseño - dimensión de las cimentaciones

Ésta fase constará de las siguientes etapas

ETAPA 1 - Definición de magnitud de los distintos tipos de cargas a utilizar en los cálculos.



- a. Edificios de 2-3 pisos (media): ésta magnitud de carga se obtiene de un caso real de edificio, el cual para el presente documento se denomina como Edificio Acero
- b. Edificios de 4-7 pisos (alta) y edificios de 8-15 pisos (muy alta): las magnitudes de carga que representan éstos edificios, se obtienen de modelos definidos en tesis de maestría de estructuras de la Universidad de Costa Rica.

Para ésta parte, se obtuvieron los modelos realizados por medio del programa SAP, se realizó la corrida en dicho programa y se tomaron los valores de las reacciones al nivel de la cimentación, para cada tipo de carga según las combinaciones de carga presentes en el CSCR. Los valores definidos corresponden la cimentación ubicada en la columna central, en el perímetro y en la esquina para cada edificio según los niveles de carga en estudio.

ETAPA 2 - Definición de magnitud de los parámetros geotécnicos a utilizar en los cálculos, para los 3 distintos tipos de suelos, en 3 diferentes grados de consistencia cada uno.

- c. Cohesivo (blando, medio y firme)
- d. Granular (suelto, compacto y denso)
- e. Granular con finos (suelto, compacto y denso)

Los valores para los parámetros geotécnicos, para los tipos de suelo y consistencias definidas para el presente trabajo, se definieron por medio de la revisión de tablas en la bibliografía geotécnica y con la experiencia del ing. Sergio Sáenz en su desempeño profesional.

ETAPA 3-A y 3-B Método de Resistencia Última (MU) y Método Esfuerzos de Trabajo (MET) - Cálculo de dimensiones de cimentación para los 2 tipos de fundación definidos

Para cada uno de los tres tipos de suelo en sus tres diferentes grados de consistencia, en combinación con cada uno de los 3 tipos de carga definidos en cada una de las tres ubicaciones en el edificio establecidas, y para cada una de las cuatro excentricidades, se calculan los 2 tipos de cimentación en estudio (Análisis 1 - Cálculo de cimentaciones).

Para realizar todos los cálculos de las dimensiones de la cimentación con placa aislada y pilotes, se elaboró una hoja de cálculo en el programa Excel, con el siguiente procedimiento:

1. Cálculo de otros pesos: inicialmente se realiza una primera aproximación asumiendo un valor de cimentación B (o número de pilotes – np), para calcular las cargas debidas al peso del terreno sobre la cimentación y el peso mismo de la placa.
2. Cálculo de CU: con los valores de las cargas para los distintos edificios (CP, CT y CS), se calculan todas las combinaciones de carga del CSCR y las definidas de ASCE
3. Cálculo de la capacidad de soporte del terreno, en función de los parámetros geotécnicos definidos para cada tipo de suelo en cada una de las consistencias definidas.
4. Por medio de función SI de Excel, se indica el factor de reducción o factor de seguridad, según corresponda para el método de diseño y a la verificación de la relación de la carga mínima y carga máxima, de acuerdo con el CSCR y CCCR.
5. Cálculo de la capacidad admisible, para ambos métodos de diseño.
6. Se asume un valor de B, el cual posteriormente se recalcula con el complemento Solver de Excel.
7. Cálculo de la excentricidad, en función de la dimensión B, según la definición para los casos establecidos.
8. Cálculo del momento

9. Cálculo de la carga máxima y de la carga mínima, según corresponda a cada caso de excentricidad (función de la distribución de carga para cada caso).
10. Se define la función con la fórmula  $q_{\text{máx}} - \phi q_u$  y  $q_{\text{máx}} - (q_u/FS)$ , según corresponda al método de diseño.
11. Por medio del complemento Solver de Excel, se calcula el valor de cimentación B (o np) en función de igualar la fórmula del punto anterior a cero.
12. Simultáneamente, se recalcula el término de otros pesos, el cual está en función de la dimensión B (o np) calculada en el punto anterior.

Todos los cálculos anteriores se realizan para las cuatro excentricidades definidas, y cada uno de éstos grupos para MU con las combinaciones de carga del CSCR y con MET las combinaciones del CSCR sin los factores de carga y las combinaciones del ASCE.

Con el uso de la aplicación de Visual Basic para Excel, se elabora un programa para realizar el cálculo de cada combinación, no de forma individual, sino para el grupo completo por hoja de cálculo con un solo botón, lo que facilita los cálculos.

#### **2.5.4 FASE IV – Comparaciones entre métodos de diseño**

Ésta fase constará de las siguientes etapas:

ETAPA 4 - Cálculo del Factor de Seguridad (FS) por medio del método de esfuerzos de trabajo (MET) a partir de los resultados de dimensión de placa obtenidos por el método de resistencia última (MRU), para cada uno de los tipos de fundación definidos

Para todos los valores de B (o np) obtenidos por MU, se calcula el factor de seguridad. Éste cálculo se lleva a cabo empleando el MET pero con el valor conocido de B (o np) y despejando el valor del FS (Análisis 2 - Cálculo de factor de seguridad (FS)).

ETAPA 5 - Cálculo del factor de reducción ( $\phi$ ) por el método de resistencia última a partir de los resultados de dimensión de placa obtenidos por medio del método de esfuerzos de trabajo (MET), para cada uno de los tipos de fundación definidos.

Para todos los valores de B (o np) obtenidos por MET, se calcula el factor de reducción. Éste cálculo se lleva a cabo empleando el MU pero con el valor conocido de B (o np) y despejando el valor de  $\phi$  (Análisis 3 - Cálculo de factor de reducción ( $\phi$ )).

### **2.5.5 FASE V – Resultados y análisis de resultados**

Posterior a la realización de los cálculos, para cada hoja de cálculo correspondiente al tipo y consistencia del suelo, con la carga por ubicación en el edificio, se elaboró una tabla para agrupar todos los resultados, y con éstos realizar los cálculos de los valores de variación entre resultados y del porcentaje de variación. Todas las tablas se agrupan en una sola hoja de cálculo para generar la base de datos de los resultados obtenidos de todos los cálculos.

Finalmente, con la hoja de datos se elabora una hoja para generación de gráficos de barra para realizar la comparación de resultados entre las metodologías y combinaciones empleadas en los cálculos, para cada tipo de suelo y consistencia; y así identificar las diferencias entre las metodologías y combinaciones de carga.

Los valores actuales del factor de reducción, se comparan con los valores indagados en normas internacionales para revisar si son similares y si se encuentran dentro del promedio de valores en otras regiones del mundo.

Con los valores del factor de reducción obtenidos a partir de los valores B (o np) producto del análisis con la metodología ASD para las combinaciones de carga del CSCR (combinaciones sin los factores de carga) y ASCE; se realiza un análisis estadístico para cada una de las combinaciones utilizadas.

El análisis se concentra en obtener el valor promedio del factor de reducción para cada combinación de carga, según las combinaciones del CSCR y del ASCE, tal como se explica a continuación para cada caso.

Con las combinaciones estáticas, 1 y 2, se toman todos los valores de  $\phi$  obtenidos con todos los tipos de excentricidad analizados.

Los valores de  $\phi$  se filtran por cada tipo de excentricidad, para así obtener el  $\phi$  representativo para cada relación de  $q_{\min}/q_{\max}$ , tal como se detalla enseguida:

1. La excentricidad B/4, que representa la excentricidad  $B/6 < e < B/3$ , genera un  $q_{\min}=0$ , lo que produce automáticamente que la relación  $q_{\min}/q_{\max}$  sea menor a 0.25. Al agrupar todos los resultados del factor de reducción obtenidos en ésta condición, se obtiene el valor propuesto de  $\phi$  para la relación  $q_{\min}/q_{\max} < 0.25$ , en la condición estática.
2. La excentricidad B/10, que representa la excentricidad  $e < B/6$ , genera un  $q_{\min}$  diferente a 0, lo que produce que la relación  $q_{\min}/q_{\max}$  sea mayor a 0.25. Al agrupar todos los resultados del factor de reducción obtenidos en ésta condición, se obtiene el valor propuesto de  $\phi$  para la relación  $q_{\min}/q_{\max} > 0.25$ , en la condición estática.

Éste mismo procedimiento de análisis, se realiza para la combinación pseudoestática 3 y su homóloga en ASCE combinación 6b, para así obtener el  $\phi$  representativo para cada relación de  $q_{\min}/q_{\max}$ .

### **2.5.6 FASE VI – Conclusiones**

El presente apartado se dedica a ofrecer una síntesis de las principales conclusiones, que se deducen de los resultados obtenidos tras el desarrollo de los análisis planteados como proyecto.

### **2.5.7 FASE VII – Recomendaciones**

Ésta sección enumera las acciones o recomendaciones a implementar para cumplir con los objetivos propuestos, producto de los resultados obtenidos del análisis de cimentaciones por los dos métodos de diseño en estudio. Con el insumo de la información obtenida, se realiza una compatibilización de resultados entre métodos por medio de la propuesta de nuevos valores del factor de reducción, los cuales brindan un importante aporte a los códigos vigentes en la reglamentación del uso de los métodos de diseño.

## III. MARCO TEÓRICO

### 3.1 Generalidades

Se denomina cimentación o infraestructura al elemento de transición entre la estructura (edificación) y el terreno en que se apoya, es decir, “al conjunto de elementos de unión de una estructura con el terreno, cuya misión es transmitir las cargas verticales y horizontales al terreno y anclarla al mismo frente a las acciones de tipo horizontal como son el viento y el sismo” (Cabañes, Cimentaciones superficiales sometidas a cargas estáticas y sísmicas - U.D. 1 Tipología de las cimentaciones superficiales, 2016, pág. 5). Su función es lograr que las fuerzas (cargas de la edificación o elementos apoyados a ésta) que se presentan en la base de la estructura se transmitan de forma adecuada al suelo sobre el que se apoya, distribuyéndolas de forma que no superen su capacidad admisible ni produzcan cargas puntuales.

Para que se cumpla lo anteriormente indicado, se debe brindar una seguridad adecuada al elemento de cimentación tanto como elemento estructural como con respecto al suelo en que se apoya, considerando hundimiento y asentamiento excesivo.

Jurado-Cabañes (2016) señala:

El diseño y proyecto de cimentaciones es un arte en el que se solapan diversas ciencias, la Geología, la Geotecnia y las Estructuras. Una parte esencial del proyecto consiste en definir de forma adecuada cuales son los estratos de suelo existentes para aceptar las cargas transmitidas por la estructura, cual es el tipo de estructura a adoptar que mejor se adapte a esa transmisión y cuál es el procedimiento de ejecución más adecuado (p. 5)

La cimentación es importante porque es el grupo de elementos que soportan a la superestructura. Hay que prestar especial atención ya que la estabilidad de la construcción depende en gran medida del tipo de terreno.

Las cimentaciones se calculan y proyectan teniendo en consideración varios factores tales como la composición y resistencia del terreno, las cargas propias del edificio y otras cargas que inciden, tales como el efecto del viento o sismo.

En Costa Rica, el Código de Cimentaciones de Costa Rica establece “los requisitos mínimos de exploración, análisis, diseño y construcción de las cimentaciones de edificios y viviendas” (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 25). Este código tiene como objetivo “procurar que las cimentaciones de las edificaciones sean proyectadas y construidas de tal manera que bajo condiciones normales de cargas no se produzcan daños que obstaculicen la operación del edificio o pongan en peligro su integridad estructural” (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 25).

Actualmente, el Código de Cimentaciones de Costa Rica permite para el diseño geotécnico de cimentaciones el uso del método último y el método de esfuerzos de trabajo, las cuales serán objeto de estudio para realizar el análisis y comparación con los tipos de cimentación seleccionados.

### **3.2 Tipos de cimentaciones**

La cimentación es el elemento que soporta una estructura, y consta de la parte estructural que transmite la carga de la superestructura y del medio soportante (suelo o roca).

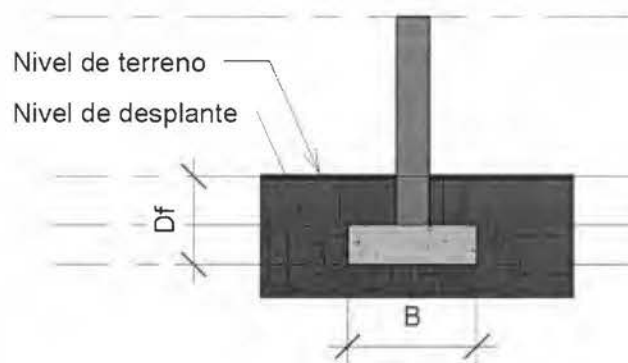
Basándose en la profundidad, se pueden clasificar en cimentaciones superficiales, semi-profundas y profundas, correspondientes a las figuras 6, 7 y



8 respectivamente; considerando la relación entre nivel de desplante ( $D_f$ ) y ancho del cimiento (B).

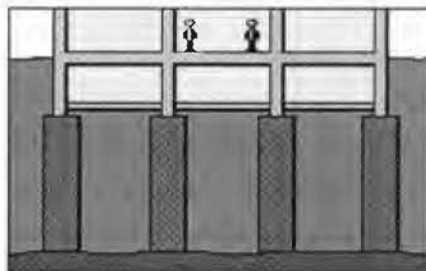
$\left(\frac{D_f}{B} \leq 4\right)$  = cimentación superficial.

**Figura 6.** Nivel de desplante y ancho de una cimentación superficial



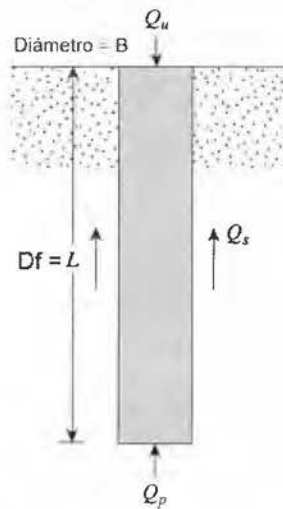
$\left(4 < \frac{D_f}{B} \leq 8\right)$  = cimentación semi-profunda o por pozos

**Figura 7.** Cimentación semiprofunda o por pozos



$\left(\frac{D_f}{B} > 8\right)$  = cimentación profunda.

**Figura 8.** Cimentación profunda mediante pilotes



Fuente: Das, B., 2011, p. 552 – Figura 11.9

### 3.2.1 Cimentaciones superficiales

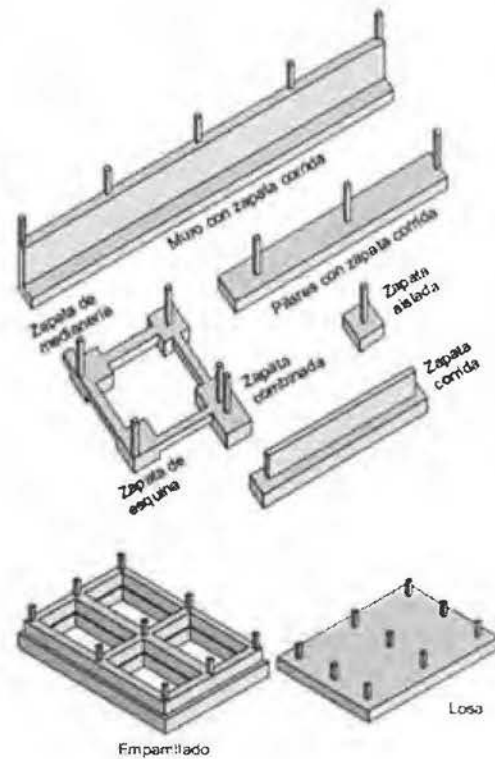
Las cimentaciones superficiales se utilizan cuando en el terreno existe a poca profundidad una capa resistente como para soportar el peso de la estructura, en condiciones estables de seguridad y con asentamientos o movimientos admisibles.

En la figura 9, se muestran los tipos de cimentaciones superficiales más frecuentes, los cuales son:

- Placas aisladas
- Pozos de cimentación
- Placas corridas
- Emparrillados de cimentación

➤ Losas de cimentación.

Figura 9. Tipos de cimentación superficial.



Fuente: González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C., 2002, pág. 396 – Figura 8.2

En el presente estudio sólo se tratará el tipo de cimentación superficial placa aislada.

### 3.2.1.1 Placas aisladas

De acuerdo a Jurado-Cabañes (2016), “las placas de cimentación se pueden clasificar atendiendo a distintos enfoques: por su forma de trabajar, por su morfología y por su forma geométrica en planta” (p. 22).

#### 3.2.1.1.1 Clasificación de las placas por su forma de trabajar

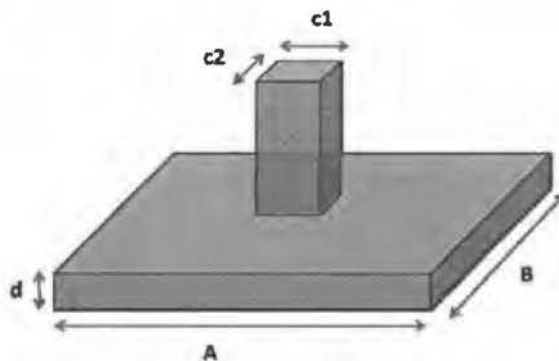
Desde la perspectiva de la forma de trabajar, se tienen los siguientes tipos de placas:

##### a. Placa aislada

Se utiliza para soportar sólo una columna, normalmente utilizado como medio de cimentación en edificios.

La placa adoptará la forma acorde a la columna, columna cuadrada - placa cuadrada, columna rectangular – placa rectangular respetando las proporciones de la primera, como se muestra en la figura 10. Éstas últimas se utilizan cuando las placas cuadradas queden muy juntas, soportando dos columnas contiguas.

**Figura 10.** Placa aislada



Las placas aisladas pueden soportar *cargas centradas*, cuando la carga vertical se aplica en el centro de gravedad (por ejemplo, en las columnas internas de un edificio) o bien, *cargas excéntricas* cuando la carga vertical no se aplica en el centro de gravedad de la placa, por ejemplo, en el caso de placas de medianería ubicadas en la periferia de un edificio o en placas ubicadas en las esquinas de un edificio, como se pueden observar en la figura 11.

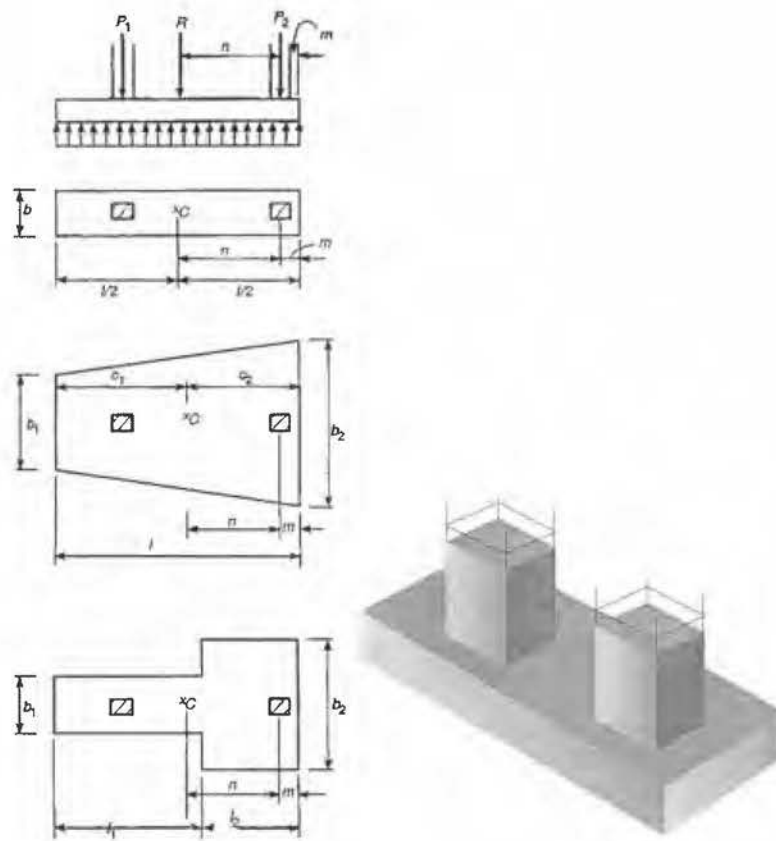
**Figura 11.** Ubicación de columna en placa aislada



#### **b. Placa combinada**

Éste tipo de placa soporta dos columnas, tal como se muestra en la figura 12. Suelen ser rectangulares u ocasionalmente trapezoidales, y se utilizan cuando el espacio para las columnas no es uniforme o el apoyo exterior de las columnas se encuentra justo con el lindero, donde no hay suficiente espacio para una placa sencilla centrada bajo la columna ya que se saldría del límite de la propiedad. La dimensión de la losa debe ser tal que su centroide coincida con el de las cargas de las columnas de manera que la presión máxima debajo de la cimentación no exceda la presión de seguridad del suelo bajo las cargas más severas.

Figura 12. Placa combinada



Su diseño se recomienda para evitar el asentamiento diferencial excesivo entre columnas contiguas debido a variación en sus cargas o por condiciones de heterogeneidad del terreno donde se colocan. Generalmente son de forma rectangular, pero también se diseñan de forma irregular como lo es la forma de trapezoide.

### c. Placa corrida bajo columnas o muros

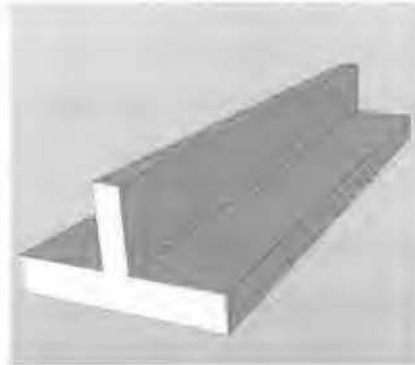
De acuerdo con las figuras 13 y 14, son cimentaciones alargadas y superficiales cuya longitud supera en mucho al ancho de la placa ( $L/B > 10$ ; siendo  $L =$  largo). Usualmente pueden soportar una sola fila de columnas o un

muro o cualquier otro tipo de faja de carga, amarrando columnas en su base en una sola dirección, útil cuando el suelo posee una baja resistencia que obliga al uso de mayores áreas para repartir la carga o en el caso de que se deban transmitir al suelo grandes cargas.

**Figura 13.** Placa corrida bajo columnas



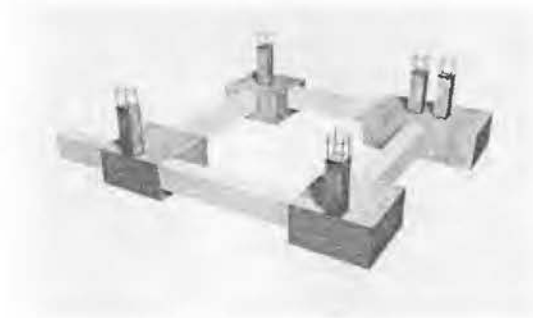
**Figura 14.** Placa corrida bajo muro



#### ***d. Placas arriostradas o atadas***

Son placas unidas por medio de vigas de amarre o de arriostramiento para aumentar la rigidez del sistema, como se observa en la figura 15; se utilizan en suelos de baja capacidad y en especial cuando se presentan acciones horizontales importantes (zonas sísmicas).

**Figura 15:** Placas arriostradas con viga de amarre

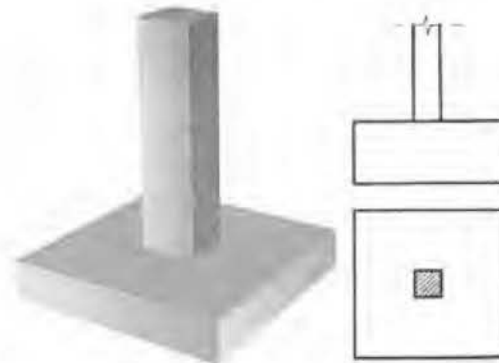


### 3.2.1.1.2 Clasificación de las placas por su forma geométrica

#### a. *Placas rectas*

Pueden ser macizas o aligeradas, tal como la figura 16.

**Figura 16.** Placa recta

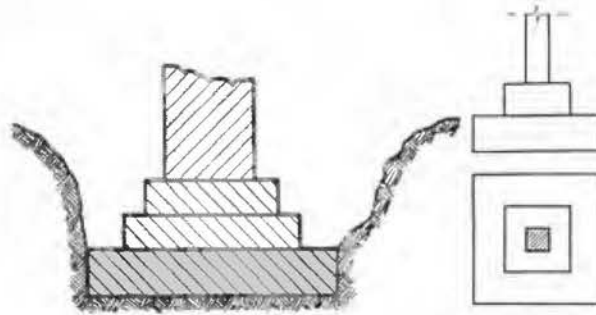




**b. Placas escalonadas**

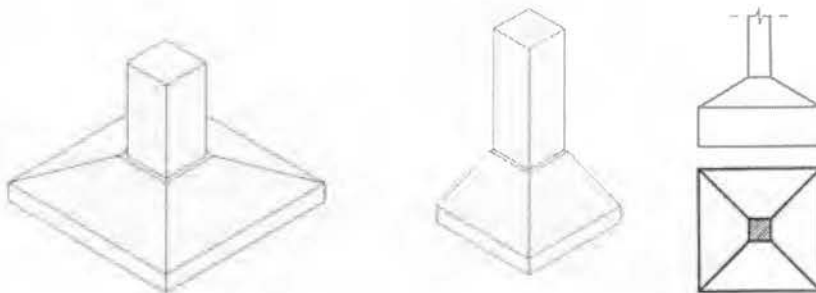
Pueden tener uno o más niveles, como se muestra en figura 17.

**Figura 17.** Placa escalonada

**c. Placa ataluzada o piramidal**

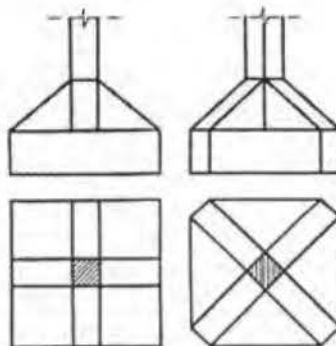
En la figura 18 se muestran éste tipo de placa.

**Figura 18.** Placa ataluzada o piramidal

**d. Aligeradas o nervadas**

Se muestran éste tipo en la figura 19.

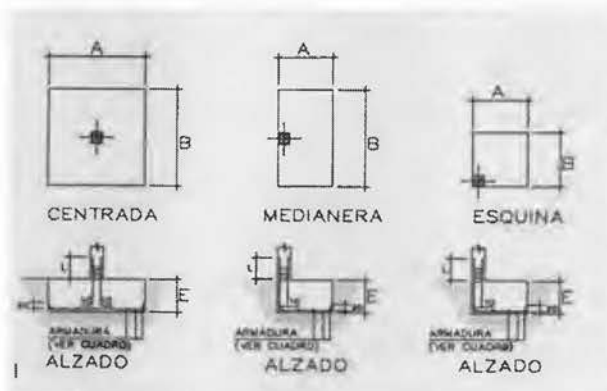
**Figura 19.** Placa nervada



### 3.2.1.1.3 Clasificación de las placas por la ubicación de la columna

Pueden ser placas centradas, medianeras o esquineras, según se observa en la figura 20.

**Figura 20.** Placas según ubicación de columna



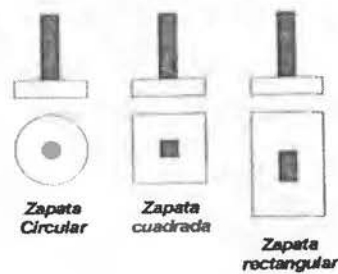
Centradas      de Medianera      de Esquina



#### 3.2.1.1.4 Clasificación de las placas por la forma geométrica en planta

Éstas pueden ser rectangulares, cuadradas, circulares, anulares o poligonales (hexagonales, ortogonales, etc.), como muestra la figura 21.

**Figura 21.** Tipos de placas según su forma en planta

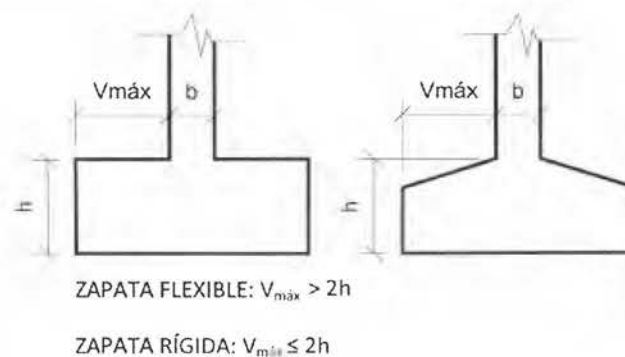


#### 3.2.1.1.5 Clasificación de las placas desde el punto de vista estructural

La figura 22 muestra las placas que estructuralmente se pueden definir como:

- Placas rígidas:** aquellas cuyo vuelo o ala ( $V_{\text{máx}}$ ) en la dirección principal de mayor dimensión es menor que dos veces su canto ( $h$ )
- Placas flexibles:** aquellas cuyo vuelo o ala ( $V_{\text{máx}}$ ) en la dirección principal de mayor dimensión es mayor que dos veces su canto ( $h$ )

**Figura 22.** Placas rígidas y flexibles



### 3.2.2 Cimentaciones profundas

Conforme a la Asociación Costarricense de Geotecnia (2009)

*...una cimentación profunda es un elemento que transmite la carga de la estructura hacia estratos profundos. Esta transferencia de la carga puede realizarse por fricción entre el fuste del pilote y el suelo o roca que lo rodea, en cuyo caso se cataloga al pilote como de fricción o flotante, o la carga puede transmitirse directamente a la punta, en cuyo caso se habla de un pilote de punta.*

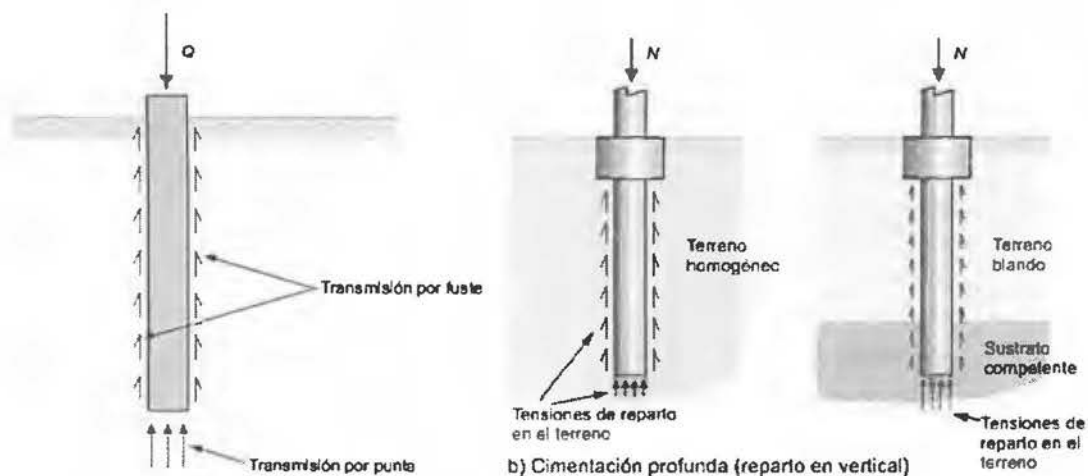
*Normalmente la carga es transferida por medio de una combinación de los efectos de fricción y de punta, aunque la mayoría de las veces trabajan básicamente por fricción, (...) dependerá de factores tales como las condiciones del suelo (perfil), las características y tamaño del pilote y el nivel de la carga aplicada.*

*Usualmente se utiliza una cimentación profunda cuando los esfuerzos inducidos en el terreno por las cargas aplicadas son mayores que la capacidad de soporte de las capas superficiales o cuando los asentamientos potenciales de una cimentación superficial excedan los valores permisibles para el tipo de estructura considerado” (pág. 89)*

Los tipos de cimentación profunda son micropilotes (diámetro 0,10-0,20m), pilotes (diámetro 0,25-0,60m) y pilas o pilares (normalmente diámetro 0,60-2,0m, aunque pueden ser mayores).

En este trabajo, solo se analizan los pilotes, como muestra la figura 23.

Figura 23. Esquema general de un pilote



Fuente: González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C., 2002, pág. 394 y 413 – Figura 8.1 y 8.26

Las condiciones en que se requieren puede ser variadas:

- Cuando uno o más estratos son compresibles y demasiado débiles para soportar la carga transmitida por la superestructura.
- Cuando se someten a fuerzas horizontales las cimentaciones con pilotes resisten por flexión, mientras soportan la carga vertical transmitida por la superestructura.
- Cuando se presentan suelos expansivos y colapsables, los pilotes se extienden más allá de la zona activa en donde ocurre la expansión o contracción.
- Las cimentaciones de algunas estructuras, como torres de transmisión, plataformas fuera de la costa y losas de sótanos debajo del nivel freático, están sometidas a fuerzas de levantamiento, los pilotes se usan para resistir éstas.

- Los estribos y las pilas de puentes suelen construirse sobre cimentaciones de pilotes para evitar la pérdida de capacidad de carga que una cimentación superficial podría sufrir debido a la erosión del suelo en la superficie del terreno.

### **3.2.2.1 Tipos de pilotes**

Pueden clasificarse dependiendo de:

- i. Tipo de material.
- ii. Según el mecanismo de transferencia de carga.
- iii. Según la naturaleza de su colocación.

#### **3.2.2.1.1 Tipos de pilotes según el material de construcción**

Se tienen de distintos materiales:

- i. Pilotes de acero.
- ii. Pilotes prefabricados de concreto.
- iii. Pilotes de concreto colados in situ.
- iv. Pilotes de concreto colados in situ con ademe.
- v. Pilotes de madera.
- vi. Pilotes compuestos.

#### **3.2.2.1.2 Tipos de pilotes según el mecanismo de transferencia de carga**

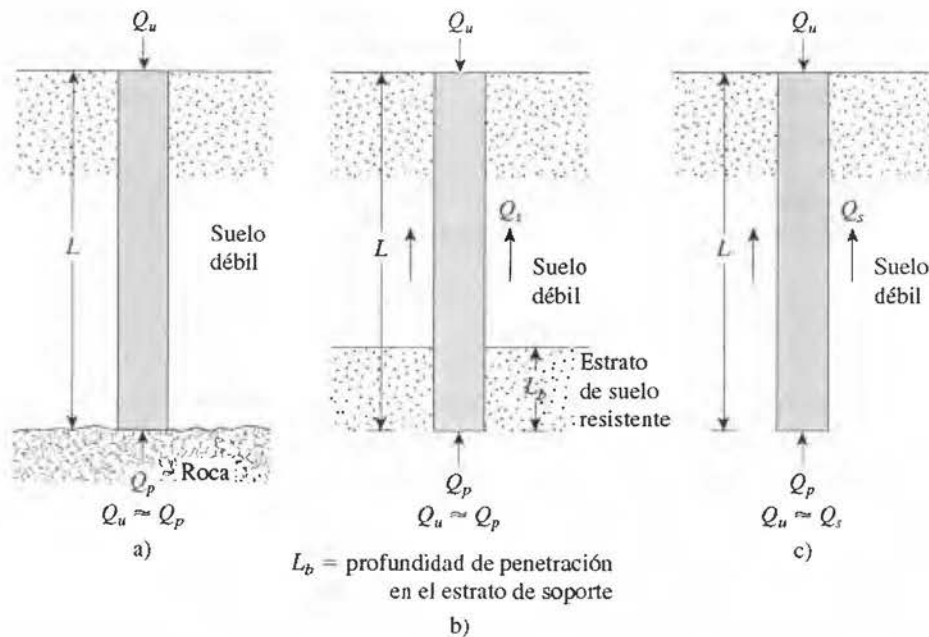
##### **Pilotes de carga de punta**

En presencia de un lecho de roca o de un material rocoso en un emplazamiento dentro de una profundidad razonable, los pilotes se pueden prolongar hasta la superficie de la roca.

En este caso, la capacidad última de los pilotes depende completamente de la capacidad de soporte de carga del material subyacente; entonces son denominados ***pilotes de carga de punta***.

Si en vez de un lecho de roca, se encuentra un estrato muy compacto y duro a una profundidad razonable, los pilotes se pueden prolongar algunos metros dentro del estrato duro. La figura 24 ejemplifica éstos casos.

**Figura 24.** Pilotes de carga de punta (a y b) y pilotes por fricción (c)



**Fuente:** (Das B. M., Fundamentos de ingeniería de cimentaciones, 2012, pág. 547),  
Figura 11.6

La carga última del pilote se puede expresar como:

$$Q_{ult} = Q_{punta} + Q_{fricción} \quad (\text{ecuación 19})$$

$Q_{punta}$ : carga soportada en la punta del pilote

$Q_{\text{fricción}}$ : carga soportada por la fricción superficial desarrollada en los lados del pilote (causada por la resistencia cortante entre el suelo y el pilote)

Si  $Q_f$  muy pequeña:

$$Q_{\text{ult}} = Q_{\text{punta}} \quad (\text{ecuación 20})$$

### **Pilotes de fricción**

Cuando no se encuentra un estrato de roca o de un material rocoso a una profundidad razonable en un emplazamiento, los pilotes de carga de punta resultan muy largos y antieconómicos.

En este tipo de subsuelo, los pilotes se hincan a través del material más suave hasta las profundidades especificadas.

Dado que el valor de  $Q_p$  es relativamente pequeño, entonces:

$$Q_{\text{ult}} = Q_{\text{fricción}} \quad (\text{ecuación 21})$$

La mayoría de su resistencia se deriva de la fricción superficial. Sin embargo, el término pilote de fricción, aunque se utiliza con frecuencia en la bibliografía técnica, es un término inapropiado: en suelos arcillosos, la resistencia a la carga aplicada también se ocasiona por adhesión.

La longitud de los pilotes de fricción depende de la resistencia cortante del suelo, de la carga aplicada y del tamaño del pilote.



### **Pilotes de compactación**

Los pilotes se hincan en suelos granulares para lograr una compactación adecuada del suelo cerca de la superficie del terreno. Estos pilotes se denominan pilotes de compactación.

La longitud de los pilotes de compactación depende de factores como

- la densidad relativa del suelo antes de la compactación,
- la densidad relativa deseada del suelo después de la compactación
- la profundidad de compactación requerida. Estos pilotes por lo general son cortos

Sin embargo, se necesitan realizar algunas pruebas de campo para determinar una longitud razonable.

#### 3.2.2.1.3 Tipos de pilotes según su colocación

- Pilotes con desplazamiento
  - Los pilotes hincados son pilotes con desplazamiento, debido a que mueven lateralmente parte del suelo; de aquí que existe una tendencia para la densificación del suelo que los rodea.
  - Los pilotes de concreto y los pilotes de tubo de extremo cerrado son pilotes de alto desplazamiento.
  - Sin embargo, los pilotes H de acero desplazan menos suelo lateralmente durante su hincado, por lo que son pilotes de bajo desplazamiento.
- Pilotes sin desplazamiento
  - Los pilotes perforados son pilotes sin desplazamiento ya que su colocación ocasiona muy poco cambio en el estado de esfuerzo en el suelo

### 3.3 Metodologías de diseño de cimentaciones

#### 3.3.1 Método de diseño de resistencia

El uso de éste método considera los valores de carga permanente (CP), carga temporal (CT), carga de sismo (CS) y carga por empuje (CE) indicadas en el apartado 6.1 del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, págs. 6/1-6/2); según indica la Asociación Costarricense de Geotecnia (2009), incluye:

...el peso propio de los elementos de la cimentación, las descargas por excavación, los pesos y los empujes de los rellenos, los eventuales empujes laterales del terreno y fricción negativa sobre los pilotes, las presiones de hinchamiento en suelos expansivos (si no se adoptan disposiciones de diseño para evitarlas), la aceleración de la masa deslizante durante el sismo, la presión del agua y cualquier otra acción que se genere sobre la cimentación o en su vecindad... se debe considerar las inclinaciones y excentricidades de las cargas con respecto al centro de rigidez del sistema de cimentación... (págs. 44-45).

Con éstos valores se calcula la carga última de diseño (CU) por medio de cuatro combinaciones de carga, definidas en la sección 6.2 del CSCR (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, pág. 6/3).

$$CU = 1,4 CP \quad (\text{ecuación 22})$$

$$CU = 1,2 CP + 1,6 fR CT + 1,6 CE \quad (\text{ecuación 23})$$

$$CU = 1,05 CP + f1 fR CT \pm CS + CE \quad (\text{ecuación 24})$$

$$CU = 0,95 CP \pm CS + CE \quad (\text{ecuación 25})$$

El factor  $f_1$  considera la probabilidad de ocupación plena de carga temporal a la hora del sismo; para el presente estudio se asumirá una alta probabilidad, por tanto se tiene que  $f_1 = 1$ , según (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, pág. 6/3).

La variable  $f_R$  es el factor de reducción de carga temporal según el artículo 6.3 del CSCR (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, pág. 6/4), el cual no se considerará para los cálculos en el presente trabajo, esto por cuanto dicha reducción es permitida pero no obligatoria.

En el presente trabajo, todas las combinaciones de carga serán consideradas para realizar la comparación de los resultados entre el método último y el método de esfuerzos de trabajo.

Para la determinación de la capacidad de soporte para un sistema de cimentación convencional superficial pueden utilizarse los factores de reducción para la capacidad soportante nominal propuestos en el CSCR (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, pág. 13/2). Ésta metodología indica que para evitar una falla de la cimentación provocada por el desplazamiento del suelo debajo de ella hacia abajo y hacia afuera, se debe limitar el esfuerzo debajo de ésta inducido por las condiciones de carga; para soportar las cargas últimas y sus combinaciones, el suelo debe satisfacer la siguiente relación, según ecuación 13-1 en CSCR (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, pág. 13/2):

$$q_{umax} \leq \phi q_n \quad (\text{ecuación 26})$$

Dónde:

$q_{u\text{máx}}$  = esfuerzo máximo transmitido al suelo por la cimentación con las cargas últimas.

$q_n$  = capacidad soportante nominal del suelo, depende de los parámetros en el sitio de cimentación, forma de la cimentación, profundidad, sobrecarga, nivel freático y tipo de suelo.

$\phi$  = factor de reducción para la capacidad soportante del suelo.

En la tabla 31, según el CSCR vigente, se definen los factores de reducción  $\phi$ :

**Tabla 31:** Factores de reducción  $\phi$  para la capacidad soportante de los suelos, según CSCR 2002 y 2010

	<i>Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2003, p. 13/2</i>	<i>Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, p. 13/2</i>
<b>Combinación 1 y 2</b>	$\phi$	$\phi$
$q_{u\text{mín}}/q_{u\text{máx}} > 0,25$	0,5	0,45
$q_{u\text{mín}}/q_{u\text{máx}} < 0,25$	0,6	0,6
<b>Combinación 3 y 4</b>	$\phi$	$\phi$
$q_{u\text{mín}}/q_{u\text{máx}} > 0,25$	0,67	0,65
$q_{u\text{mín}}/q_{u\text{máx}} < 0,25$	0,83	0,85

*Fuente:* Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica

Dónde:

$q_{u\text{máx}} / q_{u\text{mín}}$  = presión última máxima / presión última mínima en el suelo.

En el CCCR vigente, la tabla de factores de reducción  $\phi$  está basada en el CSCR 2002, los cuales varían sus valores respecto al actual y vigente CSCR 2010.

Es necesario por lo tanto estandarizar estas tablas para que ambos códigos brinden las mismas recomendaciones.

En el caso de cimentaciones profundas, el CCCR recomienda utilizar los valores de factor de reducción, que se indican en la tabla 32.

**Tabla 32.** Factores de reducción  $\phi$  para el cálculo de la capacidad admisible de los pilotes (Modificado de US Army Corps of Engineers)

<i>Método para determinar capacidad</i>	<i>Condición de carga</i>	<i>Factor de reducción <math>\phi</math></i>	
		<i>Compresión</i>	<i>Tensión</i>
Teórica o empírica verificada con analizador de hinca	Usual	0.60	0.45
	Inusual	0.95	0.60
	Extrema	0.85	0.80

*Fuente:* Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, p. 102

Sin embargo, en el presente trabajo, se toman los valores indicados en la Tabla 31: Factores de reducción  $\phi$  para la capacidad soportante de los suelos, según CSCR 2002 y 2010.

Se debe realizar la siguiente verificación (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 109)

$$P_i \leq \varepsilon \phi P_n \quad (\text{ecuación 27})$$

Donde:

Pi: carga vertical que recibe cada pilote

$\varepsilon$ : eficiencia del grupo de pilotes

$P_n$ : carga última del pilote

### 3.3.2 Método de diseño por esfuerzos de trabajo

El CCCR en vigencia permite el uso del método de esfuerzos de trabajo para calcular la capacidad de soporte.

Determinadas las cargas de diseño se calcula la capacidad de soporte admisible, para lo cual "se define el concepto de Factor de Seguridad (FS) como la relación entre la capacidad soportante última de la cimentación ( $q_{ult}$ ) y el esfuerzo máximo de trabajo o admisible ( $q_{adm}$ )" (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 46)

$$q_{um\acute{a}x} \leq \frac{q_n}{FS} \quad (\text{ecuación 28})$$

Donde:

$q_{um\acute{a}x}$ : carga máxima transmitida por la superestructura al suelo

$q_n$ : carga última del pilote

FS: factor de seguridad

$$q_{um\acute{a}x} \leq q_{adm} \quad (\text{ecuación 29})$$

Donde:

$q_{adm}$ : carga admisible

Igualando las ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$FS = \frac{q_n}{q_{adm}} \quad (\text{ecuación 30})$$

La Asociación Costarricense de Geotecnia (2009) define:

Como regla general deberá aplicarse un factor de seguridad de 3,0 si el terreno es de tipo normal y si sus propiedades se han investigado en forma correcta... Este factor de seguridad no debe ser inferior a 2,0 aunque se conozcan las cargas con un grado de precisión elevado y se conozcan excepcionalmente bien las propiedades del suelo. (pág. 46)

En la tabla 33 se indican los factores de seguridad para capacidad soportante según el cuadro 3.2 del CCCR.

**Tabla 33:** Factores de seguridad para capacidad soportante

<i>Condición de carga</i>	<i>Factor de Seguridad Tradicional</i>
Estática	3,0
Estática + Dinámica	2,0

**Fuente:** Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009

Se realiza la aclaración en éste punto, que la condición "Estática + Dinámica", considera la carga de sismo tal cual, sin que este afectada por factores de minoración; diferente a la condición en el método de resistencia en el

cual la condición de carga dinámica considera la carga de sismo proveniente de nuestros espectros de respuesta.

“Para condiciones de carga excéntrica y en términos de presiones máximas y mínimas, pueden utilizarse los valores del factor de seguridad...” (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 46), indicados en la tabla 34:

**Tabla 34:** Factores de seguridad para cargas excéntricas

<i>Condición de carga</i>	<i>Relación</i>	<i>Factor de Seguridad</i>
Estática	$\frac{q_{min}}{q_{max}} \geq 0,25$	3,0
	$\frac{q_{min}}{q_{max}} < 0,25$	2,5
Estática + Dinámica	$\frac{q_{min}}{q_{max}} \geq 0,25$	2,0
	$\frac{q_{min}}{q_{max}} < 0,25$	1,6

*Fuente:* Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, p. 47

En el caso se cimentaciones profundas, el CCCR recomienda utilizar los valores de factor de seguridad que se indican en la tabla 35.

**Tabla 35.** Factores de seguridad para el cálculo de la capacidad admisible de los pilotes (Modificado de US Army Corps of Engineers)

<i>Método para determinar capacidad</i>	<i>Condición de carga</i>	<i>Factor mínimo de seguridad</i>	
		<i>Compresión</i>	<i>Tensión</i>
Teórica o empírica verificada con analizador de hinca	Usual	2.5	3
	Inusual	1.9	2.25
	Extrema	1.4	1.70

*Fuente:* Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, p. 102



En el presente trabajo, se utilizan los valores indicados en la tabla 34.

Se debe realizar la siguiente verificación (Asociación Costarricense de Geotecnia, 2009, pág. 109)

$$P_i = \varepsilon \frac{q_n}{FS} \quad (\text{ecuación 31})$$

Donde

$\varepsilon$ : eficiencia del grupo de pilotes

Los valores de factor de reducción y factor de seguridad, se toman de la tabla 31 y tabla 34 respectivamente.

## **IV. MODELOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente apartado, se presentan los resultados obtenidos de los cálculos de cimentaciones superficiales y profundas realizados, y un análisis de su comportamiento en función de la comparación entre resultados.

En los gráficos 1 al 39, se utilizó la siguiente nomenclatura:

- SC: suelo cohesivo
- SG: suelo granular
- SGC: suelo granular-cohesivo
- S: consistencia suelta – metodología LRFD-CSCR
- C: consistencia compacta – metodología LRFD-CSCR
- D: consistencia densa – metodología LRFD-CSCR
- S-ASD: consistencia suelta – metodología ASD-CSCR
- C-ASD: consistencia compacta – metodología ASD-CSCR
- D-ASD: consistencia densa – metodología ASD-CSCR
- S-ASCE: consistencia suelta – metodología ASD-ASCE
- C-ASCE: consistencia compacta – metodología ASD-ASCE
- D-ASCE: consistencia densa – metodología ASD-ASCE

### **4.1 Cimentaciones superficiales**

Con los datos obtenidos de dimensión B para la cimentación superficial tipo placa aislada, se elabora un gráfico para comparar los resultados entre los tres tipos de suelo y para cada uno de los métodos de diseño en las tres diferentes combinaciones de carga.

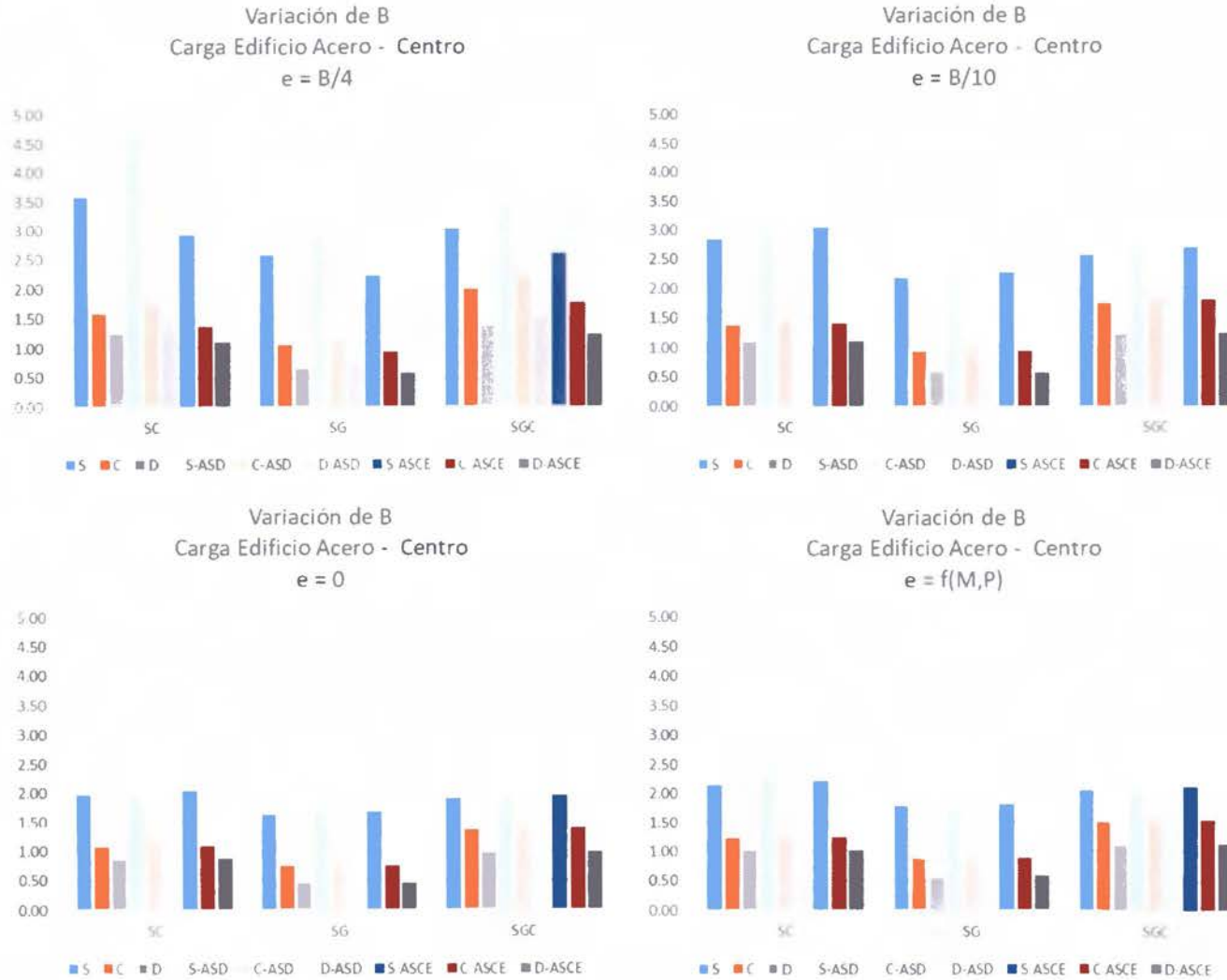
#### 4.1.1 Variación en la dimensión B

En los gráficos 1, 2 y 3, se revisan los resultados de la dimensión B según la excentricidad para todos los casos de carga, de las distintas cargas para el caso de la columna ubicada en el centro del edificio.

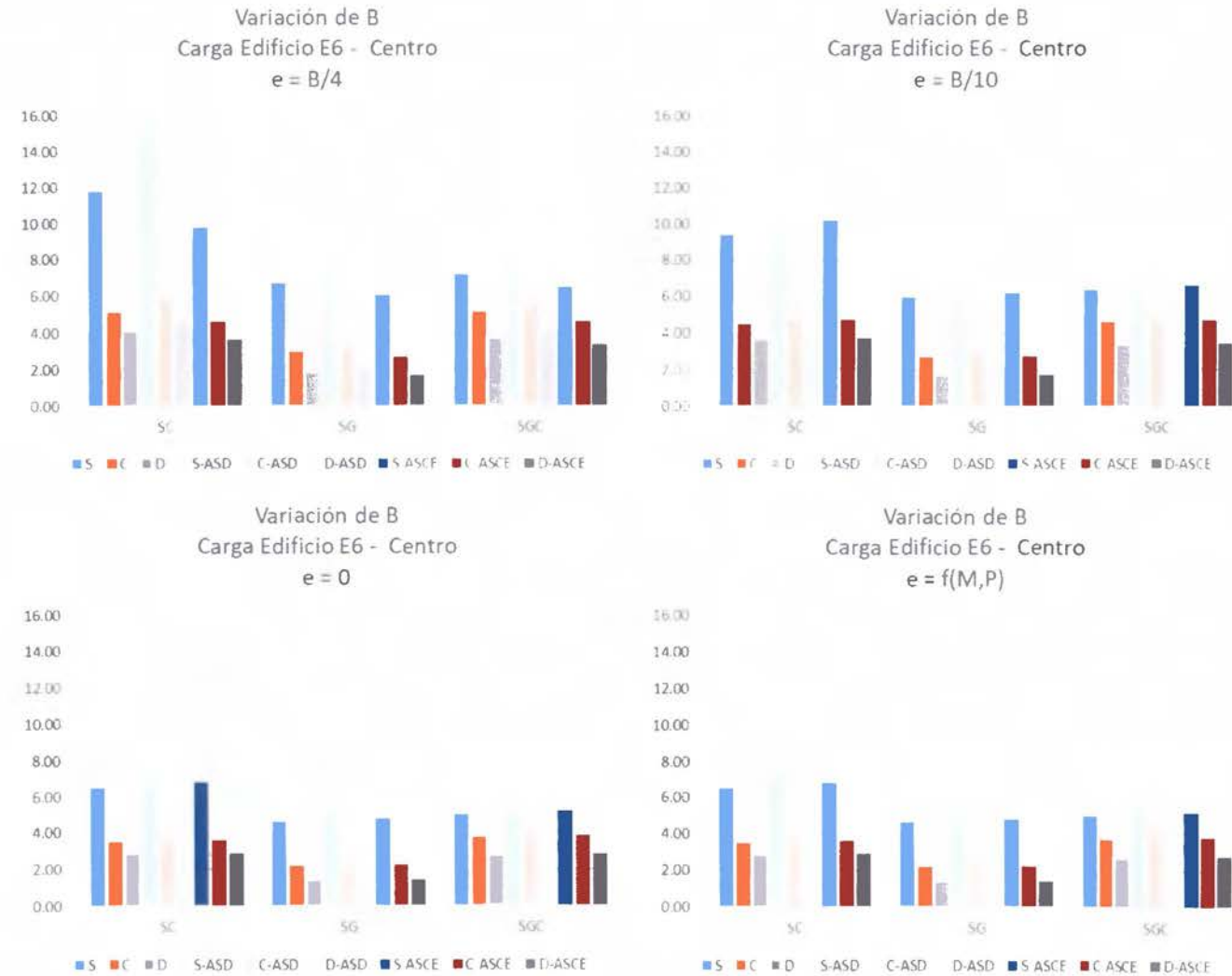
De los gráficos 1, 2 y 3 se concluye que:

- a. Para cada grupo de suelos, se produce una disminución en la dimensión B con el método LRFD en cualquier tipo de combinación de cargas en todas las consistencias de suelo y excentricidades estudiadas.
- b. Para excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), el método ASD con combinaciones del CSCR, produce las mayores dimensiones respecto a los obtenidos por los otros métodos, en cada uno de los tipos de suelo, con un máximo en suelo cohesivo. Para las demás excentricidades, la dimensión B es semejante entre los métodos, en cada tipo de suelo.
- c. Para suelo cohesivo, se obtienen las dimensiones más altas, en tanto que el resto de los valores son similares (no hay tanta diferencia); excepto en el gráfico 1 en las excentricidades  $e=0$  y  $e=f(M,P)$ , en donde los valores son más similares en los grupos de SC y SGC.
- d. Las metodologías ASD son las que proporcionan las dimensiones más altas, en tanto que LRFD produce las menores dimensiones.
- e. En los gráficos 1, 2 y 3, se observa que en los primeros tres datos correspondientes al método LRFD, para la consistencia suelta se produce la mayor dimensión de la cimentación. En la consistencia compacta la dimensión disminuye. Finalmente, en la consistencia densa de mayor competencia, la dimensión de la cimentación es la menor. Dicho comportamiento de disminución de la dimensión de la cimentación

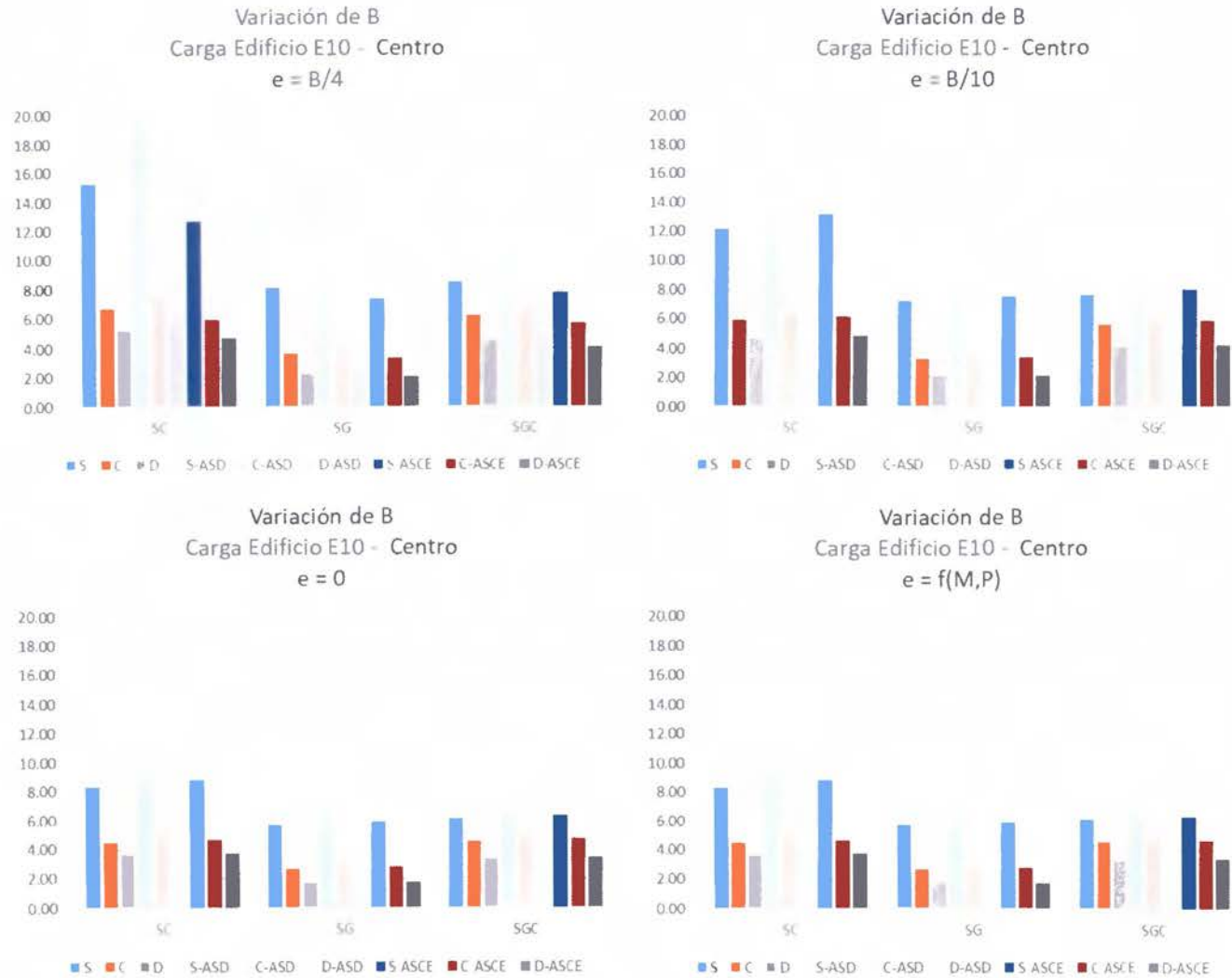
**Gráfico 1. Variación de la dimensión B - Carga Media**



**Gráfico 2. Variación de la dimensión B - Carga Alta**



**Gráfico 3. Variación de la dimensión B - Carga Muy Alta**



en función del mejoramiento de la consistencia del terreno hacia mayor densidad se mantiene para los otros dos grupos de datos obtenidos por las combinaciones ASD y ASCE; y en los otros dos tipos de suelo.

- f. Para los tres tipos de cargas, el caso crítico se presenta en la combinación de suelo cohesivo con consistencia blanda y la mayor excentricidad ( $B/4$ ), en donde se encuentra la mayor diferencia en el valor de la dimensión B en el método ASD del código y del ASCE respecto al valor obtenido por medio de LRFD. Éste hecho produce los mayores porcentajes de variación, tal como se muestra en la siguiente sección.

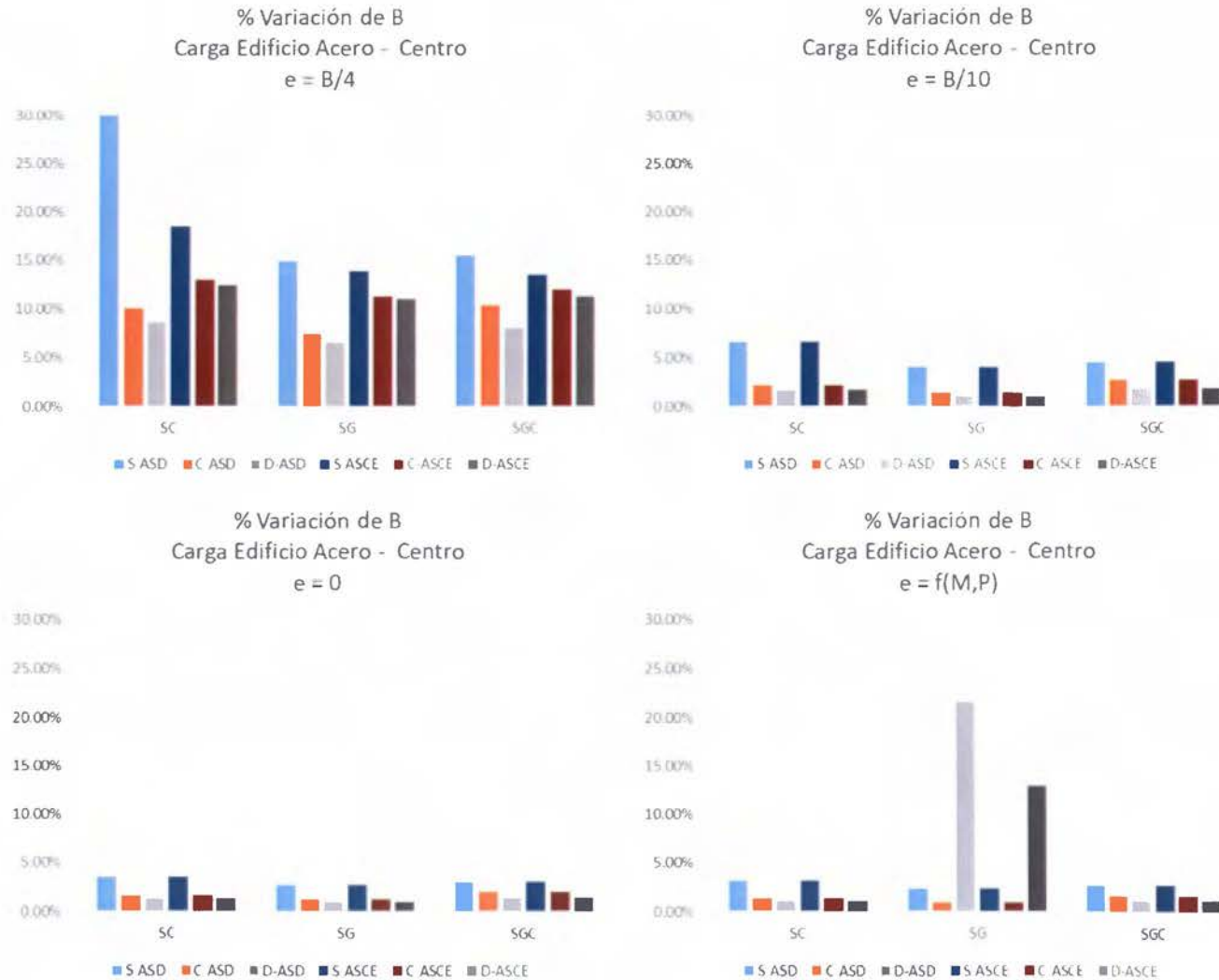
#### **4.1.2 Variación en porcentaje de la dimensión B**

En los gráficos 4, 5 y 6 se revisa la variación en porcentaje de la dimensión B obtenida con el método ASD en las combinaciones del CSCR y ASCE respecto a la dimensión B obtenida con el método LRFD; según la excentricidad para cada nivel de carga (en términos de porcentaje), en el caso de la columna ubicada en el centro del edificio.

De los gráficos 4, 5 y 6, se observa lo siguiente:

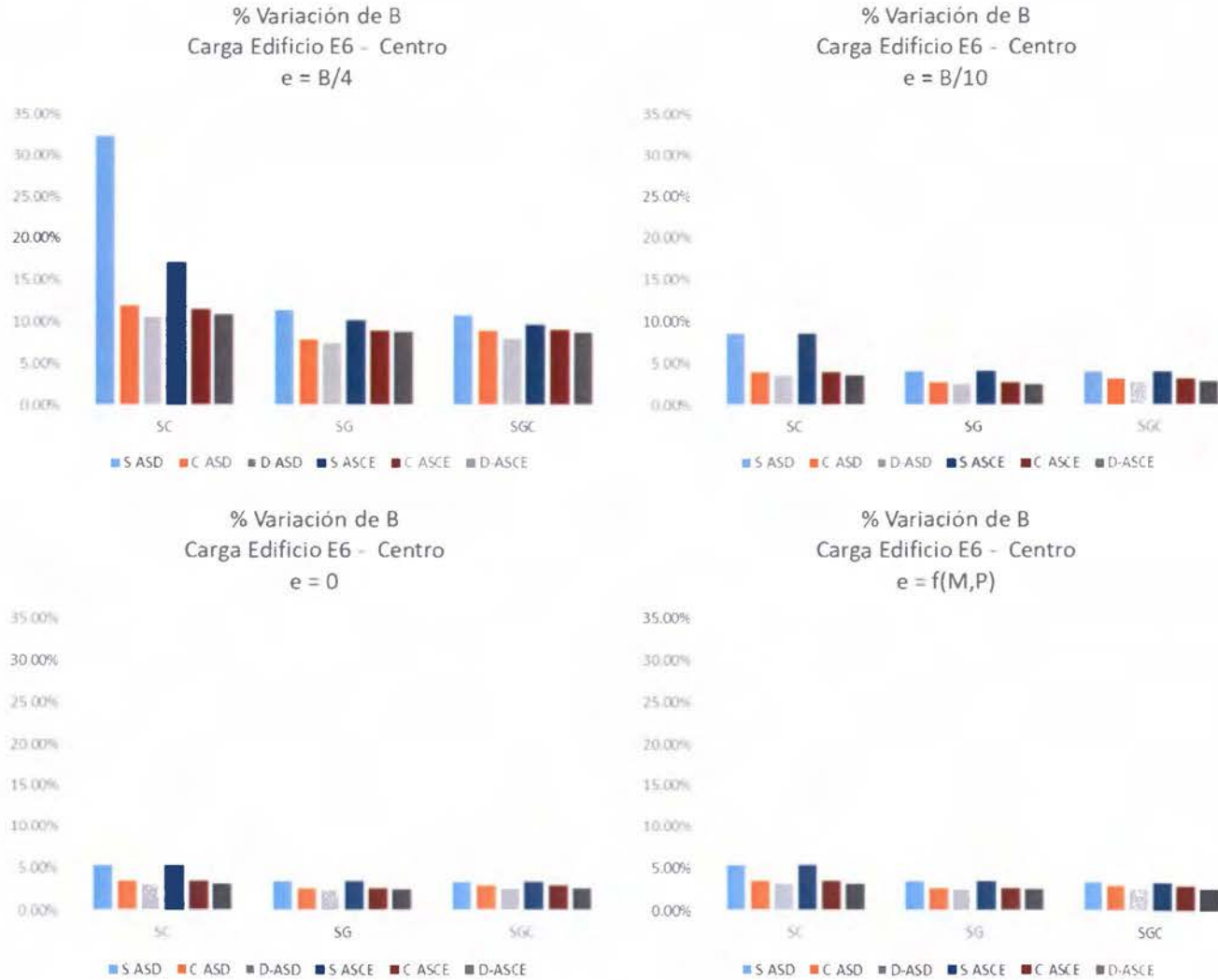
- a. En general, la mayor parte de las variaciones en porcentaje de las dimensiones de la cimentación con el método ASD (combinaciones de carga ASD del CSCR y combinaciones ASCE) respecto a la dimensión obtenida con el método LRFD, oscilan entre 5%, con unos casos entre 10%-15% para suelo cohesivo.

**Gráfico 4.** Variación en porcentaje de la dimensión B - Carga Media

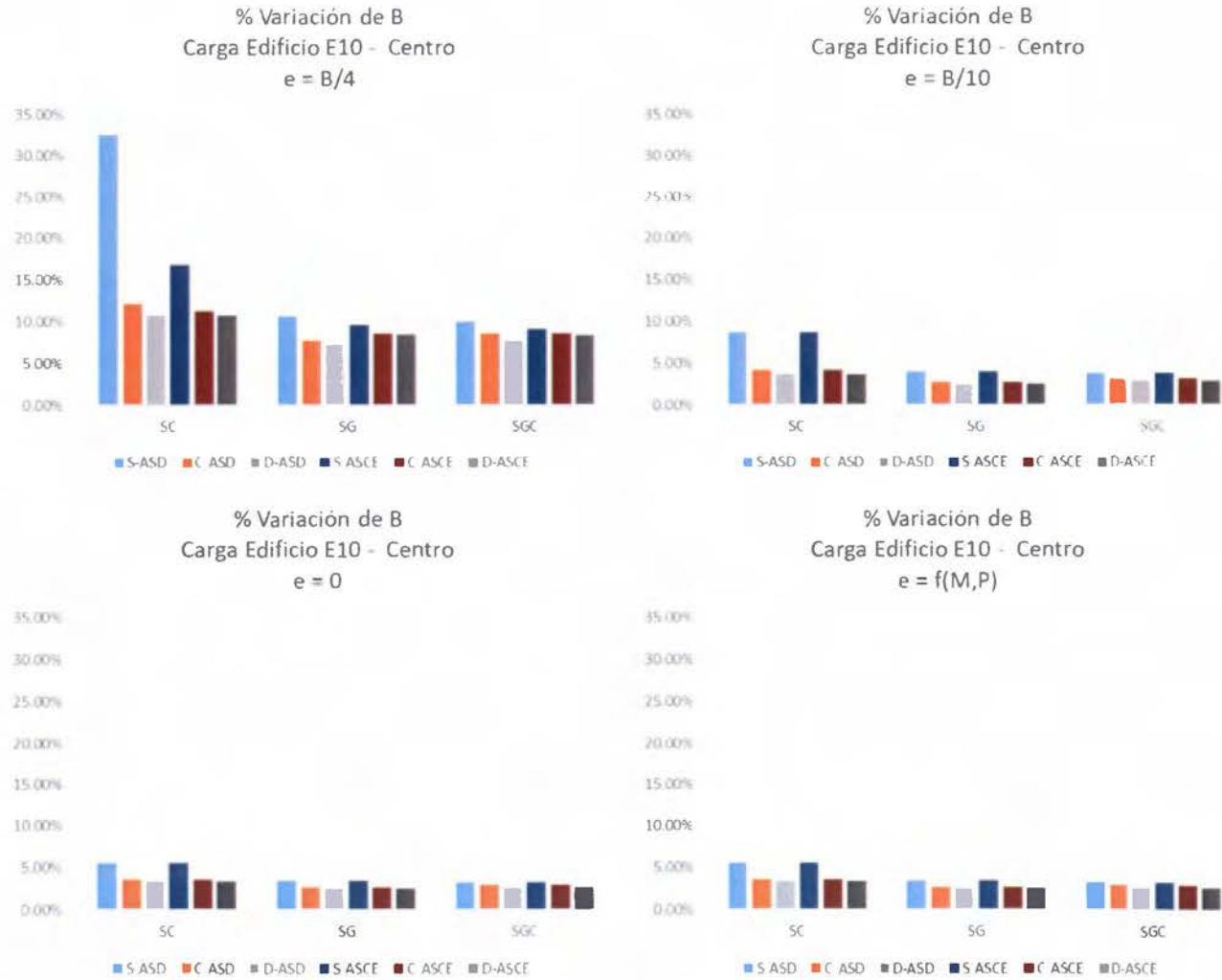




**Gráfico 5. Variación en porcentaje de la dimensión B - Carga Alta**



**Gráfico 6.** Variación en porcentaje de la dimensión B - Carga Muy Alta



- b. La excepción al punto anterior, que representa el caso crítico, corresponde a la condición de excentricidad alta  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), para el escenario de suelo tipo cohesivo en la condición de consistencia blanda. Al presentar las mayores dimensiones de  $B$  con el método ASD en la combinación del CSCR, se produce una variación para todos los casos de carga del 30%-33%; siendo éste porcentaje el más alto para todos los escenarios analizados. Éste resultado representa un caso particular que se origina por la combinación de tres características bien definidas: tipo de suelo cohesivo, consistencia blanda y la mayor excentricidad; es decir, el suelo de menor competencia con una alta excentricidad.

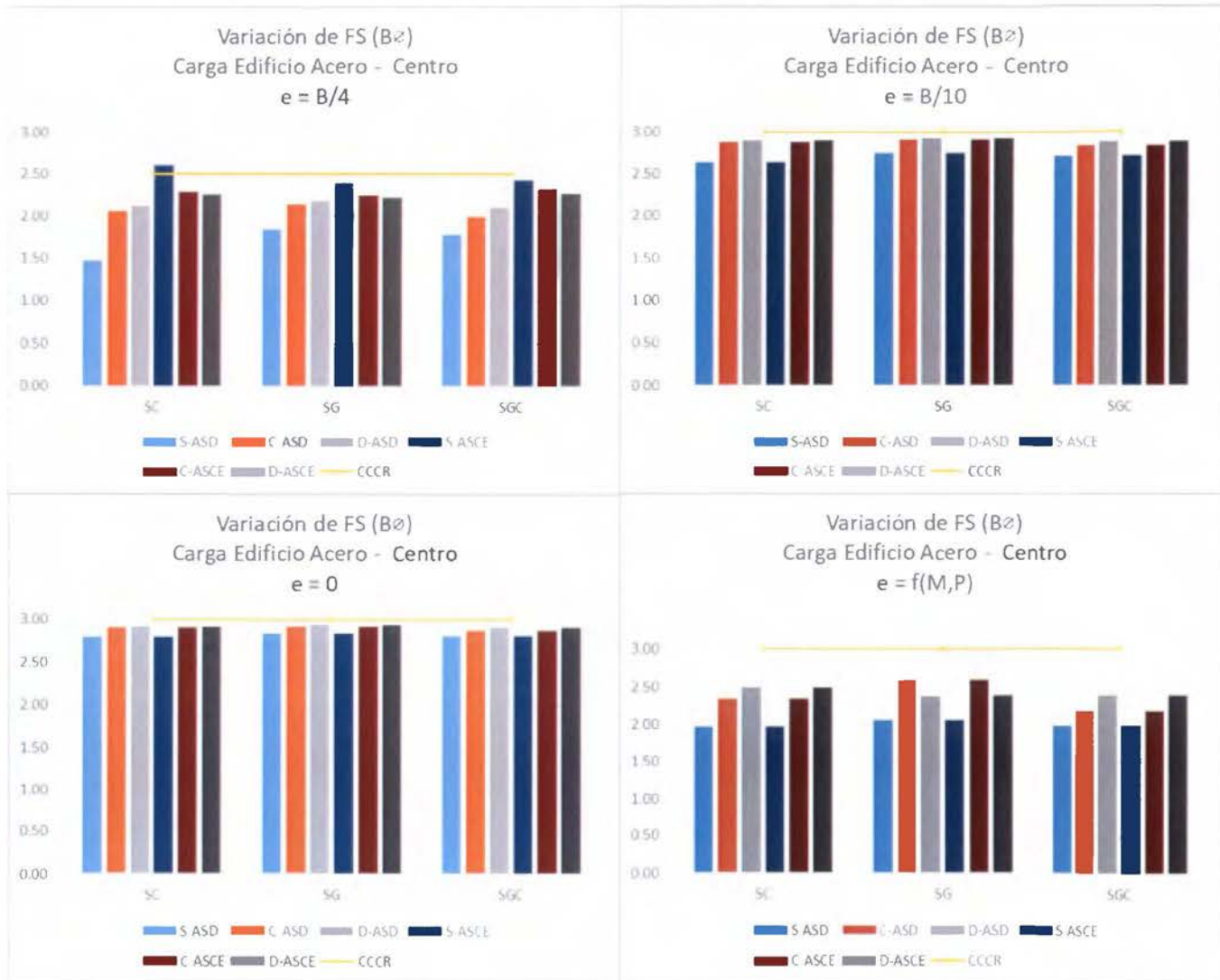
#### **4.1.3 Variación del Factor de Seguridad obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método LRFD**

En los gráficos 7, 8 y 9 se revisa la variación del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir de la dimensión  $B$  obtenida en el cálculo con el método LRFD, según la excentricidad para cada caso de carga.

De los gráficos 7, 8 y 9, se observa que:

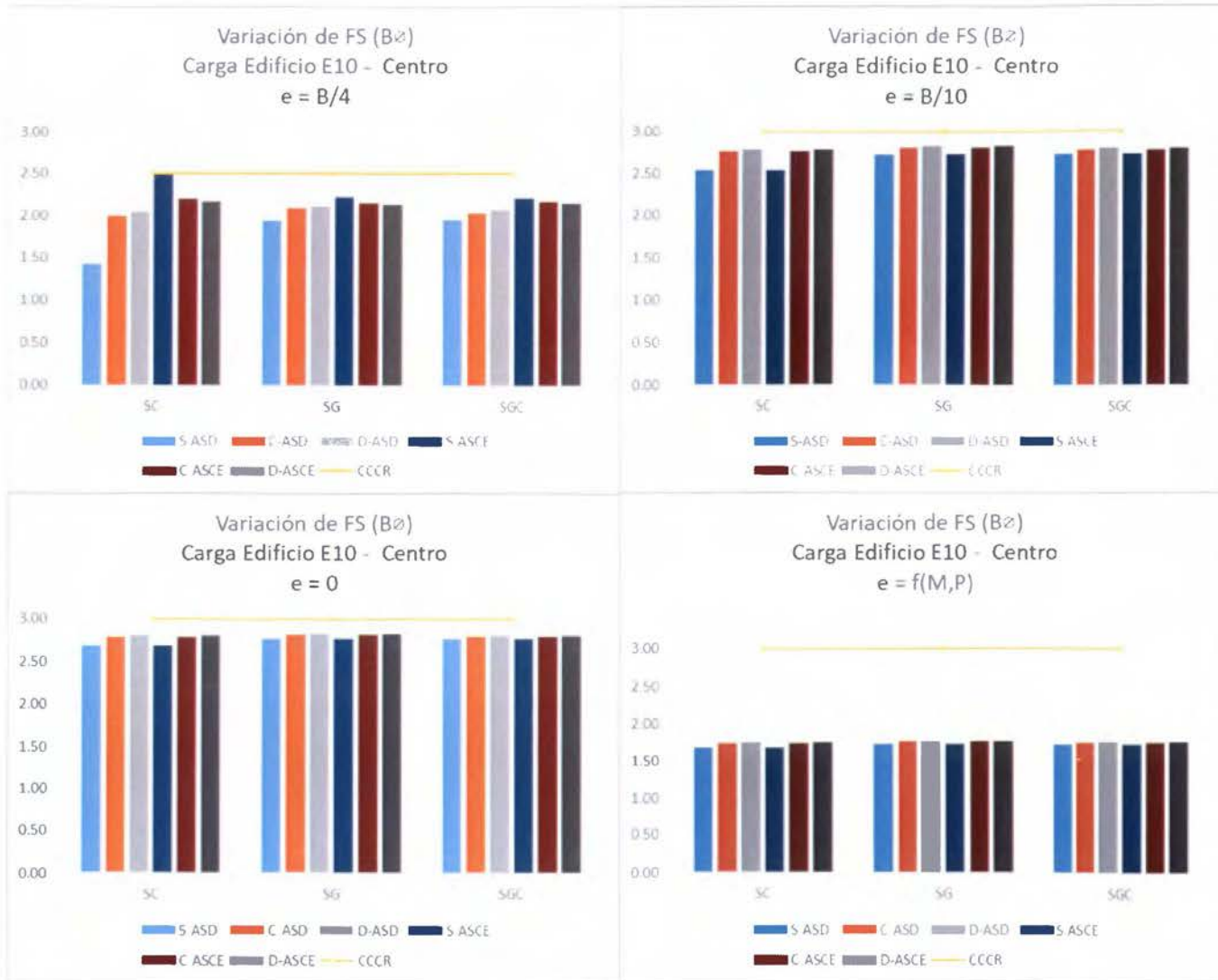
- a. Para todos los casos, el factor de seguridad obtenido se encuentra por debajo del mínimo establecido en el CCCR.
- b. Solamente en un caso se presenta un valor de FS mayor al estipulado en códigos, para la excentricidad  $B/4$  y las combinaciones CSCR-ASD y ASCE en tipo de suelo granular en consistencia densa. Esto concuerda con la información presente en los gráficos 1-3, en donde se identifica claramente que los valores de  $B$  para los métodos ASD son mayores a los obtenidos con el método LRFD.

Gráfico 7. Variación del Factor de Seguridad – Carga Media





**Gráfico 9.** Variación del Factor de Seguridad – Carga Muy Alta



- c. En general, y en concordancia con lo indicado anteriormente, para la combinación de factores de suelo cohesivo con consistencia blanda y alta excentricidad, se presentan para los valores calculados con LRFD los menores valores del FS.

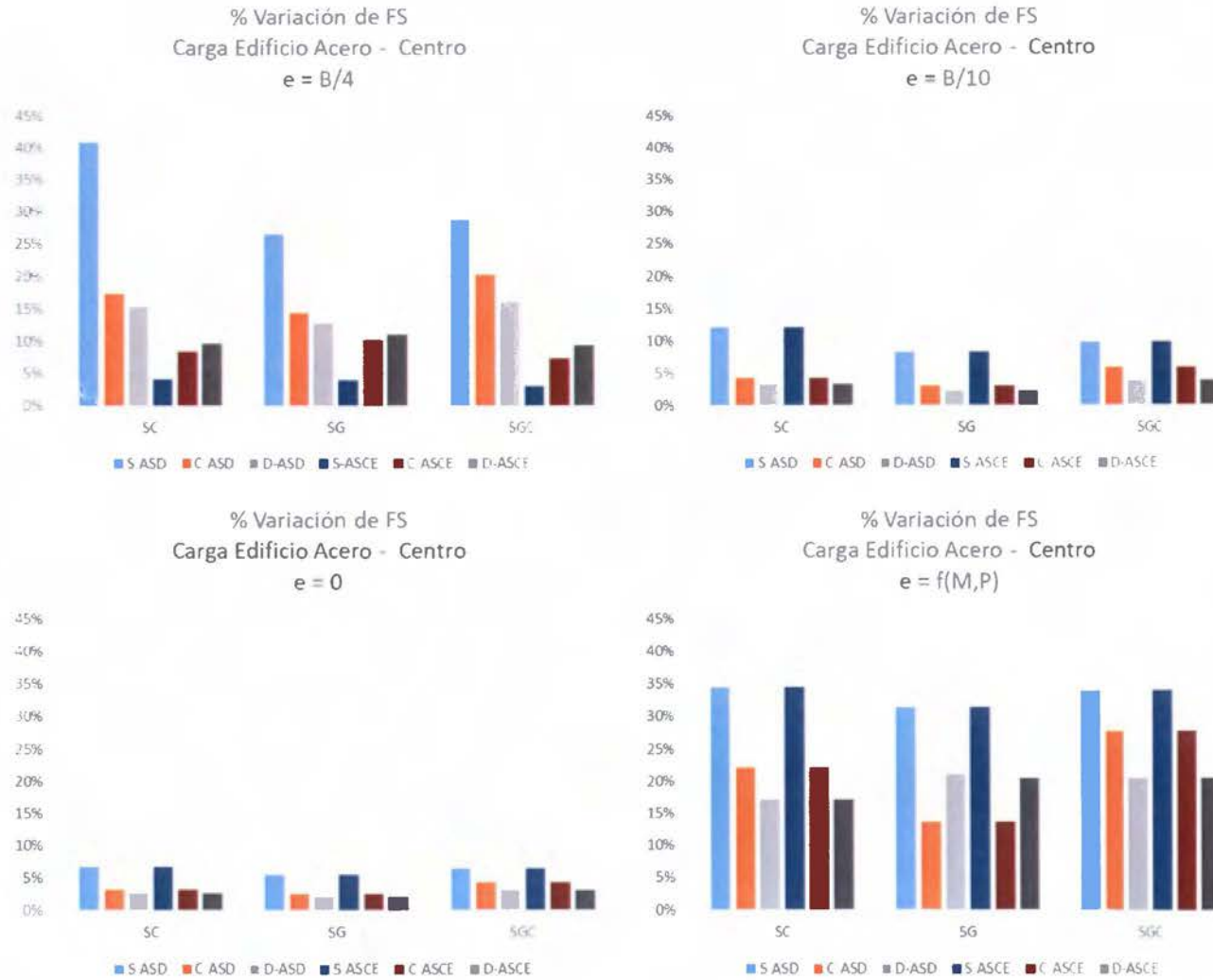
#### **4.1.4 Variación en porcentaje del Factor de Seguridad, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método LRFD**

En los gráficos 10, 11 y 12 se revisa la variación del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método LRFD, según la excentricidad para cada caso de carga.

De los gráficos 10, 11 y 12, se observa que:

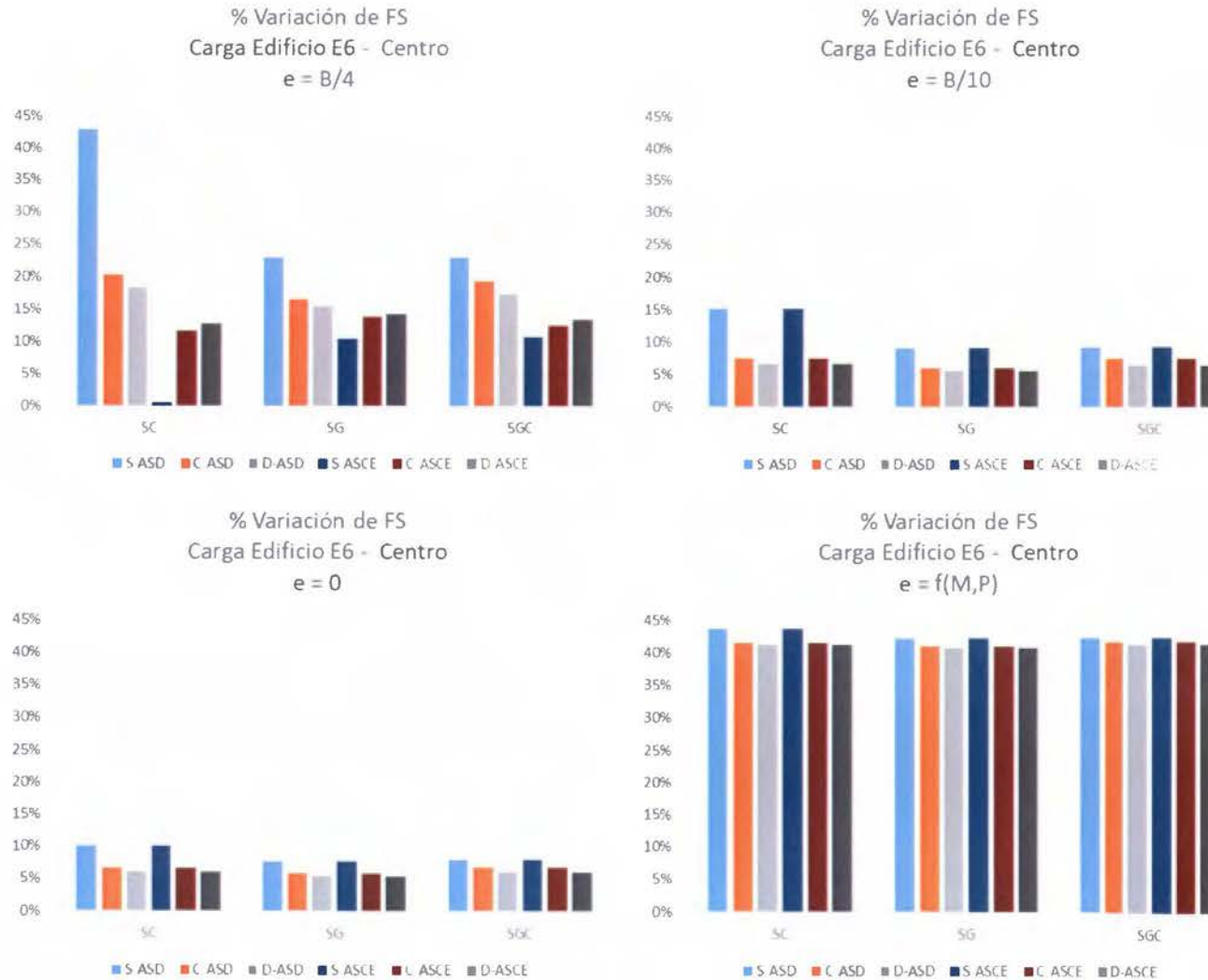
- a. Para la mayor excentricidad de B/4, en todos los escenarios de carga, para la combinación ASD del suelo cohesivo-blando se tiene una variación del FS que oscila el 40%; para el SG y SGC los valores están en el rango de 25%-30%.
- b. Para excentricidad de f(M,P), en los escenarios de carga alta y muy alta, para todas las combinaciones y en los tres tipos de suelo, se tiene una variación del FS que oscila entre 41%-44%; excepto la condición de carga media en donde para las consistencias de suelo suelto los porcentajes se encuentran en el rango de 30%-35%.
- c. El resto de porcentajes de variación son menores al 20%.
- d. En general, se mantiene que la combinación crítica se presenta para el tipo de suelo cohesivo con consistencia blanda y con excentricidad alta.

**Gráfico 10. Variación en porcentaje del Factor de Seguridad – Carga Media**

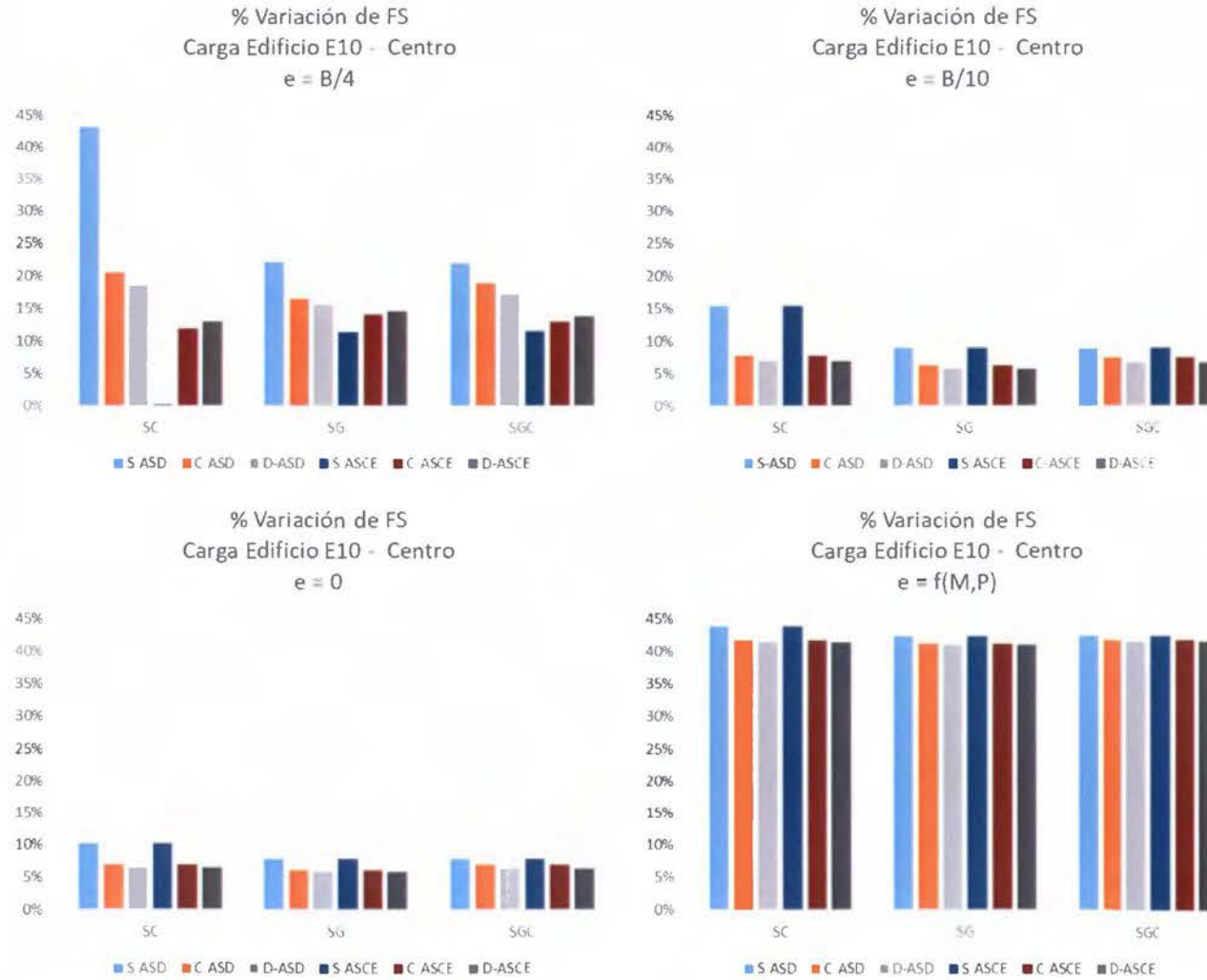




**Gráfico 11.** Variación en porcentaje del Factor de Seguridad – Carga Alta



**Gráfico 12. Variación en porcentaje del Factor de Seguridad – Carga Muy Alta**



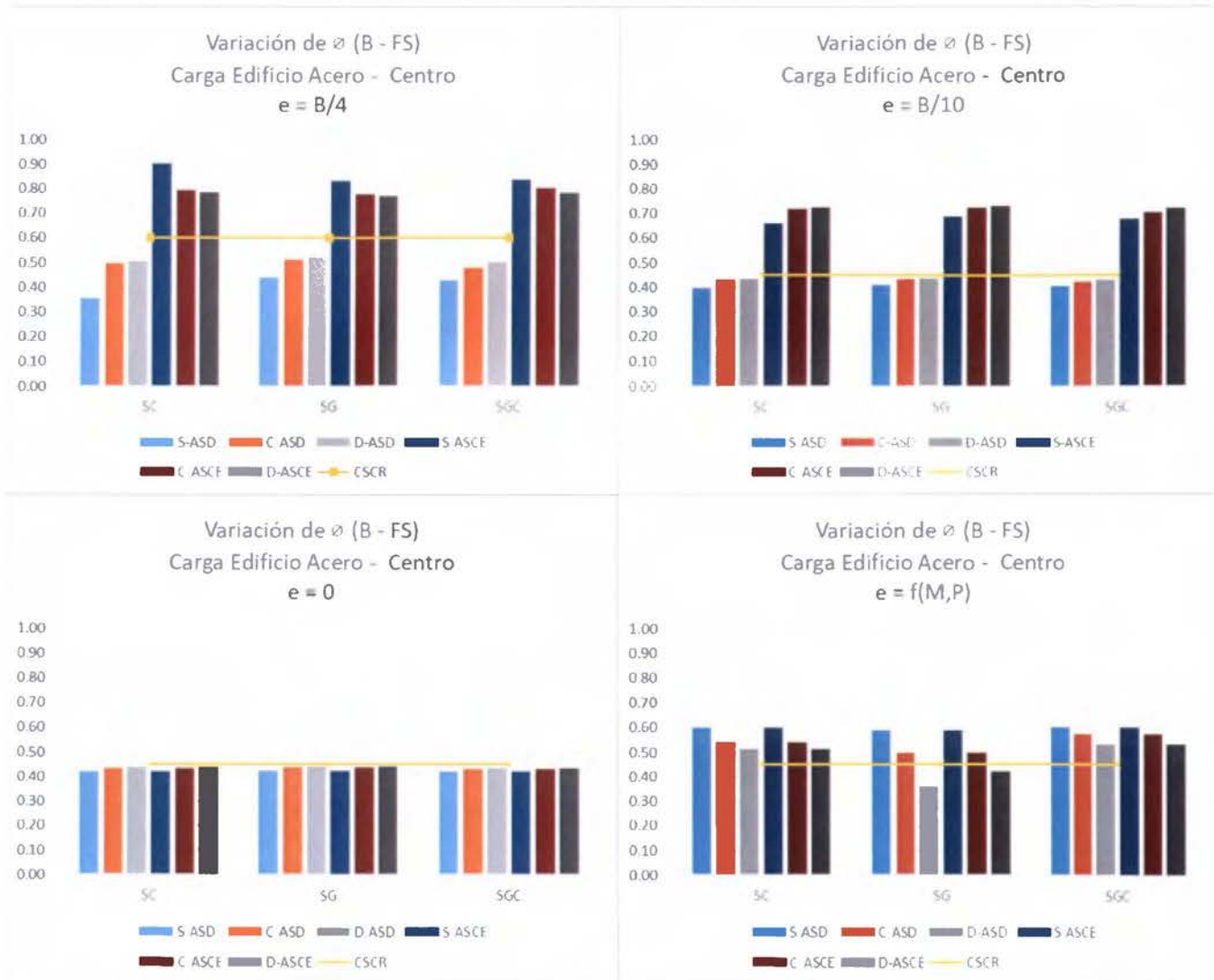
#### **4.1.5 Variación del Factor de Reducción, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método ASD**

En los gráficos 13, 14 y 15 se revisa la variación del factor de reducción calculado por el método LRFD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método ASD, según la excentricidad para cada caso de carga.

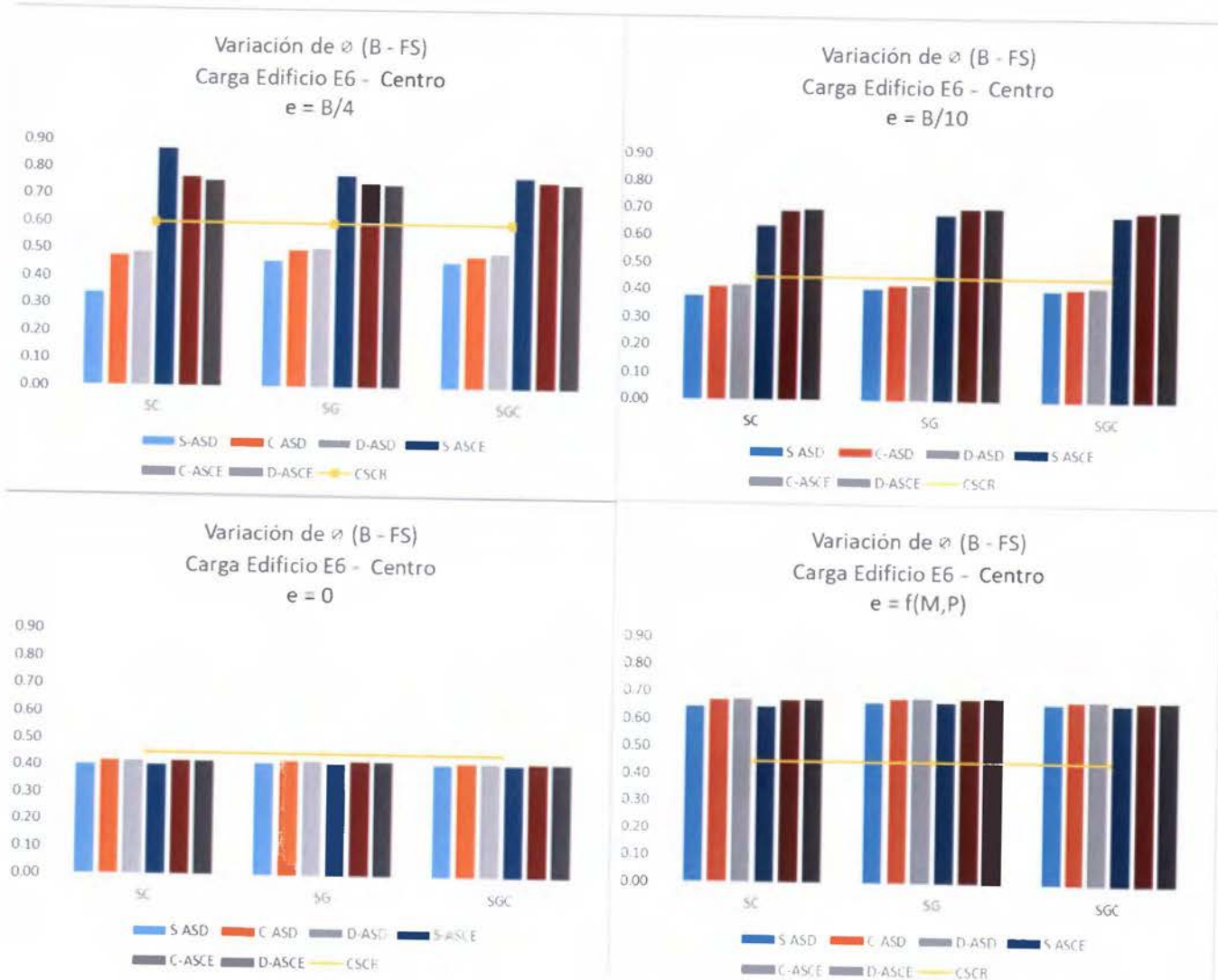
De los gráficos 13, 14 y 15 se observa que:

- a. Para las excentricidades  $B/4$  y  $B/10$ , en las combinaciones ASCE para los tres tipos de suelo, el valor del factor de reducción calculado excede el valor máximo definido en los códigos, en los tres tipos de cargas estudiadas. Esto es el comportamiento esperado, que se debe a que al calcular los factores de reducción a partir del valor de B obtenido con el método ASD y dado que éste método produce los mayores valores de B respecto al método LRFD, se incurre en que los valores de  $\phi$  calculados sean mayores al máximo permitido en códigos, para la mayoría de los casos analizados. Es decir, se mantiene que con ASD se obtienen dimensiones de placa mayores a las que se obtienen con el método LRFD.
- b. Para los casos sin excentricidad, los valores del factor de reducción calculados son menores al valor máximo permitido en el CSCR.
- c. De forma global, para el caso de excentricidad  $f(M,P)$ , todos los valores calculados del factor de reducción sobrepasan el valor máximo permitido en el CSCR.

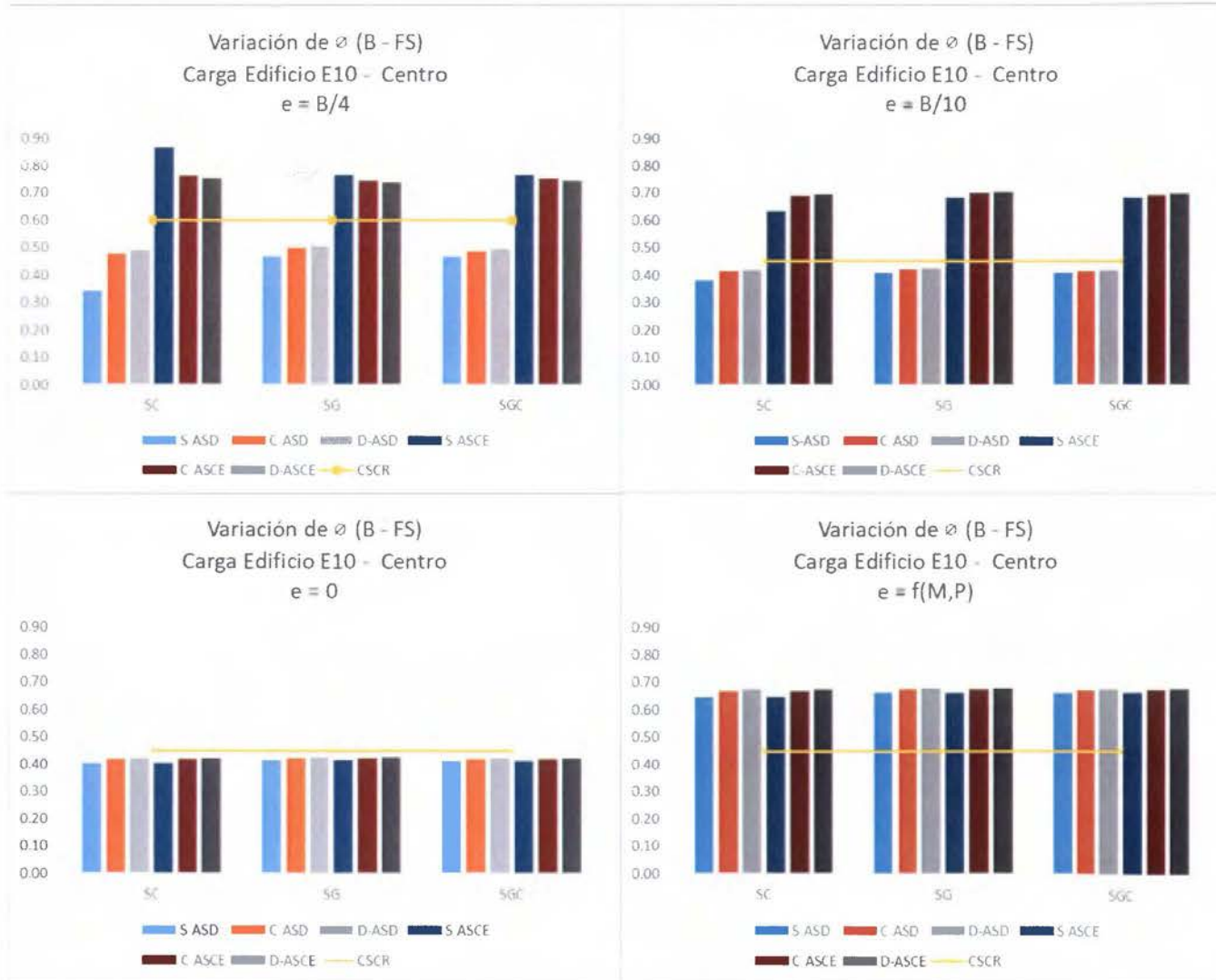
**Gráfico 13. Variación del Factor de Reducción – Carga Media**



**Gráfico 14.** Variación del Factor de Reducción – Carga Alta



**Gráfico 15.** Variación del Factor de Reducción – Carga Muy Alta



- d. Para todos los casos con excentricidad, se puede observar que se mantiene el comportamiento particular para la combinación particular de suelo cohesivo blando con la mayor excentricidad, pues se obtienen para éste escenario los menores valores de  $\phi$  calculados, esto por cuanto los valores de B con ASD son mucho mayores a los obtenidos con LRFD.

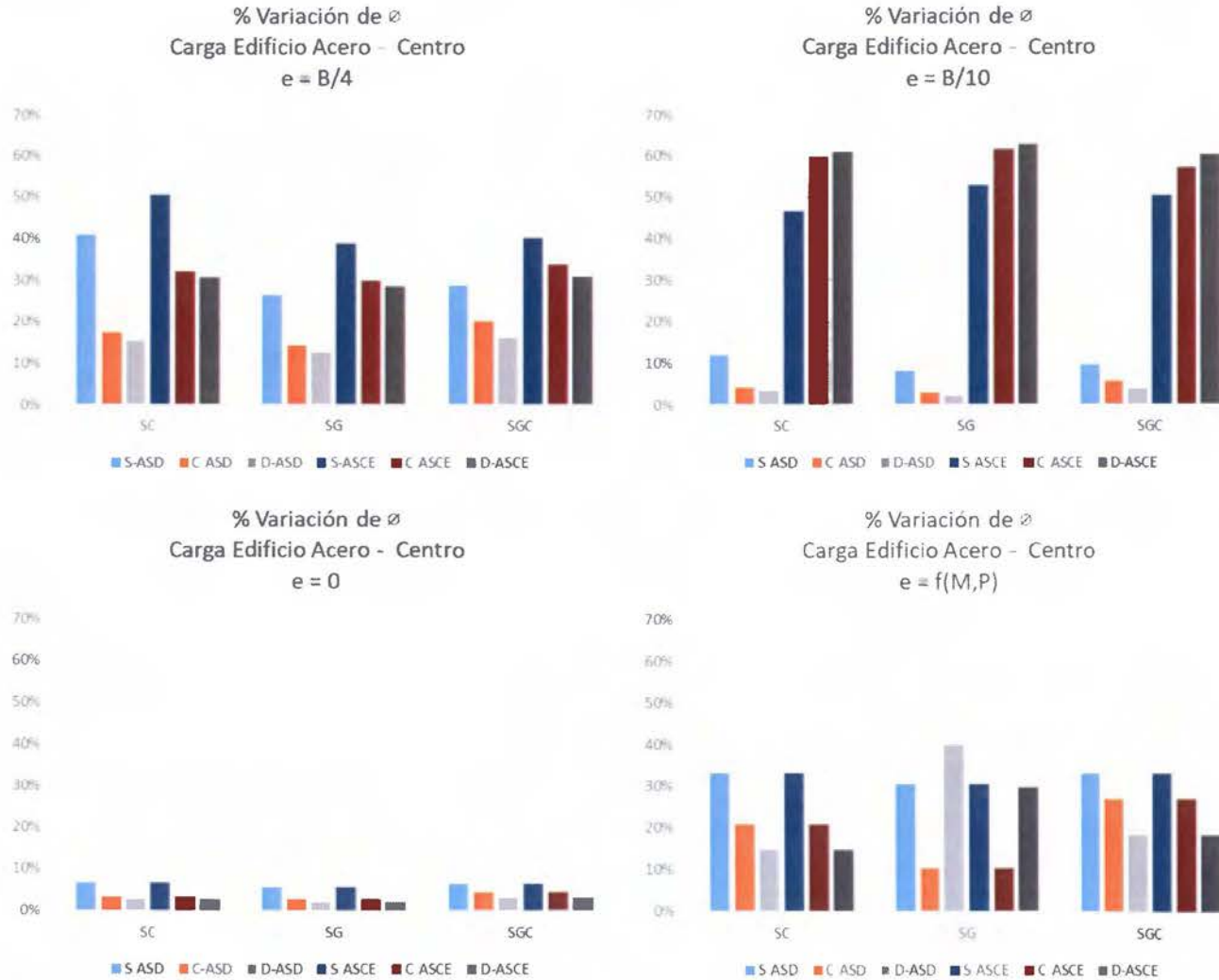
#### **4.1.6 Variación en porcentaje del Factor de Reducción, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método ASD**

En los gráficos 16, 17 y 18 se revisa la variación del factor de reducción en porcentaje, calculado por el método LRFD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método ASD, según la excentricidad para cada caso de carga.

De los gráficos 16, 17 y 18 se observa que:

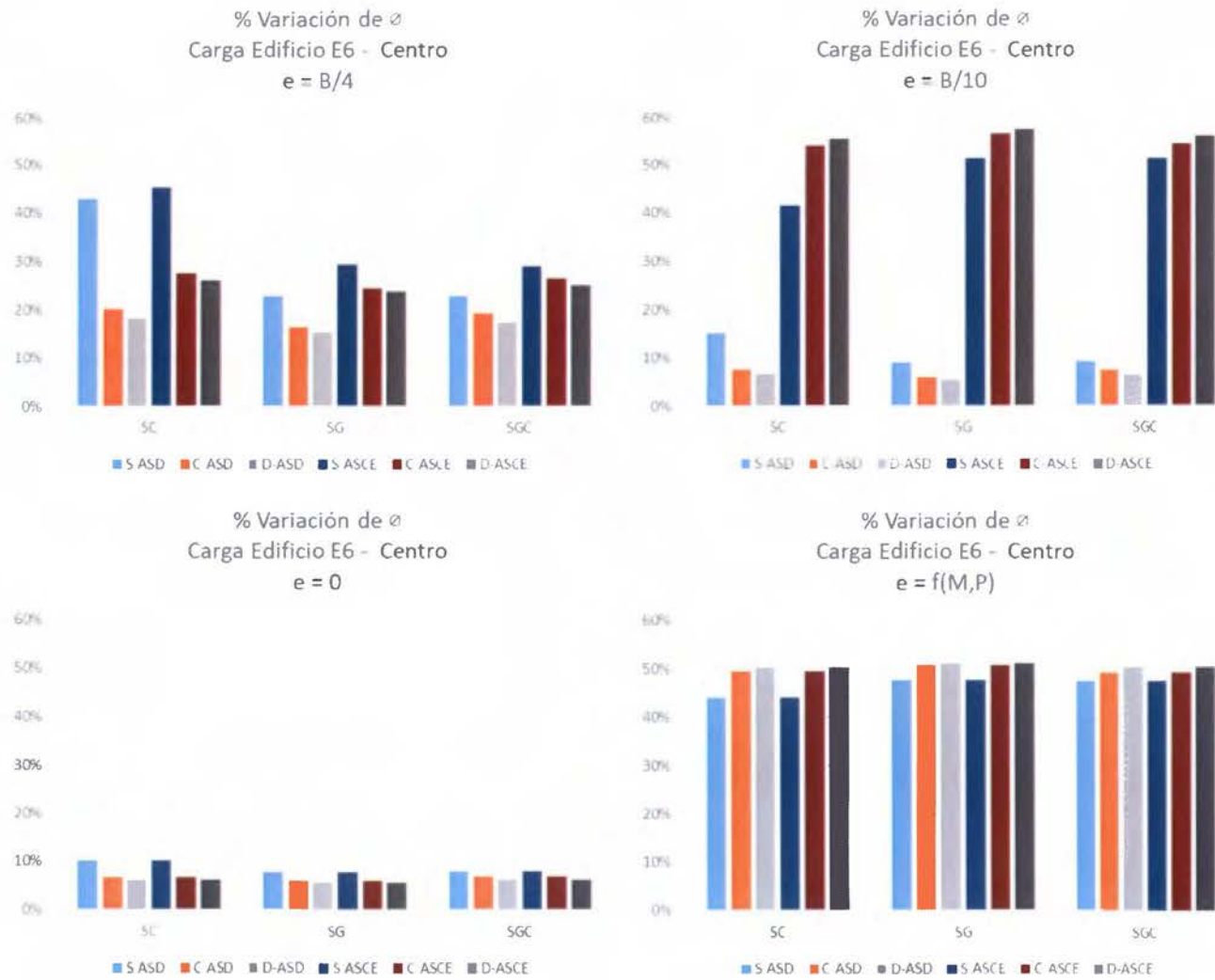
- a. Para la mayor excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ) en general para todas las cargas la variación del factor de reducción ronda el 50% en suelo cohesivo y consistencia suelta. Ésta alta variación se debe a la diferencia en la dimensión B obtenida entre el método ASD y el LRFD, en donde en ASD se obtiene mayor valor para B. Para el resto de consistencias y suelos en carga media ronda el 40%, en tanto para las cargas alta y muy alta se acerca en su máximo al 30%.
- b. Para la excentricidad  $B/10$  ( $e < B/6$ ), la variación del factor de reducción es menor al 15% en todas las cargas respecto al método ASD, en tanto que con ASCE la variación alcanza valores entre 55%-60%. Ésta alta variación se debe a la diferencia en la dimensión B obtenida entre el método ASCE y el LRFD, en donde en ASCE se obtiene mayor valor para B.

**Gráfico 16.** Variación en porcentaje del Factor de Reducción – Carga Media

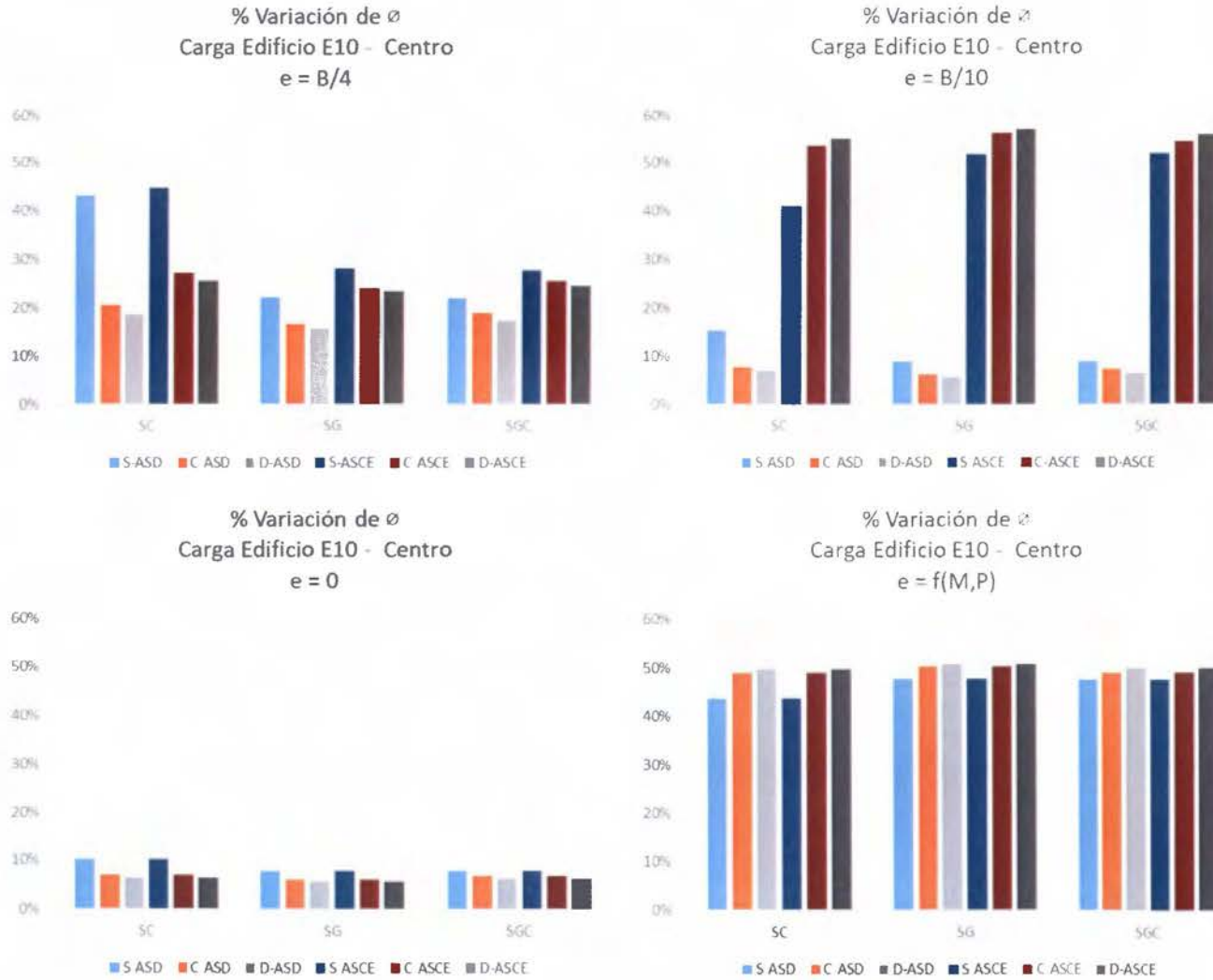




**Gráfico 17. Variación en porcentaje del Factor de Reducción – Carga Alta**



**Gráfico 18.** Variación en porcentaje del Factor de Reducción – Carga Muy Alta



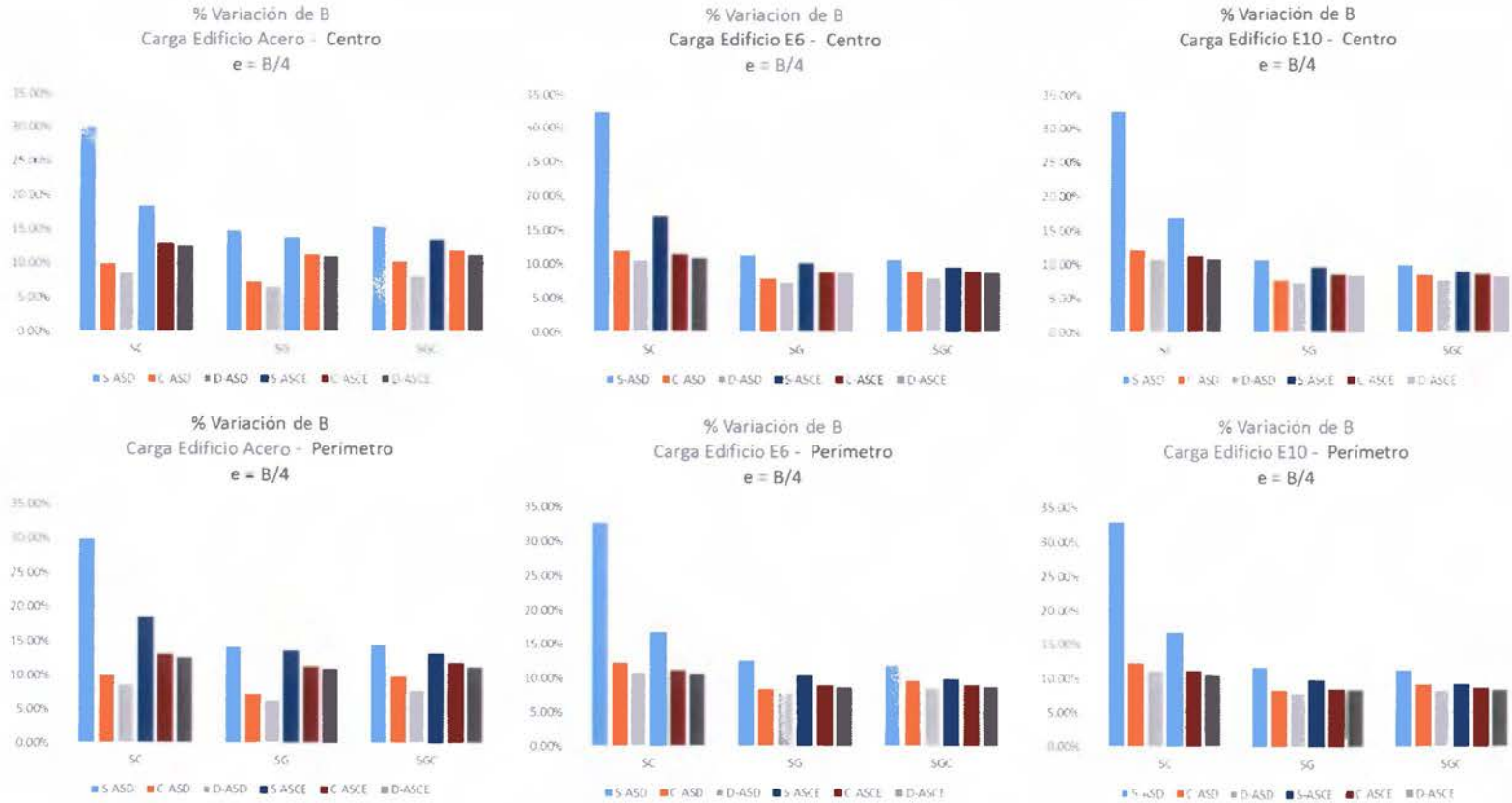
- c. Para el caso sin excentricidad, la variación es menor al 10% en todos los casos de carga.
- d. Para la excentricidad  $f(M,P)$ , con carga media la variación se encuentra entre 15%-30% a excepción del suelo granular con consistencia densa en donde para ASD y ASCE se tiene variación cercana al 40%. Ésta alta variación se debe a la diferencia en la dimensión B obtenida entre el método ASD o ASCE y el LRFD, en donde en LRFD se obtiene menor valor para B.

#### **4.1.7 Análisis de caso adicional para revisión de tendencia particular en escenario de suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta**

Retomando lo indicado en los apartados anteriores 3.1.1 y 3.1.2, en donde se enfatiza el hecho de que la combinación crítica que genera las mayores diferencias en los tamaños de placa calculados se presenta para el suelo cohesivo con consistencia blanda y alta excentricidad, entre los métodos ASD y LRFD, se realiza la siguiente revisión adicional sólo para éste caso en particular.

En el gráfico 19, se muestra el cálculo de la dimensión B, para todos los casos de carga y en las tres ubicaciones de cimentación en el edificio (centro y perímetro) y para la mayor excentricidad de  $B/4$ , y se corrobora que el comportamiento en los apartados mencionados se mantiene para todos los cálculos realizados en el presente estudio.

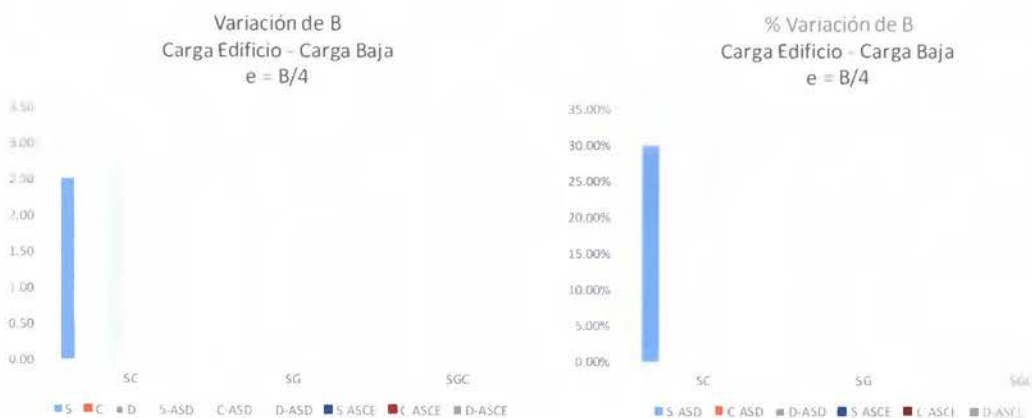
**Gráfico 19.** Comparación resultados de dimensión B para todos los casos de carga y ubicación en edificio



En el gráfico 20, se muestra la dimensión B calculada con LRFD y ASD, y la variación en porcentaje de éstas, con la aplicación de una carga muy baja representativa a edificio de 1-2 niveles. Éste cálculo se realizó para identificar el caso particular expuesto anteriormente en la combinación particular de suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta.

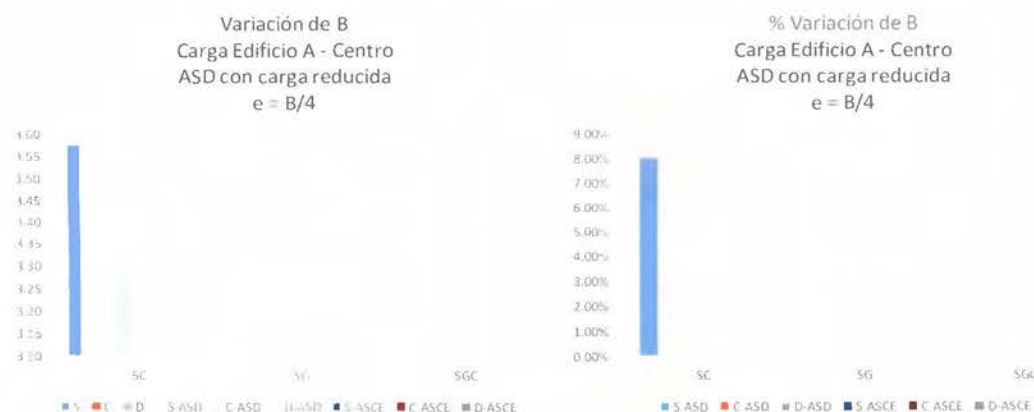
Como se puede observar en el gráfico 20, se mantiene el mismo comportamiento que en los casos de carga objeto del presente estudio, en donde la dimensión B calculada por el método ASD da como resultado un valor mayor que el obtenido por medio del método LRFD y que por consiguiente genera una variación en porcentaje de la B del ASD respecto a LRFD tan alta del orden del 30%.

**Gráfico 20.** Cálculo de B y variación en porcentaje, con la aplicación de una carga baja



Como ejercicio de comparación, si se mantiene el escenario y parámetros para la carga media y excentricidad alta en el suelo tipo cohesivo, pero se varía solamente la dimensión B en el cálculo con ASD con carga baja, se obtiene la información presentada en el gráfico 21.

**Gráfico 21.** Cálculo de B con carga baja para ASD y comparación contra B de LRFD carga media



En éste caso, el valor que se cambió fue sólo el de la dimensión B calculada con ASD manteniendo los mismos parámetros originales del presente estudio, pero con la única variante de que se aplicó una carga baja. De ésta forma se puede constatar que, bajo el escenario crítico o particular de suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta, al disminuir la magnitud de carga aplicada, se obtiene una dimensión de B similar entre ASD y LRFD. Por tanto, un porcentaje de variación también bajo, dentro del rango de condición típica identificado en éste estudio para el resto de escenarios descritos en los apartados anteriores, es decir, menor al 20%.

## 4.2 Cimentaciones profundas

Con los datos obtenidos del número de pilotes para la cimentación profunda, se elabora gráfico para comparar los resultados entre los tres tipos de suelo y para cada uno de los métodos de diseño en las tres diferentes combinaciones de carga.

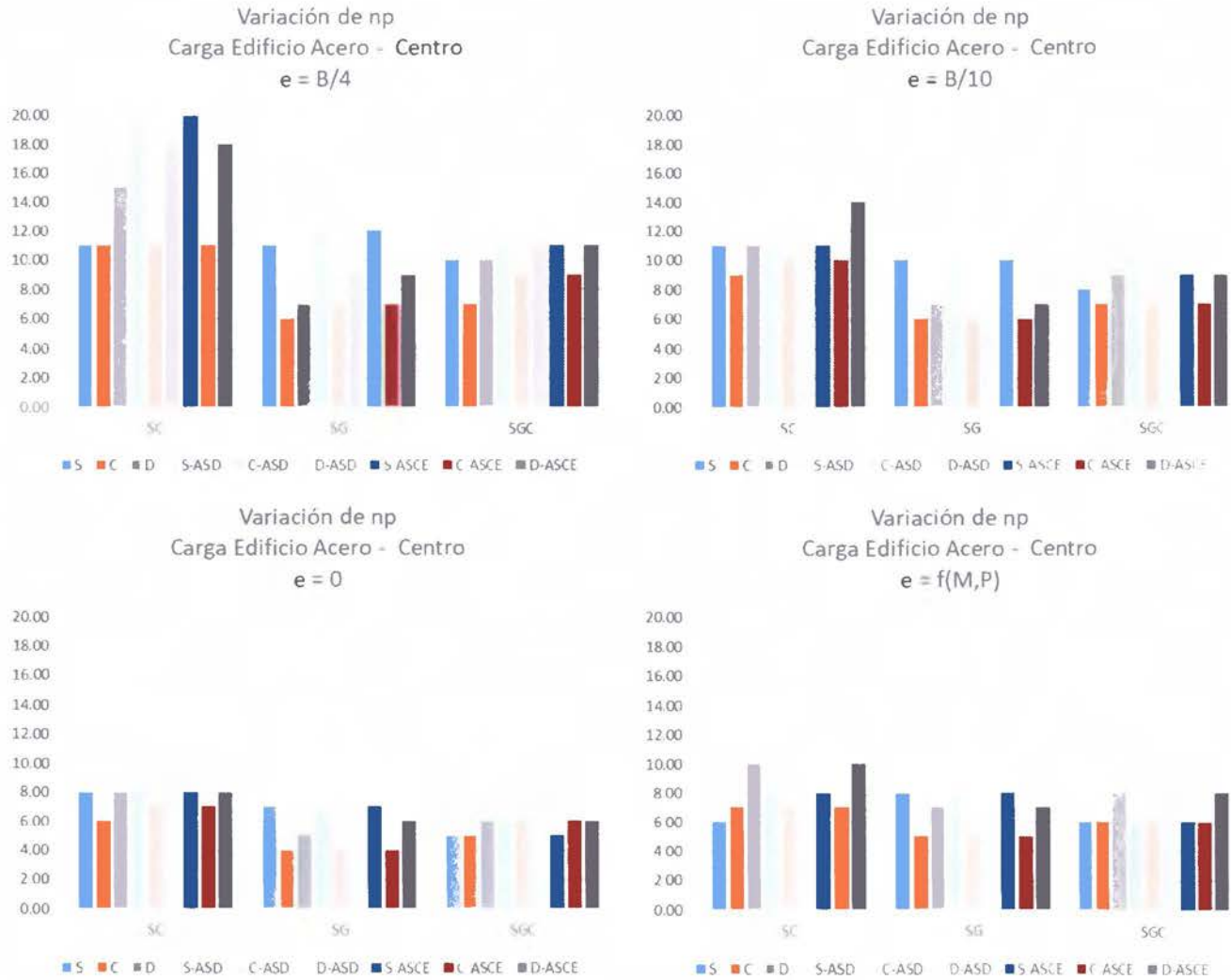
#### 4.2.1 Variación en el número de pilotes

En los gráficos 22, 23 y 24 se revisan los resultados del número de pilotes, de las distintas cargas para el caso de la columna ubicada en el centro del edificio, según la excentricidad para cada caso de carga, en el caso de la cimentación ubicada en el centro del edificio.

De los gráficos 22, 23 y 24 se observa que:

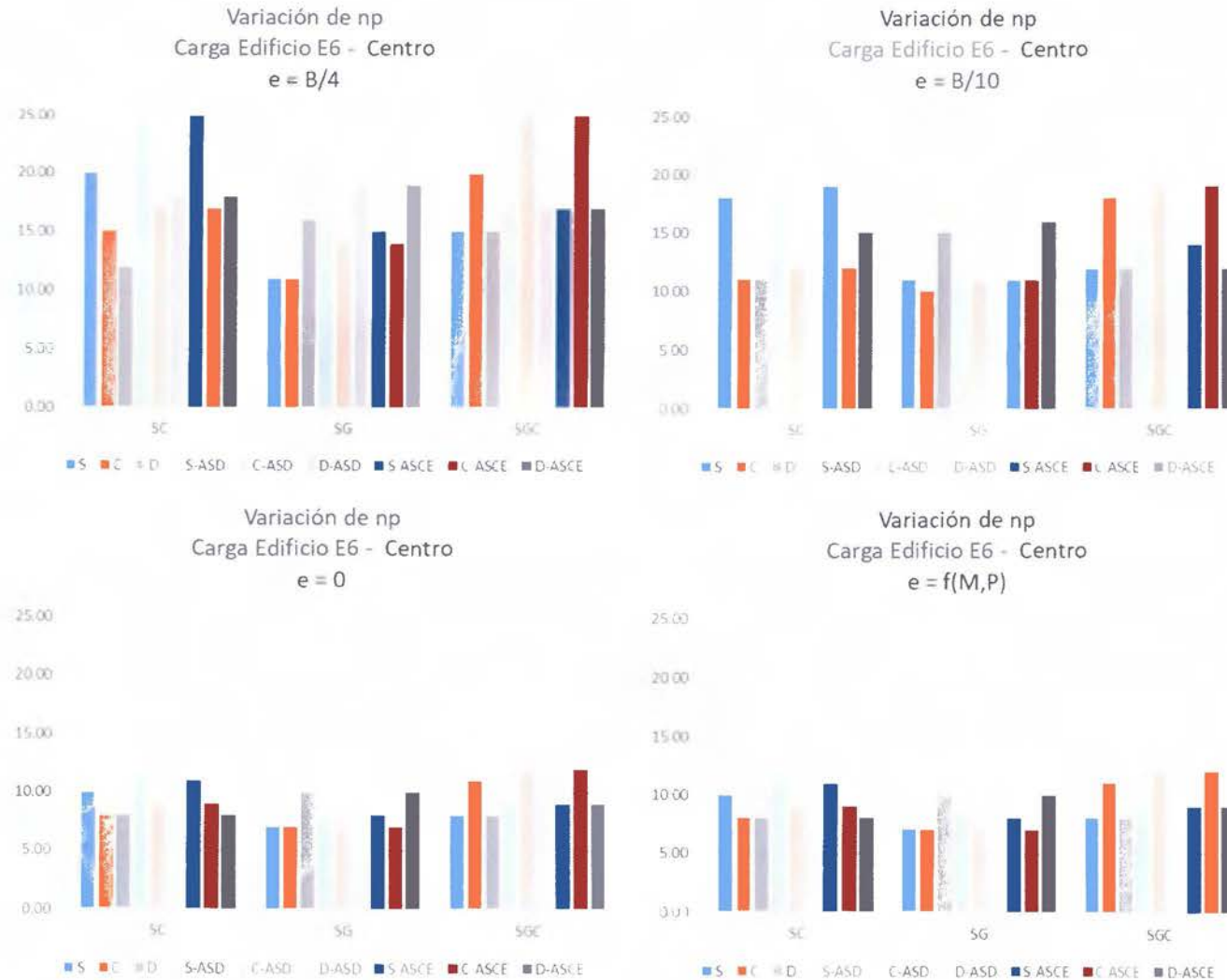
- a. Para la mayor excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), en general la variación del número de pilotes ronda en 15 pilotes, a excepción de los casos de suelo cohesivo consistencia suelta que en ASD y ASCE se requieren entre 20-25 pilotes para carga media y alta; y en carga muy alta hasta un máximo de 19 pilotes. Para los métodos de ASD y ASCE se observa para cada caso de carga un comportamiento similar en la cantidad de pilotes. De lo anterior se resaltan los siguientes puntos:
  - i. Para las cimentaciones superficiales, la condición particular o crítica se presenta con la combinación de los factores de suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta, en donde para cimentaciones profundas, la mayor cantidad de pilotes son requeridos según cálculo con el método ASD con las combinaciones del CSCR y ASCE, mientras que una cantidad menor es el resultado con el cálculo con LRFD.
  - ii. La diferencia entre la cantidad de pilotes requerida según la metodología ASD con combinaciones del CSCR y ASCE respecto a lo solicitado por LRFD, es alto y por consiguiente la variación porcentual será también alta.

**Gráfico 22. Variación en el número de pilotes - Carga Media**

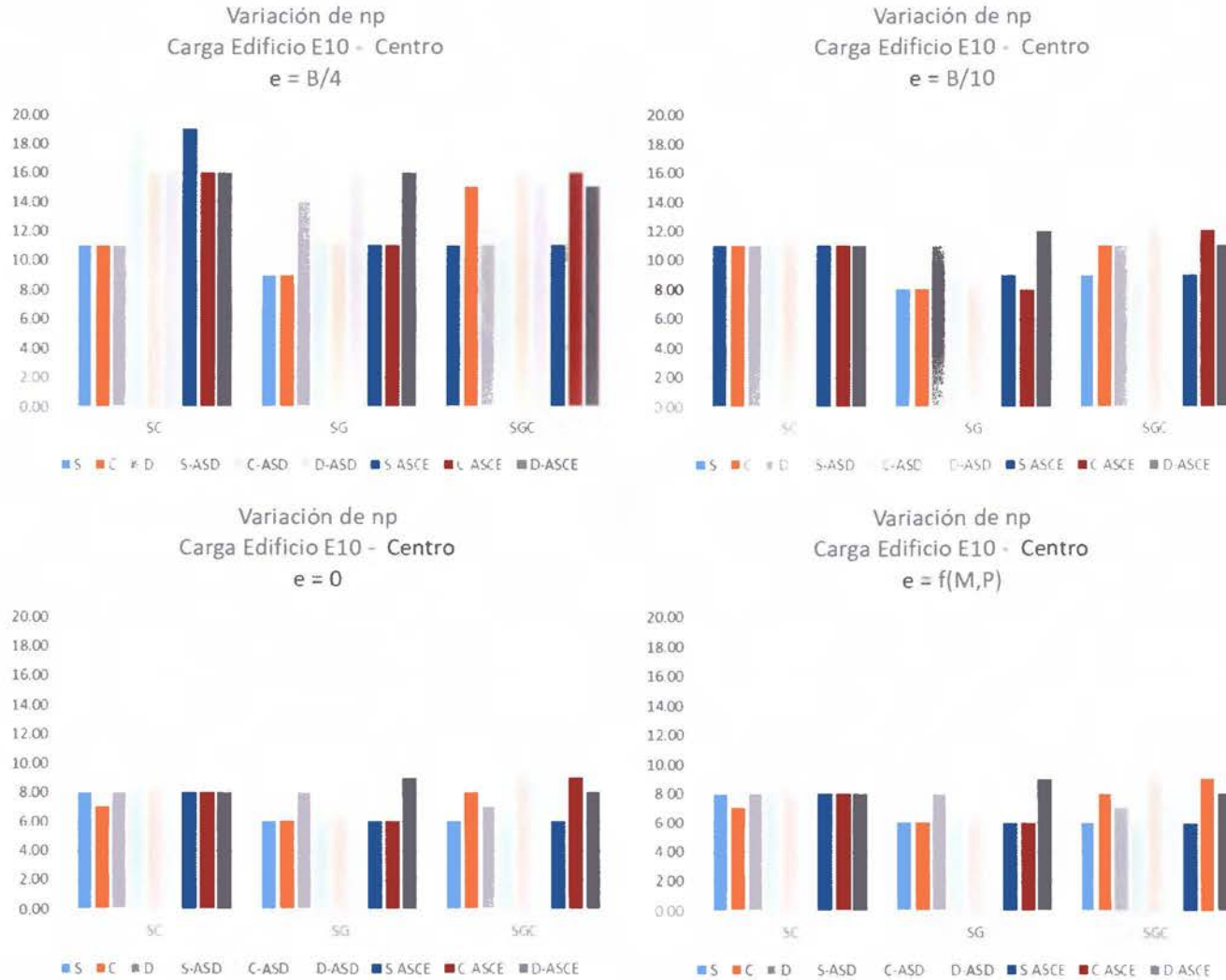




**Gráfico 23.** Variación en el número de pilotes - Carga Alta



**Gráfico 24.** Variación en el número de pilotes - Carga Muy Alta



- b. Para la excentricidad  $B/10$  ( $e < B/6$ ), se destaca lo siguiente
  - i. Para la carga media, la mayor cantidad de pilotes se requiere para el suelo cohesivo y en los otros dos tipos de suelo, para la consistencia suelta, sin embargo, la diferencia en el resultado entre métodos no es tan relevante, es decir, la diferencia en cantidad de pilotes es pequeña.
  - ii. Para la carga alta, la mayor cantidad requerida es en consistencia suelta en suelo cohesivo, para suelo granular en consistencia densa y para SGC en consistencia compacta.
  - iii. Para carga muy alta se mantiene un comportamiento más uniforme.
- c. Para el caso sin excentricidad y  $f(M,P)$ , el comportamiento en la cantidad de pilotes es más uniforme.

#### **4.2.2 Variación en porcentaje del número de pilotes**

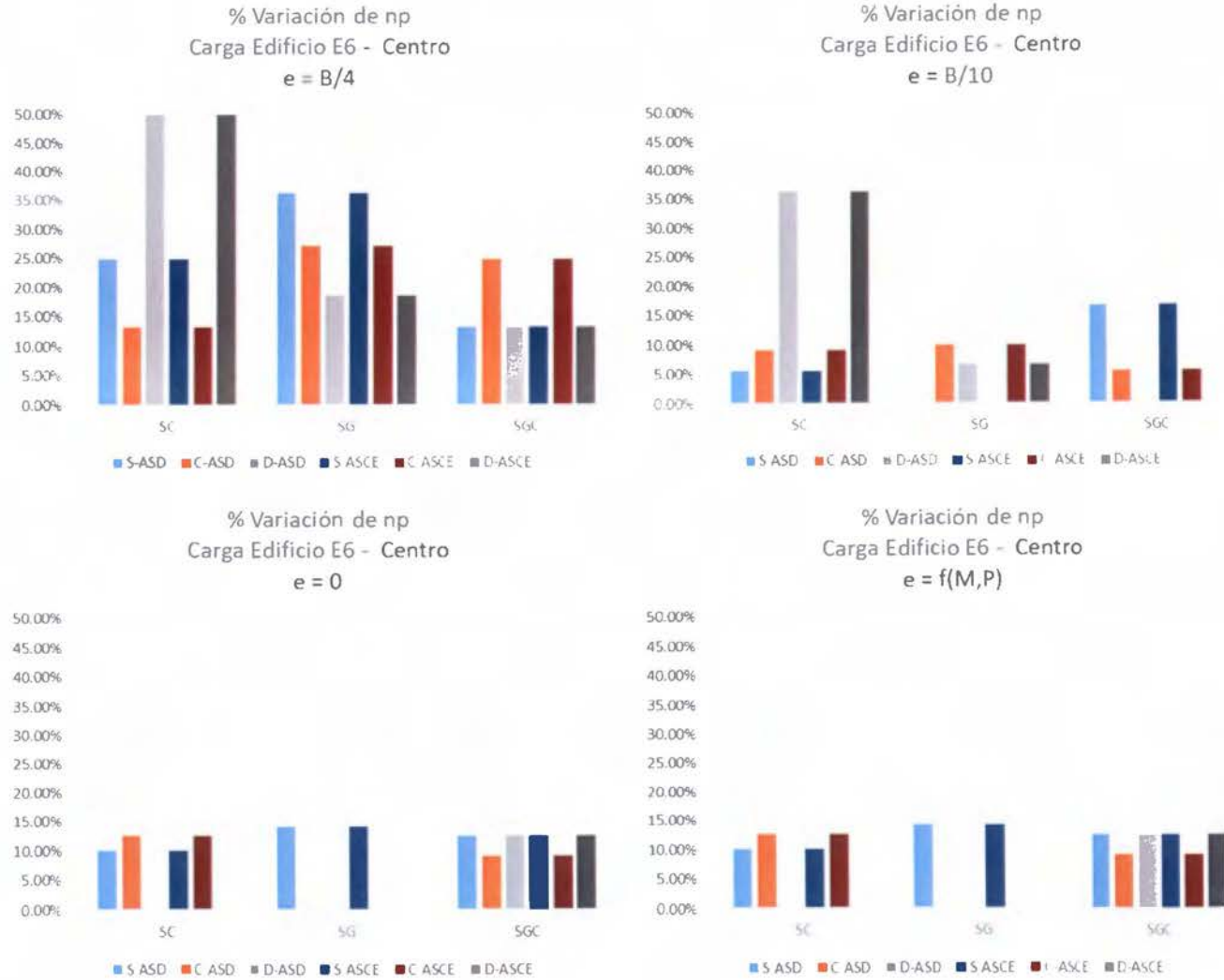
En los gráficos 25, 26 y 27 se analiza la variación en porcentaje del número de pilotes obtenido con el método ASD en las combinaciones del CSCR y ASCE respecto al número de pilotes obtenido con el método LRFD, según la excentricidad para los distintos casos de carga; en el caso de la cimentación ubicada en el centro del edificio.

De los gráficos 25, 26 y 27 se observa que:

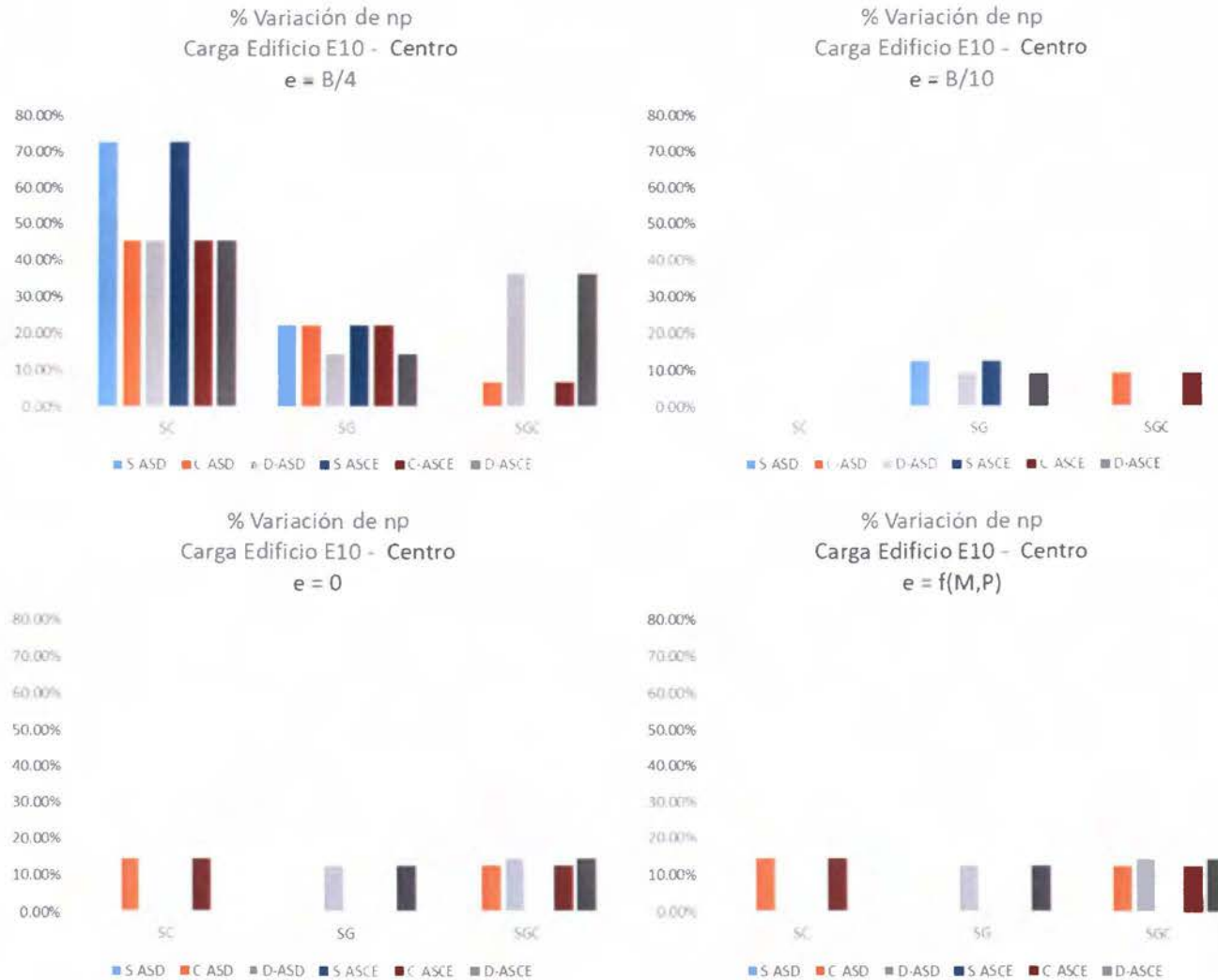
- a. Para la excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), presenta diferente comportamiento según la carga
- b. Para la carga media, en suelo cohesivo consistencia suelta la variación alcanza el 80% respecto al resultado con LRFD, en tanto para consistencia densa alcanza el 20% y para compacta no presenta



Gráfico 26. Variación en porcentaje del número de pilotes - Carga Alta



**Gráfico 27.** Variación en porcentaje del número de pilotes - Carga Muy Alta



variación. En SG para consistencia densa es cercana al 30% y el resto menor al 20%. En SGC en consistencia compacta cercana a 30% y el resto 10%. De lo anterior se destaca lo siguiente:

- i. Para carga alta, SC consistencia densa varía un 50% y el resto ronda el 20%. Para SG consistencia suelta llega al 38% aproximadamente y el resto junto con SGC alrededor del 20%.
  - ii. Para carga muy alta, SC consistencia suelta llega al 70% y el resto el 45%. En SG la variación es del 20% y en SGC consistencia densa alcanza el 35% y el resto 5%, para consistencia suelta no presenta variación.
  - iii. En concordancia con la información presentada de variación del número de pilotes en el apartado anterior, es en la combinación crítica de suelo cohesivo con consistencia blanda y alta excentricidad, en donde se presentan los mayores porcentajes de variación del número de pilotes. Ésta gran diferencia se debe a que la cantidad de pilotes según cálculo con LRFD es menor a los calculados con ASD, y al realizar la relación para el cálculo de porcentajes en función del número de pilotes producto de LRFD, genera altos porcentajes de variación. Dicho resultado se presenta para los casos de carga media y muy alta, mientras que, para carga alta, la mayor variación se presenta de igual forma para el suelo cohesivo, pero en la consistencia densa; de igual manera para excentricidad ( $B/10$ ).
- c. Para la excentricidad  $B/10$  ( $e < B/6$ ), se obtuvo lo siguiente:
- i. Para carga media, en consistencia compacta de SC la variación es del 10% y del 28% para consistencia densa con ASCE. En SGC para consistencia suelta presenta 12% de variación. El resto de consistencia no presenta variación alguna respecto a LRFD.
  - ii. Con carga alta, sólo para SC en consistencia densa varía un 35% y el resto de valores varía entre 0%-10%. La elevada variación en

porcentaje se debe a la diferencia en cantidades entre ASD respecto a LRFD.

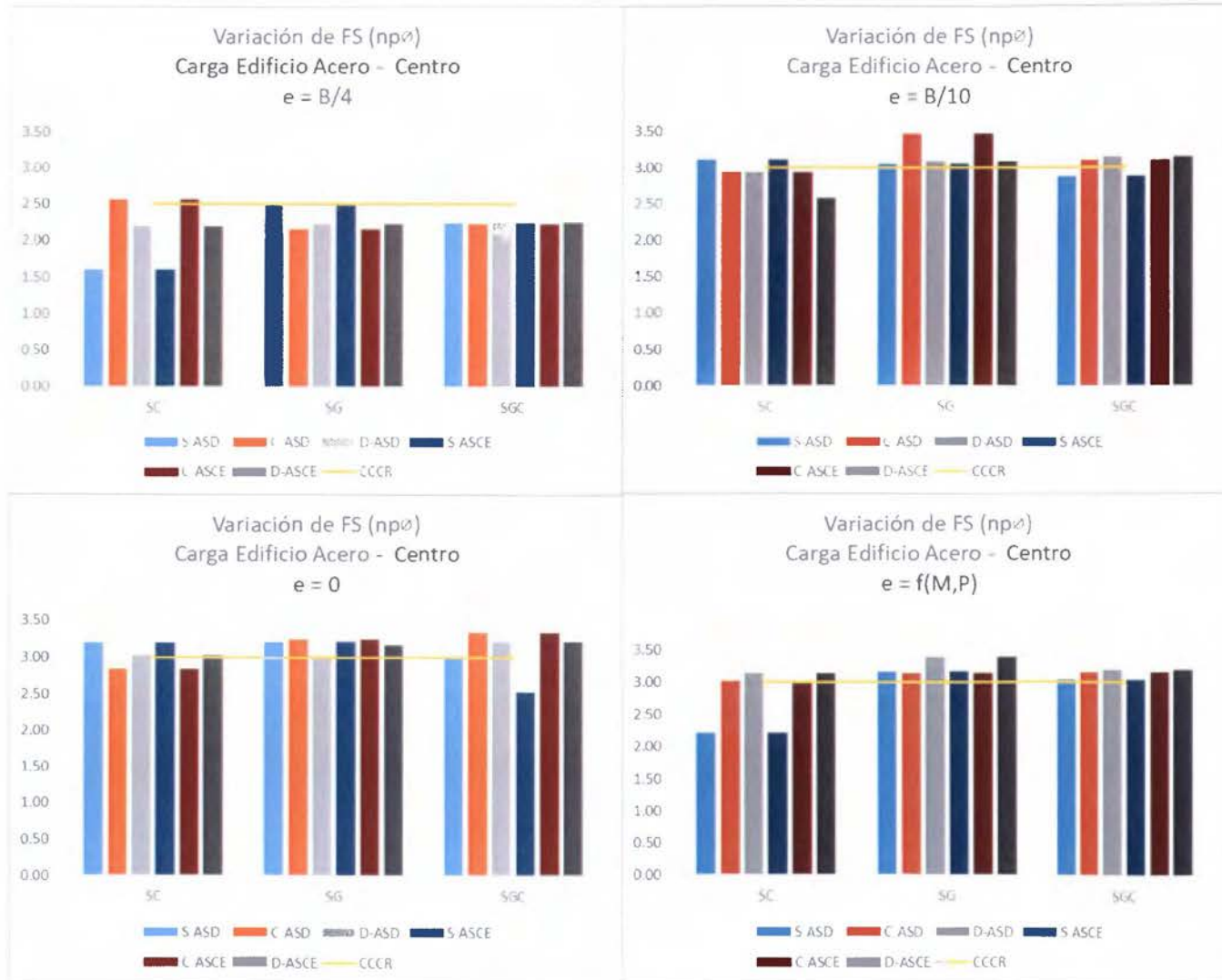
- iii. Para carga alta, en SC no presenta variación. En SG sólo presenta variación del 12% en consistencia suelta y 9% en consistencia densa. En SGC sólo presenta variación del 9% en consistencia compacta; fuera de éstos casos no hay variación.
- d. En el caso sin excentricidad, se obtuvo lo siguiente:
  - i. Con carga media para SC y SGC presenta variación entre 15%-20% en las consistencias compactas. Para SG sólo presenta variación del 20% en consistencia densa. Para el resto no presenta variación.
  - ii. Con carga alta, en general presenta variación entre 10-14%; con excepción de SC consistencia densa y SG consistencia densa y compacta, en las cuales no presenta variación alguna.
  - iii. Con carga alta, la variación esta entre 12%-14% para SC consistencia compacta, SG consistencia densa y SGC consistencia compacta y densa; el resto no tiene variación.
- e. En el caso de excentricidad  $f(M,P)$ , se destaca lo siguiente:
  - i. Con carga media, la variación es del 33% para SC consistencia suelta, y el resto no presenta variación.
  - ii. Con carga alta y muy alta, el comportamiento es el mismo que para el caso sin excentricidad.

#### **4.2.3 Variación del Factor de Seguridad obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método LRFD**

En los gráficos 28, 29 y 30 se revisa la variación del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método LRFD, según la excentricidad para cada caso de carga, en el caso de la cimentación ubicada en el centro del edificio.

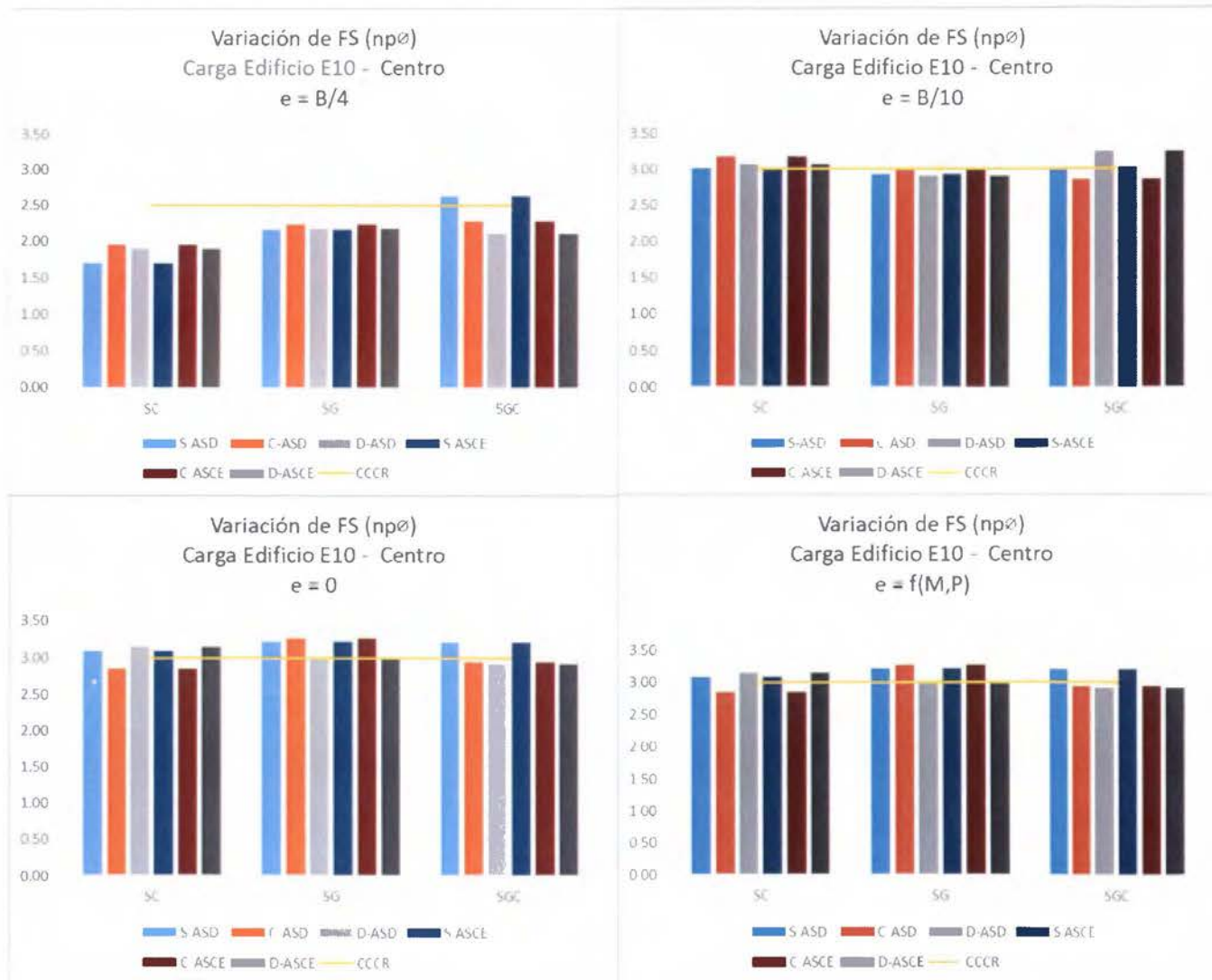


**Gráfico 28.** Variación del Factor de Seguridad – Carga Media





**Gráfico 30.** Variación del Factor de Seguridad – Carga Muy Alta



De los gráficos 28, 29 y 30 se observa que:

- a. Para la excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), en general los valores del FS son menores al mínimo FS establecido en el CCCR. Se mantiene el comportamiento similar al de cimentaciones superficiales, en donde el escenario crítico o particular lo representa el suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta, que en el presente caso produce los menores valores del factor de seguridad respecto a los demás casos calculados.
- b. Para la excentricidad  $B/10$  ( $e < B/6$ ), se obtuvo lo siguiente:
  - i. Para carga media, en general alcanzan el valor del FS mínimo según CCCR.
  - ii. Para carga alta, en SC el FS está cercano al mínimo, pero no lo alcanza; en SG sólo la consistencia suelta supera el valor mínimo y el resto está muy cercano; en SGC sólo la consistencia densa alcanza el valor mínimo y el resto está cercano.
  - iii. Con carga muy alta, en SC se alcanza el FS mínimo, en SG sólo la consistencia compacta alcanza el mínimo, y en SGC la consistencia compacta no alcanza el mínimo.
- c. Los casos sin excentricidad y  $f(M,P)$ , tienen el mismo comportamiento, descrito enseguida:
  - i. Carga media, en general alcanzan el valor mínimo.
  - ii. Carga alta, en SC consistencia densa, SG consistencia compacta y densa, alcanzan el valor mínimo; el resto es menor al FS mínimo.
  - iii. Carga muy alta, en SC consistencia compacta, SGC consistencia compacta y densa, no alcanzan el valor mínimo; el resto sí cumple o supera el mínimo FS.

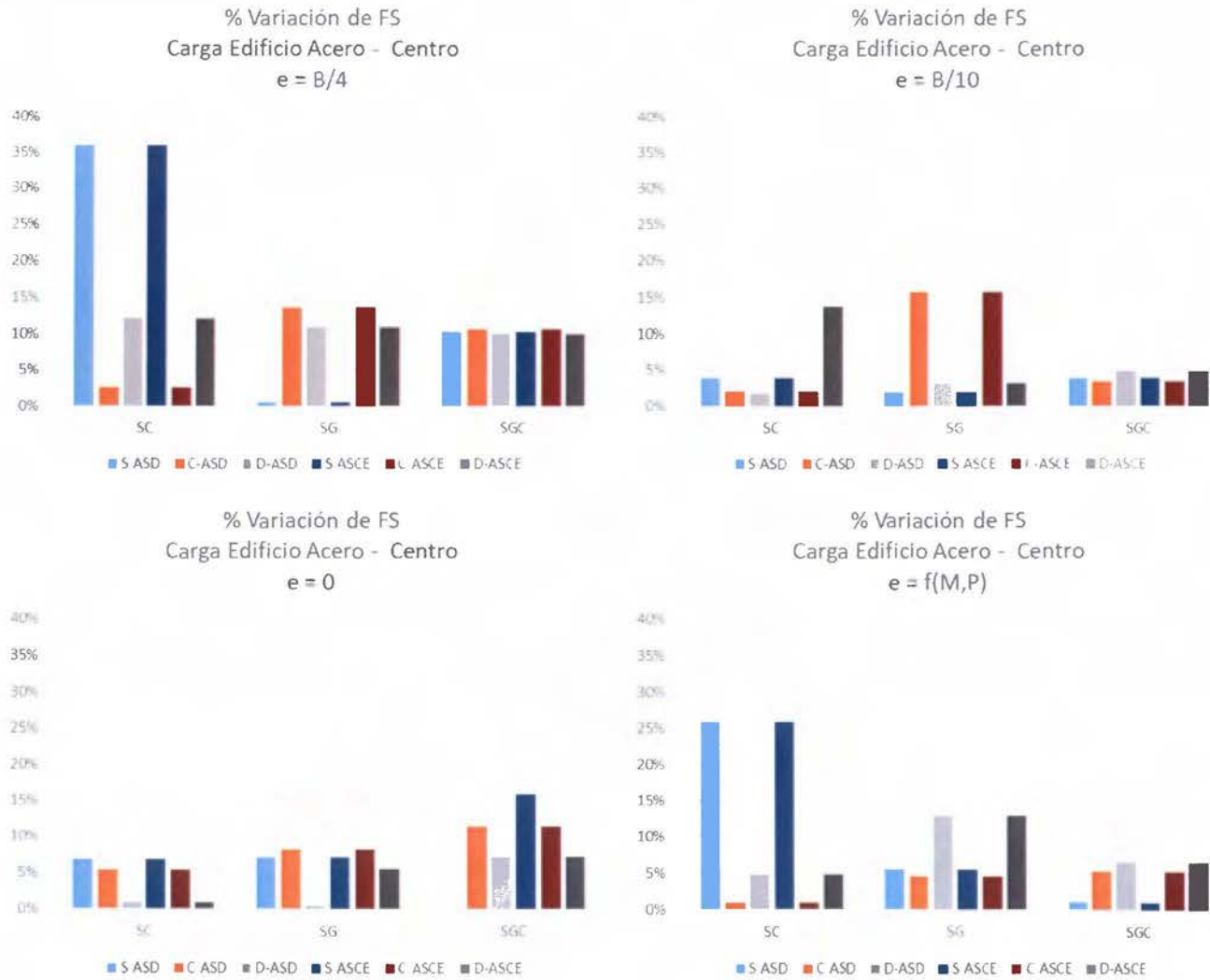
#### 4.2.4 Variación en porcentaje del Factor de Seguridad, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método LRFD

En los gráficos 31, 32 y 33 se revisa la variación en porcentaje del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método LRFD, según la excentricidad para cada caso de carga, en el caso de la cimentación ubicada en el centro del edificio.

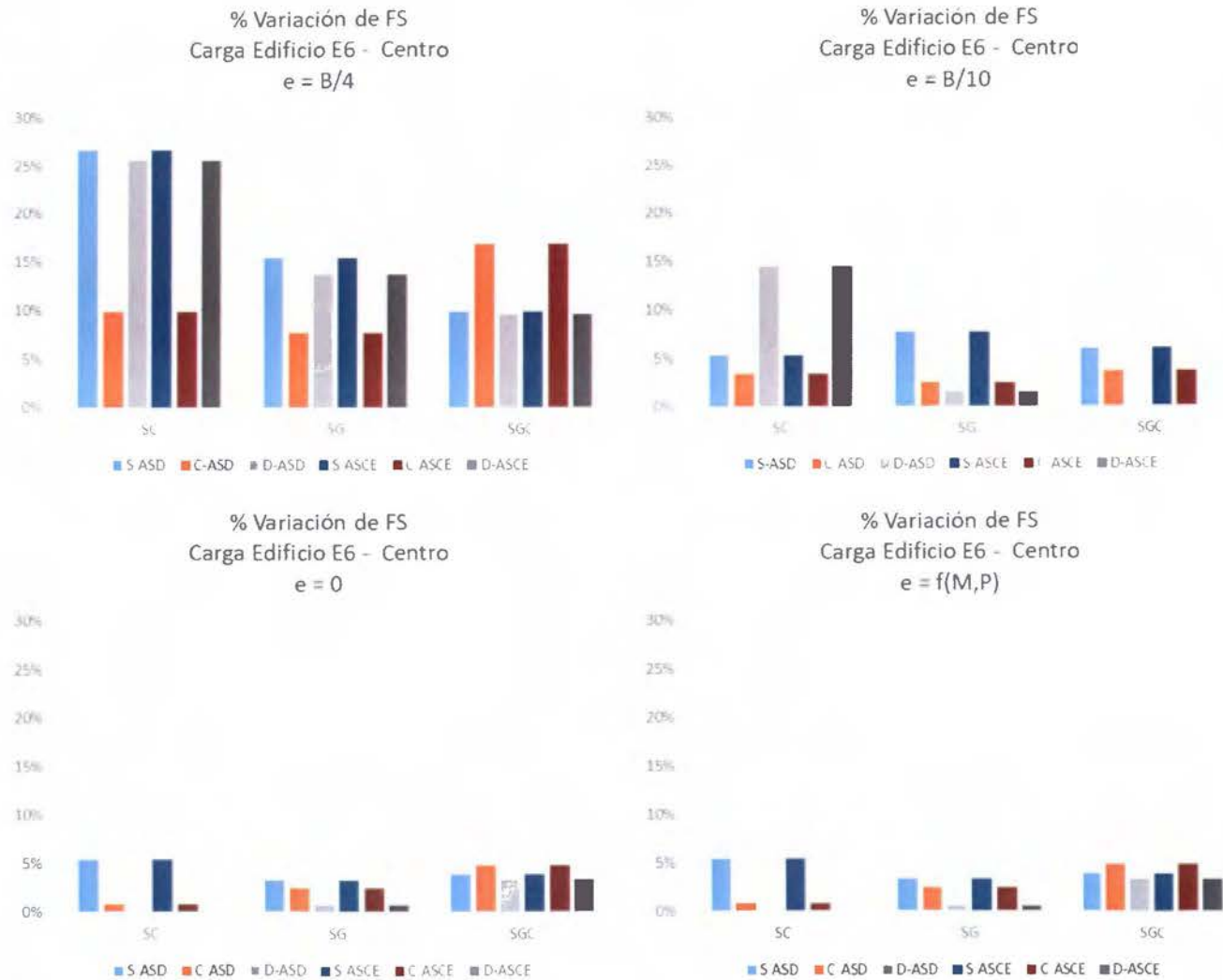
De los gráficos 31, 32 y 33 se observa que:

- a. Para la excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), se destaca lo siguiente:
  - i. Con carga media, en SC consistencia suelta alcanza una variación del 35%, el resto de tipos de suelo y consistencias están por debajo del 10% o no presentan variación.
  - ii. En carga alta, en SC para las consistencias suelta y densa presentan variación del 25%, el resto de suelos y consistencias son menores al 15%
  - iii. Con carga muy alta, sólo para el SC se presentan variaciones entre 20-30%, para los otros suelos la variación de menor al 15%.
- b. Para la excentricidad  $B/10$  ( $e < B/6$ ), se obtuvo lo siguiente:
  - i. La carga medio presenta variaciones menores al 15%.
  - ii. La carga alta en general presenta variaciones menores al 15%, excepto para el SGC consistencia suelta que alcanza el 20%.
  - iii. En carga muy alta presentan variaciones menores al 8%.
- c. Para el caso sin excentricidad y excentricidad  $f(M,P)$ , las variaciones son menores al 20%.

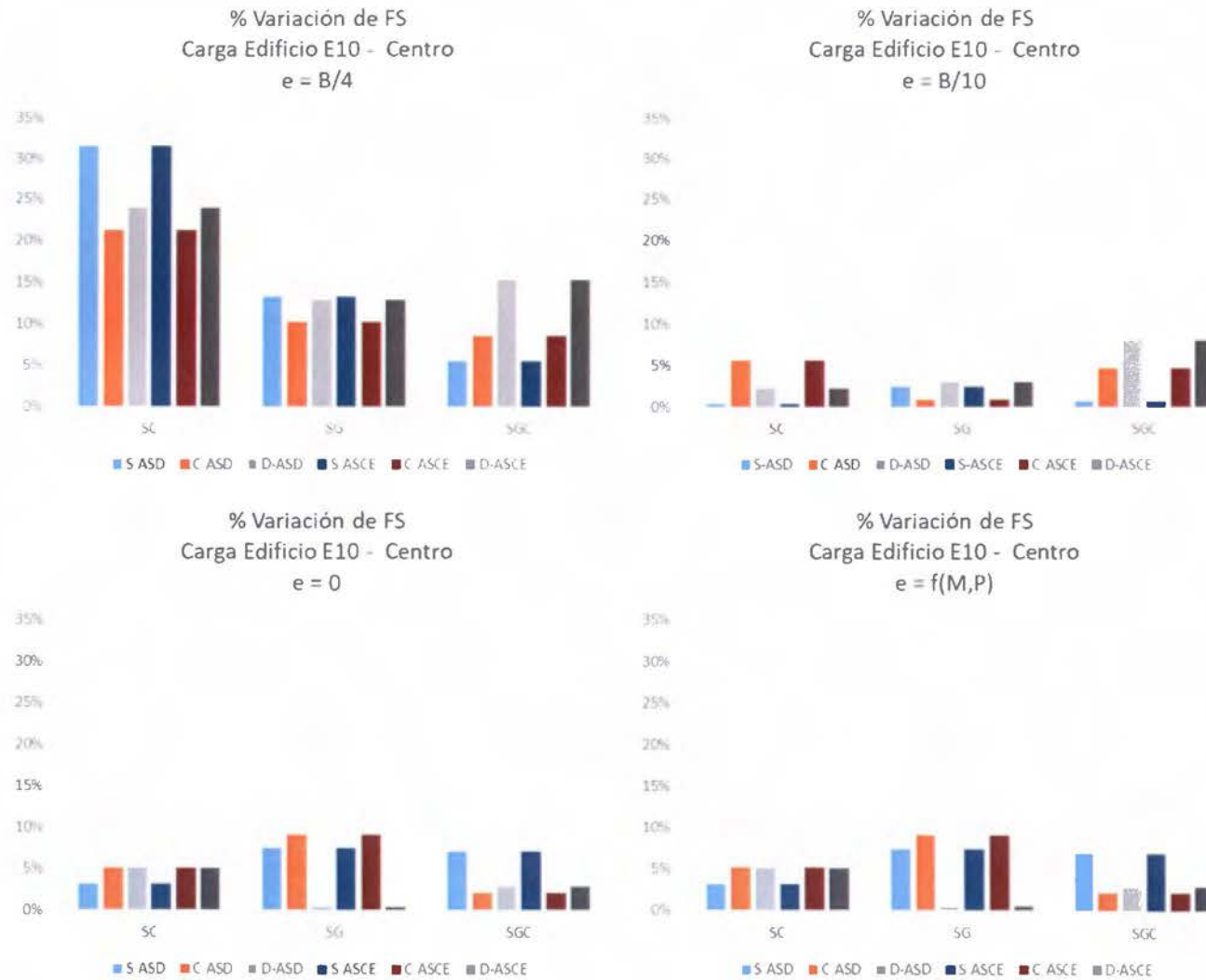
**Gráfico 31. Variación en porcentaje del Factor de Seguridad – Carga Media**



**Gráfico 32.** Variación en porcentaje del Factor de Seguridad – Carga Alta



**Gráfico 33.** Variación en porcentaje del Factor de Seguridad – Carga Muy Alta





- d. De igual manera que en cimentaciones superficiales, el caso crítico o particular se presenta para el escenario de suelo cohesivo en consistencia suelta y excentricidad alta, en donde se presenta la mayor variación en los resultados obtenidos respecto a los demás casos estudiados.

#### **4.2.5 Variación del Factor de Reducción, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método ASD**

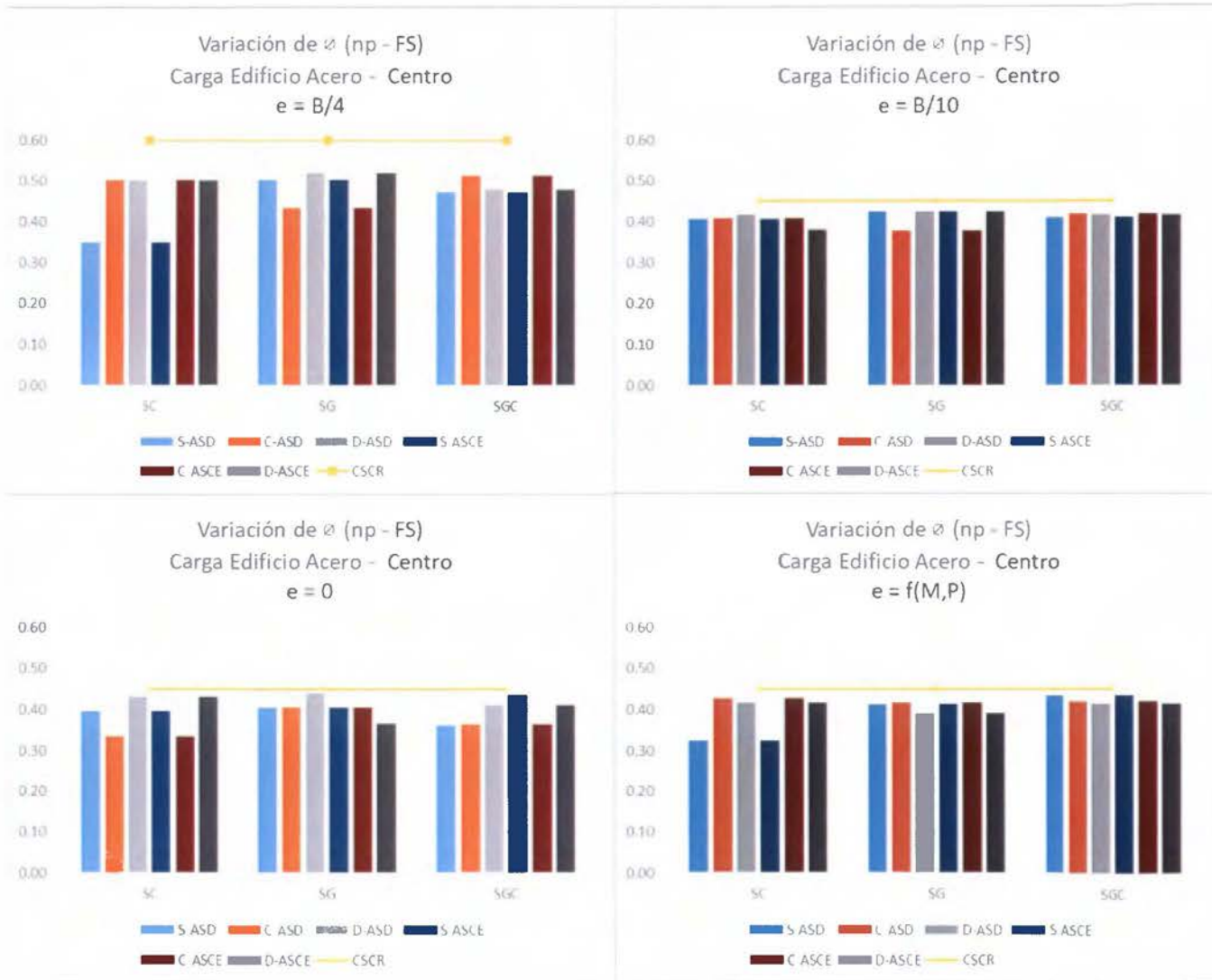
En los gráficos 34, 35 y 36 se revisa la variación del factor de reducción calculado por el método LRFD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método ASD, según la excentricidad para cada caso de carga, en el caso de la cimentación ubicada en el centro del edificio.

De los gráficos 34, 35 y 36 se obtiene que en general para todos los casos, el factor de reducción es menor al valor máximo indicado en el CSCR.

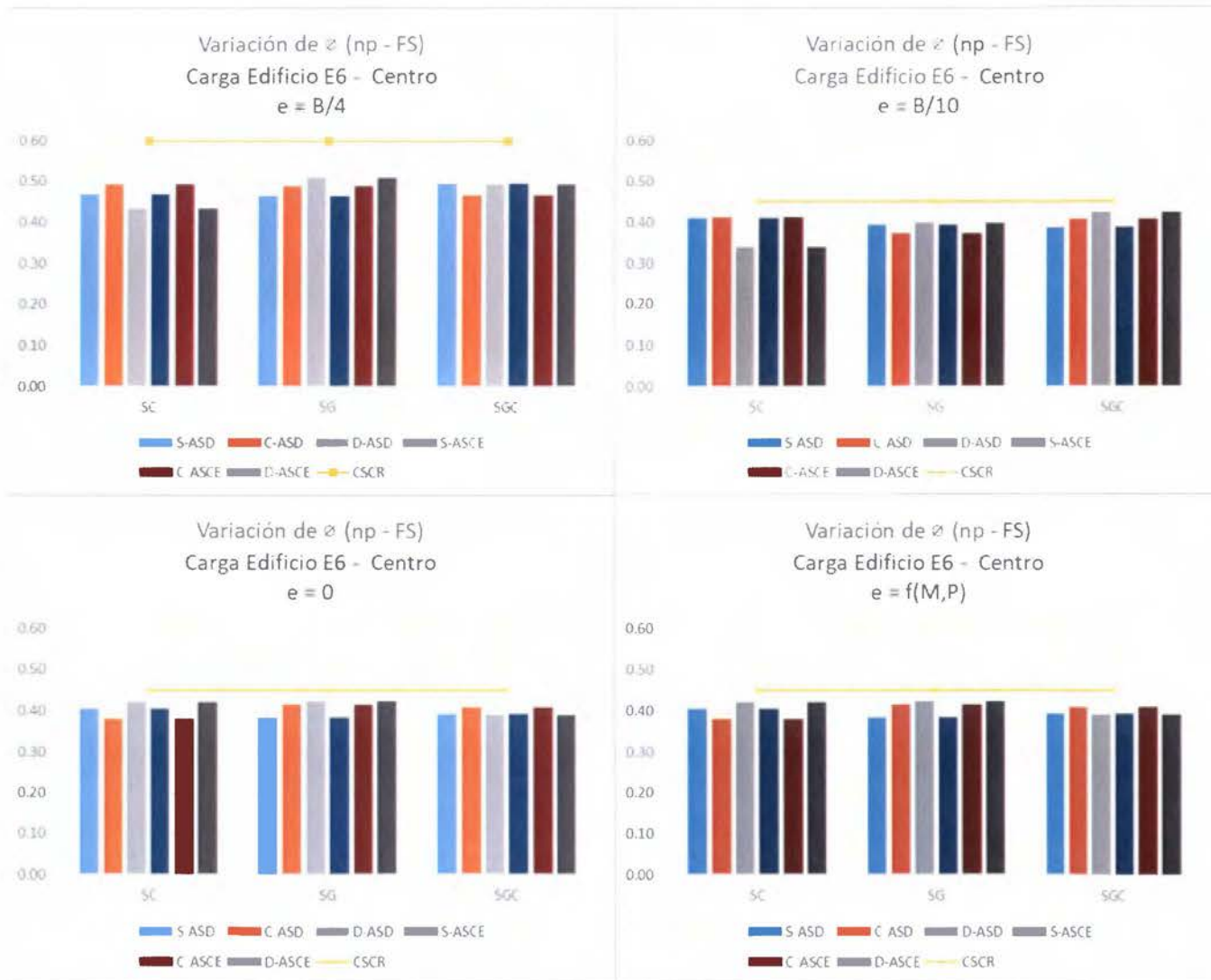
#### **4.2.6 Variación en porcentaje del Factor de Reducción, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método ASD**

En los gráficos 37, 38 y 39 se revisa la variación en porcentaje del factor de reducción, calculado por el método LRFD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método ASD, según la excentricidad para cada caso de carga, en el caso de la cimentación ubicada en el centro del edificio.

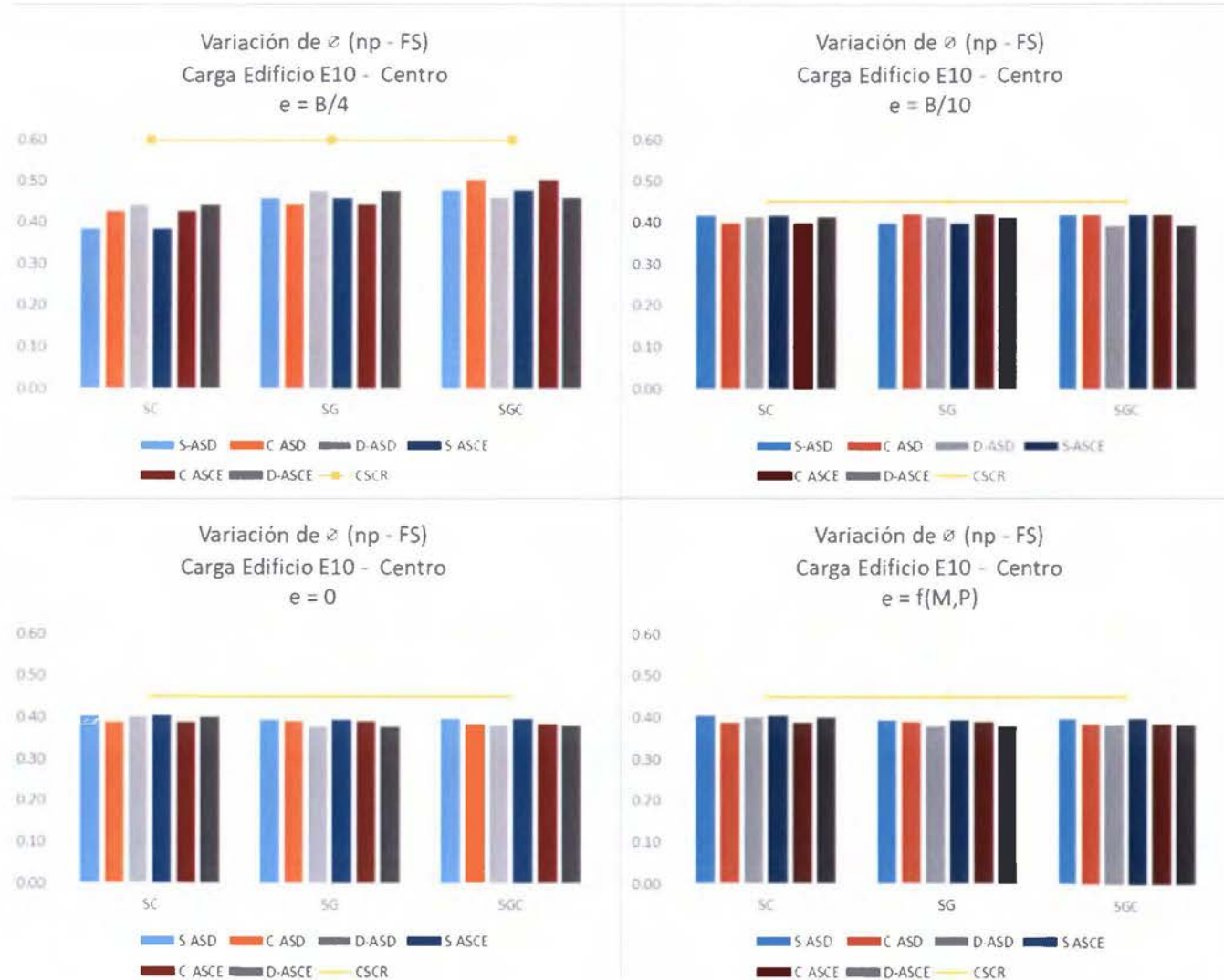
Gráfico 34. Variación del Factor de Reducción – Carga Media



**Gráfico 35. Variación del Factor de Reducción – Carga Alta**



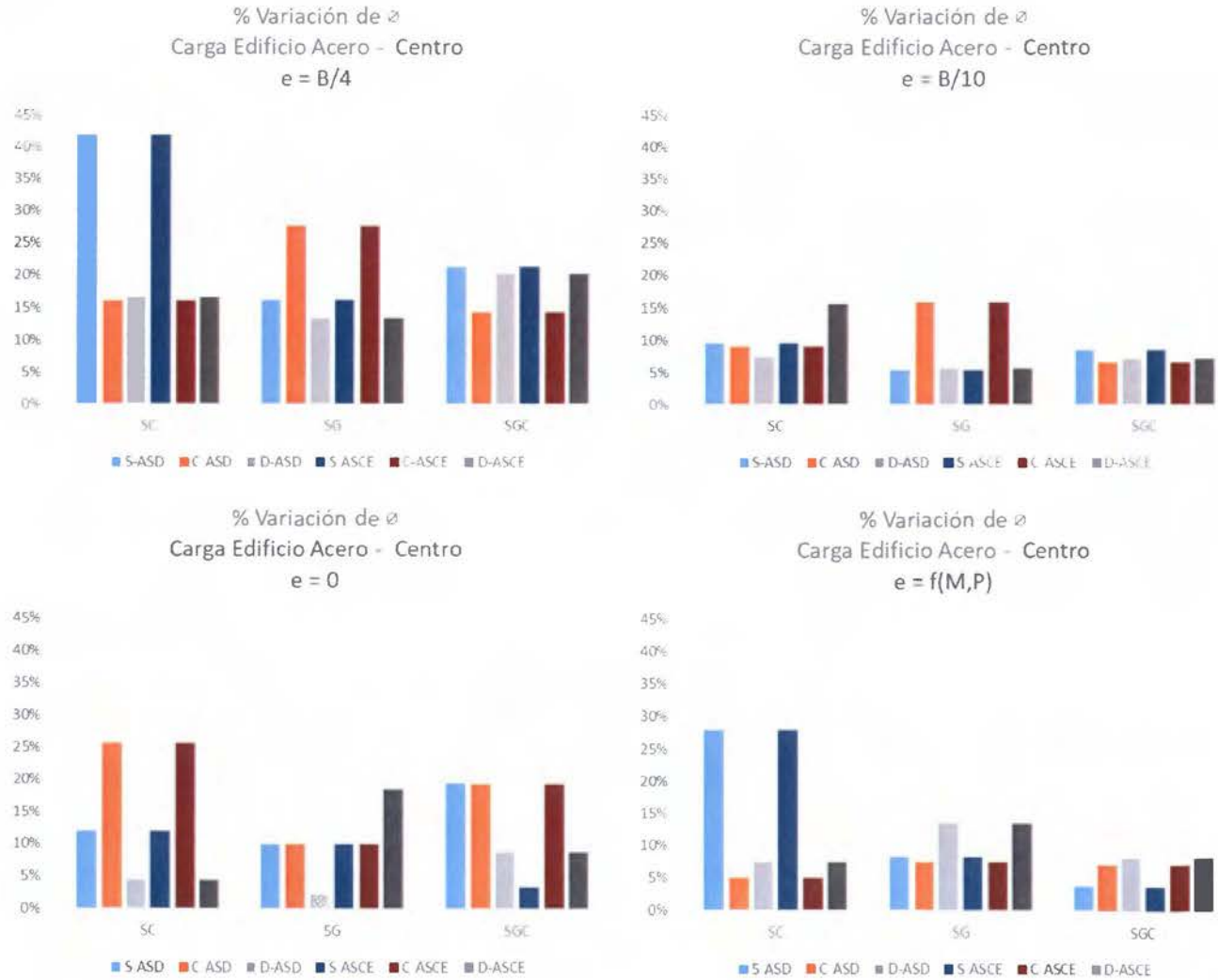
**Gráfico 36. Variación del Factor de Reducción – Carga Muy Alta**



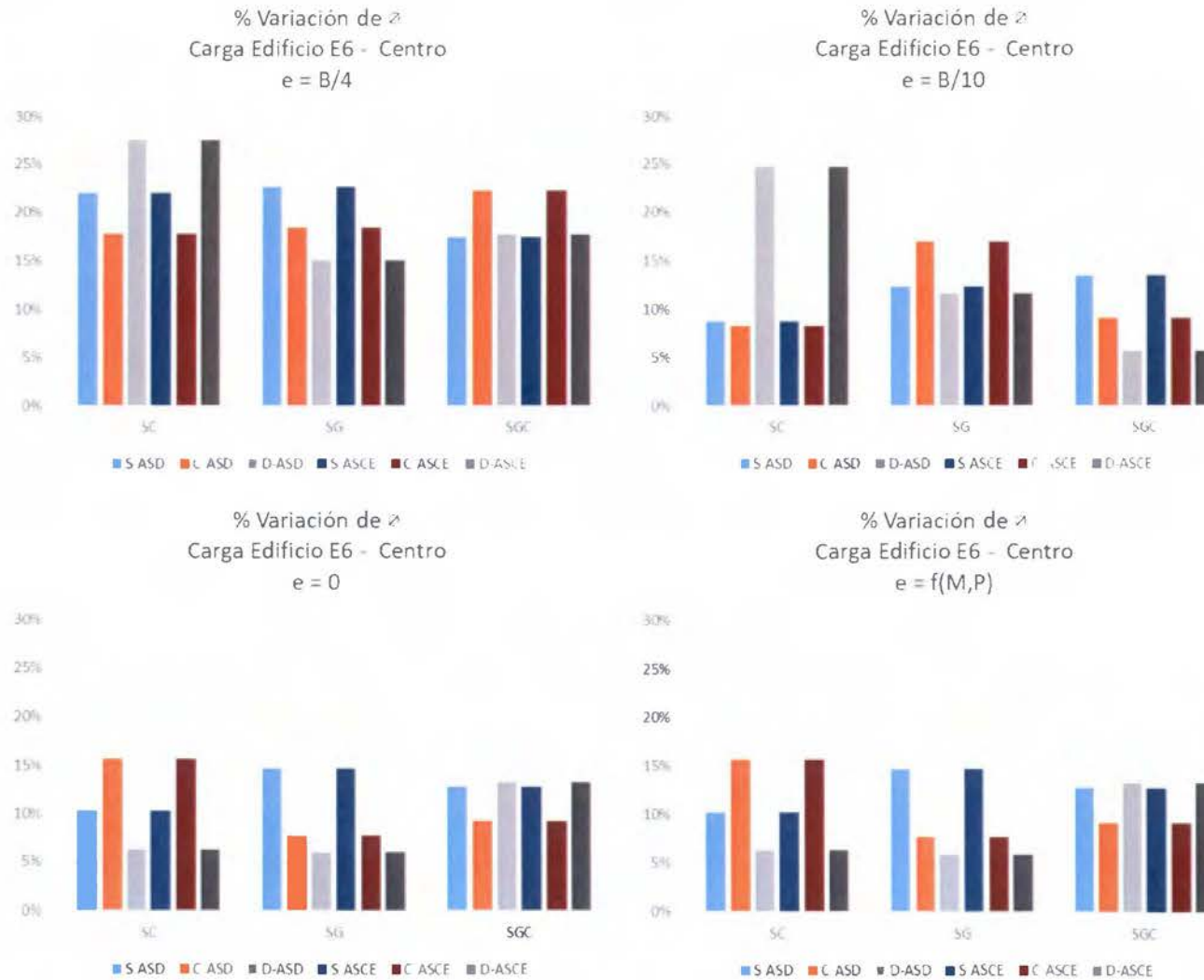
De esos gráficos se obtiene que:

- a. Para la excentricidad  $B/4$  ( $B/6 < e < B/3$ ), se destaca lo siguiente:
  - i. Con carga media, para SC consistencia suelta se tiene variación del 40%, seguido para SG consistencia compacta con 25%; y el resto de 20% o menos.
  - ii. Con carga alta, en general la variación es del 25% o menos.
  - iii. Con carga muy alta, en general la variación oscila entre 20%-28%, con un valor máximo de 35% para el SC consistencia suelta.
- b. Para la excentricidad  $B/10$  ( $e < B/6$ ), se obtuvo lo siguiente:
  - i. Con carga media la variación es menor al 16%.
  - ii. Con carga alta, en general la variación esta entre 5%-15%, con valor máximo del 25% para el SC consistencia densa.
  - iii. Con carga alta oscila entre el 7%-13%, o sin variación para SC en ASD.
- c. Para el caso sin excentricidad, se obtuvo lo siguiente:
  - i. Con carga media, para el SC consistencia compacta se tiene una variación del 25%, para el resto es menor al 20%.
  - ii. Para la carga alta y muy alta, se tiene una variación menor al 16%.
- d. Para la excentricidad  $f(M,P)$ , se destaca lo siguiente:
  - i. Con carga media, en SC consistencia suelta la variación es de 28% y el resto menor al 15%.
  - ii. Para la carga alta y muy alta tiene el mismo comportamiento que el caso sin excentricidad.
- e. El comportamiento descrito en los apartados anteriores se repite para el presente punto, en donde en la condición de excepción de los resultados generales, se produce en el caso del suelo cohesivo con consistencia blanda y excentricidad alta, en donde se presentan los mayores porcentajes de variación.

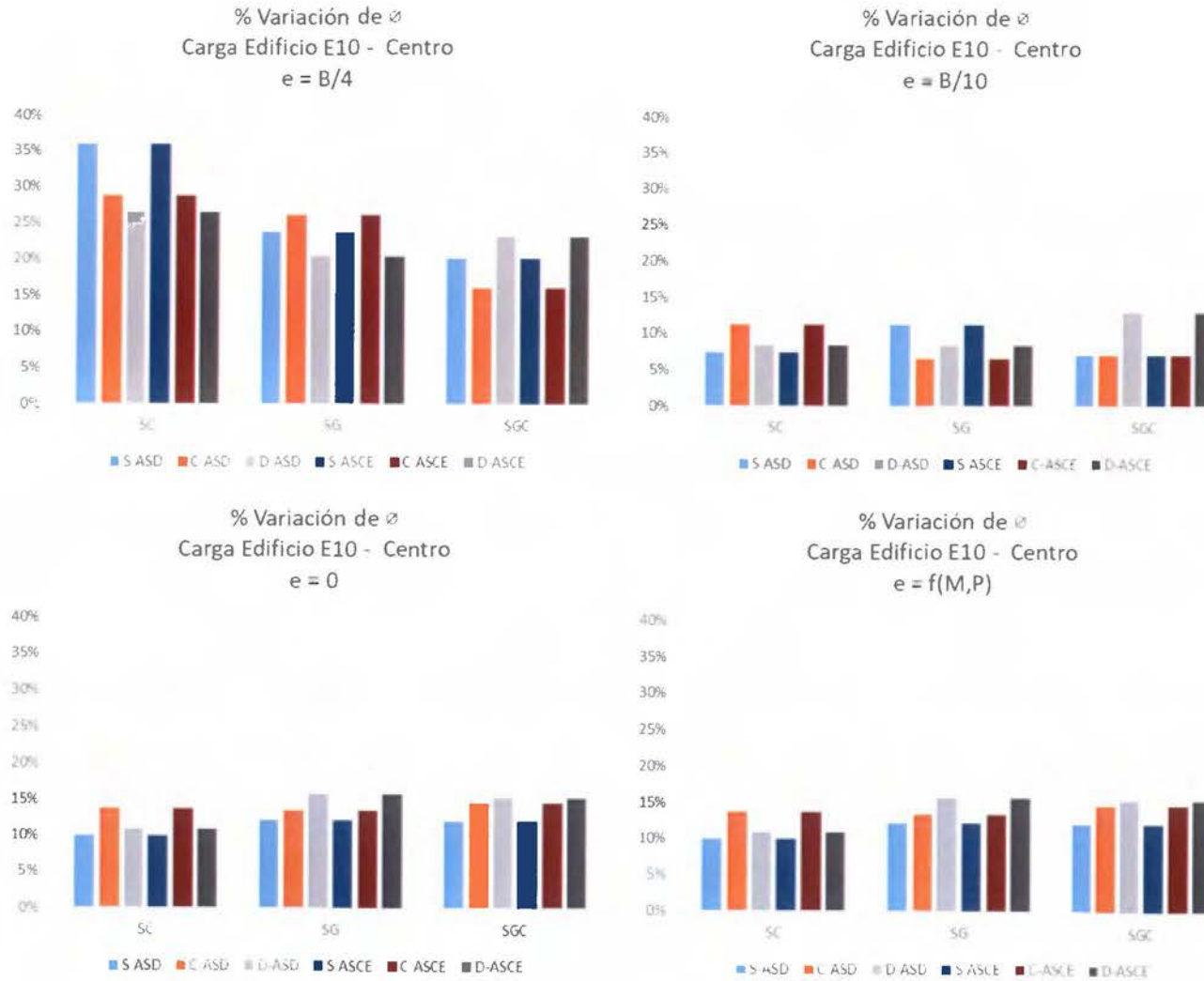
**Gráfico 37. Variación en porcentaje del Factor de Reducción – Carga Media**



**Gráfico 38. Variación en porcentaje del Factor de Reducción – Carga Alta**



**Gráfico 39.** Variación en porcentaje del Factor de Reducción – Carga Muy Alta





### **4.3 Comparación de valores del factor de reducción $\phi$ entre CSCR y normas internacionales**

En éste apartado, se presenta en forma de tablas, la comparación de los valores del factor de reducción  $\phi$ , entre los indicados en el CSCR y los vigentes en normas internacionales.

Se quiere con ésta comparación, revisar los valores en normas internacionales y sus diferencias respecto a lo normado en nuestro CSCR.

#### **4.3.1 Cimentaciones superficiales**

En las tablas 36 y 37, se muestran los valores de los factores de reducción establecidos en distintas normas internacionales, y finalmente se indican los valores establecidos en el CSCR 2010.

Como se observa en la tabla 36, para las normas ASCE y AASHTO, la definición de factores de reducción se realiza con una especificación más detallada en función del tipo de suelo y método de investigación utilizado para obtener los parámetros geotécnicos. Las demás normas hacen referencia a un solo valor en función de que las características de los parámetros geotécnicos están inferidas en los factores que modificaron éstos parámetros y los de las cargas aplicadas al terreno.

Se puede identificar al comparar los valores de los factores de reducción de normas internacionales respecto a los factores de reducción del CSCR, que se encuentran en los rangos establecidos internacionalmente y que no tienen mayores variaciones respecto a ellos.

**Tabla 36.** Comparación de factores de reducción de distintas normas internacionales para cimentaciones superficiales

Caso de diseño	Factores de resistencia de ASCE-7		Factores de resistencia de AASHTO (1998) (art. 2004)		Factores de resistencia de AASHTO (1998), modificado después de la tabla 10.5.5-1 (art. 2005)	EC-7 (valor recomendado)	España	Alemania Francia Chipre	Finlandia	Italia	México (DF)	Perú	Ecuador	Costo Rico
	D/B < 0.1	D/B => 0.1	D/B < 0.1	D/B => 0.1		Valor $\phi$ equivalente	Valor $\alpha$ equivalente	Valor $\alpha$ equivalente	Valor $\alpha$ equivalente	Valor $\alpha$ equivalente				
Placas en arena					Placas en arena									
Placa rectangular usando CPT	$\alpha \leq 39^\circ$	0.40	0.45	0.42	0.47	0.71	0.54	0.71	0.65	0.43	0.35 / 0.70	Utiliza FS por norma para cimentación	Utiliza FS por norma para cimentación	0.45 / 0.60
	$\alpha > 39^\circ$	0.30	0.35	0.31	0.36									
Placa rectangular usando SPT		0.30	0.35	0.31	0.36									
Placas en arcilla					Placas en arcilla									
Zapatas rectangulares usando factores de Salgado et al. (2003) (CPT)		0.73		0.76		0.60	0.54	0.71	0.65	0.43	0.35 / 0.70	Utiliza FS por norma para cimentación	Utiliza FS por norma para cimentación	0.45 / 0.60
Zapatas rectangulares usando factores de Meyerhof (1951) (CPT)		0.70	0.78	0.73	0.81									
Zapatas rectangulares usando factores de Salgado et al. (2003) (ensayos en laboratorio)		0.52		0.54										
Zapatas rectangulares usando factores de Meyerhof (1951) (ensayos en laboratorio)		0.48	0.54	0.50	0.56									

**Tabla 37.** Comparación entre factor de reducción normado en Eurocódigo 7, valor recomendado por estudio y el normado en CSCR

Método de Proyecto 2	Capacidad portante		Costa Rica CSCR
	$\gamma$	Valor $\phi$ equivalente	
EC-7	1.40	0.71	0.45 / 0.60
Valor recomendado	2.10	0.48	

En la tabla 37, se indica un valor de factor de reducción recomendado, producto de un estudio realizado en función de la nueva propuesta del Eurocódigo, y al compararlo con los valores del CSCR, se puede concluir que tanto el valor de norma del EC-7 y el recomendado, no distan mucho de los especificados en el CSCR.

#### **4.3.2 Cimentaciones profundas**

En la tabla 38, se muestra la comparación de los valores de los factores de reducción de varias normas internacionales contra los valores estipulados en el CSCR para las cimentaciones profundas.

Se puede observar, que tanto para el EC-7 como para ASCE y AASHTO, los factores de reducción se establecen con una mayor especificación en función de la forma de instalación del pilote y del tipo del material en donde se instala, lo cual se diferencia de la práctica en nuestro medio, dado que nuestro CSCR no tiene una división tan detallada para la definición del factor de reducción a emplear en el diseño de pilotes.

También se puede identificar de forma general, que los valores normados en nuestro CSCR no distan de forma representativa de los valores indicados en la norma internacional consultada, a excepción de lo estipulado para México DF, el cual sería el que presenta una mayor variación.

**Tabla 38.** Comparación de factor de reducción de normas internacionales y los estipulados en CSCR, para pilotes

Concepto	Símbolo	Pilotes hincados		Pilotes perforados		Pilotes de barrena continua con control de parámetros		Pilotes de barrena continua sin control de parámetros	
		EC-7	$\phi$ equivalente	EC-7	$\phi$ equivalente	EC-7	$\phi$ equivalente	EC-7	$\phi$ equivalente
Resistencia por punta	$\gamma_b$	1.25	0.80	1.35	0.74	1.45	0.69	1.50	0.67
Resistencia por fuste	$\gamma_s$	1.05	0.95	1.10	0.91	1.15	0.87	1.20	0.83
Modelo	$\gamma_{R,d}$	1.40	0.71	1.40	0.71	1.40	0.71	1.40	0.71
<b>Resistencia total</b>	<b><math>\gamma_t</math></b>	1.15	<b>0.87</b>	1.25	<b>0.80</b>	1.30	<b>0.77</b>	1.35	<b>0.74</b>
<b>México (DF)</b>		0.70		0.70		0.70		0.70	
<b>Comparación CSCR</b>		0.45 / 0.60		0.45 / 0.60		0.45 / 0.60		0.45 / 0.60	

Concepto	Diseño de pilotes hincados en arena de punta cerrada en base a las propiedades del suelo			Diseño directo de pilotes hincados en arena de punta cerrada			Diseño de pilotes hincados en arena de punta abierta en base a las propiedades del suelo			Diseño directo de pilotes hincados en arena de punta abierta (CPT)			
	ASCE-7	AASHTO	FS	ASCE-7	AASHTO	FS	ASCE-7	AASHTO	FS	ASCE-7	AASHTO	FS	
Capacidad de punta	0.5	0.5	3.9	0.56	0.59	2.9	0.58	0.6	3.9	0.66	0.69	3.9	
Capacidad friccional	0.37	0.4	3	0.51	0.53	2.6	0.37	0.4	2.6	0.37	0.4	2.3	
<b>México (DF)</b>		0.70			0.70			0.70			0.70		
<b>Comparación CSCR</b>		0.45 / 0.60			3.00 / 2.50			0.45 / 0.60			3.00 / 2.50		

Concepto	Diseño directo de pilotes perforados en arena en base a las propiedades del suelo			Diseño directo de pilotes perforados en arena (CPT)			Diseño de pilotes hincados en arcilla en base a las propiedades del suelo			Diseño de pilotes perforados en base a las propiedades del suelo			
	ASCE-7	AASHTO	FS	ASCE-7	AASHTO	FS	ASCE-7	AASHTO	FS	ASCE-7	AASHTO	FS	
Capacidad de punta	0.56	0.58	2.7	0.64	0.67	2.3	0.66	0.69	2.9	0.66	0.69	2.3	
Capacidad friccional							0.44	0.46	2.3				
<b>México (DF)</b>		0.70			0.70			0.70			0.70		
<b>Comparación CSCR</b>		0.45 / 0.60			3.00 / 2.50			0.45 / 0.60			3.00 / 2.50		

## **4.4 Propuesta de valores del factor de reducción $\phi$ para compatibilización de metodologías**

En los apartados anteriores se presentaron los resultados de los cálculos para la definición de la dimensión de las cimentaciones y las variaciones entre éstas.

Posterior al cálculo y análisis de comparación entre resultados, se realizó una revisión de los factores de reducción, con el fin de compatibilizar los resultados entre las metodologías en estudio.

El procesamiento de la información obtenida en los cálculos, consiste en utilizar como un parámetro, los valores de la dimensión B, obtenida en el cálculo con la metodología ASD, y emplearlo en la metodología LRFD y finalmente despejar el valor del factor de reducción  $\phi$ .

### **4.4.1 Combinaciones Estáticas**

De acuerdo con el CSCR (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011), las combinaciones 1 y 2, corresponden a la condición estática (sin sismo).

Para cada combinación (1 y 2), de los resultados obtenidos en los cálculos, se seleccionan los datos correspondientes a los valores de  $\phi$ , obtenidos por medio de los valores de B resultantes del análisis con la metodología ASD.

Todos éstos valores se agrupan por tipo de excentricidad de carga definida, para realizar un análisis estadístico a éstos datos, como se muestra en la tabla 39.

**Tabla 39.** Tratamiento estadístico a los valores del factor de reducción  $\phi$  calculados a partir de la dimensión B de metodología ASD

CSCR 2	Datos Estadística Placas	
	▼	
Combinación	e = B/4	e = B/10
Cantidad Datos	81.00	81.00
<i>Columna1</i>		
Media	0.55381753	0.45306406
Error típico	0.00384899	0.00231123
Mediana	0.56322565	0.45869498
Desviación estándar	0.0346409	0.02080106
Varianza de la muestra	0.00119999	0.00043268
Curtosis	-0.22906484	-0.46926478
Coefficiente de asimetría	-0.80376214	-0.66043938
Rango	0.14403442	0.08587125
Mínimo	0.46051742	0.39890237
Máximo	0.60455185	0.48477362
Suma	44.8592199	36.6981893
Cuenta	81	81
Nivel de confianza (95.0%)	0.00765973	0.00459949

Para cada tipo de excentricidad, se determina la media, que se define como representativa de la muestra, y se calcula un promedio con los valores entre las combinaciones 1 y 2, como se muestra en la tabla 40.

**Tabla 40.** Cálculo de propuesta de factor de reducción

Relación	Excentricidad	Combinación		Relación	Excentricidad	Combinación
		CSCR 1	CSCR 2			CSCR 1 Y CSCR 2
$q_{\min}/q_{\max} < 0.25$	e = B/4	0.50	0.47	$q_{\min}/q_{\max} < 0.25$	e = B/4	0.47
$q_{\min}/q_{\max} > 0.25$	e = B/10	0.47	0.41	$q_{\min}/q_{\max} > 0.25$	e = B/10	0.41

En la tabla 40, se puede observar que para obtener los valores propuestos de  $\phi$ , se realizó la definición por tipo de excentricidad:

1. Para la relación  $q_{\min}/q_{\max}<0.25$  se le asignan los valores obtenidos con  $e=B/4$  (corresponde a  $B/6<e<B/3$ , con  $q_{\min}=0$ )
2. Para la relación  $q_{\min}/q_{\max}>0.25$  se le asignan los valores obtenidos con  $e=B/10$  (corresponde a  $e<B/6$ )

#### 4.4.2 Combinaciones Pseudoestáticas

De acuerdo con el CSCR (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011), las combinaciones 3 y 4, corresponden a la condición pseudoestática (con sismo).

La propuesta para los valores de factor de reducción  $\phi$ , se definieron en función de la combinación de cargas 3+ (el símbolo "+" hace referencia, a que, en la combinación, la carga de sismo se suma), la cual es la combinación semejante con la combinación 6b del ASCE; la cual se utilizó como parámetro de comparación.

Para la combinación 3+, de los resultados obtenidos en los cálculos, se seleccionan los datos correspondientes a los valores de  $\phi$ , obtenidos por medio de los valores de B resultantes del análisis con la metodología ASD.

Todos éstos valores se agrupan por tipo de excentricidad de carga definida, para realizar un análisis estadístico a éstos datos, como se muestra en la tabla 41.

**Tabla 41.** Tratamiento estadístico a los valores del factor de reducción  $\phi$  calculados a partir de la dimensión B de metodología ASD

Combinación	$\phi$ ASD $e < B/6$
Cantidad Datos	48.00
<i>Columna1</i>	
Media	0.662430363
Error típico	0.022369261
Mediana	0.742105351
Desviación estándar	0.154978789
Varianza de la muestra	0.024018425
Curtosis	1.706366305
Coefficiente de asimetría	-1.637289408
Rango	0.5729016
Mínimo	0.193595381
Máximo	0.766496981
Suma	31.7966574
Cuenta	48
Nivel de confianza(95.0%)	0.045001149
0.66	
$q_{\min}/q_{\max} > 0,25$	

El análisis proporciona el valor medio del factor de reducción  $\phi$ , para la relación  $q_{\min}/q_{\max} > 0.25$ , respecto a los valores obtenidos con  $e=B/10$  (corresponde a  $e < B/6$ ); que finalmente se define como 0.65, que es igual al valor presente actualmente en el CSCR y que con el presente estudio se confirma dicho valor.

La relación  $q_{\min}/q_{\max} < 0.25$ , se obtiene a partir del valor de la relación anterior, al ser multiplicado por 1.25.



En el apartado anterior, se tiene para la condición estática, que los valores del factor de reducción para las relaciones  $q_{\min}/q_{\max} < 0.25$  y  $> 0.25$ , son 0.40 y 0.50 respectivamente.

La relación entre 0.50/0.40 produce un valor de 1.25, la cual se define mantener para la condición pseudoestática; por tanto, a partir del valor corroborado de 0.65 para la relación  $q_{\min}/q_{\max} > 0.25$ , se multiplica por el valor obtenido de 1.25 para mantener la misma relación, y finalmente se define que para  $q_{\min}/q_{\max} < 0.25$ , el valor de  $\phi = 0.80$ .

#### 4.4.3 Propuesta final de valores de factor de reducción $\phi$

En la tabla 42, se comparan los valores establecidos para el factor de reducción  $\phi$  en el CSCR vigente y el CSCR 2002.

**Tabla 42.** Comparación entre los valores  $\phi$  entre CSCR 2002 y 2010

<i>Relaciones</i> $q_{\min}/q_{\max}$	<i>Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2003, p. 13/2</i>	<i>Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, p. 13/2</i>	<i>% Variación</i>	
<b>Combinación 1 y 2</b>	$\phi$	$\phi$		
$q_{\min}/q_{\max} > 0,25$	0.5	0.45	10.00%	Reducción
$q_{\min}/q_{\max} < 0,25$	0.6	0.60	0.00%	No varía
<b>Combinación 3 y 4</b>	$\phi$	$\phi$		
$q_{\min}/q_{\max} > 0,25$	0.67	0.65	2.99%	Reducción
$q_{\min}/q_{\max} < 0,25$	0.83	0.85	-2.41%	Aumento

En la tabla 42, se puede comparar la variación en el valor de  $\phi$  entre los últimos dos códigos.

De acuerdo con los resultados indicados en los apartados anteriores, en la tabla 43 se indican los valores propuestos de factor de reducción  $\phi$ .

**Tabla 43.** Propuesta de valores de factor de reducción  $\phi$ 

<i>Relaciones</i> $q_{\text{min}}/q_{\text{máx}}$	<i>Cimentación Superficial</i> <i>Propuesta</i>
<b>Combinación 1 y 2</b>	$\phi$
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} > 0,25$	0.40
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} < 0,25$	0.50
<b>Combinación 3 y 4</b>	$\phi$
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} > 0,25$	0.65
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} < 0,25$	0.80

En la tabla 44, se comparan los valores vigentes de  $\phi$  y los propuestos, como resultado del presente estudio.

**Tabla 44.** Propuesta de valores de  $\phi$  y comparación con los valores vigentes

<i>Relaciones</i> $q_{\text{min}}/q_{\text{máx}}$	<i>Colegio Federado de</i> <i>Ingenieros y</i> <i>Arquitectos de Costa</i> <i>Rica, 2011, p. 13/2</i>	<i>Cimentación</i> <i>Superficial</i> <i>Propuesta</i>	<i>% Variación</i>	
<b>Combinación 1 y 2</b>	$\phi$	$\phi$		
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} > 0,25$	0.45	0.40	11.11%	Reducción
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} < 0,25$	0.60	0.50	16.67%	Reducción
<b>Combinación 3 y 4</b>	$\phi$	$\phi$		
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} > 0,25$	0.65	0.65	0.00%	No varía
$q_{\text{min}}/q_{\text{máx}} < 0,25$	0.85	0.80	5.88%	Reducción

## V. CONCLUSIONES

1. Recomendación de nuevos valores de  $\phi$  (factor de reducción), con los cuales se compatibilizan los resultados del dimensionamiento de cimentaciones por medio del método de diseño último respecto a los obtenidos con el método de esfuerzos de trabajo; para que las comisiones encargadas de revisión del Código Sísmico de Costa Rica y Código de Cimentaciones de Costa Rica, valoren su cambio en las nuevas versiones de los códigos.
2. Las metodologías ASD son las que proporcionan los valores más altos en la dimensión B y número de pilotes para cimentación superficial y profunda respectivamente; en tanto que LRFD produce las menores dimensiones para ambos tipos de cimentación.
3. En general, la variación de la dimensión B o número de pilotes, obtenida por los métodos ASD respecto a los obtenidos por medio del método LRFD, es menor al 20%. En la investigación bibliográfica, no se encontró una norma o regla que defina un criterio de aceptabilidad o rechazo en términos de un rango de valores o valor máximo, en el cual se pueda sustentar una conclusión. Sin embargo, en consulta con profesionales en ingeniería estructural e ingeniería geotécnica, se llega a la definición de que una diferencia en el valor de la dimensión de la cimentación obtenida por los métodos en estudio, igual o menor al 20%, puede considerarse como aceptable en términos de la seguridad.
4. Para los tres tipos de cargas, el caso crítico se presenta en la combinación se suelo cohesivo con consistencia blanda y la mayor excentricidad (B/4). En éste caso se encuentra la mayor diferencia en el valor de la dimensión B (o número de pilotes) en el método ASD del código y del ASCE, respecto al valor obtenido por medio del método LRFD. Los mayores porcentajes de variación rondan el 30-40%, tanto en cimentaciones superficiales como

en cimentaciones profundas. Sin embargo, éste es un caso extremo y poco usual, que en la realidad casi no se presenta, dado que, en condiciones de terreno blando o suelto, lo normal en la práctica es mejorar dicho terreno para lograr una consistencia compacta o densa.

5. Si se quiere utilizar las combinaciones de carga del método ASD del CCCR, no se deben utilizar las cargas sísmicas que provienen del CSCR, debido a que éstas últimas están conceptualizadas para su uso en la metodología LRFD. Por lo anterior, si se requiere utilizar las cargas sísmicas provenientes del CSCR en la metodología ASD del CCCR, se recomienda multiplicar las cargas sísmicas por un factor de 0.70, para que simulen ser un sismo de servicio congruente con la combinación de carga del método ASD que se requiere.
6. Las combinaciones 1 y 2 (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2011, pág. 6/3), son las que producen valores altos de CU y momento. Los momentos altos son el producto de calcularlos con una excentricidad fija determinada, que es el parámetro utilizado en éste estudio.
7. Para cimentaciones profundas, es válido el uso de los factores de reducción establecidos en el CSCR, considerando la suposición de la aplicación del concepto de área equivalente representativa debajo del grupo de pilotes y del concepto de  $Q_{representativo}$ , tal como se realiza para el cálculo de cimentaciones superficiales.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Para la próxima versión de los códigos CSCR2010 y CCCR, cambiar los valores del factor de reducción  $\phi$ , por los propuestos, según resultado del presente estudio, tal como se indican en la tabla 43.
2. Siempre que se tenga un terreno tipo suelo cohesivo con consistencia blanda, se recomienda emplear algún método de mejoramiento de suelos para pasar a una consistencia media o firme, para el caso de cimentaciones superficiales.
3. Valorar por parte de la comisión encargada de la revisión del CCCR y del CSCR en su apartado de cimentaciones, realizar la aclaración de que, para cimentaciones profundas, es válido el uso de los factores de reducción establecidos en el CSCR. Lo anterior considerando la suposición de la aplicación del concepto de área equivalente representativa debajo del grupo de pilotes y del concepto de  $Q_{\text{representativo}}$ , tal como se realiza para el cálculo de cimentaciones superficiales.
4. Valorar por parte de la comisión encargada de la revisión del CCCR y del CSCR en su apartado de cimentaciones, adicionar un apartado que trate de normar o recomendar un procedimiento de cálculo para cimentaciones en suelos que presenten material granular con fino, como apoyo normativo en éste tipo de escenario.
5. Los valores de factores de reducción  $\phi$  entre las tablas del CSCR y CCCR vigentes, al momento del presente estudio, varían por el cambio de versiones; coordinar entre las comisiones de revisión de ambos códigos, el unificar ésta tabla de valores de  $\phi$  para próximas versiones de ambos códigos.
6. Investigar la influencia de los métodos de determinación del parámetro de resistencia (investigación geotécnica SPT, CPT, triaxial, etc.) en el valor del factor de reducción respectivo.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia, USA.
- Asociación Costarricense de Geotecnia. (1994). *Código de Cimentaciones de Costa Rica* (1ra ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Asociación Costarricense de Geotecnia. (2009). *Código de Cimentaciones de Costa Rica* (2da ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Asociación Costarricense de Geotecnia. (2015). *Código geotécnico de taludes y laderas*. San José: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Bardet, J.-P. (1997). *Experimental soil mechanics* (Vol. 1). Prentice Hall.
- Bowles, J. E. (1997). *Foundation Analysis and Design*. (M.-H. B. Co, Ed.) Singapore.
- Bujang B. K., H., Faisal-Haji, A., Harwant, S., & Husaini, O. (2006). *Foundation Engineering Design and Construction in Tropical Soils*. Recuperado el 24 de Abril de 2016, de <http://www.crcnetbase.com.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/isbn/978-0-415-39898-5>
- Cabañes, C. J. (diciembre de 2016). Cimentaciones superficiales sometidas a cargas estáticas y sísmicas - U.D. 1 Tipología de las cimentaciones superficiales. Madrid, Madrid, España.
- Cabañes, C. J. (2016). Cimentaciones superficiales sometidas a cargas estáticas y sísmicas - U.D. 2 Cálculo de cimentaciones superficiales sometidas a cargas estáticas, rigideces estáticas. Madrid, España.

- Cabañes, C. J. (2016). Nota técnica 4 Presión de hundimiento, resumen práctico. *Cimentaciones superficiales sometidas a cargas estáticas y sísmicas*. Madrid, España.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (1974). *Código Sísmico de Costa Rica*.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2003). *Código Sísmico de Costa Rica 2002* (3ra ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2011). *Código Sísmico de Costa Rica 2010* (4ta ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Comité Europeo de Normalización (CEN). (2010). *Eurocódigo 7: Proyecto Geotécnico*. Editorial Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
- Crespo Rodriguez , P., Parrilla Alcaide , Á., Estaire Gepp, J., Ortega Conejo, M., & Pérez Caldentey, A. (31 de Octubre de 2013). Bases de cálculo del Eurocódigo 7. Un cambio en la metodología para el proyecto de cimentaciones. (E. España, Ed.) *Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)*. Obtenido de <http://www.elsevier.es>
- Cruz Torres, M. (2013). *Índices de daño en marcos regulares diseñados según el Código Sísmico de Costa Rica*. San José, Costa Rica.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (4ta ed.). Editorial Cengage Learning Editores S.A. de C.V.
- Das, B. M. (2001). *Principios de Ingeniería de Cimentaciones* (4ta ed.). Editorial Ediciones Paraninfo S.A.

- Das, B. M. (2008). *Principios de Ingeniería en Cimentaciones, 5a. ed.* Distrito Federal México: Cengage Learning.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima ed.). México, D.F., México: Cengage Learning Editores, S.A.
- Das, B. M. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica* (Vol. 4ta ed.). México D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.
- Dirección General de Carreteras. (2009). *Guía de Cimentaciones en Obras de Carretera.* (M. d. Fomento, Ed.) España.
- Estaire Gepp, J., & Perucho Martínez, Á. (2008). Comparación del dimensionamiento de cimentaciones superficiales aplicando el Eurocódigo 7 y las normativas españolas. (CEDEX, Ed.) *Ingeniería Civil*(152 / 2008).
- Estaire Gepp, J., Pardo de Santayana Carrillo, F., & Perucho Martínez, Á. (7 de Enero de 2014). Bases del anejo nacional español del Eurocódigo EC-7 (proyecto geotécnico). (E. España, Ed.) *Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE)*. Obtenido de <http://www.elsevier.es>
- Foye, k., Abou Jaoude, G., & Salgado, R. (2004). *Diseño de Fundaciones Profundas por Estados Límites*. Informe Final, Escuela de Ingeniería Civil Universidad de Purdue, Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation, West Lafayette, Indiana. Obtenido de [https://www.inti.gob.ar/cirsoc/bibliografia\\_especifica\\_2005\\_07.html](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/bibliografia_especifica_2005_07.html)
- Foye, K., Salgado , R. & Scott, B. (1 de September de 2006). Assesment of Variable Uncertainties for Reliability-Based Desing of Foundations. (ASCE, Ed.) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9).
- Foye, K., Salgado , R., & Scott, B. (1 de September de 2006). Resistance Factor for use in shallow foundation LRFD. (ASCE, Ed.) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9).



- Fratelli, M. G. (1993). *Suelos, Fundaciones y Muros*. Caracas, Venezuela: Bonalde Editores.
- French, S. E. (1999). *Design of Shallow Foundations*. Recuperado el 24 de abril de 2016, de <http://ascelibrary.org.ezproxy.sibdi.ucr.ac.cr:2048/doi/book/10.1061/9780784403716>
- Garza Vasquez, L. (junio de 2000). *Diseño y Construcción de Cimentaciones*. Recuperado el 28 de abril de 2016, de [http://www.docentes.unal.edu.co/lgarza/docs/NOTAS\\_%20DYCC\\_%20v09-10-06.pdf](http://www.docentes.unal.edu.co/lgarza/docs/NOTAS_%20DYCC_%20v09-10-06.pdf)
- Goble, G. G. (2005). Reflections on LRFD for Geotechnical Applications. ASCE.
- González de Vallejo, L. F. (2002). *Ingeniería geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Holtz, R., & Kovacs, W. (1981). *An introduction to geotechnical engineering*. Prentice Hall.
- INTERNATIONAL, ASTM. (1996). *Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils: ASTM D 1586*. New York: ASTM.
- Juarez Morales, S. (2013). *Análisis y diseño de cimentaciones: una comparación de prácticas*. México, D.F., D.F., México: (Tesis de Maestría en Ingeniería Civil). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kavazanjian, E. J., Wang, J.-N. J., & Martin, G. R. (2011). *LRFD SEISMIC ANALYSIS AND DESIGN OF TRANSPORTATION GEOTECHNICAL FEATURES AND STRUCTURAL FOUNDATIONS NHI COURSE NO. 130094 REFERENCE MANUAL GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 3*. National Highway Institute (NHI), U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C. 20590.

- Kimmerling, R. E. (2002). *GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 6*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.
- Lambe, T. W., & Whitman, R. V. (1998). *Mecánica de Suelos*. D.F., México: Limusa.
- Peck, R. B., Hanson, W. E., & Thornburn, T. H. (1994). *Ingeniería de Cimentaciones* (2da ed.). D.F.: Limusa.
- Rodríguez-Marín, S. (2007). *Diseño geotécnico de cimentaciones por el método de diseño último y el método de esfuerzos de trabajo*. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio.
- Scott, B., Kim, B., & Salgado, R. (1 de April de 2003). Assesment of Current Load Factors for Use in Geotechnical Load and Resistance Factor Desing. (ASCE, Ed.) *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(4).
- Terzaghi, K., & Peck, R. (1948). *Soil mechanics in engineering practie*. (J. W., Ed.) New York.
- Villalobos-Camacho, M. (2008). *Comparación del diseño de cimentaciones con el método de diseño último y el método de esfuerzos de trabajo*. (Tesis de Licenciatura en Ingeniería Civil). Universidad de Costa Rica, Sede Rodrigo Facio.

## **VIII. ANEXOS**

## **8.1 ANEXO 1: TABLAS DE DATOS - CIMENTACIONES SUPERFICIALES**

Resumen de los resultados obtenidos del cálculo de cimentaciones superficiales, y comparaciones entre resultados.

Tipo de suelo	Consistencia	Edificio	Ubicación	Excéntrica	Combinación	Método LRFD B (m)	Método ASD B (m)	ASD % Variación de B	FS CCCR	FS (Br)	ASD % Variación de FS	e CSCR	e (B FS)	ASD % Variación de e	Formula ASCE	Método ASCE B (m)	ASCE % Variación de B	FS (B+2)	ASCE % Variación de FS	e (B FS)3	ASCE % Variación de e
Cohesivo	Blanda	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	2.14	2.21	3.15%	3.00	1.97	-34%	0.45	0.60	-33%	CP+CT	2.21	3.15%	1.97	-34%	0.60	-33%
Cohesivo	Blanda	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 3+	1.53	2.06	34.62%	2.00	0.97	-52%	0.85	0.45	48%	0.6CP+0.7CS	2.36	56.57%	0.96	-52%	0.35	59%
Cohesivo	Blanda	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 4+	1.42	1.86	31.12%	2.00	1.11	-44%	0.85	0.43	49%	CP+0.7CS	2.21	56.03%	1.03	-50%	0.30	64%
Cohesivo	Blanda	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	2.48	2.55	3.06%	3.00	1.94	-34%	0.43	0.60	-37%	CP+CT	2.55	3.06%	1.98	-34%	0.60	-33%
Cohesivo	Blanda	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	1.90	2.26	19.02%	2.00	1.23	-39%	0.65	0.48	26%	CP+0.75CT+0	2.64	39.11%	1.58	-41%	0.35	46%
Cohesivo	Blanda	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	1.53	1.79	17.39%	1.60	1.18	-26%	0.81	0.54	37%	CP+0.7CS	2.42	38.43%	0.97	-39%	0.30	65%
Cohesivo	Blanda	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	1.53			1.60			0.85			0.6CP+0.7CS	1.94	27.38%	1.87	17%	0.46	46%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	6.46	6.80	5.35%	3.00	1.69	-44%	0.45	0.65	-44%	CP+CT	6.80	5.35%	1.69	-44%	0.65	-44%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 3+	4.28	5.17	20.63%	2.00	0.86	-57%	0.65	0.71	-10%	CP+0.75CT+0	6.63	34.83%	0.78	-61%	0.43	13%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 4+	3.83	4.62	21.17%	2.00	0.81	-57%	0.65	0.71	-9%	CP+0.7CS	6.09	39.58%	0.74	-63%	0.41	37%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 4++	3.83			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	4.33	13.43%	1.46	-27%	0.61	-24%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	4.80	5.07	5.64%	3.00	1.68	-44%	0.45	0.64	-43%	CP+CT	5.07	5.64%	1.68	-44%	0.64	-43%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	3.41	4.08	19.67%	2.00	0.87	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.75CT+0	5.12	50.23%	0.83	-58%	0.46	29%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	3.09	3.71	20.77%	2.00	0.88	-57%	0.65	0.71	-10%	CP+0.7CS	4.82	55.97%	0.77	-61%	0.43	34%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	3.09			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.53	14.26%	1.44	-28%	0.80	-23%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	8.36	8.82	5.52%	3.00	1.88	-44%	0.45	0.65	-44%	CP+CT	8.82	5.52%	1.68	-44%	0.65	-44%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 3+	5.58	6.71	20.27%	2.00	0.86	-57%	0.65	0.72	-17%	CP+0.75CT+0	8.62	34.57%	0.79	-63%	0.34	33%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 4+	4.98	6.04	21.17%	2.00	0.85	-57%	0.65	0.71	-9%	CP+0.7CS	7.95	39.53%	0.74	-63%	0.41	37%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 4++	4.98			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	5.65	14.46%	1.46	-27%	0.61	-24%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	6.48	6.85	5.84%	3.00	1.67	-44%	0.45	0.64	-43%	CP+CT	6.85	5.84%	1.67	-44%	0.64	-43%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	4.68	5.58	19.24%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.75CT+0	6.98	49.07%	0.84	-58%	0.47	28%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	4.27	5.15	20.89%	2.00	0.86	-57%	0.65	0.71	-10%	CP+0.7CS	6.63	55.27%	0.78	-61%	0.43	34%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	4.27			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	4.89	14.42%	1.43	-28%	0.79	-22%
Cohesivo	Media	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	1.21	1.22	1.31%	3.00	2.34	-22%	0.45	0.54	-21%	CP+CT	1.22	1.31%	2.34	-22%	0.54	-21%
Cohesivo	Media	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 4+	0.94	1.06	12.70%	3.00	1.05	-65%	0.89	0.70	18%	CP+0.7CS	1.02	8.60%	1.30	-31%	0.35	11%
Cohesivo	Media	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	1.80	1.42	1.23%	3.00	2.37	-21%	0.45	0.54	-20%	CP+CT	1.42	1.23%	2.37	-21%	0.54	-20%
Cohesivo	Media	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	1.01	1.14	12.88%	3.00	1.04	-65%	0.85	0.70	18%	CP+0.7CS	1.09	7.97%	1.07	-33%	0.76	10%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	3.44	3.56	3.44%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	3.56	3.44%	1.75	-42%	0.67	-49%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 3+	2.40	2.85	18.55%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	3.47	44.52%	0.90	-59%	0.50	23%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 4+	2.15	2.55	18.29%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.7CS	3.19	47.90%	0.86	-57%	0.47	27%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 4++	2.15			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.41	11.77%	1.50	-25%	0.83	-28%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	2.56	2.65	3.73%	3.00	1.74	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	2.65	3.73%	1.74	-42%	0.67	-49%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	1.91	2.25	17.50%	2.00	0.90	-53%	0.65	0.75	-16%	CP+0.75CT+0	2.68	40.21%	0.95	-56%	0.53	19%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	1.74	2.06	17.89%	2.00	0.90	-53%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	2.52	44.62%	0.90	-55%	0.50	24%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	1.74			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.96	12.57%	1.48	-26%	0.82	-26%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	4.46	4.62	3.51%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	4.62	3.51%	1.75	-42%	0.67	-49%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 3+	3.13	3.70	18.19%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	4.31	41.24%	0.90	-55%	0.50	23%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 4+	2.81	3.33	18.28%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.7CS	4.16	47.92%	0.86	-57%	0.47	27%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 4++	2.81			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.14	11.78%	1.50	-25%	0.83	-28%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	3.45	3.59	3.93%	3.00	1.74	-41%	0.45	0.67	-48%	CP+CT	3.59	3.93%	1.74	-42%	0.67	-48%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	2.63	3.08	17.18%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-16%	CP+0.75CT+0	3.65	38.15%	0.97	-52%	0.54	17%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	2.41	2.84	17.82%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	3.47	41.97%	0.90	-55%	0.50	23%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	2.41			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.72	12.73%	1.48	-26%	0.82	-26%
Cohesivo	Firme	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	1.01	1.01	1.01%	3.00	2.48	-17%	0.45	0.57	-15%	CP+CT	1.01	1.01%	2.49	-17%	0.57	-15%
Cohesivo	Firme	Acero C	Centro	e = (C,M)	CSCR 4+	0.82	0.91	10.82%	3.00	1.24	-21%	0.85	0.61	28%	CP+0.7CS	0.96	36.77%	1.18	-20%	0.55	35%
Cohesivo	Firme	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	1.16	1.17	0.98%	3.00	2.52	-16%	0.45	0.51	-13%	CP+CT	1.17	0.98%	2.52	-16%	0.51	-13%
Cohesivo	Firme	Acero C	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	0.89	0.98	10.90%	3.00	1.23	-21%	0.85	0.61	28%	CP+0.7CS	1.03	18.28%	1.23	-23%	0.54	36%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	2.78	2.87	3.19%	3.00	1.75	-41%	0.45	0.68	-50%	CP+CT	2.87	3.19%	1.76	-41%	0.68	-50%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 3+	1.95	1.31	18.23%	2.00	0.85	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	2.78	48.13%	0.92	-59%	0.53	22%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 4+	1.75	2.07	17.85%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	2.57	46.38%	0.88	-58%	0.48	25%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Derecha	e = (C,M)	CSCR 4++	1.75			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.95	11.53%	1.51	-25%	0.84	-29%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	2.06	2.14	3.48%	3.00	1.75	-41%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	2.14	3.48%	1.75	-42%	0.67	-49%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	1.55	1.82	17.29%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.76	-16%	CP+0.75CT+0	2.16	38.84%	0.97	-51%	0.54	17%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	1.42	1.67	17.48%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.7CS	2.03	47.06%	0.92	-54%	0.51	22%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	1.42			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.59	12.31%	1.49	-26%	0.82	-27%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 2	3.60	3.72	3.35%	3.00	1.76	-41%	0.45	0.67	-50%	CP+CT	3.72	3.35%	1.76	-41%	0.67	-50%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 3+	2.54	3.00	17.88%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	3.63	42.83%	0.92	-54%	0.51	22%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 4+	2.29	2.70	17.89%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	3.35	46.32%	0.88	-56%	0.49	23%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = (C,M)	CSCR 4++	2.29			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.55	11.52%	1.51	-25%	0.84	-29%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 2	2.79	2.89	3.67%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	2.89	3.67%	1.75	-42%	0.67	-49%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 3+	2.13	2.49	16.88%	2.00	0.92	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.75CT+0	2.94	37.79%	0.99	-51%	0.55	16%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4+	1.96	2.30	17.39%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.7CS	2.79	42.42%	0.92	-54%	0.51	21%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = (C,M)	CSCR 4++	1.96			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.21	12.47%	1.48	-26%	0.82	-26%

Tipo de suelo	Consistencia	Edificio	Ubicación	Excentricidad	Combinación	Método LRFD B (m)	Método ASD B (m)	ASD x Variación de B	FS CCCR	FS [B]	ASD % Variación de FS	$\rho$ CSCR	$\rho$ [B FS]	ASD % Variación de $\rho$	Fórmula ASCE	Método ASCE B (m)	ASCE x Variación de B	FS [B-]2	ASCE x Variación de FS	$\rho$ [B FS]	ASCE % Variación de $\rho$
Granular	Suelta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.34	1.75	30.67%	2.00	1.06	-47%	0.85	0.44	49%	CP+0.75CT+0	1.95	45.49%	1.09	-66%	0.35	59%
Granular	Suelta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.26	1.45	15.53%	1.60	1.29	-19%	0.85	0.51	40%	CP+0.7CS	1.85	47.43%	1.15	-28%	0.30	64%
Granular	Suelta	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	2.03	2.08	2.17%	3.00	2.08	-31%	0.45	0.58	-30%	CP+CT	2.08	2.17%	2.08	-31%	0.58	-30%
Granular	Suelta	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.46	1.91	31.26%	2.00	1.04	-48%	0.85	0.44	49%	CP+0.75CT+0	2.16	48.25%	1.03	-48%	0.33	61%
Granular	Suelta	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.35	1.56	15.65%	1.60	1.29	-20%	0.85	0.51	40%	CP+0.7CS	2.01	49.03%	1.11	-30%	0.29	65%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	4.61	4.77	3.51%	3.00	1.73	-42%	0.45	0.66	-48%	CP+CT	4.77	3.51%	1.73	-42%	0.66	-48%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	3.32	3.87	16.81%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.75CT+0	4.67	40.83%	0.86	-57%	0.48	27%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	3.00	3.52	17.19%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	4.35	44.81%	0.81	-59%	0.45	31%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	3.00			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.33	11.00%	1.48	-26%	0.82	-26%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	3.58	3.73	3.97%	3.00	1.72	-43%	0.45	0.66	-46%	CP+CT	3.73	3.97%	1.72	-43%	0.66	-46%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	2.71	3.15	16.42%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	3.75	38.67%	0.90	-55%	0.50	23%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	2.49	2.92	17.28%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	3.57	43.41%	0.84	-58%	0.47	28%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	2.49			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.79	12.05%	1.46	-27%	0.81	-24%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	5.71	5.90	3.46%	3.00	1.73	-42%	0.45	0.66	-48%	CP+CT	5.90	3.46%	1.73	-42%	0.66	-48%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	4.17	4.83	16.01%	2.00	0.89	-56%	0.65	0.74	-13%	CP+0.75CT+0	5.79	39.01%	0.87	-56%	0.48	26%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	3.79	4.47	16.63%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	5.42	42.96%	0.82	-59%	0.45	30%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	3.79			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	4.20	10.75%	1.49	-26%	0.82	-27%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	4.62	4.80	3.91%	3.00	1.72	-43%	0.45	0.66	-46%	CP+CT	4.80	3.91%	1.72	-43%	0.66	-46%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	3.58	4.14	15.50%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	4.87	35.96%	0.93	-54%	0.51	21%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	3.32	3.86	16.56%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	4.67	40.82%	0.86	-57%	0.48	27%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	3.32			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.70	11.76%	1.46	-27%	0.81	-24%
Granular	Compacta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	0.88	0.89	0.90%	3.00	2.59	-14%	0.45	0.50	-10%	CP+CT	0.89	0.90%	2.59	-14%	0.50	-10%
Granular	Compacta	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	1.01	1.02	0.82%	3.00	2.64	-12%	0.45	0.49	-9%	CP+CT	1.02	0.82%	2.64	-12%	0.49	-9%
Granular	Compacta	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	0.82	0.89	9.29%	1.60	1.39	-13%	0.85	0.56	35%	CP+0.7CS	0.93	14.22%	1.40	-13%	0.51	41%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	2.15	2.21	2.61%	3.00	1.77	-41%	0.45	0.68	-51%	CP+CT	2.21	2.61%	1.77	-41%	0.68	-51%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.59	1.84	15.80%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	2.16	36.22%	0.93	-53%	0.51	21%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.44	1.67	15.57%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.7CS	2.01	39.25%	0.89	-56%	0.49	24%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.44			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.59	10.11%	1.51	-24%	0.84	-29%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	1.66	1.71	2.95%	3.00	1.76	-41%	0.45	0.67	-50%	CP+CT	1.71	2.95%	1.76	-41%	0.67	-50%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.19	1.49	15.28%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.75CT+0	1.72	33.45%	0.99	-52%	0.55	16%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.19	1.38	15.50%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-16%	CP+0.7CS	1.64	37.28%	0.93	-54%	0.51	21%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.19			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.32	11.00%	1.49	-23%	0.83	-27%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	2.68	2.76	2.67%	3.00	1.76	-41%	0.45	0.68	-50%	CP+CT	2.76	2.67%	1.76	-41%	0.68	-50%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	2.00	2.30	15.13%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.75CT+0	2.70	35.01%	0.94	-53%	0.52	20%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.83	2.10	15.19%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.7CS	2.52	38.15%	0.89	-55%	0.49	24%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.83			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.01	9.88%	1.51	-24%	0.84	-29%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	2.16	2.22	3.02%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	2.22	3.02%	1.75	-42%	0.67	-49%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.72	1.97	14.52%	2.00	0.92	-53%	0.65	0.76	-18%	CP+0.75CT+0	2.26	31.55%	1.00	-50%	0.56	15%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.59	1.83	15.01%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.7CS	2.16	35.58%	0.94	-53%	0.52	20%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.59			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.77	10.84%	1.49	-26%	0.82	-27%
Granular	Densa	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	0.52	0.63	21.55%	3.00	2.37	-21%	0.60	0.36	60%	CP+CT	0.59	12.88%	2.39	-20%	0.42	30%
Granular	Densa	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	0.60	0.77	27.33%	3.00	2.42	-19%	0.60	0.32	47%	CP+CT	0.68	12.65%	2.45	-18%	0.41	31%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	1.36	1.39	2.48%	3.00	1.78	-41%	0.45	0.68	-51%	CP+CT	1.39	2.48%	1.78	-41%	0.68	-51%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.00	1.16	15.78%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	1.16	35.81%	0.94	-53%	0.52	20%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	0.91	1.05	15.42%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-16%	CP+0.7CS	1.26	38.70%	0.93	-53%	0.50	23%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	0.91			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.00	10.02%	1.52	-24%	0.84	-29%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	1.04	1.07	2.80%	3.00	1.77	-41%	0.45	0.68	-50%	CP+CT	1.07	2.80%	1.77	-41%	0.68	-50%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	0.81	0.94	15.22%	2.00	0.92	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.75CT+0	1.08	32.89%	1.00	-50%	0.55	15%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	0.75	0.87	15.22%	2.00	0.92	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.7CS	1.02	36.59%	0.95	-53%	0.52	19%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	0.75			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	0.83	10.90%	1.50	-25%	0.83	-27%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	1.70	1.74	2.56%	3.00	1.77	-41%	0.45	0.68	-51%	CP+CT	1.74	2.56%	1.77	-41%	0.68	-51%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.27	1.46	15.14%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.75CT+0	1.71	34.72%	0.95	-53%	0.52	19%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.16	1.33	15.09%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-16%	CP+0.7CS	1.59	37.74%	0.91	-53%	0.50	23%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.16			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.27	9.83%	1.52	-24%	0.84	-29%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	1.36	1.40	2.89%	3.00	1.76	-41%	0.45	0.67	-50%	CP+CT	1.40	2.89%	1.76	-41%	0.67	-50%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.08	1.24	14.49%	2.00	0.92	-54%	0.65	0.77	-18%	CP+0.75CT+0	1.42	31.13%	1.02	-49%	0.56	13%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.01	1.16	14.88%	2.00	0.92	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.7CS	1.36	35.05%	0.96	-52%	0.53	19%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.01			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.12	10.78%	1.49	-25%	0.83	-27%
Granular con finos	Suelta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 2	2.05	2.11	2.66%	3.00	1.98	-33%	0.45	0.60	-33%	CP+CT	2.11	2.66%	1.98	-34%	0.60	-33%
Granular con finos	Suelta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 3 +	1.52	1.99	30.74%	2.00	0.97	-51%	0.85	0.46	46%	CP+0.75CT+0	2.24	47.05%	0.98	-51%	0.35	59%
Granular con finos	Suelta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 +	1.42	1.64	15.75%	1.60	1.18	-26%	0.85	0.54	36%	CP+0.7CS	2.12	49.16%	1.02	-36%	0.31	64%
Granular con finos	Suelta	Acero C	Centro	e = FIC,M	CSCR 4 ++	1.42			1.60			0.85			0.6CP+0.7CS	1.78	25.28%	1.84	15%	0.46	86%
Granular con finos	Suelta	Acero C	Perímetro	e = FIC,M	CSCR 2	2.33	2.38	2.45%	3.00	2.01	-33%	0.45	0.59	-32%	CP+CT	2.38	2.45%	2.01	-3		

Tipo de suelo	Consistencia	Edificio	Ubicación	Excéntrica	Combinación	Método LRFD B (m)	Método ASD B (m)	ASD % Variación de B	FS CCCP	FS (Bm)	ASD % Variación de FS	a CSCR	a (B FS)	ASD % Variación de a	Fórmula ASCE	Método ASCE B (m)	ASCE % Variación de B	FS (Be)j	ASCE % Variación de FS	a (B FS)j	ASCE % Variación de a
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	1.52	1.76	13.80%	1.60	1.18	-26%	0.85	0.54	37%	CP+0.7CS	2.29	50.44%	1.00	-38%	0.30	65%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	1.52			1.60			0.85			0.6CP+0.7CS	1.89	24.65%	1.87	17%	0.46	46%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.02	5.19	3.39%	3.00	1.73	-42%	0.45	0.66	-47%	CP+CT	5.19	3.39%	1.73	-42%	0.66	-47%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.67	4.26	15.87%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.75CT+0	5.09	38.40%	0.85	-57%	0.47	27%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.34	3.89	16.37%	2.00	0.87	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	4.76	42.40%	0.80	-60%	0.45	31%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	3.34			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.70	10.57%	1.48	-26%	0.82	-26%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	3.97	4.13	3.88%	3.00	1.71	-43%	0.45	0.66	-46%	CP+CT	4.13	3.88%	1.71	-43%	0.66	-46%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.04	3.51	15.60%	2.00	0.89	-56%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	4.16	36.79%	0.89	-55%	0.49	24%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.80	3.27	16.58%	2.00	0.87	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	3.97	41.50%	0.83	-59%	0.46	29%
Granular con finos	Suelta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	2.80			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.13	11.55%	1.45	-27%	0.81	-24%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.12	6.33	3.30%	3.00	1.73	-42%	0.45	0.66	-47%	CP+CT	6.33	3.30%	1.73	-42%	0.66	-47%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	4.55	5.24	15.06%	2.00	0.89	-56%	0.65	0.74	-13%	CP+0.75CT+0	6.21	36.59%	0.87	-57%	0.48	26%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	4.16	4.82	15.74%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-12%	CP+0.7CS	5.85	40.40%	0.82	-59%	0.45	30%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	4.16			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	4.59	10.19%	1.48	-26%	0.82	-26%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.03	5.22	3.76%	3.00	1.71	-43%	0.45	0.66	-46%	CP+CT	5.22	3.76%	1.71	-43%	0.66	-46%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.95	4.53	14.62%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	5.29	33.95%	0.92	-54%	0.51	21%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.67	4.25	15.73%	2.00	0.88	-56%	0.65	0.73	-13%	CP+0.7CS	5.09	38.60%	0.85	-57%	0.47	27%
Granular con finos	Suelta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	3.67			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	4.08	11.17%	1.46	-27%	0.83	-24%
Granular con finos	Compacta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	1.50	1.53	1.66%	3.00	2.18	-27%	0.45	0.57	-27%	CP+CT	1.53	1.66%	2.18	-27%	0.57	-27%
Granular con finos	Compacta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	1.19	1.38	16.32%	1.60	1.22	-24%	0.85	0.51	-40%	CP+0.75CT+0	1.65	39.11%	1.25	-22%	0.34	60%
Granular con finos	Compacta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	1.12	1.27	14.02%	1.60	0.86	-46%	0.85	0.48	-44%	CP+0.7CS	1.57	40.88%	1.35	-16%	0.30	65%
Granular con finos	Compacta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	1.71	1.74	1.52%	3.00	2.21	-26%	0.45	0.57	-26%	CP+CT	1.74	1.52%	2.21	-26%	0.57	-26%
Granular con finos	Compacta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	1.28	1.86	29.62%	2.00	1.15	-43%	0.85	0.40	-52%	CP+0.75CT+0	1.82	41.59%	1.19	-40%	0.33	61%
Granular con finos	Compacta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	1.20	1.36	14.09%	1.60	0.86	-46%	0.85	0.47	-44%	CP+0.7CS	1.70	42.25%	1.31	-18%	0.29	66%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	3.69	3.80	2.90%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	3.80	2.90%	1.75	-42%	0.67	-49%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.73	3.16	15.45%	2.00	0.89	-56%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	3.73	36.28%	0.89	-55%	0.50	24%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.49	2.88	15.57%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.7CS	3.48	39.64%	0.85	-58%	0.47	28%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	2.49			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.74	10.09%	1.50	-25%	0.83	-28%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	2.90	3.00	3.30%	3.00	1.74	-42%	0.45	0.67	-48%	CP+CT	3.00	3.30%	1.74	-42%	0.67	-48%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.25	2.59	15.08%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	3.02	34.11%	0.94	-53%	0.52	20%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.08	2.41	15.65%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.7CS	2.88	38.23%	0.88	-56%	0.49	25%
Granular con finos	Compacta	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	2.08			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.31	11.01%	1.47	-26%	0.82	-26%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.54	4.67	2.89%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	4.67	2.89%	1.75	-42%	0.67	-49%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.40	3.90	14.73%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	4.58	34.78%	0.90	-55%	0.50	23%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.11	3.58	15.07%	2.00	0.89	-55%	0.65	0.74	-14%	CP+0.7CS	4.30	38.13%	0.86	-57%	0.48	27%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	3.11			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.42	9.79%	1.50	-25%	0.83	-28%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	3.70	3.83	3.28%	3.00	1.73	-42%	0.45	0.67	-48%	CP+CT	3.83	3.28%	1.73	-42%	0.67	-48%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.94	3.36	14.21%	2.00	0.91	-54%	0.65	0.76	-16%	CP+0.75CT+0	3.88	31.80%	0.97	-52%	0.54	18%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.74	3.15	14.98%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	3.72	36.00%	0.90	-55%	0.50	23%
Granular con finos	Compacta	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	2.74			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	3.03	10.74%	1.47	-26%	0.82	-26%
Granular con finos	Densa	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	1.11	1.12	1.13%	3.00	2.39	-20%	0.45	0.53	-18%	CP+CT	1.12	1.13%	2.39	-20%	0.53	-18%
Granular con finos	Densa	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	0.92	1.54	66.64%	2.00	1.29	-35%	0.85	0.19	-77%	CP+0.75CT+0	1.24	13.54%	1.57	-22%	0.32	63%
Granular con finos	Densa	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	0.89	0.99	11.35%	1.60	1.10	-32%	0.85	0.67	-21%	CP+0.7CS	1.19	13.17%	1.08	-33%	0.45	47%
Granular con finos	Densa	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	1.27	1.28	1.03%	3.00	2.43	-19%	0.45	0.53	-17%	CP+CT	1.28	1.03%	2.43	-19%	0.53	-17%
Granular con finos	Densa	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	0.96	1.07	11.40%	1.60	1.10	-32%	0.85	0.67	-21%	CP+0.7CS	1.07	12.34%	1.11	-31%	0.66	23%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	2.71	2.78	2.63%	3.00	1.76	-41%	0.45	0.68	-50%	CP+CT	2.78	2.63%	1.76	-41%	0.68	-50%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.01	2.32	15.81%	2.00	0.90	-52%	0.65	0.74	-14%	CP+0.75CT+0	2.72	35.27%	0.92	-54%	0.51	22%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	1.83	2.11	15.21%	2.00	0.90	-53%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	2.53	38.34%	0.88	-56%	0.49	25%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	1.83			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.01	9.87%	1.51	-33%	0.84	-29%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	2.11	2.18	2.99%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	2.18	2.99%	1.75	-42%	0.67	-49%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	1.65	1.90	14.88%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.76	-16%	CP+0.75CT+0	2.19	32.82%	0.97	-51%	0.54	17%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	1.52	1.76	15.21%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.7CS	2.08	36.66%	0.91	-54%	0.51	22%
Granular con finos	Densa	E6_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	1.52			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	1.69	10.77%	1.49	-26%	0.82	-27%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	3.34	3.43	2.67%	3.00	1.76	-41%	0.45	0.67	-50%	CP+CT	3.43	2.67%	1.76	-41%	0.67	-50%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.51	2.88	14.63%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.75CT+0	3.36	33.97%	0.93	-54%	0.51	21%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.30	2.64	14.78%	2.00	0.90	-55%	0.65	0.75	-15%	CP+0.7CS	3.15	37.09%	0.88	-56%	0.49	25%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	2.30			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.52	9.62%	1.51	-25%	0.84	-29%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	2.71	2.79	3.03%	3.00	1.75	-42%	0.45	0.67	-49%	CP+CT	2.79	3.03%	1.75	-42%	0.67	-49%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.17	2.47	14.07%	2.00	0.92	-54%	0.65	0.76	-17%	CP+0.75CT+0	2.84	30.79%	0.99	-50%	0.55	15%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.02	2.33	14.64%	2.00	0.91	-55%	0.65	0.75	-16%	CP+0.7CS	2.72	34.76%	0.93	-54%	0.51	21%
Granular con finos	Densa	E10_3_6_6_U4_53	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++	2.02			2.00			0.65			0.6CP+0.7CS	2.23	10.58%	1.48	-26%	0.82	-26%

## **8.2 ANEXO 2: TABLAS DE DATOS – CIMENTACIONES PROFUNDAS**

Resumen de los resultados obtenidos del cálculo de cimentaciones profundas, y comparaciones entre resultados.



Tipo de suelo	Consistencia	Edificio	Ubicación	Excentricidad	Combinación	Pilote Método IRFD (p)	Pilote Método ASD (p)	Pilote ASD % Variación de p	Pilote FS CCCR	Factor FS (p-d)	Pilote ASD % Variación de FS	Pilote $\alpha$ CSCR	Pilote $\alpha$ (p FS)	Pilote ASD % Variación de $\alpha$	Pilote Método ASCE (p)	Pilote ASCE % Variación de p	Pilote FS (p-p/4)	Pilote ASCE % Variación de FS	Pilote $\alpha$ (p FS/5)	Pilote ASCE % Variación de $\alpha$
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	8.00	33.33%	3.00	2.22	-26%	0.45	0.32	28%	8.00	33.33%	2.22	-26%	0.32	28%
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.47	-26%	0.65	0.42	35%	6.00	50.00%	1.75	-22%	0.85	-31%
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.80	-10%	0.65	0.36	45%	5.00	25.00%	1.51	-25%	0.38	41%
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	10.00	10.00	0.00%	3.00	3.11	3%	0.45	0.41	8%	10.00	0.00%	3.11	4%	0.41	8%
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	6.00	8.00	33.33%	2.00	1.54	-23%	0.65	0.34	48%	6.00	0.00%	2.15	8%	0.75	-10%
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.57	-22%	0.65	0.41	37%	6.00	50.00%	1.69	-16%	0.41	37%
Cohesivo	Blanda	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					4.00	0.00%	2.51	26%	0.61	6%	
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	10.00	11.00	10.00%	3.00	2.84	-5%	0.45	0.40	10%	11.00	10.00%	2.84	-5%	0.40	10%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	6.00	8.00	33.33%	2.00	1.79	-15%	0.65	0.37	44%	6.00	0.00%	2.04	2%	0.73	-13%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.58	-21%	0.65	0.40	36%	6.00	50.00%	1.58	-21%	0.40	36%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					4.00	0.00%	2.63	31%	0.60	7%	
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.21	7%	0.45	0.39	13%	6.00	0.00%	3.21	7%	0.39	13%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.60	-20%	0.65	0.40	39%	4.00	0.00%	2.11	6%	0.66	-2%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.69	-16%	0.65	0.42	35%	4.00	33.33%	1.74	-23%	0.42	35%
Cohesivo	Blanda	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					3.00	0.00%	2.77	38%	0.57	13%	
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	8.00	0.00%	3.00	3.09	3%	0.45	0.41	10%	8.00	0.00%	3.09	3%	0.41	10%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.81	-8%	0.65	0.35	46%	6.00	50.00%	1.91	-4%	0.70	-8%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.64	-18%	0.65	0.44	31%	4.00	33.33%	1.64	-18%	0.44	31%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					3.00	0.00%	2.73	36%	0.58	11%	
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	4.15	38%	0.45	0.30	33%	6.00	0.00%	4.15	38%	0.30	33%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.86	-7%	0.65	0.40	39%	3.00	0.00%	2.02	1%	0.79	-22%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.11	5%	0.65	0.45	30%	3.00	0.00%	2.19	9%	0.45	30%
Cohesivo	Blanda	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					2.00	-33.33%	3.44	72%	0.68	-5%	
Cohesivo	Media	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	7.00	7.00	0.00%	3.00	3.03	1%	0.45	0.43	5%	7.00	0.00%	3.03	1%	0.43	5%
Cohesivo	Media	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	1.00	5.00	66.67%	2.00	1.05	-47%	0.85	0.41	51%	5.00	66.67%	1.18	-41%	0.41	51%
Cohesivo	Media	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	9.00	10.00	11.11%	3.00	2.97	-3%	0.45	0.40	11%	10.00	11.11%	2.97	-3%	0.40	11%
Cohesivo	Media	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	6.00	50.00%	1.60	1.44	-16%	0.85	0.48	43%	6.00	50.00%	1.49	-7%	0.48	43%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	9.00	12.50%	3.00	2.98	-1%	0.45	0.38	16%	9.00	12.50%	2.98	-1%	0.38	16%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.59	-20%	0.65	0.40	39%	6.00	50.00%	1.67	-16%	0.79	-22%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	5.00	66.67%	2.00	1.35	-32%	0.65	0.39	40%	5.00	66.67%	1.35	-32%	0.39	40%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					3.00	0.00%	2.45	22%	0.65	1%	
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	5.00	0.00%	3.00	3.06	2%	0.45	0.41	8%	5.00	0.00%	3.06	2%	0.41	8%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.85	-7%	0.65	0.39	40%	3.00	0.00%	2.02	1%	0.78	-20%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.18	9%	0.65	0.44	32%	3.00	0.00%	2.25	15%	0.44	32%
Cohesivo	Media	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					2.00	-33.33%	3.56	78%	0.66	-1%	
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	7.00	8.00	14.29%	3.00	2.85	-5%	0.45	0.39	14%	8.00	14.29%	2.85	-5%	0.39	14%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.62	-19%	0.65	0.41	34%	5.00	25.00%	1.69	-15%	0.72	-10%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.61	-19%	0.65	0.44	32%	4.00	33.33%	1.61	-19%	0.44	32%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					3.00	0.00%	2.69	34%	0.59	9%	
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	5.00	25.00%	3.00	2.45	-18%	0.45	0.36	20%	5.00	25.00%	2.45	-18%	0.36	20%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.86	-7%	0.65	0.39	40%	3.00	0.00%	2.04	2%	0.78	-21%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.14	7%	0.65	0.45	31%	3.00	0.00%	2.23	12%	0.45	31%
Cohesivo	Media	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					2.00	-33.33%	3.49	75%	0.67	-3%	
Cohesivo	Firme	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	10.00	10.00	0.00%	3.00	3.14	5%	0.45	0.42	7%	10.00	0.00%	3.14	5%	0.42	7%
Cohesivo	Firme	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	6.00	7.00	16.67%	2.00	1.44	-28%	0.85	0.43	50%	7.00	16.67%	1.78	-11%	0.63	26%
Cohesivo	Firme	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	14.00	14.00	0.00%	3.00	3.16	5%	0.45	0.41	8%	14.00	0.00%	3.16	5%	0.41	8%
Cohesivo	Firme	Acero_C	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	5.00	8.00	60.00%	1.60	1.24	-23%	0.85	0.50	41%	8.00	60.00%	1.36	-15%	0.50	41%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	8.00	0.00%	3.00	3.00	0%	0.45	0.42	6%	8.00	0.00%	3.00	0%	0.42	6%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.66	-17%	0.65	0.38	41%	6.00	50.00%	1.74	-13%	0.76	-17%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.57	-24%	0.65	0.47	28%	4.00	33.33%	1.53	-24%	0.47	28%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					3.00	0.00%	2.54	27%	0.62	4%	
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	6.00	20.00%	3.00	3.50	17%	0.45	0.35	22%	6.00	20.00%	3.50	17%	0.35	22%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.90	-5%	0.65	0.38	41%	3.00	0.00%	2.07	3%	0.76	-12%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.48	-26%	0.65	0.43	34%	3.00	50.00%	1.53	-24%	0.43	34%
Cohesivo	Firme	E6 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					2.00	0.00%	2.42	21%	0.65	0%	
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	8.00	0.00%	3.00	3.15	5%	0.45	0.40	11%	8.00	0.00%	3.15	5%	0.40	11%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.72	-14%	0.65	0.37	43%	5.00	25.00%	1.64	-18%	0.74	-14%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.56	-22%	0.65	0.46	30%	4.00	33.33%	1.57	-22%	0.46	30%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					3.00	0.00%	2.60	30%	0.61	7%	
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	6.00	20.00%	3.00	3.40	13%	0.45	0.35	22%	6.00	20.00%	3.40	13%	0.35	22%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.80	-10%	0.65	0.40	38%	4.00	33.33%	1.98	-3%	0.81	-24%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.08	4%	0.65	0.46	29%	3.00	0.00%	2.16	8%	0.46	29%
Cohesivo	Firme	E10 3 6 6 U4 S3	Perímetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00					2.00	-33.33%	3.38	60%	0.69	-6%	
Granular	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	8.00	0.00%	3.00	3.16	5%	0.45	0.41	8%	8.00	0.00%	3.16	5%	0.41	8%

Tipo de suelo	Consistencia	Estado	Ubicación	Eccentricidad	Combinación	Pilote Método LRPD nº	Pilote Método ASO nº	Pilote ASD % Variación de nº	Pilote FS CCCR	Pilote FS (nºA)	Pilote ASD % Variación de FS	Pilote e CSCR	Pilote e (nº FS)	Pilote ASD % Variación de e	Pilote Método ASCE nº	Pilote ASCE % Variación de nº	Pilote FS (nºF4)	Pilote ASCE % Variación de FS	Pilote e (nº FS)	Pilote ASCE % Variación de e
Granular	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	6.00	7.00	16.67%	2.00	1.45	-28%	0.85	0.42	51%	7.00	16.67%	1.83	-8%	0.91	-7%
Granular	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	4.00	6.00	50.00%	1.60	1.26	-23%	0.85	0.51	39%	6.00	50.00%	1.46	-9%	0.51	39%
Granular	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	11.00	11.00	0.00%	3.00	3.29	10%	0.45	0.40	11%	11.00	0.00%	3.29	10%	0.40	11%
Granular	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	6.00	10.00	66.67%	1.60	1.18	-26%	0.85	0.41	52%	7.00	16.67%	1.46	-9%	1.11	-31%
Granular	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	5.00	7.00	40.00%	2.00		-24%	0.85	0.44	48%	6.00	20.00%	1.80	-10%	0.65	23%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)		7.00	7.00	0.00%	3.00	2.90	-3%	0.45	0.36		7.00	0.00%	2.90	-3%	0.36	-10%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)		4.00	5.00	25.00%	2.00	1.66	-17%	0.65	0.44		5.00	25.00%	1.74	-10%	0.73	-28%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.61	-20%	0.65	0.44	32%	4.00	33.33%	1.61	-20%	0.44	32%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						3.00	0.00%	2.68	-14%	0.59	9%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	4.00	0.00%	3.00	3.03	1%	0.45	0.42	7%	4.00	0.00%	3.03	1%	0.42	7%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.04	2%	0.65	0.47	28%	3.00	0.00%	2.24	17%	0.71	
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.61	-20%	0.65	0.40	39%	3.00	50.00%	1.67	-17%	0.40	39%
Granular	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	0.00%	2.63	33%	0.59	8%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.22	7%	0.45	0.40	12%	6.00	0.00%	3.22	7%	0.40	12%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.61	-20%	0.65	0.44	32%	4.00	33.33%	1.68	-16%	0.89	-17%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.96	-3%	0.65	0.36	44%	4.00	33.33%	1.97	-2%	0.36	44%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	-33.33%	3.27	63%	0.73	-12%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	4.00	0.00%	3.00	3.47	16%	0.45	0.36	19%	4.00	0.00%	3.47	16%	0.36	19%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.52	-24%	0.65	0.42	35%	3.00	50.00%	1.68	-16%	0.64	2%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.77	-12%	0.65	0.36	44%	3.00	50.00%	1.85	-6%	0.36	44%
Granular	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	0.00%	2.87	44%	0.54	17%
Granular	Compacta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	5.00	0.00%	3.00	3.11	4%	0.45	0.42	7%	5.00	0.00%	3.11	4%	0.42	7%
Granular	Compacta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	7.00	7.00	0.00%	3.00	3.39	13%	0.45	0.39	14%	7.00	0.00%	3.39	13%	0.39	14%
Granular	Compacta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	1.60	1.25	-22%	0.85	0.58	31%	4.00	33.33%	1.41	-12%	0.58	31%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	7.00	7.00	0.00%	3.00	3.07	2%	0.45	0.42	8%	7.00	0.00%	3.07	2%	0.42	8%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.75	-12%	0.65	0.42	35%	5.00	25.00%	1.84	-8%	0.70	-8%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.67	-17%	0.65	0.43	34%	4.00	33.33%	1.67	-16%	0.43	34%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						3.00	0.00%	2.78	39%	0.57	12%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	4.00	0.00%	3.00	3.18	6%	0.45	0.40	11%	4.00	0.00%	3.18	6%	0.40	11%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.13	7%	0.65	0.45	31%	3.00	0.00%	2.34	17%	0.67	-8%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.69	-16%	0.65	0.38	42%	3.00	50.00%	1.76	-12%	0.38	42%
Granular	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	0.00%	2.76	38%	0.57	13%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.27	9%	0.45	0.39	13%	6.00	0.00%	3.27	9%	0.39	13%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.63	-19%	0.65	0.44	33%	4.00	33.33%	1.71	-14%	0.87	-14%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	2.00	0%	0.65	0.36	45%	4.00	50.00%	2.00	0%	0.48	-27%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	-33.33%	3.33	67%	0.71	-10%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	4.00	0.00%	3.00	3.58	19%	0.45	0.36	23%	4.00	0.00%	3.58	19%	0.36	21%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.55	-22%	0.65	0.41	36%	3.00	50.00%	1.72	-14%	0.62	4%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.81	-9%	0.65	0.35	46%	3.00	50.00%	1.90	-5%	0.35	46%
Granular	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	0.00%	2.94	47%	0.53	19%
Granular	Densa	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	7.00	7.00	0.00%	3.00	3.39	13%	0.45	0.39	13%	7.00	0.00%	3.39	13%	0.39	13%
Granular	Densa	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	4.00	0.00%	3.00	3.27	-58%	0.45	1.05	-134%	4.00	0.00%	3.27	-58%	1.05	-134%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	10.00	10.00	0.00%	3.00	3.02	1%	0.45	0.42	6%	10.00	0.00%	3.02	1%	0.42	6%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	5.00	7.00	40.00%	2.00	1.51	-25%	0.65	0.45	31%	7.00	40.00%	1.58	-21%	0.78	-20%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.52	-24%	0.65	0.42	36%	6.00	50.00%	1.52	-24%	0.42	36%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						4.00	0.00%	2.53	27%	0.62	4%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.27	9%	0.45	0.39	14%	6.00	0.00%	3.27	9%	0.39	14%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.91	-5%	0.65	0.39	40%	4.00	0.00%	2.14	7%	0.65	-15%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.74	-13%	0.65	0.41	37%	4.00	33.33%	1.81	-10%	0.41	37%
Granular	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						3.00	0.00%	2.84	43%	0.55	15%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	9.00	12.50%	3.00	2.99	0%	0.45	0.38	16%	9.00	12.50%	2.99	0%	0.38	16%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.51	-25%	0.65	0.42	36%	6.00	50.00%	1.58	-21%	0.84	-29%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.83	-9%	0.65	0.41	37%	5.00	25.00%	1.83	-9%	0.41	37%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						3.00	-25.00%	3.09	55%	0.68	-5%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	5.00	0.00%	3.00	3.04	1%	0.45	0.42	8%	5.00	0.00%	3.04	1%	0.42	8%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.62	-19%	0.65	0.44	32%	4.00	33.33%	1.80	-10%	0.89	-37%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.90	-5%	0.65	0.38	42%	4.00	33.33%	1.99	0%	0.38	42%
Granular	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				2.00						2.00	-33.33%	3.09	55%	0.76	-16%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.03	1%	0.45	0.43	4%	6.00	0.00%	3.03	1%	0.43	4%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	5.00	6.00	20.00%	2.00	2.00	0%	0.65	0.50	22%	5.00	0.00%	2.09	5%	1.01	-55%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 +	3.00	4.00	33.33%	1.60	1.28	-20%	0.85	0.57	33%	4.00	66.67%	1.26	-21%	0.38	55%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4 ++				1.60						3.00	0.00%	2.00	25%	0.76	11%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	9.00	9.00	0.00%	3.00	3.18	6%	0.45	0.41	9%	9.00	0.00%	3.18	6%	0.41	9%
Granular con finos	Suelta	Acero_C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3 +	4.00	6.00	50.00%	1.60	1.13	-30%	0.85	0.54	36%	6.00	50.00%	1.37	-34%	1.08	-24%

Tipo de suelo	Consistencia	Edificio	Ubicación	Excentricidad	Combinación	Pilote Metodo LRFD np	Pilote Metodo ASD np	Pilote ASD % Variación de np	Pilote FS CCCR	Pilote FS (np<2)	Pilote ASD % Variación de FS	Pilote e CSCR	Pilote e (np FS)	Pilote ASD % Variación de e	Pilote Metodo ASCE np	Pilote ASCE % Variación de np	Pilote FS (np<4)	Pilote ASCE % Variación de FS	Pilote e (np FS)	Pilote ASCE % Variación de e
Granular con finos	Suelta	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	6.00	50.00%	1.60	1.45	-10%	0.85	0.45	48%	5.00	25.00%	1.42	-11%	0.45	47%
Granular con finos	Suelta	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				1.60						3.00	-25.00%	2.28	43%	0.89	-5%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	9.00	12.50%	3.00	2.88	-4%	0.45	0.39	13%	9.00	12.50%	2.88	-4%	0.39	13%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.50	-25%	0.65	0.42	36%	6.00	50.00%	1.58	-21%	0.84	-29%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.77	-12%	0.65	0.41	37%	5.00	25.00%	1.77	-12%	0.41	37%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						3.00	-25.00%	3.10	55%	0.68	-5%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	5.00	0.00%	3.00	3.06	2%	0.45	0.41	8%	5.00	0.00%	3.06	2%	0.41	8%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.77	-11%	0.65	0.41	37%	4.00	33.33%	1.94	-3%	0.81	-25%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.09	5%	0.65	0.46	30%	3.00	0.00%	2.17	9%	0.46	30%
Granular con finos	Suelta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						2.00	-33.33%	3.42	73%	0.68	-5%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.21	7%	0.45	0.40	12%	6.00	0.00%	3.21	7%	0.40	12%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.60	-20%	0.65	0.45	31%	4.00	33.33%	1.67	-16%	0.89	-38%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.94	-3%	0.65	0.37	43%	4.00	33.33%	1.94	-3%	0.37	43%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						2.00	-33.33%	3.23	61%	0.74	-13%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	4.00	0.00%	3.00	3.37	12%	0.45	0.37	17%	4.00	0.00%	3.37	12%	0.37	17%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.23	11%	0.65	0.44	33%	3.00	0.00%	2.45	22%	0.65	-1%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	2.00	3.00	50.00%	2.00	1.71	-14%	0.65	0.37	43%	3.00	50.00%	1.78	-11%	0.37	43%
Granular con finos	Suelta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						2.00	0.00%	2.79	40%	0.56	14%
Granular con finos	Compacta	Acero C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	6.00	0.00%	3.00	3.16	5%	0.45	0.42	7%	6.00	0.00%	3.16	5%	0.42	7%
Granular con finos	Compacta	Acero C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	1.60	1.32	-17%	0.85	0.47	45%	5.00	25.00%	1.59	-1%	0.93	-10%
Granular con finos	Compacta	Acero C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	1.60	1.23	-23%	0.85	0.60	30%	4.00	33.33%	1.42	-11%	0.60	30%
Granular con finos	Compacta	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	8.00	0.00%	3.00	3.13	4%	0.45	0.42	7%	8.00	0.00%	3.13	4%	0.42	7%
Granular con finos	Compacta	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	6.00	6.00	0.00%	1.60	1.60	0%	0.85	0.57	33%	6.00	0.00%	2.00	25%	1.14	-34%
Granular con finos	Compacta	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	6.00	50.00%	1.60	1.36	-13%	0.85	0.47	44%	5.00	25.00%	1.45	-9%	0.46	46%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	11.00	12.00	9.09%	3.00	2.86	-5%	0.45	0.41	9%	12.00	9.09%	2.86	-5%	0.41	9%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	6.00	8.00	33.33%	2.00	1.55	-22%	0.65	0.44	33%	8.00	33.33%	1.63	-18%	0.87	-34%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	5.00	6.00	20.00%	2.00	1.68	-16%	0.65	0.50	23%	6.00	20.00%	1.68	-16%	0.50	23%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						4.00	-20.00%	2.79	40%	0.75	-15%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	6.00	7.00	16.67%	3.00	2.64	-12%	0.45	0.38	15%	7.00	16.67%	2.64	-12%	0.38	15%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.70	-15%	0.65	0.38	42%	5.00	25.00%	1.73	-13%	0.75	-16%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.51	-25%	0.65	0.48	27%	4.00	33.33%	1.57	-22%	0.48	27%
Granular con finos	Compacta	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						3.00	0.00%	2.46	23%	0.63	3%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	9.00	12.50%	3.00	2.94	-2%	0.45	0.38	15%	9.00	12.50%	2.94	-2%	0.38	15%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.53	-23%	0.65	0.41	36%	6.00	50.00%	1.61	-20%	0.83	-27%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.77	-11%	0.65	0.41	38%	5.00	25.00%	1.77	-11%	0.41	38%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						3.00	-25.00%	3.12	56%	0.68	-4%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	6.00	20.00%	3.00	3.11	4%	0.45	0.36	19%	6.00	20.00%	3.11	4%	0.36	19%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.63	-18%	0.65	0.44	32%	4.00	33.33%	1.80	-10%	0.89	-37%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.90	-5%	0.65	0.38	42%	4.00	33.33%	1.98	-1%	0.38	42%
Granular con finos	Compacta	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						2.00	-33.33%	3.09	54%	0.76	-16%
Granular con finos	Densa	Acero C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	8.00	0.00%	3.00	3.20	7%	0.45	0.41	8%	8.00	0.00%	3.20	7%	0.41	8%
Granular con finos	Densa	Acero C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	5.00	7.00	40.00%	1.60	1.29	-19%	0.85	0.50	42%	6.00	20.00%	1.72	7%	0.72	16%
Granular con finos	Densa	Acero C	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	5.00	5.00	0.00%	1.60	1.60	0%	0.85	0.61	29%	5.00	0.00%	1.85	16%	0.61	29%
Granular con finos	Densa	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	11.00	11.00	0.00%	3.00	3.19	6%	0.45	0.42	8%	11.00	0.00%	3.19	6%	0.42	8%
Granular con finos	Densa	Acero C	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	5.00	7.00	40.00%	1.60	1.34	-16%	0.85	0.50	41%	7.00	40.00%	1.51	-6%	0.50	41%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	8.00	9.00	12.50%	3.00	2.90	-3%	0.45	0.39	13%	9.00	12.50%	2.90	-3%	0.39	13%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	6.00	50.00%	2.00	1.51	-24%	0.65	0.42	36%	6.00	50.00%	1.59	-20%	0.83	-26%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.77	-11%	0.65	0.41	38%	5.00	25.00%	1.77	-11%	0.41	38%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						3.00	-25.00%	3.12	56%	0.68	-4%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	5.00	5.00	0.00%	3.00	3.07	2%	0.45	0.41	8%	5.00	0.00%	3.07	2%	0.41	8%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.78	-11%	0.65	0.40	38%	4.00	33.33%	1.95	-2%	0.81	-24%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.11	5%	0.65	0.45	30%	3.00	0.00%	2.19	9%	0.45	30%
Granular con finos	Densa	E6 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						2.00	-33.33%	3.44	72%	0.68	-5%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 2	7.00	8.00	14.29%	3.00	2.91	-3%	0.45	0.38	15%	8.00	14.29%	2.91	-3%	0.38	15%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 3+	4.00	5.00	25.00%	2.00	1.66	-17%	0.65	0.44	33%	5.00	25.00%	1.74	-13%	0.73	-12%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.60	-20%	0.65	0.45	31%	4.00	33.33%	1.60	-20%	0.45	31%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Centro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						3.00	0.00%	2.66	33%	0.60	8%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 2	4.00	5.00	25.00%	3.00	2.61	-13%	0.45	0.36	20%	5.00	25.00%	2.61	-13%	0.36	20%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 3+	3.00	4.00	33.33%	2.00	1.85	-9%	0.65	0.39	40%	4.00	0.00%	2.04	2%	0.78	-21%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4+	3.00	3.00	0.00%	2.00	2.15	8%	0.65	0.44	32%	3.00	0.00%	2.25	12%	0.44	32%
Granular con finos	Densa	E10 3 6 6 U4 S3	Perimetro	e = f(C,M)	CSCR 4++				2.00						2.00	-33.33%	3.50	75%	0.67	-3%

### **8.3 ANEXO 3: GRÁFICOS – CIMENTACIÓN UBICADA EN PERÍMETRO DEL EDIFICIO**

Gráficos elaborados con la información de los resultados obtenidos del cálculo de cimentaciones superficiales y profundas, considerando que la cimentación se ubica en el perímetro del edificio.

## ***CIMENTACIONES SUPERFICIALES – CIMENTACIÓN UBICADA EN PERÍMETRO DE EDIFICIO***

Con los datos obtenidos de dimensión B para la cimentación superficial tipo placa aislada, se elabora gráfico para comparar los resultados entre los tres tipos de suelo y para cada uno de los métodos de diseño en las tres diferentes combinaciones de carga.

### ***Variación en la dimensión B***

En los gráficos 1 a 3, se muestran los resultados de la dimensión B, de las distintas cargas para el caso de la columna ubicada en el perímetro del edificio.

### ***Variación en porcentaje de la dimensión B***

En los gráficos 4 a 6, se revisa la variación en porcentaje de la dimensión B obtenida con el método ASD en las combinaciones del CSCR y ASCE respecto a la dimensión B obtenida con el método LRFD, en términos de porcentaje, para las distintas cargas en el caso de la columna ubicada en el perímetro del edificio.

### ***Variación del Factor de Seguridad obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método LRFD***

En los gráficos 7 a 9, se revisa la variación del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método LRFD.

**Variación en porcentaje del Factor de Seguridad, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método LRFD**

En los gráficos 10 a 12, se revisa la variación del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método LRFD.

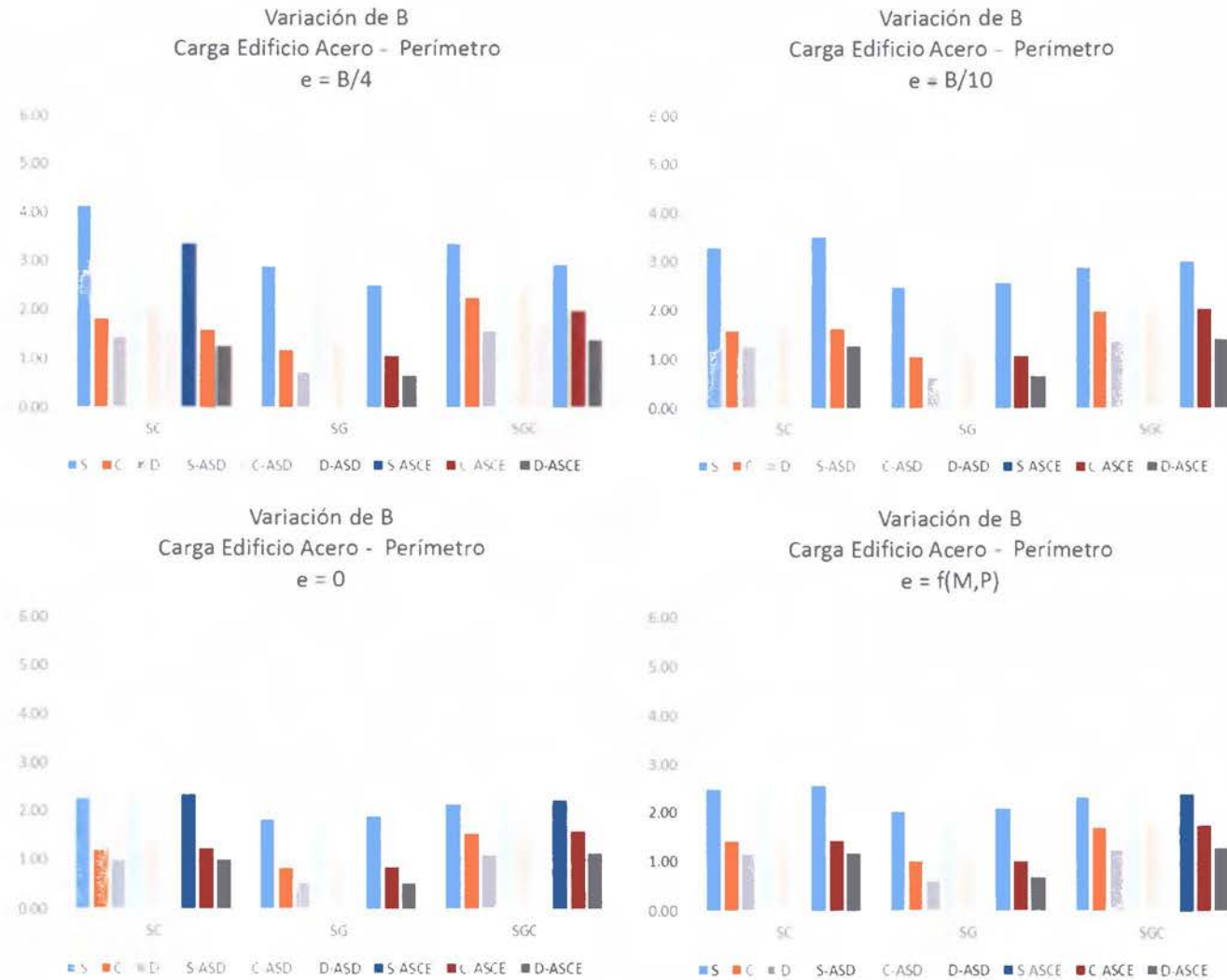
**Variación del Factor de Reducción, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método ASD**

En los gráficos 13 a 15, se revisa la variación del factor de reducción calculado por el método LRFD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método ASD.

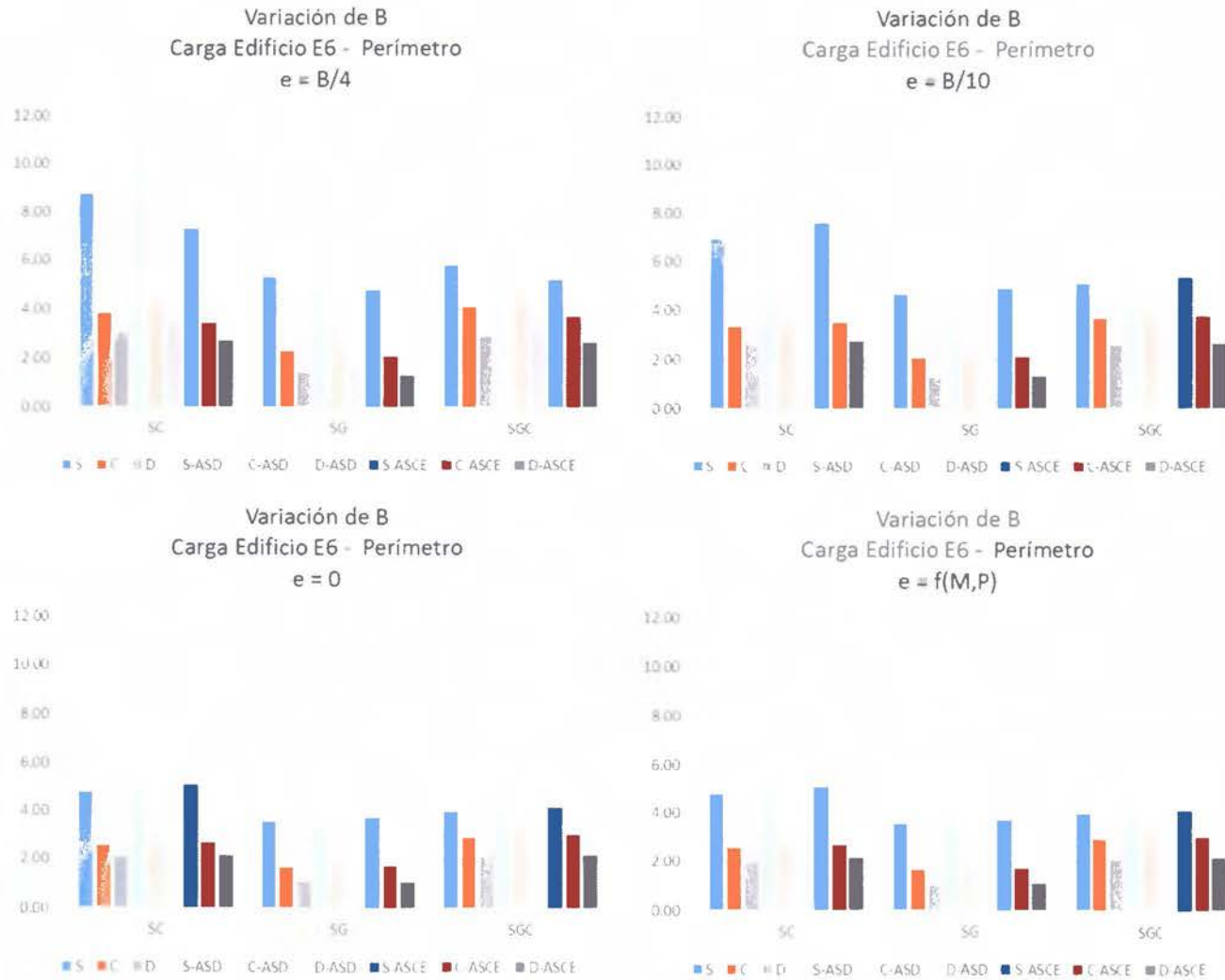
**Variación en porcentaje del Factor de Reducción, obtenido a partir de la dimensión B obtenida por el método ASD**

En los gráficos 16 a 18, se revisa la variación del factor de reducción en porcentaje, calculado por el método LRFD a partir de la dimensión B obtenida en el cálculo con el método ASD.

**Gráfico 1. Variación de la dimensión B según la excentricidad - Carga Media**

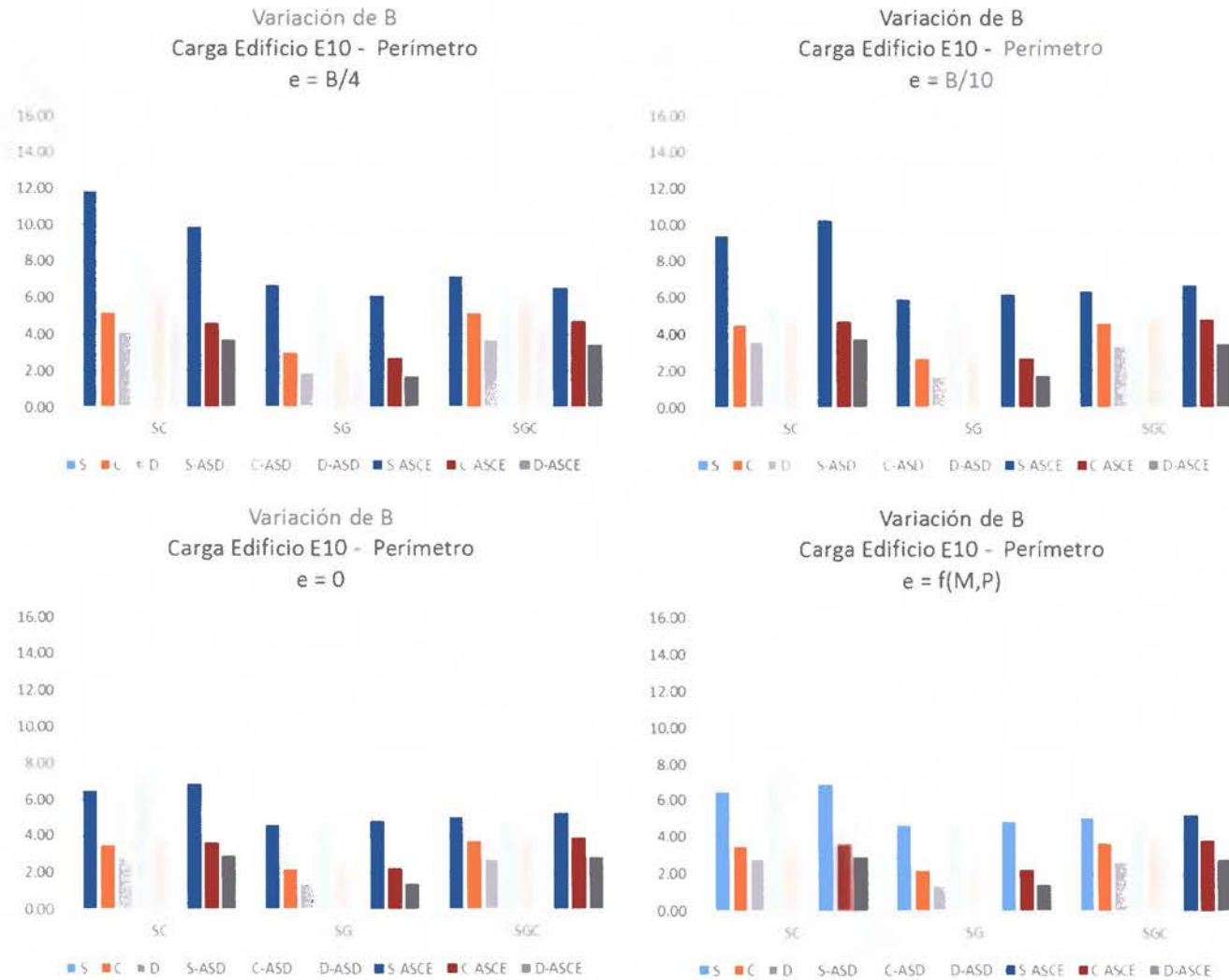


**Gráfico 2. Variación de la dimensión B según la excentricidad - Carga Alta**

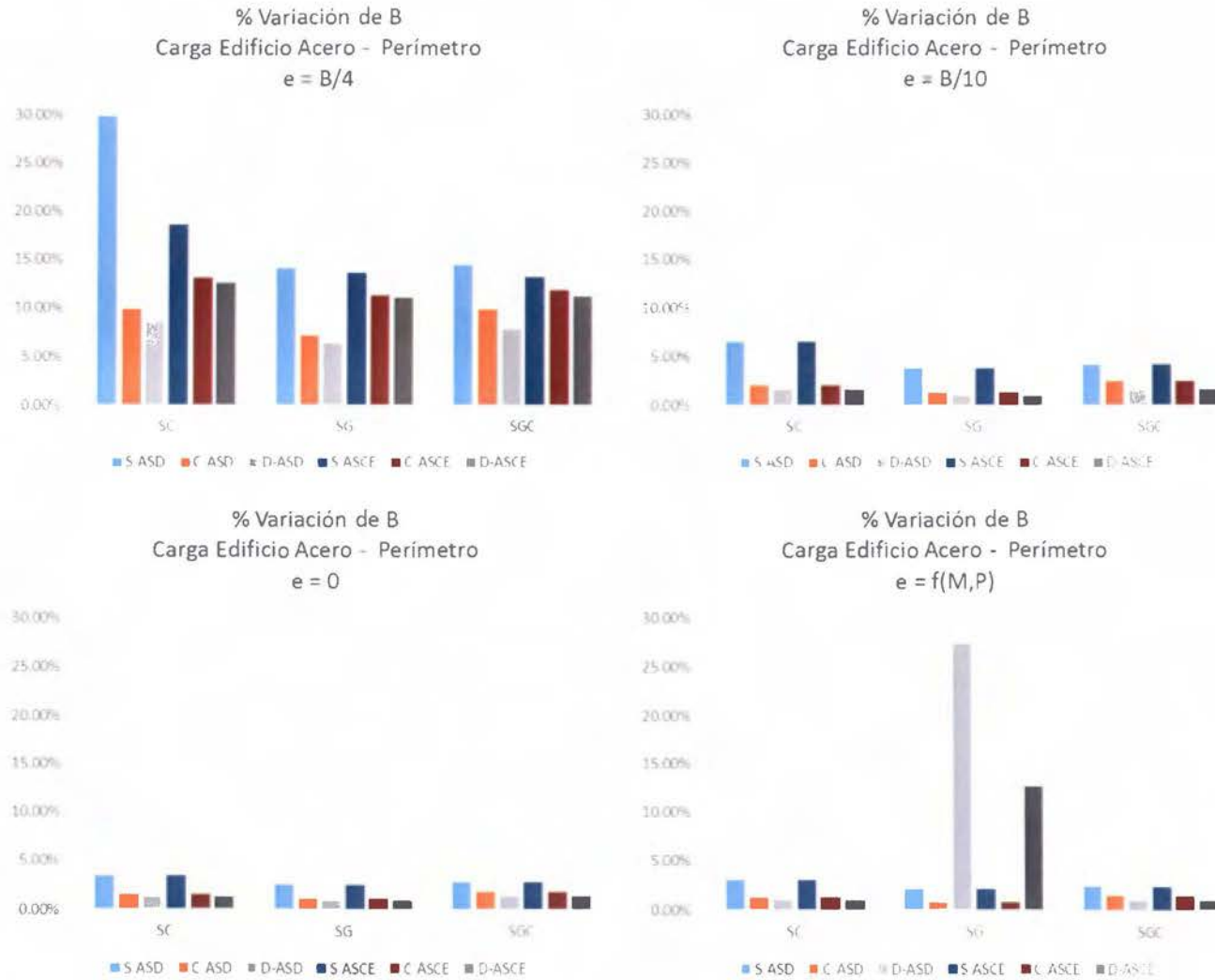




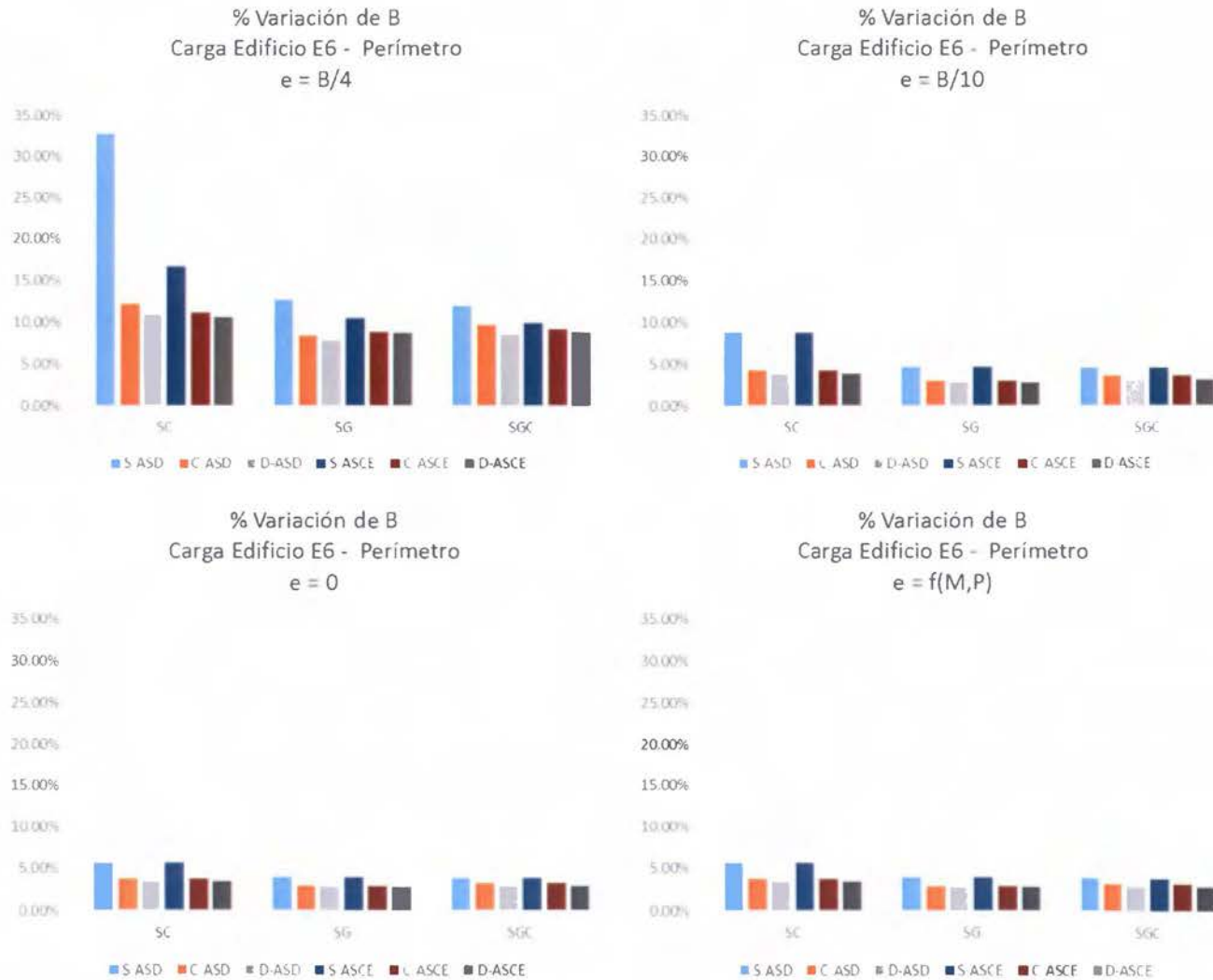
**Gráfico 3. Variación de la dimensión B según la excentricidad - Carga Muy Alta**



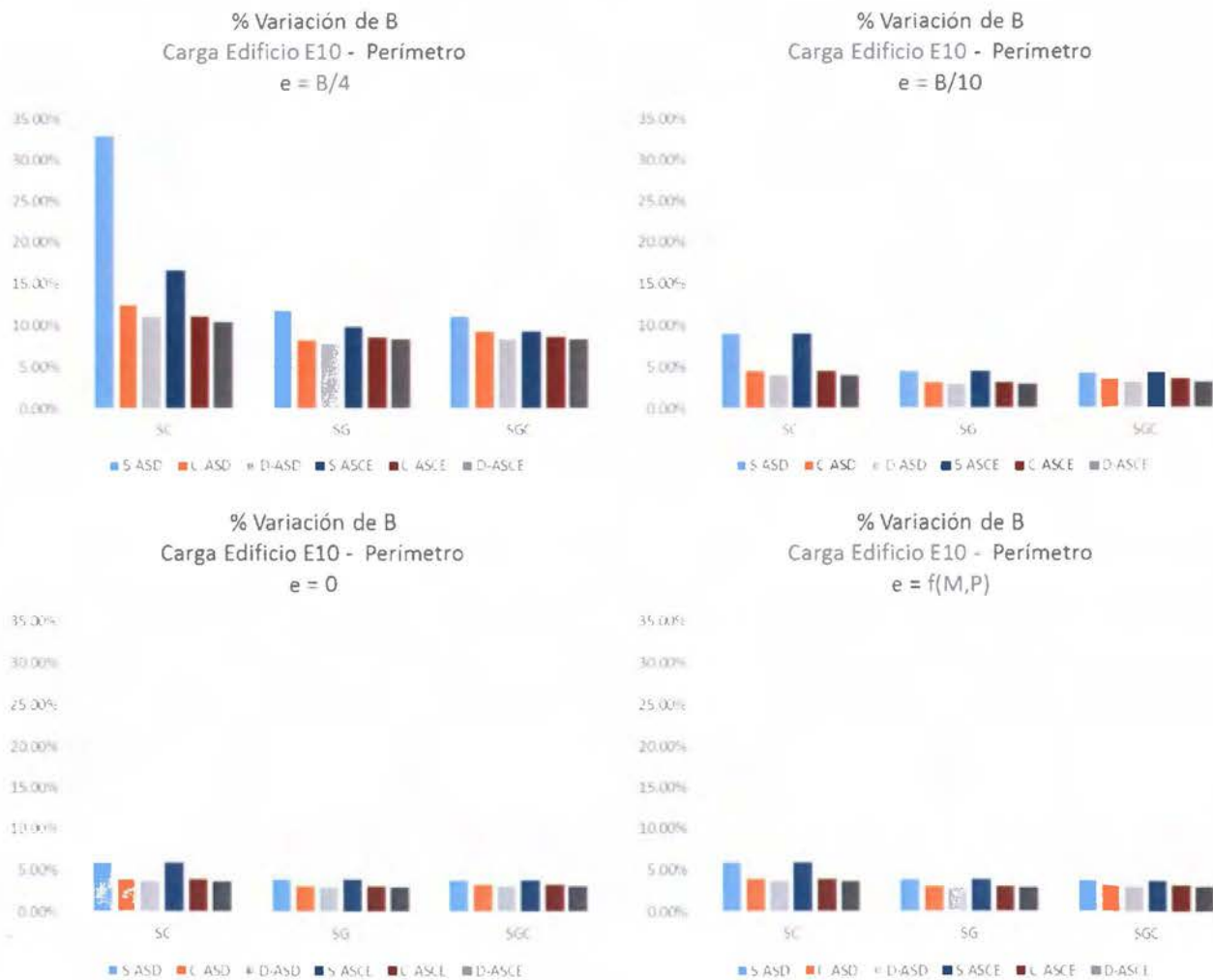
**Gráfico 4. Variación en porcentaje de dimensión B según excentricidad - Carga Media**



**Gráfico 5. Variación en porcentaje de dimensión B según excentricidad - Carga Alta**



**Gráfico 6. Variación en porcentaje de dimensión B la excentricidad - Carga Muy Alta**



**Gráfico 7. Variación del FS según la excentricidad – Carga Media**

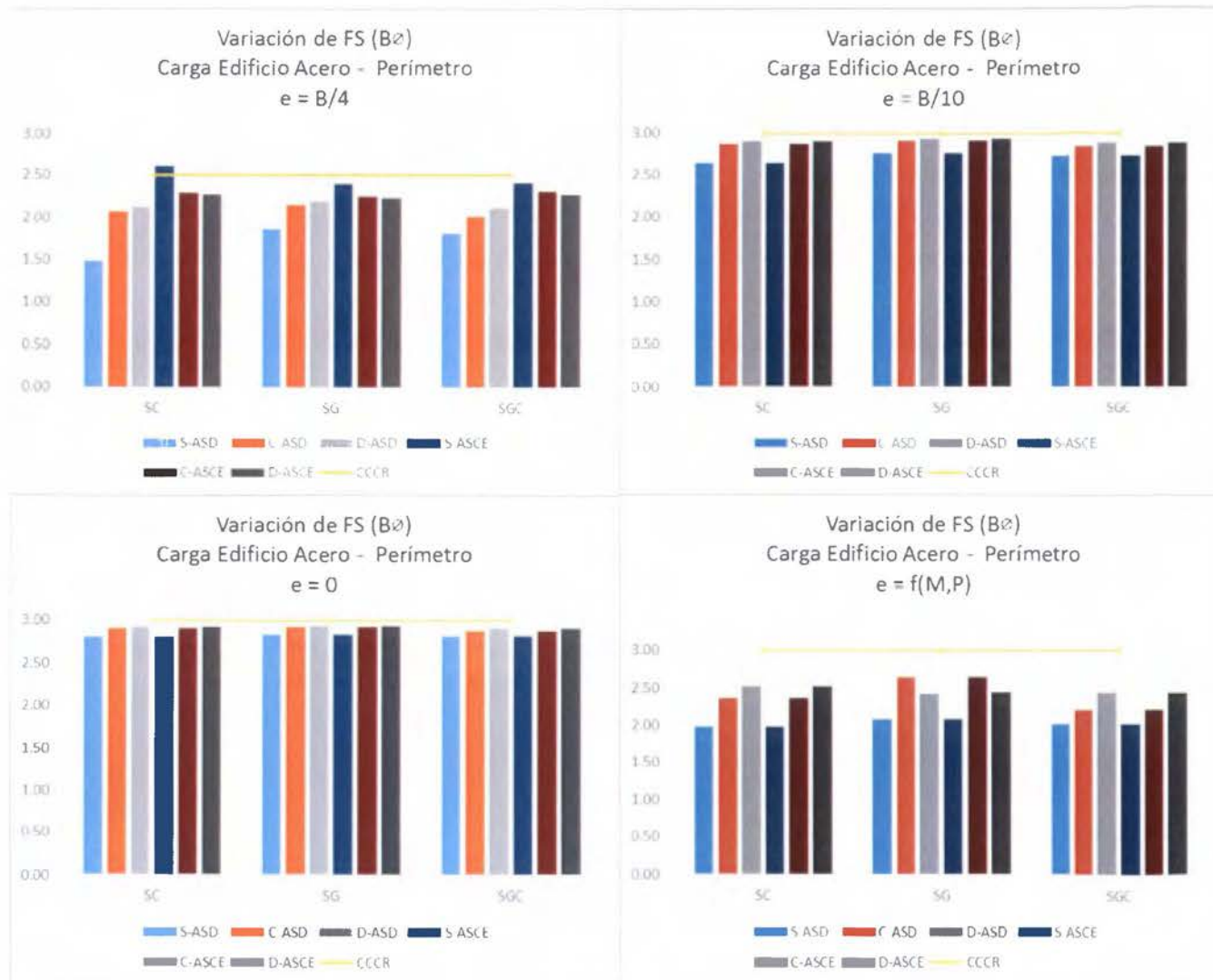
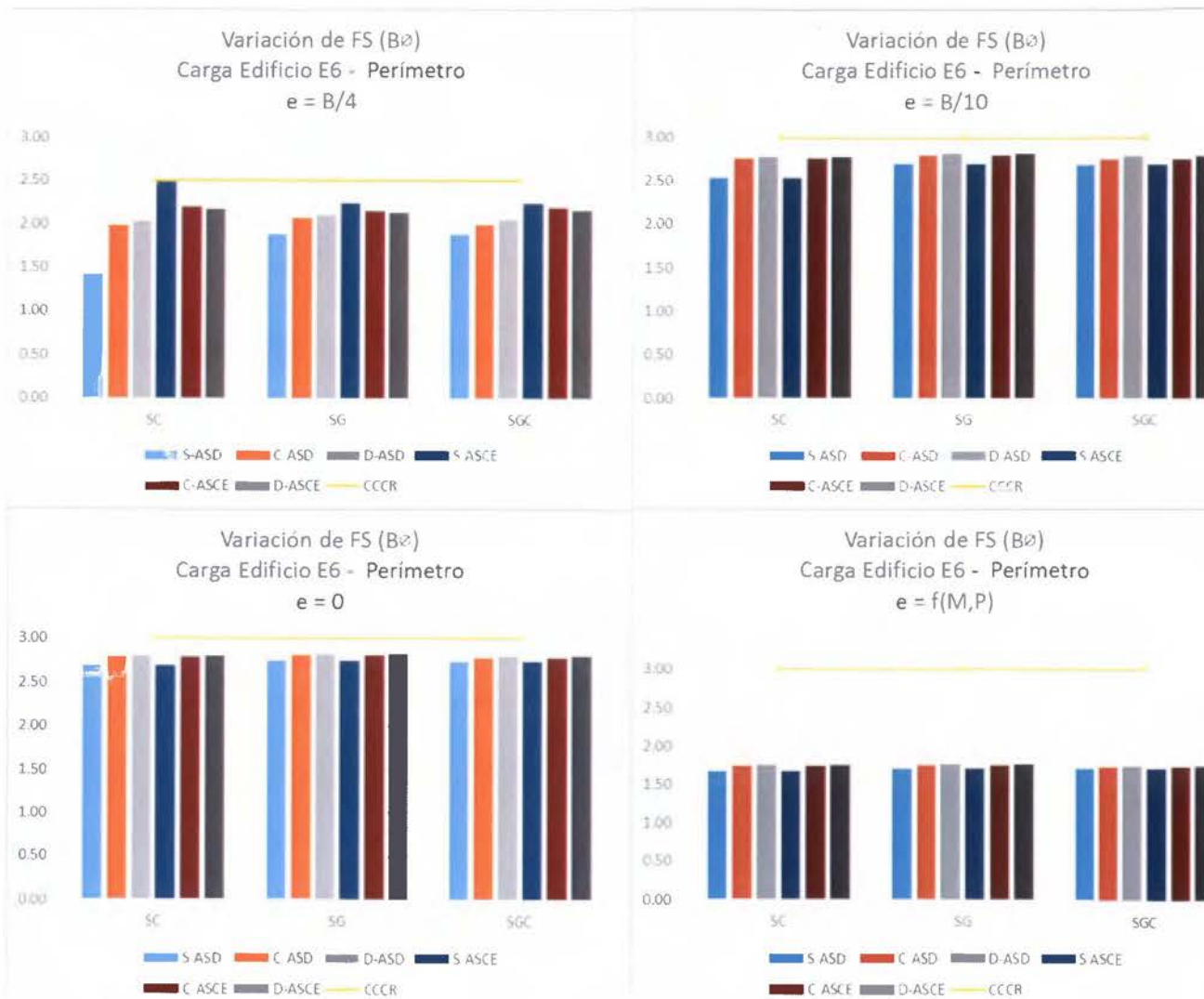
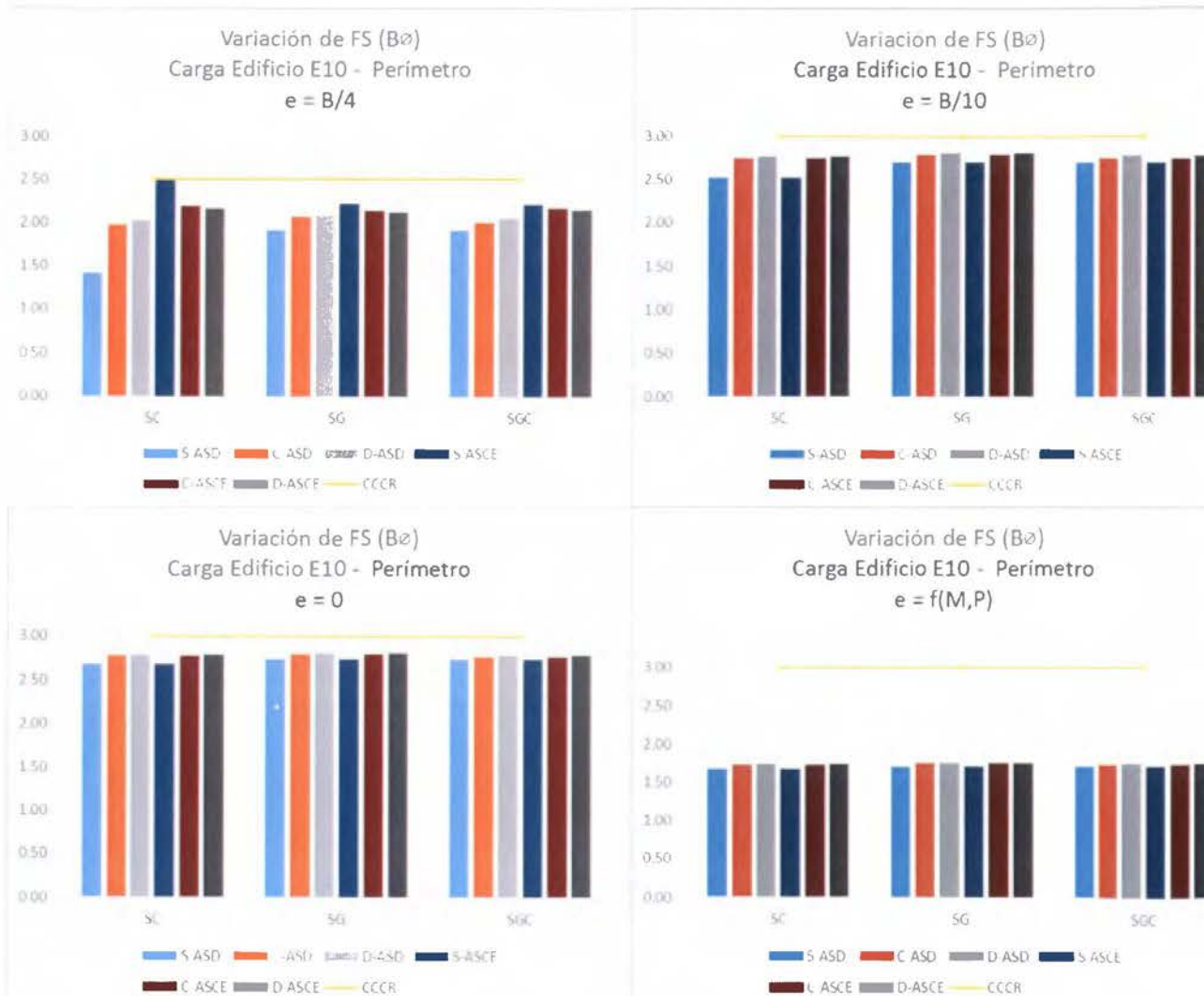


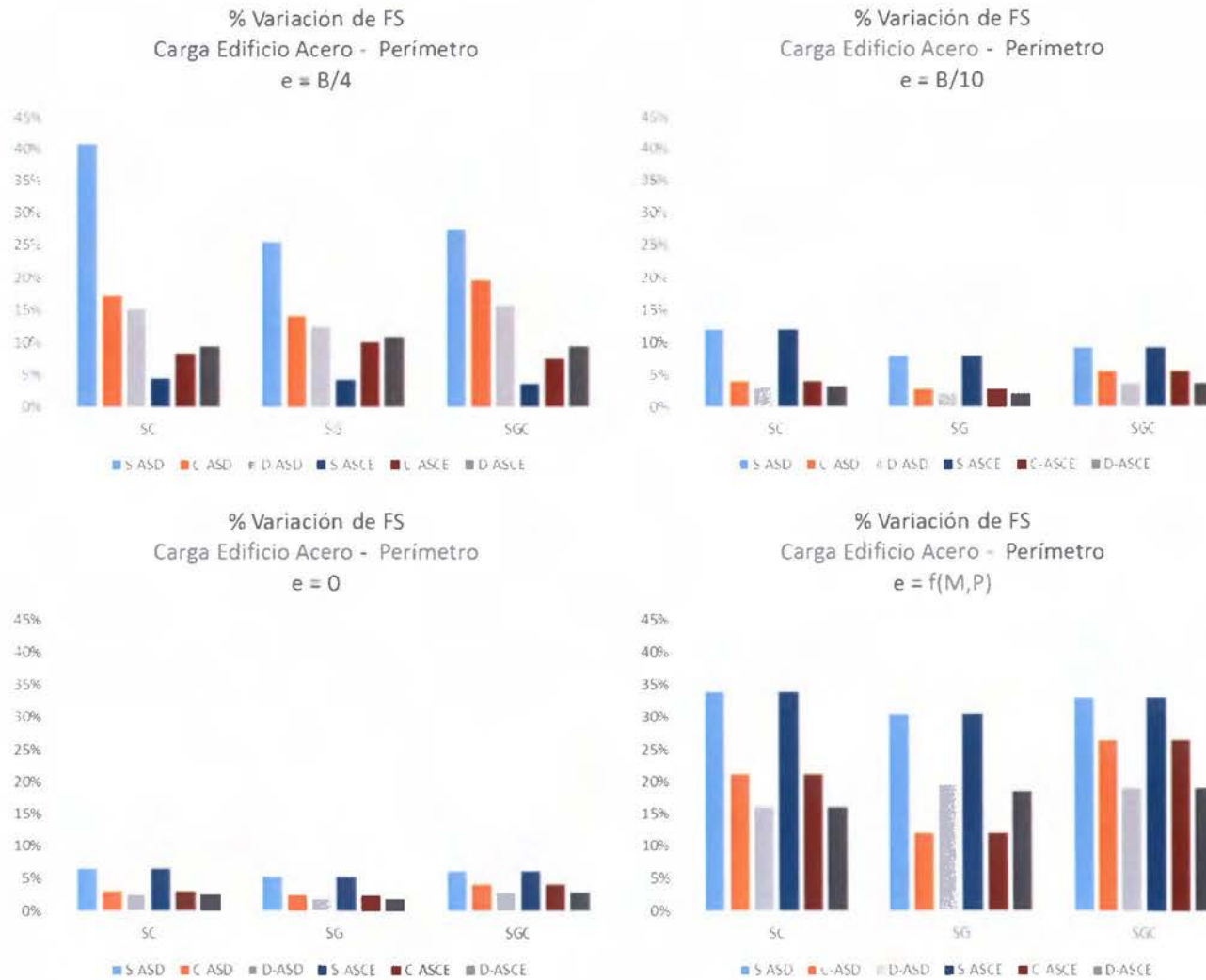
Gráfico 8. Variación del FS según la excentricidad – Carga Alta



**Gráfico 9. Variación del FS según la excentricidad – Carga Muy Alta**

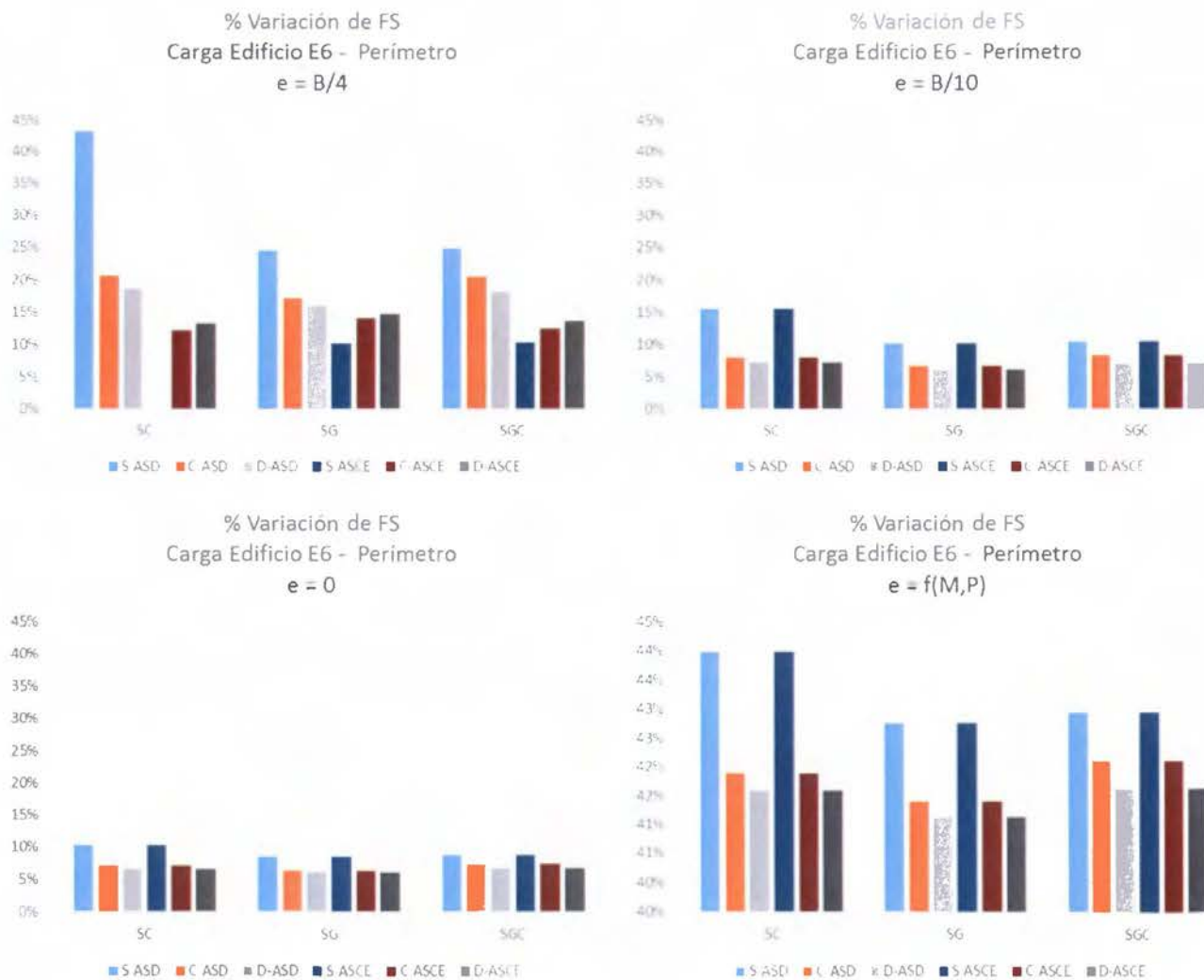


**Gráfico 10. Variación en porcentaje del FS según la excentricidad – Carga Media**

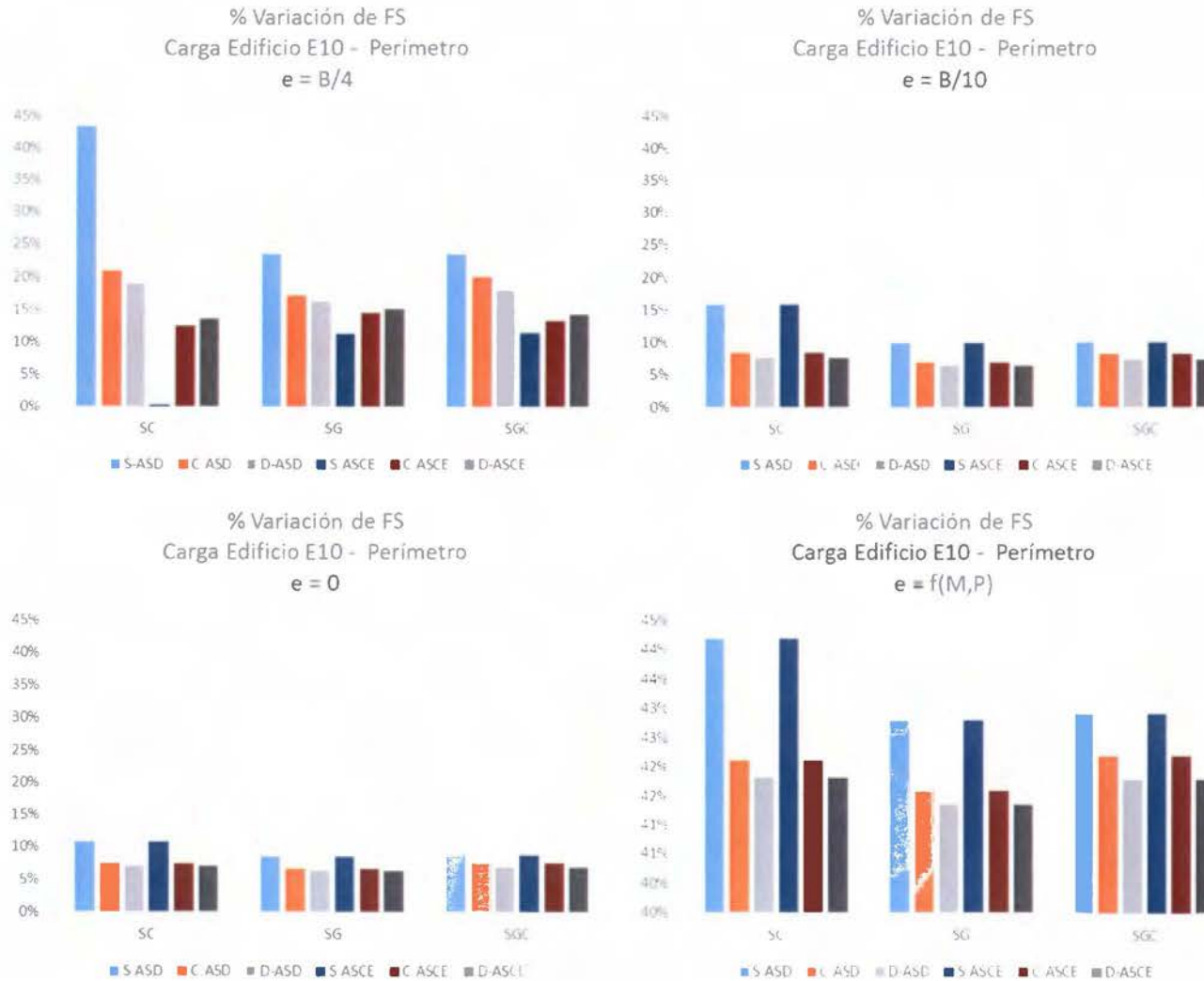




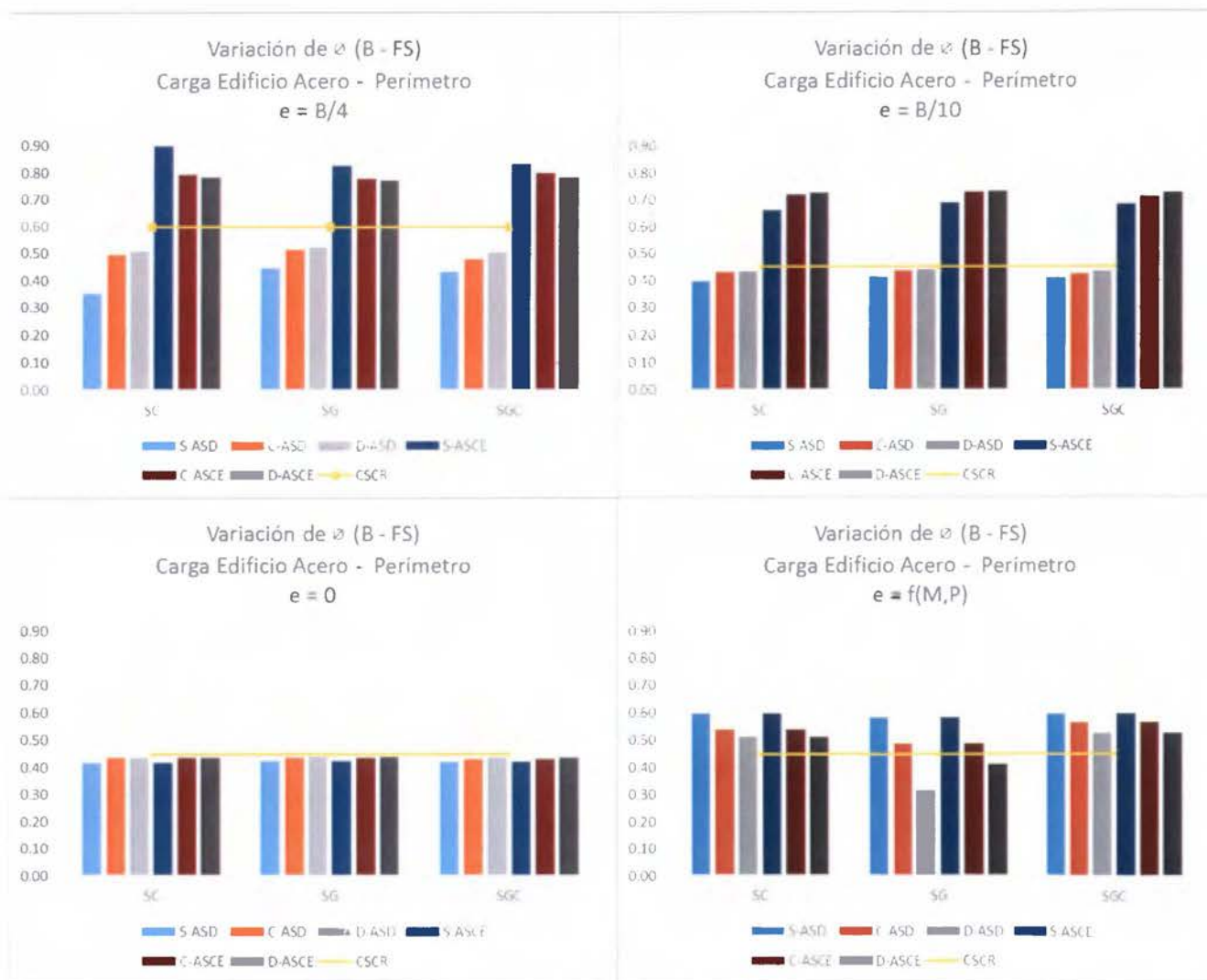
**Gráfico 11. Variación en porcentaje del FS según la excentricidad – Carga Alta**



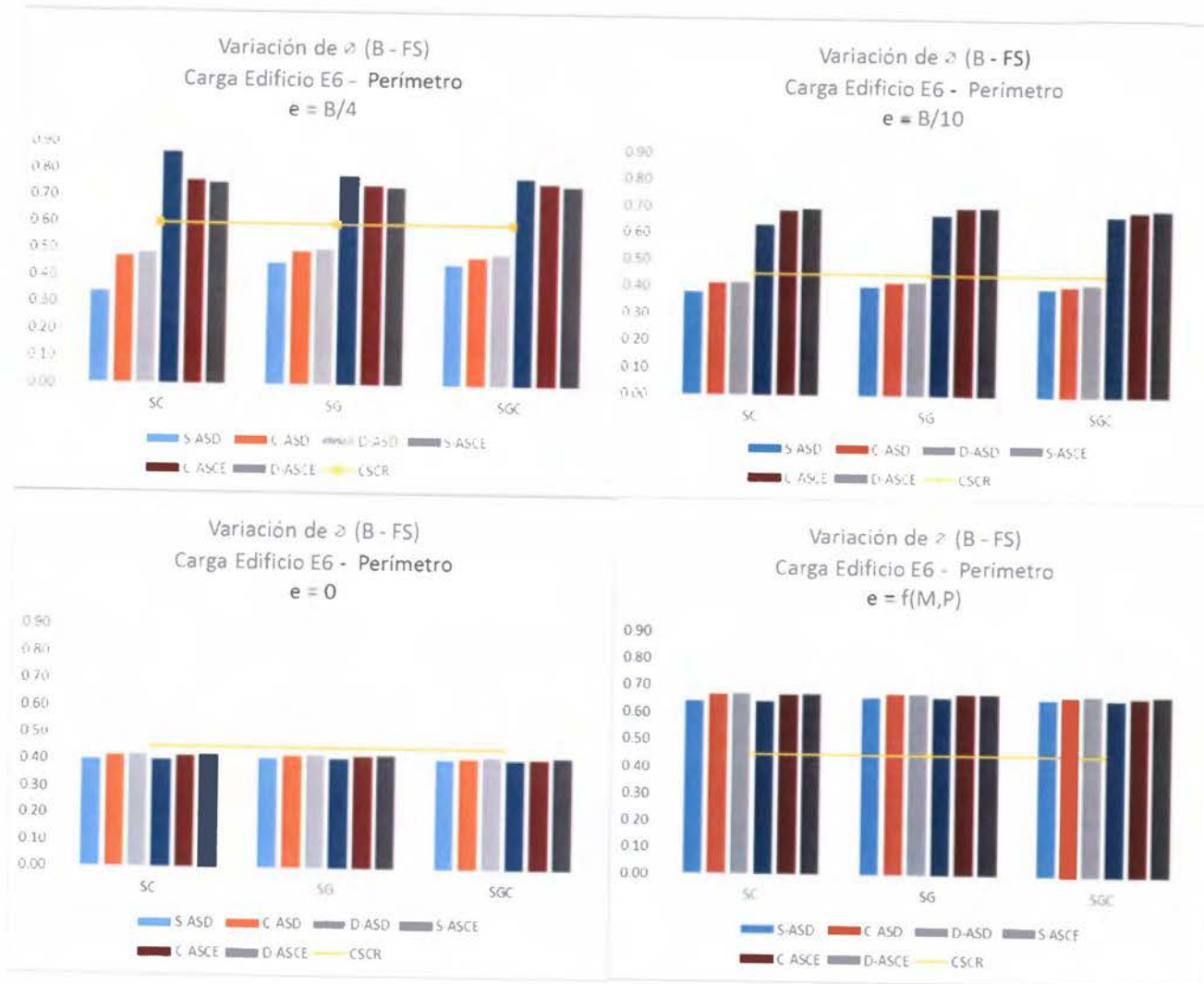
**Gráfico 12. Variación en porcentaje del FS según la excentricidad – Carga Muy Alta**



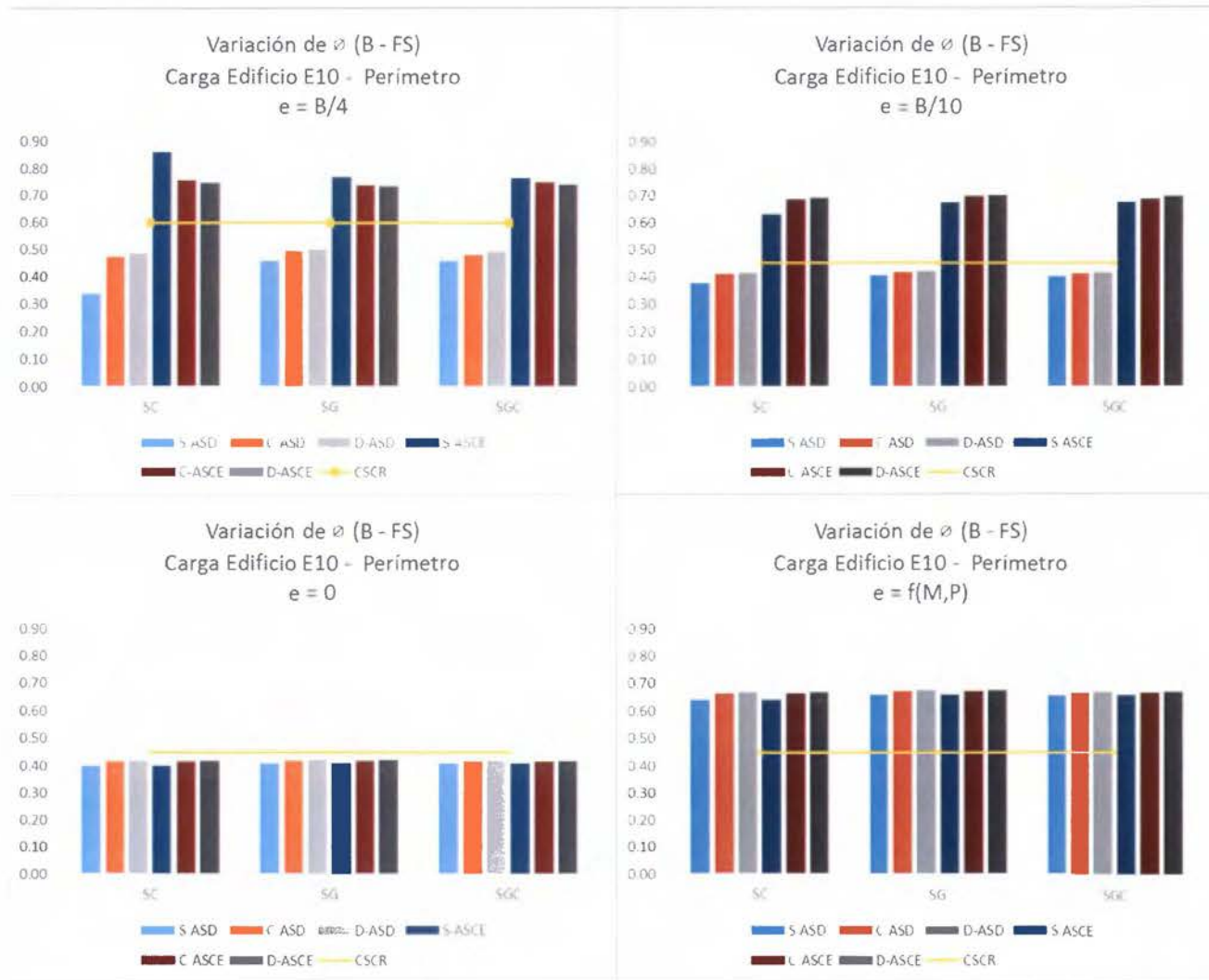
**Gráfico 13. Variación de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Media**



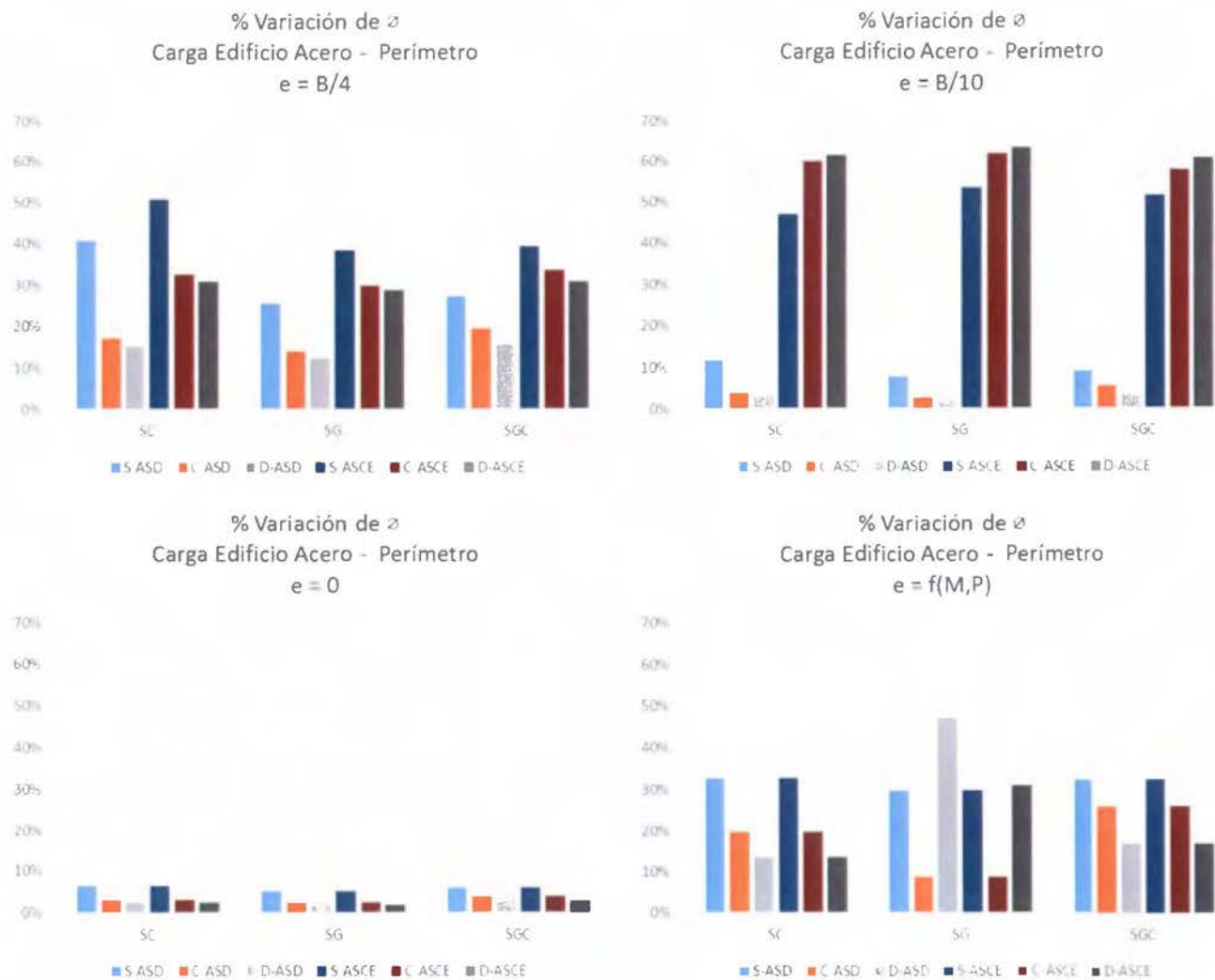
**Gráfico 14. Variación de  $\varphi$  según excentricidad – Carga Alta**



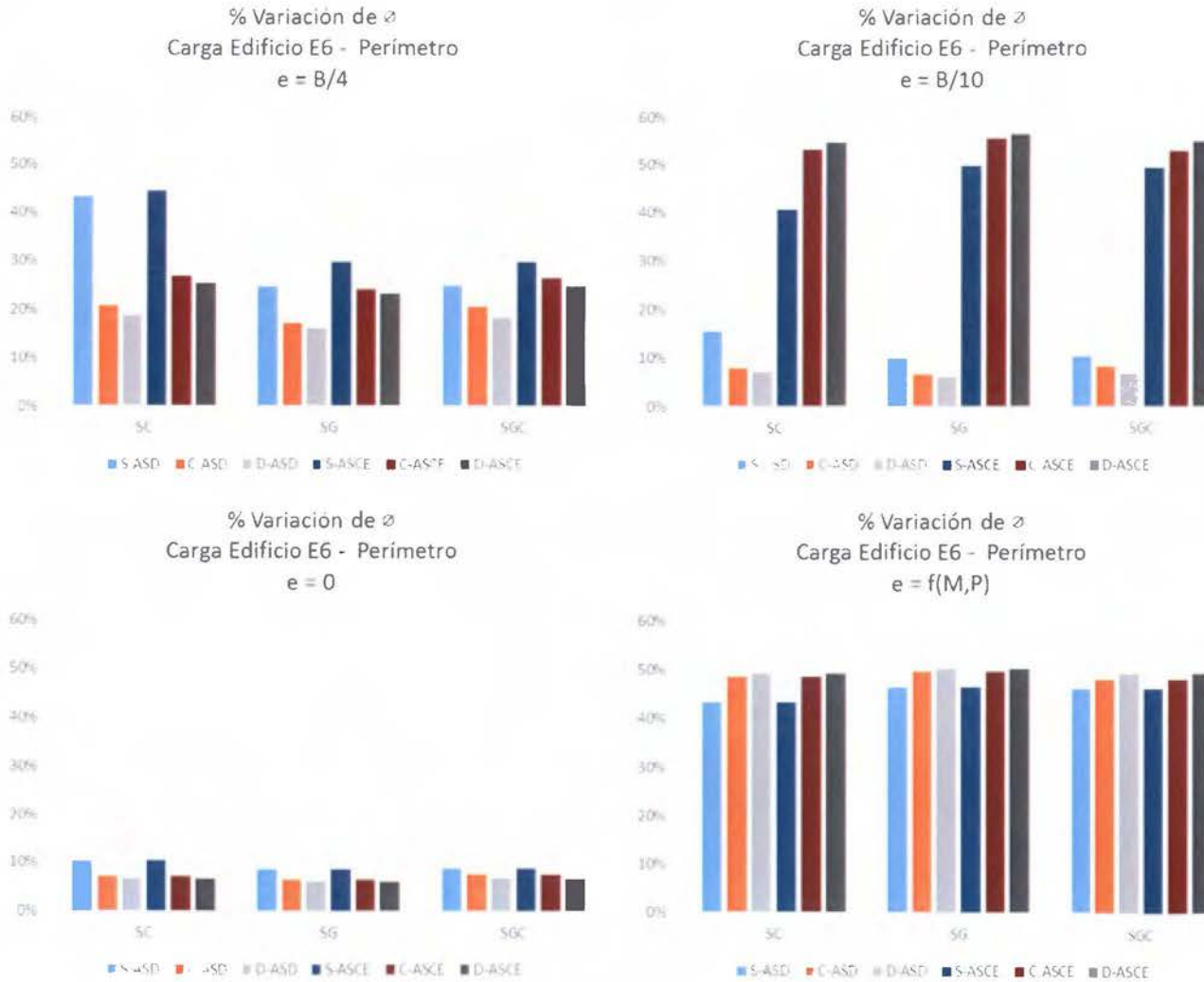
**Gráfico 15. Variación de  $\phi$  según excentricidad – Carga Muy Alta**



**Gráfico 16. Variación en porcentaje de  $\varphi$  según excentricidad – Carga Media**

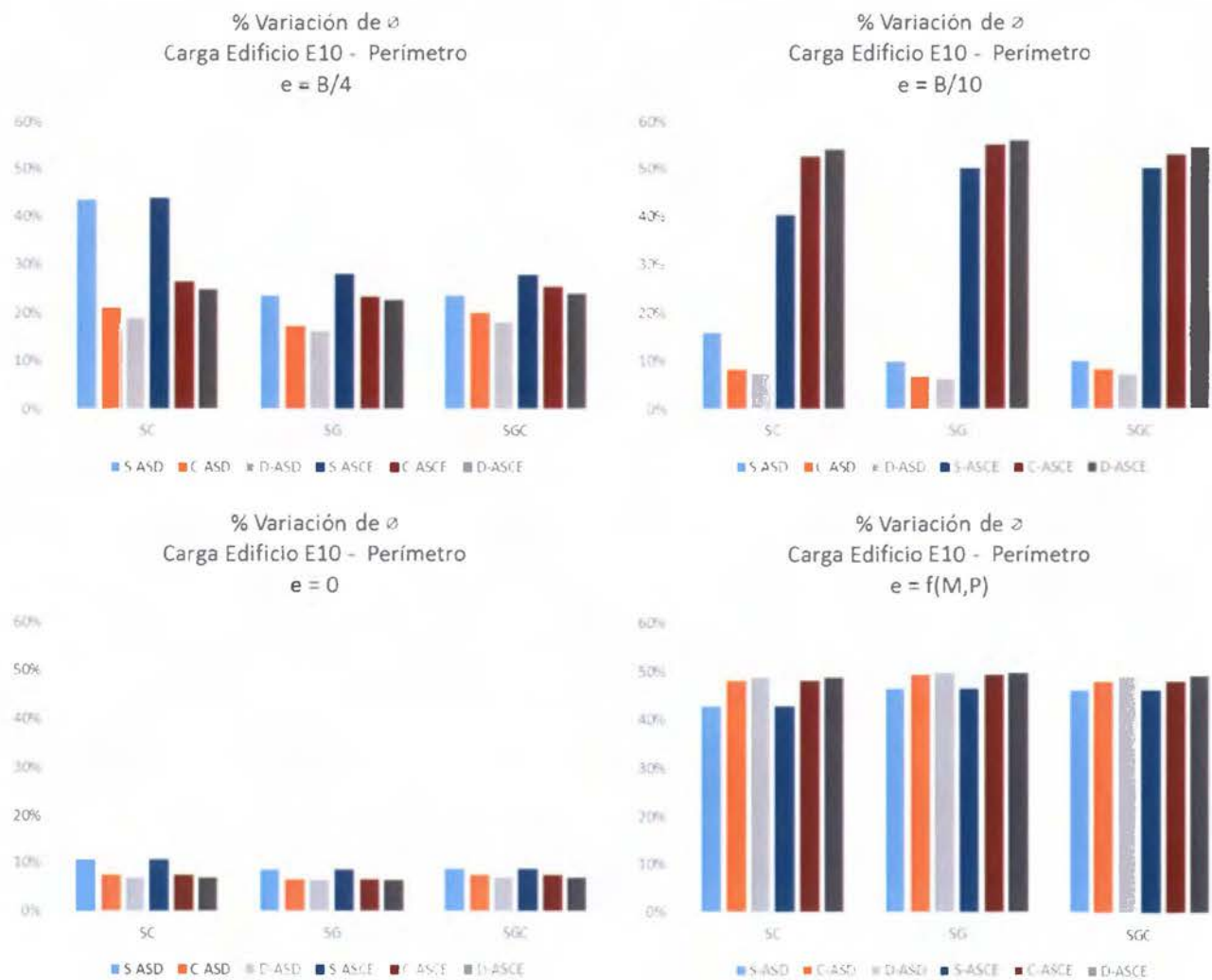


**Gráfico 17. Variación en porcentaje de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Alta**



Esta obra es propiedad del  
**SIBDI - UCR**

**Gráfico 18.** Variación en porcentaje de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Muy Alta





## ***CIMENTACIONES PROFUNDAS – CIMENTACIÓN UBICADA EN PERÍMETRO DE EDIFICIO***

Con los datos obtenidos del número de pilotes para la cimentación profunda, se elabora gráfico para comparar los resultados entre los tres tipos de suelo y para cada uno de los métodos de diseño en las tres diferentes combinaciones de carga.

### **Variación en el número de pilotes**

En los gráficos 19 a 21, se revisan los resultados del número de pilotes, de las distintas cargas para el caso de la columna ubicada en el perímetro del edificio.

### **Variación en porcentaje del número de pilotes**

En los gráficos 22 a 24, se revisa la variación en porcentaje del número de pilotes obtenido con el método ASD en las combinaciones del CSCR y ASCE respecto al número de pilotes obtenido con el método LRFD, en términos de porcentaje, para las distintas cargas en el caso de la columna ubicada en el centro del edificio.

### **Variación del Factor de Seguridad obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método LRFD**

En los gráficos 25 a 27, se revisa la variación del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método LRFD.

**Variación en porcentaje del Factor de Seguridad, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método LRFD**

En los gráficos 28 a 30, se revisa la variación en porcentaje del factor de seguridad calculado por el método ASD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método LRFD.

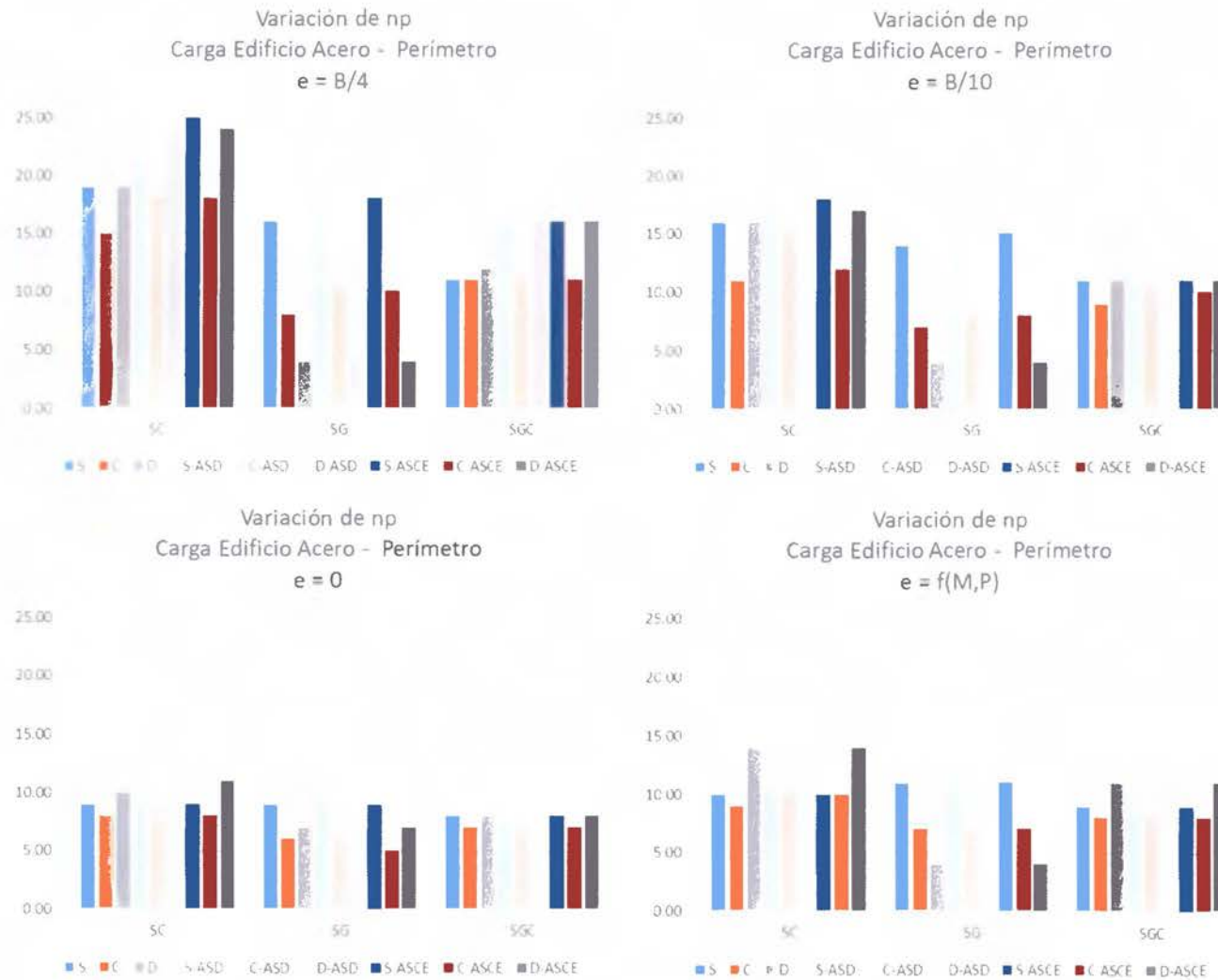
**Variación del Factor de Reducción, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método ASD**

En los gráficos 31 a 33, se revisa la variación del factor de reducción calculado por el método LRFD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método ASD.

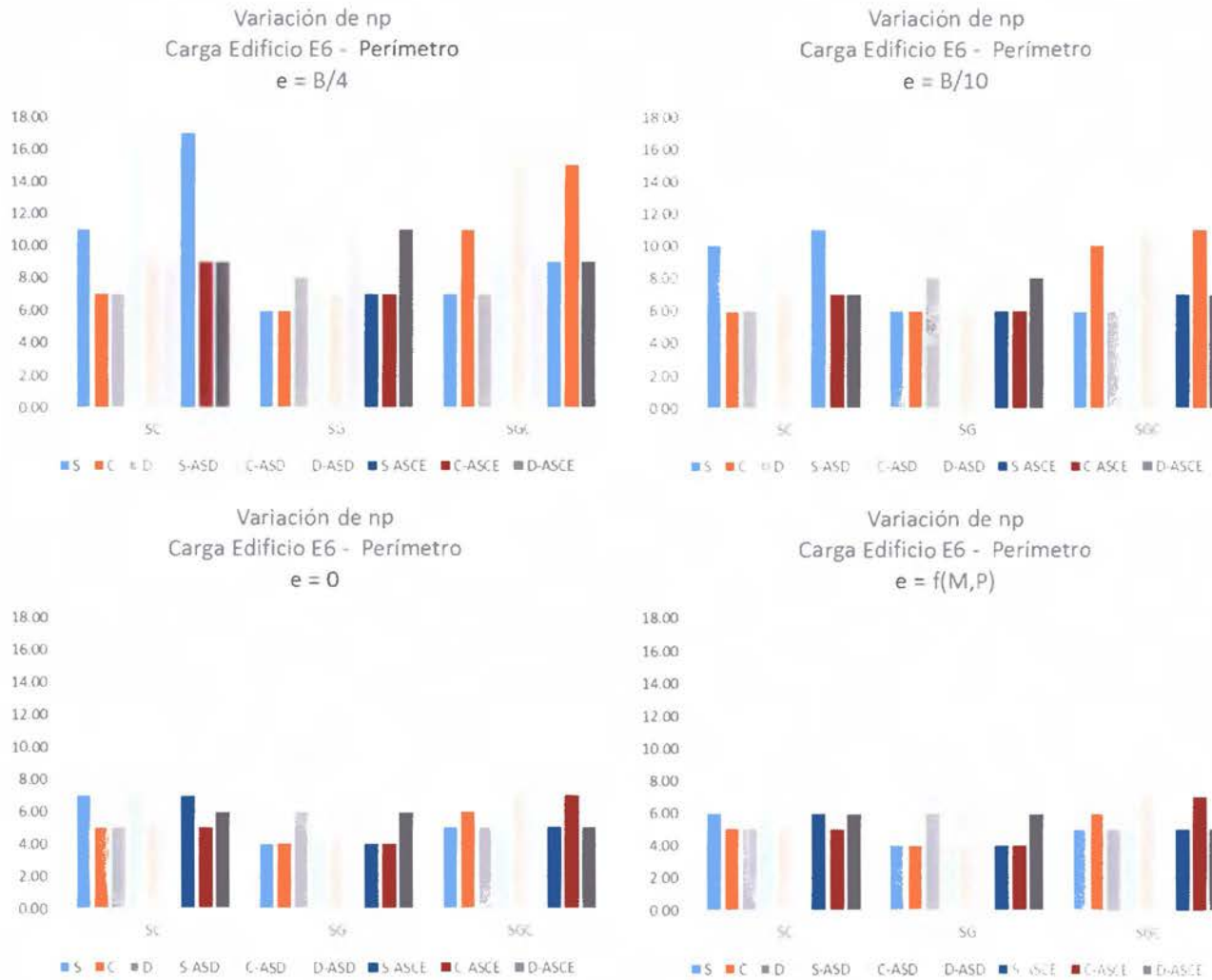
**Variación en porcentaje del Factor de Reducción, obtenido a partir del número de pilotes obtenido por el método ASD**

En los gráficos 34 a 36, se revisa la variación en porcentaje del factor de reducción, calculado por el método LRFD a partir del número de pilotes obtenido en el cálculo con el método ASD.

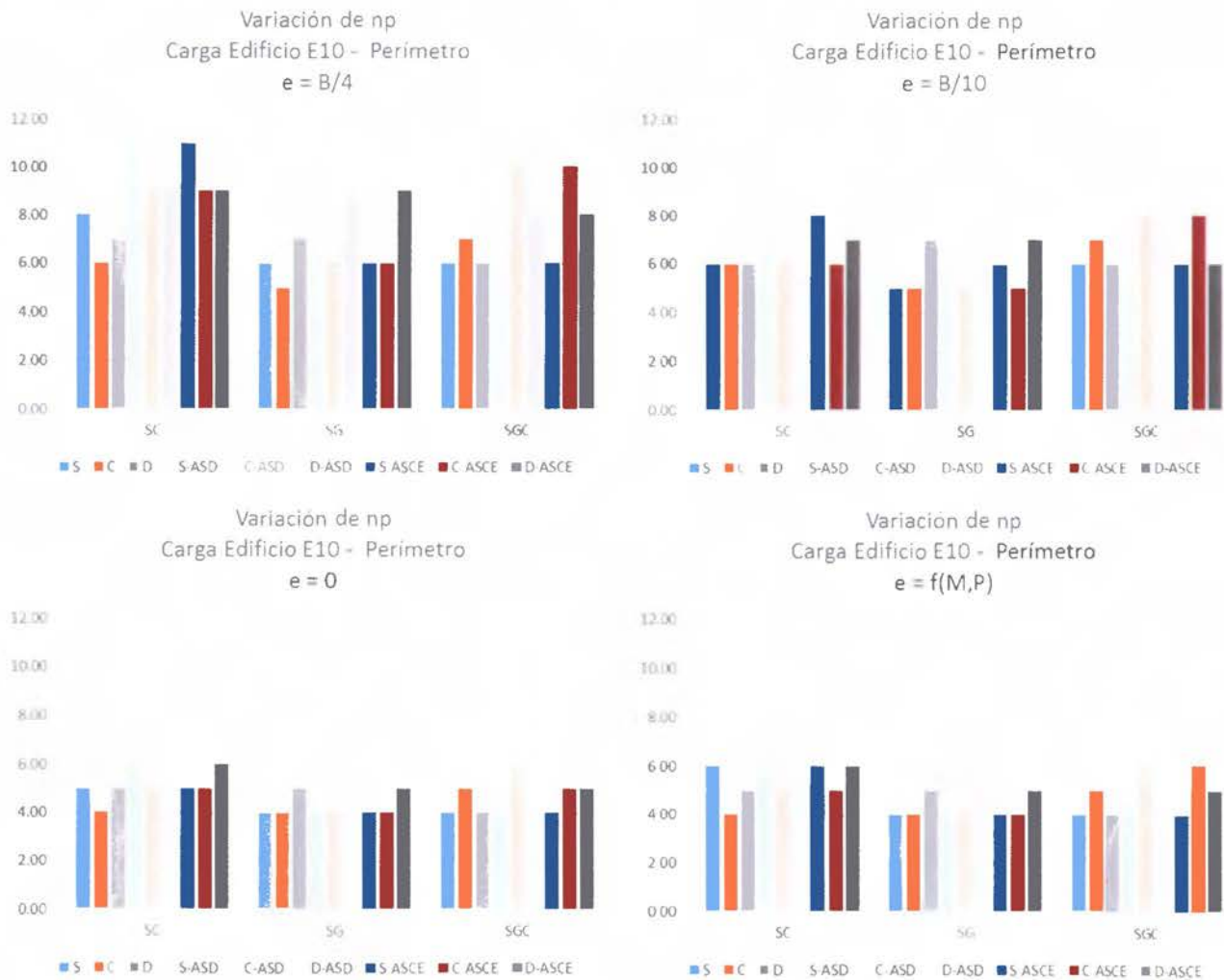
**Gráfico 19. Variación en el np según la excentricidad - Carga Media**



**Gráfico 20.** Variación en el np según la excentricidad - Carga Alta

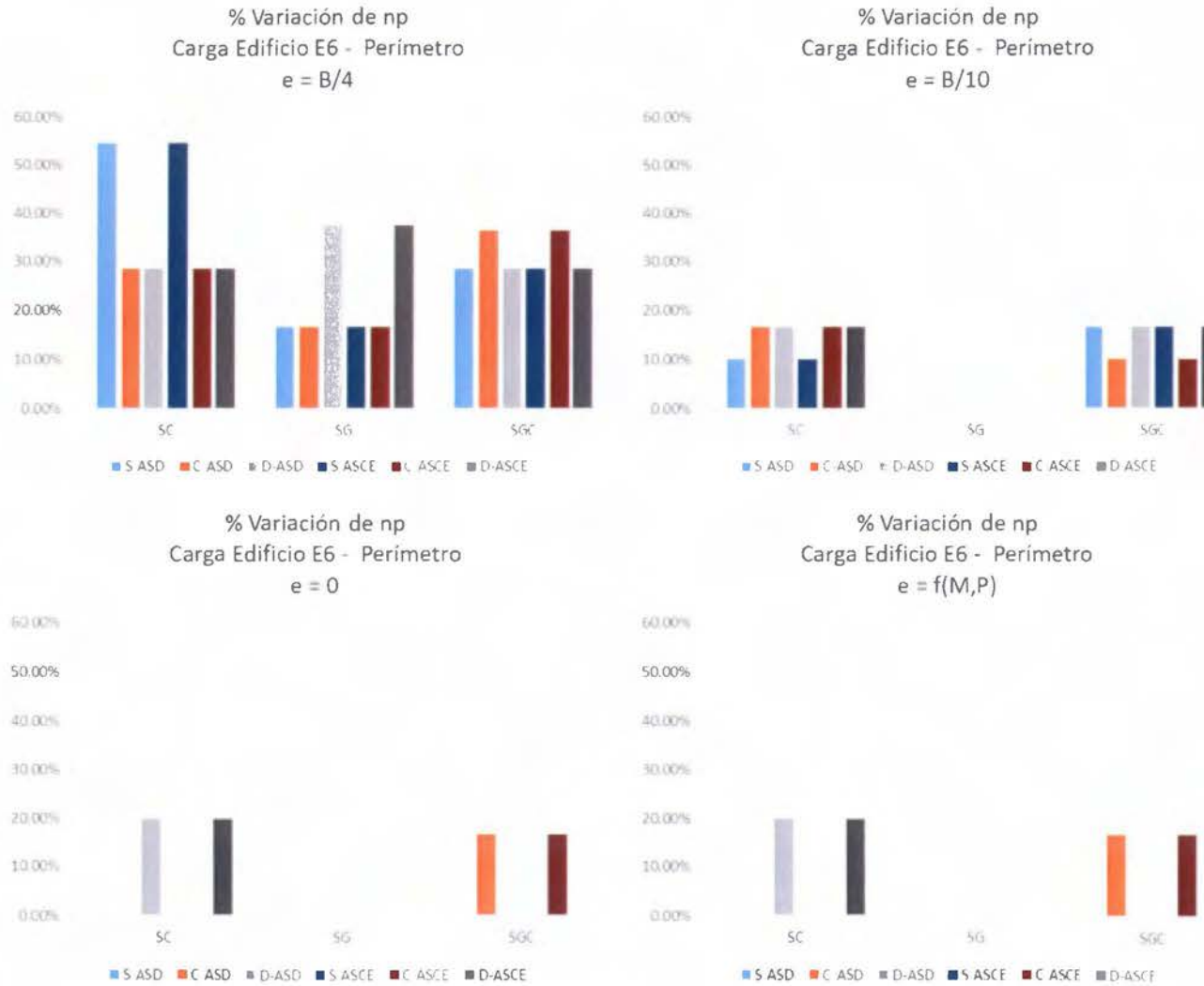


**Gráfico 21. Variación en el np según la excentricidad - Carga Muy Alta**

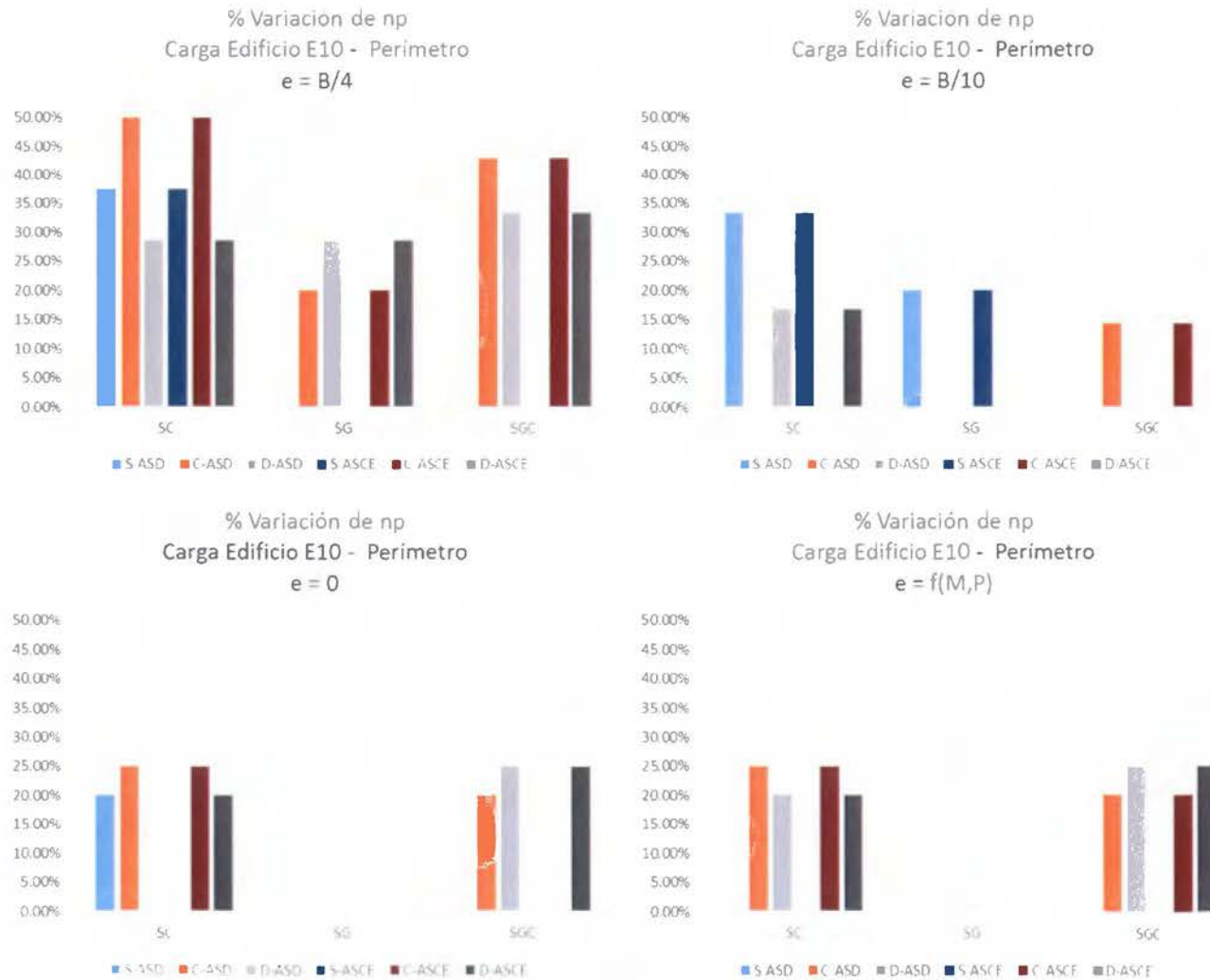




**Gráfico 23.** Variación en porcentaje del np según la excentricidad - Carga Alta

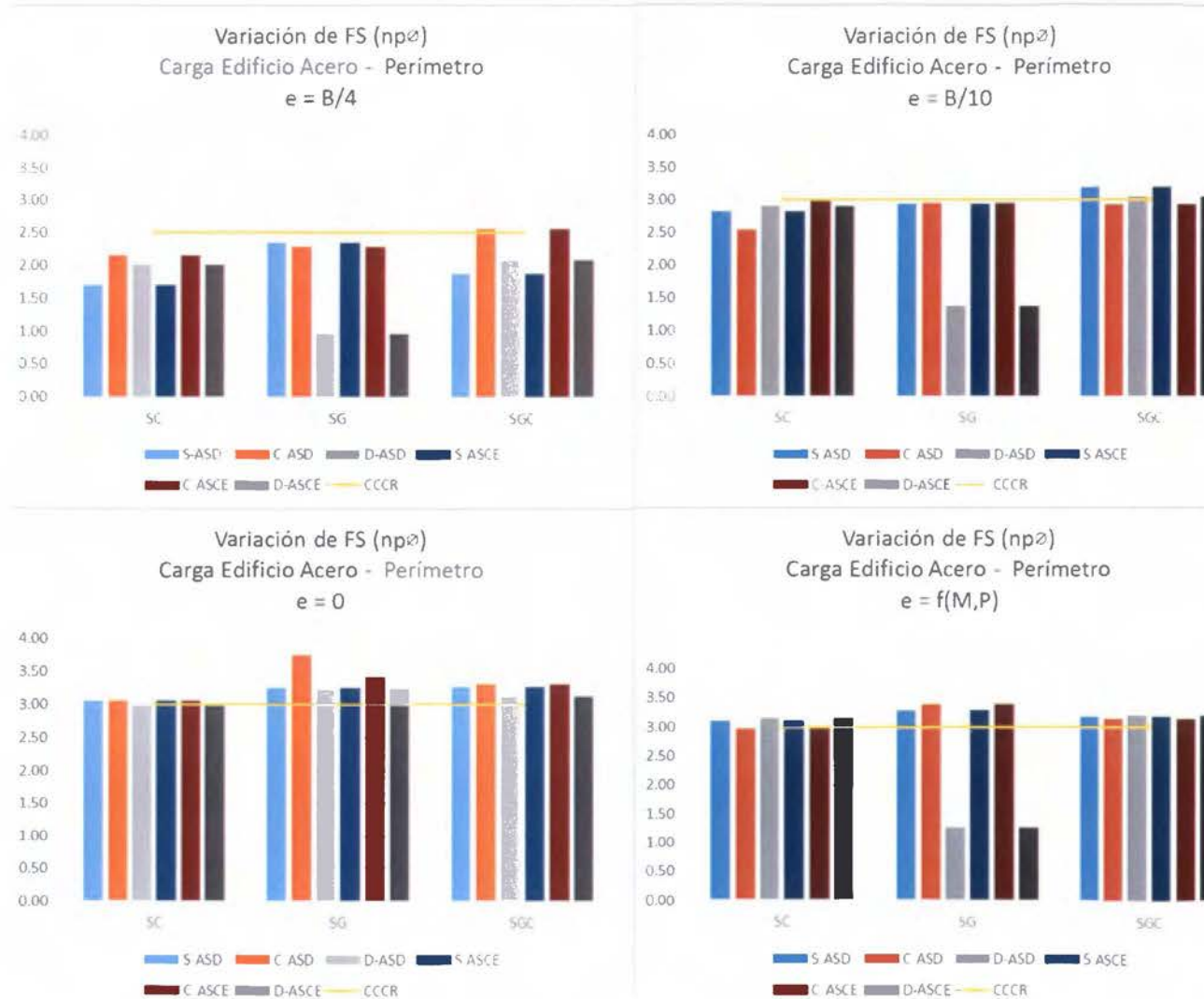


**Gráfico 24.** Variación en porcentaje del np según la excentricidad - Carga Muy Alta

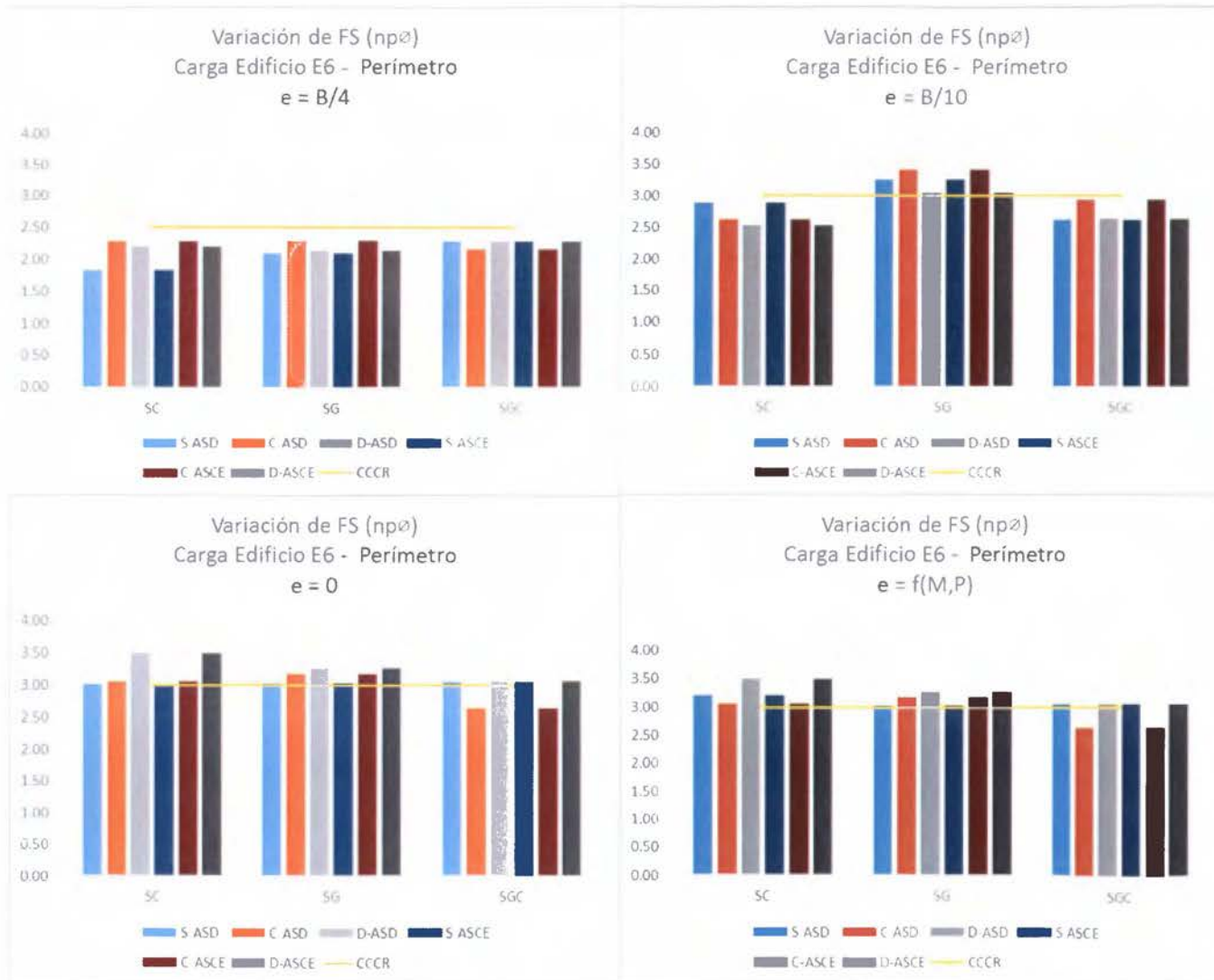




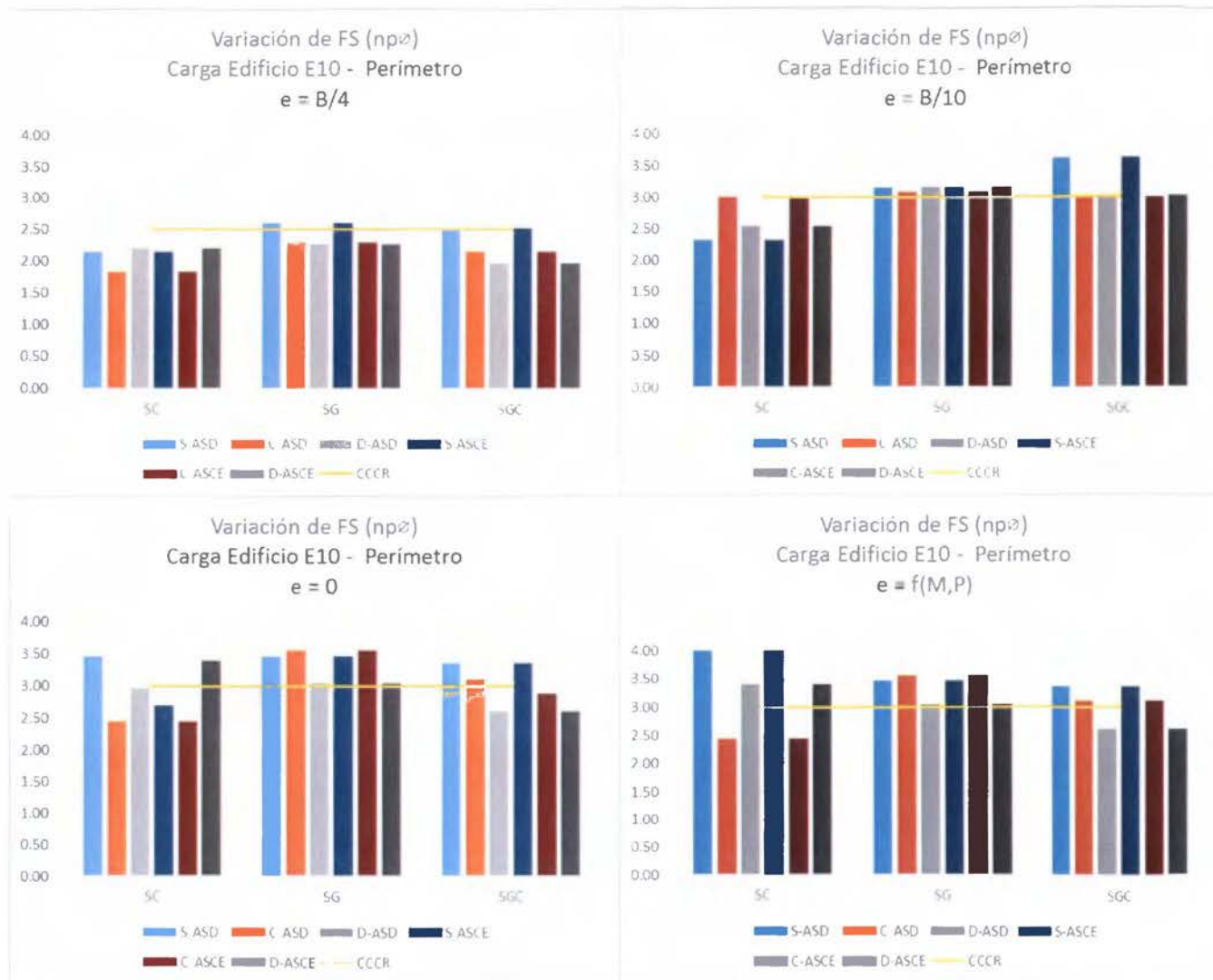
**Gráfico 25.** Variación del FS según la excentricidad – Carga Media



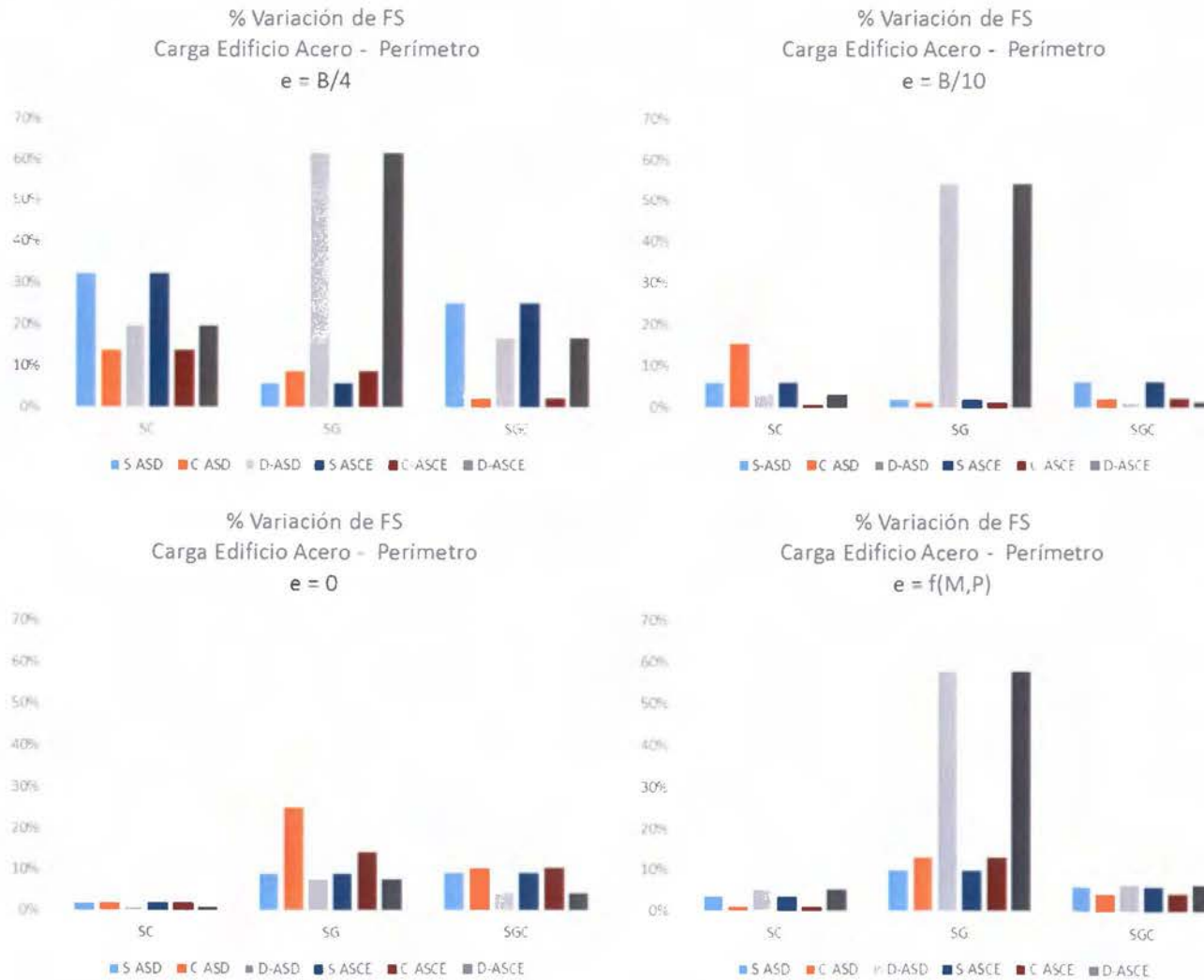
**Gráfico 26.** Variación del FS según la excentricidad – Carga Alta



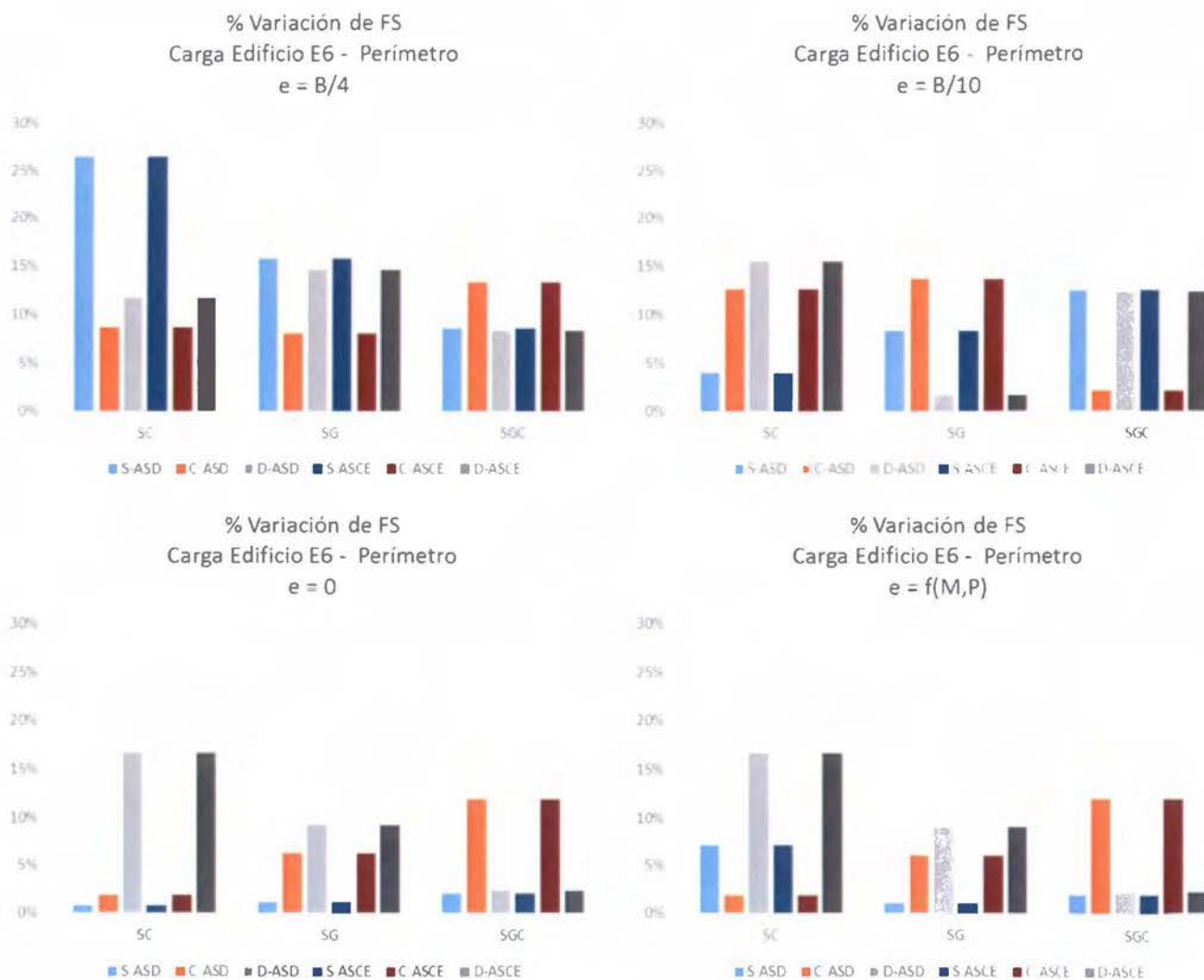
**Gráfico 27. Variación del FS según la excentricidad – Carga Muy Alta**



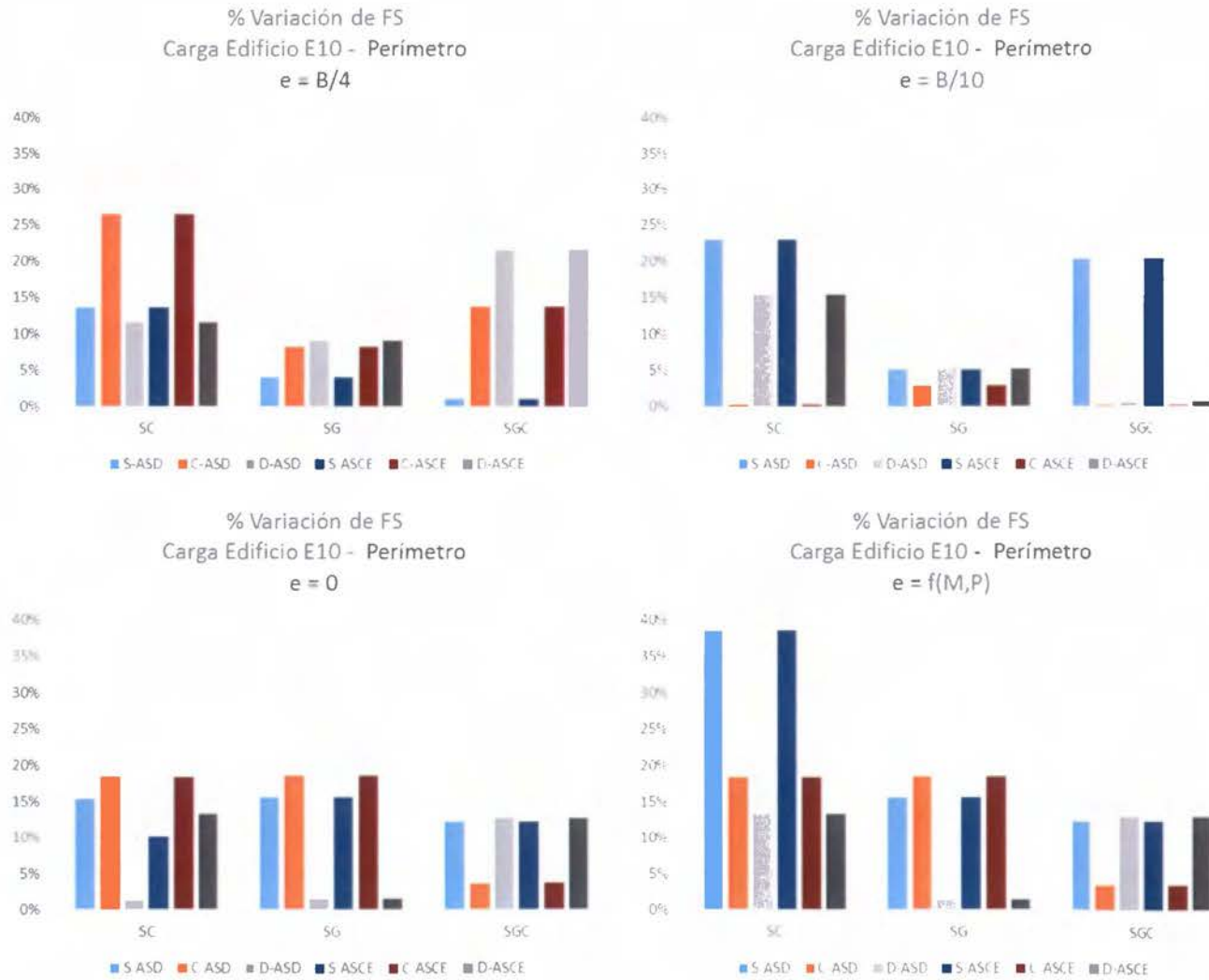
**Gráfico 28.** Variación en porcentaje del FS según la excentricidad – Carga Media



**Gráfico 29.** Variación en porcentaje del FS según la excentricidad – Carga Alta

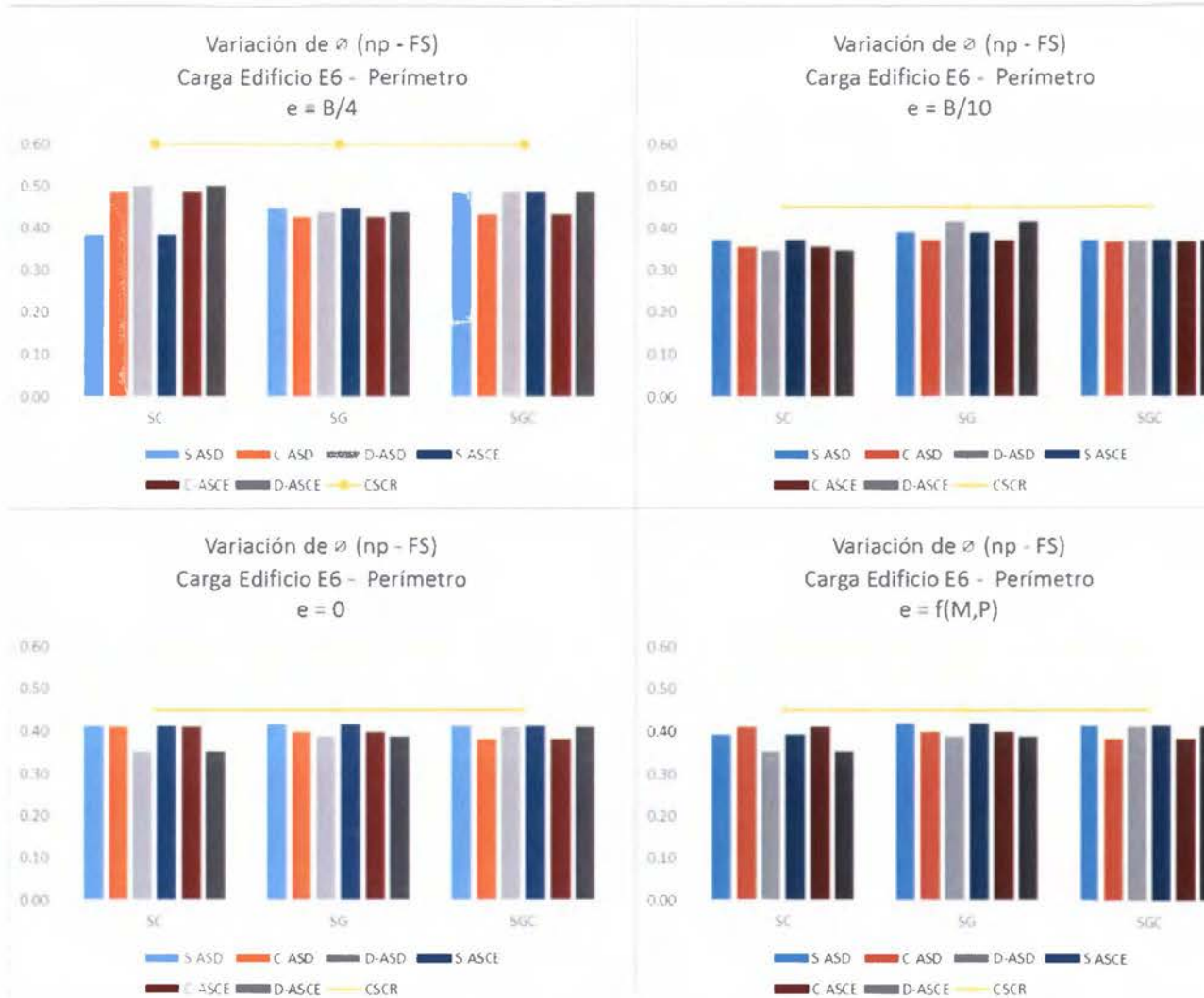


**Gráfico 30. Variación en porcentaje del FS según la excentricidad – Carga Muy Alta**



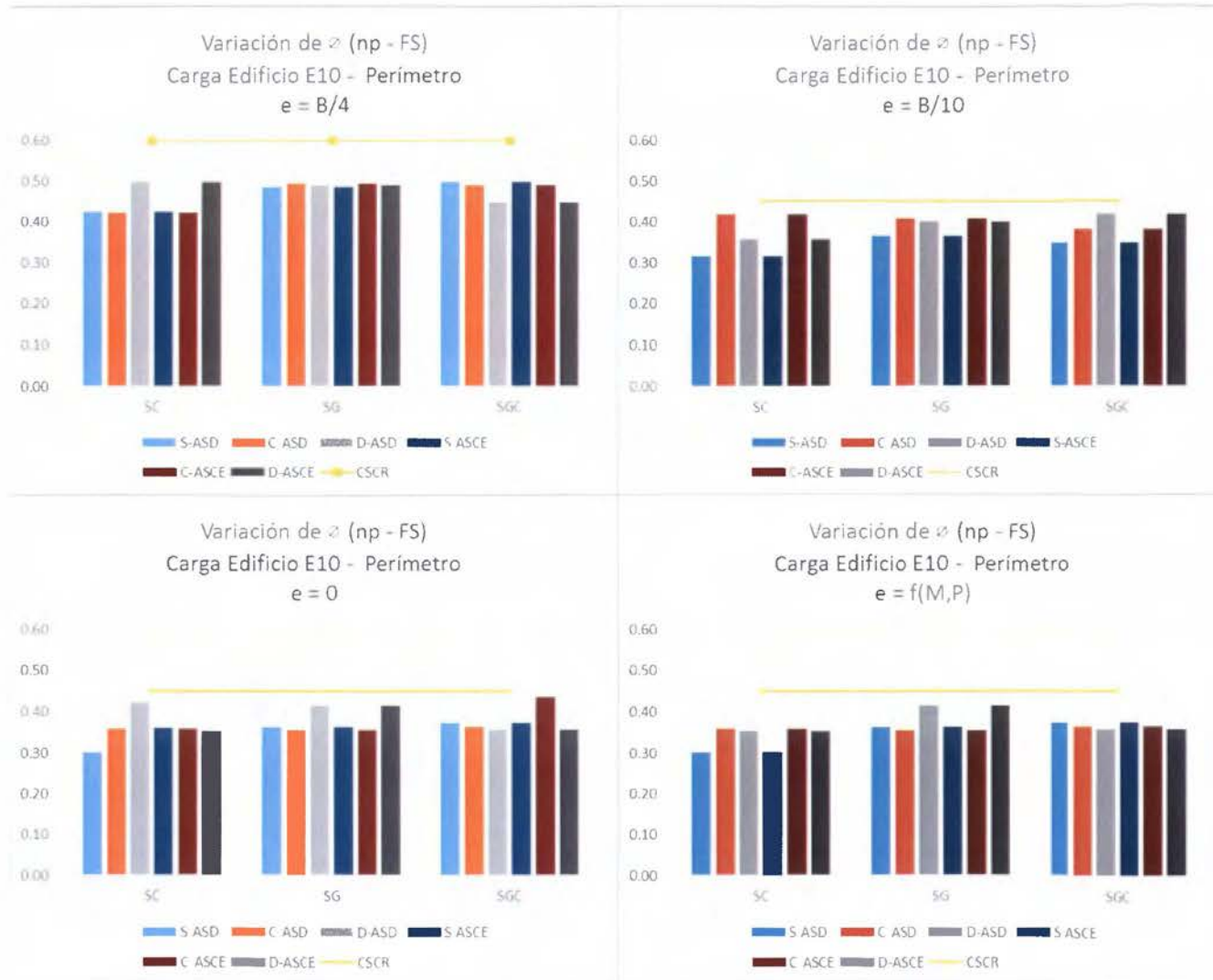


**Gráfico 32.** Variación de  $\varphi$  según la excentricidad – Carga Alta

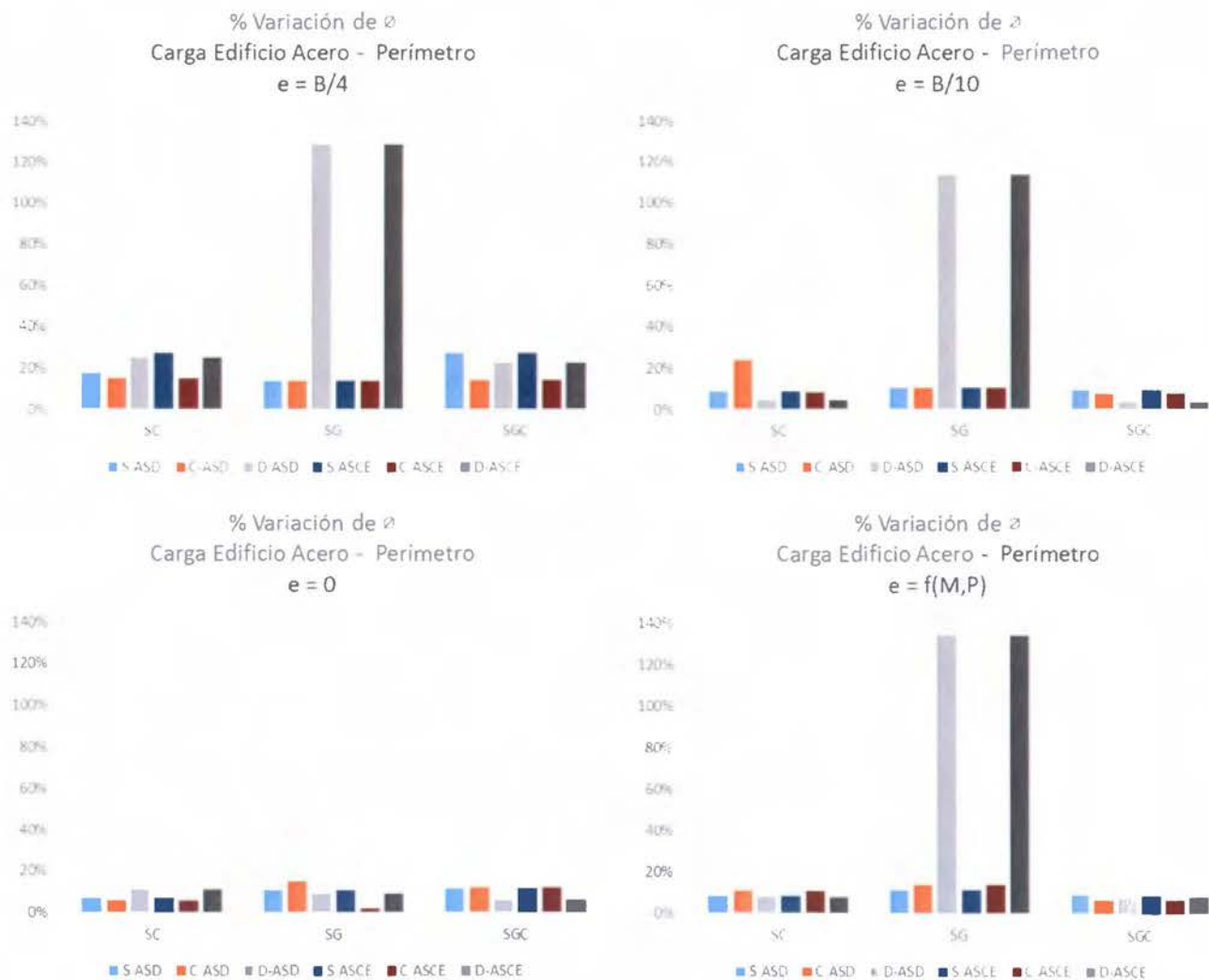




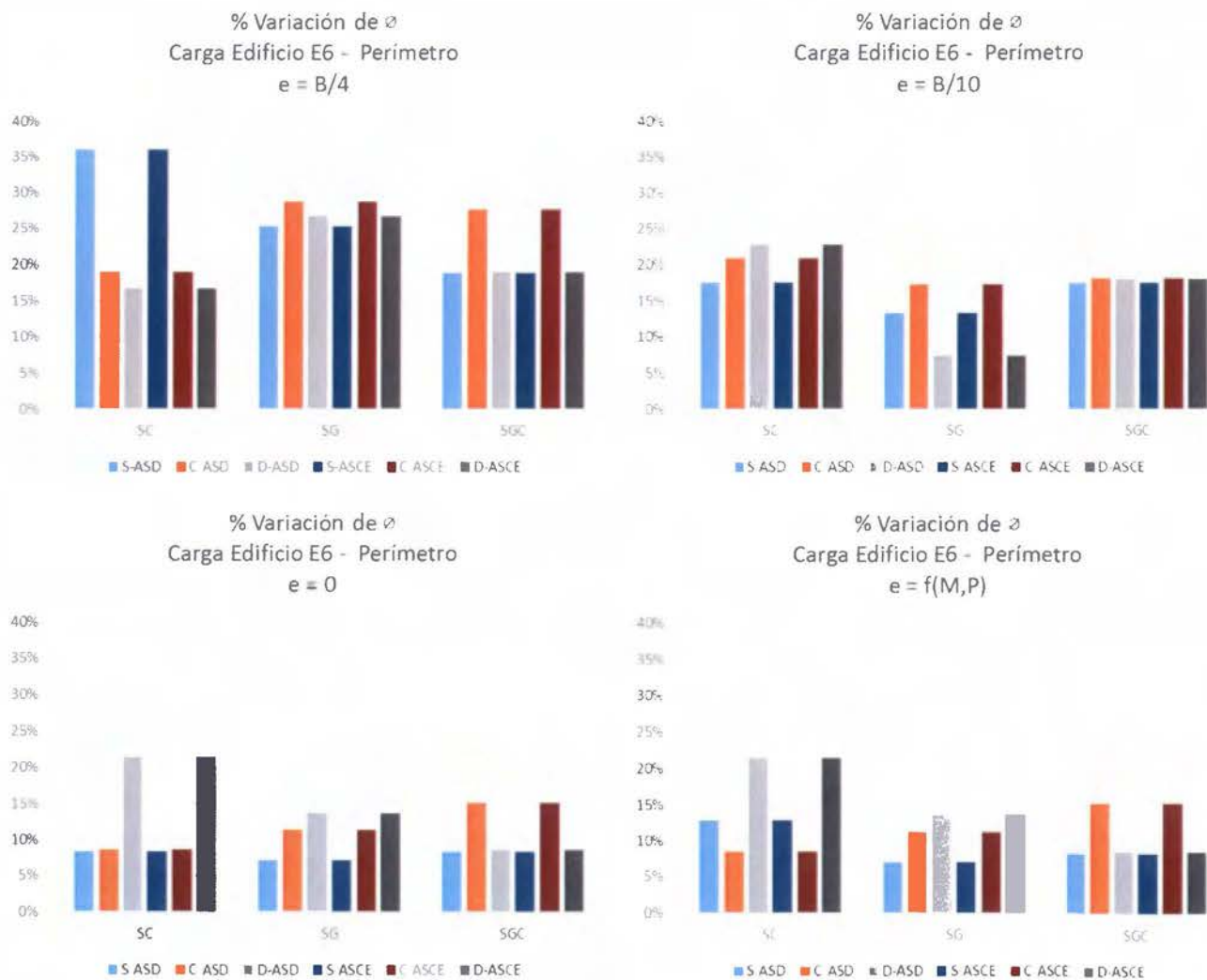
**Gráfico 33.** Variación de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Muy Alta



**Gráfico 34.** Variación en porcentaje de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Media



**Gráfico 35. Variación en porcentaje de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Alta**



**Gráfico 36. Variación en porcentaje de  $\phi$  según la excentricidad – Carga Muy Alta**

