

GUÍA DE DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES PREFABRICADAS PARA EDIFICACIONES

JAVIER EMILIO PENAGOS CONGOTE

**Trabajo de grado para optar al título de
INGENIERO CIVIL**

JOSÉ FERNANDO RAVE ARANGO

INGENIERO CIVIL



**UNIVERSIDAD EIA
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2017**

A la memoria de mi padre, quién, siendo abogado de profesión, disfrutaba empíricamente del amplio mundo de la ingeniería.

A mi madre, por tener la gallardía de enfrentar la injusticia social y por superar todos los obstáculos que han llegado a nuestras vidas desde la ausencia de mi padre. Este trabajo es un tributo a su esfuerzo y a las ganas de no dejarse derrumbar por las dificultades del destino.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a Dios por todas las oportunidades que ha traído a mi vida y por permitirme alcanzar este nuevo logro.

Adicionalmente, agradezco a José Fernando Rave Arango, director, profesor, amigo y ahora colega, al cual admiro profundamente por su profesionalismo, sencillez, inteligencia y sentido humano. Él, desde tiempo atrás ha venido enseñándome el verdadero sentido de la ingeniería y desde aquella época nunca se ha negado a darme una mano en este largo trayecto. Este trabajo no hubiera sido posible sin toda su colaboración y dedicación.

Por último, agradezco el tiempo, los comentarios y las apreciaciones que me proporcionaron Manuel Builes Brand y Juan Esteban Londoño. Sus consideraciones fueron muy importantes para el buen desarrollo del trabajo.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. PRELIMINARES	17
1.1 Contextualización y antecedentes	17
1.1.1 Problema	17
1.1.2 Antecedentes	18
1.2 Objetivos del proyecto.....	21
1.2.1 Objetivo General	21
1.2.2 Objetivos Específicos.....	21
1.3 Marco de referencia	21
1.3.1 Cimentaciones	21
1.3.2 Elementos prefabricados	24
2. METODOLOGÍA	31
2.1 Revisión del estado del arte.....	31
2.2 Análisis multicriterio ponderado	31
2.3 Construcción de la herramienta de cálculo.....	31
2.4 Diseño de las cimentaciones superficiales prefabricadas.....	31
2.5 Realización de los estándares de operación.....	31
3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	32
3.1 Búsqueda de las principales tipologías de diseño.....	32
3.1.1 Conexiones objetivo.....	33
3.1.2 Clasificación de las conexiones según su comportamiento estructural	33
3.1.3 Clasificación de las conexiones según su forma constructiva.....	35

3.1.4	Tipologías de conexión columna - fundación	38
3.2	Selección de la tipología de diseño	70
3.2.1	Modelo de evaluación	70
3.2.2	Participación de los aspectos de evaluación.....	76
3.2.3	Condición evaluativa.....	77
3.2.4	Calificación de las tipologías	86
3.2.5	Análisis multicriterio ponderado.....	90
3.2.6	Análisis del resultado obtenido	92
3.3	Construcción de la base de datos.....	93
3.3.1	Procedimiento de diseño	93
3.3.2	Construcción de la base de datos	110
3.4	Estándar de operación de la base de datos	113
3.4.1	Manual de usuario.....	113
3.4.2	Diseños propuestos	127
3.4.3	DISET CSP en el futuro	129
4.	CONCLUSIONES	131
5.	RECOMENDACIONES.....	134
6.	REFERENCIAS	135
7.	ANEXOS	138

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Porcentajes de participación según la importancia de los aspectos en el modelo evaluativo.	76
Tabla 2. Porcentajes de participación según la importancia de cada aspecto principal. ...	77
Tabla 3. Porcentajes de participación según la importancia de cada aspecto secundario.	77
Tabla 4. Datos de entrada requeridos por DISET CSP.	114
Tabla 5. Función de los botones de comando de DISET CSP.	115
Tabla 6. Mensajes mostrados por DISET CSP.	116
Tabla 7. Tipo de celdas de DISET CSP.	116

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Cimientos aislados. Obtenida de (Delgado, 1996).....	22
Figura 2. Cimientos combinados. Obtenida de (Delgado, 1996).....	23
Figura 3. Cimientos continuos. Obtenida de (Delgado, 1996).....	23
Figura 4. Placas corridas. Obtenida de (Delgado, 1996).....	24
Figura 5. Clasificación de las conexiones según su comportamiento estructural	35
Figura 6. Clasificación de las conexiones según su forma constructiva	35
Figura 7. Conexión post-tensada entre columna y viga prefabricada. Obtenida de (Universidad EIA, 2016).....	35
Figura 8. Conexión húmeda. Representación de la conexión de columnas y vigas prefabricadas. Adaptado de (FIB, 2003)	36
Figura 9. Tipos de empalme mecánico para conexiones. Adaptado de (PCI, 2008).....	37
Figura 10. Principales tipos de soldadura para conexiones. Adaptado de (BCA, 2001) ...	37
Figura 11. Metodologías de conexión entre columnas y zapatas. Adaptado de (Elliott, 2002)	38
Figura 12. Tipos de conexión usados internacionalmente entre la estructura y la cimentación	38
Figura 13. Clasificación de las tipologías halladas según su procedimiento de cálculo	39
Figura 14. Clasificación de las tipologías halladas según su comportamiento estructural.	39
Figura 15. Conexiones tipo candelabro.....	40
Figura 16. Tipo de interacción entre las paredes del foso y la columna prefabricada para conexiones tipo candelero	41
Figura 17. Tipos de interacción en conexiones candelabro. Adaptado de (BCA, 2001)....	41
Figura 18. Diagrama de cuerpo libre de la conexión candelero. Obtenido de (Elliott, 2002)	43

Figura 19. Afectación de columnas prefabricadas por el sismo de Kocaeli (1999) en un sistema de conexión tipo candelabro. Obtenida de (FIB, 2003).....	44
Figura 20. Conexión con placa base. Obtenida de (Elliott, 2002)	45
Figura 21. Conexión con placa base con cajones esquineros. Obtenido de (Elliott, 2002)	46
Figura 22. Conexión con placa base de dimensiones iguales a la columna prefabricada. Obtenida de (BCA, 2001).....	47
Figura 23. Conexión con placa base de dimensiones superiores a la columna prefabricada. Obtenida de (BCA, 2001).....	47
Figura 24. Conexión con placa base con columna prefabricada excéntrica. Obtenida de (Elliott, 2002)	48
Figura 25. Placa base. Obtenida de (Elliott, 2002)	48
Figura 26. Vista en altura de una conexión con placa base. Obtenida de (BCA, 2001)	50
Figura 27. Vista en planta de una conexión con placa base. Obtenida de (BCA, 2001) ...	50
Figura 28. Conexión con proyección de barras con los ductos embebidos en la columna prefabricada. Adaptado de (Elliott, 2002).....	51
Figura 29. Conexión con proyección de barras con los ductos embebidos en la fundación. Adaptado de (EC, 2012)	52
Figura 30. Columnas prefabricadas para la conexión con proyección de barras. Obtenida de (Elliott, 2002)	53
Figura 31. Fuerzas actuantes en la conexión con proyección de barras. Obtenida de (EC, 2012)	55
Figura 32. Detalle del acoplador mecánico. Adaptado de (EC, 2012).	57
Figura 33. Tipos de conexión con acopladores mecánicos según la (EC, 2012).	57
Figura 34. Conexión con acopladores mecánicos según el (PCI, 2008).....	58
Figura 35. Conexión con cajones pernados. Obtenido de (EC, 2012).....	61
Figura 36. Dispositivo usado para la conexión con cajones pernados. Adaptado de (Peikko Group, 2017)	62
Figura 37. Instalación con una conexión con cajones pernados. Obtenida de (Peikko Group, 2017)	62

Figura 38. Fuerzas actuantes en la conexión con cajones Pernados. Obtenida de (EC, 2012).	63
Figura 39. Conexión post-tensada con amarre embebido. Adaptado de (Hsieh-Lung & Wan, 2006)	66
Figura 40. Conexión post-tensada con amarre interior. Adaptado de (Nishiyama & Watanabe, 2003)	67
Figura 41. Conexión post-tensada con amarre inferior. Adaptado de (Nishiyama & Watanabe, 2003)	67
Figura 42. Relación carga vs deformación para conexiones post-tensadas. Obtenida de (Hsieh-Lung & Wan, 2006)	69
Figura 43. Esquema de los aspectos más influyentes en el diseño de prefabricados. Obtenido de (Elliott, 2002).	70
Figura 44. Esquema de los sub-aspectos relacionados en el diseño de prefabricados. Obtenido de (Elliott, 2002)	71
Figura 45. Esquema del modelo de evaluación para la selección de la tipología de diseño.	72
Figura 46. Parámetros asociados al aspecto principal del diseño.	73
Figura 47. Parámetros asociados al aspecto principal del detallado.	73
Figura 48. Parámetros asociados al aspecto principal de la manufactura.	74
Figura 49. Parámetros asociados al aspecto principal de la instalación.	75
Figura 50. Distribución del esfuerzo en la zapata según el tipo de suelo. Obtenida de (Universidad EIA, 2014).	94
Figura 51. Distribución de esfuerzos para diseño de zapatas con momento o cargas excéntricas en una dirección. Obtenida de (Garza, 2012)	95
Figura 52. Distribución de esfuerzos para diseño de zapatas con momento o cargas excéntricas en las dos direcciones. Obtenida de (Garza, 2012)	96
Figura 53. Esfuerzo a flexión en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012)	97
Figura 54. Esfuerzo a cortante unidireccional en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012)	98
Figura 55. Esfuerzo a cortante unidireccional en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012).	98

Figura 56. Aplastamiento del concreto en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012).....	99
Figura 57. Diferencia entre unión y conexión. Obtenida de (Elliott, 2002)	100
Figura 58. Diagrama esquemático de la conformación de las conexiones	100
Figura 59. Mecanismos base de análisis para conexiones expuestos por (Elliott, 2002)	101
Figura 60. Diagrama esquemático del análisis de las uniones a compresión.....	102
Figura 61. Comportamiento estructural para las diferentes situaciones en la interfaz. Obtenida de (Elliott, 2002).	102
Figura 62. Distribución de los esfuerzos debido a cargas concentradas. Obtenida de (Elliott, 2002).	103
Figura 63. Diagrama esquemático del análisis de las uniones a cortante	104
Figura 64. Comportamiento estructural de una unión a cortante por el método de la dovela. Adaptado de (Elliott, 2002)	105
Figura 65. Representación gráfica de la actuación de las fuerzas en la unión por momento.	106
Figura 66. Diagrama esquemático del análisis de las uniones a momento	106
Figura 67. Relación entre la condición de carga y las deformaciones unitarias en una sección sometida a flexo-compresión. Obtenida de (Mc Cormac & Brown, 2011)	107
Figura 68. Distribución de la deformación unitaria del concreto y el acero en una sección. Obtenida de (Mc Cormac & Brown, 2011)	107
Figura 69. Diagrama de interacción de carga vs momento para una sección a flexo-compresión. Obtenida de (Mc Cormac & Brown, 2011).....	108
Figura 70. Estructura de la base de datos.	110
Figura 71. Ejemplo de mensaje informativo de inicio.....	116
Figura 72. Ejemplo de mensaje de dato incompatible.	116

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Interfaz Inicio.	138
Anexo 2. Interfaz Diseño - Primera parte.	138
Anexo 3. Interfaz Diseño – Segunda parte.	138
Anexo 4. Interfaz Búsqueda	139

NOTACIONES

α :	Inclinación de las dovelas
α_S :	Factor según la posición de la columna en la zapata
β :	Relación del lado largo al lado más corto
ϕ :	Diámetro de la barra a tracción
ϕ_A :	Factor de reducción para la carga axial
ϕ_C :	Factor de reducción para la carga cortante
γ_R :	Factor de mayoración según la capacidad sísmica de la estructura
γ_S :	Cantidad de refuerzo distribuido en el centro
λ :	Factor para concreto liviano
μ :	Coefficiente de fricción
π :	Número pi
σ :	Esfuerzo del suelo
σ_a :	Capacidad admisible del suelo
$\sigma_{máx}$:	Capacidad máxima admisible del suelo
$\sigma_{mín}$:	Capacidad mínima admisible del suelo
σ_u :	Capacidad última del suelo
A :	Área de la zapata
A_g :	Área bruta de la columna
A_s :	Área del refuerzo de la sección que trabaja a tracción
A_1 :	Área de la columna
A_2 :	Área de proyección del esfuerzo piramidal
b :	Ancho de la columna
b_0 :	Perímetro de la sección crítica analizada
B :	Ancho de la zapata
c :	Distancia al eje neutro respecto a al eje determinado
d :	Distancia entre la cara cargada de la columna y la sección crítica
f'_c :	Resistencia a compresión del concreto
f'_{cm} :	Resistencia a compresión del mortero
f_s :	Resistencia a la fluencia del acero
F_A :	Fuerza de aplastamiento
F_m :	Factor de mayoración
F_{Rd} :	Carga a compresión resistida por el material de lleno
F_S :	Factor de seguridad
I :	Inercia en la dirección determinada
l :	Largo de la columna
lb :	Longitud embebida de las barras de traslapo de la conexión en la columna
L :	Largo de la zapata
M :	Momento en la dirección determinada
M_u :	Momento último
N :	Fuerza normal
P :	Carga axial de la columna
P_{Rd} :	Carga a compresión resistida por la conexión
P_S :	Carga de servicio

P_u : Carga ultima
 V_c : Cortante resistido por el concreto
 V_d : Cortante resistido por las dovelas
 V_f : Cortante resistido por la fricción en la interfaz
 V_n : Cortante nominal
 V_{pC} : Cortante condicional
 V_{pU} : Cortante último bidireccional
 V_{Rd} : Cortante resistido por la conexión
 V_u : Cortante último
 W_S : Peso del suelo encima de la fundación
 W_F : Peso propio de la fundación

RESUMEN

Este trabajo se concentra en la búsqueda de las diferentes tipologías que permiten la conexión prefabricada entre columnas y zapatas. Dicha búsqueda derivó en seis principales tipologías prefabricadas usadas internacionalmente para la unión columna – zapata.

Además, fue desarrollado un modelo evaluativo, apoyado en un análisis multicriterio ponderado, permitiendo seleccionar la conexión con proyección de barras como la más ventajosa de las tipologías encontradas. A partir de esto, se planteó la teoría de diseño de la zapata y del sistema de conexión elegido y se construyó una herramienta de cálculo, llamada DISET CSP.

DISET CSP, permite hacer el diseño estructural tanto de la zapata como de la conexión, permitiendo almacenar los resultados al usuario y proporcionando una función de búsqueda de estos, según los parámetros representativos del diseño de ambos elementos.

Adicionalmente se creó un instructivo o manual de usuario, que proporciona una guía de diseño para cimentaciones superficiales prefabricadas, usando la herramienta DISET CSP.

Palabras clave: Cimentaciones superficiales, prefabricación, conexión columna – zapata.

ABSTRACT

The lackness of implementation of precast systems in shallow foundations item, it is the reason that this thesis focuses on the search for different typologies that are allow the assembly of precast columns with shoes. For this research it was necessary to carry out an extended investigation that resulted in six main prefabricated typologies used internationally for the column - shoe joint.

Furthermore, an evaluative model was developed, supported by a multicriteria weighted analysis, allowing to select the connection with projection of bars as the most advantageous of the typologies found. Starting from this, it is proposed the design theory of the shoe and the chosen connection system and a calculation tool, called DISET CSP, was constructed.

DISET CSP, allows the structural design of both the shoe and the connection, allowing the user save the results and implementing a search criterion at the same time, according to the representative parameters for the design of both elements.

In addition, an instruction manual was created, which provides a design guide for precast shallow foundations, using the DISET CSP tool.

Keywords: Shallow foundations, precast/prefabricated, column-foundation connection

INTRODUCCIÓN

El crecimiento acelerado de la demanda de edificaciones crea la necesidad de implementar sistemas constructivos más eficientes que permitan suplir la demanda solicitada por el mercado actual. Los sistemas prefabricados, responden ante un interés de producción en serie y estandarización en el sector de la construcción, garantizando menores tiempos y costos de construcción, además de procesos integrados, más versátiles y con menos desperdicios.

Actualmente los sistemas prefabricados existentes e implementados abarcan gran parte de la edificación, desde el sistema estructural, hasta la fachada y los acabados, sin embargo, aún no tienen gran impacto en el ámbito de las fundaciones superficiales. Por tal razón, en este trabajo se realiza la identificación de la tipología más acorde al contexto local, que permita la conexión prefabricada de columnas y zapatas.

En el capítulo *Búsqueda de las principales tipologías de diseño*, se recurre a la investigación de artículos, investigaciones, manuales de diseño, tesis de maestría y doctorado, informes y libros que hablen acerca de la conexión entre prefabricados. Posteriormente se puntualizan los documentos donde se menciona, más específicamente, la conexión entre columnas prefabricadas y zapatas.

Consecuentemente, en el capítulo *Selección de la tipología de diseño*, se elige la metodología más ventajosa, a partir de un modelo evaluativo de los aspectos fundamentales que conforman la prefabricación, asignando porcentajes de participación y una calificación para cada uno, según la tipología evaluada. Luego, se ponderan los porcentajes de participación y las calificaciones del modelo, para determinar, según la escala evaluativa asignada, la tipología con la mayor puntuación.

Acto seguido, en el capítulo *Construcción de la base de datos*, se desarrolla la teoría de diseño de la zapata y la conexión prefabricada para dar paso a la elaboración de la herramienta de cálculo que facilitará los procedimientos de diseño.

Por último, en el capítulo *Estándar de operación de la base de datos*, se muestra la guía paso a paso, para el manejo de la herramienta desarrollada.

1. PRELIMINARES

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES

1.1.1 Problema

Actualmente una de las actividades económicas más importantes en el país es la construcción. La (Cámara Colombiana de la Construcción, 2016), asevera que el sector de la construcción de edificaciones tiene un papel protagónico por su capacidad de dinamizar diferentes frentes de la economía, tanto en producción como en generación de empleo en Colombia. Además, que el escenario constructivo proyecta un crecimiento en tasas del orden de 4,4% anual para el 2017, generando cerca de 47 billones de pesos, algo cercano al 6% del PIB del país.

Esta afirmación deja ver el reto que tiene el sector para aumentar los niveles de producción y poder afrontar la demanda del mercado. Sin embargo, debe aclararse que el reto a afrontar no se limita solamente a construir más, sino hacerlo con menores costos, tiempos y repercusiones constructivas. La pregunta generalizada entonces que surge bajo esta premisa es ¿cómo construir con mejor calidad, mejores estándares, mayor valor agregado y con niveles de dignificación más altos, pero sin que ello limite el acceso de todos?

Según (Giacaman, 2014):

El sector de la construcción es la actividad productiva menos eficiente que existe. El método de construcción tradicional origina graves consecuencias negativas: robos de materiales de construcción, baja especialización de la mano de obra, malas condiciones de trabajo, dilatados plazos de obra, altos costos debido al elevado impacto de la mano de obra y defectos reiterados en la ejecución. (p.9)

Como una respuesta frente a esa ineficiencia productiva del sector y la mencionada necesidad de aumentar los niveles de producción surge la idea de la prefabricación. Esta idea se basó en la construcción de edificaciones con elementos que son realizados en un ambiente controlado fuera del lugar directo de instalación. Su resultado ha sido la estandarización de la mayoría de los procesos constructivos.

(Pérez & Ochoa, 2006) justifican que:

La prefabricación fundamenta su desarrollo en los procesos de tipo industrial para asegurar las ventajas en sus productos finales que con otros métodos no es posible alcanzar como son bajo costo general y de mantenimiento, calidad en los acabados y una gran rapidez de construcción, todo lo cual permite una eficiente y pronta optimización del capital invertido. (p.17)

Es por esto que en el documento del (FIB, 2003) se dice que la implementación de las metodologías prefabricadas en los sistemas estructurales de las edificaciones, logró adaptarse rápidamente en varios países, en menos de 10 años, lo que significa que la productividad y la innovación en la construcción pueden estar fundamentadas en los prefabricados.

A nivel nacional se ha desarrollado la implementación de varios de estos sistemas, no obstante, la industria busca apuntarle a una completa industrialización y estandarización de la construcción y por ello sigue en la constante búsqueda de la implementación de prefabricados en otros capítulos constructivos. “Uno de estos capítulos es el de las fundaciones superficiales” (J. Bolívar, comunicación personal, 20 de diciembre de 2015).

Por tanto, el siguiente paso del sector debería ser el desarrollo de los sistemas prefabricados en fundaciones superficiales, por ello, es conveniente abarcar el diseño estructural, que estudie el comportamiento no solo de la columna y la zapata, sino también la conexión entre ellos, considerando que, en los prefabricados, las conexiones entre los elementos estructurales son el aspecto mecánico más importante.

Por consiguiente, buscando disminuir los tiempos del proceso de diseño y detallado de la estructura, además de la elaboración de planos, a través del ítem de las fundaciones superficiales, ¿cómo debería ser la estructuración de una guía de diseño para el sistema de cimentaciones superficiales, que permita disminuir y estandarizar los procesos de cálculo, detallado estructural, además del proceso de elaboración de planos para proyectos de edificación del contexto local?

1.1.2 Antecedentes

Con el fin de reconocer los parámetros generales que están asociados a los sistemas prefabricados, se realizó una búsqueda en la que se mostraran las principales ventajas, limitaciones y los resultados obtenidos con la implementación de estos, en toda América Latina.

En Chile, (Giacaman, 2014) buscó identificar la estructura de cimentación que permitiera la disminución de tiempos y costos en los proyectos de vivienda en la ciudad de Curicó, específicamente en el proyecto inmobiliario Don Sebastián de Rauquén. Su metodología se basó en la realización de un estudio estadístico de los principales proyectos en la ciudad, resumiendo así la tipología de suelo y los tipos de edificación más frecuentes, además de la estructura de cimentación más utilizada. Con esto buscaba elegir un proyecto estudio en el que lograra evaluar y comparar las condiciones de diseño, transporte y montaje de la estructura. Sus resultados fueron favorables desde el punto de vista de tiempos, ya que encontró que el proceso de elaboración de este sistema era más rápido y controlado que el sistema tradicional, sin embargo, el punto de vista de los costos arrojó una similitud entre los sistemas constructivos.

Además, en el trabajo titulado “Evaluación técnico económica de fundaciones prefabricadas para torres de transmisión eléctrica tipo suspensión” elaborado por (Cayupel, 2012) en Chile, se mencionaba el objetivo de determinar la viabilidad para una empresa de energía, de los aspectos técnico y económico para usar fundaciones prefabricadas en torres de transmisión eléctrica en vez de cimentaciones vaciadas *in situ*. Para cumplir este objetivo el autor implementó una metodología que se basó en el diseño de las fundaciones tipo zapata usando métodos de diseño de varios autores, apoyándose con un programa computacional de análisis de elementos finitos y en la verificación del cumplimiento de la normativa de diseño implementada por la empresa. Adicionalmente para el desarrollo económico su metodología fue la comparación directa entre el sistema evaluado y el tradicional a partir de los costos de cada procedimiento. La conclusión de su trabajo fue,

desde el punto de vista técnico, que era factible implementar fundaciones prefabricadas, logrando cumplir las normas de diseño de la empresa; y desde el punto de vista económico que a pesar de que los costos de fabricación eran más elevados para el sistema prefabricado, estos se lograban compensar con la reducción del tiempo de ejecución de mano de obra y costos operacionales, al tiempo que se garantizaba mejor calidad en las cimentaciones debido a los procesos controlados.

Por otro lado (Cano, 2015) en México, pretendió demostrar en su tesis de pregrado que las estructuras prefabricadas son alternativas más rápidas y económicas que las estructuras convencionales. Su metodología se fundó en la investigación de los elementos prefabricados más usados en edificaciones que cumplieran la normativa local, además de identificar los conceptos fundamentales para la fabricación, el transporte y el izaje de estos. Con esta recopilación realizó el diseño estructural de toda una edificación, detallando cada una de las secciones constructivas. Su resultado fue un documento con los conceptos básicos que se deben tener en cuenta en los elementos prefabricados, mostrando ejemplos de diseño de cada tipo de elemento. También realizó una invitación a los futuros ingenieros civiles a incluir los sistemas prefabricados en sus preferencias de diseño.

En México también han buscado un diseño de vivienda prefabricada a través del trabajo de investigación de (Gerardo, Pérez, Martínez, Miranda, & Zenil, 2010). Estos realizaron el diseño de una vivienda con elementos prefabricados, mostrando los principales criterios a tener en cuenta, según el dimensionamiento de los elementos y la conexión entre los mismos, además de una realización de ensayos experimentales de los sistemas de conexión a usar. Su metodología se basó en el diseño de cada una de las secciones de la vivienda, teniendo en cuenta que los elementos que usarían serían prefabricados, a partir de una distribución arquitectónica dada y luego validar experimentalmente a partir de unas pruebas específicas a escala para los tipos de conexión usados entre los elementos. La conclusión de su trabajo arrojó que los sistemas de conexión prefabricados son factibles desde la perspectiva técnica, pero que se requerían de más ensayos experimentales sobre elementos a escala real que permitiera conocer el comportamiento de todo el conjunto ensamblado.

Adicionalmente en la Revista de Ingeniería Sísmica, en México, en el artículo titulado “Evaluación del Comportamiento de Conexiones Prefabricadas y del Sistema de Piso. Recomendaciones de Diseño”, (Rodríguez & Blandón, 2003) buscaban analizar el comportamiento sísmico de conexiones trabe - columna, columna - cimentación y el sistema de piso usando elementos prefabricados, para dar algunas recomendaciones de diseño. Su metodología se basó en el análisis de ensayos experimentales a escala, en donde establecieron recomendaciones de diseño para estos sistemas, enfatizando que es posible emplear las conexiones trabe – columna bajo los criterios de sistema dual, la conexión columna – cimentación a través del uso de candeleros y el sistema de piso con la metodología de diseño del puntal – tensor.

En Ecuador también se han realizado investigaciones acerca de los prefabricados. Uno de los autores fue (Nieto, 2014). Este autor buscaba con su trabajo diseñar una vivienda que fuera sismo resistente usando sistemas prefabricados que se acoplaran a la situación climatológica de la ciudad de Cuenca. Para esto su metodología se basó en la consulta previa acerca de la prefabricación y del estado del arte a nivel nacional y mundial, el análisis de los sistemas usados en el medio actual que permitían una estructura modular de armado-

desarmado que cumpliera las normas vigentes, la evaluación económica del diseño de la vivienda y la comparación con una vivienda de distribución arquitectónica similar fabricada con sistemas convencionales. Como resultado obtuvo que las soluciones prefabricadas tanto de fachadas, cubiertas, tabiquería, estructura soportante y entrepisos pueden acoplarse adecuadamente en la construcción de vivienda y representan sistemas seguros, más livianos, más económicos y de mejor calidad. Sin embargo, la excepción de estos sistemas dentro de su trabajo fue la cimentación, debido a la falta de demanda de este producto en el país.

En Portugal, en el Encuentro Nacional de Concreto Estructural se publicó el artículo de (Romero, Bonet, Martí-Vargas, & Faria, 2012) con el cual indagaban acerca del comportamiento más favorable, con diferentes tipologías de unión columna – cimentación de un sistema prefabricado ante cargas laterales cíclicas y esfuerzo axial constante que fuera similar al sistema vaciado *in situ*. Su metodología se basó en el ensayo experimental de más de 15 especímenes en las que variaban dos parámetros; los tipos de uniones entre columna – cimentación y el nivel de carga axial aplicada. Con los resultados obtenidos concluyeron que se requerían de estudios más exhaustivos, ya que se vio un comportamiento inusual de una de las conexiones, pero que no permitía demostrar cuál de todas era más favorable, sin embargo, demostraron que el comportamiento del sistema prefabricado y el tradicional es similar en la unión ante estas condiciones de carga.

Desde una perspectiva financiera en Costa Rica (Ramírez, 2004) buscó realizar un modelo que permitiera la estimación de diseño y costos preliminares de cada uno de los elementos prefabricados que conforman una estructura. Su metodología se basó en tomar una secuencia histórica de obras a las que debía realizar la modulación de distribuciones en planta de los elementos, la tipificación de los componentes estructurales y seguidamente la respectiva codificación y costeo unitario de estos. El resultado que obtuvo fue el modelo de diseño preliminar y la estimación de costos para edificios de dos a cinco plantas que pudiera ser utilizado fácilmente.

En Colombia, la empresa Conconcreto desarrolló a finales del año 2015 una serie de estudios experimentales para validar el comportamiento estructural de prelasas con sistemas de acople de segundo vaciado, además de la capacidad de adherencia del segundo vaciado en vigas prefabricadas. Para estos estudios se diseñó un marco de ensayos en convenio con la Universidad EIA, ejecutando los experimentos en el Laboratorio de Mecánica Estructural. Los resultados obtenidos, permiten confirmar que los elementos prefabricados no presentan variaciones significativas respecto a los sistemas tradicionales, según lo dicho por (Blandón, Penagos, Gómez, & Peláez, 2015) en el informe de resultados del proyecto “Comportamiento de vigas cajón y prelasas prefabricadas por etapas”.

Asimismo, Conconcreto en convenio con la universidad EIA desarrolló ensayos de conexión entre elementos prefabricados tipo viga y columna, demostrando experimentalmente que el sistema de unión entre estos elementos exhibe un comportamiento similar al sistema vaciado *in situ* bajo carga vertical constante y carga lateral cíclica.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Desarrollar una guía de diseño de sistemas de cimentaciones superficiales en concreto prefabricado para edificaciones, contemplando diferentes combinaciones de carga axial, momento bidimensional y esfuerzos admisibles del suelo, agilizando así el proceso de cálculo, detallado y elaboración de planos.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las principales metodologías de diseño para cimentaciones superficiales tipo zapatas de concreto reforzado prefabricadas.
2. Seleccionar entre las metodologías de diseño identificadas la más acorde con los procedimientos constructivos del contexto local.
3. Construir una herramienta de cálculo para el sistema de cimentaciones superficiales en concreto prefabricado, diseñadas bajo la metodología elegida, y clasificada por valores típicos de dimensiones, cargas y esfuerzos admisibles.
4. Establecer un estándar de operación de la herramienta de cálculo, con su respectivo manual de uso.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

Para la argumentación y soporte de este trabajo es imperante que se dejen claros dos conceptos importantes, el de las cimentaciones y el de los elementos prefabricados.

1.3.1 Cimentaciones

Según la definición teórica dada por (Das, 2001)

La parte inferior de una estructura se denomina generalmente cimentación y su función es transferir la carga de la estructura al suelo en que ésta descansa. Una cimentación adecuadamente diseñada es la que transfiere la carga a través del suelo sin sobre-esforzar éste" (p. 389)

Según (Delgado, 1996) las cimentaciones, de acuerdo con la posición del terreno portante, se pueden clasificar en superficiales, compensadas y profundas. Para el proyecto en curso las cimentaciones que se diseñarán serán superficiales, por ello es importante profundizar un poco acerca de este tipo de estructuras.

➤ Cimentaciones superficiales

De acuerdo con (Delgado, 1996),

Cuando el terreno o manto portante se encuentra a una profundidad relativamente limitada, es con frecuencia factible llegar a él por medio de una excavación a cielo abierto y soportar directamente la estructura a ese nivel usando una fundación superficial. A no ser que medien dificultades especiales para excavar, se considera como profundidad límite aquella que no exceda de dos a tres veces el ancho del cimiento. (p. 111)

Prosiguiendo con las definiciones, los tipos de cimentación superficial más usados son (Delgado, 1996):

▪ Cimientos aislados o zapatas

Son elementos de soporte de las columnas. De acuerdo con las necesidades se diseñan con formas geométricas sencillas y simétricas; entre ellas, la cuadrada es la más simple y preferible. Conforman una especie de extensión inferior ensanchada de la columna... Pueden diseñarse con espesor uniforme o variarse por medio de pedestales o transiciones, para controlar esfuerzos en el material del elemento cuando se soportan columnas fuertemente cargadas. (p.111). En la Figura 1 puede apreciarse este tipo de cimiento

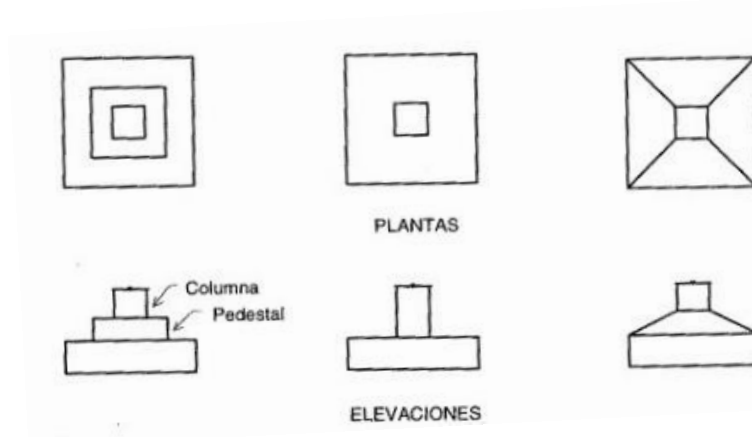


Figura 1. Cimientos aislados. Obtenida de (Delgado, 1996).

▪ Cimientos combinados

Se requiere a veces proyectar cimientos combinados o compuestos, en los que los diversos elementos de forma geométrica simple se combinan según las necesidades de la obra y de acuerdo con el criterio del ingeniero, para aprovechar el suelo en la mejor forma posible. La consideración de los factores estructurales y las características del terreno, propios de cada problema en un sitio dado, permite llegar a las alternativas técnica y económicamente más ventajosas. (p.112). En la Figura 2 se ven las clases de cimiento de este tipo.

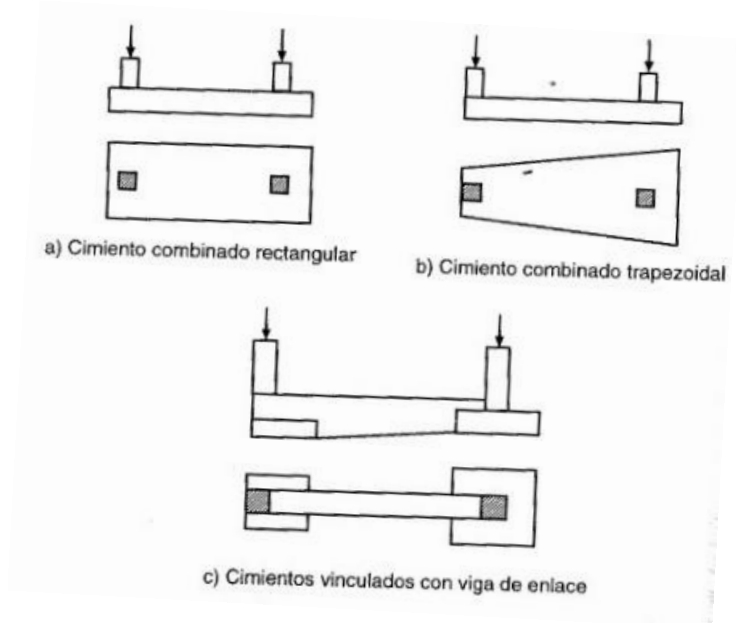


Figura 2. Cimientos combinados. Obtenida de (Delgado, 1996).

- **Cimientos continuos**

Como se puede ver en la Figura 3, son elementos análogos a los anteriores, en los que la longitud es mucho mayor que su ancho. Su uso obvio es para cargas lineales como muros de carga.

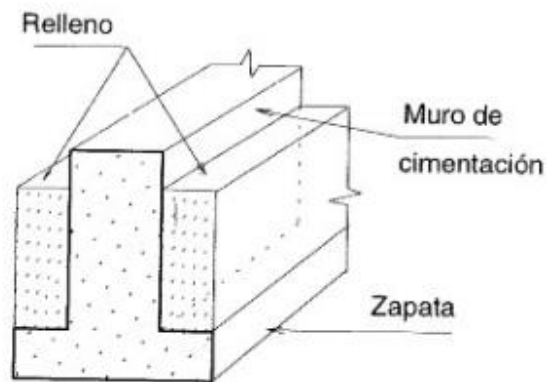


Figura 3. Cimientos continuos. Obtenida de (Delgado, 1996).

- **Placas corridas**

Consisten en una estructura única de fundación de tipo placa, para todos los elementos de soporte de una estructura. Pueden llegar a ocupar superficies iguales o aún mayores que la proyección horizontal de la superestructura, y conformar verdaderas infraestructuras continuas de fundación. Suelen recibir nombres tales como losas de fundación, placas corridas o plateas. (p.114). En la Figura 4 se observa una representación de estos elementos.

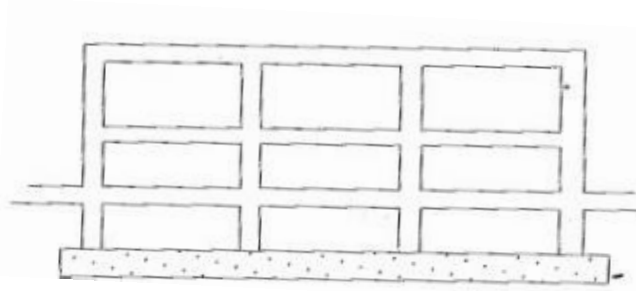


Figura 4. Placas corridas. Obtenida de (Delgado, 1996)

Las estructuras mencionadas anteriormente, se construyen generalmente *in situ*, teniendo en cuenta la diversidad de las condiciones del terrero y la estructura. Sin embargo, como ya ocurre con elementos de la superestructura, algunos de estos elementos de la subestructura, como los cimientos aislados (zapatas), los cimientos combinados (que no cubran grandes superficies) o los cimientos continuos (que no cubran grandes longitudes) pueden ser construidos también de manera prefabricada. Técnicamente, la placa de fundación podría prefabricarse, sin embargo, complicaría el procedimiento constructivo y no ofrecería ventajas significativas, ya que, por su gran tamaño, ningún equipo de carga podría transportarla por el elevado peso.

1.3.2 Elementos prefabricados

Son elementos de concreto que permiten guiar la construcción hacia un método estandarizado que implica no fundir, sino encajar distintas piezas de concreto, en el rompecabezas de la estructura, es decir, podría decirse como analogía que las estructuras prefabricadas son un juego de “Legos” donde los elementos son las piezas y la obra a construir es el ensamble final de todas estas.

En palabras de (Giacaman, 2014):

El proceso de prefabricación debemos entenderlo en su más amplio significado, como la elaboración y ejecución de elementos, ya sea fuera de la obra (en taller o fábricas), o al pie de la misma, con el objeto de facilitar la construcción, envolviendo la idea de unidades tipo (repetitivas) que se acoplan, montan, con sistemas o medios simples o complejos.

➤ Materiales

Los elementos prefabricados, se conforman en concreto convencional reforzado con barras de acero corrugado o pre/post - tensado. El concreto con el que se realizan estos elementos consiste en la mezcla convencional de cemento, agua y agregados finos y gruesos.

➤ Tipos de elementos prefabricados

Según la (CPCI, 2009), el diseño de estos elementos puede enfocarse en diferentes formas, desde columnas y vigas prefabricadas hasta fachadas de paneles o muros de carga y losas de piso huecas o con sistema de piezas doble T.

Sin importar el grado de semejanza entre algunos de estos elementos, las consideraciones de diseño y construcción son únicas para cada miembro estructural prefabricado, así como para su sistema de conexión con el resto de la estructura.

Además, aparte de examinar los miembros por separado, debe tenerse en cuenta el análisis de la conexión, ya que, esta, al igual que los miembros que componen al ensamble, representa una de las partes más importantes dentro del funcionamiento de los sistemas prefabricados.

➤ Ventajas

Adicionalmente, la (CPCI, 2009), establece que los elementos prefabricados ofrecen ventajas respecto a los sistemas convencionales tanto para los arquitectos, desde el campo de los acabados, los ingenieros estructurales, a causa de la adaptabilidad y las nuevas herramientas para encontrar los diseños óptimos, así como para los constructores, a los cuales hace su trabajo más fácil, coordinado y organizado.

Algunas ventajas de estos sistemas, destacadas también por la (CPCI, 2009) son:

- **Construcción rápida**

El uso de sistemas prefabricados acorta significativamente los tiempos de construcción, respecto a los sistemas metálicos, e incluso más, respecto a los sistemas de concreto vaciados *in-situ*, generando edificaciones más competitivas en el mercado.

- **Ventajas de programación de obra**

Con la fabricación de los elementos en planta se pueden ir avanzando en actividades de adecuación del terreno y excavación, haciendo más rápida y eficiente la construcción de las edificaciones.

- **Variedad estética**

Los elementos prefabricados pueden tener muchas formas, ya que, al ser fabricados en lugares especializados, el uso de formaletas y encofrados no dificulta ni complica las condiciones de trabajo como podría hacerlo en una obra. Además, los diferentes diseños y las combinaciones entre los miembros estructurales usados para fachadas y acabados proporcionan detalles más personalizados en el campo de la construcción.

- **Alta calidad**

Los elementos prefabricados al ser producidos en planta poseen un mayor control en la calidad de los materiales y además en el procedimiento constructivo de los mismos.

Actualmente hay programas de certificación estructural para la verificación de los requerimientos mínimos del producto que validan los procedimientos llevados a cabo en plantas de prefabricación para garantizar la calidad de los elementos.

- **Bajo mantenimiento**

Los elementos prefabricados requieren menor mantenimiento que otros elementos y materiales de la construcción convencional, debido a la alta calidad de su fabricación y a la conformación de sistemas más grandes que requieran menor cantidad de detalles de conexión.

- **Precio efectivo**

Los miembros de los departamentos de ingeniería de la CPCI han estimado que los costos de los sistemas prefabricados son más bajos respecto a los sistemas convencionales, ya que, al ser un método más rápido y eficiente, se reducen costos gracias al aumento de la precisión y viabilidad de cumplimiento de los estudios económicos iniciales.

- **Seguridad**

Con los sistemas prefabricados las obras descongestionan los lugares de acopio de material y pueden disponer de mayor espacio para el uso y la ocupación de equipos pesados. Esta descongestión aumenta los niveles de seguridad de la obra y disminuye los costos por bodegaje e inventarios de material.

- **Diseño interior flexible**

Por medio de sistemas prefabricados de largas luces, los espacios interiores tienen menos restricciones antes la necesidad de grandes superficies, adaptando y personalizando el diseño según las necesidades del cliente.

- **Diseño sostenible**

Los sistemas prefabricados ofrecen incontables beneficios para la construcción sostenible. Programas de certificación LEED premian el uso de estos sistemas, al permitir adaptabilidad de los diseños, un fácil ensamble y desensamble, además de un procedimiento de construcción más organizado y con menos desperdicios de material, respecto a la construcción convencional en obra.

- **Diseño integral y coordinado**

Los sistemas de información para edificaciones en 3D (BIM) también permiten la inclusión de elementos prefabricados bajo sus plataformas, lo que garantiza diseños integrados con otros sistemas de la edificación y, por ende, más coordinación en la etapa de planificación.

- **Componentes todo en uno**

Hay elementos prefabricados que por su conformación proveen varias funciones en uno. Un ejemplo de estos son los muros, ya que, estos generan gran productividad al abarcar áreas mayores, reduciendo el número de elementos requeridos, además por su adaptabilidad puede solucionar el tema del diseño arquitectónico de la fachada de la edificación y a su vez proporcionan el sistema principal de resistencia.

- **Diseño especializado**

La manufactura de los elementos prefabricados, al realizarse en una planta, puede ampliar el alcance de las formas geométricas de los elementos, planteando escenarios de miembros estructurales con formas impensables de realizar bajo las condiciones de obra. Además, permite estandarizar la fabricación de estos elementos, al proveer las condiciones de repetitividad, mejorando la productividad y reduciendo los tiempos de entrega.

➤ **Parámetros de diseño y construcción**

Como se mencionó anteriormente, cada elemento estructural posee un procedimiento de diseño acorde a la funcionalidad dentro de la estructura, por esta razón, cada miembro debe estudiarse de manera independiente. Sin embargo, para el diseño de las conexiones entre los miembros prefabricados hay algunos parámetros base que contribuyen al procedimiento de diseño para cada caso.

El (PCI, 2008) nombra como parámetros de diseño de conexiones para concreto prefabricado la *resistencia, los factores de reducción, la ductilidad, el cambio de volumen, la durabilidad, la resistencia al fuego, la facilidad constructiva, la condición estética, los requerimientos sísmicos y las tolerancias constructivas*.

- **Resistencia**

Según la (BCA, 2001), la resistencia de una conexión es la capacidad de soportar la transferencia de fuerzas gravitacionales, de viento, por presión de agua y eventos sísmicos entre los elementos adyacentes durante toda su vida útil, incluyendo además las fuerzas generadas por los cambios volumétricos y por las condiciones de estabilidad de los elementos.

La (EC, 2012) por su parte describe este concepto de manera más puntal, estableciendo que es el máximo valor de la fuerza que puede transferir la conexión entre dos partes del ensamble.

- **Factores de reducción**

Son descritos por la (PCI, 2008) como los factores que castigan la capacidad de los elementos, según su estructura y los diferentes tipos de esfuerzos presentados en él, para proporcionar rangos de seguridad ante la aplicación de las cargas.

- **Ductilidad**

Es la capacidad de un elemento de deformarse inelásticamente antes de una caída relevante de la carga.

Usualmente en las estructuras, según el (PCI, 2008), la ductilidad es medida como la capacidad de deformación entre el límite elástico y la falla. Además, argumenta la entidad norte-americana que ésta puede considerarse como el aporte conjunto de la ductilidad de los miembros estructurales y de las conexiones, mientras la (EC, 2012) especifica que su aporte puede depender de su posición dentro del ensamble estructural y de su rigidez relativa.

Adicionalmente la (BCA, 2001) especifica que este concepto es normalmente asociado con la capacidad de resistencia a momento debido a la tensión flexionante provista con barras de refuerzo o secciones de acero estructural que tenga el elemento.

- **Durabilidad**

Consiste en la cualidad de la conexión de no verse afectada a los factores de la intemperie, según lo dicho por el (PCI, 2008).

La (BCA, 2001), afirma que conexiones que tiene muy poca durabilidad o que están bastante expuestas a la intemperie requieren de una inspección periódica y de un mantenimiento recurrente.

- **Facilidad constructiva**

Son todas aquellas consideraciones que permiten que la conexión se pueda fabricar e instalar de una manera sencilla. Entre estas consideraciones se resaltan algunas de las mostradas por la (BCA, 2001):

- Evitar la congestión: Cuando se tiene una gran cantidad de acero en la sección se hace más complicado y demorado la instalación de todos elementos que conlleva el miembro estructural.
- Evitar conexiones proyectadas: Cuando se tiene que conectar elementos que sobresalen del miembro estructural, es posible que éstos no concuerden con los puntos de conexión y se deba recurrir a cortes indeseados o modificaciones en la conexión. Algún error relacionado con este aspecto implica más tiempo y costos asociados.
- Minimizar el uso de elementos embebidos: Cuando se tienen elementos embebidos se deben garantizar altos niveles de precisión en el posicionamiento de estos dispositivos. Embeber elementos es laborioso y demanda tiempo.
- Evitar operaciones adicionales luego del desencofrado: Operaciones que tengan que hacerse luego de desmontar la formaleta del elemento requieren de manejo adicional, trabajo y espacio extra.

- Permitir tolerancias constructivas: Es complicado lograr tolerancias constructivas más rigurosas que las obtenidas con los estándares industriales. Debe evitarse en toda medida hacer ensambles entre elementos con pequeñas dimensiones que puedan interferir o impedir los ajustes adecuados.
- Usar elementos estándar: Cuando se utilizan elementos que se producen a nivel industrial se reducen errores en la construcción y se reduce el costo.
- Usar detalles repetitivos: Cuando se utilizan detalles repetitivos se requieren menos modificaciones, por ende, menos actividades y recursos implicados.

▪ Tolerancias constructivas

Según el (PCI, 2008) estas son las que permiten las variaciones dimensionales de los elementos y dispositivos que conforman la conexión, cumpliendo un rol de ajuste que prevea los errores de construcción de los detalles de la conexión. El adecuado diseño de éstas, puede traducirse en manufactura económica y facilidad de instalación, siempre que cumplan con la integridad estructural requerida por la conexión.

▪ Requerimientos sísmicos

El (PCI, 2008) expone que, en zonas sísmicas, la estructura debe ser capaz de desarrollar grandes desplazamientos inelásticos que disipen la energía, por ende, el diseño sísmico debe asumir una disipación de energía por medio de la formación de rotulas plásticas en los elementos que conforman la estructura.

La (EC, 2012) propone algunos parámetros específicos que permiten establecer la resistencia de una conexión ante una excitación sísmica. Entre estos se encuentran la *capacidad de disipación*, *capacidad de deformación*, *pérdida de la carga* y *el daño tolerado*, además de *la resistencia* y *la ductilidad*, parámetros que ya fueron explicados brevemente en ítems anteriores.

- Capacidad de disipación: Es la capacidad de disipar energía a través de ciclos de carga.
- Capacidad de deformación: Es la capacidad última de deformación al momento de la falla o del estado funcional límite. Esta capacidad depende directamente de la ductilidad del elemento.
- Pérdida de la carga: Es la pérdida de la resistencia respecto a los niveles de fuerza resistidos en los ciclos de carga.
- Daño tolerado: Es la deformación residual máxima alcanzada en los ciclos de carga.

▪ Consideraciones de izaje

El izaje, en la última etapa del proceso prefabricado adquiere suma importancia ya que una inadecuada instalación puede producir perjuicios futuros en la estructura y más cuando se habla de las fundaciones de la misma.

El (PCI, 2008) sugiere ciertas consideraciones que permiten que la etapa de erección o izaje se desarrolle apropiadamente.

- Plan de ejecución de izaje: Con la realización de este plan se debe buscar disminuir los tiempos de enganche e izaje de los elementos que conforman parte del ensamble. Hay que tener en cuenta que los equipos de carga pesada tienen un alto costo unitario.
- Ajustes requeridos: Es importante estar preparados en obra para el ajuste o la reparación de elementos que hayan sufrido modificaciones, ya sea por efectos de la manufactura o por daños leves sufridos durante el transporte.
- Proporcionar accesibilidad: Un adecuado espacio de trabajo facilita la erección de los elementos estructurales, además evita situaciones de riesgo y accidentes.
- Evitar conexiones susceptibles al daño por manipulación: Las conexiones que son extremadamente sensibles a sufrir daños por efectos de la manipulación cuando se están instalando pueden provocar retrasos y sobrecostos constructivos por efectos de reparación y adecuación.
- Identificar propiedades de diseño, ubicación y uso de los apoyos provisionales: Estos elementos son los que permitirán ubicar y sostener provisionalmente al miembro estructural cuando este no tenga la capacidad de mantenerse verticalmente en su lugar de conexión, por tal razón, es importante conocer sus propiedades y su funcionamiento, de esta manera se evitan inconvenientes en la instalación.
- Determinar cuándo ubicar las calzas y cuando vaciar el mortero: En el izaje es importante establecer procedimientos que garanticen un adecuado posicionamiento del elemento. Ubicar las calzas encuentra importancia al momento de verificar la verticalidad del miembro estructural conectado, así mismo, como vaciar el mortero debe ser la actividad final que proporcione la adecuada cobertura de la interfaz.
- Considerar la carga desbalanceada: En el izaje, va a haber elementos que no puedan levantarse de manera simétrica. Estos levantamientos proporcionarán inclinaciones del elemento en altura, efectos que deberán ser cuidados en la instalación, para no provocar daños, ni inconvenientes en el ensamble.
- Determinar los apoyos para la estabilidad temporal: Como se mencionó anteriormente, hay miembros estructurales que no pueden garantizar su apoyo temporal, razón por la cual se deben tener en cuenta elementos que ayuden a garantizar la estabilidad temporal, como apuntalamientos laterales.
- Ubicar puntos de soldadura: Cuando se requieran puntos de soldadura en la conexión durante su izaje por defectuosidad de los elementos o por modo de ensamble, se deben tener las condiciones y el equipo de trabajo listo previamente al enganche del elemento, ya que así se pueden disminuir tiempos de ejecución y se establecen procedimientos de trabajo más seguros.

2. METODOLOGÍA

La metodología propuesta se basa en las etapas que se muestran a continuación. Es de aclarar que el desarrollo de cada etapa contribuye directamente en ese mismo orden al desarrollo de los objetivos planteados.

2.1 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

Revisar el estado del arte de cimentaciones superficiales prefabricadas de concreto tipo zapatas, por medio de búsquedas en bases de datos, documentos de investigación, primarios y secundarios, patentes y asesoría avanzada con los expertos en el tema, que permita identificar las metodologías de diseño e implementación usadas a nivel mundial.

2.2 ANÁLISIS MULTICRITERIO PONDERADO

Se procede a clasificar las metodologías encontradas en la *Revisión del estado del arte*, mediante un análisis multicriterio que identifique los parámetros más relevantes dentro de la realidad constructiva del contexto local y los pondere con miras a posibilitar la selección del sistema de cimentación superficial tipo zapatas de concreto prefabricado más adecuado para los proyectos de edificación del país.

2.3 CONSTRUCCIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CÁLCULO

Se construye una herramienta de cálculo que permita diseñar una cimentación superficial prefabricada, o seleccionar entre una serie de zapatas disponibles, el diseño más óptimo, según las condiciones ingresadas por el usuario. Esta construcción se realizará en la plataforma de Microsoft Excel, buscando que sea un ejecutable de fácil uso.

2.4 DISEÑO DE LAS CIMENTACIONES SUPERFICIALES PREFABRICADAS

Se hace el diseño estructural de varias cimentaciones superficiales prefabricadas teniendo en cuenta las cargas axiales y los momentos resistidos por las mismas, así como los esfuerzos admisibles del suelo, todo bajo el cumplimiento de los requerimientos de la NSR10, mediante la herramienta de cálculo desarrollada. Posteriormente se elaboran los planos estructurales de las cimentaciones diseñadas, con ayuda del software de dibujo AutoCAD.

2.5 REALIZACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE OPERACIÓN

Cuando esté completamente terminada la herramienta de cálculo que contiene los diseños de las cimentaciones superficiales prefabricadas, se procede a hacer una validación de su funcionamiento. Luego de esta validación se definen los ajustes que se requieran y se determina la configuración definitiva de la herramienta. Simultáneamente se irá desarrollando el manual de uso con la guía paso a paso para hacer un diseño o en su defecto para buscarlo en la base de datos.

3. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 BÚSQUEDA DE LAS PRINCIPALES TIPOLOGÍAS DE DISEÑO

Las cimentaciones superficiales prefabricadas, llamadas de aquí en adelante CSP, son elementos cuyo diseño abarca el aspecto geotécnico y estructural. Con el estudio geotécnico se encuentra el área de contacto necesario para transmitir correctamente las cargas de la estructura al suelo sin exceder los esfuerzos admisibles de éste, mientras el estudio estructural dictamina la geometría del elemento y las propiedades de los materiales para que no se presente la falla de la CSP frente a los diferentes esfuerzos causados en el elemento por las cargas aplicadas.

Normalmente el diseño geotécnico requiere como datos de entrada los valores de capacidad portante del suelo, información derivada de las condiciones locales de la estratigrafía del sitio. Su procedimiento de cálculo puede encontrarse en la bibliografía de ingeniería de cimentaciones, trabajada sin mayores cambios desde hace unas décadas.

En el diseño estructural la información requerida se trata básicamente de las cargas, la geometría y los esfuerzos en la fundación. Su procedimiento de cálculo puede encontrarse en libros de diseño de elementos de hormigón, que al igual que el diseño geotécnico, lleva trabajándose sin mayores cambios desde hace tiempo. Adicionalmente, la condición prefabricada introduce un nuevo concepto en el diseño estructural de la fundación, el cual es vital para garantizar el buen funcionamiento de la estructura: la conexión con la columna prefabricada. Sin embargo, entre las metodologías trabajadas convencionalmente para el cálculo estructural del hormigón no se especifica el diseño de elementos prefabricados y por ende nada acerca de conexiones entre estos.

La NSR10, norma que regula el diseño sismorresistente en Colombia, aunque dedica algunos apartados a los elementos prefabricados, no hace un énfasis especial en el diseño estructural de las conexiones. Entonces, para el desarrollo del trabajo se requirió identificar metodologías de diseño de conexiones prefabricadas entre columnas y zapatas usadas internacionalmente.

La búsqueda de estas metodologías se enfocó principalmente en los manuales de diseño publicados por las principales instituciones que investigan el concreto prefabricado, además de algunas otras investigaciones de prefabricados en países pioneros de estos sistemas, como Nueva Zelanda, Japón, Italia, Gran Bretaña, Estados Unidos, México y Chile. (FIB, 2003).

Al identificar toda la información relevante de las conexiones, se resaltaron los diferentes aspectos que abarcan la viabilidad técnica del cálculo estructural, el detallado, las ventajas y desventajas, la aplicabilidad constructiva y todos los datos mostrados por los diferentes autores, específicamente para las propuestas de conexión entre elementos tipo columna y CSP tipo zapatas.

3.1.1 Conexiones objetivo

En las estructuras prefabricadas los elementos como columnas, muros, vigas, escaleras, losas y fundaciones deben ensamblarse formando un conjunto. A pesar de que la calidad de estos componentes es importante para el buen comportamiento del conjunto, las conexiones determinan realmente la forma como funciona la estructura ante las cargas gravitacionales y sísmicas. Es por esto que “las conexiones entre elementos forman la parte más vital de las estructuras prefabricadas” (BCA, 2001).

Hasta el momento las investigaciones han encontrado varias formas de conectar los elementos de una estructura, pero estos tipos dependen directamente del método usado para resistir las cargas en la edificación. Debido a que las propuestas de conexión se enfocarán entre elementos tipo columna y CSP tipo zapatas, entonces la conexión puede diseñarse como articulada o resistente a momento (Elliott, 2002). Para el desarrollo del trabajo se concentró la búsqueda en conexiones que fueran resistentes a momento.

3.1.2 Clasificación de las conexiones según su comportamiento estructural

Actualmente las diversas conexiones que satisfacen la demanda de cargas laterales en pórticos resistentes a momento pueden clasificarse en dos grupos; conexiones emulativas, conocidas también como sistemas monolíticos equivalentes, y conexiones no emulativas, conocidas también como sistemas articulados.

La diferencia entre este tipo de conexiones se basa en la semejanza respecto al comportamiento con sistemas construidos *in situ* (FIB, 2003).

- **Conexiones emulativas:**

Las conexiones emulativas son aquellas que buscan que en la junta se tenga un comportamiento similar a la conexión monolítica de concreto elaborada *in-situ* (PCI, 2004). Esta clase de conexión se clasifica en dos subgrupos; conexiones fuertes de ductilidad limitada y conexiones dúctiles.

- **Conexiones fuertes de ductilidad limitada:**

Son conexiones que se diseñan para que permanezcan en la zona elástica cuando la estructura esté satisfaciendo la demanda de ductilidad impuesta por una carga lateral sísmica. Sin embargo, este tipo de conexiones son protegidas cuando son expuestas a ciclos de desgaste, ya que, bajo esta condición, éstas pueden llegar a mostrar una ductilidad limitada (FIB, 2003).

- **Conexiones dúctiles:**

Son conexiones que se diseñan para que lleguen a la zona post-elástica cuando la estructura se vea sometida a una carga lateral sísmica severa. Al igual que la construcción *in-situ*, estas conexiones pueden hacer extender la región de la rótula plástica a lo largo del extremo del elemento. Experimentalmente se ha probado que cuando esta conexión se diseña y se construye adecuadamente su desempeño es bastante bueno (FIB, 2003).

- **Conexiones no emulativas:**

Las conexiones no emulativas son aquellas que no imitan el comportamiento estructural de una conexión construida *in situ*, esto quiere decir que su capacidad de disipación de energía no se hace a través de daños en los elementos estructurales, sino por medio de dispositivos que absorben esta energía. Las conexiones por excelencia conocidas por este comportamiento son las realizadas bajo técnicas de preesforzado. (Hubert, 2014). En otras palabras, esta filosofía hace que las conexiones sean más débiles que los elementos prefabricados pertenecientes a la unión (FIB, 2003). Esta clase de conexión a su vez se clasifica en dos grupos; conexiones de ductilidad limitada y conexiones dúctiles.

→ **Conexiones de ductilidad limitada:**

Son conexiones en donde los dispositivos que conforman la unión poseen un comportamiento dúctil menor al de los miembros estructurales que componen el ensamble. Generalmente son utilizadas en estructuras que se comportan en el rango elástico o que poseen una ductilidad limitada (FIB, 2003).

→ **Conexiones dúctiles:**

Son conexiones que se diseñan para trabajar de forma dúctil. Normalmente utiliza cables post-tensados para amarrar a los elementos de la unión, sin embargo, también hay metodologías híbridas, que combinan los cables post-tensados con la proyección de barras de refuerzo, buscando concentrar las deformaciones post-elásticas durante un sismo en la interfase, a través de la apertura y el cierre de las fisuras de la unión (FIB, 2003).

Experimentalmente se ha probado que cuando la conexión híbrida se diseña y se construye adecuadamente su desempeño es bastante bueno y proporciona como ventaja adicional la reducción del daño, haciendo que prácticamente no se manifieste deformación residual (FIB, 2003).

En la Figura 5 se puede observar esquemáticamente un resumen de los diferentes tipos de conexiones mencionados, para pórticos resistentes a momento.

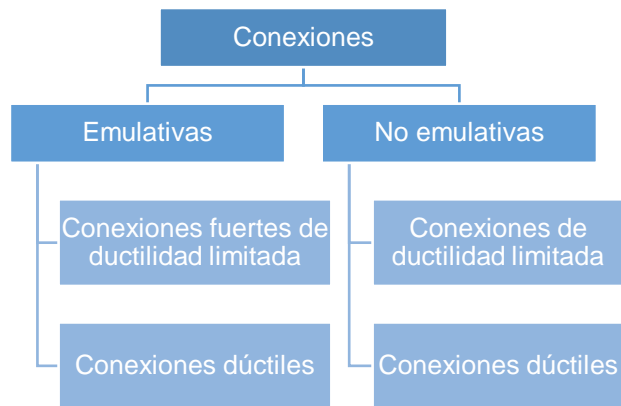


Figura 5. Clasificación de las conexiones según su comportamiento estructural

3.1.3 Clasificación de las conexiones según su forma constructiva

Por otro lado, las condiciones constructivas también hacen que las conexiones se clasifiquen según su procedimiento de fabricación. En la Figura 6 se resume esquemáticamente esta clasificación.

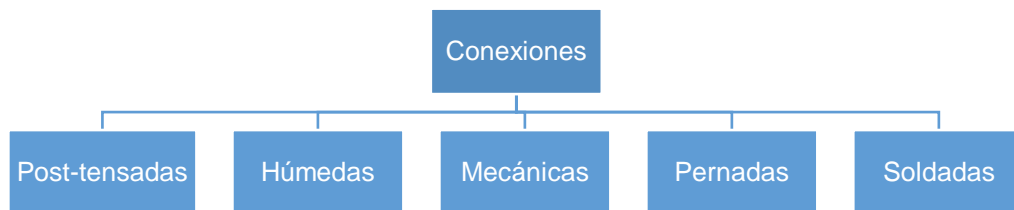


Figura 6. Clasificación de las conexiones según su forma constructiva

- **Conexiones post-tensadas:**

Son conexiones que unen a los elementos a través de cables de acero. Estas funcionan por la alta fuerza de tensión aplicada en los cables que ensamblan a los elementos. En la Figura 7, se puede observar una conexión post-tensada.

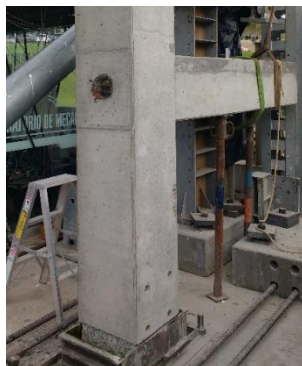


Figura 7. Conexión post-tensada entre columna y viga prefabricada. Obtenida de (Universidad EIA, 2016).

- **Conexiones húmedas:**

Son conexiones que utilizan la inyección de mortero o epóxico de alta resistencia para ensamblar las partes que están conectadas por medio de traslapos del refuerzo. Estas conexiones funcionan transmitiendo los esfuerzos de tracción del acero, como esfuerzos de cortante al mortero o epóxico que los recubre. Puede verse un ejemplo de esta aplicación en la Figura 8.

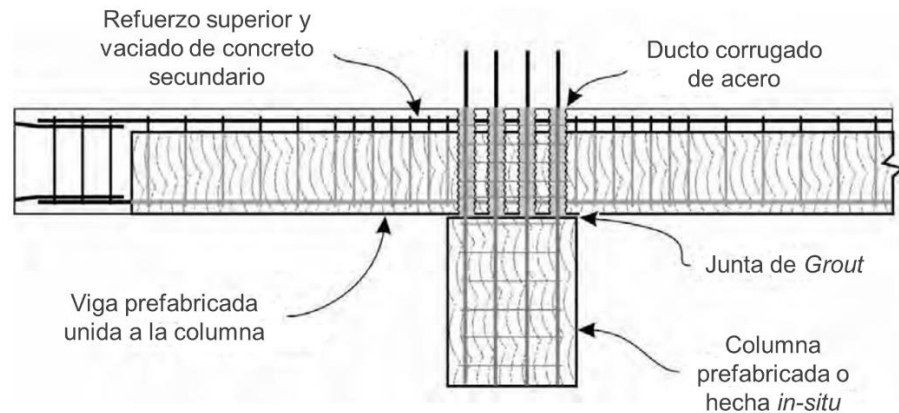


Figura 8. Conexión húmeda. Representación de la conexión de columnas y vigas prefabricadas. Adaptado de (FIB, 2003)

- **Conexiones mecánicas:**

Son conexiones que utilizan el traslazo de refuerzo longitudinal a través de acopladores mecánicos. Estas conexiones funcionan por trabe, transmitiendo los esfuerzos de tracción en la barra como un esfuerzo cortante en los acopladores. Estos acopladores pueden ser roscados, de encerramiento o de encapsulamiento relleno de mortero o epóxico de alta resistencia, como se visualiza en la Figura 9.

- **Conexiones pernadas:**

Estas conexiones funcionan por anclaje, transmitiendo los esfuerzos a través de fuerzas de reacción entre los miembros del ensamble. Estas conexiones se asemejan a los sistemas de anclaje de elementos de concreto vaciado *in-situ*, como barras embebidas y ganchos en L, pero también puede verse por medio del empotramiento de espárragos en uno de los miembros estructurales, buscando atornillar al otro miembro estructural.

- **Conexiones soldadas:**

Son conexiones que unen diferentes partes de la interfaz a través de la unión de elementos embebidos gracias a soldadura entre sí. Estas conexiones funcionan haciendo que el límite de fluencia de la soldadura sea mucho mayor que el límite de fluencia de los elementos embebidos en cada miembro estructural. Es una de las conexiones menos usadas debido a su alto costo y poca eficiencia. (BCA, 2001). En la Figura 10 se pueden ver los tipos de soldadura más comunes.

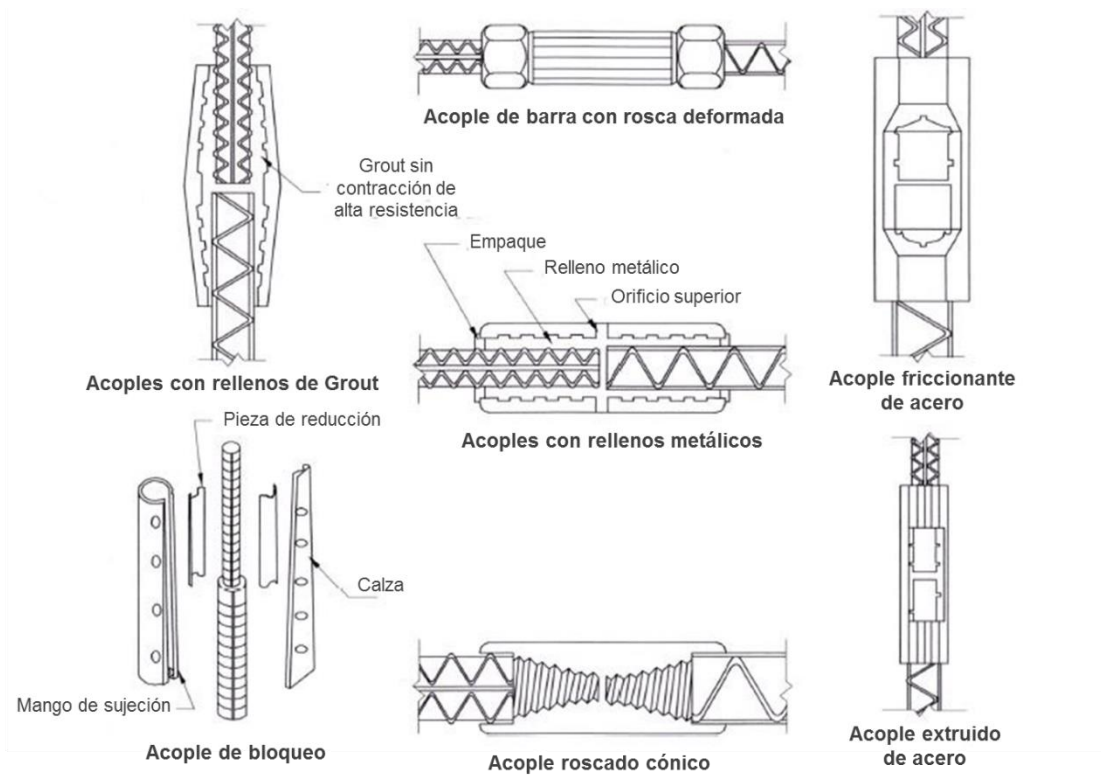


Figura 9. Tipos de empalme mecánico para conexiones. Adaptado de (PCI, 2008)

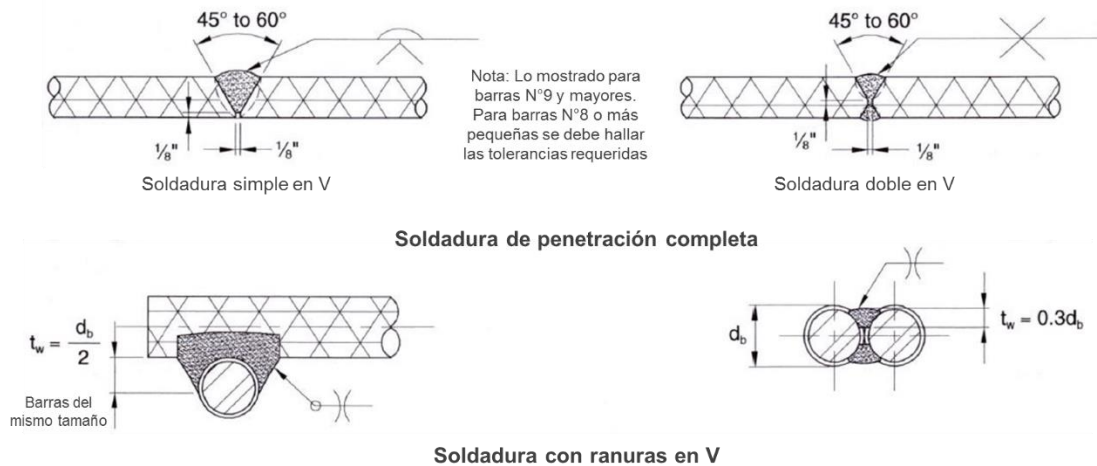


Figura 10. Principales tipos de soldadura para conexiones. Adaptado de (BCA, 2001)

3.1.4 Tipologías de conexión columna - fundación

Según lo expuesto por la (BCA, 2001), (EC, 2012), (Elliott, 2002), (FIB, 2003), (Hsieh-Lung & Wan, 2006), (Hubert, 2014), (PCI, 2008) y (Nishiyama & Watanabe, 2003), existen seis metodologías para la conexión entre columnas y zapatas. En la Figura 11 y Figura 12 se puede ver un resumen de las metodologías y su aplicabilidad alrededor del mundo.

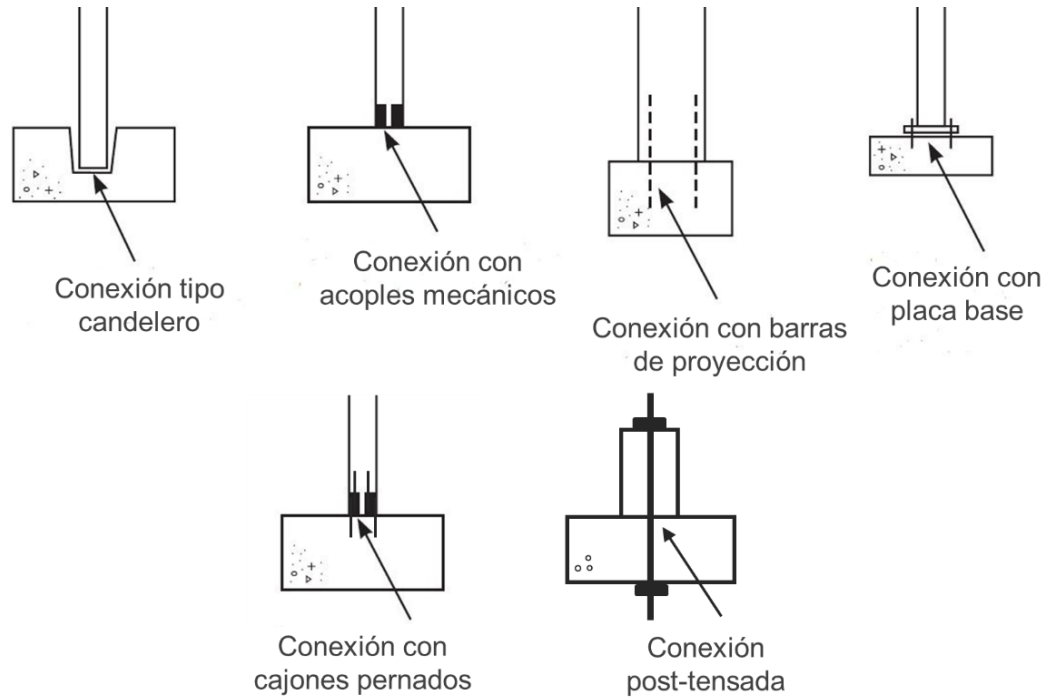


Figura 11. Metodologías de conexión entre columnas y zapatas. Adaptado de (Elliott, 2002)

Es importante resaltar que estas metodologías, según las clasificaciones que se vieron en los numerales anteriores corresponden gráficamente a lo mostrado en la Figura 13 y en la Figura 14. Luego de las representaciones esquemáticas de estas tipologías, se explica en detalle cada una de ellas.

Conexión tipo candelero	Conexión con placa base	Conexión con proyección de barras	Conexión con acopladores mecánicos	Conexión con cajones pernados	Conexión post-tensada
<ul style="list-style-type: none"> • África • América • Asia • Europa • Oceanía 	<ul style="list-style-type: none"> • África • América • Asia • Europa • Oceanía 	<ul style="list-style-type: none"> • África • América • Asia • Europa • Oceanía 	<ul style="list-style-type: none"> • América • Europa • Oceanía 	<ul style="list-style-type: none"> • Europa 	<ul style="list-style-type: none"> • Asia

Figura 12. Tipos de conexión usados internacionalmente entre la estructura y la cimentación

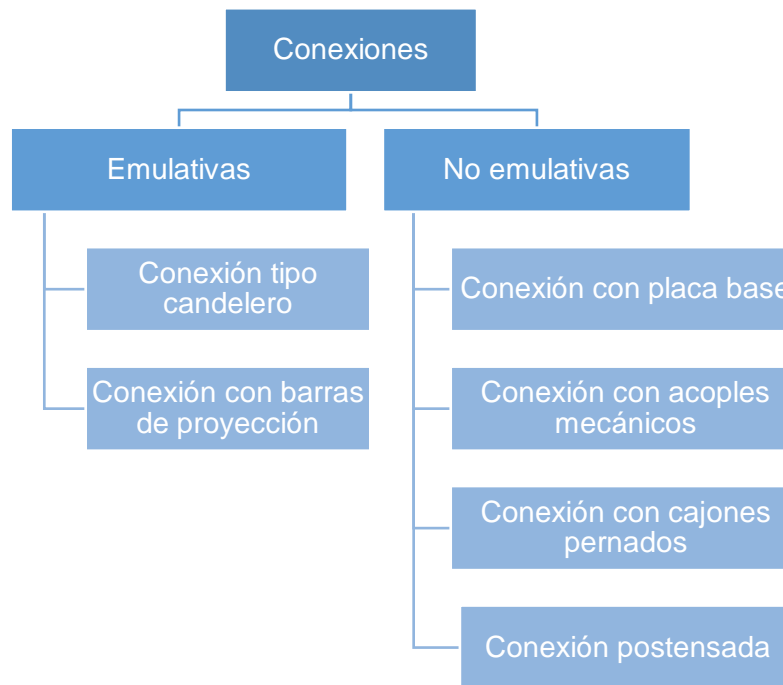


Figura 13. Clasificación de las tipologías halladas según su procedimiento de cálculo

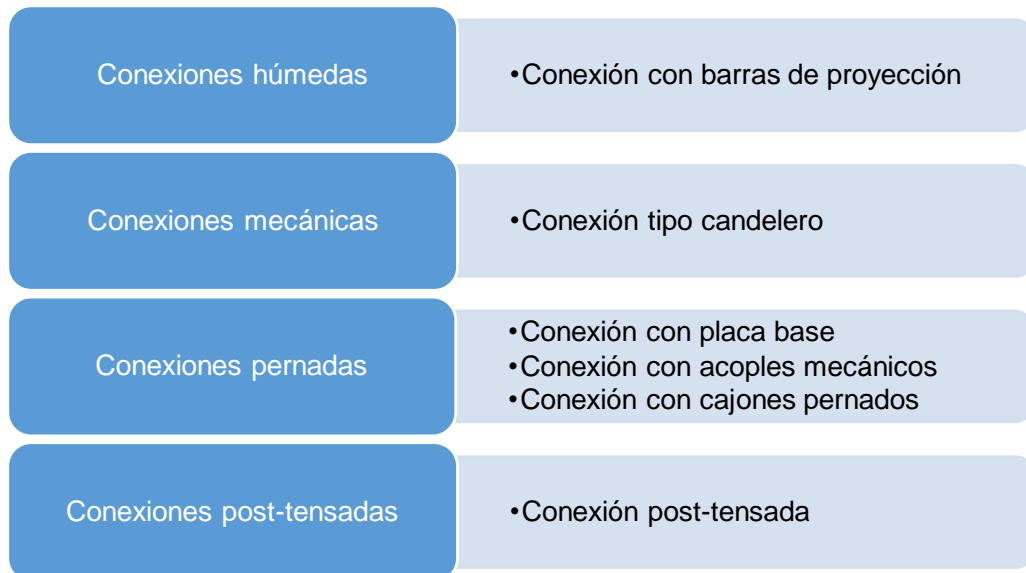


Figura 14. Clasificación de las tipologías halladas según su comportamiento estructural.

➤ **Conexión tipo candelero**

Es una conexión que consiste en insertar parte de la columna prefabricada dentro de la zapata, tal como una vela en un candelabro. De acuerdo con la (BCA, 2001), (EC, 2012), (Elliott, 2002), (FIB, 2003), (Hubert, 2014) y el (PCI, 2008), al introducir la columna en la fundación, las fuerzas desarrolladas por el contacto de las superficies de ambos elementos

en este empotramiento hacen que el sistema de conexión sea resistente a carga axial, carga cortante y a momento bidimensional de baja y media demanda. Particularmente (Elliott, 2002) resalta que es importante que la conexión además de resistir las cargas demandadas, debe garantizar la resistencia a agentes químicos que alteren el estado de las superficies de concreto de la fundación y la columna prefabricada.

Este tipo de conexión es más común para estructuras de poca altura, como puentes y estructuras livianas, sin embargo, específicamente según la (BCA, 2001) y el (FIB, 2003) puede utilizarse en edificaciones de mayor altura adicionando sistemas de anclaje que permitan controlar las altas demandas de momento de vuelco en la columna prefabricada.

Según (BCA, 2001) la cimentación puede corresponder a una zapata de concreto con el foso interno, el cual consiste en un deprimido dentro de la zapata, o a una zapata con el foso externo, el cual consiste en una protrusión en altura de las paredes del candelabro donde se insertará la columna. La principal diferencia en el uso de estas dos posibilidades radica en los aspectos del espacio disponible, la facilidad constructiva y los costos asociados. En ambos casos pueden conectarse vigas de fundación a la zapata. En la Figura 15, se muestra gráficamente la diferencia entre ambos tipos de conexión.

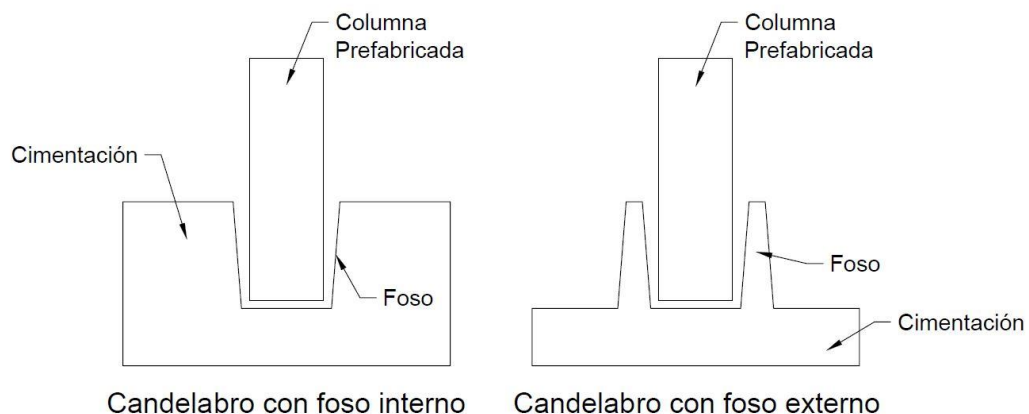


Figura 15. Conexiones tipo candelabro.

La columna prefabricada se conformará según el diseño del ingeniero estructural encargado y se apoyará contra el fondo del foso, dejando un espaciamiento a través de apoyos provisionales, como cuñas de madera o cualquier otro objeto que permita acomodar al elemento adecuadamente, además de otros elementos que permitan un apuntalamiento lateral temporal asegurando la verticalidad, mientras se conectan ambos elementos. Esta conexión se complementa con el uso de mortero fluido sin contracción (*Grout*) que busca aunar las superficies de los dos elementos.

▪ Características principales

De acuerdo con (Elliott, 2002) la fundación normalmente es fabricada *in situ*. La (BCA, 2001) también apoya este punto de vista, haciendo la aclaración de que este puede ser prefabricado siempre que las condiciones de peso lo permitan.

Tal como se mencionó anteriormente, su elaboración puede realizarse de dos maneras, con foso interno y con foso externo. Para ambas opciones hay tres alternativas en la forma que interactuarán las superficies de las paredes del foso y de las paredes de la columna prefabricada. Estas alternativas se pueden ver en la Figura 16 y Figura 17.

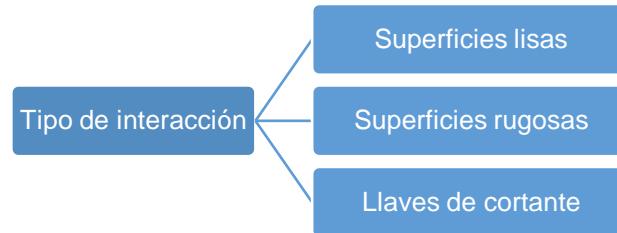


Figura 16. Tipo de interacción entre las paredes del foso y la columna prefabricada para conexiones tipo candelero

Las superficies lisas son las menos recomendadas de los tres tipos de interacción, ya que no generan fuerzas de fricción entre los elementos y no promueven la adherencia del mortero de conexión. Por efectos de la producción en serie de la prefabricación es muy probable que las superficies de la columna lleguen con este tipo de acabado.

La (EC, 2012) afirma que las superficies rugosas, a diferencia de las lisas, generan fuerzas de fricción entre los elementos, disminuyendo las fuerzas de extremo de elemento en la conexión y aumentando la adherencia del mortero. Este tipo de superficie es fácil de obtener en las paredes del foso del candelabro. Sin embargo, en caso tal de usar la interacción de superficies rugosas, y si la zapata y la columna son realizadas de manera prefabricada con superficies lisas, antes de la instalación en obra se tendrán que despigar las superficies que entrarán en contacto con ayuda de una herramienta de percusión o con un puntal.

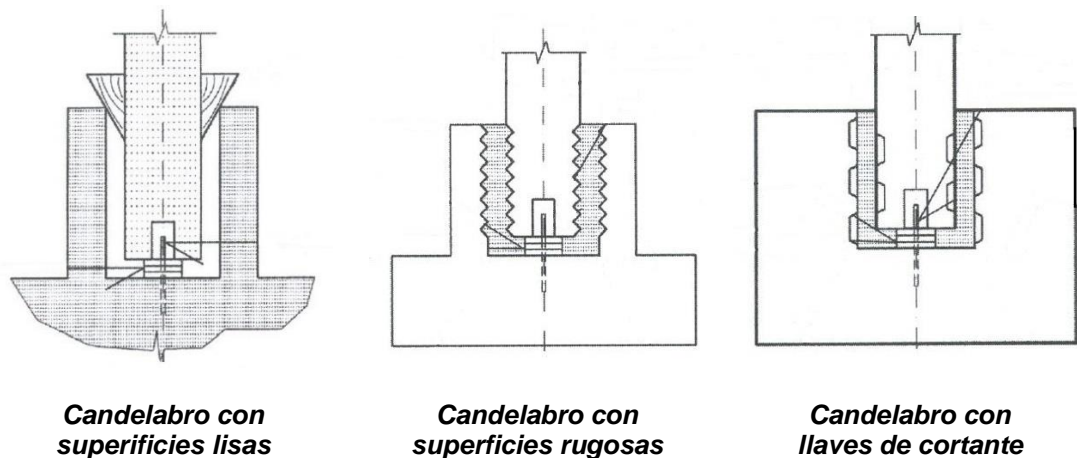


Figura 17. Tipos de interacción en conexiones candelabro. Adaptado de (BCA, 2001)

Las llaves de cortante posiblemente sean la opción más recomendada, ya que tiene las mismas ventajas que las superficies rugosas, sin embargo, con este tipo de interacción la (BCA, 2001) sugiere que la transferencia de carga axial de la fuerza de extremo de

elemento disminuye por efectos de cizallamiento entre las llaves de cortante. A pesar de que constructivamente este tipo de superficie es el más complejo, el uso de esta alternativa puede disminuir la profundidad del empotramiento de la columna, lo cual se ve reflejado en el aspecto financiero de la fundación según lo dicho por el (FIB, 2003). En la Figura 17, se puede observar la diferencia entre los tipos de superficies.

De manera complementaria (Elliott, 2002) recomienda realizar las superficies del foso ahusadas hacia afuera, con una inclinación de 5° que permita desarrollar una fuerza de cuña respecto a la carga axial de:

$$F_C = N \tan(5^\circ) \quad (1)$$

Esta fuerza de cuña puede proporcionar con esta inclinación una disminución a las fuerzas de extremo de elemento de aproximadamente un 9%, lo que conduce a un diseño de conexión mejor.

▪ **Tolerancias constructivas**

Los autores consultados concuerdan en que las tolerancias para este sistema son amplias y permiten un procedimiento constructivo versátil. Las tolerancias constructivas de esta conexión recaen en el foso y en las dimensiones necesarias para el vaciado del mortero de conexión. La recomendación general dada por los autores es que la mínima separación en el contorno del foso debe ser de 50 mm y entre el fondo del foso y la cara inferior de la columna 50 mm, a excepción de (Elliott, 2002) que opina que la separación del contorno mínimo debe ser de 75 mm y que en la separación del fondo del foso a la cara inferior de la columna puede haber mínimo 40 mm. Esta recomendación también es mencionada por la (BCA, 2001).

Como recomendación generalizada se debe cuidar también durante el vaciado del mortero que la mezcla que unirá ambos elementos esté libre de burbujas de aire y que el elemento este correctamente ubicado vertical y transversalmente en el foso.

▪ **Condiciones de durabilidad**

Sólo la (PCI, 2008) habla acerca de estos parámetros de manera concreta. Esta entidad específica que esta conexión, al estar empotrada y cubierta por el mortero de lleno hace que su durabilidad sea mucho mayor, debido a que está protegida contra la intemperie

▪ **Funcionamiento estructural**

La transferencia de las cargas en esta conexión se hace a través de la combinación de fricción y fuerzas de extremo de elemento. El diseño por carga última considera esta transferencia asumiendo que la resistencia de la sección transversal del mortero entre columna prefabricada y foso es igual o más resistente que estos elementos adyacentes. Es por esta razón que (Elliott, 2002) asegura que normalmente el mortero debe tener resistencias iguales o mayores a 40 MPa.

Cuando la conexión es sometida a las diferentes cargas externas las reacciones en la conexión son como se observa en la Figura 18.

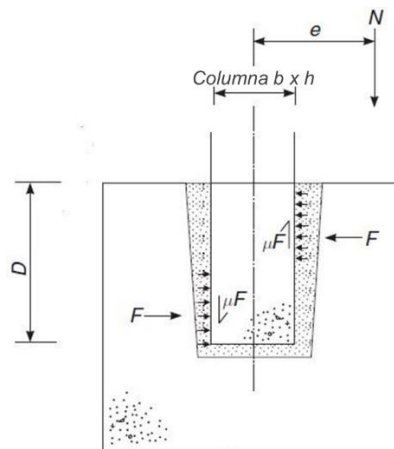


Figura 18. Diagrama de cuerpo libre de la conexión candelero. Obtenido de (Elliott, 2002)

Además (Elliott, 2002) asegura que el análisis estructural de la conexión sólo se puede realizar para flexión uniaxial, ya que no existe aún un método para la flexión bidimensional, sin embargo, se puede adoptar hacer un análisis de flexión unidimensional aumentado en la dirección más crítica.

La capacidad estructural de la conexión, explica el (PCI, 2008), está basada en el concepto de falla balanceada, haciendo que cuando el concreto alcance una deformación unitaria de 0.003, el acero a tracción alcance su límite elástico, siempre y cuando la profundidad de empotramiento de la columna en el foso sea, mínimo, 1.5 veces del mayor valor entre el ancho más corto de la columna o la longitud de desarrollo del refuerzo continuo.

Los demás autores concuerdan con esta restricción de empotramiento, a excepción de la (EC, 2012) que especifica un valor desde 1.2 hasta 2 veces del mayor lado de la columna basados en la investigación de Bruggeling, y la (FIB, 2003) que argumenta bajo el estudio de Osanai que se puede usar de 1 hasta 1.5 veces el ancho más grande de la columna como profundidad de empotramiento, usando un valor cercano a 1 siempre que se incluyan superficies con llaves de cortante en el diseño.

Sea cual sea el caso, la (FIB, 2003) recomienda que la rigidez y la resistencia proporcionada por dicha conexión debe ser igual o mayor a la proporcionada por una construcción monolítica.

▪ Modos de falla

Los modos de falla que caracterizan a este tipo de conexión según (Elliott, 2002) son tracciones diagonales que atraviesan desde las esquinas superiores hasta la parte media del foso, el posible aplastamiento del concreto que conforma al foso o el punzonamiento en la etapa de construcción en el área de contacto del mortero antes de alcanzar la resistencia mínima de su fraguado.

Según la (EC, 2012) este modo de falla depende de la superficie de interacción elegida para la conexión, ya que si el candelabro se realiza con superficies rugosas o llaves de

cortante el elemento se asume como monolítico y por ende el esfuerzo a flexión es más concentrado en la columna, haciendo crítica la zona del traslape del refuerzo longitudinal de la misma, o en su defecto provocando el aplastamiento del concreto que conforma al foso, tal como lo menciona Elliot. Sin embargo, si el candelabro se realiza con superficies lisas se puede adoptar un comportamiento que modele un sistema de fuerzas de reacción ortogonales de las superficies adyacentes, lo cual implicaría modos de falla diferentes a los mencionados.

▪ **Resultados experimentales**

En los documentos consultados el único autor que menciona pruebas experimentales es el (FIB, 2003). Ellos se basan en la investigación de Yutaka Osanai, donde éste argumenta que la conexión candelabro es tan rígida y resistente como una fundación monolítica construida *in situ*, y que por ende su comportamiento se asemeja a las condiciones requeridas para la construcción de edificaciones.

Los resultados del estudio de Osanai fueron aplicados en instalaciones ligeras y edificaciones de baja altura construidos por la empresa Oriental Construction Company. Limited, en Japón.

▪ **Casos reales**

Además del caso que se menciona en el anterior ítem, el (FIB, 2003) asegura que, en Turquía, después del sismo de Kocaeli en 1999, la investigación del daño en un almacén construido en concreto prefabricado y en el cual se usó este tipo de conexión arrojó que mientras los candelabros no presentaban ningún tipo de daño, las columnas prefabricadas se vieron afectadas bajo esta acción sísmica. En la Figura 19, se puede observar la condición de la columna después del sismo de Kocaeli.



Figura 19. Afectación de columnas prefabricadas por el sismo de Kocaeli (1999) en un sistema de conexión tipo candelabro. Obtenida de (FIB, 2003)

➤ **Conexión con placa base**

Es un método que consiste en soportar la columna prefabricada en la zapata por medio de una placa base metálica que los une a través del anclaje de pernos sujetos a los

elementos estructurales. (Hubert, 2014) opina que es una alternativa viable de conexión en concreto prefabricado, ya que esta es usada en estructuras metálicas.

De la misma manera que el autor africano, (Elliott, 2002) asegura que este tipo de conexión posee la ventaja de aplomar inmediatamente la columna, ajustando el nivel con ayuda de las tuercas de los pernos de anclaje, además sugiere que puede ser una metodología muy útil en suelos blandos, ya que el apuntalamiento temporal puede resultar complicado en este tipo de terrenos.

A diferencia de la (BCA, 2001), (EC, 2012), (Elliott, 2002), (Hubert, 2014) y el (PCI, 2008) que mencionaban esta metodología en sus investigaciones como resistente a momento, solo el (PCI, 2008) especifica que esta principalmente es diseñada como articulada, es decir, que puede proveer solo resistencia a tensión, compresión y corte. Sin embargo, aclara que la resistencia a momento por medio de esta conexión es posible, siempre que se tome el cuidado adecuado para fijar la placa en la parte superior e inferior, restringiendo así verticalmente su desplazamiento. En la Figura 20 puede observarse una representación de esta conexión.

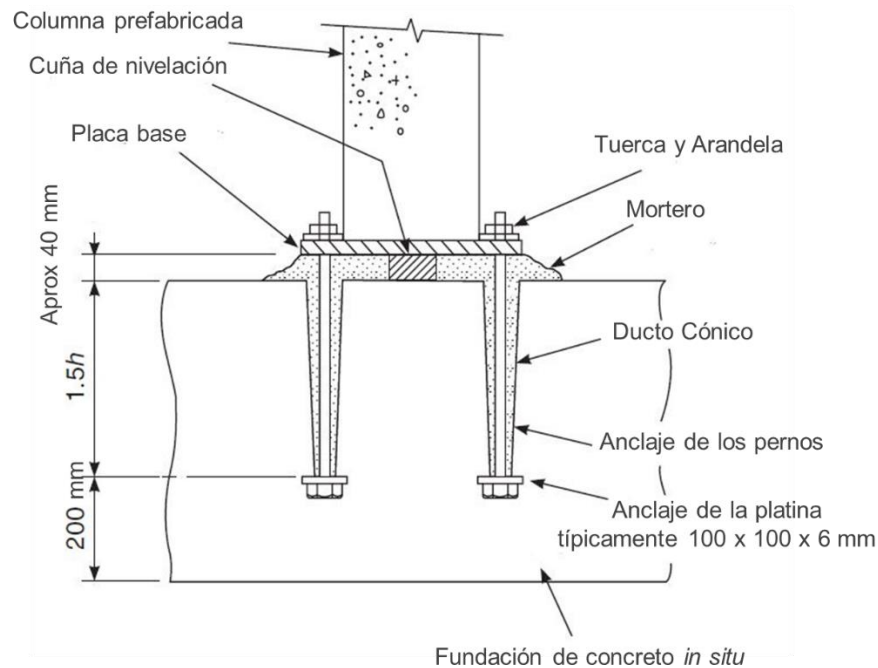


Figura 20. Conexión con placa base. Obtenida de (Elliott, 2002)

Todos los autores especifican que la placa base es unida a la columna prefabricada a través de barras soldadas embebidas en el concreto, a excepción de la (EC, 2012) que especifica en su documento que esta placa también puede estar conectada al refuerzo longitudinal de la columna por medio de acoples mecánicos.

Además, esta placa base viene con las perforaciones requeridas para conectarse con los espárragos embebidos en la cimentación. Para esta metodología (Elliott, 2002) indica que es usual dejar unos cajones esquineros en la columna que permiten el roscado de los

espárragos que unen la placa base a la fundación, como puede visualizarse en la Figura 21.

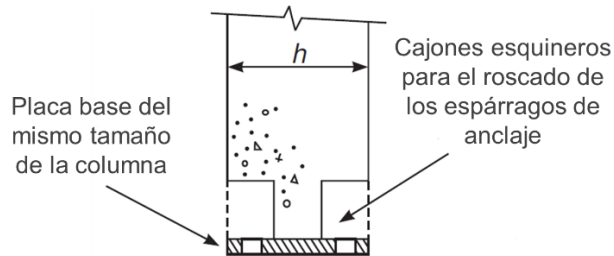


Figura 21. Conexión con placa base con cajones esquineros. Obtenido de (Elliott, 2002)

Es importante mencionar que todos los autores recomiendan dejar una brecha para realizar un lleno con mortero sin contracción (*grout*) para que así los espárragos que van desde la cimentación queden embebidos y se anclen, además para que la placa se acomode de manera adecuada transversal y verticalmente.

▪ Características principales

Según lo mencionado por el (PCI, 2008), la placa base al ser cuadrada provee una facilidad de producción en serie respecto al resto de metodologías de conexión.

A pesar de que la placa base generalmente es igual a la dimensión de la columna, esta puede ser un poco más grande que la misma. Esta condición se da principalmente por aspectos de excentricidades arquitectónicas o requerimientos estructurales. (Elliott, 2002). En la Figura 22, Figura 23 y Figura 24 se muestra un ejemplo de estas situaciones.

Es por esta razón que “el tamaño de la placa debe ser calculado según las cargas que actuarán en la columna, así como las condiciones de la conexión contra la fundación” (Hubert, 2014). Los autores en general resaltan que, si la placa base debe tener alguna longitud superior a la columna, esta debe garantizar mínimamente la ubicación de tres pernos de anclaje con la cimentación y sus dimensiones sobresalientes a la interfaz de la conexión no pueden superar en ninguna dirección más de 100 mm, con excepción de la (BCA, 2001) que especifica que esta dimensión puede ser un máximo de 125 mm.

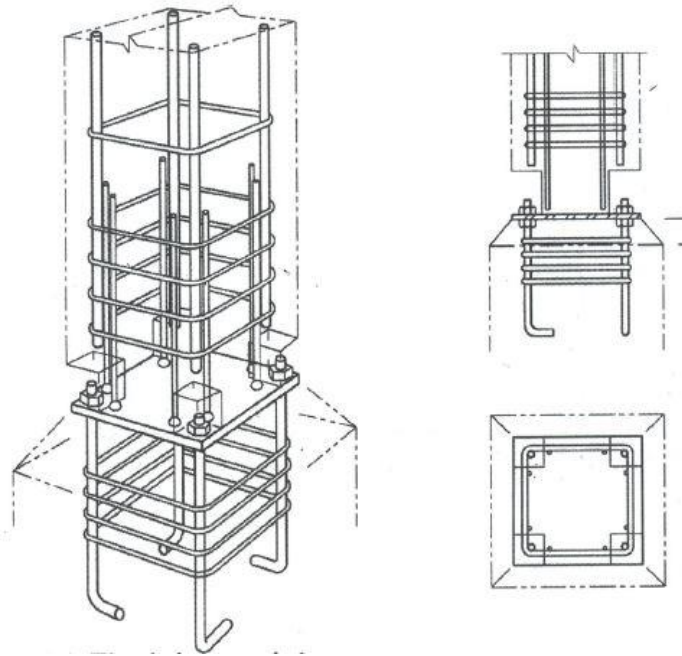


Figura 22. Conexión con placa base de dimensiones iguales a la columna prefabricada. Obtenida de (BCA, 2001)

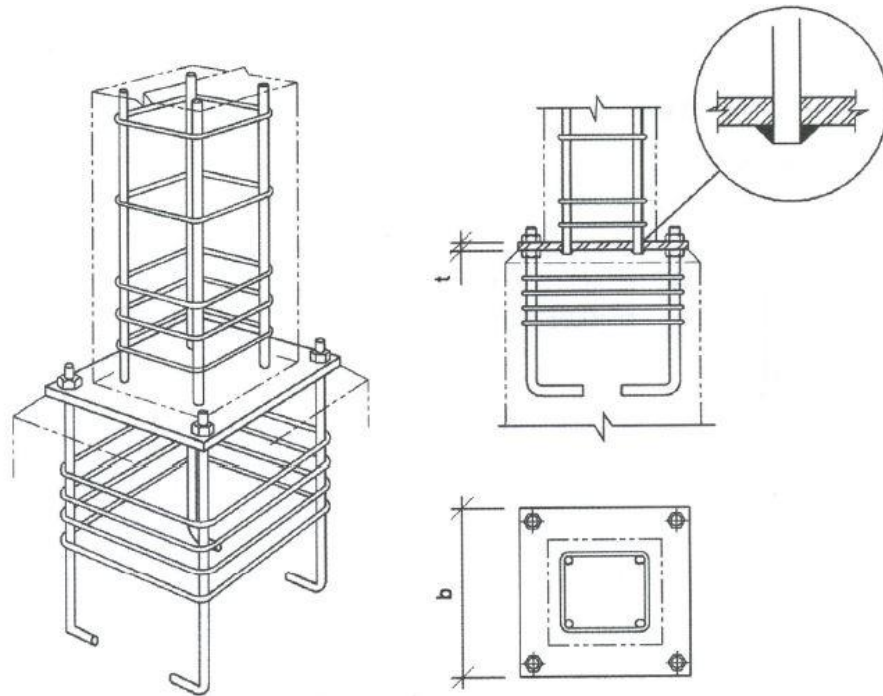


Figura 23. Conexión con placa base de dimensiones superiores a la columna prefabricada. Obtenida de (BCA, 2001)

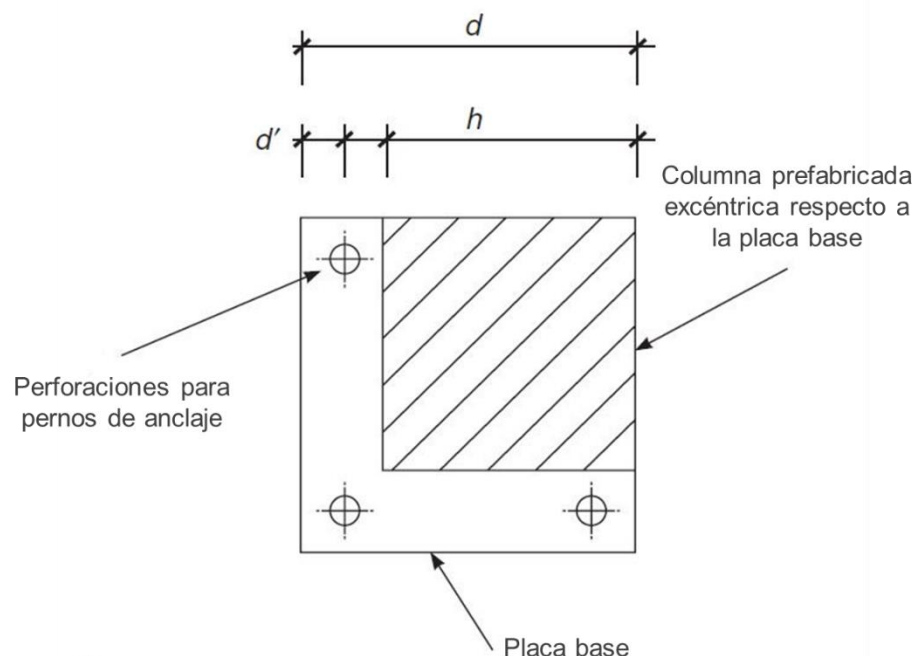


Figura 24. Conexión con placa base con columna prefabricada excéntrica. Obtenida de (Elliott, 2002)

Adicionalmente (Elliott, 2002) recomienda que los pernos de anclaje en su extremo embebido posean una platina usualmente de secciones de mínimo 100 mm x 100 mm x 6 mm (ver Figura 20), mientras la (BCA, 2001) recomienda que se use esta misma platina pero con un espesor de 9 mm o que se provean ganchos en forma de L en los anclajes embebidos, que permitan aumentar la capacidad de la conexión (ver Figura 22 y Figura 23).

Por otro lado, la (BCA, 2001) difiere con lo dicho (Elliott, 2002), ya que esta entidad opina que la placa base debe llevar las perforaciones de conexión con los pernos de anclaje mínimo a 100 mm del borde, mientras el autor inglés argumenta que esta distancia debería ser de mínimo 50 mm. Sin embargo, ambos concuerdan en que los pernos de anclaje deberán ser de grado 4:6 o 8:8. En la Figura 25 puede verse una placa base.



Figura 25. Placa base. Obtenida de (Elliott, 2002)

Particularmente (Elliott, 2002) es el único autor, que sugiere una longitud de empotramiento de los pernos entre 375 y 450 mm, además del posible diámetro de estos, el cual ubica entre 20 y 32 mm. Adicionalmente sugiere dejar como mínimo una longitud de 100 mm entre la parte inferior del perno de anclaje y el fondo de la fundación y adicionar refuerzo de confinamiento en el contorno de los mismos.

- **Tolerancias constructivas**

A pesar de que para ninguno de los autores consultados es ajeno, solo el (PCI, 2008) hace referencia exacta acerca de las sensibles tolerancias constructivas de este método. Incluso en su documento propone el uso de una plantilla que ayude a ajustar adecuadamente la ubicación de las barras embebidas en la columna prefabricada y los pernos de anclaje de la fundación. Además, a esta entidad la (BCA, 2001) propone unas perforaciones sobredimensionadas para los pernos de anclaje a la fundación buscando contrarrestar las mínimas tolerancias constructivas de este método.

- **Condiciones de durabilidad**

De la misma forma que con las tolerancias, el (PCI, 2008) hace un comentario puntual acerca de esa condición para esta metodología, diciendo que, a pesar de estar cubierta a la vista, la conexión debe ser protegida frente a la intemperie.

De manera complementaria la (BCA, 2001) hace una simple recomendación ante estas condiciones, asegurando que la placa base que conecte a columnas excéntricas o que tenga dimensiones más grandes que la columna prefabricada debe recubrirse con concreto adicional o debe proteger la placa base con galvanizado en caliente o electrogalvanizado.

- **Funcionamiento estructural**

(Elliott, 2002) resalta que las barras que van soldadas en la placa base y, por ende, embebidas en la columna, pueden corresponder normalmente a barras con una fluencia de 250 MPa, que ayuden a reducir la compresión en la conexión. Establece también en su documento, que el acero es diseñado bajo el principio de cortante por fricción.

Además (Elliott, 2002) también aconseja que los pernos de anclaje deben estar lo más espaciados entre sí, para así garantizar un brazo mayor que contrarreste los efectos de momento en la conexión. Esta afirmación contradice la percepción del (PCI, 2008), donde se indica que esta conexión es generalmente usada para ser articulada.

El método de diseño para esta conexión, sugiere adicionalmente (Elliott, 2002), establece un equilibrio de las fuerzas verticales y los momentos de volcamiento. Este método puede tener dos posibles caminos; con los pernos de anclaje trabajando a tensión y con los pernos de anclaje trabajando solo a compresión.

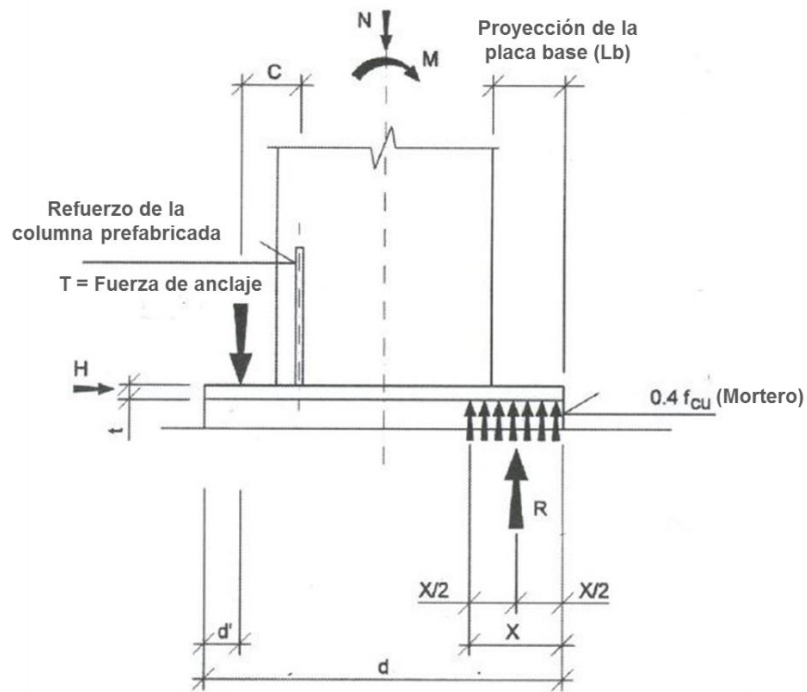


Figura 26. Vista en altura de una conexión con placa base. Obtenida de (BCA, 2001)

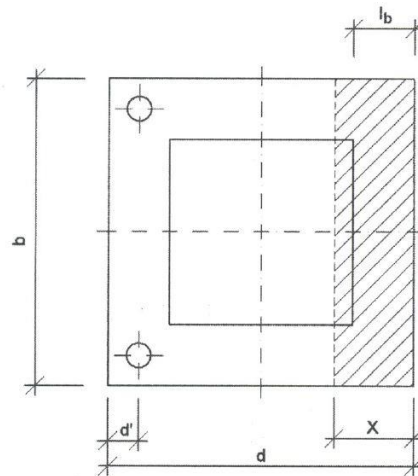


Figura 27. Vista en planta de una conexión con placa base. Obtenida de (BCA, 2001)

Por otra parte, debe tenerse en cuenta, según el mismo (Elliott, 2002) y la (BCA, 2001), que la fuerza en los pernos desarrolla una pareja de compresión debajo de placa, por ende, cuando se estén analizando las placas asimétricas respecto a la columna prefabricada, el procedimiento es el mismo solo que teniendo en cuenta a la carga axial con la debida excentricidad del caso. Se puede observar la representación del modelo de fuerzas de esta metodología en la Figura 26 y Figura 27.

- **Modos de falla**

La (EC, 2012) menciona que para mantener las propiedades dúctiles en la columna ante una eventualidad sísmica se debe evitar la falla frágil temprana de los elementos soldados y atornillados en la placa base y para esto se puede recurrir a mejorar ya sea la calidad de soldadura o de los acopladores mecánicos, o a sobredimensionar los elementos para mejorar su resistencia.

- **Conexión con proyección de barras**

Este método consiste en la conexión de la columna prefabricada con la fundación a través de un traslape de refuerzo longitudinal que une a ambos elementos por medio de ductos que luego son llenados con mortero fluido.

Según (Hubert, 2014), es usado normalmente en edificaciones de gran altura, ya que la estructura principal requiere que los apoyos posean conexiones fijas, resistentes a cargas axiales, cortantes y a momento.

Dentro de las metodologías planteadas por cada autor se encontraron dos posibles formas de realizar este traslape entre la columna y la fundación. La primera forma, expuesta por la (BCA, 2001), (Elliott, 2002) y (Hubert, 2014) propone que los ductos estén embebidos en la columna y que las barras que traslaparán al refuerzo de ambos elementos estén embebidas en la fundación. La segunda alternativa propone que los ductos corrugados estén en la fundación y las barras que traslaparán al refuerzo de ambos elementos estén embebidas en la columna. En la Figura 28 y Figura 29 se puede observar una representación de ambas tipologías.

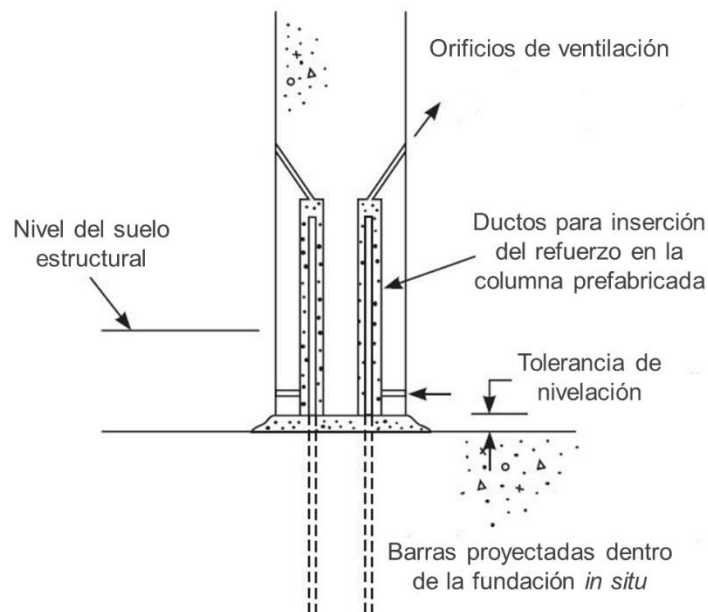


Figura 28. Conexión con proyección de barras con los ductos embebidos en la columna prefabricada. Adaptado de (Elliott, 2002)

(Elliott, 2002) afirma que es el método más popular para conexiones columna - fundación y que quizás sea el que posee una mejor relación ventajas/desventajas respecto a las otras metodologías de este tipo.

Dentro de las ventajas mencionadas por el autor inglés se encuentran el debido confinamiento del concreto, el empalme a través de la cama de mortero que garantiza la continuidad estructural - ventaja mencionada también por el autor africano (Hubert, 2014) - el traslape del sistema principal de refuerzo longitudinal, el fácil proceso de manufactura en planta y la sencilla instalación en obra (en este aspecto el autor africano expone su posición indicando en su documento que el proceso de izaje e instalación es una de las principales preocupaciones para el uso de esta conexión). Mientras en las desventajas citadas por el inglés se destaca que el mortero va estar compactado en los ductos corrugados.

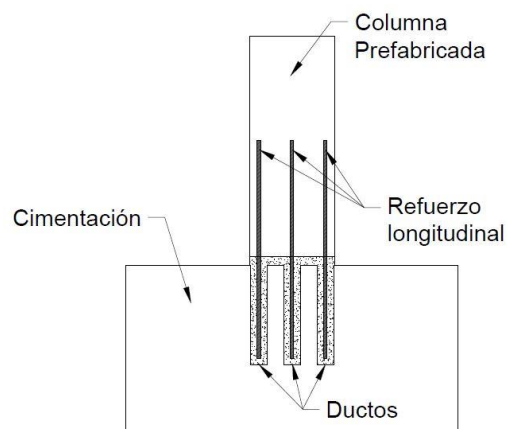


Figura 29. Conexión con proyección de barras con los ductos embebidos en la fundación. Adaptado de (EC, 2012)

▪ Características principales

Los ductos usualmente son corrugados con pared de espesor de 1 mm, según (Elliott, 2002), ya que esto mejora la adherencia del mortero de llenado e incrementa la resistencia de la conexión por el efecto cuña de las corrugaciones. Además, estos ductos deben permitir el paso del refuerzo que viene desde la fundación y el adecuado vertimiento del mortero, por esta razón la (BCA, 2001) recomienda que su diámetro supere en unos 20 a 30 mm el diámetro nominal de las barras de refuerzo longitudinal, mientras la (EC, 2012) propone un diámetro nominal fijo que equivalga entre 80 y 100 mm.

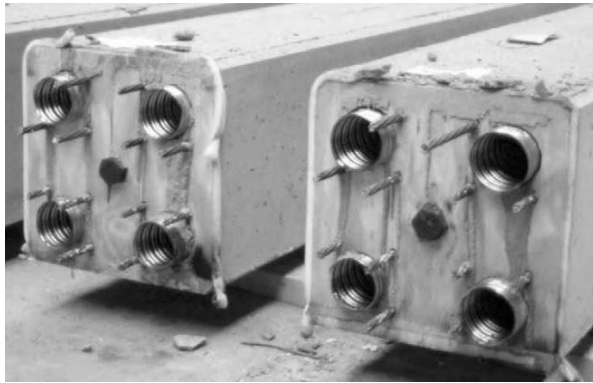


Figura 30. Columnas prefabricadas para la conexión con proyección de barras. Obtenida de (Elliott, 2002)

De manera complementaria (Elliott, 2002) establece que los ductos deben estar destapados en la parte inferior de la columna y deben quedar a ras con la sección transversal de la fundación (ver la Figura 30).

Adicionalmente, (Elliott, 2002) especifica que la capa de asentamiento entre la columna prefabricada y la fundación debe tener por lo menos 40 mm de espesor de mortero sin contracción de resistencia igual o superior a la columna (generalmente 40 MPa) y que en caso de no se pueda o se quiera utilizar mortero se debe llenar con concreto que tenga un agregado con tamaño inferior a 6 mm que tenga la misma resistencia de la columna.

Por otro lado, la (BCA, 2001) y (Elliott, 2002) esclarecen que el vertimiento del mortero se puede realizar por gravedad o por inyección. El uso de una u otra manera depende de las condiciones específicas de la instalación en obra, sin embargo, el vaciado del mortero por gravedad es menos costoso y complicado que el vaciado por inyección, ya que, a pesar de que ambos requieren de mano de obra especializada para la actividad, el mortero por inyección necesita de equipo especializado para ejecutar la operación. No obstante, sea cual sea el caso, la (BCA, 2001) y (Elliott, 2002) afirman que se debe garantizar la ventilación de los ductos para evitar la formación de burbujas de aire. En particular (Elliott, 2002) sugiere que se pueden dejar orificios de ventilación de diámetro no inferior a 6 mm, además que si los orificios superan una longitud de 15 mm es más recomendado hacer el vaciado por inyección.

Es importante, según lo dicho por (Hubert, 2014), que durante el izaje de la columna prefabricada se protejan correctamente las barras de refuerzo, ya que estas pueden dañarse si no se tienen los cuidados preventivos durante la instalación. La (EC, 2012) propone en su documento una solución alternativa para evitar la distorsión de las barras, no solo durante su instalación en obra, sino también durante su transporte (recordar que la metodología propuesta por esta entidad especifica las barras embebidas en la columna prefabricada), la cual consiste en cortar las barras salientes de la columna y luego empalmarlas en obra por medio de acopladores mecánicos.

Además, para garantizar un adecuado posicionamiento transversal y vertical de la columna prefabricada la (EC, 2012) y (Elliott, 2002) proponen usar cuñas de madera y

apuntalamientos laterales que permitan respetar el espesor mínimo para la cama de mortero y que permitan que la columna pueda apoyarse y ubicarse adecuadamente.

- **Tolerancias constructivas**

(Hubert, 2014) es bastante insistente acerca del posicionamiento de las barras que proveerán el traslape de los elementos, ya que, si se tienen inconsistencias en la posición de los ductos y la posición de las barras, los elementos no podrán conectarse. Aunque estos igual pudieran conectarse, un error en la ubicación provocaría el mal funcionamiento de los elementos de la conexión, falla constructiva, que produciría efectos perjudiciales sobre el resto de la estructura debido a factores de excentricidad y concentración de esfuerzos.

Para esta problemática es que la (BCA, 2001) y la (EC, 2012) proponen ductos con dimensiones considerablemente mayores a las barras de refuerzo longitudinal. Sin embargo, también podría usarse la idea planteada por el (PCI, 2008) en el numeral anterior "Conexión con placa base", en el que se implemente una plantilla que guíe el proceso constructivo para ambas partes de la interfaz.

Adicionalmente el vaciado del mortero, a pesar de no ser una tolerancia constructiva, se vuelve una actividad crítica, ya que el manejo de mortero fluido sin contracción es una operación, que como se dijo anteriormente, requiere de mano de obra y equipos especializados que garanticen alta precisión y un vaciado libre de burbujas de aire, por ello, esta debe quedar bien hecha.

Para afrontar esta problemática es recomendado contar con un equipo de trabajo certificado, que entienda el proceso y la importancia de la actividad dentro de la conexión, además que se cuente con cuidados provisionales (formaletas, dispositivos de inspección y chequeo) que permitan la ejecución del vaciado de la manera adecuada.

- **Condiciones de durabilidad**

Debido a que la conexión queda cubierta por mortero y fuera del alcance de la vista (ver Figura 28) la conexión no requiere de cuidados adicionales para ningún elemento que conforme la conexión, por ende, su durabilidad es alta.

- **Funcionamiento estructural**

La (BCA, 2001) argumenta que esta conexión puede ser vista como un traslape convencional donde la transferencia de fuerzas entre barras actúa como una serie de puntales que trabajan a tracción, mientras el concreto de la parte opuesta trabaja a compresión, debido al par de fuerzas que se producen a causa del momento.

Según (Elliott, 2002), el procedimiento de diseño de esta metodología se hace de la misma manera que el de columnas de concreto reforzado, bajo la suposición del desarrollo de la fuerza de la barra por medio de toda la longitud de traslape. La parte crítica de este procedimiento, según él, recae en la ubicación del refuerzo principal de la columna y del refuerzo del traslape de conexión, ya que, estos no pueden interceptarse.

Para evitar esto él propone dos opciones. La primera intenta que el refuerzo principal esté más cerca de los bordes de la dimensión más grande de la columna y al tiempo que esté más lejos de los bordes de la dimensión más pequeña de la misma, para que el refuerzo del traslape pueda pasar de manera contraria a este posicionamiento. La segunda, no es muy recomendada por el autor, pero consiste en ubicar el refuerzo principal dentro del contorno del refuerzo del traslape. Sin embargo, hay otras posibles formas de acomodar los refuerzos longitudinales y por lo general ese tipo de decisiones, de la misma manera que pasa con el tamaño y la cantidad de barras que sean requeridas, son tomadas usualmente, según (Hubert, 2014), por el ingeniero diseñador bajo las condiciones de cada proyecto.

Por otro lado, la (EC, 2012) establece que el procedimiento de diseño debe cerciorarse de que la longitud de la proyección de las barras sea capaz de permitir la fluencia de las barras de traslape en la base de la columna, antes que una falla del anclaje. Sin embargo, si se va a utilizar la alternativa de cortar las barras y luego conectarlas con acopladores mecánicos se debe tener en cuenta que el roscado con estos elementos debilita a las barras longitudinales y que por ende es recomendado certificar la resistencia de los mismos para evitar fallas frágiles tempranas en la barra.

La (BCA, 2001), la (EC, 2012) y (Elliott, 2002) aseguran que se debe confinar con estribos toda la zona del traslape, para así garantizar la ductilidad de la conexión.

La (EC, 2012) especifica que en la conexión debe verificarse la acción de la carga axial y cortante, así como la acción plástica del momento último introducido a la interfaz por medio de la columna, de manera independiente en las dos direcciones principales e incluyendo el factor de sobre-resistencia.

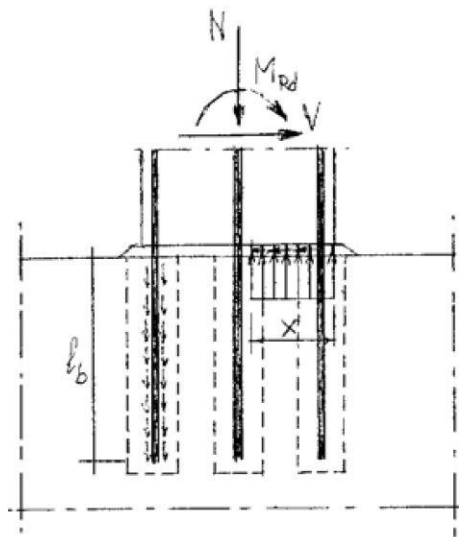


Figura 31. Fuerzas actuantes en la conexión con proyección de barras. Obtenida de (EC, 2012)

La Figura 31 muestra el mecanismo de resistencia de la sección, sometida a la combinación de carga axial, carga cortante y momento. Es importante resaltar que esta interacción de fuerzas encuentra validez bajo la hipótesis de que el refuerzo a tracción

está fluyendo, y que además debe verificarse la fuerza de extracción en el anclaje, correspondiente al esfuerzo de fluencia principal de la barra y de todo el mortero confinado.

- **Modos de falla**

La (EC, 2012) habla en particular de dos modos de falla para esta conexión. El primero consiste en la extracción de las barras a tracción embebidas en la fundación bajo la acción de la carga axial (N) y momento (γM). El segundo modo de falla es un corte deslizante correspondiente a la carga axial (N), la carga cortante (γV) y al momento (γM).

- **Resultados experimentales**

De manera similar al ítem anterior, la (EC, 2012) es el único autor que habla acerca de resultados experimentales. En estos exponen que siempre que se cumplan las reglas de sobre-resistencia planteadas en los modelos de comportamiento desarrollados, la conexión con proyección de barras no presentará variaciones importantes en los parámetros fuerza/ductilidad de la columna, respecto a una conexión monolítica vaciada *in situ*. Sin embargo, la entidad hace la aclaración de que si se va a emplear la alternativa que corta las barras se deben hacer pruebas de eficacia, en términos de sobre-resistencia, respecto a la alternativa que no corta las barras, que permitan verificar su desempeño.

Los resultados de los ensayos experimentales expuestos en el documento de la (EC, 2012) fueron realizados a la conexión que establece la alternativa de las barras cortadas. En estos mencionan que la ductilidad de los ensayos fue limitada por los detalles de los acopladores mecánicos más que por la columna.

Además, en las pruebas los especímenes alcanzaron niveles de disipación media, atribuidos a la columna y a la apertura alterna de la base. Consecuentemente sus propiedades de deformación se vieron reflejadas en una deriva máxima del 4.5 %, con caídas de fuerza poco relevantes y alcanzando un comportamiento elástico sin deformaciones residuales en el 1.5 % de la deriva (tomando como estado límite de servicio derivas del 1.0 %), aparte de mencionar un tamaño de fisuras de 2.1 mm en la interfaz de la conexión.

➤ **Conexión con acopladores mecánicos**

Es una conexión que conecta a las barras de refuerzo que unen la columna prefabricada y la fundación por medio de acoples mecánicos. Hay dos posibles maneras de utilizar los acopladores mecánicos. La primera manera, expuesta por la (EC, 2012), consiste en la conexión de barras que son soldadas al acoplador mecánico. Estos acoples están ubicados en las superficies de ensamble de la columna y la zapata y luego son unidos por pernos de alta resistencia (ver el detalle de la conexión en la Figura 32). Estos dispositivos mecánicos, según la (EC, 2012), deben estar sobre diseñados para lograr el funcionamiento deseado en la conexión, además deben quedar cubiertos por un lleno de mortero que permita garantizar la continuidad estructural de la misma.

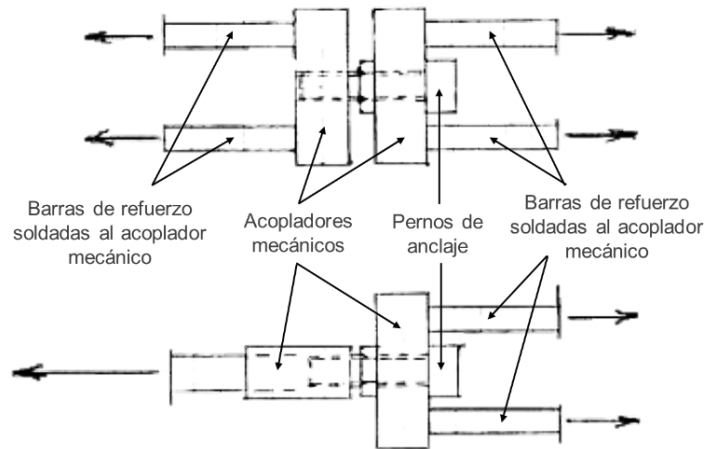
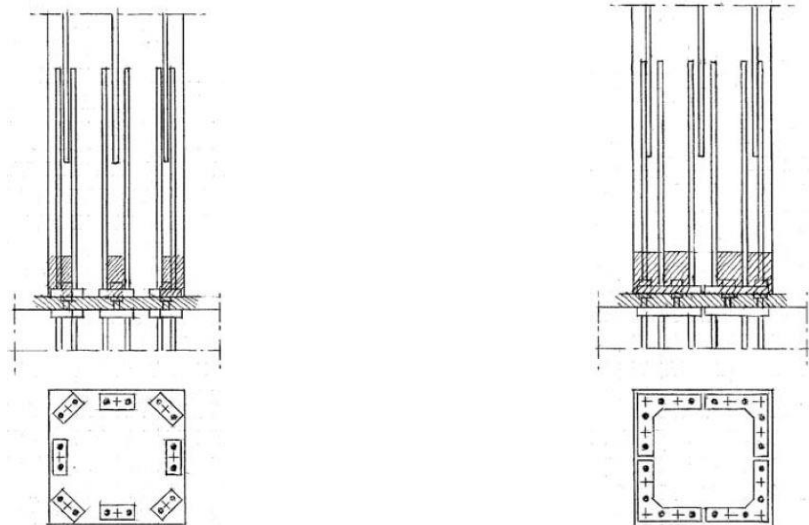


Figura 32. Detalle del acoplador mecánico. Adaptado de (EC, 2012).

Esta metodología puede presentarse bajo otras dos alternativas, según lo expuesto por la (EC, 2012). La primera consiste en distribuir varios acopladores mecánicos en la sección transversal de la interfaz con posibilidad de conectar un par de barras embebidas en la columna prefabricada y otro par de barras embebidas en la fundación, por medio de un solo perno de anclaje (4B1P). La segunda opción consiste en distribuir acopladores mecánicos en cada esquina de la sección transversal que permita la conexión de cuatro barras embebidas en la columna prefabricada y otras cuatro embebidas en la fundación a través de tres pernos de anclaje (8B3P). Estructuralmente, la (EC, 2012), no especifica ninguna diferencia de comportamiento entre estas dos alternativas. En la Figura 33 se puede observar una representación acerca de la distribución de estos acoples en los elementos.



Alternativa con acopladores mecánicos (4B1P)

Alternativa con acopladores mecánicos (8B3P)

Figura 33. Tipos de conexión con acopladores mecánicos según la (EC, 2012).

La segunda manera, expuesta por el (PCI, 2008) plantea los acopladores mecánicos embebidos a ras de la cara inferior de la columna, sujetando el extremo inferior de las barras del refuerzo longitudinal de la misma, y al tiempo, el extremo superior de las barras que están ancladas a la fundación, los cuales, luego son cubiertos por mortero fluido sin contracción. Esta entidad sugiere hacer el anclaje en la fundación con ganchos en forma de L. En la Figura 34 se puede ver el detalle de esta metodología.

Tanto la (EC, 2012) como el (PCI, 2008) opinan que es una metodología usada para pórticos que requieran una fijación en los apoyos con resistencia a momento, además que se deben proporcionar los estribos en la columna de manera corriente para garantizar la ductilidad del elemento.

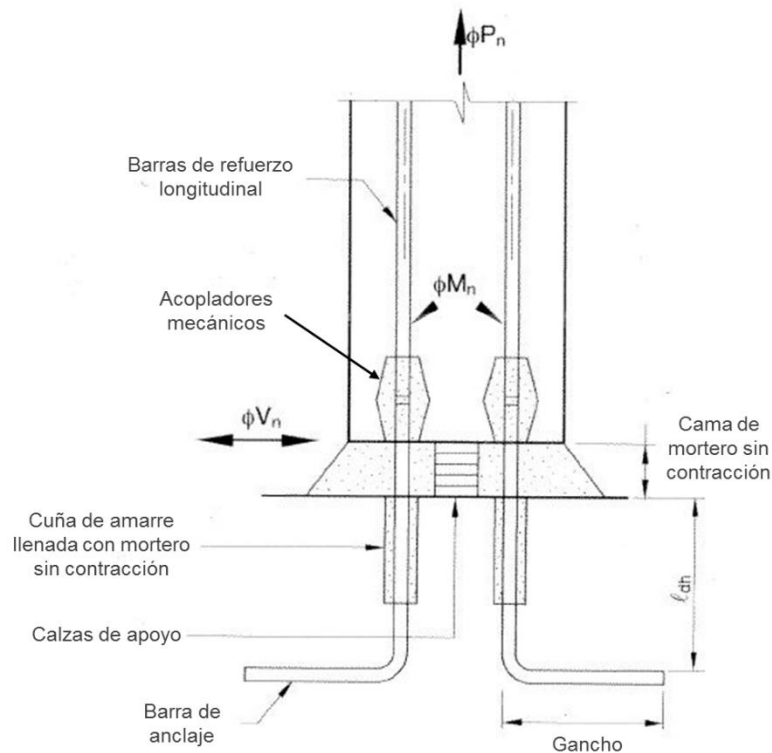


Figura 34. Conexión con acopladores mecánicos según el (PCI, 2008).

▪ Características principales

El (PCI, 2008) resalta que es importante que cuando se utilicen estas conexiones se asegure que el posicionamiento de los acopladores para no generar una obstrucción a otros elementos que hagan parte del ensamble de la estructura. Además, se deben proporcionar las condiciones adecuadas para evitar inconvenientes con el vaciado de recubrimiento del mortero en los acoples.

Complementariamente, la (EC, 2012) enfatiza el cuidado del vaciado del mortero, ya que es una actividad que requiere de trabajo especializado por la complejidad del vertimiento y las angostas brechas que deben cubrirse con este.

De forma similar a las conexiones expuestas en los anteriores ítems, la (EC, 2012) y el (PCI, 2008) establecen que la columna prefabricada debe permanecer posicionada de manera adecuada mientras la cama de mortero alcanza su resistencia mínima, ya que si la columna no es bien apoyada o apuntalada lateralmente se pueden producir efectos indeseados como excentricidades y errores de ensamble superiores.

Adicionalmente el (PCI, 2008) aconseja que cuando se vaya a utilizar esta conexión es importante consultar información adicional al fabricante de los acopladores mecánicos para obtener un diseño más seguro y confiable.

- **Tolerancias constructivas**

Este sistema de conexión posee, según la (EC, 2012) y el (PCI, 2008), tolerancias constructivas muy bajas, lo que obliga a una buena calidad de manufactura de los elementos pertenecientes a la conexión.

Ante esta situación el (PCI, 2008), propone usar una plantilla que ayude a ubicar los pernos de anclaje y las barras de refuerzo longitudinal que intervienen en la conexión que ayuden a mitigar las cerradas tolerancias de ajuste con las barras del refuerzo.

- **Condiciones de durabilidad**

Con una condición similar al resto de metodologías, el (PCI, 2008) menciona que esta conexión al estar cubierta por mortero no queda expuesta a la intemperie, por lo que provee una alta durabilidad

- **Funcionamiento estructural**

De acuerdo a la (EC, 2012), en esta conexión los pernos principalmente trabajan en tracción, pero si se ajustan de la manera adecuada puede haber casos donde actúen en compresión. Adicionalmente la fuerza longitudinal causada por la carga axial y el momento flexionante se transmiten directamente a las barras de anclaje por medio de los acopladores mecánicos. Esta transferencia de cargas mantiene el mortero trabajando en compresión.

El (PCI, 2008) complementa la observación hecha por la entidad europea mencionando que el acoplador mecánico debe resistir esfuerzos a compresión más grandes que las barras, aclarando que el código de diseño establece una resistencia del 150% sobre el límite de fluencia de las barras. Además, éste sugiere determinar el valor exacto de la resistencia con el fabricante.

- **Modos de falla**

Estos son expuestos únicamente por la (EC, 2012). El primer modo de falla es la rotura del acople mecánico, la cual ocurre cuando la fuerza transmitida a la conexión sobrepasa la capacidad última del acople declarada por el fabricante. Es común que este modo de falla se manipule con el sobredimensionamiento de los acopladores mecánicos.

El segundo modo de falla corresponde a la deformación excesiva de las placas de soporte del acoplador (ver Figura 32). Esta se presenta cuando no se tiene un espesor suficiente de la placa del acoplador que permita desprestigiar las deformaciones. Normalmente se controla sobre dimensionando la placa del acoplador.

El tercer modo de falla es la extracción de las barras de refuerzo del acoplador mecánico. Esta se presenta cuando la fuerza de tracción producida por los momentos flexionantes supera la fuerza resistida en la conexión del acoplador (sea por un proceso pernado, soldado o de fricción). Usualmente se maneja verificando el adecuado anclaje y haciendo pruebas iniciales con los acopladores.

▪ **Resultados experimentales**

Al igual que los modos de falla, la (EC, 2012) es el única que expone resultados experimentales con este tipo de conexión. Dentro de su documento mencionan resultados acerca de la ductilidad, capacidad de disipación, capacidad de deformación y daño de esta conexión.

Acerca de la ductilidad aseguran que la columna no se ve afectada por la conexión, debido al sobredimensionamiento proporcionado a los acoples y que hace que estos actúen siempre en el rango elástico.

Algo similar exponen con la capacidad de disipación. Especifican que la energía de disipación en la base de la columna prefabricada no depende de la conexión, pero que el daño localizado en el mortero puede afectar el desempeño cíclico de la conexión debido a la creación de fisuras permanentes en la interfaz. Sugieren fijar tuercas en ambos extremos que generen la actuación de los pernos en compresión, ya que con esta fijación se retrasa la descompresión y por ende la apertura de brechas en la interfaz.

Desde el punto de vista de la deformación, aseguran que se pueden esperar más deformaciones en la columna prefabricada con respecto a la solución monolítica construida *in situ*, a causa de la elongación local (elástica) de los acoples mecánicos.

Adicionalmente, especifican que en pruebas cíclicas la conexión no presenta caídas relevantes de la resistencia y que la falla se espera que ocurra fuera de la conexión, donde la fisuración puede extenderse hasta la interfaz.

➤ **Conexión con cajones pernados**

Es una conexión similar a la mencionada en el numeral anterior “Conexión con acopladores mecánicos”, ya que, según la (EC, 2012), utiliza dispositivos de sujeción especial embebidos en la columna que sirven como refuerzo longitudinal en la base de la columna prefabricada y a la vez como acoplador mecánico para que las barras que están embebidas en la fundación puedan ser pernadas en la columna. Esta conexión también lleva una cama de mortero en la interfaz que permite la continuidad estructural de la conexión, además puede llevar enlaces transversales soldados en los cajones que eviten el desprendimiento lateral de los mismos.

La (EC, 2012) es la única fuente de las consultadas que menciona a esta tipología de conexión y establece que los dispositivos que son usados para esta unión por lo general son cubiertos por patentes específicas. En la Figura 35 se puede observar el detalle de esta metodología de conexión.

Estos dispositivos de sujeción especial generalmente son cajones metálicos a los cuales van soldadas las barras de refuerzo longitudinal de la columna prefabricada y que tienen una perforación que permite el atornillado de la barra que viene desde la fundación. Adicionalmente estos pueden llevar un gancho posicionado de manera paralela y de una longitud menor al refuerzo que sirve como sistema de anclaje adicional en la columna. El diseño de estos cajones normalmente varía según los fabricantes. En la Figura 36 se puede observar el detalle de estos dispositivos.

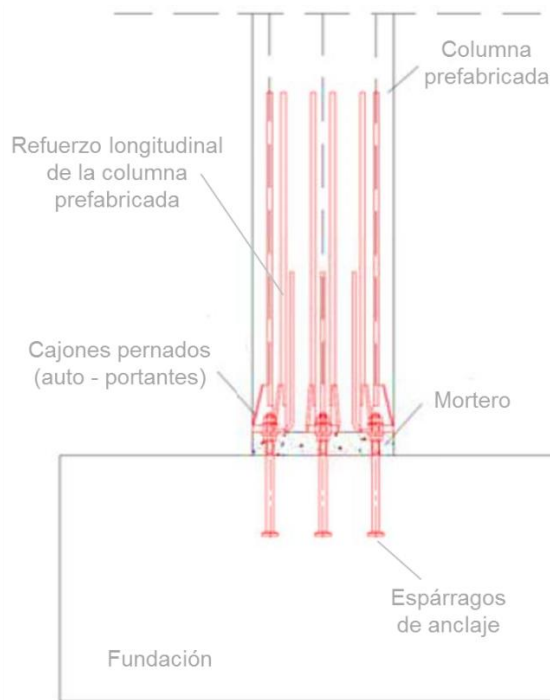


Figura 35. Conexión con cajones pernados. Obtenido de (EC, 2012).

Los espárragos que están embebidos en la fundación son atornillados uno a uno en los cajones y por recomendación de la (EC, 2012) deben tener la adecuada longitud de empotramiento que permita la debida transferencia de los esfuerzos dentro de la fundación.

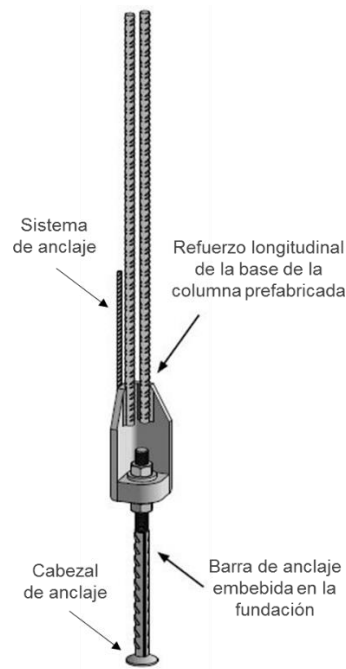


Figura 36. Dispositivo usado para la conexión con cajones pernados. Adaptado de (Peikko Group, 2017)

- **Características principales**

En la etapa de instalación, la (EC, 2012) especifica que la columna prefabricada puede ser soportada por la conexión sin necesidad de apoyos y apuntalamientos provisionales, siempre que se agreguen tuercas a los espárragos embebidos que van desde la fundación y que permitan aplomar y ajustar la columna prefabricada. Cuando la columna esté totalmente aplomada y ajustada se debe hacer el vaciado del mortero que consolide la interfaz de apoyo para ambos elementos estructurales.

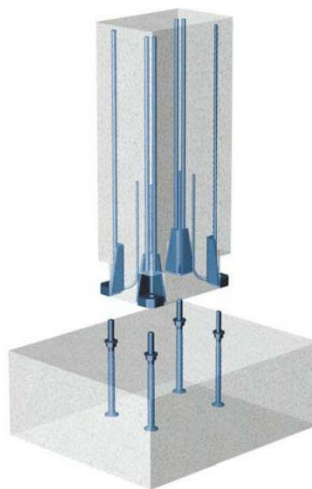


Figura 37. Instalación con una conexión con cajones pernados. Obtenida de (Peikko Group, 2017)

La cama de mortero vaciada deberá tener un espesor delgado, ya que espesores grandes pueden provocar pandeo en la interfaz de los espárragos embebidos en la fundación cuando la conexión se someta a fuerte compresión. Sin embargo, la (EC, 2012) menciona que este inconveniente también puede ser evitado adicionando estribos que confinen la conexión.

- **Tolerancias constructivas**

La (EC, 2012) asegura que el atornillado de los espárragos embebidos en la fundación a través de los cajones pernados necesita de mucha precisión y por ende de tolerancias constructivas son muy bajas ante cualquier imperfección, tanto en la etapa constructiva como en la de instalación de la columna prefabricada y de la zapata.

Por esta razón la (EC, 2012) recomienda el uso de plantillas guías que ayuden en el proceso de manufactura e instalación de ambos elementos estructurales.

- **Condiciones de durabilidad**

De la misma forma que con las anteriores metodologías de ensamble prefabricado columna – zapata, esta conexión queda embebida, por lo que su durabilidad queda dependiendo únicamente de la vida útil de los dispositivos de conexión.

- **Funcionamiento estructural**

La (EC, 2012) aconseja que siempre que se use esta conexión se envíen los dispositivos a pruebas iniciales que permitan inspeccionar su comportamiento estructural, para así verificar la capacidad de deformación de la conexión.

Inicialmente la conexión deberá ser verificada ante la acción de la carga axial, cortante y del momento último plástico (M) en la base de la columna. Esta verificación, aclara la (EC, 2012), puede desarrollarse en dos direcciones principales independientemente y debe tener en cuenta el factor de sobre-resistencia (γ).

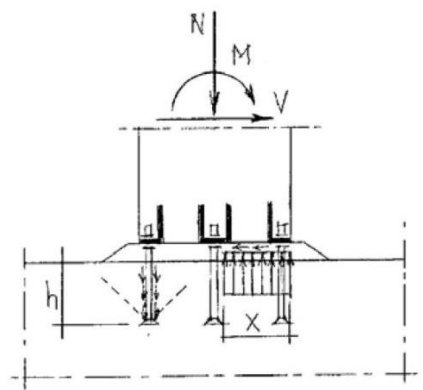


Figura 38. Fuerzas actuantes en la conexión con cajones pernados. Obtenida de (EC, 2012).

En la Figura 38 se muestra el mecanismo de resistencia de la sección, asumiendo que la parte más baja de las barras o de los cajones pernados (el que sea más débil) está en su capacidad última, mientras está sometida al esfuerzo combinado de la carga axial (N), la carga cortante (γV) y el momento (γM).

La (EC, 2012) también recomienda verificar la fuerza de extracción de las barras, además de adicionar refuerzo transversal de confinamiento en la zapata que impida este efecto y que permita una mayor distribución de los esfuerzos a tensión en el elemento.

Además, esta entidad asegura que, bajo condiciones sísmicas, se tienen dificultades para encontrar la longitud a la que aparece la rótula plástica, gracias a la incertidumbre de la eficacia del refuerzo longitudinal en la zona del traslapo. Por esta razón, sugieren que se puede obtener un desplazamiento dúctil moviendo la zona del traslapo hacia arriba, para dejar una longitud de refuerzo longitudinal no traslapado en la base de la columna y así proteger la ductilidad de la conexión.

▪ **Modos de falla**

Los modos de falla mostrados por la (EC, 2012) se refieren a la falla de un cajón pernado no dúctil, la extracción del cabezal inferior de los espárragos embebidos en la fundación y una falla por corte deslizante en la sección de la zapata.

El primer modo de falla establece una deformación excesiva (o la fractura) del cajón pernado, cuando en este se transfiere una alta carga de tensión entre la barra embebida en la columna prefabricada y el espárrago anclado en la fundación. Para evitar este tipo de falla la (EC, 2012) recomienda que la capacidad última declarada por el fabricante no sea sobrepasada por la fuerza última actuante en la conexión.

El segundo modo de falla determina, al igual que el primer modo de falla, una deformación excesiva (o la ruptura) del cabezal de anclaje del espárrago embebido en la fundación, debido a que la fuerza de tracción sobrepase la capacidad del cabezal de anclaje o en su defecto termine aplastando el cono de concreto bajo su efecto. En este tipo de falla la (EC, 2012) aconseja que se verifique que la fuerza de tracción no va a sobrepasar la resistencia compresiva del cono de concreto por encima del cabezal de anclaje del espárrago, además que el cabezal no va a presentar deformaciones excesivas o en su defecto vaya a fallar.

El tercer modo de falla está constituido por un corte deslizante en la interfaz de la unión que puede ser causada porque el mortero, la parte de la base de la columna prefabricada y la superficie superior de la zapata no posean la adherencia suficiente para resistir la carga cortante y termine fracturando la unión entre superficies de la interfaz, o en su defecto que el mortero no resista la carga a compresión lateral impuesta por la carga cortante y los espárragos de anclaje pandeándose. La (EC, 2012) sugiere verificar que el área del mortero a compresión por causa del efecto cortante, además de su determinada resistencia a compresión ($f'c$) realmente sean capaces de resistir las cargas cortantes demandadas con la debida sobre-resistencia del diseño.

- **Resultados experimentales**

La (EC, 2012) realizó ensayos experimentales a este tipo de conexión con tres diferentes alternativas de instalación. La primera alternativa fue configurada con cajones pernados débiles y barras soldadas fuertes embebidas en la columna prefabricada. La segunda alternativa incluía cajones pernados no dúctiles con barras débiles. La tercera alternativa fue estructurada con los cajones pernados ubicados de manera inversa, dejando las barras soldadas embebidas en la fundación y los espárragos de anclaje atornillados en la columna.

Para la primera alternativa la falla no mostró fisuras relevantes y ocurrió por la ruptura de un cajón pernado, mostrando una baja disipación sísmica y una capacidad de deformación máxima del 4.4% de la deriva bajo pruebas cíclicas. Además, el límite de fluencia de las barras se fijó cerca del 2.0% de la deriva y las deformaciones residuales ante la descarga fueron del 15%.

En la segunda alternativa, debido a una soldadura defectuosa en un cajón pernado la falla fue temprana, lo que clasificó a esta opción como no disipativa, y con una capacidad de deformación máxima del 2.0% de la deriva bajo las pruebas cíclicas. Adicionalmente se pudo llegar al límite de fluencia de las barras cuando se estaba alcanzando el 1.5% de la deriva, pero no se alcanzaron a medir las deformaciones residuales de la conexión.

En la tercera alternativa la falla se dio por la ruptura localizada de las barras en el extremo superior cerca al acople mecánico después de formar la rótula plástica en la base de la columna prefabricada. Esto indicó que su capacidad de disipación sísmica fue sensiblemente mayor a la primera alternativa, pero aún dentro del rango de baja disipación. Esta conexión alcanzó una capacidad de deformación máxima del 4.5% bajo las pruebas cíclicas. A diferencia de la primera y segunda alternativa, el límite de fluencia de las barras se fijó en el 1.5% de la deriva y las deformaciones residuales ante la descarga alcanzaron un 30%.

Cabe aclarar que la (EC, 2012) estableció para todas las pruebas realizadas un estado límite de servicio en el 1.0% de la deriva.

- **Casos reales**

La (EC, 2012) como la única fuente que habla acerca de esta metodología no menciona específicamente ningún caso real particular en el que se haya usado. Sin embargo, especifica que los dispositivos usados para su construcción (cajones pernados) son cubiertos por patentes, lo que lleva a entender que sí deben estar usándose en el mercado.

Es de aclarar que la empresa finlandesa Peikko Group fue de donde se extrajeron los ejemplos ilustrativos del detalle de los dispositivos (cajones pernados).

➤ Conexión post-tensada

Es la metodología menos vista de todas y su aplicación es algo limitada debido a que la gran mayoría de conexiones de este tipo se realizan entre elementos viga – columna. Sin embargo, (Hsieh-Lung & Wan, 2006) comentan que esta tipología ofrece una alta velocidad de construcción y un auto-centrado que desarrolla la capacidad para reducir la deformación residual, por ello, es considerada una forma de construcción eficiente.

De la misma manera (Nishiyama & Watanabe, 2003) argumentan que a pesar de que las tipologías prefabricadas no post-tensadas siguen siendo las más populares en Japón, ésta es una tipología que ha ganado terreno, y aún más desde que el código de diseño permite tomar tendones separados como la estructura de resistencia de los miembros principales. Por tal motivo, aseguran que esta tipología promete ser una solución más viable desde el punto de vista del tiempo constructivo.

En las siguientes figuras se muestran los diversos planteamientos mostrados por los autores. En la Figura 39 se puede observar la conexión postensada propuesta para experimentación por (Hsieh-Lung & Wan, 2006), la cual deja embebidos los anclajes de los cables por medio de una platina de acero anclada a la zapata, además con unos apoyos laterales de caucho que ayudan a mejorar el desempeño de la capacidad de disipación de la conexión.

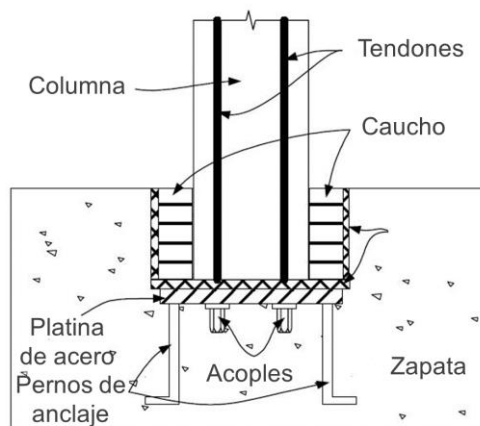


Figura 39. Conexión post-tensada con amarre embebido. Adaptado de (Hsieh-Lung & Wan, 2006)

En la Figura 40 se muestra la propuesta de los autores (Nishiyama & Watanabe, 2003), los cuales exponen la conexión de los cables de postensado atravesando la fundación y llegando hasta la columna, haciendo que los anclajes de seguridad, al igual que en el caso anterior, estén soportados por una platina de acero que descansa sobre un foso extrudido hacia el núcleo de la zapata. Adicionalmente, estos autores muestran como en la parte superior de la columna, los cables tensados distribuyen la carga a través de una platina de acero.

De manera semejante a los métodos planteados, (Nishiyama & Watanabe, 2003), también mencionan otro método que consiste en aplicar post-tensado no solo a la columna, sino también a la zapata. En la Figura 41 se observa el planteamiento de este método, el cual conecta la columna a la zapata por el mismo medio del primer método presentado por ellos,

pero con dos factores adicionales que son el uso de cables tensados en dirección horizontal entre las caras externas de la zapata y el lleno de mortero en los ductos donde están tensados los cables. Cabe mencionar que los elementos que se ven atravesando verticalmente la fundación en cada esquina, corresponden a ductos plásticos, representados a causa del montaje experimental realizado para esta conexión. Además, que dentro de su programa experimental buscaban identificar el comportamiento estructural de tendones compuestos por una fase dual de ferrita y austenita.

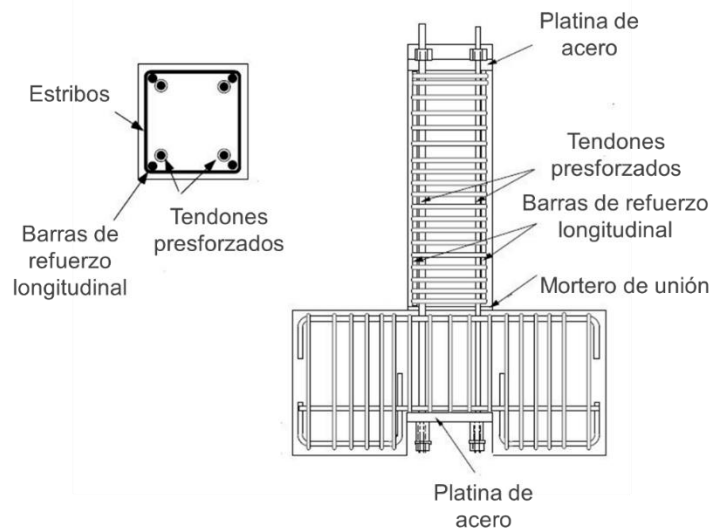


Figura 40. Conexión post-tensada con amarre interior. Adaptado de (Nishiyama & Watanabe, 2003)

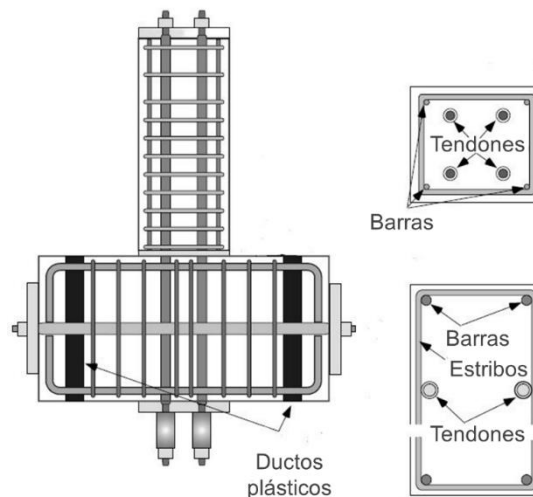


Figura 41. Conexión post-tensada con amarre inferior. Adaptado de (Nishiyama & Watanabe, 2003)

▪ Características principales

(Elliott, 2002) menciona muy brevemente que estos elementos son usados para resistir fuerzas de tensión y corte por medio de la aplicación de fuerzas de sujeción a través de

la unión, usando cables insertados en ductos a lo largo de los elementos, para después de su instalación, ser post-tensados.

Los autores (Nishiyama & Watanabe, 2003) manifiestan además que esta conexión posee como ventajas frente a la construcción *in-situ* la facilidad de armado e instalación sin necesidad de encofrados ni formaletas, la capacidad de transmitir el efecto cortante debido a la carga de presfuerzo, la gran capacidad de deformación inelástica debido a la apertura total de la interfaz entre los miembros asociados y las pocas deformaciones residuales después de sismos de elevada magnitud respecto a las deformaciones alcanzadas convencionalmente con elementos *in-situ*.

- **Tolerancias constructivas**

Este tipo de conexión al usar cables y dejar embebidos los elementos que se requieren para hacer el tensado, requieren de tolerancias constructivas moderadas, que garanticen una aplicación de carga en tensión con los elementos ubicados lo más verticalmente posible.

- **Condiciones de durabilidad**

En casos donde los anclajes de seguridad queden debajo de la zapata se requerirá de un recubrimiento respecto al suelo en contacto, como el galvanizado o la inyección de mortero de lleno, que permita garantizar la durabilidad de la conexión contra los efectos de la humedad e intemperie.

- **Funcionamiento estructural**

En el documento de (Elliott, 2002), se especifica que el comportamiento estructural de un elemento post-tensado es calculado bajo el estado de esfuerzo al que es sometido el elemento a causa del post-tensado, además del método del cortante por fricción.

Según (Hsieh-Lung & Wan, 2006), generalmente la efectividad sísmica de las conexiones post-tensadas columna-zapata puede ser evaluada bajo dos grandes parámetros: La rigidez efectiva de la conexión debido al post-tensado y la capacidad de disipación energía. En la Figura 42 se puede observar el modelo del comportamiento de la rigidez de la conexión.

Los tailandeses aseguran que una conexión con una adecuada rigidez incurre en mayor control de las deformaciones, sin embargo, unas condiciones extremas de rigidez pueden limitar la capacidad de deformación de los sistemas estructurales, lo cual es esencial en los mecanismos de disipación de energía, afectando el desempeño sísmico de la estructura. Es por esto, que el mecanismo de disipación de energía debe diseñarse para no perturbar la integridad de los miembros estructurales, ya que, si el miembro estructural está afectado, esto puede deteriorar la efectividad de la conexión.

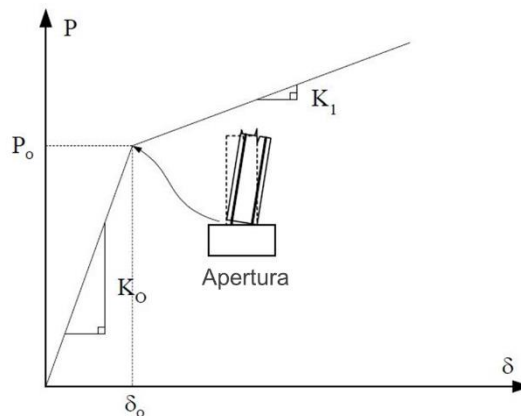


Figura 42. Relación carga vs deformación para conexiones post-tensadas. Obtenida de (Hsieh-Lung & Wan, 2006)

▪ Modos de falla

En ninguno de los artículos en los que se presenta esta tipología se mencionaron los modos de falla para este tipo de conexión.

Se puede inferir, según lo dicho por (Elliott, 2002) acerca del funcionamiento estructural de esta conexión, que la falla puede producirse por un cable en tensión, por el esfuerzo a tensión del miembro estructural o a un corte deslizante en la conexión.

▪ Resultados experimentales

Dentro de los resultados experimentales obtenidos por (Hsieh-Lung & Wan, 2006) se encontró que los apoyos laterales de caucho, proveían un aumento de la rigidez al sistema, sin afectar el comportamiento histerético de la conexión, bajo varias magnitudes de post-tensado.

Por otro lado, la investigación de (Nishiyama & Watanabe, 2003), determinó para el primer ensayo que el uso de barras presforzadas de fase dual no fue efectivo para mejorar la capacidad histerética de la conexión post-tensada, mientras en el segundo ensayo estableció que la capacidad de disipación histerética de las unidades presforzadas, ante baja carga axial, era menor que la capacidad de disipación mostrada por las unidades de refuerzo convencional. Adicionalmente, en el tercer ensayo encontró que, al llenar los ductos de los cables post-tensados con mortero, el elemento muestra más ductilidad, gracias a que estos empiezan a trabajar a compresión.

▪ Casos reales

Ni los autores japoneses, ni los tailandeses, exponen casos particulares donde se haya usado este sistema de conexión en fundaciones, sin embargo, (Nishiyama & Watanabe, 2003) mencionan de manera generalizada que esta tipología constructiva es bastante usada en Japón.

3.2 SELECCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE DISEÑO

A pesar de las ventajas constructivas que han mostrado los sistemas prefabricados, es posible que la falta de implementación de estos en el medio local esta refugiada en el desconocimiento de los ingenieros diseñadores.

Por tal razón, en este objetivo se elaborará un procedimiento que permita agilizar, complementar y ayudar al juicio ingenieril en la selección de alguna de las metodologías vistas anteriormente, que apruebe la opción más acorde, por medio de la evaluación cualitativa de factores que incidan directa e indirectamente en el uso de sistemas prefabricados, además de un análisis multicriterio ponderado que asigne porcentajes de participación a los factores evaluados y que incluya una clasificación según las características mostradas por las tipologías de conexión para cimentaciones superficiales prefabricadas.

3.2.1 Modelo de evaluación

Según (Elliott, 2002), la implementación del concreto prefabricado puede describirse bajo cinco aspectos principales que conforman el pentágono de la prefabricación. Algunos de estos aspectos se relacionan de manera más profunda entre sí. En la Figura 43 se puede observar este pentágono, allí los aspectos que poseen una relación más estrecha pueden diferenciarse por un camino doble.

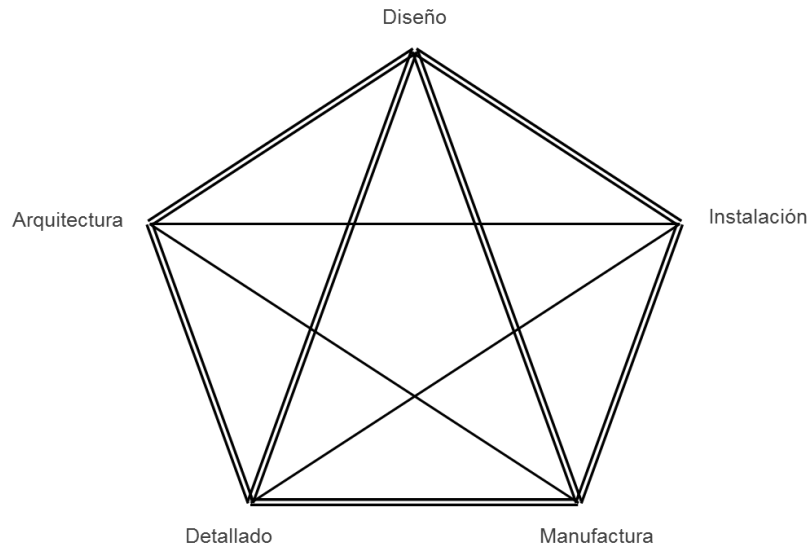


Figura 43. Esquema de los aspectos más influyentes en el diseño de prefabricados. Obtenido de (Elliott, 2002).

Adicionalmente (Elliott, 2002) afirma que hay aspectos secundarios que se relacionan con los aspectos principales. Estos enlaces, también formarán parte de la base de los parámetros que se establecerán para la selección de la tipología. En la Figura 44 se muestra el pentágono complementado en el que se observa la relación de los aspectos principales y secundarios.

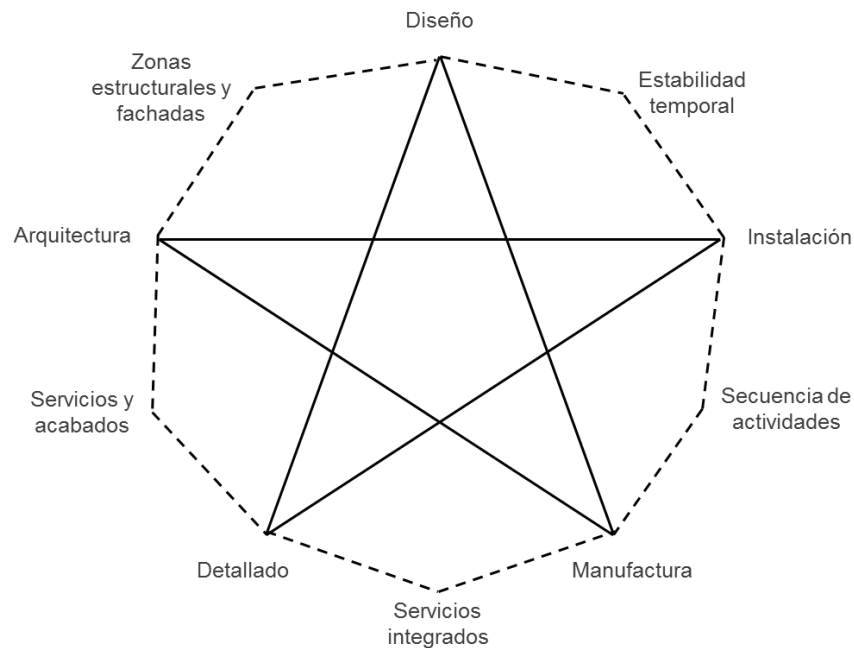


Figura 44. Esquema de los sub-aspectos relacionados en el diseño de prefabricados. Obtenido de (Elliott, 2002)

Dentro de los aspectos fundamentales resaltados por (Elliott, 2002), se descartó la arquitectura para la elaboración del modelo evaluativo de selección, ya que, las cimentaciones al quedar ocultas bajo el nivel del terreno no requieren de actividades de acabados, pulimientos o fachadas. Además, si se analiza la salida de este aspecto principal en el pentágono complementado (ver Figura 44), se debe ser consciente que los aspectos secundarios que unen la *arquitectura* con los otros pilares principales, ya no son requeridos, por ende, desaparecerá la esquina izquierda del pentágono y la determinación del criterio de selección manejará solo un cuadrilátero de cuatro aspectos fundamentales.

Adicionalmente a la eliminación de estos parámetros, se agregó un aspecto secundario entre la relación *diseño – detallado* que completó el modelo de evaluación. Este se añadió teniendo en cuenta un factor productivo que considera una mejora en la eficiencia por efecto de la disminución y mejoramiento de actividades en la etapa de planeación del elemento prefabricado. Esta modificación puede verse en la Figura 45.

También se postularon dos escenarios base que articulan cada uno de los aspectos y sub-aspectos del modelo de evaluación, los escenarios son: las condiciones a las que se enfrenta la prefabricación en planta y las condiciones a las que se enfrenta la prefabricación en obra. Estos escenarios resultan de la división generalizada de los aspectos principales, por medio de una línea divisoria, entre los puntos que forman parte de la prefabricación tanto en planta como en obra; el diseño y la manufactura. Esta diferenciación permitirá asignar de manera más precisa las calificaciones y los porcentajes de participación en cada parámetro de evaluación, lo que mejorará el análisis del criterio selectivo.

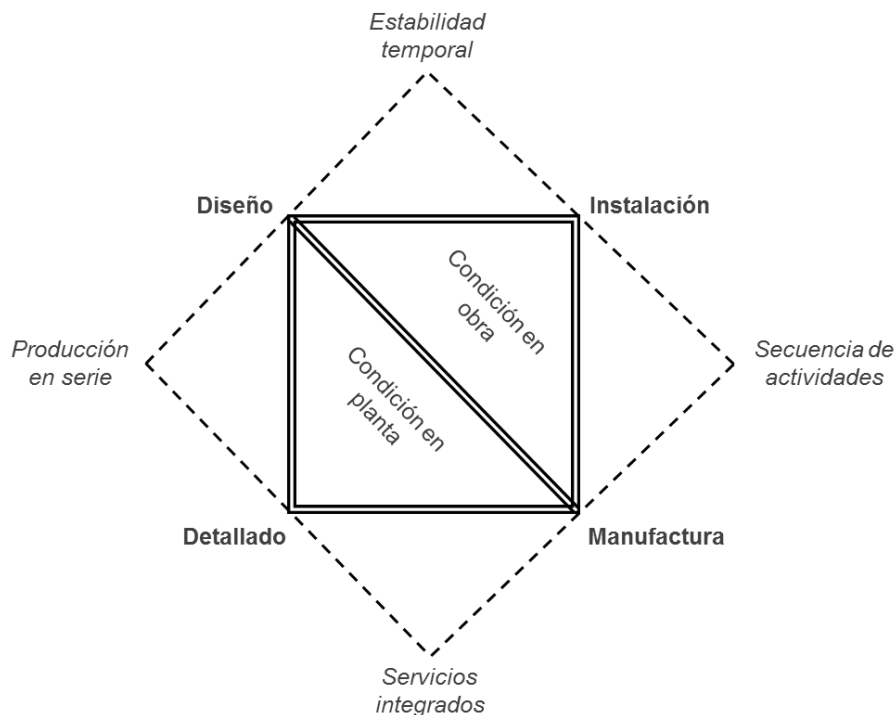


Figura 45. Esquema del modelo de evaluación para la selección de la tipología de diseño.

Para evaluar estos aspectos es necesario acudir a diversos parámetros que conforman el ámbito general de las conexiones prefabricadas (ver título “*Parámetros de diseño y construcción*”). No obstante, para la conformación del sistema calificativo, no se tuvieron en cuenta los parámetros de *resistencia al fuego* y *condición estética*, ya que las fundaciones quedan por debajo del nivel del terreno, lo que hace que estos conceptos no apliquen para este tipo de conexión, además del *cambio de volumen*, ya que todas las metodologías existentes terminan conectando la interfaz con mortero fluido sin contracción.

➤ Aspectos principales de evaluación

Estos son aquellos que resuelven las principales problemáticas del proceso constructivo prefabricado planteado en el modelo evaluativo.

▪ Diseño

Este aspecto es uno de los más importantes dentro de los sistemas prefabricados. Al igual que en los sistemas tradicionales, este es el primer paso del proceso constructivo. Este refleja la capacidad estructural del elemento, por esta razón desde el ámbito técnico, este aspecto conlleva la responsabilidad más grande, ya que las condiciones de seguridad y estabilidad de la estructura ante las cargas externas a las que se verá sometida dependen exclusivamente del adecuado comportamiento individual y en conjunto (conexiones) de los elementos.

En el diseño, específicamente de conexiones, se debe garantizar la adecuada transferencia de cargas, además de proveer la capacidad de soportar los esfuerzos a

los que estará sometida la conexión. Dentro de este aspecto normalmente se resaltan los parámetros mostrados en la Figura 46

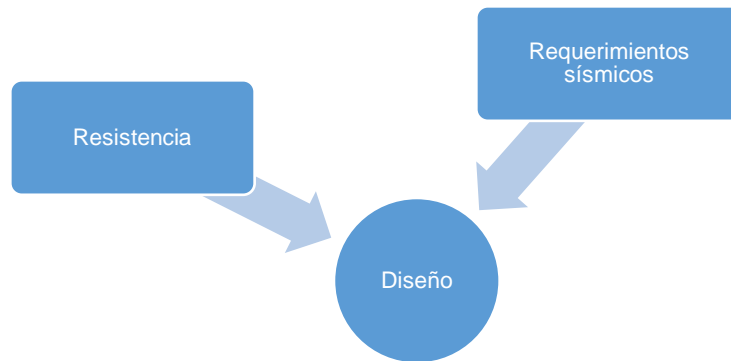


Figura 46. Parámetros asociados al aspecto principal del diseño.

En el contexto de la conexión de cimentaciones superficiales prefabricadas la resistencia debe reflejar la capacidad de la estructura para soportar las cargas axiales, cortantes y de momento. Adicionalmente, ésta, debe cumplir los estándares definidos en las normas de diseño y también debe incluir la capacidad de alcanzar niveles de deformación importantes que permitan la disipación de energía y que buscan la seguridad ante eventos de carga sísmica.

- **Detallado**

Este es el aspecto que representa el segundo paso dentro del proceso constructivo. En este aspecto se evalúa la cantidad de detalles que debe contener un elemento para cumplir con los requisitos mínimos exigidos por cada proyecto, además debe procurar la facilidad del proceso de manufactura e instalación (ver Figura 47)

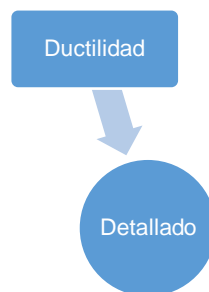


Figura 47. Parámetros asociados al aspecto principal del detallado.

Este aspecto está fuertemente relacionado con el diseño, ya que ambos se encuentran en la etapa de planeación, por ende, luego de postular las alternativas del diseño, se debe examinar el detallado que lo soporta. Cabe mencionar que, si el elemento está diseñado de la manera adecuada, pero no tiene el detallado requerido, la afectación del elemento ante excitaciones sísmicas puede provocarle severos daños o incluso la falla inminente por efectos de ductilidad.

En el ámbito de las conexiones, específicamente para cimentaciones superficiales prefabricadas, la ductilidad es un parámetro importante, ya que, ante cargas axiales elevadas y eventos sísmicos, la columna deberá estar preparada para una respuesta dúctil, por tal motivo, la conexión se verá forzada a garantizar la ductilidad del ensamble, a inducir este comportamiento y a evitar un mecanismo de falla que conlleve al colapso del sistema principal de soporte de la edificación (columnas).

- **Manufactura**

Después del diseño y un adecuado detallado, es el aspecto más importante en el proceso constructivo, ya que, si los elementos no son fabricados tal y como se diseñan, a la obra llegarán miembros estructurales diferentes a los solicitados y esto podría tener repercusiones graves dentro de la estabilidad y seguridad de la estructura.



Figura 48. Parámetros asociados al aspecto principal de la manufactura.

Este aspecto requiere de un adecuado control de las actividades que lo conforman, es por ello, que la calidad de los materiales, los procesos certificados, la gestión de la mano de obra y los tiempos de ejecución establecen las principales condiciones de la planeación del cronograma, así como en la estimación de los costos para la construcción con sistemas prefabricados.

En el campo de las conexiones, este aspecto requiere incrementar sus estándares de exigencia y calidad, ya que aumentan los detalles requeridos y disminuyen las tolerancias constructivas, por tal razón, entre más fácil sea construir los elementos asociados a la conexión (ver Figura 48), más versátil y económico será el uso de los sistemas prefabricados.

- **Instalación**

Este aspecto refleja el último paso del proceso constructivo. Al igual que los aspectos pasados conlleva una importante responsabilidad, ya que cualquier error en la conexión y el ensamble de los elementos puede repercutir en el comportamiento general de la estructura.

Comparte con la manufactura la necesidad de altos controles de sus actividades, ya que este aspecto normalmente requiere de equipos pesados para el ensamble de los elementos prefabricados, además para su ejecución se debe estar atento a las

pequeñas tolerancias constructivas permitidas y a la cobertura de la interfaz que garantice la durabilidad de la conexión, tal como se muestra en la Figura 49.

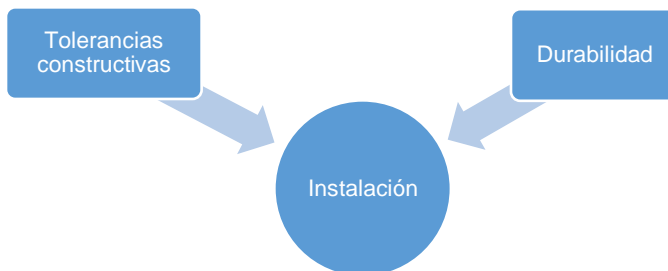


Figura 49. Parámetros asociados al aspecto principal de la instalación.

➤ Aspectos secundarios de evaluación

Estos son los que relacionan los aspectos principales de las diferentes etapas del proceso constructivo prefabricado planteado en el modelo evaluativo.

▪ Producción en serie

Es el aspecto que intenta estandarizar el diseño y detallado. Cuando se habla de estandarización se hace alusión a la forma en la que, usando elementos repetitivos dentro de los miembros estructurales, estos puedan satisfacer las demandas solicitadas y de esta misma forma agilizar la etapa de diseño, mientras al mismo tiempo se hace más productiva la etapa de construcción.

Con la disminución de recursos invertidos en el diseño y el detallado se pueden lograr aumentos en la productividad y ahorro en los costos de planificación y manufactura. Por esta razón, puede decirse que es el más importante de los aspectos secundarios del modelo evaluativo.

▪ Estabilidad temporal

Es el aspecto secundario que relaciona las condiciones de instalación en sitio, respecto a la capacidad del elemento de sostenerse por sus propios medios con las consideraciones tenidas en cuenta durante el diseño. Es usual que para diferentes tipologías de conexión entre elementos prefabricados el sostenimiento propio no pueda hacerse inmediatamente y se requieran sistemas de apuntalamiento temporal.

Este requerimiento complica las condiciones de ensamble, aumentando la cantidad de recursos y tiempo requerido para lograr la instalación definitiva de los elementos prefabricados, consecuentemente este aumento puede afectar directamente el cronograma de ejecución y la estimación de costos y por tal motivo este es el segundo sub-aspecto más importante dentro del modelo evaluativo.

- **Servicios integrados**

Este aspecto es el encargado de establecer las condiciones determinadas en el detallado que puedan hacerse de la mejor manera durante la manufactura de los elementos prefabricados. El hacer que los procedimientos de manufactura sean más óptimos genera una disminución de actividades y operaciones manuales, que, por transitividad, producen ahorros en tiempo y recursos involucrados.

De manera similar que con la “*Producción en serie*” este aspecto puede lograr aumentos en la productividad y disminución en los costos de manufactura, sin embargo, en un menor impacto. Podría decirse que es el tercer sub-aspecto más importante del modelo evaluativo.

- **Secuencia de actividades**

Este aspecto es el que considera la organización de las actividades que quedan pendientes después de la manufactura y que se requieren para la etapa de instalación. Entre estas actividades destacan la logística del transporte del elemento prefabricado desde la planta hasta la obra, el acopio temporal de los elementos en la obra y la preparación del miembro estructural para su instalación.

Es importante resaltar que cada una de estas actividades contempla diferentes tiempos y recursos, por tal razón, este aspecto puede afectar indirectamente el cronograma de ejecución de la obra. Esta condición lo puede clasificar como el último sub-aspecto a revisar en el modelo evaluativo.

3.2.2 Participación de los aspectos de evaluación

Conociendo la función de los aspectos principales y secundarios dentro del modelo evaluativo planteado, se definió una participación como se muestra en la Tabla 1.

Los aspectos principales, al ser etapas indispensables dentro de la conformación del elemento prefabricado deben tener un protagonismo en la participación evaluativa que destaque en más de la mitad del resultado, sin embargo, no se puede dejar de lado los factores que logran relacionar de manera adecuada a cada uno de los aspectos principales, ya que estos logran, afectar el proceso constructivo de los elementos prefabricados.

Tabla 1. Porcentajes de participación según la importancia de los aspectos en el modelo evaluativo.

Aspectos	Participación
Principales	70%
Secundarios	30%

Consecuentemente, en un nivel inferior, se definieron los porcentajes de participación de cada uno de los aspectos principales y secundarios, como se muestra en la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida.** y en la Tabla 3.

Tabla 2. Porcentajes de participación según la importancia de cada aspecto principal.

Aspecto principal	Participación
Diseño	35%
Detallado	20%
Manufactura	25%
Instalación	20%

Tabla 3. Porcentajes de participación según la importancia de cada aspecto secundario.

Aspecto secundario	Participación
Producción en serie	40%
Servicios integrados	20%
Secuencia de actividades	10%
Estabilidad temporal	30%

En los aspectos principales y secundarios se asignaron porcentajes de participación según la importancia expuesta y la clasificación jerárquica realizada en la evaluación cualitativa mostrada de cada aspecto.

3.2.3 Condición evaluativa

Para asignar la calificación valorativa se realizó una relación entre la escala y las condiciones evaluativas que ayudaran a identificar las principales fortalezas y debilidades de cada tipología frente a la generalidad de cada aspecto incluido en el modelo de evaluación.

A continuación, se muestran condiciones diferentes para los aspectos principales y secundarios, ya que, estos no pueden calificarse objetivamente bajo las mismas consideraciones, pero con un rango calificativo igual que permita compararlos en el análisis multicriterio ponderado. Cabe mencionar que se definió una escala valorativa de 1 a 5, siendo 1 el valor menos competente y 5 el valor más competente.

➤ **Aspectos principales**

▪ **Diseño**

Valor	Condición evaluativa
5	El procedimiento de diseño es sencillo y rápido. Cumple, además, con todos los requerimientos mínimos sísmicos demandados por la conexión y garantiza un aumento de la productividad en las actividades del proceso prefabricado al no requerir gran cantidad de recursos para su desarrollo
4	El procedimiento de diseño es sencillo. Cumple, además, con todos los requerimientos mínimos sísmicos demandados por la conexión y garantiza un aumento de la productividad en las actividades del proceso prefabricado al no requerir gran cantidad de recursos para su desarrollo
3	El procedimiento de diseño tiene alguna complejidad. Cumple, además, con los requerimientos mínimos sísmicos demandados por la conexión y no fomenta el aumento de la productividad en las actividades del proceso prefabricado al requerir gran cantidad de recursos para su desarrollo
2	El procedimiento de diseño es complejo. Cumple con algunos de los requerimientos mínimos sísmicos demandados por la conexión y no fomenta el aumento de la productividad en las actividades del proceso prefabricado al requerir gran cantidad de recursos para su desarrollo
1	El procedimiento de diseño es complejo. No cumple los requerimientos mínimos sísmicos demandados por la conexión y se vuelve una parte crítica en las actividades del proceso prefabricado al requerir gran cantidad de recursos para su desarrollo

- **Detallado**

Valor	Condición evaluativa
5	Los elementos que conformarán el refuerzo estructural de la sección y los detalles de la conexión están alineados y optimizados con los requisitos del diseño, además se encuentran fácil en el mercado local, promoviendo la repetitividad masiva de la conexión. Adicionalmente garantizan las condiciones mínimas de ductilidad requeridas por el ensamble.
4	Los elementos que conformarán el refuerzo estructural de la sección y los detalles de la conexión están alineados con los requisitos del diseño, además se encuentran fácil en el mercado local, promoviendo la repetitividad masiva de la conexión. Adicionalmente garantizan las condiciones mínimas de ductilidad requeridas por la conexión.
3	Los elementos que conformarán el refuerzo estructural de la sección y los detalles de la conexión están alineados con los requisitos del diseño, además se encuentran en sitios específicos del mercado local, promoviendo la repetitividad generalizada de la conexión. Adicionalmente garantizan las condiciones mínimas de ductilidad requeridas por la conexión.
2	Los elementos que conformarán el refuerzo estructural de la sección y los detalles de la conexión están alineados con los requisitos del diseño, además, es difícil hallarlos en el mercado local, consiguiendo una fabricación menos estandarizada de la conexión. Adicionalmente no logra garantizar las condiciones mínimas de ductilidad requeridas por la conexión.
1	Los elementos que conformarán el refuerzo estructural de la sección y los detalles de la conexión están alineados con los requisitos del diseño, además, no se hallan en el mercado local, consiguiendo una fabricación más individual que masiva de la conexión. Adicionalmente no logra garantizar las condiciones mínimas de ductilidad requeridas por la conexión.

- **Manufactura**

Valor	Condición evaluativa
5	El proceso constructivo es versátil, permite una fabricación rápida, económica y con pocos recursos de equipos y mano de obra, promoviendo la productividad en planta, además, garantiza la precisión de todos los elementos embebidos y amplias tolerancias constructivas en los miembros estructurales.
4	El proceso constructivo es versátil, permite una fabricación rápida, con el uso de algunos recursos de equipos y mano de obra, promoviendo la productividad en planta, además, garantiza la precisión de todos los elementos embebidos y amplias tolerancias constructivas en los miembros estructurales.
3	El proceso constructivo es versátil, permite una fabricación moderada, pero con el uso de varios recursos de equipos y mano de obra, promoviendo en cierta medida la productividad en planta, además, garantiza la precisión de algunos elementos embebidos y unas moderadas tolerancias constructivas en los miembros estructurales.
2	El proceso constructivo no es versátil y no permite una fabricación rápida, además requiere el uso de varios recursos de equipos y mano de obra, desfavoreciendo la productividad en planta, además, no garantiza la precisión de los elementos embebidos y proporciona unas ajustadas tolerancias constructivas en los miembros estructurales.
1	El proceso constructivo no es versátil y demanda amplios tiempos de fabricación, además requiere el uso de varios recursos de equipos y mano de obra, afectando la productividad en planta, tampoco garantiza la precisión de los elementos embebidos y proporciona unas tolerancias constructivas muy cerradas en los miembros estructurales.

- **Instalación**

Valor	Condición evaluativa
5	El proceso de ensamble no requiere de ajustadas tolerancias constructivas, ninguna actividad adicional de fabricación en obra, ni el uso de equipos y mano de obra especializada para su adecuado desarrollo, además garantiza una cobertura de los elementos participantes en la conexión contra la intemperie, mejorando las condiciones de durabilidad de la misma
4	El proceso de ensamble no requiere de amplias tolerancias constructivas, pero sí de alguna actividad adicional de fabricación en obra, sin embargo, no necesita el uso de equipos y mano de obra especializada para su adecuado desarrollo, además garantiza una cobertura de los elementos participantes en la conexión contra la intemperie, mejorando las condiciones de durabilidad de la misma
3	El proceso de ensamble conlleva moderadas tolerancias constructivas, también alguna actividad adicional de fabricación en obra y necesita el uso de equipos y mano de obra especializada para su adecuado desarrollo, además garantiza una cobertura de los elementos participantes en la conexión contra la intemperie, mejorando las condiciones de durabilidad de la misma
2	El proceso de ensamble conlleva moderadas tolerancias constructivas, varias actividades adicionales de fabricación en obra y necesita el uso de equipos y mano de obra especializada para su adecuado desarrollo, además no garantiza la cobertura de los elementos participantes en la conexión contra la intemperie, requiriendo añadir procesos para que no se afecten las condiciones de durabilidad de la misma
1	El proceso de ensamble conlleva cerradas tolerancias constructivas, varias actividades adicionales de fabricación en obra y necesita el uso de equipos y mano de obra especializada para su adecuado desarrollo, además no garantiza la cobertura de los elementos participantes en la conexión contra la intemperie, requiriendo añadir procesos para que no se afecten las condiciones de durabilidad de la misma

➤ **Aspectos secundarios**

▪ **Producción en serie**

Valor	Condición evaluativa
5	El uso de esta tipología favorece en gran medida la estandarización del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos del diseño y el detallado de forma que sea un planteamiento organizado, eficiente y con pocos reprocesos para la definición estructural de los elementos, además, promueve ampliamente la repetitividad en el diseño, ayudando a aumentar la productividad en el proceso de manufactura.
4	El uso de esta tipología favorece la estandarización del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos del diseño y el detallado de forma que sea un planteamiento organizado y con pocos reprocesos para la definición estructural de los elementos, además, promueve la repetitividad en el diseño, ayudando a aumentar la productividad en el proceso de manufactura.
3	El uso de esta tipología favorece en cierta medida la estandarización del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos del diseño y el detallado de forma que sea un planteamiento organizado, pero innegables reprocesos para la definición estructural de los elementos, además, promueve levemente la repetitividad en el diseño, ayudando a aumentar la productividad en el proceso de manufactura.
2	El uso de esta tipología no favorece la estandarización del proceso de la prefabricación, ya que a pesar de integrar los aspectos del diseño y el detallado el planteamiento no es organizado y cuenta con varios reprocesos para la definición estructural de los elementos, además, no promueve la repetitividad en el diseño, lo que influye en la productividad en el proceso de manufactura.
1	El uso de esta tipología no favorece en nada a la estandarización del proceso de la prefabricación, ya que los aspectos del diseño y el detallado no están integrados, por lo que el planteamiento es desorganizado y cuenta con múltiples reprocesos para la definición estructural de los elementos, además, no promueve en absoluto la repetitividad en el diseño, lo que influye negativamente en la productividad en el proceso de manufactura.

- **Servicios integrados**

Valor	Condición evaluativa
5	El uso de esta tipología favorece en gran medida la tecnificación del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos del detallado y la manufactura, de forma que se tengan estaciones especializadas para la construcción segmentada y organizada de las partes que conformarán los elementos, además que promueva la tecnificación del proceso, aportando equipos de última tecnología y promoviendo la capacitación del personal involucrado, para así mejorar los estándares de calidad y productividad
4	El uso de esta tipología favorece la tecnificación del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos del detallado y la manufactura, de forma que se tengan algunas estaciones especializadas para la construcción segmentada y organizada de las partes que conformarán los elementos, además que promueva la tecnificación del proceso, aportando equipos de alta tecnología y promoviendo la capacitación del personal involucrado, para así mejorar los estándares de calidad y productividad
3	El uso de esta tipología favorece en cierta medida la tecnificación del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos del detallado y la manufactura, de forma que se tenga al menos una estación especializada para la construcción segmentada de las partes que conformarán los elementos, además que promueva la tecnificación del proceso, aportando equipos que faciliten las labores y promoviendo la capacitación del personal de supervisión, para así mejorar algunos estándares de calidad y productividad
2	El uso de esta tipología no favorece la tecnificación del proceso de la prefabricación, ya que no integra los aspectos del detallado y la manufactura, de forma que no se poseen estaciones especializadas para la construcción segmentada de las partes que conformarán los elementos, además promueve levemente la tecnificación del proceso, aportando los equipos requeridos para las labores y promoviendo ocasionalmente la capacitación del personal de supervisión, para así cumplir estándares mínimos de calidad y productividad
1	El uso de esta tipología no favorece en nada la tecnificación del proceso de la prefabricación, ya que no integra los aspectos del detallado y la manufactura, de forma que no se poseen estaciones especializadas para la construcción segmentada de las partes que conformarán los elementos, además no promueve tecnificación del proceso, haciendo que todas las labores sean manuales y que no haya ni siquiera capacitación del personal de supervisión, afectando así los estándares mínimos de calidad y productividad

- **Secuencia de actividades**

Valor	Condición evaluativa
5	El uso de esta tipología favorece en gran medida la logística del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos de manufactura e instalación, de forma que se tengan previamente planeadas y determinadas las actividades de acopio en planta, transporte de los elementos, acopio en obra y las acciones iniciales antes del proceso de izaje e instalación.
4	El uso de esta tipología favorece en cierta medida la logística del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos de manufactura e instalación, de forma que se tengan previamente planeadas las actividades de acopio en planta, transporte de los elementos, acopio en obra y las acciones iniciales antes del proceso de izaje e instalación.
3	El uso de esta tipología favorece la logística del proceso de la prefabricación, integrando los aspectos de manufactura e instalación, de forma que se tenga previamente planeado el transporte de los elementos y las acciones iniciales antes del proceso de izaje e instalación.
2	El uso de esta tipología no favorece la logística del proceso de la prefabricación, ya que no integra los aspectos de manufactura e instalación, de forma que hay retrasos y problemas con el transporte de los elementos y con las actividades iniciales antes del proceso de izaje e instalación.
1	El uso de esta tipología afecta la logística del proceso de la prefabricación, ya que no integra los aspectos de manufactura e instalación, de forma que todas las actividades consecuentes a la manufactura y previas a la instalación son realizadas sin un orden lógico, en pleno descontrol y sin un procedimiento establecido.

- **Estabilidad temporal**

Valor	Condición evaluativa
5	El uso de esta tipología favorece en gran medida el avance en obra, ya que, al integrar adecuadamente los aspectos de diseño e instalación, ésta puede proveer las condiciones de estabilidad temporal del elemento sin necesidad del uso de equipos de carga pesada, apoyos y apuntalamientos provisionales. Además, permite un ensamble y una verificación de los niveles de manera rápida y precisa.
4	El uso de esta tipología favorece en cierta medida el avance en obra, ya que, al integrar convenientemente los aspectos de diseño e instalación, ésta puede proveer las condiciones de estabilidad temporal del elemento sin necesidad del uso de equipos de carga pesada, apoyos y apuntalamientos provisionales. Además, permite un ensamble y una verificación de los niveles de manera precisa.
3	El uso de esta tipología favorece en algo el avance en obra, ya que, al integrar los aspectos de diseño e instalación, ésta puede proveer las condiciones de estabilidad temporal del elemento sin necesidad del uso de equipos de carga pesada, sin embargo, usando apoyos y apuntalamientos provisionales. Además, permite un ensamble y una verificación de los niveles de manera precisa.
2	El uso de esta tipología no favorece el avance en obra, ya que, al no integrar adecuadamente los aspectos de diseño e instalación, ésta no provee las condiciones de estabilidad temporal del elemento, requiriendo el uso de equipos de carga pesada y apoyos o apuntalamientos provisionales. Además, permite un ensamble y una verificación de los niveles de manera precisa.
1	El uso de esta tipología no favorece en nada el avance en obra, ya que, los aspectos de diseño e instalación no fueron concebidos como un conjunto, por ende, ésta no provee las condiciones de estabilidad temporal del elemento, requiriendo el uso de equipos de carga pesada y apoyos o apuntalamientos provisionales. Además, dificulta el ensamble y la verificación de los niveles de aplomado.

3.2.4 Calificación de las tipologías

➤ Comparativo de las ventajas y desventajas

▪ Conexión tipo candelero

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">✓ Es una tipología económica✓ Tiene un procedimiento de diseño sencillo.✓ Su comportamiento estructural ante demandas sísmicas es similar al de un elemento monolítico✓ Tiene un fácil procedimiento de detallado✓ Garantiza las condiciones de ductilidad de la conexión✓ No requiere adquirir elementos especiales para su refuerzo✓ Es fácil de instalar✓ No necesita mano de obra especializada para su ensamble	<ul style="list-style-type: none">✗ Requiere de la construcción de una zapata especial (foso)✗ Requiere de una formaleta de geometría particular que puede complicar el vaciado del foso✗ Requiere de sistemas de apuntalamiento vertical al momento de su instalación

▪ Conexión con placa base

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">✓ Es una tipología de rápida instalación✓ Tiene un procedimiento de diseño sencillo✓ Promueve la producción en serie.✓ Provee la estabilidad temporal del elemento sin necesidad de apuntalamientos provisionales	<ul style="list-style-type: none">✗ A pesar de ofrecer resistencia a momento, su principal uso ha sido para conexiones articuladas✗ Requiere de más actividades para su manufactura✗ Demanda unas tolerancias constructivas muy ajustadas

▪ **Conexión con proyección de barras**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es la tipología más popular ✓ Tiene un procedimiento de diseño sencillo ✓ Su comportamiento estructural ante demandas sísmicas es similar al de un elemento monolítico ✓ Tiene un fácil procedimiento de detallado ✓ Garantiza las condiciones de ductilidad de la conexión ✓ No requiere la adquisición de elementos especiales para su refuerzo ✓ Promueve la producción en serie ✓ Es fácil de instalar 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Requiere del uso de mano de obra y equipos especializados para la inyección del mortero. ✗ Requiere de apuntalamiento temporal, ya que no es capaz de proporcionar estabilidad temporal por sus propios medios ✗ Posee unas tolerancias constructivas moderadas debido a los ductos corrugados

▪ **Conexión con acopladores mecánicos**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene un procedimiento de diseño sencillo ✓ Tiene un fácil procedimiento de detallado ✓ Promueve la producción en serie. ✓ Provee la estabilidad temporal del elemento sin necesidad de apuntalamientos provisionales 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Es una tipología costosa ✗ Hay algunas dudas acerca de su modo de falla y su comportamiento dúctil ✗ Requiere de elementos especiales para su refuerzo ✗ Requiere de más actividades para su manufactura ✗ Posee unas tolerancias constructivas muy ajustadas ✗ Su instalación es complicada

▪ **Conexión con cajones pernados**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene un procedimiento de diseño sencillo ✓ Tiene un fácil procedimiento de detallado ✓ Promueve la producción en serie ✓ Provee la estabilidad temporal del elemento sin necesidad de apuntalamientos provisionales 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Es una tipología costosa ✗ Es una tipología protegida por patentes ✗ Hay algunas dudas acerca de su modo de falla y su comportamiento dúctil ✗ Requiere de elementos especiales para su refuerzo ✗ Requiere de más actividades para su manufactura ✗ Posee unas tolerancias constructivas muy ajustadas ✗ Su instalación es complicada

▪ **Conexión post-tensada**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tiene un fácil procedimiento de detallado ✓ Promueve la producción en serie ✓ Provee la estabilidad temporal del elemento sin necesidad de apuntalamientos provisionales 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Tiene un procedimiento de diseño complejo ✗ Es una tipología costosa ✗ Hay algunas dudas acerca de su comportamiento respecto a la conexión <i>in-situ</i>. ✗ Requiere de elementos especiales para su refuerzo ✗ Requiere de más actividades para su manufactura ✗ Posee unas tolerancias constructivas moderadas ✗ Su instalación es complicada y requiere de equipos especiales

➤ **Calificación de los aspectos principales**

Aspecto Evaluado	Conexión tipo candelero	Conexión con placa base	Conexión con proyección de barras	Conexión con acopladores mecánicos	Conexión con cajones pernados	Conexión post-tensada
Diseño	5	3	5	4	4	2
Detallado	4	2	4	3	2	3
Manufactura	3	2	4	2	2	3
Instalación	4	1	4	2	2	4

➤ **Calificación de los aspectos secundarios**

Aspecto Evaluado	Conexión tipo candelero	Conexión con placa base	Conexión con proyección de barras	Conexión con acopladores mecánicos	Conexión con cajones pernados	Conexión post-tensada
Producción en serie	2	4	3	4	3	3
Servicios integrados	2	4	3	4	4	3
Secuencia de actividades	4	3	4	3	3	4
Estabilidad temporal	3	5	3	5	5	4

3.2.5 Análisis multicriterio ponderado

El análisis multicriterio ponderado es la herramienta que asignará el puntaje teniendo en cuenta las calificaciones de cada aspecto principal y secundario, afectadas individualmente por el porcentaje de participación definido. Esta permite evaluar de manera más integral las tipologías de diseño ya que incluye diferentes consideraciones.

Para la evaluación de estas tipologías se tuvieron dos niveles de participación, el primer nivel correspondiente a la calificación individual de los aspectos principales y secundarios. Luego, el segundo nivel será la complementación de las calificaciones de los aspectos principales ponderados agregando el ponderado de la totalidad de los aspectos secundarios.

La metodología seleccionada será aquella que dé la mayor calificación obtenida como la suma ponderada de los resultados asignados a cada aspecto de evaluación.

➤ Primer nivel (aspectos principales)

Aspecto Evaluado	Conexión tipo candelero	Conexión con placa base	Conexión con proyección de barras	Conexión con acopladores mecánicos	Conexión con cajones pernados	Conexión post-tensada
Diseño	1.75	1.05	1.75	1.40	1.40	0.70
Detallado	0.80	0.40	0.80	0.60	0.40	0.60
Manufactura	0.75	0.50	1.00	0.50	0.50	0.75
Instalación	0.80	0.20	0.80	0.40	0.40	0.80
Subtotal	4.10	2.15	4.35	2.90	2.70	2.85

➤ Segundo nivel (aspectos secundarios)

Aspecto Evaluado	Conexión tipo candelero	Conexión con placa base	Conexión con proyección de barras	Conexión con acopladores mecánicos	Conexión con cajones pernados	Conexión post-tensada
Producción en serie	0.80	1.60	1.20	1.60	1.20	1.20
Servicios integrados	0.40	0.80	0.60	0.80	0.80	0.60
Secuencia de actividades	0.40	0.30	0.40	0.30	0.30	0.40
Estabilidad temporal	0.90	1.50	0.90	1.50	1.50	1.20
Subtotal	2.50	4.20	3.10	4.20	3.80	3.40

➤ Total (suma ponderada)

Aspecto Evaluado	Conexión tipo candelero	Conexión con placa base	Conexión con proyección de barras	Conexión con acopladores mecánicos	Conexión con cajones pernados	Conexión post-tensada
Principales	2.87	1.51	3.05	2.03	1.89	2.00
Secundarios	0.75	1.26	0.93	1.26	1.14	1.02
Total	3.62	2.77	3.98	3.29	3.03	3.02

3.2.6 Análisis del resultado obtenido

Con un puntaje de 3.98, la tipología seleccionada fue la conexión con proyección de barras. En los resultados obtenidos por el análisis multicriterio ponderado, este valor indica que dicha tipología de diseño cumple de manera general con cerca del 80% de las condiciones establecidas en el modelo evaluativo.

Adicionalmente, puede destacarse que la conexión tipo candelabro, la conexión con placa base, con acopladores mecánicos, con cajones pernados, y la conexión post-tensada, obtuvieron una calificación general del 70%, 55%, 65% y 60% respectivamente.

3.3 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DE DATOS

Para la construcción de la base de datos deberá desarrollarse el planteamiento del diseño que permita alimentar de información a la misma. Determinados los diseños, según las condiciones vistas durante el trabajo, se incluirán en la plataforma algunos diseños planteados por el autor con los cuales poner a prueba su funcionamiento.

3.3.1 Procedimiento de diseño

En este procedimiento debe destacarse que el alcance de los diseños que contendrá la base de datos se limita a zapatas rectangulares con columnas interiores y concéntricas respecto a la zapata.

➤ Dimensiones

De acuerdo con lo expuesto por la NSR-10, el área base que conformará el apoyo de la zapata deberá hallarse incluyendo las fuerzas y momentos no mayorados transmitidos al suelo, por medio de los principios de la mecánica de suelos que proporcionen la información de la resistencia admisible del terreno.

Sin embargo, estas fuerzas y momentos no mayorados, conocidos también como cargas de servicio, definidos bajo el numeral B.2.3.1, normalmente no son entregados por los ingenieros estructurales, ya que el proceso de diseño de la edificación está basado en el numeral B.2.3.2, que estipula el uso del método de resistencia última, el cual conlleva factores de mayoración en las cargas.

Por esta razón, cuando se tenga que enfrentar una situación donde la carga última sea dada con los respectivos factores de mayoración, (Garza, 2012) comenta que se puede recurrir al numeral H.2.4.3 de la NSR-10 donde se establecen factores mínimos de seguridad para diferentes condiciones de carga, además utilizar un factor de mayoración equivalente al representado por la condición de “*carga muerta + carga viva normal*” establecido en 1.50.

$$P_u = F_m \cdot P_s \quad ; \quad P_s = \frac{P_u}{F_m} = \frac{P_s}{1.5} \quad (2)$$

No obstante, si se entrega la información de las cargas sin los factores de mayoración asociados, la NSR-10, estipula en el numeral B.2.3.1 las combinaciones de carga que deben ser analizadas para el uso del método de esfuerzo de trabajo, planteamiento que es requerido para el cálculo del área de contacto necesaria por la zapata, para así determinar con más exactitud los esfuerzos admisibles a los que se someterá ésta.

Acto seguido a la identificación de la carga de servicio correspondiente, se procede a hallar el área de contacto. Debe recordarse que la transferencia de la carga acciona una reacción opuesta en el suelo que somete a un esfuerzo la sección de contacto de la zapata. Esta reacción es lo que se conoce como el esfuerzo último del suelo y su distribución en esta sección obedece al tipo de suelo en el que se apoya la estructura.

Según la (Universidad EIA, 2014), las distribuciones de presiones en el suelo son como se muestran en la Figura 50, sin embargo, por cuestiones prácticas en el diseño se utiliza

comúnmente una distribución uniforme, asumiendo la base rígida, ya que las variaciones en los resultados calculando las distribuciones específicas son muy pocas.

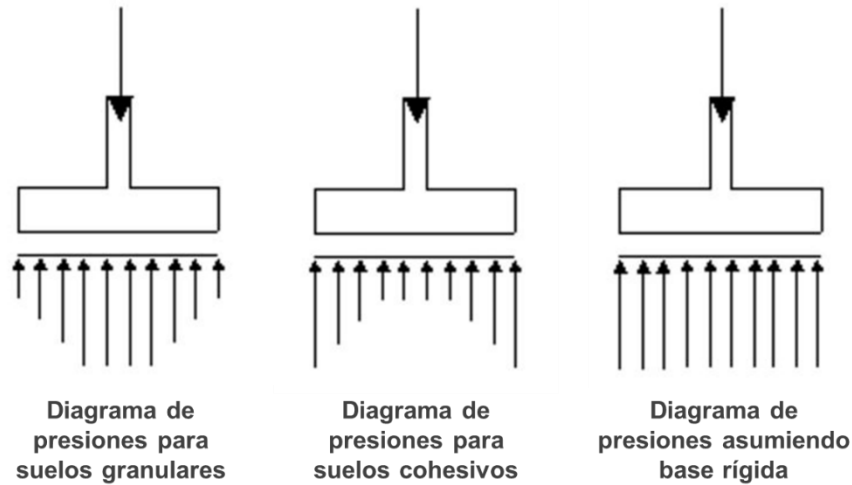


Figura 50. Distribución del esfuerzo en la zapata según el tipo de suelo. Obtenida de (Universidad EIA, 2014).

Este esfuerzo representa la reacción promediada del punto máximo y mínimo del suelo ante las demandas de la estructura, y por esta razón debe castigarse mediante un factor que proporcione un rango de seguridad, para así evitar diseños que pongan al límite las propiedades del terreno. La NSR-10 sugiere, en el numeral H.4.7.1, los respectivos factores de seguridad para el cálculo de cimentaciones superficiales con diferentes condiciones de diseño.

De forma adicional, la (Universidad EIA, 2014) aconseja sumar a la carga de servicio el peso de la fundación y la carga estimada debido al suelo de relleno que requiera el desplante de la cimentación, a pesar de que otros autores, como (Garza, 2012) sostienen que estas fuerzas adicionales pueden omitirse del cálculo, ya que no son representativas frente a las cargas de servicio de la edificación y pueden complicar la facilidad de cálculo de la capacidad admisible del suelo.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_u}{F_S} \quad ; \quad \sigma_a = \frac{P_s + W_F + W_S}{A} \quad (3)$$

Entonces, teniendo la carga última del suelo (información entregada por el ingeniero geotecnista), la fuerza total a transmitir y determinando el valor del factor de seguridad requerido para la condición de diseño, se despeja el área de contacto y posteriormente se encuentran las dimensiones de la zapata, según la geometría utilizada. Es recomendable, por facilidad constructiva, elegir una geometría cuadrada o rectangular.

➤ Resistencia del suelo

Luego de encontrar las dimensiones de la zapata, es recomendable, antes de pasar al procedimiento estructural, verificar que ante cargas excéntricas o de momento, el suelo no vaya a trabajar bajo esfuerzos a tracción, porque no tiene la capacidad de soportar este tipo de cargas. Es preciso resaltar que cuando se presentan estas situaciones, la distribución

uniforme se convierte en una distribución trapezoidal con el valor de mayor de reacción ubicado hacia la dirección de compresión por momento y el valor de menor reacción en el lado opuesto. En la Figura 51 se muestra la representación de estas fuerzas sobre la cimentación ante momento en una sola dirección.

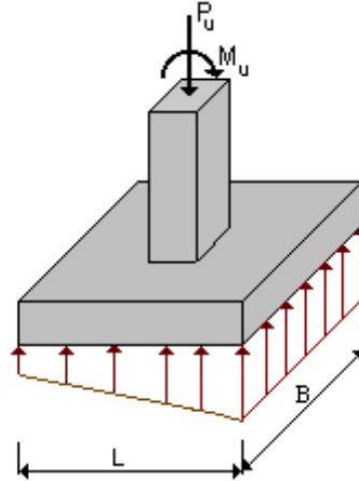


Figura 51. Distribución de esfuerzos para diseño de zapatas con momento o cargas excéntrica en una dirección. Obtenida de (Garza, 2012)

Las situaciones en las que el suelo trabaja a tracción se determinan cuando la excentricidad dada por el momento cumple con la condición $e > L/6$. Por esta razón se analizarán los casos sin esfuerzos a tracción en el suelo. (Universidad EIA, 2014) El primero es cuando la excentricidad para este caso cumple con $e < L/6$ (Para la otra dirección basta con reemplazar B por L):

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{B \cdot L} \left(1 + \frac{6e}{L} \right) \quad ; \quad \sigma_{\text{mín}} = \frac{P}{B \cdot L} \left(1 - \frac{6e}{L} \right) \quad (4)$$

Además, para cuando la excentricidad para este caso cumple con $e = L/6$ (Para la otra dirección basta con reemplazar B por L):

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{2P}{B \cdot L} \quad ; \quad \sigma_{\text{mín}} = 0 \quad (5)$$

Para el caso de excentricidad en las dos direcciones (ver Figura 52), se trabaja bajo el mismo principio de evitar las tensiones en el suelo, por ende $e \leq B/6$ y $e \leq L/6$. El esfuerzo del suelo para esta situación equivale a

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{P}{A} + \frac{M_x \cdot c_x}{I_x} + \frac{M_y \cdot c_y}{I_y} \quad ; \quad \sigma_{\text{mín}} = \frac{P}{A} - \frac{M_x \cdot c_x}{I_x} - \frac{M_y \cdot c_y}{I_y} \quad (6)$$

Sin embargo, para cualquiera de las situaciones mostradas no es recomendable trabajar con esfuerzos de tracción al límite, razón por la cual se recomienda trabajar con esfuerzos mínimos que correspondan al 10% del esfuerzo admisible del suelo.

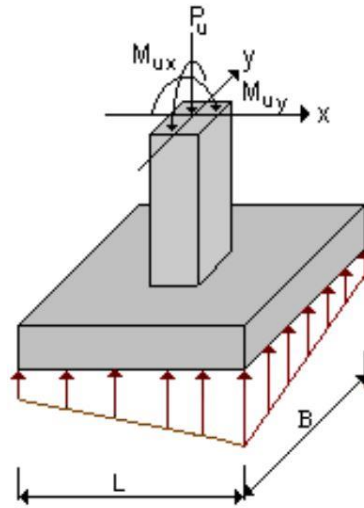


Figura 52. Distribución de esfuerzos para diseño de zapatas con momento o cargas excéntrica en las dos direcciones. Obtenida de (Garza, 2012)

➤ Resistencia estructural

Establecidas las dimensiones de la base y verificada la capacidad portante del suelo ante las respectivas cargas, se procede a calcular el espesor, el refuerzo y detallado requerido para que la zapata pueda soportar los esfuerzos a los que será sometida. Debido a que la zapata se puede representar una viga apoyada en el centro de la luz, entonces el elemento debe ser resistente a esfuerzos de flexión, cortante en una dirección, cortante en dos direcciones (punzonamiento) y aplastamiento del concreto.

Para evaluar estos aspectos se debe recurrir a las cargas últimas (mayoradas) y a la sección crítica de diseño.

▪ Altura de la zapata

El espesor de la zapata, normalmente se supone primero y luego se verifica que la dimensión cumple para soportar los diferentes esfuerzos a los que será sometida. La NSR-10, especifica en el numeral C.15.7 la distancia mínima entre el refuerzo inferior y la cara superior de la zapata, además en el numeral C.7.7.1 (a) el recubrimiento mínimo para elementos en permanente contacto con el suelo. Teniendo en cuenta ambos requerimientos, puede establecerse que la altura mínima de una zapata es de 225 mm.

Bajo esta suposición se empezará a verificar la capacidad de la zapata ante los esfuerzos asociados. En caso de no cumplir alguno con este valor inicial, se aumenta la altura supuesta y se repite de nuevo el proceso.

▪ Capacidad a flexión

El momento al que se someterá la sección crítica de la zapata es (ver Figura 53):

$$Mu(x) = \frac{Pu}{B \cdot L} \left(\frac{L}{2}\right) \left(\frac{B}{2} - \frac{b}{2}\right)^2 = \frac{Pu}{8B} (B - b)^2 \quad (7)$$

$$Mu(y) = \frac{Pu}{L \cdot B} \left(\frac{B}{2}\right) \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2}\right)^2 = \frac{Pu}{8L} (L - l)^2 \quad (8)$$

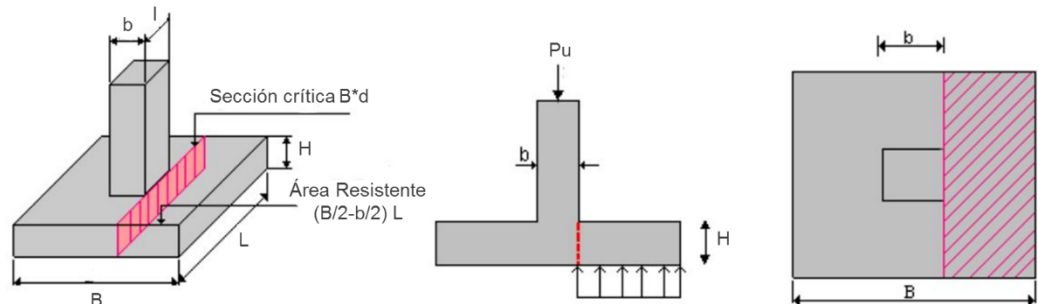


Figura 53. Esfuerzo a flexión en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012)

Con el momento se halla la cantidad de acero a flexión requerido, teniendo en cuenta la sugerencia de (Garza, 2012), en la que expone que la NSR-10 en el numeral C.7.12.2.1 (b) restringe la cuantía mínima para el refuerzo por retracción en estos elementos en 0.0018. Adicionalmente, menciona que para zapatas que inevitablemente tengan solicitaciones a tensión es importante considerar un refuerzo para este esfuerzo en la parte superior y revisar el trabajo del anclaje en la columna.

Con el refuerzo requerido, la NSR-10 establece en el numeral C.15.4.3 que la distribución en ambas direcciones debe hacerse por igual si la zapata es cuadrada, pero en el numeral C.15.4.4, se determina que, si esta es rectangular, debe ubicarse una cantidad de refuerzo $\gamma_s A_s$ distribuido en un espaciamiento igual al lado más corto y la cantidad restante $(1 - \gamma_s) A_s$ entre las dos partes restantes, siendo este parámetro:

$$\gamma_s = \frac{2}{\beta + 1} \quad (9)$$

▪ Capacidad a cortante unidireccional

El cortante al que se someterá la sección crítica de la zapata será (ver Figura 54):

$$Vu(x) = \frac{Pu}{B \cdot L} (L) \left(\frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d\right) = \frac{Pu}{B} \left(\frac{B}{2} - \frac{b}{2} - d\right) \quad (10)$$

$$Vu(y) = \frac{Pu}{L \cdot B} (B) \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2} - d\right) = \frac{Pu}{L} \left(\frac{L}{2} - \frac{l}{2} - d\right) \quad (11)$$

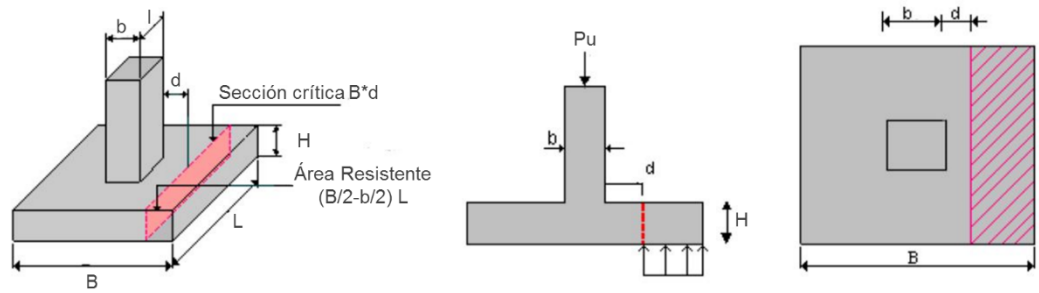


Figura 54. Esfuerzo a cortante unidireccional en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012)

Debe recordarse que la NSR-10 especifica bajo el numeral C.11.1.1 que

$$\phi V_n \geq V_u \quad ; \quad V_n = V_c \quad (12)$$

Además, para elementos como zapatas, el cortante resistido por el concreto, especificado en el numeral C.11.2.1.1 es

$$V_c(x) = 0.17 \lambda \sqrt{f'c} B d \quad (13)$$

$$V_c(y) = 0.17 \lambda \sqrt{f'c} L d \quad (14)$$

▪ **Capacidad a cortante bidireccional**

El cortante bidireccional o punzonamiento al que será sometida la zapata está dado por (ver Figura 55):

$$V_{Pu} = \frac{Pu}{B \cdot L} [(B \cdot L) - (b + d)(l + d)] \quad (15)$$

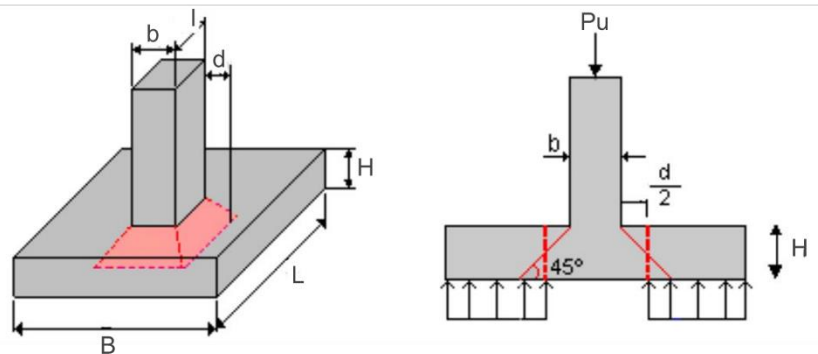


Figura 55. Esfuerzo a cortante unidireccional en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012).

Al igual que con el cortante unidireccional, la NSR-10 especifica bajo el numeral C.11.11.2.1 que el punzonamiento demandado en la sección debe ser menor que cualquiera de los siguientes valores,

$$V_{Pc}(a) = \phi_c 0.17 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (16)$$

$$V_{pc}(b) = \phi_c 0.083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (17)$$

$$V_{pc}(c) = \phi_c 0.33 \lambda \sqrt{f'c} b_o d \quad (18)$$

- **Capacidad a aplastamiento**

La fuerza de aplastamiento a la que será sometida la zapata está dada por (ver Figura 56):

$$P_u < F_A \quad ; \quad F_A = \phi_A 0.85 f'c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad ; \quad \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2 \quad (19)$$

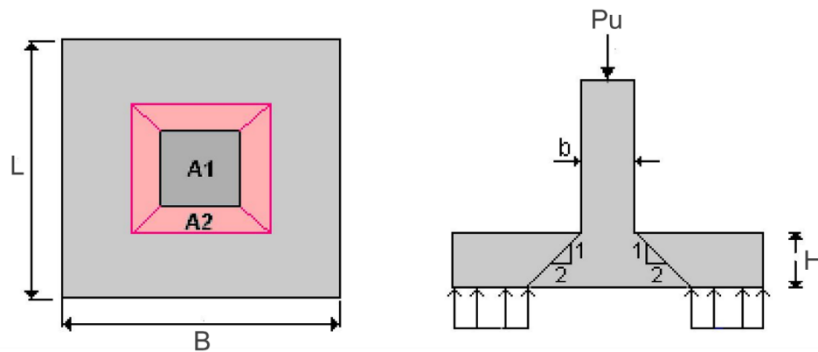


Figura 56. Aplastamiento del concreto en una zapata. Obtenida de (Garza, 2012).

- **Resistencia de la conexión**

Según (Elliott, 2002), el diseño y la construcción de la unión y la conexión es la consideración más importante en las estructuras prefabricadas de concreto. La unión, por una parte, es la acción de las fuerzas (compresión, tensión, corte) que toman lugar en la interfaz entre dos miembros estructurales, que, en muchos casos, cuenta con un elemento intermedio (elastómeros, placas de acero, mortero de cemento o mortero de epóxico), mientras la conexión es la acción de las fuerzas (compresión, tensión, corte) y/o momentos (flexión y torsión) por medio de un conjunto que comprende en general una o más uniones entre diferentes interfases. Sin embargo, a pesar de su diferencia, el propósito tanto de la unión como de la conexión es la transmisión de las fuerzas, garantizando la estabilidad e integridad de la estructura. En la Figura 57 se muestra gráficamente la diferencia entre ambos conceptos.

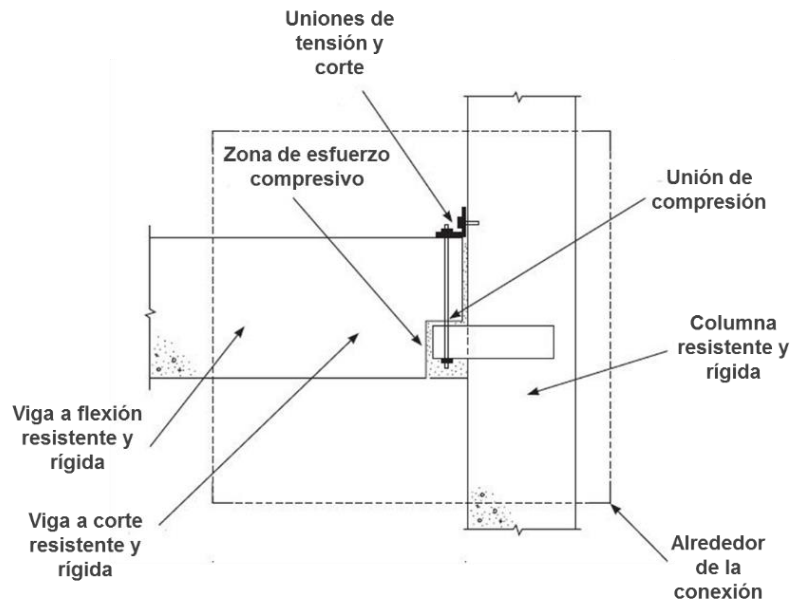


Figura 57. Diferencia entre unión y conexión. Obtenida de (Elliott, 2002)

En la Figura 58 se muestra una clasificación generalizada acerca de las conexiones. En el brazo de la derecha se mencionan algunos mecanismos base de análisis para el diseño, en el que ya se han estudiado las diversas uniones que los conforman y sus respectivas interacciones entre sí para modelar un adecuado comportamiento del conjunto. Por el otro brazo se observan los tipos de unión existentes que establecen la base para el análisis del diseño de cualquier conexión.

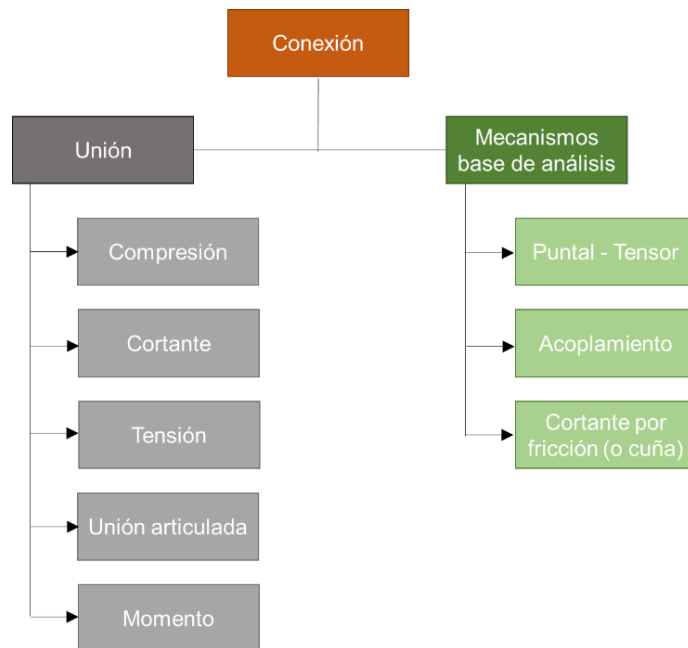


Figura 58. Diagrama esquemático de la conformación de las conexiones

- **Mecanismos base de análisis para la conexión elegida**

(Elliott, 2002) en su libro destaca algunas de las metodologías más usadas para el diseño de conexiones en estructuras prefabricadas, entre ellas las mencionadas en el camino verde de la Figura 58 y mostradas en la Figura 59.

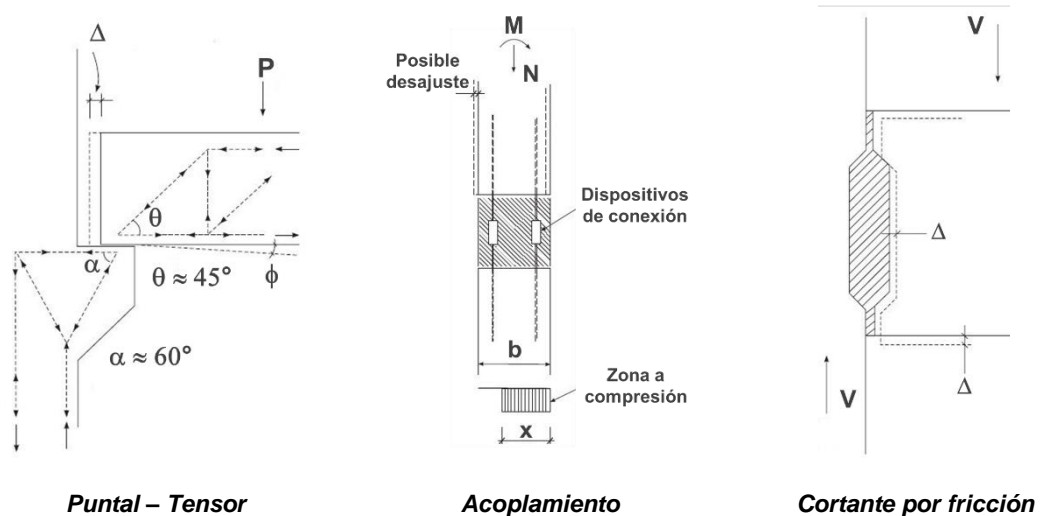


Figura 59. Mecanismos base de análisis para conexiones expuestos por (Elliott, 2002)

En el mecanismo puntal tensor se analizan las fuerzas de apoyo, en el mecanismo de acoplamiento se incluyen las fuerzas de apoyo y los momentos de flexión o torsión, mientras en el mecanismo de cortante por fricción se analiza la transferencia de cortante con y sin fuerzas de apoyo.

De estos mecanismos el más parecido a la conexión con proyección de barras es el mecanismo de acoplamiento, pero realmente, no modela completamente el comportamiento general de la conexión con la fundación, por tal motivo, se estudiarán individualmente los tipos de unión que se requieren específicamente para la conexión y posteriormente se analizará su comportamiento en conjunto para dictaminar el modelo base que regirá el procedimiento de cálculo.

- **Tipos de unión asociadas a la conexión elegida**

En el análisis individual de las uniones que conforman la conexión con proyección de barras se pueden establecer dos esfuerzos principales que regirán su diseño, los cuales son flexo-compresión y cortante. Por consiguiente, solo los tipos de unión que satisfacen estos esfuerzos serán tenidos en cuenta para el procedimiento de diseño de la conexión.

→ **Compresión**

Los efectos de la compresión en la conexión afectan tanto al material de lleno en la interfaz, como a los elementos de transmisión embebidos en los miembros estructurales. Esta afectación puede variar según el material usado para el relleno y

según los elementos usados para la transmisión de esfuerzos respectivamente, como se observa en la Figura 60.

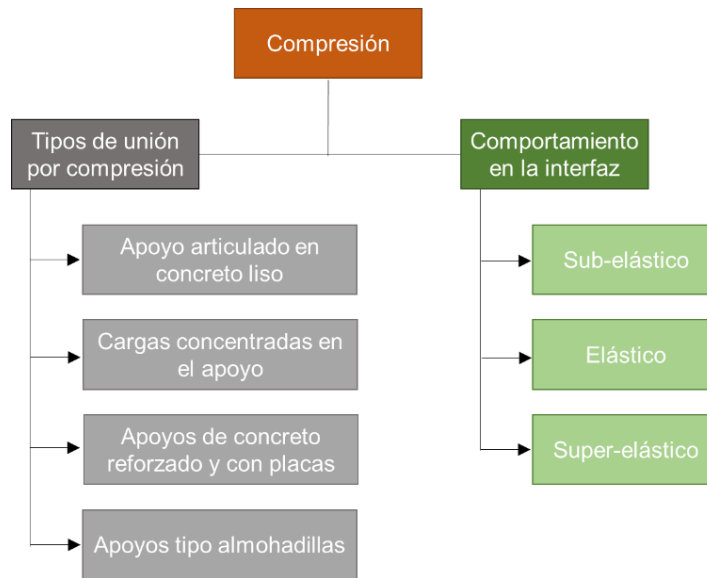


Figura 60. Diagrama esquemático del análisis de las uniones a compresión

(Elliott, 2002) establece que el comportamiento del material en la interfaz puede generar distintos efectos. Estos son los mostrados en el brazo derecho de la figura anterior. Allí la unión sub-elástica es en la que el material de lleno posee un módulo de elasticidad menor que el de los miembros estructurales, en esta unión, debido a la falta de rigidez del material de lleno se pueden presentar fisuras por tensión desde el centro hacia los extremos de la interfaz.

La unión elástica, es en la que el material de lleno posee un módulo de elasticidad igual al de los miembros estructurales y por esta condición la distribución de los esfuerzos no cambia su trayectoria al pasar por el lleno y por el miembro inferior, lo que en otras palabras equivaldría a que no se produzca ninguna clase de fisuras por esfuerzos de transmisión en la interfaz.

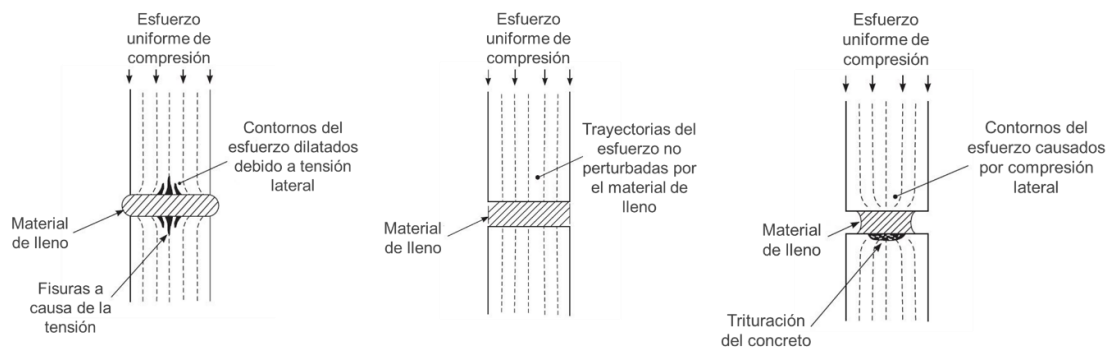


Figura 61. Comportamiento estructural para las diferentes situaciones en la interfaz. Obtenida de (Elliott, 2002).

Por último, la unión super-elástica es en la que el material de lleno posee un módulo de elasticidad superior que el de los miembros estructurales, por ello, se producen en la interfaz perturbaciones que pueden provocar la trituración del concreto del miembro inferior. En la Figura 61 se puede observar el comportamiento en la distribución de esfuerzos para cada caso.

Cabe resaltar que para la conexión con proyección de barras el material de lleno más común, resaltado por los autores consultados, fue mortero de cemento con resistencias a la compresión iguales o superiores a la de los miembros adyacentes, por tal razón es posible que, si llegase a haber una falla en la interfaz de la conexión por efectos compresivos, se empiece a visualizar trituración del concreto en la superficie superior de la zapata.

Adicionalmente, el tipo de unión para diseñar adecuadamente la conexión no está mencionado directamente por ninguno de los autores, ya que será el efecto producido por la combinación del momento y la carga axial, condición examinada más adelante.

Sin embargo, el comportamiento del material de lleno puede ser evaluado bajo lo que muestra Elliot como la acción de una carga concentrada en el apoyo (ver Figura 62), ya que la transferencia de cargas a través de la cama de mortero, que posee las mismas dimensiones de la columna, genera la descarga de fuerzas en la superficie superior de la zapata, la cual es más amplia que el área de contacto de la interfaz.

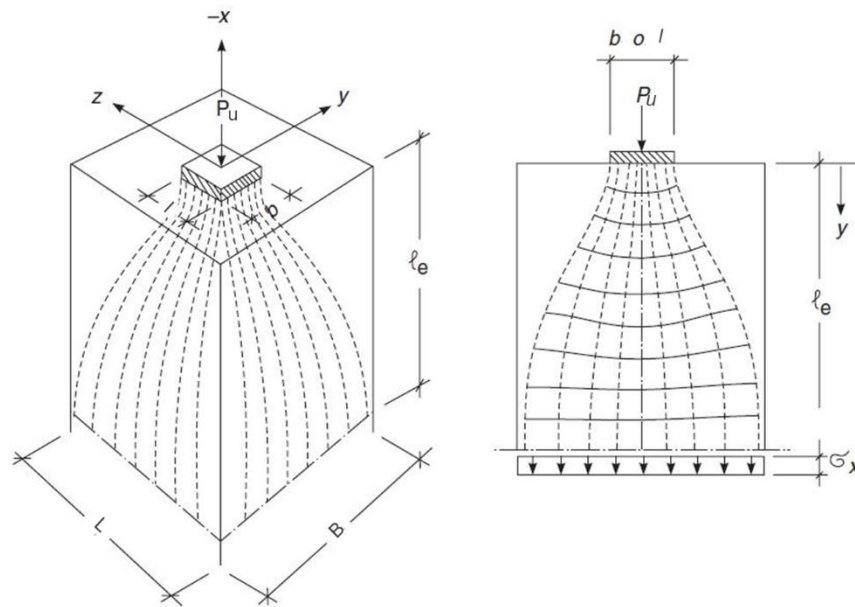


Figura 62. Distribución de los esfuerzos debido a cargas concentradas. Obtenida de (Elliott, 2002).

$$F_{Rd} = 0.6 f'c \sqrt{\frac{B \cdot L}{b \cdot l}} < 2.0 f'c \quad (20)$$

La fórmula propuesta por el autor inglés encuentra alto grado de semejanza con el requerimiento del concreto mostrado por la NSR-10 ante esfuerzos de aplastamiento, siendo más conservadora la fórmula de Elliot.

→ **Cortante**

De acuerdo con lo mencionado por (Elliott, 2002), es un esfuerzo que se presenta rara vez solo. En muchos casos este se transmite mediante una combinación de aplicación directa o acompañado con esfuerzos de flexo-compresión y es más común encontrarlo en paneles de una superficie significativamente larga.

Además, el autor inglés especifica que la transferencia de este esfuerzo es un fenómeno complejo en el que intervienen factores como la calidad de acabado de la superficie, las propiedades de los materiales, patrones del esfuerzo y la mano de obra. Las fuerzas cortantes pueden ser transmitidas entre elementos de concreto con uno, o más, de los métodos mostrados en la Figura 63.

Normalmente cuando se utilizan barras, espárragos y pernos de anclaje que cruzan la interfaz de la conexión, la resistencia a cortante se da por el efecto dovela. Por esta razón, este será el método para analizar el cortante en la conexión con la fundación. En la Figura 64 se puede observar gráficamente el planteamiento de este método.

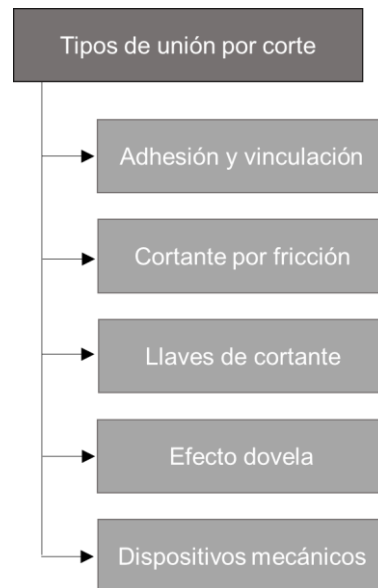


Figura 63. Diagrama esquemático del análisis de las uniones a cortante

(Elliott, 2002) establece que para hallar la resistencia a cortante se puede utilizar la siguiente fórmula,

$$Vd = 0.6 f_y A_s \cos(\alpha) \quad (21)$$

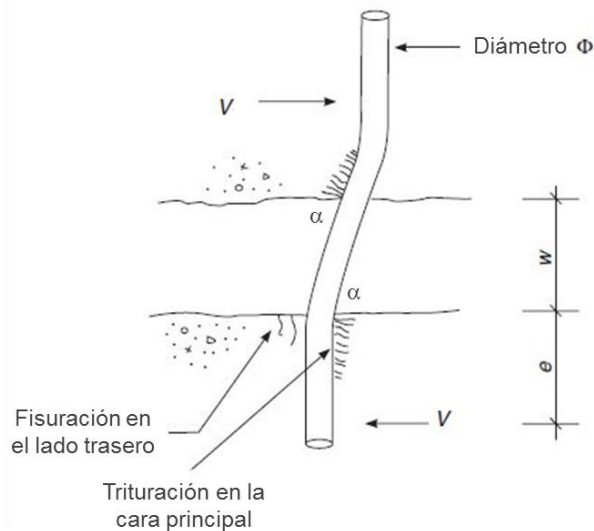


Figura 64. Comportamiento estructural de una unión a cortante por el método de la dovela. Adaptado de (Elliott, 2002)

Por otro lado, según lo dicho por la (EC, 2012), el cortante será resistido gracias a la acción conjunta de las barras de refuerzo y de la fricción del concreto en la interfaz, por tal motivo puede hallarse la capacidad con el siguiente planteamiento, recordando que el cortante último (V_u), debe ser equivalente al cortante para la acción del momento mayorado (γM_{Rd}) (ver Figura 31):

$$V_u \leq V_{Rd} \quad ; \quad V_{Rd} = V_d + V_f \quad ; \quad V_d = 1.3 A_s \sqrt{f'_c \cdot f_y} \quad ; \quad V_f = 0.25 a \cdot b \cdot f'_c \quad (22)$$

Por el lado de la (BCA, 2001), se manifiesta que la resistencia al corte puede determinarse con las siguientes formulas:

$$V_{Rd} = 0.87 \mu f_y A_s \quad (\text{Sin carga axial}) \quad (23)$$

$$V_{Rd} = N \cdot \mu + 0.87 \mu f_y A_s \quad (\text{Con carga axial}) \quad (24)$$

Donde el coeficiente de fricción puede seleccionarse según el respectivo tipo de superficie, siendo $\mu = 0.7$, para una interfaz de concreto sin pulir, $\mu = 1.4$, para superficies de concreto rugosas y $\mu = 1.7$ para concreto monolítico.

→ **Momento**

Son uniones que son capaces de transferir en su mayoría momentos de flexión en el plano. (Elliott, 2002) expresa que la continuidad del momento en la unión es efectuada por medio de un par de fuerzas axiales, una en compresión y otra en tracción, que actúan de manera normal al plano. En la Figura 65 se puede observar la representación de las fuerzas en este método.

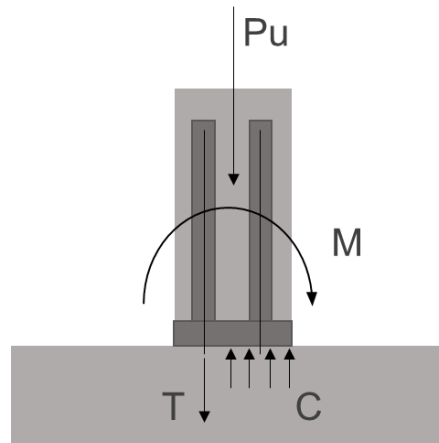


Figura 65. Representación gráfica de la actuación de las fuerzas en la unión por momento.

Estas conexiones, especifica el inglés, deben proveer fallas dúctiles que permitan que la resistencia límite esté gobernada por el momento y no por el cortante. Además, aconseja que, si la capacidad a momento resulta menor a 50 kNm, es mejor diseñar esta unión como un apoyo articulado.

Según el mismo (Elliott, 2002), los métodos para transferir las cargas de momento son los descritos en la Figura 66. Para la unión que conforma la conexión entre columnas prefabricadas y la cimentación el método a usar será el de proyección de barras, ya que según lo visto en la *Selección de la tipología de diseño*, esta es la más aventajada para la conexión de cimentaciones superficiales.

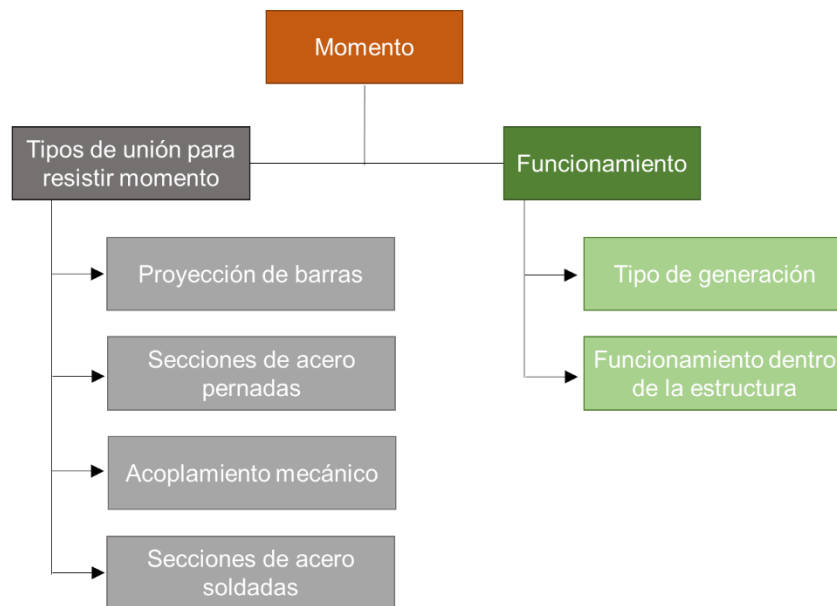


Figura 66. Diagrama esquemático del análisis de las uniones a momento

La conexión con proyección de barras, dice (Elliott, 2002), a pesar de estar anclada a ambos miembros estructurales por medio de barras de traslape, descompone las tensiones cerca de la interfaz, por lo que las dos mitades de la misma pueden trabajarse por separado. Sin embargo, debido a la deformación de la barra, es posible que en la interfaz se formen fisuras a tensión.

Adicionalmente, el autor inglés, expone que la forma de calcular esta unión tanto para tensión como para compresión es basándose en el principio básico del esfuerzo al que es sometida la sección, para esto es necesario identificar la zona a compresión y tracción de la sección y establecer un equilibrio de las deformaciones, proporcionadas por el concreto y el acero, como puede visualizarse en la Figura 67.

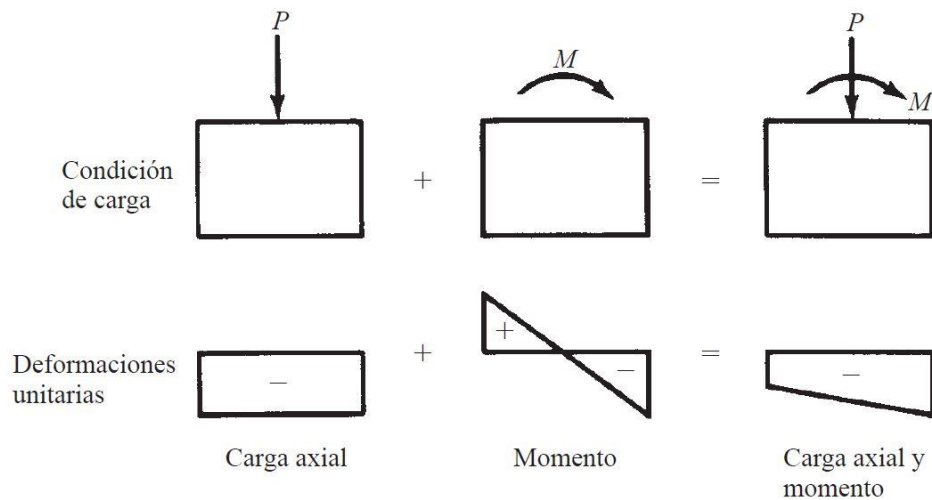


Figura 67. Relación entre la condición de carga y las deformaciones unitarias en una sección sometida a flexo-compresión. Obtenida de (Mc Cormac & Brown, 2011)

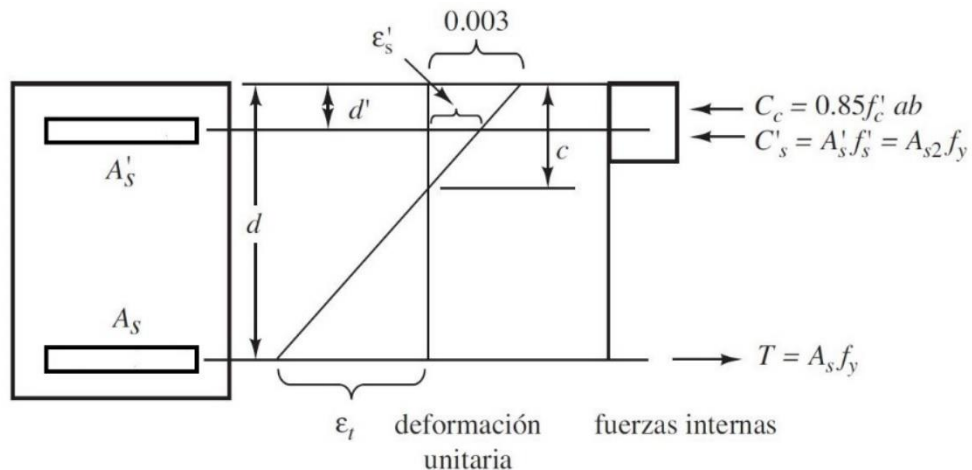


Figura 68. Distribución de la deformación unitaria del concreto y el acero en una sección. Obtenida de (Mc Cormac & Brown, 2011)

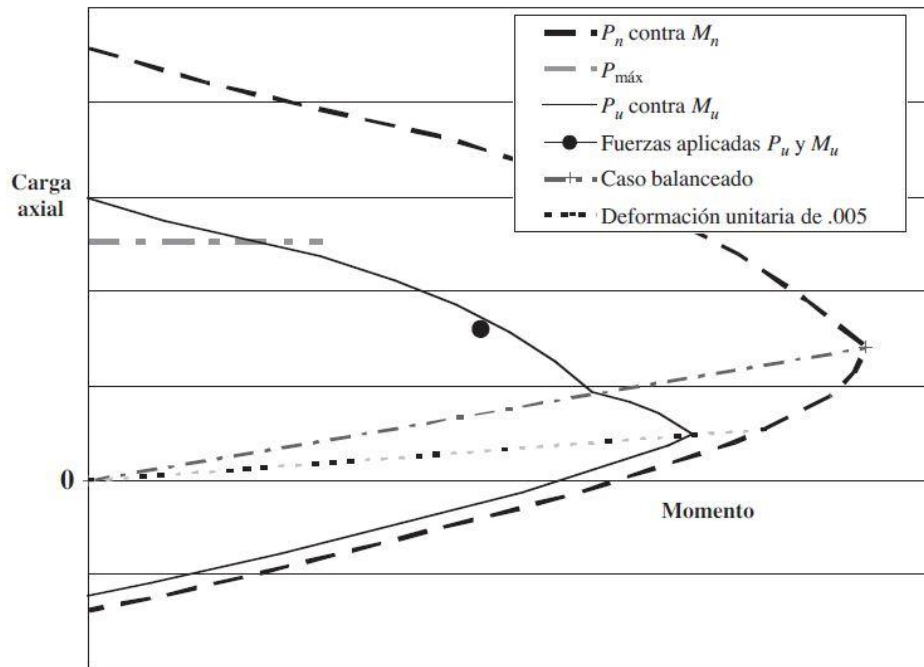


Figura 69. Diagrama de interacción de carga vs momento para una sección a flexo-compresión. Obtenida de (Mc Cormac & Brown, 2011)

Conociendo los esfuerzos en la sección y bajo la condición de equilibrio de las deformaciones, se hallan las fuerzas que actúan en la sección, tal y como se muestra en la Figura 68. Conociendo las fuerzas resultantes, se pueden hallar las diferentes relaciones entre la capacidad a compresión y a momento del elemento. Estas relaciones son las que conforman el diagrama de interacción de carga axial y flexión, como se puede observar en la Figura 69.

La sección estará correctamente diseñada cuando la demanda ante la carga axial y el momento asociado a esta, estén dentro del diagrama de interacción.

Además de cumplir con la condición del diagrama a flexo-compresión, la (EC, 2012) recomienda para esta metodología revisar la longitud embebida de la barra en el ducto corrugado, como se muestra en la siguiente fórmula (ver Figura 31):

$$l_b \cdot (\pi \phi) \cdot 0.45f'_c \geq \gamma_R \cdot A_s \cdot 1.08 f_y \quad (25)$$

Allí, el parámetro γ_R corresponde a un factor que depende de la capacidad de disipación de energía de la conexión, determinando $\gamma_R = 1.2$ para sistemas de conexión DMO y $\gamma_R = 1.5$ para sistemas de conexión DES.

Si la longitud del refuerzo longitudinal de la conexión no cumple con esta condición, las fuerzas producidas por tensión a causa del momento flector superarán las fuerzas internas de fricción desarrolladas en la longitud del traslape, produciendo la extracción de las barras y por ende una falla del sistema estructural.

- **Análisis de la conexión con proyección de barras**

Según las formas de cálculo expuestas para cada fuerza actuante en la conexión, se usarán las metodologías expuestas por la Comisión Europea, adaptando los criterios establecidos en su planteamiento a las condiciones de regulación de la NSR-10, lo que, en resumen, para el diseño de la conexión podría mostrarse como:

→ **Capacidad a compresión del material de lleno**

$$F_{Rd} = \phi_A 0.85 f'c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \quad ; \quad \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 2$$

→ **Capacidad a corte de la conexión**

$$V_{Rd} = 1.3 A_s \sqrt{f'c \cdot f_y} + 0.25 b \cdot a \cdot f'c$$

→ **Capacidad a flexo-compresión de la conexión**

$$P_{Rd} = \phi_A (0.85 \cdot f'c \cdot (A_g - A_{s_i}) + A_{s_i} \cdot f_{s_i}) \quad (26)$$

$$M_{Rd} = \phi_F \left[0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot a \left(c - \frac{a}{2} \right) + (A_{s_i} \cdot f_{s_i})(d_i - c) + (A_{s_i} \cdot f_{s_i})(c - d_i) \right] \quad (27)$$

→ **Longitud mínima de desarrollo de las barras en la conexión**

$$l_b \geq \frac{\gamma_R \cdot A_s \cdot 1.08 f_y}{(\pi \phi) \cdot 0.45 f'c}$$

- **Consideraciones del diseño de la conexión con proyección de barras**

En el dimensionamiento de la zapata, cuando se presenten casos de excentricidad con la carga, se trabajará con un esfuerzo mínimo que sea equivalente al 10% del esfuerzo admisible del suelo. Asimismo, se trabajarán dimensiones que sean múltiplos de 5 cm, debido a las consideraciones constructivas.

Por otro lado, para el refuerzo de la zapata se considerará la longitud de los ganchos de anclaje para la parrilla que funciona a tracción debido a los momentos flexionantes. Además, la cantidad de acero y su distribución será acorde a la NSR-10.

Para el diseño del material de lleno en la interfaz se establecerá un espesor que no sea inferior a 10 mm ni mayor a 25 mm, y una mezcla de mortero poco fluida que sea por lo menos 7 MPa más resistente que el concreto de la columna y la zapata

Por último, se usarán ductos corrugados con un diámetro equivalente a dos y medio diámetros de barra, con una longitud 10 mm mayor a la longitud estimada para la barra, con un espesor mínimo de 1 mm y con corrugaciones en toda su longitud. No se puede

olvidar dejar las perforaciones para la inyección del mortero en la columna, que posea por lo menos 6 mm de diámetro y que se conecte a los ductos corrugados.

3.3.2 Construcción de la base de datos

DISET CSP, se construyó buscando optimizar el tiempo de diseño de las cimentaciones superficiales, además de implementar una herramienta de cálculo para el diseño estructural de la conexión prefabricada.

➤ Estructura y funcionamiento

El ejecutable se elaboró bajo el software Microsoft Excel y consiste de 9 interfases: Inicio, Búsqueda, Base de datos, Clasificación, Diseño, Zapata, Conexión (x), Conexión (y) y Dimensiones nominales NSR-10. Estas interfases se relacionan como se muestra en la Figura 70.

▪ Interfaz Inicio

En esta interfaz se muestra la información del ejecutable, se da la bienvenida al usuario y se encuentran las opciones de las que se despliegan las funciones del mismo. Los botones en esta interfaz que llevan una nueva opción son Agregar diseño, Buscar diseño y Ayuda.

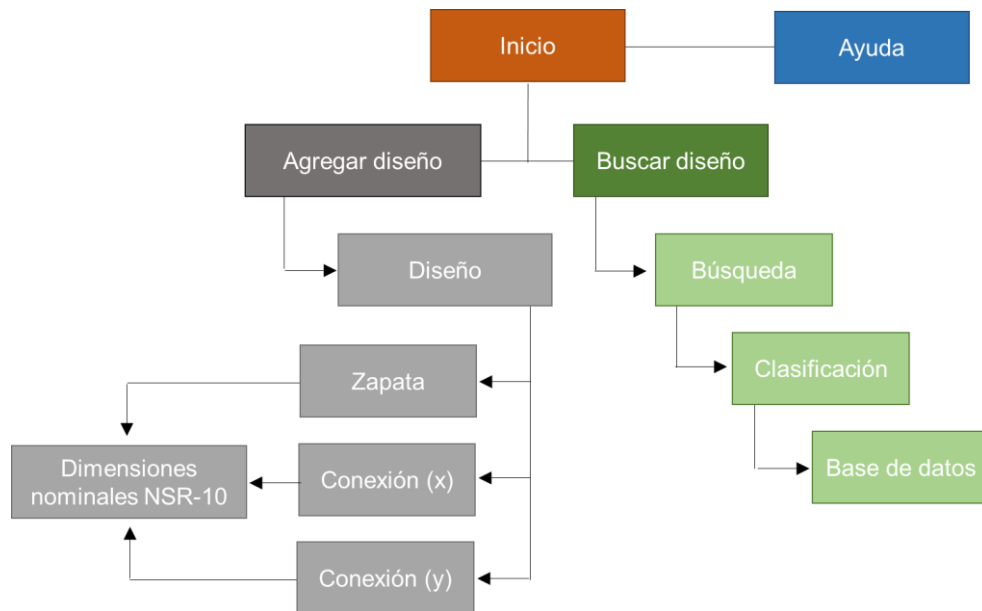


Figura 70. Estructura de la base de datos.

▪ Interfaz Diseño

Al dar *click* al botón Agregar diseño, el ejecutable lleva al usuario a una interfaz donde introduciendo los datos necesarios para el diseño y llenando los campos requeridos se puede verificar la capacidad del suelo, de la zapata y de la conexión de una manera

fácil y rápida, utilizando procedimientos iterativos automatizados. En esta interfaz se encuentran cuatro botones, Calcular, Guardar, Limpiar y Salir.

El botón de Calcular, se apoya en la interfaz Zapata y permite refrescar el cálculo de la cantidad de acero requerido para suplir las demandas a flexión de la zapata, además el botón de Guardar sirve para registrar los datos obtenidos en el diseño dentro de la base de datos del programa. Por último, el botón de Limpiar borra los datos insertados inicialmente por el usuario y el botón Salir, lleva al usuario a la interfaz de Inicio de nuevo.

→ **Interfaz Zapata**

Es la interfaz que contiene los procedimientos para el cálculo de las dimensiones requeridas según la solicitud, además de la capacidad estructural y del detallado que la compone para los valores aportados. Esta interfaz no se muestra al usuario, ya que todos sus procesos están automatizados y puede ser un poco saturada visualmente.

→ **Interfaz Conexión (x)**

Esta es la interfaz en la que se encuentran los procedimientos de cálculo para la resistencia de la conexión en el eje x. En ella se encuentran los procesos para la determinación del aplastamiento del mortero, el cortante, el diagrama de interacción de la sección crítica de la conexión y la longitud de traslapo de las barras y los ductos corrugados. Esta interfaz también está oculta al usuario, ya que sus procesos están automatizados y su edición puede confundir al usuario.

→ **Interfaz Conexión (y)**

Esta es la interfaz en la que se encuentran los procedimientos de cálculo para la resistencia de la conexión en el eje y. En ella se encuentran los procesos para la determinación del aplastamiento del mortero, el cortante, el diagrama de interacción de la sección crítica de la conexión y la longitud de traslapo de las barras y los ductos corrugados. Al igual que la interfaz Zapata y Conexión (x), ésta también está oculta al usuario, ya que sus procesos están automatizados y su edición puede confundir al usuario.

→ **Interfaz Dimensiones nominales NSR-10**

En esta interfaz se almacenaron los valores determinados por la NSR-10 para los diámetros nominales y el área neta de las barras de refuerzo. Esta interfaz alimenta los procesos de las interfases Zapata, Conexión (x) y Conexión (y) y como no tiene cálculos incluidos permanece oculta al usuario.

▪ **Interfaz Búsqueda**

Al dar *click* al botón Buscar diseño, el ejecutable lleva al usuario a una interfaz donde por medio de ciertos datos solicitados se puede buscar cuál diseño, de los almacenados en la base de datos, puede suplir las demandas para la información de entrada suministrada. En esta interfaz se encuentran tres botones, Actualizar, Limpiar y Salir.

El botón de Actualizar por medio de la interfaz Clasificación, busca y clasifica a través de la información almacenada en la interfaz Base de datos y entrega los resultados más cercanos tenidos en la misma. Adicionalmente, el botón de Limpiar, borra los campos llenados por el usuario y el botón Salir, lleva al usuario a la interfaz de Inicio.

Adicionalmente, en esta interfaz, se agregaron dos cuadros que permiten, mediante una información puntual solicitada al usuario, estimar de manera general el tiempo y los costos constructivos de la cimentación superficial prefabricada encontrada en el diseño.

→ **Interfaz Clasificación**

En esta interfaz se realizan los procesos de clasificación y búsqueda de la información. La clasificación se realiza bajo un algoritmo que organiza, identifica y lleva los respectivos datos almacenados en la Base de datos a la interfaz Búsqueda, para que el usuario pueda visualizar los resultados, de manera clara y entendible. Debido a su funcionamiento automatizado no está revelada al usuario.

→ **Interfaz Base de datos**

En esta interfaz se almacenan los datos guardados en el diseño. Debido a que esta no requiere información directa ingresada por el usuario para su funcionamiento, permanece oculta y bloqueada, igual que con la interfaz Clasificación.

▪ **Interfaz Instructivo**

Al dar *click* al botón Ayuda, se abre un cuadro de dialogo externo en el que se muestra todo el manual de usuario de la herramienta.

3.4 ESTÁNDAR DE OPERACIÓN DE LA BASE DE DATOS

3.4.1 Manual de usuario

A continuación, se muestra el manual de usuario de la hoja de cálculo, con los respectivos apoyos visuales del procedimiento.

➤ Introducción

Esta hoja de cálculo se ha diseñado para facilitar el diseño estructural de cimentaciones superficiales prefabricadas. Las cimentaciones superficiales prefabricadas se entienden como la cimentación superficial y el sistema de conexión con el miembro estructural superior, en este caso la columna prefabricada. La cimentación superficial corresponde a la conexión de una zapata rectangular con una columna interior concéntrica respecto a ésta, calculada a partir de los requerimientos exigidos por la NSR10, además, el sistema de conexión con las columnas prefabricadas corresponde a la metodología de proyección de barras.

El ejecutable fue desarrollado empleando el software de cálculo Microsoft Excel, buscando que su ejecución pueda extenderse a cualquier sistema operativo. El idioma de esta herramienta es el español y para iniciar el programa solo basta con abrir "DISET CSP" con el programa Microsoft Excel.

➤ Requisitos del procesador

Los requisitos para ejecutar la herramienta de cálculo, están condicionados a los requisitos del software Microsoft Excel.

➤ Funcionamiento

Esta hoja de cálculo funciona para calcular, almacenar y buscar diseños de zapatas rectangulares con columnas interiores y concéntricas respecto a ésta. Sus resultados determinan la información para el diseño estructural de la zapata y la conexión, además del nombre del plano estructural asociado a ambos elementos.

➤ Datos de entrada

Para hacer uso de la función de base de datos, el ejecutable requiere conocer las cargas últimas, las cargas de servicio, los momentos bidimensionales y las fuerzas cortantes últimas y de servicio, proporcionadas por el diseño estructural de la edificación, además, saber el esfuerzo admisible del suelo, el cual es proporcionado por el estudio geotécnico.




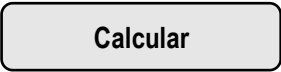

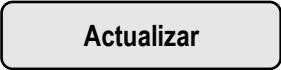


Si se desea hacer uso de la función agregar diseño, el ejecutable requiere, además de las cargas últimas, las cargas de servicio, los momentos bidimensionales y el esfuerzo admisible del suelo, algunos parámetros base para el cálculo del diseño estructural. Todos los parámetros se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos de entrada requeridos por DISET CSP.

Dato de entrada	Definición
Fecha	Fecha en la que se realiza el diseño
Nombre	Nombre de la zapata
Plano	Nombre del plano asociado a diseño
P_s	Carga de servicio de la edificación
P_u	Carga última de la edificación
Incluyen cargas sísmicas	Condición (Si/No) para mayorar la capacidad del suelo
M_x	Momento último de la columna, en dirección x
M_y	Momento último de la columna, en dirección y
V_x	Cortante último de la columna, en dirección x
V_y	Cortante último de la columna, en dirección y
σ_a	Esfuerzo admisible del suelo
$b(x)$	Dimensión de la columna en la dirección x
$l(y)$	Dimensión de la columna en la dirección y
$d'c$	Recubrimiento de la columna
$f'c$	Resistencia a compresión del concreto
$f'cm$	Resistencia a compresión del mortero
f_y	Resistencia a la fluencia del acero
E	Módulo de elasticidad del acero
ϵ_{cu}	Deformación unitaria máxima del concreto
ϕ_c	Factor de reducción para el cortante
ϕ_A	Factor de reducción para el aplastamiento
λ	Factor para trabajo con concretos livianos
ψ_t	Factor de longitud de desarrollo (localización refuerzo)
ψ_e	Factor de longitud de desarrollo (revestimiento refuerzo)
Condición de disipación	Condición de disipación de energía (DMI/DMO/DES)

➤ **Botones de comando**

Tabla 5. Función de los botones de comando de DISET CSP.

Botón	Función
	Lleva al usuario a la interfaz Diseño
	Lleva al usuario a la interfaz Búsqueda
	Lleva al usuario al cuadro de diálogo Manual de Usuario
	Realiza el proceso iterativo que permite determinar la cantidad de acero necesario en la zapata por flexión
	Almacena la información suministrada por el usuario y entregada por la interfaz del diseño en la base de datos
	Actualiza la información de la base de datos para que en la búsqueda de los parámetros introducidos por el usuario se contemplen los últimos diseños guardados.
	Borra los datos introducidos por el usuario
	Lleva al usuario a la interfaz Inicio

➤ **Mensajes de advertencia**

Tabla 6. Mensajes mostrados por DISET CSP.

Dato de entrada	Definición
Informativo de inicio	Es el mensaje que da una nota aclaratoria al usuario. Este sale inmediatamente después de presionar los botones de la interfaz Inicio (ver Figura 71).
Dato incompatible	Es el mensaje que indica al usuario que con los determinados valores no se puede hacer el procedimiento de cálculo (ver Figura 72).

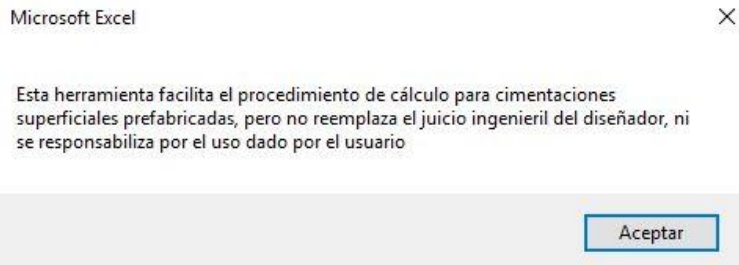


Figura 71. Ejemplo de mensaje informativo de inicio.

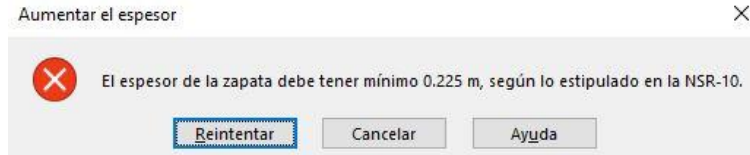






Figura 72. Ejemplo de mensaje de dato incompatible.

➤ **Celdas**

Tabla 7. Tipo de celdas de DISET CSP.

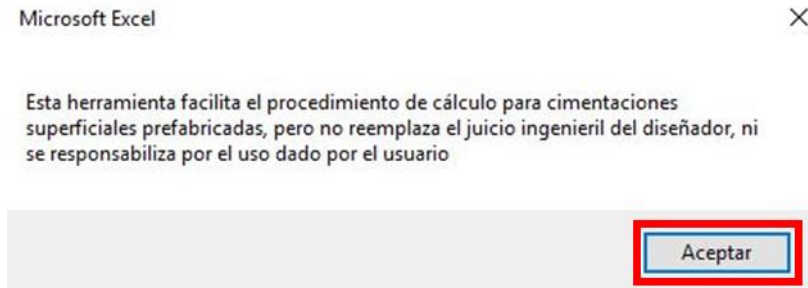
Tipo de celda	Definición
	En esta celda el usuario introduce la respectiva información de manera libre
	En esta celda el usuario introduce la respectiva información de forma restringida por las condiciones estipuladas.
	En esta celda se encuentran valores sugeridos por el programa, sin embargo, pueden ser modificados por el usuario
	En esta celda se muestran las indicaciones y los resultados encontrados

➤ **Procedimiento para agregar un diseño**

1. Dar *click* al botón Agregar diseño



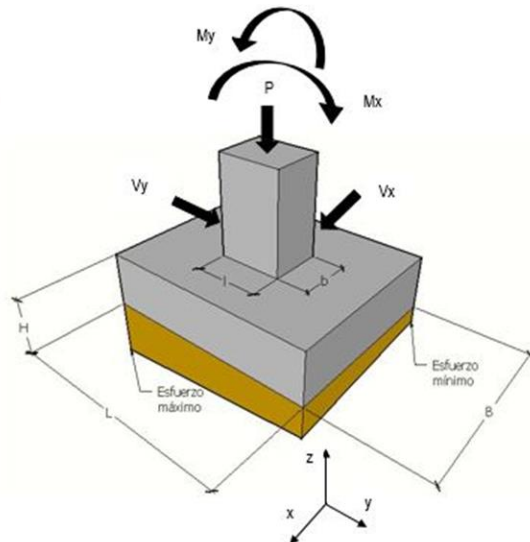
2. Dar *click* al botón Aceptar, después de leer atentamente el mensaje informativo



3. Introducir los datos de entrada requeridos

DATOS DE ENTRADA		
Nomenclatura		D008
Fecha	Nombre	Plano
13/05/2017	C9B	Z170513C9B
Información Cargas		
Parámetro	Unidad	Valor
Ps	kN	1200
Pu	kN	1800
¿Incluye cargas sísmicas?		Si
Mx	kNm	200
My	kNm	260
Vx	kN	180
Vy	kN	165
σ_a	kPa	450
Información General		
Parámetro	Unidad	Valor
b (x)	m	0.50
l (y)	m	0.50
d'c	m	0.05
f'c	MPa	21
f'cm	MPa	32
fy	MPa	420
E	MPa	200000
ϵ_c	-	0.003
ϕ_c	-	0.75
ϕ_s	-	0.65
λ	-	1
ψ_t	-	1.0
ψ_e	-	1.0
Capacidad de disipación		DMO

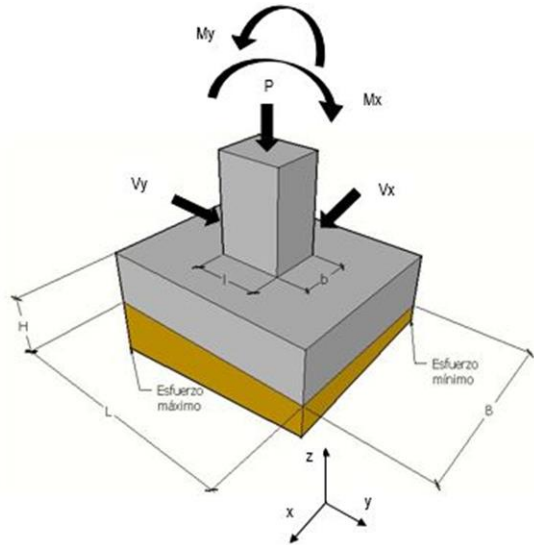
Datos Requeridos
Datos Sugeridos
Información del programa



4. Modificar los datos de entrada sugeridos

DATOS DE ENTRADA		
Nomenclatura		D008
Fecha	Nombre	Plano
13/05/2017	C9B	Z170513C9B
Información Cargas		
Parámetro	Unidad	Valor
P_s	kN	1200
P_u	kN	1800
¿Incluye cargas sísmicas?	Si	
M_x	kNm	200
M_y	kNm	260
V_x	kN	180
V_y	kN	165
σ_a	kPa	450
Información General		
Parámetro	Unidad	Valor
b (x)	m	0.50
l (y)	m	0.50
d'_c	m	0.05
$f'c$	MPa	21
$f'cm$	MPa	32
f_y	MPa	420
E	MPa	200000
ϵ_c	-	0.003
ϕ_c	-	0.75
ϕ_s	-	0.65
λ	-	1
ψ_t	-	1.0
ψ_e	-	1.0
Capacidad de disipación		DMO

Datos Requeridos
Datos Sugeridos
Información del programa



5. Introducir el largo y el ancho inicial de la zapata. Si con estos valores no se cumplen las condiciones mínimas, la celda de resultados “Resistencia del suelo” se activará y dirá *Reevaluar*.

RESULTADOS RESISTENCIA SUELO		
Dimensiones Zapata		
Parámetro	Unidad	Valor
B (x)	m	1.00
L (y)	m	1.00
Resistencia del suelo		Reevaluar
H (z)	m	
d'_z	m	
Condición		
Distribución Esfuerzos Suelos		
Parámetro	Unidad	Valor
$\sigma_{a \max}$	kPa	3950
$\sigma_{a \min}$	kPa	-1560

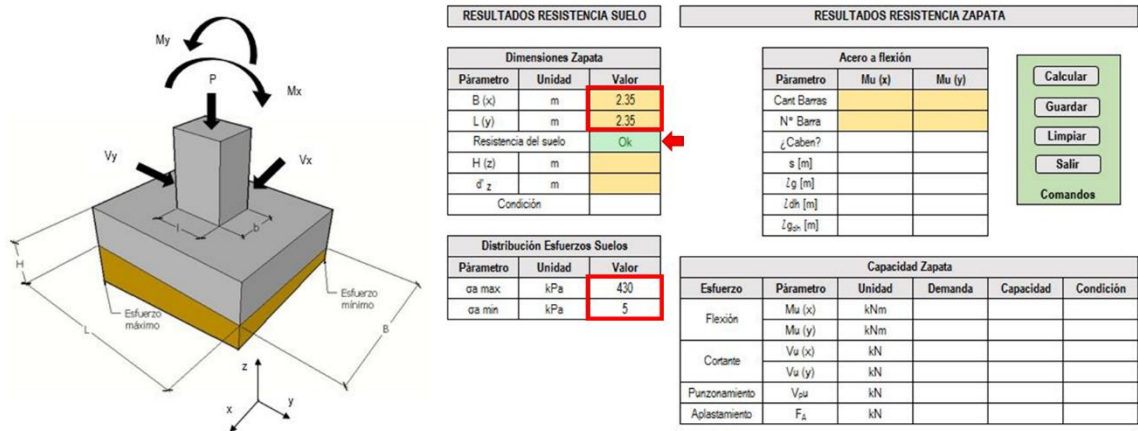
RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA			
Acero a flexión			
Parámetro	M_u (x)	M_u (y)	
Cant Barras			
N° Barra			
¿Caberen?			
s [m]			
l_g [m]			
l_{dl} [m]			
$l_{g_{\min}}$ [m]			

Comandos

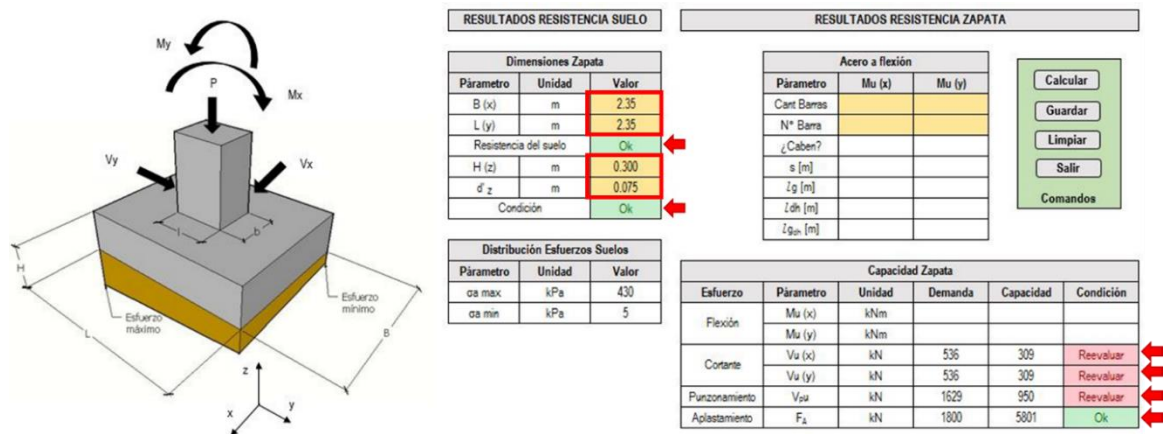
Capacidad Zapata					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición
Flexión	M_u (x)	kNm			
	M_u (y)	kNm			
Cortante	V_u (x)	kN			
	V_u (y)	kN			
Punzonamiento	V_{su}	kN			
Aplastamiento	F_z	kN			

Para seguir con el siguiente paso, es necesario aumentar las dimensiones hasta que la celda de resultados diga *Ok*.

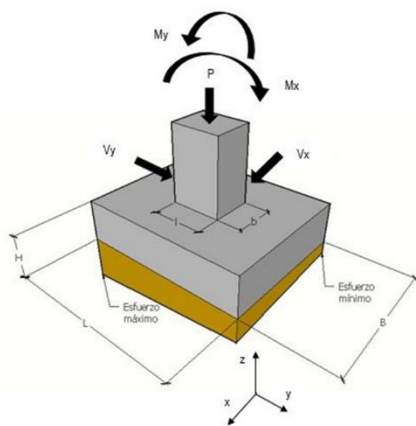
En el cuadro Distribución Esfuerzos Suelo, se muestra el esfuerzo máximo y el esfuerzo mínimo al que es sometido el suelo a causa de las cargas y las dimensiones establecidas. Estos valores son una ayuda para el criterio de diseño de cada usuario.



6. Introducir la altura inicial y el recubrimiento de la zapata. Si la altura inicial y el recubrimiento de la zapata no cumplen las condiciones de la NSR-10, se mostrará un mensaje de dato incompatible que obligará al usuario a ingresar valores que cumplan el requerimiento de la NSR-10.



Al ingresar estos valores, se activarán las celdas de cortante, punzonamiento y aplastamiento del cuadro "Celda Zapata", permitiendo comparar los valores de demanda y capacidad por medio de la columna condición, es decir, si con las dimensiones, la altura y el recubrimiento dados se cumplen las cargas demandadas, estas celdas dirán **Ok**, de lo contrario dirán **Reevaluar**. En este último caso se deberá aumentar la altura, hasta que todas las condiciones cumplan.



RESULTADOS RESISTENCIA SUELO

Dimensiones Zapata		
Parámetro	Unidad	Valor
B (x)	m	2.35
L (y)	m	2.35
Resistencia del suelo		Ok
H (z)	m	0.450
σ'_z	m	0.075
Condición		Ok

Distribución Esfuerzos Suelos		
Parámetro	Unidad	Valor
σ_a max	kPa	430
σ_a min	kPa	5

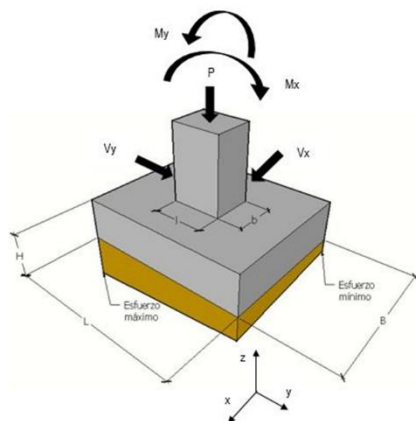
RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA

Acero a flexión		
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)
Cant Barras		
N° Barra		
¿Cabén?		
s [m]		
lg [m]		
ldh [m]		
ldga [m]		

Comandos

Capacidad Zapata					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición
Flexión	Mu (x)	kNm			
	Mu (y)	kNm			
Cortante	Vu (x)	kN	421	515	Ok
	Vu (y)	kN	421	515	Ok
Punzonamiento	V _{pu}	kN	1551	2301	Ok
Aplastamiento	F _a	kN	1800	5801	Ok

7. Ingresar los datos en las celdas Cant Barras y N° Barras para cada eje y dar *click* en Calcular. Con esta distribución de acero en la sección, las celdas "Condición" de los esfuerzos de flexión en el cuadro de Capacidad Zapata, se activarán y dirán *Ok* o *Reevaluar*, dependiendo de si el elemento estructural cumple con las demandas.



RESULTADOS RESISTENCIA SUELO

Dimensiones Zapata		
Parámetro	Unidad	Valor
B (x)	m	2.35
L (y)	m	2.35
Resistencia del suelo		Ok
H (z)	m	0.450
σ'_z	m	0.075
Condición		Reevaluar

Distribución Esfuerzos Suelos		
Parámetro	Unidad	Valor
σ_a max	kPa	430
σ_a min	kPa	5

RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA

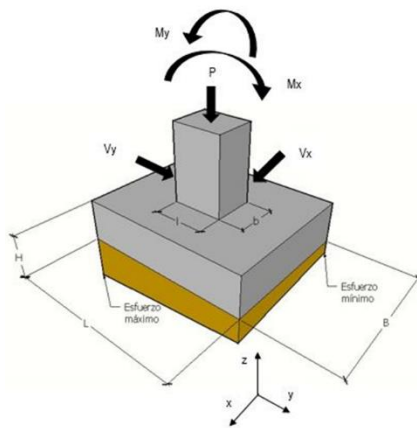
Acero a flexión		
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)
Cant Barras	4	4
N° Barra	6	6
¿Cabén?	Ok	Ok
s [m]	0.75	0.75
lg [m]	0.35	0.35
ldh [m]	0.30	0.30
ldga [m]	0.25	0.25

Comandos

Capacidad Zapata					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición
Flexión	Mu (x)	kNm	328	159	Reevaluar
	Mu (y)	kNm	328	159	Reevaluar
Cortante	Vu (x)	kN	421	515	Ok
	Vu (y)	kN	421	515	Ok
Punzonamiento	V _{pu}	kN	1551	2301	Ok
Aplastamiento	F _a	kN	1800	5801	Ok

En caso de que no se cumpla, se deberá aumentar la cantidad de barras o el diámetro de la barra para cada dirección en particular, luego dar *click* de nuevo en Calcular y repetir el proceso iterativo hasta que se cumplan las condiciones, como se muestra en la figura anterior.

Adicionalmente, cuando se termina el paso 8, la herramienta verifica que la longitud de anclaje que deben tener las barras de traslape que se proyectan en la columna prefabricada sea menor que la altura menos el recubrimiento de la zapata, garantizando su adecuado posicionamiento en la misma. Si este requerimiento no cumple, la casilla condición, en el cuadro Dimensiones Zapata, volverá a decir *Reevaluar*, de lo contrario marcará *Ok*.



RESULTADOS RESISTENCIA SUELO

Dimensiones Zapata		
Parámetro	Unidad	Valor
B (x)	m	2.35
L (y)	m	2.35
Resistencia del suelo		Ok
H (z)	m	0.450
d'_z	m	0.075
Condición		Ok

Distribución Esfuerzos Suelos		
Parámetro	Unidad	Valor
$\sigma_{a \max}$	kPa	430
$\sigma_{a \min}$	kPa	5

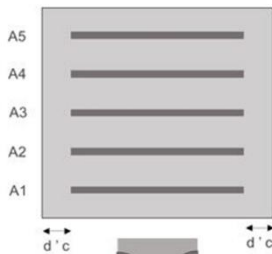
RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA

Acero a flexión		
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)
Cant Barras	9	9
N° Barra	6	6
$\zeta_{Caben?}$	Ok	Ok
s [m]	0.25	0.25
l_g [m]	0.25	0.25
l_{dh} [m]	0.30	0.30
l_{gac} [m]	0.20	0.20



Capacidad Zapata					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición
Flexión	Mu (x)	kNm	328	350	Ok
	Mu (y)	kNm	328	350	Ok
Cortante	Vu (x)	kN	421	515	Ok
	Vu (y)	kN	421	515	Ok
Punzonamiento	V_{pu}	kN	1551	2301	Ok
Aplastamiento	F_x	kN	1800	5801	Ok

8. Introducir la cantidad de barras de refuerzo que harán que la conexión cumpla con las solicitaciones. Si todas las solicitaciones cumplen, las celdas "Condición" en el cuadro "Capacidad Conexión" y las celdas " $\zeta_{Caben?}$ " en el cuadro "Distribución Refuerzo" dirán **Ok**, de lo contrario dirán **Reevaluar**.



RESULTADOS RESISTENCIA CONEXIÓN

Parámetro	Mx				My			
	Cant Barras	N° Barra	$\zeta_{Caben?}$	s [m]	Cant Barras	N° Barra	$\zeta_{Caben?}$	s [m]
As1	2	4	Ok	400	2	4	Ok	400
As2								
As3								
As4								
As5	2	4	Ok	400	2	4	Ok	400
Ast	4	4	-	-	4	4	-	-

Capacidad Conexión					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición
Flexocompresión	F_{Rd}	kN	1800	5200	Ok
	$M_{Rd}(x)$	kNm	200	193	Reevaluar
	$M_{Rd}(y)$	kNm	250	193	Reevaluar
Cortante	$V_{Rd}(x)$	kN	180	210	Ok
	$V_{Rd}(y)$	kN	165	210	Ok
Anclaje barras	$l_b(x)$	m	0.85	0.25	Ok
	$l_b(y)$	m	0.85	0.25	Ok

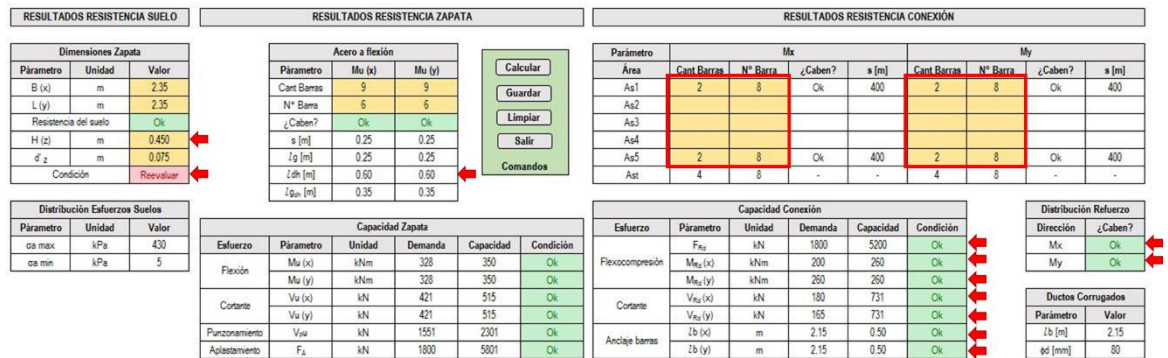
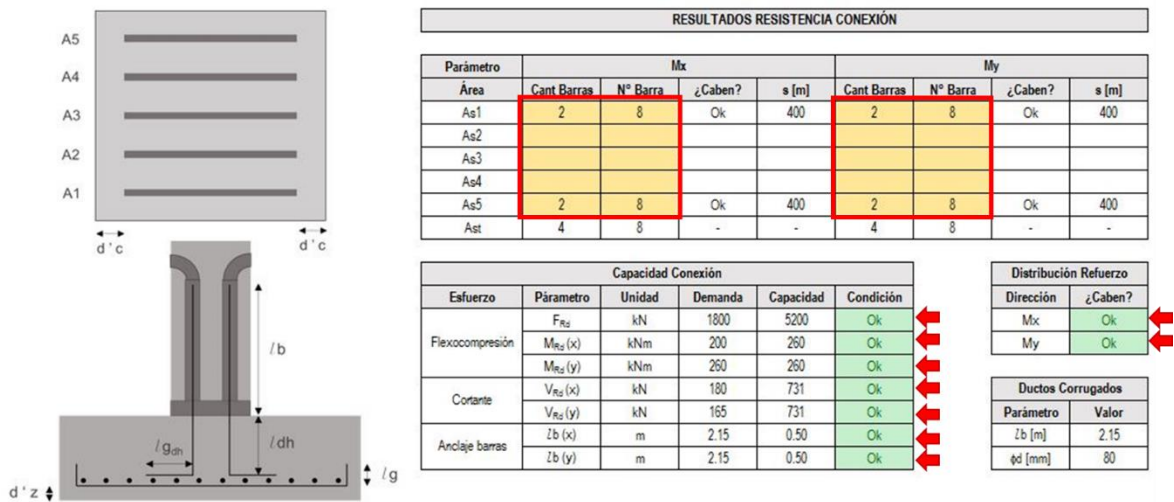
Distribución Refuerzo	
Dirección	$\zeta_{Caben?}$
Mx	Ok
My	Ok

Ductos Corrugados	
Parámetro	Valor
l_b [m]	0.85
ϕ_d [mm]	40

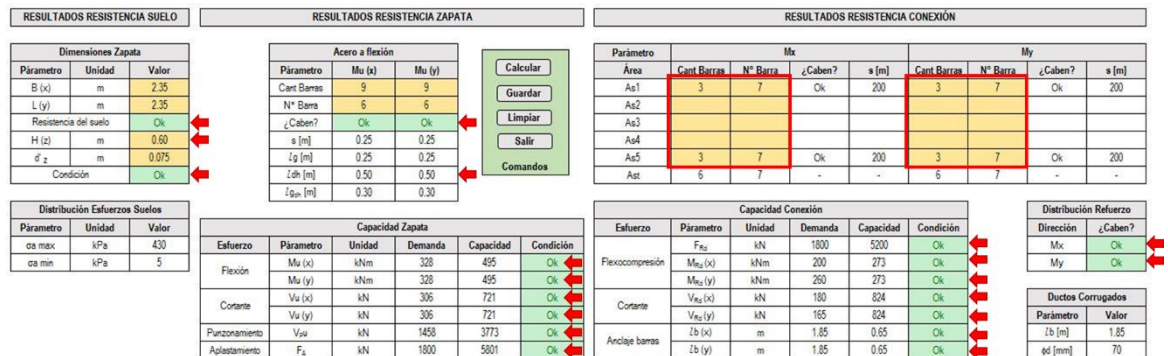
Si se da el último resultado se deberá cambiar de nuevo la cantidad de barras de refuerzo hasta que todas las celdas de "Condición" digan **Ok**.

Cabe mencionar, que la herramienta facilita el cálculo de la zapata y la conexión, más no de la columna, por ende, es labor del Ingeniero diseñador, adecuar los resultados arrojados por la herramienta en el diseño de la columna prefabricada.

Además, como las barras proyectadas son parte, tanto de la columna como de la zapata, la modificación del diámetro de las barras de anclaje en la columna, afectará la longitud embebida en la zapata, por lo que se deberá revisar si con la edición del cuadro "Resultados Resistencia Conexión" aún cumple la celda "Condición" del cuadro "Dimensiones Zapata".



Si no se cumple, se puede modificar la distribución del refuerzo de los ductos corrugados o la altura de la zapata, siempre que se sigan cumpliendo todos los demás condicionales que dependan de estos dos parámetros. La condición de la longitud embebida cumplirá, después de modificar alguno de estos valores, cuando la celda "Condición" del cuadro Dimensiones Zapata" aparezca **Ok**.



Garantizando todas las condiciones anteriores, el diseño estará cumpliendo con los requisitos estipulados por la NSR-10, por lo cual, ya estará listo para pasar a la etapa de dibujo del plano estructural.

9. Dar *click* al botón Guardar para almacenar el diseño en la base de datos del programa.

RESULTADOS RESISTENCIA SUELO			RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA				RESULTADOS RESISTENCIA CONEXIÓN																																																																																																																																																																																
Dimensiones Zapata <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>B (x)</td><td>m</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>L (y)</td><td>m</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>Resistencia del suelo</td><td></td><td>Ok</td></tr> <tr><td>H (z)</td><td>m</td><td>0.60</td></tr> <tr><td>d' z</td><td>m</td><td>0.075</td></tr> <tr><td>Condición</td><td></td><td>Ok</td></tr> </table>			Parámetro	Unidad	Valor	B (x)	m	2.35	L (y)	m	2.35	Resistencia del suelo		Ok	H (z)	m	0.60	d' z	m	0.075	Condición		Ok	Acero a flexión <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Mu (x)</th><th>Mu (y)</th></tr> <tr><td>Cant Barras</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>N° Barras</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>¿Caben?</td><td>Ok</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>s [m]</td><td>0.25</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>lg [m]</td><td>0.25</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>ldh [m]</td><td>0.50</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>lga [m]</td><td>0.30</td><td>0.30</td></tr> </table>				Parámetro	Mu (x)	Mu (y)	Cant Barras	9	9	N° Barras	6	6	¿Caben?	Ok	Ok	s [m]	0.25	0.25	lg [m]	0.25	0.25	ldh [m]	0.50	0.50	lga [m]	0.30	0.30	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Calcular Guardar Limpiar Salir Comandos </div>		<table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th colspan="4">Mx</th><th colspan="4">My</th></tr> <tr><th>Área</th><th>Cant Barras</th><th>N° Barra</th><th>¿Caben?</th><th>s [m]</th><th>Cant Barras</th><th>N° Barra</th><th>¿Caben?</th><th>s [m]</th></tr> <tr><td>As1</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td></tr> <tr><td>As2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As5</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td></tr> <tr><td>Ast</td><td>6</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>6</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td></tr> </table>				Parámetro	Mx				My				Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	As1	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200	As2									As3									As4									As5	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200	Ast	6	7	-	-	6	7	-	-	Capacidad Conexión <table border="1"> <tr><th>Esfuerzo</th><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Demanda</th><th>Capacidad</th><th>Condición</th></tr> <tr><td rowspan="3">Flexocompresión</td><td>F_{bx}</td><td>kN</td><td>1800</td><td>5200</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>M_{bx}(x)</td><td>kNm</td><td>200</td><td>273</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>M_{bx}(y)</td><td>kNm</td><td>250</td><td>273</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Cortante</td><td>V_{bx}(x)</td><td>kN</td><td>180</td><td>824</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>V_{bx}(y)</td><td>kN</td><td>165</td><td>824</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Anclaje barras</td><td>lb (x)</td><td>m</td><td>1.85</td><td>0.65</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>lb (y)</td><td>m</td><td>1.85</td><td>0.65</td><td>Ok</td></tr> </table>		Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Flexocompresión	F _{bx}	kN	1800	5200	Ok	M _{bx} (x)	kNm	200	273	Ok	M _{bx} (y)	kNm	250	273	Ok	Cortante	V _{bx} (x)	kN	180	824	Ok	V _{bx} (y)	kN	165	824	Ok	Anclaje barras	lb (x)	m	1.85	0.65	Ok	lb (y)	m	1.85	0.65	Ok	Distribución Refuerzo <table border="1"> <tr><th>Dirección</th><th>¿Caben?</th></tr> <tr><td>Mx</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>My</td><td>Ok</td></tr> </table>		Dirección	¿Caben?	Mx	Ok	My	Ok
Parámetro	Unidad	Valor																																																																																																																																																																																					
B (x)	m	2.35																																																																																																																																																																																					
L (y)	m	2.35																																																																																																																																																																																					
Resistencia del suelo		Ok																																																																																																																																																																																					
H (z)	m	0.60																																																																																																																																																																																					
d' z	m	0.075																																																																																																																																																																																					
Condición		Ok																																																																																																																																																																																					
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)																																																																																																																																																																																					
Cant Barras	9	9																																																																																																																																																																																					
N° Barras	6	6																																																																																																																																																																																					
¿Caben?	Ok	Ok																																																																																																																																																																																					
s [m]	0.25	0.25																																																																																																																																																																																					
lg [m]	0.25	0.25																																																																																																																																																																																					
ldh [m]	0.50	0.50																																																																																																																																																																																					
lga [m]	0.30	0.30																																																																																																																																																																																					
Parámetro	Mx				My																																																																																																																																																																																		
Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]																																																																																																																																																																															
As1	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200																																																																																																																																																																															
As2																																																																																																																																																																																							
As3																																																																																																																																																																																							
As4																																																																																																																																																																																							
As5	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200																																																																																																																																																																															
Ast	6	7	-	-	6	7	-	-																																																																																																																																																																															
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición																																																																																																																																																																																		
Flexocompresión	F _{bx}	kN	1800	5200	Ok																																																																																																																																																																																		
	M _{bx} (x)	kNm	200	273	Ok																																																																																																																																																																																		
	M _{bx} (y)	kNm	250	273	Ok																																																																																																																																																																																		
Cortante	V _{bx} (x)	kN	180	824	Ok																																																																																																																																																																																		
	V _{bx} (y)	kN	165	824	Ok																																																																																																																																																																																		
Anclaje barras	lb (x)	m	1.85	0.65	Ok																																																																																																																																																																																		
	lb (y)	m	1.85	0.65	Ok																																																																																																																																																																																		
Dirección	¿Caben?																																																																																																																																																																																						
Mx	Ok																																																																																																																																																																																						
My	Ok																																																																																																																																																																																						
Distribución Esfuerzos Suelos <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>ca max</td><td>kPa</td><td>430</td></tr> <tr><td>ca min</td><td>kPa</td><td>5</td></tr> </table>			Parámetro	Unidad	Valor	ca max	kPa	430	ca min	kPa	5	Capacidad Zapata <table border="1"> <tr><th>Esfuerzo</th><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Demanda</th><th>Capacidad</th><th>Condición</th></tr> <tr><td rowspan="2">Flexión</td><td>Mu (x)</td><td>kNm</td><td>328</td><td>495</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Mu (y)</td><td>kNm</td><td>328</td><td>495</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Cortante</td><td>Vu (x)</td><td>kN</td><td>306</td><td>721</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Vu (y)</td><td>kN</td><td>306</td><td>721</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Punzonamiento</td><td>V_{sl}</td><td>kN</td><td>1458</td><td>3773</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Aplastamiento</td><td>F_s</td><td>kN</td><td>1800</td><td>5801</td><td>Ok</td></tr> </table>				Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Flexión	Mu (x)	kNm	328	495	Ok	Mu (y)	kNm	328	495	Ok	Cortante	Vu (x)	kN	306	721	Ok	Vu (y)	kN	306	721	Ok	Punzonamiento	V _{sl}	kN	1458	3773	Ok	Aplastamiento	F _s	kN	1800	5801	Ok	Ductos Corrugados <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>lb [m]</td><td>1.85</td></tr> <tr><td>qd [mm]</td><td>70</td></tr> </table>		Parámetro	Valor	lb [m]	1.85	qd [mm]	70																																																																																																																								
Parámetro	Unidad	Valor																																																																																																																																																																																					
ca max	kPa	430																																																																																																																																																																																					
ca min	kPa	5																																																																																																																																																																																					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición																																																																																																																																																																																		
Flexión	Mu (x)	kNm	328	495	Ok																																																																																																																																																																																		
	Mu (y)	kNm	328	495	Ok																																																																																																																																																																																		
Cortante	Vu (x)	kN	306	721	Ok																																																																																																																																																																																		
	Vu (y)	kN	306	721	Ok																																																																																																																																																																																		
Punzonamiento	V _{sl}	kN	1458	3773	Ok																																																																																																																																																																																		
Aplastamiento	F _s	kN	1800	5801	Ok																																																																																																																																																																																		
Parámetro	Valor																																																																																																																																																																																						
lb [m]	1.85																																																																																																																																																																																						
qd [mm]	70																																																																																																																																																																																						

10. Dar *click* al botón Limpiar para borrar los datos introducidos en el diseño y empezar un diseño nuevo.

RESULTADOS RESISTENCIA SUELO			RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA				RESULTADOS RESISTENCIA CONEXIÓN																																																																																																																																																																																
Dimensiones Zapata <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>B (x)</td><td>m</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>L (y)</td><td>m</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>Resistencia del suelo</td><td></td><td>Ok</td></tr> <tr><td>H (z)</td><td>m</td><td>0.60</td></tr> <tr><td>d' z</td><td>m</td><td>0.075</td></tr> <tr><td>Condición</td><td></td><td>Ok</td></tr> </table>			Parámetro	Unidad	Valor	B (x)	m	2.35	L (y)	m	2.35	Resistencia del suelo		Ok	H (z)	m	0.60	d' z	m	0.075	Condición		Ok	Acero a flexión <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Mu (x)</th><th>Mu (y)</th></tr> <tr><td>Cant Barras</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>N° Barras</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>¿Caben?</td><td>Ok</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>s [m]</td><td>0.25</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>lg [m]</td><td>0.25</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>ldh [m]</td><td>0.50</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>lga [m]</td><td>0.30</td><td>0.30</td></tr> </table>				Parámetro	Mu (x)	Mu (y)	Cant Barras	9	9	N° Barras	6	6	¿Caben?	Ok	Ok	s [m]	0.25	0.25	lg [m]	0.25	0.25	ldh [m]	0.50	0.50	lga [m]	0.30	0.30	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Calcular Guardar Limpiar Salir Comandos </div>		<table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th colspan="4">Mx</th><th colspan="4">My</th></tr> <tr><th>Área</th><th>Cant Barras</th><th>N° Barra</th><th>¿Caben?</th><th>s [m]</th><th>Cant Barras</th><th>N° Barra</th><th>¿Caben?</th><th>s [m]</th></tr> <tr><td>As1</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td></tr> <tr><td>As2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As5</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td></tr> <tr><td>Ast</td><td>6</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>6</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td></tr> </table>				Parámetro	Mx				My				Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	As1	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200	As2									As3									As4									As5	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200	Ast	6	7	-	-	6	7	-	-	Capacidad Conexión <table border="1"> <tr><th>Esfuerzo</th><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Demanda</th><th>Capacidad</th><th>Condición</th></tr> <tr><td rowspan="3">Flexocompresión</td><td>F_{bx}</td><td>kN</td><td>1800</td><td>5200</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>M_{bx}(x)</td><td>kNm</td><td>200</td><td>273</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>M_{bx}(y)</td><td>kNm</td><td>250</td><td>273</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Cortante</td><td>V_{bx}(x)</td><td>kN</td><td>180</td><td>824</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>V_{bx}(y)</td><td>kN</td><td>165</td><td>824</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Anclaje barras</td><td>lb (x)</td><td>m</td><td>1.85</td><td>0.65</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>lb (y)</td><td>m</td><td>1.85</td><td>0.65</td><td>Ok</td></tr> </table>		Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Flexocompresión	F _{bx}	kN	1800	5200	Ok	M _{bx} (x)	kNm	200	273	Ok	M _{bx} (y)	kNm	250	273	Ok	Cortante	V _{bx} (x)	kN	180	824	Ok	V _{bx} (y)	kN	165	824	Ok	Anclaje barras	lb (x)	m	1.85	0.65	Ok	lb (y)	m	1.85	0.65	Ok	Distribución Refuerzo <table border="1"> <tr><th>Dirección</th><th>¿Caben?</th></tr> <tr><td>Mx</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>My</td><td>Ok</td></tr> </table>		Dirección	¿Caben?	Mx	Ok	My	Ok
Parámetro	Unidad	Valor																																																																																																																																																																																					
B (x)	m	2.35																																																																																																																																																																																					
L (y)	m	2.35																																																																																																																																																																																					
Resistencia del suelo		Ok																																																																																																																																																																																					
H (z)	m	0.60																																																																																																																																																																																					
d' z	m	0.075																																																																																																																																																																																					
Condición		Ok																																																																																																																																																																																					
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)																																																																																																																																																																																					
Cant Barras	9	9																																																																																																																																																																																					
N° Barras	6	6																																																																																																																																																																																					
¿Caben?	Ok	Ok																																																																																																																																																																																					
s [m]	0.25	0.25																																																																																																																																																																																					
lg [m]	0.25	0.25																																																																																																																																																																																					
ldh [m]	0.50	0.50																																																																																																																																																																																					
lga [m]	0.30	0.30																																																																																																																																																																																					
Parámetro	Mx				My																																																																																																																																																																																		
Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]																																																																																																																																																																															
As1	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200																																																																																																																																																																															
As2																																																																																																																																																																																							
As3																																																																																																																																																																																							
As4																																																																																																																																																																																							
As5	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200																																																																																																																																																																															
Ast	6	7	-	-	6	7	-	-																																																																																																																																																																															
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición																																																																																																																																																																																		
Flexocompresión	F _{bx}	kN	1800	5200	Ok																																																																																																																																																																																		
	M _{bx} (x)	kNm	200	273	Ok																																																																																																																																																																																		
	M _{bx} (y)	kNm	250	273	Ok																																																																																																																																																																																		
Cortante	V _{bx} (x)	kN	180	824	Ok																																																																																																																																																																																		
	V _{bx} (y)	kN	165	824	Ok																																																																																																																																																																																		
Anclaje barras	lb (x)	m	1.85	0.65	Ok																																																																																																																																																																																		
	lb (y)	m	1.85	0.65	Ok																																																																																																																																																																																		
Dirección	¿Caben?																																																																																																																																																																																						
Mx	Ok																																																																																																																																																																																						
My	Ok																																																																																																																																																																																						
Distribución Esfuerzos Suelos <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>ca max</td><td>kPa</td><td>430</td></tr> <tr><td>ca min</td><td>kPa</td><td>5</td></tr> </table>			Parámetro	Unidad	Valor	ca max	kPa	430	ca min	kPa	5	Capacidad Zapata <table border="1"> <tr><th>Esfuerzo</th><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Demanda</th><th>Capacidad</th><th>Condición</th></tr> <tr><td rowspan="2">Flexión</td><td>Mu (x)</td><td>kNm</td><td>328</td><td>495</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Mu (y)</td><td>kNm</td><td>328</td><td>495</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Cortante</td><td>Vu (x)</td><td>kN</td><td>306</td><td>721</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Vu (y)</td><td>kN</td><td>306</td><td>721</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Punzonamiento</td><td>V_{sl}</td><td>kN</td><td>1458</td><td>3773</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Aplastamiento</td><td>F_s</td><td>kN</td><td>1800</td><td>5801</td><td>Ok</td></tr> </table>				Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Flexión	Mu (x)	kNm	328	495	Ok	Mu (y)	kNm	328	495	Ok	Cortante	Vu (x)	kN	306	721	Ok	Vu (y)	kN	306	721	Ok	Punzonamiento	V _{sl}	kN	1458	3773	Ok	Aplastamiento	F _s	kN	1800	5801	Ok	Ductos Corrugados <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>lb [m]</td><td>1.85</td></tr> <tr><td>qd [mm]</td><td>70</td></tr> </table>		Parámetro	Valor	lb [m]	1.85	qd [mm]	70																																																																																																																								
Parámetro	Unidad	Valor																																																																																																																																																																																					
ca max	kPa	430																																																																																																																																																																																					
ca min	kPa	5																																																																																																																																																																																					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición																																																																																																																																																																																		
Flexión	Mu (x)	kNm	328	495	Ok																																																																																																																																																																																		
	Mu (y)	kNm	328	495	Ok																																																																																																																																																																																		
Cortante	Vu (x)	kN	306	721	Ok																																																																																																																																																																																		
	Vu (y)	kN	306	721	Ok																																																																																																																																																																																		
Punzonamiento	V _{sl}	kN	1458	3773	Ok																																																																																																																																																																																		
Aplastamiento	F _s	kN	1800	5801	Ok																																																																																																																																																																																		
Parámetro	Valor																																																																																																																																																																																						
lb [m]	1.85																																																																																																																																																																																						
qd [mm]	70																																																																																																																																																																																						

Sin embargo, si el nuevo diseño tiene parámetros semejantes al diseño ya hecho, no se necesita dar *click* al botón Limpiar, sino que se pueden modificar los parámetros diferentes y volver a recalcular y guardar, según el procedimiento descrito en los pasos 3 a 8.

11. Dar *click* al botón Salir para terminar con los diseños y volver a la interfaz Inicio.

RESULTADOS RESISTENCIA SUELO			RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA				RESULTADOS RESISTENCIA CONEXIÓN																																																																																																																																																																																
Dimensiones Zapata <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>B (x)</td><td>m</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>L (y)</td><td>m</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>Resistencia del suelo</td><td></td><td>Ok</td></tr> <tr><td>H (z)</td><td>m</td><td>0.60</td></tr> <tr><td>d' z</td><td>m</td><td>0.075</td></tr> <tr><td>Condición</td><td></td><td>Ok</td></tr> </table>			Parámetro	Unidad	Valor	B (x)	m	2.35	L (y)	m	2.35	Resistencia del suelo		Ok	H (z)	m	0.60	d' z	m	0.075	Condición		Ok	Acero a flexión <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Mu (x)</th><th>Mu (y)</th></tr> <tr><td>Cant Barras</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>N° Barras</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>¿Caben?</td><td>Ok</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>s [m]</td><td>0.25</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>lg [m]</td><td>0.25</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>ldh [m]</td><td>0.50</td><td>0.50</td></tr> <tr><td>lga [m]</td><td>0.30</td><td>0.30</td></tr> </table>				Parámetro	Mu (x)	Mu (y)	Cant Barras	9	9	N° Barras	6	6	¿Caben?	Ok	Ok	s [m]	0.25	0.25	lg [m]	0.25	0.25	ldh [m]	0.50	0.50	lga [m]	0.30	0.30	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> Calcular Guardar Limpiar Salir Comandos </div>		<table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th colspan="4">Mx</th><th colspan="4">My</th></tr> <tr><th>Área</th><th>Cant Barras</th><th>N° Barra</th><th>¿Caben?</th><th>s [m]</th><th>Cant Barras</th><th>N° Barra</th><th>¿Caben?</th><th>s [m]</th></tr> <tr><td>As1</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td></tr> <tr><td>As2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>As5</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td><td>3</td><td>7</td><td>Ok</td><td>200</td></tr> <tr><td>Ast</td><td>6</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td><td>6</td><td>7</td><td>-</td><td>-</td></tr> </table>				Parámetro	Mx				My				Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	As1	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200	As2									As3									As4									As5	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200	Ast	6	7	-	-	6	7	-	-	Capacidad Conexión <table border="1"> <tr><th>Esfuerzo</th><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Demanda</th><th>Capacidad</th><th>Condición</th></tr> <tr><td rowspan="3">Flexocompresión</td><td>F_{bx}</td><td>kN</td><td>1800</td><td>5200</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>M_{bx}(x)</td><td>kNm</td><td>200</td><td>273</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>M_{bx}(y)</td><td>kNm</td><td>250</td><td>273</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Cortante</td><td>V_{bx}(x)</td><td>kN</td><td>180</td><td>824</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>V_{bx}(y)</td><td>kN</td><td>165</td><td>824</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Anclaje barras</td><td>lb (x)</td><td>m</td><td>1.85</td><td>0.65</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>lb (y)</td><td>m</td><td>1.85</td><td>0.65</td><td>Ok</td></tr> </table>		Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Flexocompresión	F _{bx}	kN	1800	5200	Ok	M _{bx} (x)	kNm	200	273	Ok	M _{bx} (y)	kNm	250	273	Ok	Cortante	V _{bx} (x)	kN	180	824	Ok	V _{bx} (y)	kN	165	824	Ok	Anclaje barras	lb (x)	m	1.85	0.65	Ok	lb (y)	m	1.85	0.65	Ok	Distribución Refuerzo <table border="1"> <tr><th>Dirección</th><th>¿Caben?</th></tr> <tr><td>Mx</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>My</td><td>Ok</td></tr> </table>		Dirección	¿Caben?	Mx	Ok	My	Ok
Parámetro	Unidad	Valor																																																																																																																																																																																					
B (x)	m	2.35																																																																																																																																																																																					
L (y)	m	2.35																																																																																																																																																																																					
Resistencia del suelo		Ok																																																																																																																																																																																					
H (z)	m	0.60																																																																																																																																																																																					
d' z	m	0.075																																																																																																																																																																																					
Condición		Ok																																																																																																																																																																																					
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)																																																																																																																																																																																					
Cant Barras	9	9																																																																																																																																																																																					
N° Barras	6	6																																																																																																																																																																																					
¿Caben?	Ok	Ok																																																																																																																																																																																					
s [m]	0.25	0.25																																																																																																																																																																																					
lg [m]	0.25	0.25																																																																																																																																																																																					
ldh [m]	0.50	0.50																																																																																																																																																																																					
lga [m]	0.30	0.30																																																																																																																																																																																					
Parámetro	Mx				My																																																																																																																																																																																		
Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]																																																																																																																																																																															
As1	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200																																																																																																																																																																															
As2																																																																																																																																																																																							
As3																																																																																																																																																																																							
As4																																																																																																																																																																																							
As5	3	7	Ok	200	3	7	Ok	200																																																																																																																																																																															
Ast	6	7	-	-	6	7	-	-																																																																																																																																																																															
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición																																																																																																																																																																																		
Flexocompresión	F _{bx}	kN	1800	5200	Ok																																																																																																																																																																																		
	M _{bx} (x)	kNm	200	273	Ok																																																																																																																																																																																		
	M _{bx} (y)	kNm	250	273	Ok																																																																																																																																																																																		
Cortante	V _{bx} (x)	kN	180	824	Ok																																																																																																																																																																																		
	V _{bx} (y)	kN	165	824	Ok																																																																																																																																																																																		
Anclaje barras	lb (x)	m	1.85	0.65	Ok																																																																																																																																																																																		
	lb (y)	m	1.85	0.65	Ok																																																																																																																																																																																		
Dirección	¿Caben?																																																																																																																																																																																						
Mx	Ok																																																																																																																																																																																						
My	Ok																																																																																																																																																																																						
Distribución Esfuerzos Suelos <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>ca max</td><td>kPa</td><td>430</td></tr> <tr><td>ca min</td><td>kPa</td><td>5</td></tr> </table>			Parámetro	Unidad	Valor	ca max	kPa	430	ca min	kPa	5	Capacidad Zapata <table border="1"> <tr><th>Esfuerzo</th><th>Parámetro</th><th>Unidad</th><th>Demanda</th><th>Capacidad</th><th>Condición</th></tr> <tr><td rowspan="2">Flexión</td><td>Mu (x)</td><td>kNm</td><td>328</td><td>495</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Mu (y)</td><td>kNm</td><td>328</td><td>495</td><td>Ok</td></tr> <tr><td rowspan="2">Cortante</td><td>Vu (x)</td><td>kN</td><td>306</td><td>721</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Vu (y)</td><td>kN</td><td>306</td><td>721</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Punzonamiento</td><td>V_{sl}</td><td>kN</td><td>1458</td><td>3773</td><td>Ok</td></tr> <tr><td>Aplastamiento</td><td>F_s</td><td>kN</td><td>1800</td><td>5801</td><td>Ok</td></tr> </table>				Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Flexión	Mu (x)	kNm	328	495	Ok	Mu (y)	kNm	328	495	Ok	Cortante	Vu (x)	kN	306	721	Ok	Vu (y)	kN	306	721	Ok	Punzonamiento	V _{sl}	kN	1458	3773	Ok	Aplastamiento	F _s	kN	1800	5801	Ok	Ductos Corrugados <table border="1"> <tr><th>Parámetro</th><th>Valor</th></tr> <tr><td>lb [m]</td><td>1.85</td></tr> <tr><td>qd [mm]</td><td>70</td></tr> </table>		Parámetro	Valor	lb [m]	1.85	qd [mm]	70																																																																																																																								
Parámetro	Unidad	Valor																																																																																																																																																																																					
ca max	kPa	430																																																																																																																																																																																					
ca min	kPa	5																																																																																																																																																																																					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición																																																																																																																																																																																		
Flexión	Mu (x)	kNm	328	495	Ok																																																																																																																																																																																		
	Mu (y)	kNm	328	495	Ok																																																																																																																																																																																		
Cortante	Vu (x)	kN	306	721	Ok																																																																																																																																																																																		
	Vu (y)	kN	306	721	Ok																																																																																																																																																																																		
Punzonamiento	V _{sl}	kN	1458	3773	Ok																																																																																																																																																																																		
Aplastamiento	F _s	kN	1800	5801	Ok																																																																																																																																																																																		
Parámetro	Valor																																																																																																																																																																																						
lb [m]	1.85																																																																																																																																																																																						
qd [mm]	70																																																																																																																																																																																						

➤ **Procedimiento para buscar un diseño**

1. Dar *click* al botón Buscar diseño.



2. Dar *click* al botón Aceptar, después de leer atentamente el mensaje informativo

Microsoft Excel



Esta herramienta facilita el procedimiento de cálculo para cimentaciones superficiales prefabricadas, pero no reemplaza el juicio ingenieril del diseñador, ni se responsabiliza por el uso dado por el usuario

Aceptar

3. Dar *click* al botón Actualizar, para que se incluyan en la búsqueda los últimos diseños guardados en la base de datos del programa.

Información Cargas					
Parámetro	Unidad	Valor	Precisión	Valor final	¿En el rango?
Pu	kN				
Mx	kNm				
My	kNm				
Vx	kN				
Vy	kN				
σa	kPa				
¿Hay diseños que cumplan?					

Actualizar

Limpiar

Salir

Comandos

Estimación del tiempo proyectado		
Tiempo	Unidad	Valor
Zapata	HH:MM	
Conexión	HH:MM	
Imprevistos	HH	
Total	HH	

Estimación del costo proyectado		
Costo	Unidad	Valor
Acero	\$/kg	
Concreto	\$/m ³	
Tiempo	\$/HH	
Equipos	\$/h	
Total	\$	

ID	Capacidad					Nomenclatura			Mezcla		Anclaje Cimentación			
	Pa [kN]	Pu [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vx [kN]	Vy [kN]	σa [kPa]	Fecha	Nombre	Plano	Concreto f'c [MPa]	Mortero f'cm [MPa]	Barra	Gancho

Zapata							Conexión														
Dimensiones			Acero (x)				Acero (y)				Dimensiones			Acero (x)		Acero (y)		Ductos			
B [m] (x)	L [m] (y)	H [m] (z)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	z g [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	z g [m]	b (x)	z (y)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	Cant Barras	No Barra	z b (x)	z b (y)	

Datos Requeridos

Información del programa

Si no se da *click* en este botón antes de iniciar, la herramienta igual hace la búsqueda en la base de datos, pero no incluye los últimos diseños guardados en esta.

4. Introducir los valores de cargas, momentos, cortantes y el esfuerzo admisible del suelo, con un respectivo porcentaje, que equivale a la precisión de búsqueda de la herramienta. Esta precisión lo que hace es buscar los diseños en toda la base de datos, por medio de un

intervalo de los valores suministrados, así cuando el programa encuentre varios casos que cumplan las condiciones de carga, este puede entregar el más cercano (óptimo) de los que resulten en la búsqueda.

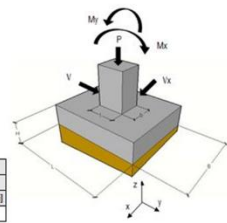
Cabe aclarar que entre más diseños haya en la base de datos, más bajo será el porcentaje de precisión, mientras, por el contrario, con menos diseños, la precisión de búsqueda del intervalo deberá ser con porcentajes altos.

Información Cargas						
Parámetro	Unidad	Valor	Precisión	Valor final	¿En el rango?	
Pu	kN	1450	10.0%	1595	Si	
Mx	kNm	105	10.0%	116	Fuera del rango	
My	kNm	270	10.0%	297	Fuera del rango	
Vx	kN	125	10.0%	138	Si	
Vy	kN	165	10.0%	182	Si	
σa	kPa	415	10.0%	457	Si	
¿Hay diseños que cumplan?						Este es el diseño más acorde

Actualizar
 Limpiar
 Salir
 Comandos

Estimación del tiempo proyectado		
Tiempo	Unidad	Valor
Zapata	h/m/m ²	
Conexión	h/m/m ²	
Imprevistos	H/h	
Total	HH	0

Estimación del costo proyectado		
Costo	Unidad	Valor
Acero	\$/kg	
Concreto	\$/m ³	
Tiempo	\$/h	
Equipos	\$/h	
Total	\$/	



ID	Capacidad							Nomenclatura			Mezcla		Ancaje Cimentación			
	Pu [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vx [kN]	Vy [kN]	σa [kPa]	Fecha	Nombre	Plano	Concreto f'c [MPa]	Mortero f'cm [MPa]	Barra I dh [m]	Barra I dh [m]	I Qm (x) [m]	I Qm (y) [m]	
4	1000	1500	120	320	130	180	10/05/2017	C4A	Z170510C4A	28	38	0.50	0.50	0.50	0.50	

Zapata								Conexión																	
Dimensiones				Acero (x)				Acero (y)				Dimensiones				Acero (x)				Acero (y)				Ductos	
B [m] (x)	L [m] (y)	H [m] (z)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	b (x)	l (y)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	Cant Barras	No Barra	l b (x)	l b (y)	φ [mm]				
3.3	3.3	0.4	0.075	8	8	0.45	0.5	8	8	0.45	0.5	0.5	0.5	0.05	4	8	4	8	0.45	80					

Datos Requeridos
Información del programa

Cuando las celdas de la columna “¿En el rango?” aparecen con **Si**, quiere decir que el diseño seleccionado de la base de datos cumple con las solicitaciones introducidas, además que los valores del resultado están dentro del porcentaje de precisión introducido. En el caso de que aparezca **Fuera del rango**, la herramienta está diciendo al usuario que el resultado cumple con las solicitaciones, pero su valor es mucho mayor al indicado dentro del intervalo con el porcentaje de precisión. En otras palabras, bajo este ejemplo podría explicarse de la siguiente manera:

Carga	Solicitación	Prec.	Intervalo búsqueda	Capacidad encontrada	¿En el rango?	Cumple
P_u	1450 kN	10%	$1450\text{ kN} \leq P_u \leq 1595\text{ kN}$	1500 kN	Si	Si
M_x	105 kNm	10%	$105\text{ kNm} \leq M_x \leq 116\text{ kNm}$	120 kNm	Fuera del rango	Si
M_y	270 kNm	10%	$270\text{ kNm} \leq M_y \leq 297\text{ kNm}$	320 kNm	Fuera del rango	Si
V_x	125 kN	10%	$125\text{ kN} \leq V_x \leq 138\text{ kN}$	130 kN	Si	Si
V_y	165 kN	10%	$165\text{ kN} \leq V_y \leq 182\text{ kN}$	180 kN	Si	Si
σ_a	415 kPa	10%	$415\text{ kPa} \leq \sigma_a \leq 457\text{ kPa}$	450 kPa	Si	Si

Para evitar que las celdas digan **Fuera del rango**, se debe aumentar la precisión, sin embargo, no es necesario para encontrar la respuesta. Al final, el resultado arrojado por el programa, será aquel que cumpla la mayor cantidad de criterios de búsqueda y que tenga los valores más cercanos por encima de las solicitaciones dadas por el usuario.

5. Ingresar los datos de tiempo y costos de construcción. Este paso es opcional y sugiere, con el requerimiento de algunos datos sencillos, de manera general, el tiempo y los costos estimados para la zapata hallada en la búsqueda.

Información Cargas					
Parámetro	Unidad	Valor	Precisión	Valor final	¿En el rango?
Pu	kN	1450	10.0%	1595	Si
Mx	kNm	105	10.0%	116	Fuera del rango
My	kNm	270	10.0%	297	Fuera del rango
Vx	kN	125	10.0%	138	Si
Vy	kN	165	10.0%	182	Si
oa	kPa	415	10.0%	457	Si
¿Hay diseños que cumplan?					

Actualizar

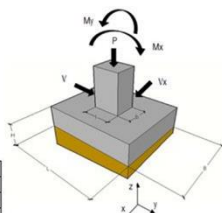
Limpiar

Salir

Comandos

Estimación del tiempo proyectado		
Tiempo	Unidad	Valor
Zapata	HH/m ²	8.5
Conexión	HH/m ²	0.04
Imprevistos	HH	10
Total	HH	47

Estimación del costo proyectado		
Costo	Unidad	Valor
Acero	\$/kg	\$ 2,850
Concreto	\$/m ³	\$ 710,000
Tiempo	\$/HH	\$ 6,150
Equipos	\$/h	\$ 650,000
Total	\$	\$ 6,838,949



ID	Capacidad							Nomenclatura			Mezcla		Anclaje Cimentación			
	Ps [kN]	Pu [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vx [kN]	Vy [kN]	oa [kPa]	Fecha	Nombre	Plano	Concreto f'c [MPa]	Mortero f'cm [MPa]	Barra	Gancho		
4	1000	1500	120	320	130	180	450	10/05/2017	C4A	Z170510C4A	28	38	0.50	0.50		

Zapata										Conexión											
Dimensiones					Acero (x)					Acero (y)					Ductos						
B [m] (x)	L [m] (y)	H [m] (z)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	b (x)	l (y)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	Cant Barras	No Barra	l b (x)	l b (y)	
3.3	3.3	0.4	0.075	8	8	0.45	0.5	8	8	0.45	0.5	0.5	0.5	0.05	4	4	8	4	8	0.45	80

Datos Requeridos

Información del programa

6. Dar **click** al botón Limpiar, el cual borra los datos introducidos en la búsqueda y en la estimación de tiempo y costos, para iniciar una búsqueda nueva.

Información Cargas					
Parámetro	Unidad	Valor	Precisión	Valor final	¿En el rango?
Pu	kN				
Mx	kNm				
My	kNm				
Vx	kN				
Vy	kN				
oa	kPa				
¿Hay diseños que cumplan?					

Actualizar

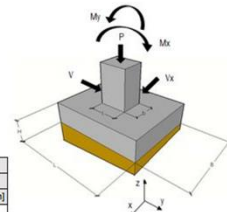
Limpiar

Salir

Comandos

Estimación del tiempo proyectado		
Tiempo	Unidad	Valor
Zapata	HH/m ²	
Conexión	HH/m ²	
Imprevistos	HH	
Total	HH	

Estimación del costo proyectado		
Costo	Unidad	Valor
Acero	\$/kg	
Concreto	\$/m ³	
Tiempo	\$/HH	
Equipos	\$/h	
Total	\$	



ID	Capacidad							Nomenclatura			Mezcla		Anclaje Cimentación			
	Ps [kN]	Pu [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vx [kN]	Vy [kN]	oa [kPa]	Fecha	Nombre	Plano	Concreto f'c [MPa]	Mortero f'cm [MPa]	Barra	Gancho		

Zapata										Conexión										
Dimensiones					Acero (x)					Acero (y)					Ductos					
B [m] (x)	L [m] (y)	H [m] (z)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	b (x)	l (y)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	Cant Barras	No Barra	l b (x)	l b (y)

Datos Requeridos

Información del programa

7. Dar **click** al botón Salir para terminar con la búsqueda y volver a la interfaz Inicio.

Información Cargas					
Parámetro	Unidad	Valor	Precisión	Valor final	¿En el rango?
Pu	kN				
Mx	kNm				
My	kNm				
Vx	kN				
Vy	kN				
oa	kPa				
¿Hay diseños que cumplan?					

Actualizar

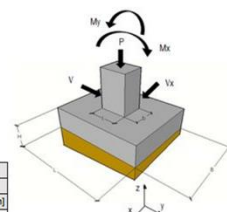
Limpiar

Salir

Comandos

Estimación del tiempo proyectado		
Tiempo	Unidad	Valor
Zapata	HH/m ²	
Conexión	HH/m ²	
Imprevistos	HH	
Total	HH	

Estimación del costo proyectado		
Costo	Unidad	Valor
Acero	\$/kg	
Concreto	\$/m ³	
Tiempo	\$/HH	
Equipos	\$/h	
Total	\$	



ID	Capacidad							Nomenclatura			Mezcla		Anclaje Cimentación			
	Ps [kN]	Pu [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vx [kN]	Vy [kN]	oa [kPa]	Fecha	Nombre	Plano	Concreto f'c [MPa]	Mortero f'cm [MPa]	Barra	Gancho		

Zapata										Conexión										
Dimensiones					Acero (x)					Acero (y)					Ductos					
B [m] (x)	L [m] (y)	H [m] (z)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	lg [m]	b (x)	l (y)	d'z [m]	Cant Barras	No Barra	Cant Barras	No Barra	l b (x)	l b (y)

Datos Requeridos

Información del programa

➤ **Procedimiento para abrir el instructivo**

1. Dar *click* a Instructivo para que se abra el cuadro de dialogo con el Manual de usuario.



3.4.2 Diseños propuestos

➤ **Información de entrada**

Nombre	Estructura
D001	Bodega
D002	Bodega
D003	Casa (2 Pisos)
D004	Parqueadero (3 Pisos)
D005	Parqueadero (3 Pisos)
D006	Planta Industrial
D007	Planta Industrial

Parámetro	Dimensiones Columna		Cargas					
	Nombre	b (x) [m]	l (y) [m]	Pu [kN]	Mu (x) [kNm]	Mu (y) [kNm]	Vu (x) [kN]	Vu (y) [kN]
D001		0.50	0.50	1028	31	31	0	0
D002		0.40	0.40	741	43	20	0	0
D003		0.45	0.45	405	30	128	72	20
D004		0.80	0.40	2085	761	2	0	0
D005		0.80	0.40	1644	672	1	0	0
D006		0.70	0.50	3102	480	202	0	0
D007		0.60	1.30	1959	188	1279	0	0

➤ Resultados

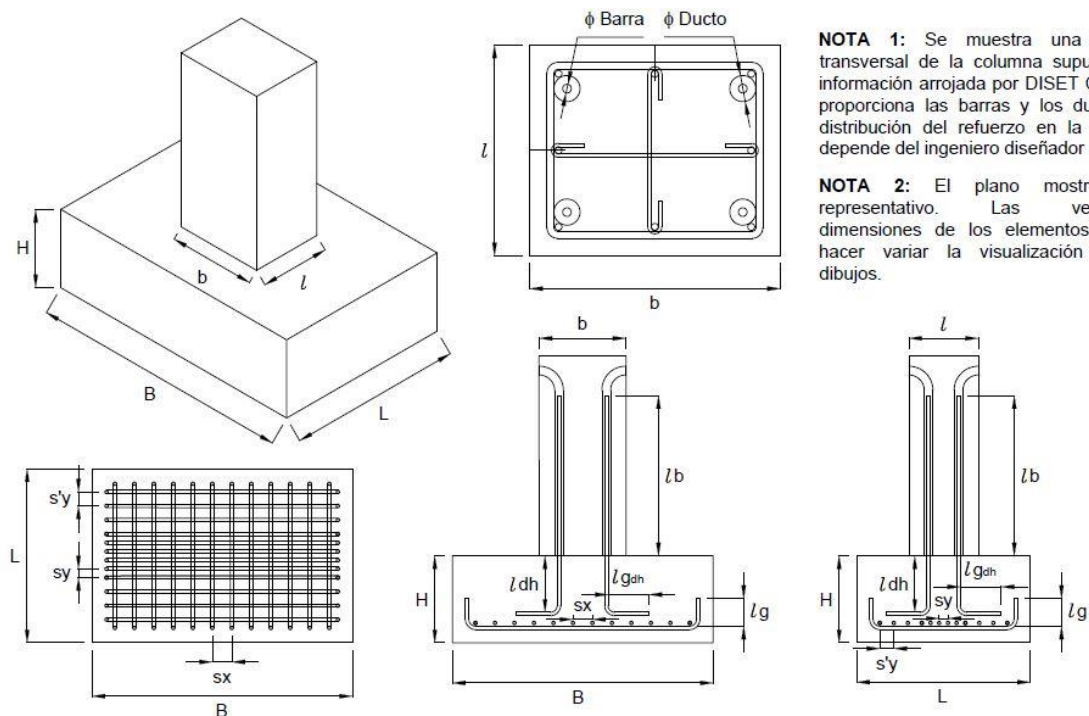
Parámetro	Dimensiones					Propiedades conexión		
	Nombre	B [m]	L [m]	H [m]	d'z [m]	d'c [m]	f 'c [MPa]	f 'cm [MPa]
D001	2.1	2.1	0.40	0.075	0.05	21	32	420
D002	1.9	1.9	0.40	0.075	0.05	21	32	420
D003	4.5	4.5	0.45	0.075	0.05	21	32	420
D004	4.0	2.0	0.60	0.075	0.05	28	35	420
D005	3.8	1.6	0.55	0.075	0.05	28	35	420
D006	2.4	2.4	0.55	0.075	0.05	28	35	420
D007	5.0	7.5	0.60	0.075	0.05	28	35	420

Diseño	Distribución Refuerzo Lado Corto								
	Área Total		Ganchos	Zona Central		Extremo Izquierdo		Extremo Derecho	
Nombre	Cantidad	Barra	lg [m]	Cantidad	s [mm]	Cantidad	s' [mm]	Cantidad	s' [mm]
D001	12	4	0.20	12	170	0	0	0	0
D002	8	4	0.20	8	250	0	0	0	0
D003	11	4	0.20	11	430	0	0	0	0
D004	14	6	0.25	9	220	3	1310	2.5	1310
D005	16	5	0.20	9	170	4	860	3.5	860
D006	10	6	0.25	10	240	0	0	0	0
D007	10	8	0.35	8	670	1	2480	1	2480

Diseño	Distribución Refuerzo Lado Largo			
	Área Total			Ganchos
Nombre	Cantidad	Barra	s [mm]	lg [m]
D001	12	4	170	0.20
D002	5	4	450	0.20
D003	11	4	430	0.20
D004	4	4	1300	0.25
D005	10	4	400	0.20
D006	12	6	190	0.25
D007	13	8	590	0.35

Diseño	Desarrollo del traslape				
	Anclaje	Ganchos	Traslape	Barra	Ductos
Nombre	l_{dh} [m]	$l_{g_{dh}}$ [m]	l_b [m]	ϕ Barra [N°]	ϕ Ducto [mm]
D001	0.30	0.20	0.85	4	40
D002	0.25	0.20	0.75	4	40
D003	0.35	0.20	1.05	5	50
D004	0.45	0.30	1.65	7	70
D005	0.45	0.30	1.65	7	70
D006	0.35	0.20	0.95	5	50
D007	0.40	0.25	1.10	6	60

➤ Plano estructural



3.4.3 DISET CSP en el futuro

Con esta herramienta se busca aumentar el alcance de los usuarios que pueden utilizarlo, también la productividad en las operaciones de diseño y además promover la disminución de las condiciones de capacitación para el uso de software de diseño. Es cierto que actualmente la herramienta agiliza el proceso de cálculo para cimentaciones superficiales prefabricadas, pero se limita en varios aspectos del diseño.

Por esta razón, en el futuro de DISET CSP a mediano plazo, se plantea el dibujo automatizado de los planos estructurales, es decir, mediante un código fuente que integre

la información resultante de la herramienta, con el software AutoCAD para el dibujo y detallado de los planos estructurales.

Por último, DISET CSP, proyectado a largo plazo, buscará ser una de las herramientas más completas para el diseño de conexiones en cimentaciones superficiales prefabricadas del medio local, incluyendo la conexión de fundaciones con muros y otros elementos que conformen el sistema estructural de la edificación.

4. CONCLUSIONES

En la búsqueda de las tipologías de conexión prefabricada entre cimentaciones y columnas se encontró muy poca documentación que hablara explícitamente del tema. Se organizó una búsqueda generalizada de conexiones prefabricadas que arrojó cerca de 96 textos.

A partir de los resultados encontrados, se seleccionaron inicialmente cerca de 26 documentos, incluyendo artículos científicos, presentaciones en congresos, tesis de maestría y doctorado, manuales de diseño y construcción, informes y libros, que mencionaran la conexión entre columnas y cimentaciones superficiales.

Adicionalmente se hizo una segunda clasificación, en los que resultaron cerca de 12 títulos, en donde se mostraban las diferentes metodologías para este tipo de conexión, con el respectivo funcionamiento estructural, los procedimientos de cálculo, los modos de falla y algunos resultados experimentales para cada una de ellas.

Bajo este procedimiento **se encontraron 6 tipologías de conexión usadas internacionalmente para el ensamble de columnas y zapatas prefabricadas**; la conexión tipo candelero, la conexión con placa base, la conexión con proyección de barras, la conexión con acoples mecánicos, la conexión con cajones pernados y la conexión post-tensada.

Este proceso de búsqueda atestiguó que la investigación de la conexión entre columnas y cimentaciones superficiales prefabricadas aún es limitada, a pesar de que ya se tienen muchos avances en temas prefabricados. Por tal razón, es importante que esta rama investigativa de la prefabricación siga ganando fuerza, a través del aporte de nuevos sistemas de conexión, más experimentación, más modelación y más estudios detallados de tiempo y costo, que permitan introducir en el contexto local sistemas estructurales más eficientes y productivos, como el de cimentaciones superficiales prefabricadas, en uno de los capítulos constructivos más representativos para las edificaciones.

Además, el resultado de la búsqueda determinó que las conexiones emulativas mostraron ser las más usadas internacionalmente, debido quizás, a la incertidumbre que aún generan las conexiones no emulativas en el campo ingenieril, sin embargo, la mitad de las metodologías encontradas para la conexión de columnas y zapatas prefabricadas correspondió a conexiones mecánicas (no emulativas). Esta condición podría ser explicada por el avance tecnológico de los dispositivos de conexión, el cual busca un comportamiento cada vez más cercano a una conexión *in-situ*, aportando más rapidez a los procesos de manufactura e instalación y disminuyendo los efectos económicos en la fundación. Uno de estos casos es el de la conexión post-tensada, la cual ha sido ampliamente investigada para otros sistemas de conexión diferentes al de columnas y cimentaciones, pero que va creciendo poco a poco en este ámbito, empezándose a postular como uno de los sistemas que mejor representen este tipo de metodologías.

Consecuentemente, en la identificación de la tipología de conexión más acorde al medio local, se propuso un modelo de evaluación basado en los aspectos fundamentales nombrados por el inglés Kim Elliot, a partir de allí se examinaron los parámetros fundamentales de la prefabricación, que sometidos a un criterio de evaluación cualitativo, serían calificados bajo un análisis multicriterio ponderado que ayudaría a determinar la tipología de conexión con las características más sobresalientes respecto a las otras tipologías examinadas.

Este modelo evaluativo, permitió considerar algunas condiciones que pueden afectar la decisión de un sistema estructural prefabricado, argumentando las diferentes características que ofrecían las diversas metodologías halladas y facilitando una posición más objetiva respecto a la decisión. Es por ello, que el uso de este modelo también abre una invitación al gremio constructor, en el que con la información existente se alimente planteamientos y modelos estratégicos que favorezcan la toma de decisiones, enfrentando el criterio con argumentos numéricos y estadísticos que permitan determinar un camino más viable y productivo para las edificaciones.

El resultado de este análisis determinó a **la tipología de conexión con barras proyectadas como la elegida**, con un puntaje de 3.98 respecto a una escala evaluativa ascendente, la cual iba desde 1 hasta 5. Con este valor, esta tipología demostró cumplir con cerca del 80% de los parámetros establecidos en el modelo planteado.

Sin embargo, el resultado del análisis también podría concluir con la sugerencia de la posible implementación de las otras tipologías en el medio actual, siempre que, para las conexiones que no superaron el 65%, se provean las condiciones técnicas y tecnológicas necesarias, para que cumplan con un poco más de los requerimientos mínimos de funcionamiento establecidos en el modelo.

De manera seguida, **el diseño de la tipología elegida se basó en la resistencia de la zapata y de la conexión con la columna prefabricada**. La zapata se diseñó, según los requerimientos de la NSR-10, para resistir los esfuerzos de flexión, cortante unidireccional, cortante bidireccional (o punzonamiento) y aplastamiento, mientras la conexión se diseñó según el procedimiento estipulado por la Comisión Europea, en el que ésta debía soportar los esfuerzos de flexo-compresión y cortante, además del aplastamiento del material de lleno, adaptando sus metodologías a los requisitos exigidos por la NSR-10.

A pesar del cumplimiento de la normativa para el diseño de las cimentaciones superficiales prefabricadas, se identificó que todavía existen vacíos que entorpecen la amplia comprensión del comportamiento estructural de las cimentaciones. Uno de estos vacíos podría atribuirse a la mala comunicación entre la ingeniería geotécnica y la ingeniería estructural, ya que, ambas al ser fundamentales para el adecuado desarrollo de las cimentaciones, terminan ejerciendo labores independientes y no interdependientes, como realmente debería ser, dejando efectos conjuntos importantes de lado como el de los asentamientos. Para esta problemática se encuentra una conclusión que plantea seguir

trabajando en modelos simplificados de interacción suelo-estructura, que incluyan no los aspectos disociados del suelo y de la fundación, sino por el contrario los aspectos unificados y complementados entre sí, examinando también, escenarios dinámicos y no solo pseudo-estáticos, además de un planteamiento estructural que se enfoque en el método por desplazamiento y no por resistencia, como se hace actualmente.

Adicionalmente, **el diseño de ambas partes de la estructura se sintetizó bajo la herramienta de apoyo DISET CSP**, la cual facilita y agiliza los procedimientos de cálculo. **En esta misma herramienta, se construyó una plataforma que permite almacenar los diseños realizados en una base de datos**, los cuales pueden ser buscados posteriormente por el usuario, suministrando acceso rápido a grandes cantidades de información y la facilidad para hacer comparaciones técnicas que ayuden en el análisis y la toma de decisiones.

Por último, **se elaboró un instructivo o manual de usuario breve y conciso, que muestra las funciones de cada parte de la herramienta y da una guía paso a paso para el diseño y/o la búsqueda de una conexión para cimentaciones superficiales prefabricadas**. Adicionalmente, se validaron sus resultados con el diseño de algunos problemas propuestos, que también alimentarían por primera vez a la base de datos.

El uso de herramientas de diseño sencillas y rápidas, como DISET CSP, favorece a una mayor masificación del conocimiento, a la ágil implementación, a un proceso de capacitación menos demorado y la complementación de los diseños con programas computacionales más complejos

5. RECOMENDACIONES

Con el desarrollo de este trabajo se abre la puerta a la implementación de zapatas prefabricadas en el ámbito colombiano. Sin embargo, la exploración en este tema aún es limitada y requiere de mayor esfuerzo, documentación y experiencia por parte de la población ingenieril.

Por esta razón, la invitación con este documento es propiciar futuras investigaciones que apunten al establecimiento de modelos teóricos y computacionales que puedan sustentar una base más sólida para esta temática. Adicionalmente, la invitación se extiende a que el próximo paso sea la validación experimental y un estudio detallado de los costos, no solo de la tipología de conexión aquí mostrada, sino también de las restantes o incluso de las nuevas que pudieran surgir.

6. REFERENCIAS

- BCA. (2001). *Structural Precast Concrete Handbook*. Singapore: Technology Development Division of the Building and Construction Authority.
- Blandón, C., Penagos, J., Gómez, N., & Peláez, A. (2015). *Comportamiento de vigas cajón y prelosas prefabricadas por etapas*. Obtenido de Informe de Resultados de Investigación Experimental. Universidad EIA - Concreto.
- Cámara Colombiana de la Construcción. (01 de Diciembre de 2016). Construcción crecerá 4,4% en 2017: Camacol. *Nuevo Siglo*. Obtenido de <http://www.elnuevosiglo.com.co/index.php/articulos/12-2016-construccion-crecera-4-4-en-2017-camacol>
- Cano, A. (2015). *Análisis y diseño de un edificio con sistemas de piso a base de elementos presforzados de concreto prefabricados*. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional: <http://tesis.ipn.mx:8080/xmlui/handle/123456789/16119>
- Cayupel, R. (2012). *Evaluación técnico económica de fundaciones prefabricadas para torres de transmisión eléctrica tipo suspensión*. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2012/bmfccic385e/doc/bmfccic385e.pdf>
- CPCI. (2009). *Designing with precast concrete structural solutions*. Ottawa: Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute.
- Das, B. (2001). Cimentaciones superficiales. En *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica* (págs. 389 - 391).
- Delgado, M. (1996). Tipos de fundación superficial. En *Ingeniería de Fundaciones* (págs. 111 - 115).
- EC. (2012). *Design Guidelines for Connections of Precast Structures under Seismic Actions*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- Elliott, K. (2002). *Precast Concrete Structures*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- FIB. (2003). Seismic design of precast concrete building structures. *FIB Publications, Bulletin N° 27*, 201 - 203.
- Garza, L. (2012). *Diseño de estructuras de cimentación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia.
- Gerardo, D., Pérez, J., Martínez, J., Miranda, G., & Zenil, A. (Noviembre de 2010). *Diseño estructural de vivienda prefabricada con elementos de concreto*. Obtenido de XVII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural: http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_16/te_04/ar_02.pdf

- Giacaman, N. (2014). *Fundaciones prefabricadas en viviendas, una posible alternativa para disminuir los tiempos y costos en construcción*. Obtenido de Universidad de Talca: <http://dspace.otalca.cl/handle/1950/10439>
- Hsieh-Lung, H., & Wan, J.-H. (2006). Improving seismic performance of post-tensioned column to base connection. *4th International Conference on Earthquake Engineering*.
- Hubert, L. (2014). *Design and construction preferences for connections in the precast concrete industry of South Africa*. Stellenbosch University.
- Mc Cormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Nieto, J. (Junio de 2014). *Diseño de una vivienda de dos plantas con soluciones prefabricadas*. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20398>
- Nishiyama, M., & Watanabe, F. (2003). Seismic performance of precast column-foundation connection assembled by post-tensioning. *Engineering Conferences International*.
- PCI. (2004). *PCI Design Handbook: Precast and Prestressed Concrete*. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute.
- PCI. (2008). *Connections Manual for Precast and Prestressed Concrete Construction*. Chicago: Precast/Prestressed Concrete Institute.
- Peikko Group. (Enero de 2017). *HPKM Column Shoe*. Obtenido de Bolted column connections designed according to ACI 318M-11: https://media.peikko.com/file/dl/i/pV7yJw/tr686WR7XAKII_XYIR8oNQ/HPKMColumnShoeACI-M
- Pérez, M., & Ochoa, R. (2006). Prefabricación, base del cambio en la construcción. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto*, 36 - 48.
- Precast Concrete Institute. (2008). *PCI Connections Manual for precast and prestressed concrete construction*. Estados Unidos de América: PCI. Recuperado el 02 de Octubre de 2016
- Ramírez, M. (Diciembre de 2004). *Modelo de diseño preliminar y estimación de costos para edificios prefabricados de concreto*. Obtenido de Instituto Tecnológico de Costa Rica: <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/260>
- Rodriguez, M. (2014). Comportamiento sísmico de estructuras prefabricadas de concreto. *Reunión del Concreto 2014* (págs. 45-66). Cartagena: Asocreto.

Rodríguez, M., & Blandón, J. (2003). Evaluación del comportamiento de conexiones prefabricadas y del sistema de piso. Recomendaciones de diseño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 93 - 118.

Romero, A., Bonet, J., Martí-Vargas, J., & Faria, R. (Octubre de 2012). *Estudio experimental de uniones soporte-cimentación en elementos prefabricados de hormigón*. Obtenido de Encuentro Nacional de Concreto Estructural: http://paginas.fe.up.pt/~be2012/Indice/BE2012/pdf-files/002_Artigo.pdf

Universidad EIA. (2014). *Estructuras*. Recuperado el 28 de Abril de 2017, de Hormigón II: <http://estructuras.eia.edu.co/hormigonII/fundaciones/zapatasm20concentricas/zapatasm1.htm>

Universidad EIA. (18 de Mayo de 2016). Pruebas experimentales de conexión entre columna y viga prefabricadas. Envigado, Antioquia, Colombia.

7. ANEXOS



Anexo 1. Interfaz Inicio.

DATOS DE ENTRADA		
Nomenclatura		D008
Fecha	Nombre	Plano
Información General		
Parámetro	Unidad	Valor
b (x)	m	
l (y)	m	
d' c	m	
f' c	MPa	
f' cm	MPa	
f y	MPa	420
E	MPa	200000
αc	-	0.003
φc	-	0.75
φs	-	0.65
λ	-	1
υt	-	1.0
υe	-	1.0
Capacidad de disipación		DMO

Información Cargas		
Parámetro	Unidad	Valor
Ps	kN	
Pu	kN	
¿Incluye cargas sísmicas?		
Mx	kNm	
My	kNm	
Vx	kN	
Vy	kN	
αa	kPa	

RESULTADOS RESISTENCIA SUELO		
Dimensiones Zapata		
Parámetro	Unidad	Valor
B (x)	m	
L (y)	m	
Resistencia del suelo		
H (z)	m	
d' z	m	
Condición		
Distribución Esfuerzos Suelos		
Parámetro	Unidad	Valor
αa max	kPa	
αa min	kPa	

Datos Requeridos		
Datos Sugeridos		
Información del programa		

Anexo 2. Interfaz Diseño - Primera parte.

RESULTADOS RESISTENCIA ZAPATA					
Acero a flexión			<input type="button" value="Calcular"/> <input type="button" value="Guardar"/> <input type="button" value="Limpiar"/> <input type="button" value="Salir"/> <input type="button" value="Comandos"/>		
Parámetro	Mu (x)	Mu (y)			
Cant Barras					
N° Barra					
¿Caben?					
s [m]					
lg [m]					
ldh [m]					
lga [m]					
Capacidad Zapata					
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición
Flexión	Mu (x)	kNm			
	Mu (y)	kNm			
Cortante	Vu (x)	kN			
	Vu (y)	kN			
Punzonamiento	Vu	kN			
Aplastamiento	Fs	kN			

RESULTADOS RESISTENCIA CONEXIÓN									
Parámetro	Mx				My				
	Área	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]	Cant Barras	N° Barra	¿Caben?	s [m]
As1									
As2									
As3									
As4									
As5									
Asl									
Capacidad Conexión									
Esfuerzo	Parámetro	Unidad	Demanda	Capacidad	Condición	Distribución Refuerzo			
Flexocompresión	Fes	kN				Dirección	¿Caben?		
	Mux (x)	kNm				Mx			
	Muy (y)	kNm				My			
Cortante	Vux (x)	kN				Ductos Corrugados			
	Vuy (y)	kN				Parámetro	Valor		
Ancilaje barras	lB (x)	m				lB [m]			
	lB (y)	m				lB [mm]			

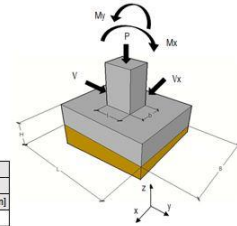
Anexo 3. Interfaz Diseño – Segunda parte.

Información Cargas				
Parámetro	Unidad	Valor	Precisión	Valor final ¿En el rango?
Pu	kN			0
Mx	kNm			0
My	kNm			0
Vx	kN			0
Vy	kN			0
ca	kPa			0
¿Hay diseños que cumplan?				

Comandos

Estimación del tiempo proyectado		
Tiempo	Unidad	Valor
Zapata	HH/m ²	
Conexión	HH/m ²	
Imprevistos	HH	
Total	HH	

Estimación del costo proyectado		
Costo	Unidad	Valor
Acero	\$/kg	
Concreto	\$/m ³	
Tiempo	\$/HH	
Equipos	\$/h	
Total	\$	



ID	Capacidad						Nomenclatura			Mezcla		Anclaje Cimentación				
	Pa [kN]	Pu [kN]	Mx [kNm]	My [kNm]	Vx [kN]	Vy [kN]	ca [kPa]	Fecha	Nombre	Plano	Concreto f'c [MPa]	Mortero f'cm [MPa]	Barras L dh [m]	L dh [m]	L g _{ax} [m]	L g _{ay} [m]

Zapata										Conexión												
Dimensiones					Acero (x)					Acero (y)					Dimensiones		Acero (x)		Acero (y)		Ductos	
B [m] (x)	L [m] (y)	H [m] (z)	d' z [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	L g [m]	Cant Barras	No Barra	a [m]	L g [m]	b (x)	L (y)	d' c [m]	Cant Barras	No Barra	Cant Barras	No Barra	L b (x)	φ _s [mm]		

Datos Requeridos
Información del programa

Anexo 4. Interfaz Búsqueda