

**UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES  
ISOSTÁTICAS SOPORTADAS POR PROGRAMA DE  
SIMULACIÓN COMPUTARIZADO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS**

**AUTORES:**

BR. MERINO CABALLERO, LUIS ORLANDO

BR. RUIZ VERGARA, GONZALO ELIAZAR

**ASESOR:**

ING. CANCINO RODAS, CESAR LEONIDAS

**TRUJILLO - PERÚ**

**2015**

**Tesis: “DISEÑO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES  
ISOSTÁTICAS SOPORTADAS POR PROGRAMA DE  
SIMULACIÓN COMPUTARIZADO”**

Por:

---

BR. MERINO CABALLERO, LUIS ORLANDO

---

BR. RUIZ VERGARA, GONZALO ELIAZAR

**Jurado Evaluador**

**Presidente:**

**Ing. Vargas Cárdenas, Carlos**

**CIP: 34579**

---

**Secretario:**

**Ing. Hurtado Zamora, Oswaldo**

**CIP: 63712**

---

**Vocal:**

**Ing. Paredes Estacio, Jorge Luis**

**CIP: 90402**

---

**Asesor:**

**Ing. Cancino Rodas, Cesar leonidas**

**CIP: 77103**

---

## **DEDICATORIA**

A **DIOS**, por permitirnos culminar nuestra carrera y porque su presencia nos acompaña cada día de nuestra vidas.

A **nuestros PADRES**, por su amor, paciencia, comprensión y apoyo incondicional en cada momento de nuestras vidas.

Al **Ing. Cesar Leónidas Cancino Rodas**, por su valiosa colaboración en la asesoría, revisión y corrección de la presente tesis.

A **la Facultad de Ingeniería**, por darnos la oportunidad de haber recibido una buena formación académica profesional

A **la Universidad Privada Antenor Orrego**, por darnos la oportunidad de haber estudiado en tan prestigiosa casa de estudios.

A cada una de las personas que estuvieron presentes en nuestra enseñanza a lo largo de nuestras vidas.

**Los Autores**

## AGRADECIMIENTOS

A mi **DIOS**, por ser mi guía y estar conmigo en cada etapa de mi vida, me ha cuidado y bendecido más de lo que me he imaginado, me ha provisto de sabiduría e inteligencia, lo cual me ha permitido llegar hasta aquí, me ha las fuerzas para vencer los obstáculos y no rendirme ante ellos, y más que todo me ha enseñado a confiar y depender sólo de él. Mi DIOS es todo para mí.

A mis padres **ANA MARIA CABALLERO VERA** y **MARCIAL MERINO VARGAS**, por su amor, comprensión, apoyo incondicional y su confianza depositada en mí. Gracias por brindarme sus sabios consejos, por inculcarme los valores y principios que han hecho de mí una buena persona y más que todo, gracias por encaminarme en las cosas de Dios, dándome así el mejor regalo que pude haber recibido.

A mis hermanos **MAGALY, JOSE, JANETH** y **JAVIER**, por el cariño que me demuestran día a día, por sus consejitos, votos de confianza y apoyo en mis decisiones.

A mi tía **FLOR CABALLERO VERA** y a mi mamita **MARGARITA VERA REYES**, por su inmensa ayuda tanto en mi vida como persona y profesional.

A **JUANA MARIN VASQUEZ** y **FELIX HONORIO CUEVAS**, que fueron como unos padres mientras duro mi formación profesional, infinitas gracias a ellos por guiarme por buenos pasos, sobre todo la enseñanza de la palabra de Dios.

A toda mi **FAMILIA**, por sus constantes muestras de confianza, por estar al pendiente de toda lo que me sucede, viviendo junto conmigo mis triunfos y, animándome y ayudándome a salir adelante cuando sentía que ya no podía más. Gracias por cada uno de los consejos que en momentos oportunos me han brindado y que han hecho de mí una mejor persona.

**Br. Merino Caballero, Luis Orlando**

A mi **MADRE** Sylvia Vergara Rodríguez, agradecerle Infinitamente porque con amor y sacrificio ha luchado día a día para velar por el bienestar de nuestra familia. Porque me ha inculcado valores y me ha orientado y lo sigue haciendo incansablemente para lograr concluir con éxito mi carrera profesional.

A mis **HERMANOS** Marcos, Luis y Gracia por su comprensión, Cariño y apoyo incondicional durante mi Formación profesional.

A mis **TIOS** Kelly Ruiz Negreiros y Roberto Pérez Cuba Por haberme recibido en su hogar común hijo más y por todo su cariño y comprensión; por todos los consejos que me han dado, les voy a estar muy agradecido toda mi vida.

**Br. Ruiz Vergara, Gonzalo Eliazar**

## CONTENIDO

|   |        |
|---|--------|
| DEDICATORIA .....   | II     |
| AGRADECIMIENTOS .....   | III    |
| RESUMEN .....   | XVI    |
| ABSTRACT .....  | XVII   |
| INTRODUCCION .....  | XVIII  |
| FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                                  | XXVI   |
| OBJETIVOS .....   | XXVI   |
| JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....                         | XXVII  |
| MATERIAL Y PROCEDIMIENTO.....                                   | XXVIII |
| 1.1.    GENERALIDADES DE LAS CIMENTACIONES.....                 | 1      |
| CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO.....                                  | 3      |
| CAPÍTULO 3: ZAPATAS AISLADAS CENTRADAS.....                     | 7      |
| 3.1.    ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA CUADRADA” ...         | 8      |
| 3.1.1    DATOS DE ENTRADA.....                                  | 8      |
| 3.1.2    PROCESO .....  | 9      |
| 3.1.3    DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                     | 11     |
| 3.2.    ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA<br>RECTANGULAR” ..... | 27     |
| 3.2.1    DATOS DE ENTRADA.....                                  | 27     |
| 3.2.2    PROCESO .....  | 28     |
| 3.2.3    DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                     | 29     |
| 3.3.    ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA T” .....              | 43     |
| 3.3.1    DATOS DE ENTRADA.....                                  | 43     |
| 3.3.2    PROCESO .....  | 43     |
| 3.3.3    DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                     | 46     |
| 3.4.    ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA L” .....              | 62     |
| 3.4.1    DATOS DE ENTRADA.....                                  | 62     |
| 3.4.2    PROCESO .....  | 62     |
| 3.4.3    DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                     | 65     |

|   |   |            |
|---|---|------------|
| 3.5.  | ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA CIRCULAR” ...           | 80         |
| <b>CAPÍTULO 4: ZAPATAS AISLADAS MEDIANERAS .....</b>        |   | <b>82</b>  |
| 4.1.  | ZAPATA AISLADA MEDIANERA – “COLUMNA<br>RECTANGULAR” ..... | 82         |
| 4.1.1.  | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 85         |
| 4.1.2.  | PROCESO .....   | 86         |
| 4.1.3.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION Y” ..             | 88         |
| 4.1.4.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION X” ..             | 95         |
| 4.2.  | ZAPATA AISLADA MEDIANERA – “COLUMNA T”.....               | 103        |
| 4.2.1.  | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 103        |
| 4.2.2.  | PROCESO .....   | 104        |
| 4.2.3.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION Y”                | 106        |
| 4.2.4.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION X”                | 112        |
| <b>CAPÍTULO 5: ZAPATAS AISLADAS ESQUINADAS .....</b>        |   | <b>119</b> |
| 4.3.  | ZAPATA AISLADA ESQUINADAS – “COLUMNA<br>CUADRADA” .....   | 120        |
| 4.3.1.  | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 120        |
| 4.3.2.  | PROCESO .....   | 121        |
| 4.3.3.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION Y”                | 123        |
| 4.4.  | ZAPATA AISLADA ESQUINADAS – “COLUMNA L”.....              | 130        |
| 4.4.1.  | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 130        |
| 4.4.2.  | PROCESO .....   | 131        |
| 4.4.3.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION Y”                | 133        |
| <b>CAPÍTULO 6: ZAPATAS CORRIDAS .....</b>                   |   | <b>141</b> |
| 6.1.  | CIMENTACIONES CORRIDAS PARA MUROS.....                    | 141        |
| 6.1.1.  | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 142        |
| 6.2.1.  | PROCESO .....   | 142        |
| 6.2.2.  | DESARROLLO DE LA ZAPATA CORRIDA .....                     | 143        |
| <b>CAPÍTULO 7: ZAPATAS CONECTADAS CON VIGA RIGIDA .....</b> |   | <b>148</b> |
| 7.1.  | ZAPATAS CONECTADAS (Rectangular-Rectangular) .....        | 151        |
| 7.1.1.  | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 151        |
| 7.1.2.  | PROCESO .....   | 152        |
| 7.1.3.  | DESARROLLO DE LA CIMENTACION .....                        | 155        |

|  |   |            |
|--|---|------------|
| 7.1.4.   | DISEÑO DE LA CIMENTACION.....                             | 162        |
| 7.1.5.   | DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN .....                       | 170        |
| 7.2.   | ZAPATAS CONECTADAS (T - T).....                           | 175        |
| 7.2.1.   | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 175        |
| 7.2.2.   | PROCESO .....   | 175        |
| 7.2.3.   | DESARROLLO DE LA CIMENTACION .....                        | 179        |
| 7.2.5.   | DISEÑO DE LA CIMENTACION.....                             | 180        |
| 7.2.6.   | DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN .....                       | 188        |
| 7.3.   | ZAPATAS CONECTADAS (T - Rectangular).....                 | 192        |
| 7.3.1.   | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 192        |
| 7.3.2.   | PROCESO .....   | 192        |
| 7.3.3.   | DESARROLLO DE LA CIMENTACION .....                        | 194        |
| 7.3.5.   | DISEÑO DE LA CIMENTACION.....                             | 196        |
| 7.3.6.   | DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN .....                       | 203        |
| <b>CAPÍTULO 8: ZAPATAS COMBINADAS .....</b>        |   | <b>207</b> |
| 8.1.   | TIPOS DE ZAPATAS COMBINADAS.....                          | 208        |
| 8.1.1.   | DATOS DE ENTRADA.....                                     | 208        |
| 8.1.2.   | PROCESO .....   | 209        |
| 8.1.3.   | DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                        | 212        |
| <b>CAPÍTULO 9: PILOTES CON CABEZAL RIGIDO.....</b> |   | <b>229</b> |
| 9.1.   | PILOTES.....  | 229        |
| 9.1.1.   | GENERALIDADES SOBRE PILOTES .....                         | 229        |
| 9.1.2.   | CLASES DE CIMENTACIONES PILOTEADAS.....                   | 229        |
| 9.1.3.   | PANDEO DE PILOTES .....                                   | 230        |
| 9.2.   | TIPO DE PILOTES .....                                     | 230        |
| 9.2.1.   | Pilotes de madera:.....                                   | 230        |
| 9.2.2.   | Pilotes de concreto: .....                                | 231        |
| 9.2.3.   | Pilotes tubulares rellenos de concreto:.....              | 231        |
| 9.2.4.   | Pilotes de acero: .....                                   | 234        |
| 9.2.5.   | Pilotes fabricados in situ:.....                          | 235        |
| 9.3.   | HINCADO DE PILOTES:.....                                  | 236        |
| 9.4.   | ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD DEL PILOTE. ....                | 237        |
| 9.5.   | ECUACIONES PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE UN<br>PILOTE..... | 238        |

|   |            |
|---|------------|
| 9.5.1. Capacidad de la carga de la punta, $Q_p$ .....         | 239        |
| 9.5.3. Método para estimar la carga por punta ( $Q_p$ ) ..... | 241        |
| 9.6. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PILOTES CON CABEZAL                |            |
| <b>RIGIDO</b> .....   | <b>244</b> |
| 9.6.1. DATOS DE ENTRADA.....                                  | 246        |
| 9.6.2. CABEZAL RIGIDO DE DOS PILOTES .....                    | 249        |
| 9.6.3. CABEZAL RIGIDO CON TRES PILOTES.....                   | 257        |
| 9.6.4. CABEZAL RIGIDO CON CUATRO PILOTES. ....                | 263        |
| CONCLUSIONES .....  | 270        |
| REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                              | 272        |
| ANEXOS A .....  | 273        |
| ANEXOS B.....   | 297        |
| Suelo: 302  |            |
| Materiales:.....  | 302        |
| Columna: .....  | 302        |
| PROCESO .....   | 302        |
| DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                            | 303        |
| DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN .....                            | 314        |
| ZAPATAS CONECTADAS.....;Error! Marcador no definido.          |            |
| DATOS DE ENTRADA .....  | 329        |
| PROCESO .....   | 329        |
| DESARROLLO DE LA CIMENTACION .....                            | 331        |
| DISEÑO DE LA CIMENTACION.....                                 | 333        |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| Figura N° 1: Ejemplo de la forma de las grietas de una zapata sometida a pruebas de carga hasta su rotura..... | 7  |
| Figura N° 2: Área de zapata cuadrada .....   | 11 |
| Figura N° 3: Elevación de zapata aislada.....  | 12 |
| Figura N° 4: Geometría de zapata aislada centrada.....   | 12 |
| Figura N° 5: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada centrada .....  | 17 |
| Figura N° 6: Sección crítica por punzomamiento “Cuadrada” .....  | 18 |
| Figura N° 7: Perímetro de la sección crítica “Cuadrada” .....  | 20 |
| Figura N° 8 : Sección crítica para cortante en una dirección.....  | 21 |
| Figura N° 9: Sección crítica para momento en una dirección.....  | 22 |
| Figura N° 10: Idealización para determinar el momento.....   | 23 |
| Figura N° 11: Detallado del refuerzo de zapata aislada cuadrada.....   | 26 |
| Figura N° 12: Área de zapata rectangular .....   | 28 |
| Figura N° 13: Elevación de zapata aislada.....   | 29 |
| Figura N° 14: Geometría de zapara rectangular .....  | 29 |
| Figura N° 15: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada centrada .....   | 34 |
| Figura N° 16: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular”.....   | 35 |
| Figura N° 17: Perímetro de la sección crítica “Rectangular”.....   | 36 |
| Figura N° 18: Sección crítica para cortante en la dirección “X”.....   | 37 |
| Figura N° 19: Sección crítica para cortante en la dirección “Y”.....   | 38 |
| Figura N° 20: Sección crítica para momento en una dirección.....   | 39 |
| Figura N° 21 : Idealización para determinar el momento.....  | 39 |
| Figura N° 22: Detalle del refuerzo de zapata aislada rectangular .....   | 42 |
| Figura N° 23: Área de zapata “T”.....  | 44 |
| Figura N° 24: Centroides de la columna “T”.....  | 45 |
| Figura N° 25: Ubicaciones de los canchales, zapata y columna T.....  | 46 |
| Figura N° 26: Elevación de zapata aislada – Columna T. ....  | 47 |
| Figura N° 27: Geometría de zapata – Columna T .....  | 47 |
| Figura N° 28: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada – Columna “T” .....  | 52 |
| Figura N° 29: Sección crítica por punzonamiento “Columna T” .....  | 53 |

|   |    |
|---|----|
| Figura N° 30: Perímetro y Área crítica en columna “T” .....                     | 54 |
| Figura N° 31: Sección crítica columna T para cortante en la dirección “X” ..... | 56 |
| Figura N° 32: Sección crítica columna T para cortante en la dirección “Y” ..... | 57 |
| Figura N° 33: Sección crítica para momento en una dirección .....               | 58 |
| Figura N° 34: Detalle del refuerzo de zapata aislada rectangular .....          | 61 |
| Figura N° 35: Área de zapata – Columna L .....                                  | 63 |
| Figura N° 36: Centroide de la columna “L” .....                                 | 64 |
| Figura N° 37: Ubicaciones de los canchales, zapata y columna L .....            | 65 |
| Figura N° 38: Elevación de zapata aislada – Columna L. ....                     | 66 |
| Figura N° 39: Geometría de zapata – Columna L .....                             | 66 |
| Figura N° 40: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada – Columna “L” .....         | 71 |
| Figura N° 41: Sección crítica por punzonamiento “Columna L” .....               | 72 |
| Figura N° 42: Perímetro y Área crítica en columna “L” .....                     | 73 |
| Figura N° 43: Sección crítica columna L para cortante en la dirección “X” ..... | 75 |
| Figura N° 44: Sección crítica columna L para cortante en la dirección “Y” ..... | 76 |
| Figura N° 45: Sección crítica para momento en una dirección .....               | 77 |
| Figura N° 46: Idealización para determinar el momento .....                     | 77 |
| Figura N° 47: Detalle del refuerzo de zapata aislada – Columna L .....          | 79 |
| Figura N° 48: Área de zapata – Columna Circular .....                           | 80 |
| Figura N° 49: Detalle del refuerzo de zapata aislada – Columna Circular .....   | 81 |
| Figura N° 50: Zapata excéntrica con distribución variable de presiones .....    | 83 |
| Figura N° 51: Área de Zapata excéntrica .....                                   | 86 |
| Figura N° 52: Zapata excéntrica dirección “Y” .....                             | 87 |
| Figura N° 53: Zapata excéntrica dirección “X” .....                             | 88 |
| Figura N° 54: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular Excéntrica” .....  | 91 |
| Figura N° 55: Perímetro de la sección crítica “Rectangular Excéntrica” .....    | 91 |
| Figura N° 56: Sección crítica por Cortante “Rectangular Excéntrica” .....       | 92 |
| Figura N° 57: Sección crítica para momento en la dirección “Y” .....            | 93 |
| Figura N° 58: Idealización para determinar el momento en “Y” .....              | 93 |
| Figura N° 59: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular” .....             | 97 |
| Figura N° 60: Perímetro de la sección crítica “Rectangular” .....               | 98 |
| Figura N° 61: Sección crítica para cortante en la dirección “X” .....           | 99 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura N° 62: Momento a la cara de la columna .....                        | 99  |
| Figura N° 63: Idealización para determinar el momento en “X” .....         | 100 |
| Figura N° 64: Detalle de refuerzo en zapata medianera .....                | 102 |
| Figura N° 65: Área de Zapata excéntrica- Columna T .....                   | 104 |
| Figura N° 66: Zapata excéntrica dirección “Y” .....                        | 105 |
| Figura N° 67: Zapata excéntrica dirección “X” .....                        | 106 |
| Figura N° 68: Sección crítica por punzonamiento “Columna T” .....          | 108 |
| Figura N° 69: Área y perímetro crítico por punzonamiento “Columna T” ..... | 108 |
| Figura N° 70: Sección crítica por Cortante “Columna T” .....               | 110 |
| Figura N° 71: Sección crítica para momento en la dirección “Y” .....       | 111 |
| Figura N° 72: Idealización para determinar el momento en “Y” .....         | 111 |
| Figura N° 73: Sección crítica para cortante en la dirección “X” .....      | 115 |
| Figura N° 74: Momento a la cara de la columna .....                        | 116 |
| Figura N° 75: Idealización para determinar el momento en “X” .....         | 116 |
| Figura N° 76: Detalle de refuerzo en zapata medianera .....                | 118 |
| Figura N° 77: Esquema estructural y fuerzas de equilibrio .....            | 119 |
| Figura N° 78: Área de Zapata Esquinada- Columna cuadrada .....             | 121 |
| Figura N° 79: Zapata esquinada dirección “X e Y” .....                     | 122 |
| Figura N° 80: Sección crítica por punzonamiento “Columna Cuadrada” .....   | 125 |
| Figura N° 81: Sección crítica por Cortante “Columna Cuadrada” .....        | 126 |
| Figura N° 82: Sección crítica para momento en la dirección “Y” .....       | 127 |
| Figura N° 83: Idealización para determinar el momento en “Y” .....         | 127 |
| Figura N° 84: Detalle de refuerzo en zapata medianera .....                | 129 |
| Figura N° 85: Área de Zapata Esquinada- Columna L .....                    | 131 |
| Figura N° 86: Zapata esquinada dirección “X e Y” .....                     | 132 |
| Figura N° 87: Sección crítica por punzonamiento “Columna L” .....          | 135 |
| Figura N° 88: Sección crítica por Cortante “Columna L” .....               | 137 |
| Figura N° 89: Sección crítica para momento .....                           | 138 |
| Figura N° 90: Idealización para determinar el momento en “Y” .....         | 138 |
| Figura N° 91: Detalle de refuerzo en zapata en esquina .....               | 140 |
| Figura N° 92: Zapatas Corridas .....                                       | 141 |
| Figura N°93: Combinación de Zapatas Corridas .....                         | 141 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura N° 94: Zapatas Corridas .....                                      | 144 |
| Figura N° 95. Esfuerzos en Zapata Corrida .....                           | 145 |
| Figura N° 96: Esfuerzo cortante en Zapata Corrida .....                   | 145 |
| Figura N° 97: Detalle de refuerzo en zapata corrida .....                 | 147 |
| Figura N° 98: Vista en planta y en perfil de dos zapatas conectadas ..... | 148 |
| Figura N° 99: Modelo de comportamiento de zapata conectada.....           | 149 |
| Figura N° 100: Área de zapata de la columna excéntrica .....              | 154 |
| Figura N° 101: Área de zapata de la columna central .....                 | 155 |
| Figura N° 102: Cimentación conectada .....                                | 157 |
| Figura N° 103: Perímetro critico por falla punzonamiento “Zapata 1” ..... | 163 |
| Figura N° 104: Perímetro critico por falla Corte “Zapata 1” .....         | 164 |
| Figura N° 105: Perímetro critico por Flexión “Zapata 1”.....              | 164 |
| Figura N° 106: Perímetro critico por falla punzonamiento “zapata 2”.....  | 166 |
| Figura N° 107: Perímetro critico por falla Corte “Zapata 2” .....         | 167 |
| Figura N° 108: Perímetro critico por Flexión “Zapata 2”.....              | 168 |
| Figura N° 109: Diagrama de momento y cortante ultima de diseño .....      | 170 |
| Figura N° 110: Dimensionamiento De Zapatas Conectadas .....               | 175 |
| Figura N° 111: Área de Zapata Excéntrica .....                            | 176 |
| Figura N° 112: Área de Zapata Central.....                                | 177 |
| Figura N° 113: Centro en columna “T” .....                                | 178 |
| Figura N° 114: Área de Zapata Excéntrica.....                             | 178 |
| Figura N° 115: Cimentación conectada “T – T” .....                        | 179 |
| Figura N° 116: Área de Zapata Excéntrica.....                             | 180 |
| Figura N° 117: Área y Perímetro critico en zapata 1 .....                 | 181 |
| Figura N° 118: Área de corte en Zapata Excéntrica .....                   | 183 |
| Figura N° 119: Momento crítico en zapata 1.....                           | 183 |
| Figura N° 120: Área de Zapata Central 2 .....                             | 184 |
| Figura N° 121: Área y perímetro critico en Zapata Central 2 .....         | 185 |
| Figura N° 122: Área de corte critico en zapara central 2 .....            | 186 |
| Figura N° 123: Momento a la cara de la columna .....                      | 186 |
| Figura N° 124: Diagrama de momento y cortante ultima de diseño .....      | 188 |
| Figura N° 125: Dimensionamiento De Zapatas Conectadas .....               | 192 |

|  |      |
|--|------|
| Figura N° 126: Área de zapata excéntrica 1 .....                             | 193  |
| Figura N° 127: Área de zapata central 1 .....                                | 194  |
| Figura N° 128: Cimentación conectada “T – Rectangular” .....                 | 195  |
| Figura N° 129: Área y perímetro crítico en zapata excéntrica .....           | 196  |
| Figura N° 130: Sección crítica por punzonamiento. ....                       | 197  |
| Figura N° 131: Área crítica de corte en zapata excéntrica .....              | 198  |
| Figura N° 132: Momento último a la cara de la columna. ....                  | 199  |
| Figura N° 133: Área y perímetro crítico en zapata central.....               | 200  |
| Figura N° 134: Área de corte en zapata central .....                         | 201  |
| Figura N° 135: Momento último a la cara de la columna. ....                  | 202  |
| Figura 136: Diagrama de corte y momento en viga de cimentación .....         | 203  |
| Figura N° 137: Foto de una zapata combinada típica .....                     | 207  |
| Figura N° 138: Zapatas Aisladas cercanas. ....                               | 210  |
| Figura N° 139: Área de zapata combinada.....                                 | 210  |
| Figura N° 140: Volados iguales en Zapata Combinada .....                     | 211  |
| Figura N° 141: Elevación de Zapata Combinada .....                           | 212  |
| Figura N° 142: Área y perímetro crítico en zapata combinada .....            | 219  |
| Figura N° 143: Área de Corte en Zapata Combinada .....                       | 220  |
| Figura N° 144: Diagrama de cortante y momento – Dirección Longitudinal ..... | 221  |
| Figura N° 145: Diagrama de cortante – Dirección Transversal.....             | 222  |
| Figura N° 146: Diagrama de momento – Dirección Transversal .....             | 223  |
| Figura N° 147. Detalle de refuerzo en zapata combinada. ....                 | 226  |
| Figura N° 148: Detalle de refuerzo en zapata combinada. ....                 | 227  |
| Figura N° 149: Detalle de refuerzo en zapata combinada. ....                 | 228  |
| Figura N° 150: Pilotes de Punta.....   | 238  |
| Figura N° 151: Abaco de ángulo de fricción del suelo- Meyerhof.....          | 241  |
| Figura N° 152: Abaco de ángulo de fricción del suelo - Janbu .....           | 243  |
| Figura N° 153: 2 Pilotes (Rectangular).....                                  | 248  |
| Figura N° 154: 3 Pilotes (Rectangular) .....                                 | 248  |
| Figura N° 155: 4 Pilotes (Cuadrado).....                                     | 248  |
| Figura N° 156: 5 Pilotes (Cuadrado).....                                     | 248. |
| Figura N° 157: Cabezal rígido con dos pilotes.....                           | 250  |

|   |     |
|---|-----|
| Figura N° 158: Punzonamiento en Pilotes más cargado ..... | 256 |
| Figura N° 159: Cabezal rígido con tres pilotes.....       | 257 |
| Figura N° 160: Punzonamiento en Pilotes más cargado ..... | 262 |
| Figura N° 161: Cabezal rígido con cuatro pilotes.....     | 263 |
| Figura N° 162: Punzonamiento en Pilotes más cargado ..... | 269 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla N° 1: Cargas y Momentos de la columna cuadrada .....                   | 9   |
| Tabla N° 2: Cargas y Momentos de la columna rectangular .....                | 27  |
| Tabla N° 3: Cargas y Momentos de la columna en T .....                       | 43  |
| Tabla N° 4: Cargas y Momentos de la columna en L .....                       | 62  |
| Tabla N° 5: Cargas y Momentos de la columna rectangular .....                | 85  |
| Tabla N° 6: Cargas y Momentos de la columna T .....                          | 103 |
| Tabla N° 7: Cargas y Momentos de la columna cuadrada .....                   | 120 |
| Tabla N° 8: Cargas y Momentos de la columna L .....                          | 130 |
| Tabla N° 9: Cargas y Momentos del Análisis Estructural – Zapata Conectada .. | 152 |
| Tabla N° 10: Cargas y Momentos del Análisis Estructural- Zapata combinada .  | 208 |
| Tabla N° 11: Factores de capacidad de carga .....                            | 243 |
| Tabla N° 12: Cargas y Momentos del Análisis Estructural- Pilotes .....       | 246 |

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar cimentaciones superficiales isostáticas de tal manera que puedan ser soportadas por programa de simulación computarizado, para ello se basara en el Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se ha seleccionado diferentes tipos de cimentaciones superficiales, tales como: zapatas aisladas, zapatas combinadas, zapatas conectadas, zapatas corridas y únicamente incluimos pilotes con cabezales rígidos de cimentaciones profundas.

Dentro de las zapatas aisladas también tuvimos en cuenta el diseño de zapatas aisladas excéntricas y esquinas, muchas de ellas el suelo trabaja en tracción y para ello no será aplicable la fórmula de Navier para el cálculo del esfuerzo máximo, de la misma manera el RNE no diseñar cimentaciones superficiales en tracción.

El dimensionamiento, verificaciones de servicio, verificaciones de punzonamiento y cortante en una dirección y finalmente diseño de la cimentación se han realizado de acuerdo a los requerimientos de las normas NTE. E020: (Cargas), NTE E.030 (Diseño Sismorresistente), NTE E.050 (Suelos y Cimentaciones) y NTE E.060 (Concreto Armado) de nuestro Reglamento Nacional de Edificaciones.

Se ha desarrollado todo el procedimiento de las cimentaciones superficiales en funciones de variables, la zapata individual tiene diferente tipos de columnas las que son más empleadas en nuestro medio, en zapatas combinadas de la misma manera se tienen diferentes columnas, igualmente en zapatas conectadas y en zapatas corridas estará aplicado una carga distribuida linealmente producidas por el muro portante de albañilería; finalmente para el caso de cimentaciones profundas se usaran desde 2 hasta 5 pilotes con cabezales rígidos.

Es importante mencionar que el proceso de las cimentaciones será únicamente elaborado y analizado por el programa, finalmente se mostraran únicamente datos de entrada y de salida.

## ABSTRACT

This thesis aims to design isostatic shallow foundations so that they can be supported by computer simulation program , for it was based on the National Building Regulations.

It is selected different types of surface , such as foundations : isolated footings , combined footings , connecting pads , shoes and runs only with rigid piles include heads deep foundations .

Within shoes isolated also took into account the design of isolated footings eccentric and corners , many ground works in traction and it does not apply the formula of Navier to calculate the maximum effort, just as the RNE not designing shallow foundations in tension .

The dimensioning , service checks , verifications punching and cutting in one direction and finally foundation design have been performed according to the requirements of the NTE standards. E020 ( charges ) , NTE E.030 ( Seismic Design ) , NTE E.050 ( Soils and Foundations ) and NTE E.060 ( Reinforced Concrete ) of our National Building Regulations .

Has developed the procedure of shallow foundations acting variables , individual shoe has different types of columns that are used in our environment, combined footings in the same way you have different columns , also in shoes and connected footings will be applied a linearly distributed load produced by the masonry bearing wall ; finally for the case of deep foundations were used from 2-5 heads rigid piles .

It is noteworthy that the process will only foundations prepared and analyzed by the program eventually only input and output show.

## **INTRODUCCION**

El problema consiste en determinar la presión de contacto entre el terreno y la cimentación, los esfuerzos de tracción diagonal, los esfuerzos de punzonamiento, cortante y los momentos de flexión.

El área de contacto entre la cimentación y el terreno se determina en función a las cargas no amplificadas (de servicio). Si por efecto de flexión en la zapata esta tendiera a levantarse sobre el terreno, no se deberán considerar esfuerzos de tracción y el equilibrio de fuerzas deberá establecerse considerando que las reacciones del terreno son de compresión.

La Norma E-60 indica que el valor de la presión admisible de la resistencia del terreno podrá incrementarse en 30%, salvo indicación contraria en el estudio de suelos, para los estados de carga en que intervengan las fuerzas de sismo también se menciona que en caso de cimentarse en terrenos de baja capacidad portante y cuando se usan pilotes, deberán conectarse las zapatas con vigas las que se diseñarán mediante un análisis integral de la estructura. En el caso de cimentar muros de albañilería, la conexión podrá lograrse mediante cimientos o sobrecimientos armados.

## **RECOMENDACIONES EN CIMENTACIONES SUPERFICIALES**

En el caso de edificios o instalaciones industriales es conveniente que la parte superior de la cimentación se halle por lo menos 30 cm. por debajo del falso piso en el caso de un edificio o de la losa de piso en el caso de una instalación industrial; la cual permite que sobre las zapatas se puedan colocar las trampas de los desagües de los baños del primer piso, bajadas de desagües o que puedan pasar sobre ellas tuberías de desagüe.

El peralte mínimo recomendado para la cimentación es de 60 cm. con el fin de tener elementos rígidos en concordancia con la hipótesis de columnas empotradas en la cimentación; esta rigidez disminuye además la posibilidad de fisuración en el concreto que puede permitir efectos de corrosión en el acero de un elemento enterrado. Este peralte debe permitir también el anclaje de la armadura de las columnas.

De acuerdo a estas recomendaciones se debe tener una profundidad mínima de cimentación de 90 cm., la que es conveniente además por qué da una capacidad para resistir fuerzas horizontales por acción del empuje pasivo del suelo, en acción a las que se resisten por fricción.

Otra consideración general es la manera de tomar en cuenta el peso propio de la cimentación y el del relleno.

La presión admisible que determina el estudio de suelos debe dar el valor máximo de la presión promedio que puede aplicar la estructura por encima de la presión que ya está soportando el terreno; esto significa que el peso del material de relleno de la excavación no se considera y el peso del concreto de la cimentación puede tomarse como  $800 \text{ Kg/m}^3$ , cosa que normalmente no se hace. Una manera práctica de considerar el peso de la cimentación al comenzar el diseño es disminuir  $0.1 \text{ Kg/cm}^2$  en el valor de la presión admisible ó  $0.2 \text{ Kg/cm}^2$  si no considera reducción del peso del concreto por el relleno al que reemplaza.

## **PARTES DE UNA ESTRUCTURA**

En toda estructura es necesario distinguir dos partes principales: la superestructura y la subestructura. En el caso de un edificio, la superestructura vendría a ser aquella parte de la estructura que está formada por losas, vigas, muros, columnas, etc. La subestructura es la parte de la estructura que sirve para transmitir las cargas de esta al suelo de cimentación.

## **FACTORES QUE DETERMINAN EL TIPO DE CIMENTACIÓN**

El tipo de cimentación más adecuado para una estructura dada depende de varios factores, como su función y las cargas que debe repartir, las condiciones del suelo y el resto de la cimentación comparado con el resto de la superestructura.

Al elegir el tipo de cimentación se debe considerar:

- Obtener información aproximada con respecto a la naturaleza de la superestructura y de las cargas que se van a transmitir a las cimentaciones.
- Determinar las condiciones del subsuelo en forma general: perfil del suelo, su naturaleza y consistencia, nivel freático, agentes químicos dañinos al cemento, problemas relacionados con saturación del suelo.
- Clasificación del suelo según lo indicado en la norma de diseño sismorresistente, tipo de suelo y su periodo predominante.
- Hacer estimaciones de los asentamientos diferenciales para predecir el comportamiento de la estructura.
- Profundidad mínima de cimentación correspondiente a la presión admisible.
- Observar edificaciones cercanas respecto a sus asentamientos, fisuras, etc.
- Efectuar alternativas de diseño y elegir el tipo que representa la más económica y que garantice un adecuado funcionamiento.

## **POSIBILIDAD DE FALLA Y ASENTAMIENTO**

Al construir un tipo de cimentación determinado bajo las condiciones que prevalecen en el lugar, es necesario analizar el probable funcionamiento de la cimentación con respecto a dos tipos de problemas:

- Toda la cimentación o cualquiera de sus elementos puede fallar porque el suelo o la roca sean incapaces de soportar la carga, este mal comportamiento se relaciona con la resistencia del suelo o roca de apoyo y se llama falla por capacidad de carga.
- El suelo o roca de apoyo pueden no fallar, pero el asentamiento de la estructura puede ser tan grande o tan disparejo, que la estructura puede agrietarse y dañarse; este tipo de falla esta asociado a las características de la relación esfuerzo deformación del suelo o roca y se conoce como asentamiento perjudicial.

Estos dos tipos de mal comportamiento frecuentemente están tan íntimamente relacionados que la distorsión entre ellos es completamente arbitraria. Ejemplo: una zapata en arena suelta, se asienta más y más, fuera de proporción con el incremento de carga, incluso hasta el punto en que para incrementos muy pequeños, se producen asentamientos intolerables; sin embargo no se produce un hundimiento catastrófico de la zapata en el terreno. En estos casos la distribución es clara; una zapata colocada en arcilla firme que tiene un sustrato de arcilla blanda puede evitar completamente el asentamiento, o salvo contra falla en el terreno, pero el asentamiento debido a la consolidación de la arcilla blanda puede ser excesivo. En los problemas prácticos debe investigarse los dos tipos de mal comportamiento separadamente, como si fueran causas independientes.

Por experiencias y observaciones relativas al comportamiento de las cimentaciones, se ha visto que la falla por capacidad de carga de las mismas ocurre como producto de una rotura por corte del suelo de desplante de la cimentación.

Son tres los tipos clásicos de falla bajo las cimentaciones:

- Falla por corte general.- Se tiene en arenas densas y arcillas rígidas.
- Falla por punzonamiento.- Se tiene en arenas muy sueltas.
- Falla por corte local.- Se tiene en arenas medias y en arcillas suaves.

**La falla por corte general:** Se caracteriza por la presencia de una superficie de deslizamiento continua dentro del terreno, que se inicia en el borde de la cimentación y que avanza hasta la superficie del terreno. Este tipo de falla es usualmente súbita y catastrófica.

**La falla por punzonamiento.-** Se caracteriza por un movimiento vertical de la cimentación mediante la compresión del suelo inmediatamente debajo de ella. La rotura del suelo se presenta por corte alrededor de la cimentación y casi no se observan movimientos de éste junto a la cimentación, manteniéndose el equilibrio tanto vertical como horizontal de la misma.

**La falla por corte local.-** Representa una transición entre las dos anteriores, pues tiene características tanto del tipo de falla por corte general como del de punzonamiento. En este tipo de falla existe una marcada tendencia al buzamiento del suelo a los lados de la cimentación y además la compresión vertical debajo de la cimentación es fuerte y las superficies de deslizamiento terminan en algún punto dentro de la misma masa del suelo.

#### **ASENTAMIENTOS MÁXIMOS TOTALES PERMISIBLES.**

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| Edificios comerciales   | 2.5 cm.  |
| Edificios industriales  | 3.5 cm.  |
| Almacenes               | 5.0 cm.  |
| Cimentación de máquinas | 0.05 cm. |

#### **CARGAS Y REACCIONES**

La selección de cargas en las que se deberá basarse el proyecto de una cimentación; influye no solamente en la economía, sino también algunas veces hasta el tipo de

cimentación.

Cada unidad de cimentación debe ser capaz de soportar la carga máxima a la que vaya a quedar sujeta (con un margen de seguridad razonable), aun cuando puede actuar brevemente.

Es necesario que las zapatas estén proporcionadas para soportar las cargas factorizadas aplicadas y reacciones inducidas que incluyen cargas axiales, momentos y cortantes que tienen que ser soportados por la base de la zapata o por el remate del pilote.

Después de haber determinado mediante ensayos de laboratorio y principios de Mecánica de Suelos y de acuerdo con el Reglamento Nacional de Construcciones, la presión admisible del suelo o la capacidad admisible del pilote, debe determinar el área de la losa de una zapata sobre el suelo o el número y distribución de los pilotes, sobre la base de cargas no factorizadas es decir de servicio (D, L, W, E, etc.), en cualquier combinación que regirá el diseño.

Para dimensionar una zapata o la cabeza de un pilote por resistencia, deberá determinarse la presión de contacto del suelo o la reacción del pilote debido a las cargas factorizadas aplicadas. En el caso de una zapata ensanchada, aislada, cargada concéntrica mente, la reacción del suelo que debido a las cargas factorizadas es:

$$q_r = \frac{U}{A_f}$$

Donde:

$U$  = Carga concéntrica factorizada, que debe ser resistida por la zapata.

$A_f$  = Área de la base de la zapata (calculada con cargas no factorizadas y la presión permisible del suelo)

## **LOS TIPOS DE CIMENTACIÓN SUPERFICIAL MÁS USUALES SON:**

- **Zapatas de muros.**- Estas zapatas consisten en una franja continua de losa, a lo largo del muro y de un ancho mayor que el espesor del mismo. La proyección de la losa de cimentación se trata como un voladizo cargado con la presión distribuida del suelo. La longitud de la proyección se determina con la capacidad de resistencia del suelo; la sección crítica por flexión se encuentra en el paño del muro. El refuerzo principal se distribuye perpendicularmente a la dirección del muro.
  
- **Zapatas aisladas.**- Consisten en losas rectangulares o cuadradas que pueden tener un espesor constante o que se reducen en la parte del voladizo, constituyen el tipo más usual por razones de economía, pueden ser centradas o excéntricas y resisten sólo carga axial, momento o ambos.
  
- **Zapatas combinadas.**- Son losas grandes que soportan las descargas de dos o más columnas. Se emplean cuando dos o más columnas están muy cercanas y debido a esto cuando se haga el dimensionamiento de las zapatas, estas se superpondrían; también se emplea para evitar el efecto de la excentricidad cuando una de las columnas es perimetral o cuando hay posibilidad de asentamiento diferencial importante.

### **Las zapatas combinadas pueden ser convenientes en los siguientes casos:**

- Cuando dos columnas están relativamente muy cercanas entre sí, de modo que si se usara las zapatas aisladas, éstas podrían traslaparse o bien podrían resultar de proporciones poco económicas.
  
- Cuando una columna externa está en un límite de propiedad o muy cerca de él de modo que una zapata aislada resultaría de proporciones poco económicas con una excentricidad excesiva, en este caso puede combinarse

las cimentaciones de la columna exterior con la de la columna interior más cercana.

Para evitar acercamientos diferenciales es conveniente tener presiones de contacto más o menos uniformemente distribuidas. Esto se logra haciendo coincidir el centroide del área de la zapata con el punto de aplicación de la resultante de las cargas que recibe.

La cimentación combinada más común, es la rectangular, pueden usarse también zapatas trapezoidales cuando la zapata no puede prolongarse más allá de la columna más cargada.

**Modelaje.**- se supone comúnmente, que la zapata en la dirección longitudinal actúa como una losa o viga ancha apoyada en vigas transversales en voladizo, las que a su vez transmiten sus cargas a las columnas. Winter recomienda tener como ancho efectivo de las vigas transversales un ancho igual al de las columnas aumentando en cada lado en la mitad de la dimensión de las columnas, pero no más de la altura efectiva de la zapata.

La carga total sobre cada una de las vigas transversales se toma igual que a la de su correspondiente columna, es decir que la carga por unidad de longitud es igual a la carga de la columna dividida por el ancho de la zapata.

- **Zapatas Conectadas.**- Cuando las zapatas están unidas por una viga, se dice que la cimentación es conectada. La viga de conexión permite controlar la rotación de una zapata como en el caso de zapatas excéntricas; la cimentación conectada es más económica que las combinadas, para distancias entre columnas de 6 metros a más aproximadamente.

Para controlar la rotación de una zapata, la viga de conexión debe ser suficientemente rígida. Se recomienda que su altura no sea inferior a  $1/8$  de la separación de las columnas. Su ancho puede estimarse mediante cualquiera de las siguientes expresiones:

**Modelaje.**- se supone comúnmente que la viga de conexión está articulada a la columna y que soporta su peso propio y la reacción neta del suelo en la zapata exterior.

La zapata exterior transfiere su carga a la viga de conexión, actuando como una losa en voladizo a ambos lados de ella. Para su dimensionamiento en planta es usual adoptar un ancho de 2 a 2.5 veces su dimensión longitudinal. La zapata interior se diseña como una zapata aislada para la diferencia entre la carga de la columna ( $P_{si}$ ) y la reacción de la viga de conexión ( $P_i$ ). Para la verificación por punzonamiento, se considera la influencia de la viga de conexión en la ubicación de la sección crítica.

- **La viga de cimentación.**- Se emplea generalmente para cimentar columnas perimetrales en los casos en que el ancho es reducido y por lo tanto la excentricidad no es problema para el diseño.

## **FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿De qué manera podemos Realizar el diseño de las Cimentaciones Superficiales Isostáticas Soportadas por Programa de Simulación Computarizado, de acuerdo a l Reglamento Nacional de edificaciones?

## **OBJETIVOS**

- **General**

Realizar el Diseño de Cimentaciones Superficiales Isostáticas basadas en el Reglamento Nacional de Edificaciones, Soportadas por Programa de Simulación Computarizado.

- **Específicos**

- Elaborar una programación computarizada que permita el diseño de cimentaciones superficiales isostáticas como son zapatas centrales, zapatas excéntricas, zapatas combinadas, zapatas conectadas y pilotes con cabezal rígido.
- Seleccionar la metodología para el diseño de cimentaciones superficiales.
- Elaborar el diagrama de flujo del proceso de diseño para el lenguaje de programación.
- Formular los datos como variables de entrada y variables de salidas.
- Desarrollar un algoritmo que permita determinar calcular de forma automática las variables de salida como son las dimensiones en planta, peralte efectivo y acero requerido.
- Validar los resultados del diseño de cimentaciones superficiales isostáticas.

## **JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En nuestro país las normas con las cuales se diseñan diferentes tipos de edificaciones y elementos estructurales, tienen una variación con las normas internacionales, debido a que se deben aplicar a otros medios y otra realidad. Es necesario automatizar los procesos aplicando normas peruanas con las que se diseñan las cimentaciones superficiales.

Antiguamente el ingeniero civil invertía más tiempo en la realización del procesos repetitivos muy tediosos para obtener un resultado final con el agravante de posibles errores en el procedimiento y no en el problema en sí, con el uso cada vez más frecuente de los computadores, estos procesos repetitivos se los dejaron a la máquina y con este

ahorro de tiempo se empezó a buscar la solución más óptima en los diseño variando los diferentes parámetros y buscando la solución conveniente.

En la actualidad existen programas especializados en el cálculo de estructuras que permiten el diseño de los diferentes elementos que componen la estructura casi de forma automática, estos generalmente nos permite diseñar las vigas, columnas, placas, muros y losas que conforman la estructura pero la mayoría de estos programas no permiten el cálculo de la estructura de cimentación, tal es el caso que empresas grandes dedicadas al diseño realizan los cálculos de las cimentaciones manualmente.

En el mercado se pueden encontrar software para el diseño de cimentaciones pero requiere de tiempo e inversión para su manejo, y además están adaptados a las normativas de los países donde fueron desarrollados y tienen un alcance muy limitados y muchas veces no pueden dar solución a problemas específicos.

Es así como nace la idea de crear un programas para el análisis y diseño de cimentaciones superficiales (ya que son cimentaciones más utilizadas en la ciudad de Trujillo) que está basado en el reglamento nacional de edificaciones, con lo cual se pretende mitigar estas deficiencias en el desarrollo tecnológico con respecto a una parte fundamental de la estructura como son las cimentación.

## **MATERIAL Y PROCEDIMIENTO**

### **MATERIAL DE ESTUDIO:**

- **Universo**

El universo estará constituido en las edificaciones de toda la población.

### **METODOLOGÍA**

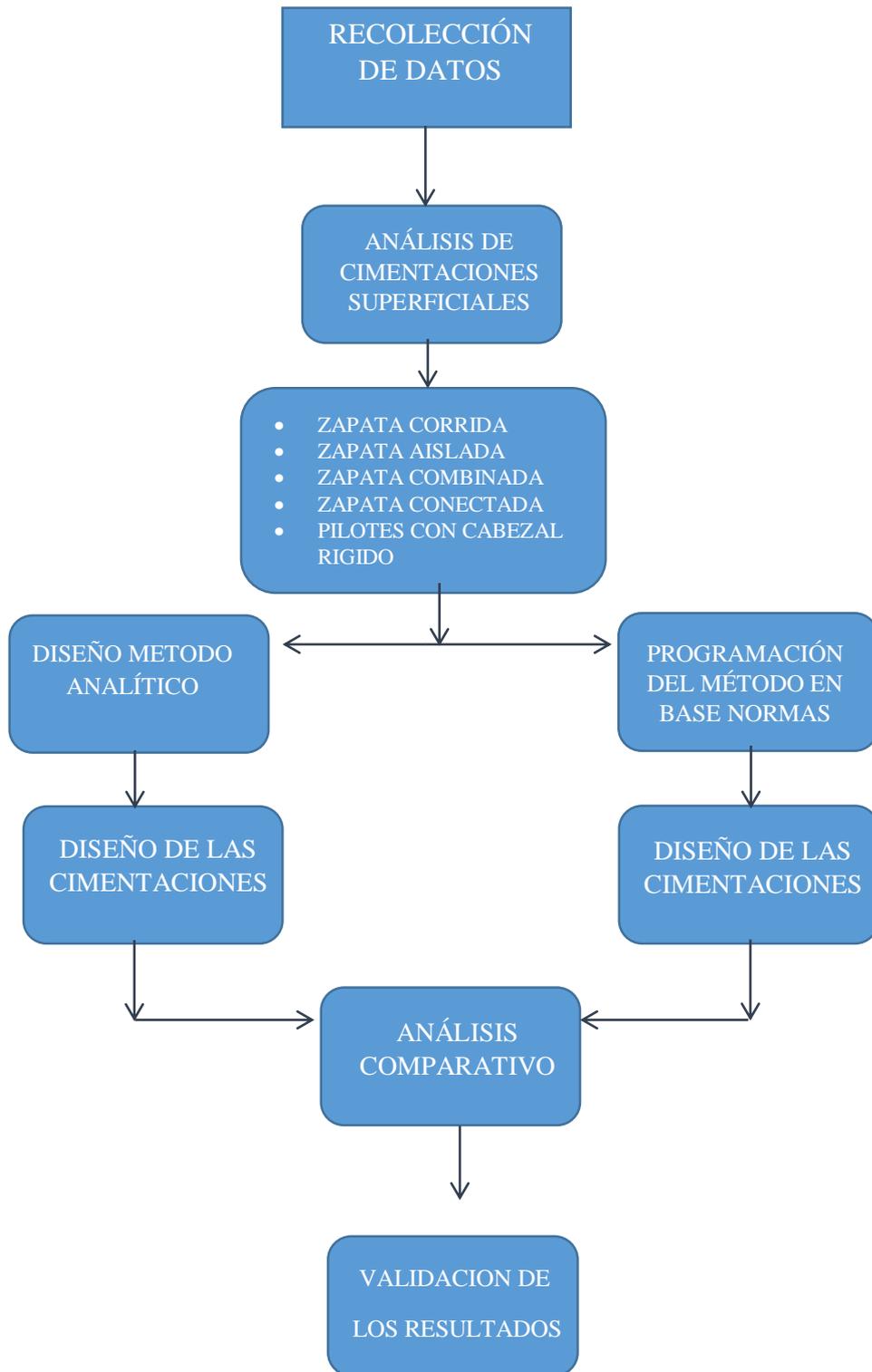
- **Tipo De Investigación**

Por el propósito: Investigación Aplicada.

Por la clase de medios utilizados para obtener los datos: Investigación Documental

Por el nivel de conocimiento que se adquieren: Investigación Explicativa

• **Procedimiento**



- **Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

Las Técnicas

La técnica a utilizar para la recolección de datos será el Fichaje, mediante la cual se podrá recolectar información sobre las características arquitectónicas y estructurales de la edificación; y las características propias del suelo.

Instrumentos.

Para recolectar información se utilizarán los siguientes instrumentos:

- Fichas resúmenes
- Fichas textuales
- Ficha de análisis de contenido
- Fichas bibliográficas

- **Técnicas De Procesamiento Y Análisis De Datos**

Se utilizarán las siguientes técnicas:

Análisis:

Se realizará una comparación de los resultados proveniente de ambos métodos.

Inductivo:

Se elevarán conclusiones a partir del análisis comparativo.

## **CAPÍTULO 1: GENERALIDADES**

### **1.1. GENERALIDADES DE LAS CIMENTACIONES**

Se entiende por cimentación a todos los paramentos que el ingeniero tiene que tener en cuenta para proporcionarle un apoyo seguro y económico a la estructura, en otras palabras la cimentación hace referencia tanto al suelo sobre el cual se apoya la estructura como al elemento o elementos cargados de transmitir las cargas, este elemento es denominado cimiento.

El cimiento es la parte de la estructura cargada de transmitir todas las cargas actuantes de la estructura al terreno, generando en este un sistema de esfuerzos que puedan ser resistidos con seguridad sin producir asentamientos o con asentamientos tolerables, debido a la gran rigidez de la estructura en comparación con el terreno, el cimiento posee casi siempre una gran área en planta para poder distribuir y disminuir esfuerzos que se le van a transmitir al terreno

Para Considerar una cimentación como superficial fijan un límite máximo a la profundidad de la cimentación, por ejemplo, Wilson (1945) considera para que una cimentación sea superficial debe mediar menos de 30 pies, medido desde la superficie del terreno

Una cimentación de una columna debe ser 50% más ancha que la propia columna (Libro IV, Cap. I). Para el cálculo del peralte de los cimientos de concreto simple, lo usual es suponer un Angulo de dispersión comprendido entre 30° y 45° con la vertical. En concreto reforzado se usa la teoría convencional y se supone una presión uniforme en el terreno, abajo del cimiento; esto, aunque incorrecto, por regla general, es suficientemente exacto para cimentaciones pequeñas.

La losa de cimentación es una buena alternativa para la solución de cargas muy altas, se considera generalmente como un desarrollo moderno en la técnica de

cimentación. Sin embargo, en una escala restringida, estas losas fueron ya empleadas hace mucho tiempo. La parte reconstruida entre 1840 y 1847 del “House of Parliament” en Londres, descansa en una losa de concreto calcáreo de 5 pies de espesor, apoyada en la planicie de inundación formada por grava del río Tamesis. Las cimentaciones superficiales de concreto armado para columnas aisladas son generalmente de forma rectangular o cuadrada, y consisten en una placa o losa armada según dos direcciones ortogonales, que se apoya directamente sobre el suelo de fundación. Para el diseño se seguirán el siguiente procedimiento.

- a) Se deben conocer el esfuerzo neto admisible del terreno para la resistencia de las cimentaciones
- b) Se debe conocer las cargas de servicio totales que actúan sobre cada base, y la combinada más desfavorable de las cargas de servicio.
- c) Se determinara la forma, profundidad, tamaño de la cimentación aislada, en función de las cargas de servicio.
- d) Verificación de las excentricidades de tal manera que no excedan el tercio central de cada dimensión, para que no exista esfuerzo de tensión en el terreno.
- e) Verificación de presiones en el suelo ante cargas de servicio no exceda la capacidad neta admisible del terreno.
- f) Determinar el peralte efectivo de la zapata, con la verificación de flexión.
- g) Se debe conocer la combinación de diseño más desfavorable.
- h) Verificar la resistencia al corte punzonamiento y corte en una dirección, estas fuerzas actuantes deben ser menores que la resistencia que toma el concreto, castigada por un factor de reducción.
- i) Determinar el momento ultimo de diseño a la cara de la columna, tal como especifica la norma; se idealizara como una viga en voladizo y determinaremos su valor.
- j) Obtenido el momento último, hallaremos el área de acero y esto sera convertido en varillas con su respectiva separación.
- k) Planos de detallado del refuerzo.
- l) Por ultimo una memoria de cálculo.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO

### 2.1. ANTECEDENTES

Para sustentar este proyecto de investigación se ha tomado como antecedentes los diversos estudios:

**En 2004, José E. publicó su investigación titulado “COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES SOBRE SUELOS GRANULARES SOMETIDAS A SOLICITACIONES DINAMICAS” en la Universidad Politécnica de Madrid, en la ciudad de Madrid, España.** Los resultados obtenidos en los ensayos de modelo físico de la cimentación superficial a escala reducida han permitido comprobar que dichas cimentaciones pueden fallar por el estado límite último de capacidad portante del terreno de cimentación o el debido al deslizamiento de la cimentación por la base. También los ensayos indican que se debe tener en cuenta los estados límite de servicio, relativo tanto a desplazamientos verticales de carácter irreversible como a desplazamientos horizontales de carácter cíclico, cuyo valor sea excesivo.

La modelización de los resultados de los ensayos de corte simple cíclico, mediante la utilización de la ecuación constitutiva, ha permitido analizar una serie de variables y magnitudes de las que no se dispone de una medida real de laboratorio como, por ejemplo, las tensiones horizontales, la rotación de las tensiones principales y la trayectoria de tensiones en el espacio tridimensional.

Otro aspecto completamente distinto a los mencionados hasta ahora que requiera un análisis más pormenorizado sería el referente al estudio de la anisotropía de la fábrica del material arenoso que ha servido para la realización de los ensayos. Este análisis deberá empezar por completar los trabajos realizados sobre la anisotropía de fábrica mediante el estudio con

microscopia aptica de muestras tomadas por el interior de la masa arenosa. Una vez contrastados los resultados obtenidos mediante microscopia óptica con los deducidos del estudio de la velocidad de propagación de las ondas transversales , como se hizo en la investigación ya realizada, sería interesante incorporar dicha anisotropía de fábrica a la ecuación constitutiva para comprobar los efectos que ello produce en los resultados finales.

**Vela J. en el 2008 en la ciudad de Trujillo, publicó en la Universidad Privada Antenor Orrego un informe titulado “ANÁLISIS COMPARATIVO DE CIMENTACIONES SUPERFICIALES EN UN EDIFICIO DE CUATRO PISOS EN LA CIUDAD DE TRUJILLO”** las alternativas planteadas en este informe fueron zapatas aisladas, zapatas combinadas y zapatas conectadas.

En la primera alternativa se orientó a la colocación de zapatas combinadas como opción para controlar los efectos de excentricidad de las zapatas de la edificación y una mejor distribución de los esfuerzos sobre el terreno existente. En la segunda alternativa fue orientada a la colocación de zapatas con viga de cimentación, como opción para controlar los efectos de excentricidad y a la vez un mejor comportamiento estructural de las zapatas de la edificación. Concluyendo *el costo total de cada alternativa es: Alternativa (1) S./ 89,107.44 y, Alternativa (2) S./ 99,952.03 de acuerdo a los resultados la alternativa 1 involucra menor cantidad de obra, por consiguiente es la alternativa de menor costo.*

**En 2010, José C. publico en su investigación titulado “INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN SUELOS COHESIVOS TOTALMENTE SATURADOS” en la Universidad Nacional Autónoma de Mexico, en la ciudad de México.** En dicha investigación se realizó un análisis minucioso, podemos observar que una cimentación es la parte más importante de toda construcción, a la cual no deben de ahorrarse ni materiales ni cuidado, ya que si, nuestra cimentación presenta deficiencias, tendrá consecuencias

graves, como es la presencia de grietas al momento en que se rebase su capacidad resistente. Así mismo, es claro que toda construcción debe tener una buena cimentación, y tampoco debemos pretender ahorrarnos economía ni tiempo al momento de su construcción, puesto que a largo plazo dicha deficiencias tendrán repararse y por supuesto será más cara la reparación de los errores que bien pudieron haber sido evitados.

Dentro de la interface de la estructura de cimentación y el suelo se originan desplazamientos debidos a las cargas que transmite la cimentación al suelo, donde dan lugar los asentamientos totales y diferenciales; siendo así la interacción suelo-estructura la parte de la ingeniería que estudia las deformaciones del terreno de cimentación cuando estas se ven afectadas por la presencia y rigidez de la propia estructura. De este modo la interacción entre la estructura de cimentación y el suelo, consistirá en encontrar un sistema de ecuaciones que aplicadas simultáneamente a la estructura de cimentación y a la masa de suelo, produzcan la misma configuración de desplazamientos entre los dos elementos.

Finalmente la interacción suelo-estructura es un método muy eficiente, ya que nos permite:

- Comprobar la compatibilidad de deformaciones entre la estructura y el terreno.
- Obtener el diagrama de reacciones, los asentamientos y los elementos mecánicos en cada nudo.
- Realizar el diseño estructural de nuestra cimentación en base a los elementos mecánicos.
- Obtener el asentamiento total, realizando un cálculo para el asentamiento a corto plazo, y realizar otro cálculo para el asentamiento a largo plazo, y no dejar que exceda el asentamiento permisible.
- Obtener los asentamientos diferenciales, y no dejar que excedan los asentamientos diferenciales permisibles.

**Rojas C. y Silva W. en el 2009, publicaron un trabajo de suficiencia profesional en la Universidad Privada Antenor Orrego, titulado “DISEÑO ALTERNATIVO DE TRES TIPOS DE CIMENTACIONES EN UN EDIFICIO DE CINCO PISOS EN LA CIUDAD DE TRUJILLO”** en el que plantean como alternativas de evaluación de diferentes tipos de cimentaciones superficiales, tales como zapatas aisladas, zapatas combinadas y/o zapatas conectadas garantizando que los posibles asentamientos diferenciales producidos, se encuentren dentro de los límites permisibles.

En síntesis se puede concluir que como metodología para la elección de los tipos de cimentación en una edificación, como primer paso se debe partir al menos predimensionando a todos los elementos como zapatas aisladas, en base a ese primer cálculo y la geometría de la edificación.

En este informe Rojas C. y Silva W. optaron por el uso de zapatas aisladas para el caso en estudio, obteniendo zapatas aisladas típicas de (B) 3.5 x (L) 3.8 m. y un área de acero necesaria de 36.68 cm<sup>2</sup>, distribuido en (B) 19  $\phi$  5/8” @ 17.6 y en (L) 20  $\phi$  5/8” @ 18.

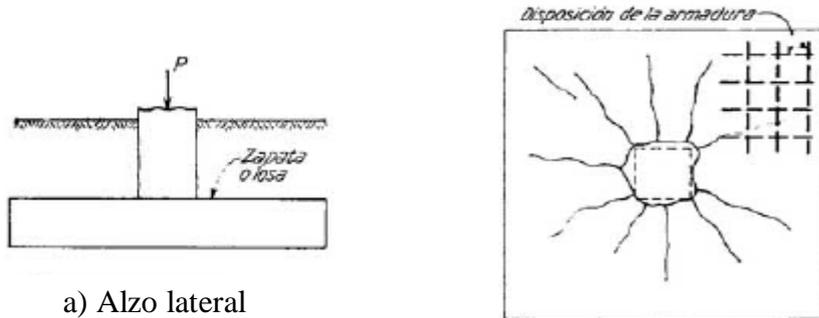
### CAPÍTULO 3: ZAPATAS AISLADAS CENTRADAS

**Fuente: José Calavera Ruiz, “Calculo estructura de cimentación”.**

Se entiende por zapata aislada aquella sobre la que carga un solo pilar. Como excepción, se considera también como zapata aislada aquella sobre la que cargan dos pilares continuos separados por una junta de dilatación, tipo “diapasón”. A todos los efectos de cálculo, en lo que sigue, ambos pilares se consideran como un pilar único con perímetro circunscrito. El funcionamiento de una zapata de este tipo es complejo y el cálculo se realiza mediante métodos simplificados.

**Fuente: Clarence W. Dunham, “Cimentaciones de Estructuras”**

Hay tres tipos generales de zapatas de hormigón armado que se usan como apoyo de pilares, o de otras partes de la estructura que transmiten cargas concentradas a sus cimientos: placas o losas delgadas, como se muestra en la Figura N° 1 a) y b).



a) Alzo lateral

b).Vista de fondo después de la rotura

Figura N° 1: Ejemplo de la forma de las grietas de una zapata sometida a pruebas de carga hasta su rotura.

La palabra “Zapata” se usa para designar la losa que reparte la carga sobre el suelo, y también para indicar el conjunto de infraestructura local compuesto por la losa y el pedestal. A las zapatas individuales se las puede también llamar *zapatas de reparto* para diferenciarlas de las zapatas continuas bajo un muro y de las placas continuas de cimentación.

**Fuente: Roberto Rochel Awad, Concreto Reforzado Tomo II**

Para la cimentaciones de una estructura con una buena capacidad de soporte del suelo la mejor solución es la utilización de zapatas aisladas cuadradas. Desde el punto de vista estructural se analiza; como una placa con voladizos simples en dos direcciones sometidos a una carga uniforme hacia arriba que corresponde a la reacción del terreno, este análisis conduce a un refuerzo perpendicular entre sí, que se colocara paralelo a los bordes de la zapata.

Las cargas que transmiten las zapatas al suelo, generan una distribución de presiones muy compleja, que depende de muchas variables tales como la rigidez de la zapata y de las características al elemento de fundación y que prácticamente se indeformable.

**3.1. ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA CUADRADA”**

**3.1.1 DATOS DE ENTRADA**

**3.1.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES**

Los diseños por esfuerzos admisibles, se basan en asegurar que los esfuerzos inducidos por la estructura o edificación sean menores a los esfuerzos admisibles del subsuelo durante la aplicación de las cargas de servicio.

- $\sigma_{adm}$  = *Esfuerzo admisible del terreno*
- $S/c$  = *Sobrecarga*
- $\gamma_m$  = *Densidad promedio*
- $D_f$  = *Profundidad de desplante*
- $f'_c$  = *Resistencia a compresion del concreto*
- $f_y$  = *Resistencia a fluencia del acero*

Tabla N° 1: Cargas y Momentos de la columna cuadrada

| <b>CARGAS</b>                               |
|---|
| $P_D = \text{Cargas Muerta}$                |
| $P_L = \text{Carga Viva}$                   |
| $P_{\vec{E}_x} = \text{Carga Sismo en X}$   |
| $P_{\vec{E}_y} = \text{Carga Sismo en Y}$   |
|   |
| <b>MOMENTOS</b>                             |
| $M_{D_x} = \text{Momento Muerta en X}$      |
| $M_{L_x} = \text{Momento Viva en X}$        |
| $M_{\vec{E}_x} = \text{Momento Sismo en X}$ |
| $M_{D_y} = \text{Momento Muerta en Y}$      |
| $M_{L_y} = \text{Momento Viva en Y}$        |
| $M_{\vec{E}_y} = \text{Momento Sismo en Y}$ |

### 3.1.2. PROCESO

#### 3.1.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_n = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f$$

#### 3.1.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

##### 3.1.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

Según el Cap. 5, Art. 19. De la E.020 Cargas del Reglamento Nacional De Edificaciones, todas las cargas se considerara que actúan en las

siguientes combinaciones, la que produzca los efectos más desfavorables en el elemento estructural considerando, con las reducciones, cuando sean aplicables, indicadas en el artículo 10 de la NTE: E.020 de cargas.

$$Mayor \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

### 3.1.2.2.2. Área De Zapata

El área de la zapata debe dimensionarse de acuerdo como especifica el Cap. 15 - 15.2.2. De la NTE: E.060 Concreto armado; El área de la base de la zapata debe de determinarse a partir de las fuerzas y momentos no amplificados (en servicio) trasmitido al suelo a través de la zapata.

Se debe tener cuidado de no sobre pasar la presiona neta del terreno, la cual debe determinarse mediante los principios de mecánica de suelo. Teniendo en cuenta que una estructura se diseña para una combinación de cargas mayoradas generalmente utilizando software especializado, en donde la estructura de idealiza empotrada en la base.

Del programa podemos obtener la reacción axial  $P_u$  que cada columna le transmitirá el terreno y los momentos actuantes en las direcciones principales, debido a que la cimentación debe dimensionarse para cargas de servicio.

$$Az = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [1]$$

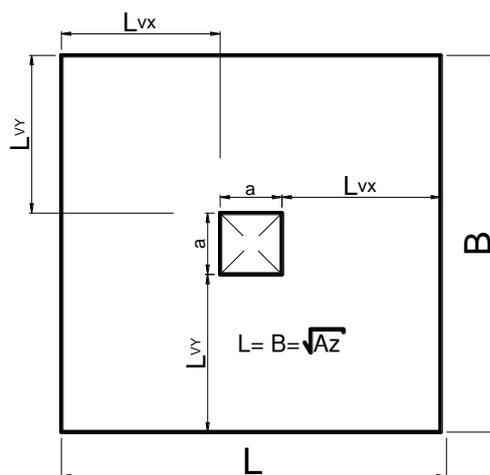


Figura N° 2: Área de zapata cuadrada

$$L = B = \sqrt{A_z} \quad [2]$$

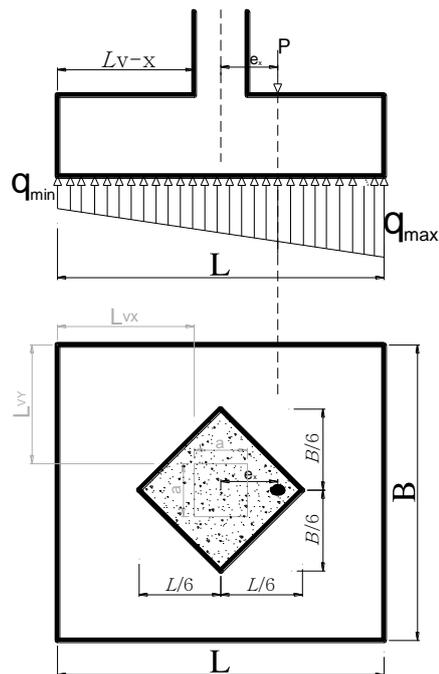
$$L_{vx} = L_{vy} = \frac{L - a}{2} \quad [3]$$

### 3.1.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

#### 3.1.3.1. VERIFICACIÓN DE EXCENTRICIDADES:

##### 3.1.3.1.1. Definición:

Las cimentaciones de las columnas exteriores pueden estar sujetas a cargas excéntricas. Si la excentricidad es grande, puede resultar esfuerzo de tracción sobre un lado de la cimentación. Es recomendable dimensionar de manera que la carga está dentro del tercio central de manera de evitar esfuerzos de tracción en el suelo que teóricamente puede ocurrir antes de la redistribución de esfuerzos.



$$q_{max,min} = \frac{P}{A_z} \pm \frac{M_c}{I}$$

$$q_{max} = \frac{P}{BL} \left( 1 + 6 \frac{e_x}{B} \right)$$

$$q_{min} = \frac{P}{BL} \left( 1 - 6 \frac{e_x}{B} \right)$$

$$e_y = \frac{M_y}{P e_x} \leq \frac{L}{6} \quad [4]$$

$$e_x = \frac{M_x}{P e_y} \leq \frac{B}{6} \quad [5]$$

Figura N° 3: Elevación de zapata aislada.

### 3.1.3.2. GEOMETRÍA DE LA ZAPATA AISLADA CENTRADA

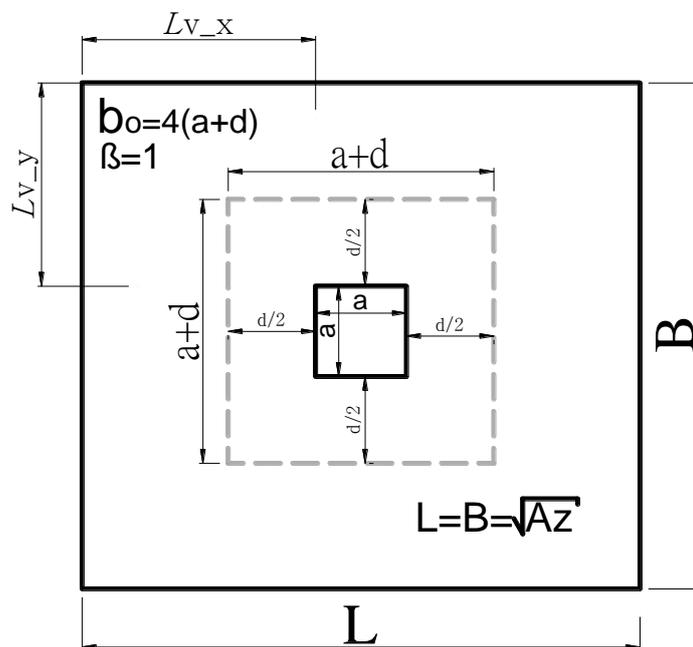


Figura N° 4: Geometría de zapata aislada centrada

### 3.1.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

Lo siguiente es verificar que la presión en el suelo ante cargas de servicio no exceda la  $\sigma_n$ . Según el Cap. XV - 15.2.3. De la E.060 Concreto armado; En el cálculo de las presiones de contacto entre las zapatas y el suelo no se deberán considerar las tracciones, debido a ello se tiene que cumplir las condiciones de excentricidades e las ecuaciones 4 y 5.

Las combinaciones de cargas de servicio por Esfuerzos Admisibles para tal verificación son:

$$\sigma_n = \frac{P_D + P_L}{A_z} \leq \sigma_n \quad [6]$$

Según el Cap. XV - 15.2.5. De la E060 Concreto armado; Para determinar los esfuerzos en el suelo, las acciones sísmicas podrán reducirse al 80% de los valores provenientes del análisis, ya que las sollicitaciones sísmicas especificadas en las NTE E.030 Diseño Sismorresistente están especificadas al nivel de resistencia de la estructura.

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_x})}{A_z} + \frac{6(M_{D_x} + 0.56M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [7]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_y})}{A_z} + \frac{6(M_{D_y} + 0.56M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [8]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_x})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_x} + 0.75M_{L_x} + 0.42M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6(0.75)M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [9]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_y})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_y} + 0.75M_{L_y} + 0.42M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6(0.75)M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [10]$$

Se escogerá el mayor valor de todos los esfuerzos obtenidos en la combinación de cargas de servicio de las ecuaciones 6, 7, 8, 9 y 10 de tal manera que no exceda la capacidad neta del terreno; para que se pueda concluir que las dimensiones estimadas sean las correctas.

### 3.1.3.4. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

(1ª) La resistencia requerida para cargas muertas ( $P_D$ ) y cargas vivas ( $P_L$ ) será como mínimo.

$$P_U = 1.4P_D + 1.7P_L \quad [11]$$

Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de sismo ( $P_E$ ), además de los indicado en (1ª), la resistencia requerida será como mínimo.

$$P_U = 1.25(P_D + P_L) \pm P_E \quad [12]$$

$$P_U = 0.90P_D \pm P_E \quad [13]$$

No será necesario considerar acciones de sismo y de viento simultáneamente

#### 3.1.3.4.1. Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial y Verificamos solo en la dirección “X” (dimensión en la dirección más larga de la cimentación)

$$q_{max-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [14]$$

$$q_{min-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [15]$$

- b) Continuamos verificando solo para carga de gravedad biaxial, pero esta vez teniendo en cuenta que los momentos actúan simultáneamente en las 2 direcciones.

$$q_{max-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [16]$$

$$q_{min-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [17]$$

c) Considerando gravedad + sismo en la dirección “X”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [18] \\ q_{max-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [19] \end{array} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [20] \\ q_{min-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [21] \end{array} \right.$$

d) Considerando gravedad + sismo en la dirección “Y”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{aligned} q_{max-4} &= \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_y})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\vec{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [22] \\ q_{max-4} &= \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_y})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\vec{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [23] \end{aligned} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{aligned} q_{min-4} &= \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_y})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\vec{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [24] \\ q_{min-4} &= \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_y})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\vec{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [25] \end{aligned} \right.$$

### 3.1.3.4.2. Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección "X"

$$q_{max-1} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-1} \leq \sigma_n$$

- b) Considerando Carga y Momentos de gravedad Biaxial, Dirección "X" e "Y"

$$q_{max-2} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-2} \leq \sigma_n$$

- c) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección "X".

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-3} \leq \sigma_n \\ q_{max-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

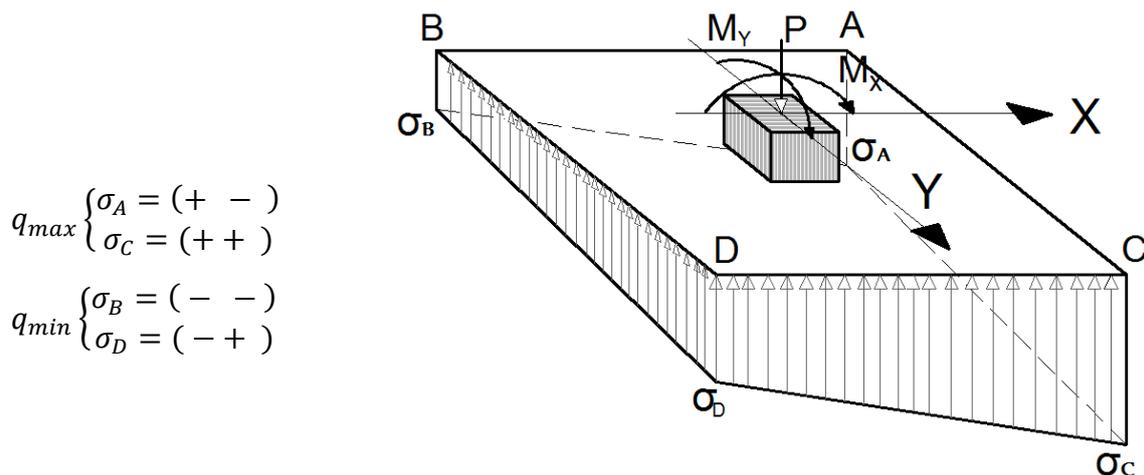
$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-3} \leq \sigma_n \\ q_{min-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

- d) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección "Y".

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-4} \leq \sigma_n \\ q_{max-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-4} \leq \sigma_n \\ q_{min-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

Los esfuerzos en los cuatro vértices de la base se obtienen para los signos indicados en la figura.



$$q_{max} \begin{cases} \sigma_A = (+ - ) \\ \sigma_C = (+ + ) \end{cases}$$

$$q_{min} \begin{cases} \sigma_B = (- - ) \\ \sigma_D = (- + ) \end{cases}$$

Figura N° 5: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada centrada

### 3.1.3.5. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.

Para poder determinar el espesor de la zapata  $h_z$ . En zapatas de columnas, el espesor total de la zapata se calcula mediante la verificación por flexión. El peralte efectivo mínimo de una zapata para la condición de cortante se calcula a continuación:

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_{v-x}^2 B}{2} \quad [26]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [27]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [28]$$

### 3.1.3.6. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

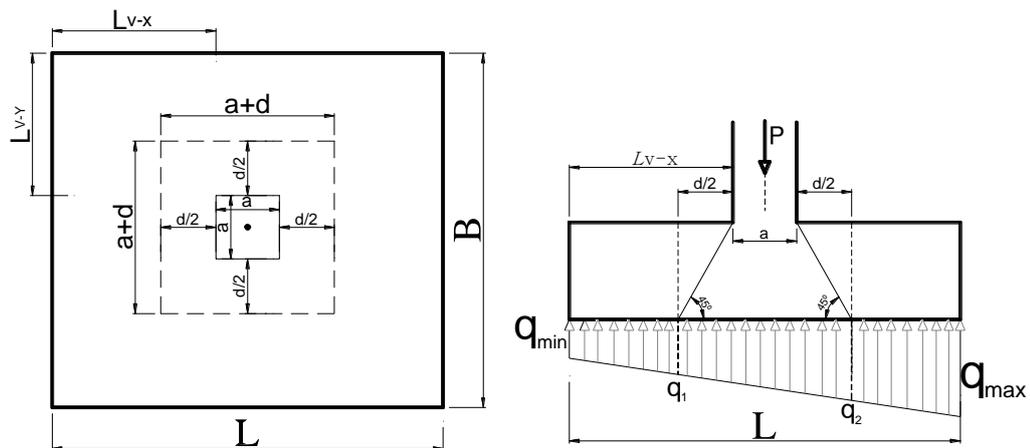


Figura N° 6: Sección crítica por punzamiento “Cuadrada”

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{v-x} - d/2 \right) + q_{min} \quad [29]$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{v-x} + a + d/2 \right) + q_{min} \quad [30]$$

a) **Cortante ultima actuante.**

$$V_{c_u} = P_u - \left[ \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) A_0 \right] \quad [31]$$

-  $A_0 = \text{Area critica}$

-  $A_0 = (a + d)(a + d) \quad [32]$

b) **Cortante Resistente que toma el concreto.**

De acuerdo a las disposiciones especiales para zapatas, la resistencia a cortante de zapatas en la cercanía a columnas, de las cargas concentradas o de las reacciones está regida por la más severa de las siguientes dos condiciones.

b.1). Comportamiento como viga, en el cual la zapata actúa como viga ancha en tal forma que las grietas diagonales potenciales se extenderían en un plano que abarca todo el ancho del elemento.

b.2). Comportamiento en dos direcciones, de manera que el agrietamiento se presentaría sobre la superficie de un cono o pirámide truncados en torno a la carga o reacción concentrada. La superficie crítica equivalente que deberá que deberá investigarse estará localizada de modo que su perímetro  $b_0$ , sea mínimo, pero no necesita estar más cerca de  $d/2$  desde:

Los bordes o las esquinas de las columnas, cargas concentradas, o área de la reacción.

Por tanto para la verificación por cortante punzonamiento o en dos direcciones debe basarse en las ecuaciones

- El diseño de secciones transversales sometidas a fuerza cortante debe estar basado en la ecuación:

$$\phi V_c \geq V_{c_u}$$

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [33]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [34]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [35]$$

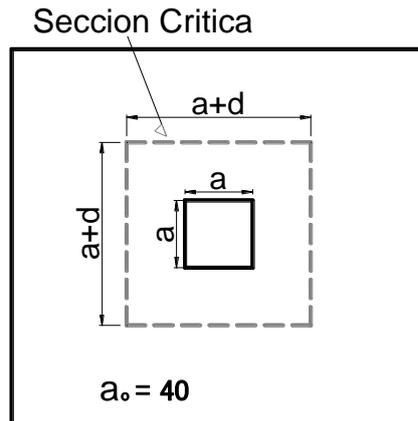


Figura N° 7: Perímetro de la sección crítica “Cuadrada”

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica

$$b_0 = 4(a + d)$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 3.1.3.7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

Para la revisión del cortante en una dirección cada una de las secciones críticas que van a investigarse se extienden en un plano a través del ancho total.

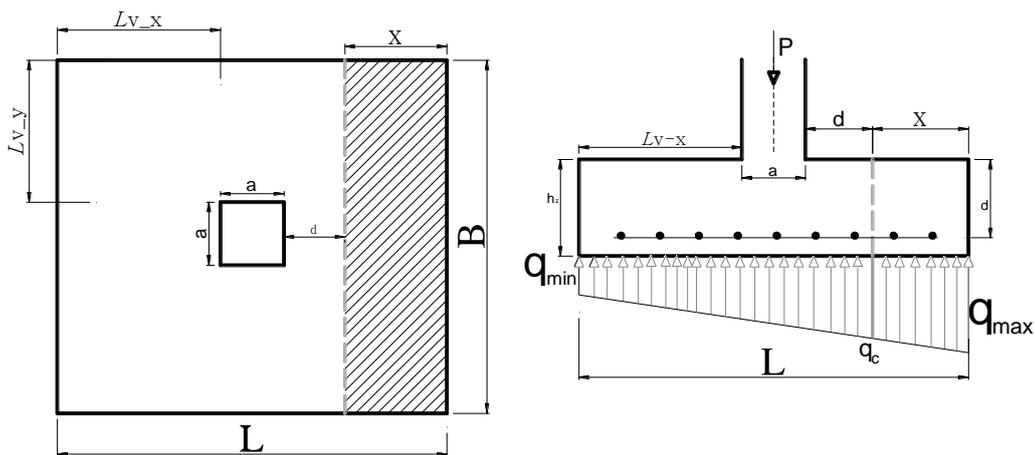
La sección crítica se encuentra a la distancia “d” de la cara de la columna, debido a que la resistencia a cortante debe ser resistida por el concreto debemos dimensionar la zapata de modo que se cumpla  $\phi V_c \geq V_{du}$ . La máxima tensión cortante que puede absorber el concreto (Elementos sometidos únicamente

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} B d \quad [35]$$

$B$  = Ancho de la sección

$d$  = Altura efectiva

$\phi = 0.85$



### 3.1.3.8. Dirección “X”

Figura N° 8 : Sección crítica para cortante en una dirección

$$q_c = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x} + a + d) + q_{min} \quad [36]$$

$$X = L_{v-x} - d \quad [37]$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_c}{2} \right) B X \quad [38]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

### 3.1.3.9. DISEÑO POR FLEXIÓN.

El momento máximo mayorado  $M_u$ , en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano vertical a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical.

- Para una zapata aislada que soporte una columna, pedestal o muro de la sección crítica está ubicada en la cara de la columna, pedestal o muro de concreto.

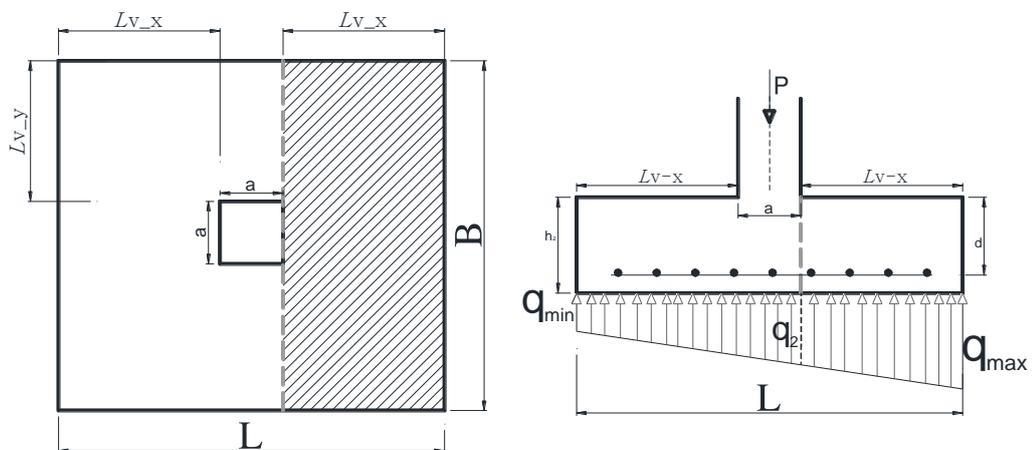


Figura N° 9: Sección crítica para momento en una dirección

Para poder determinar el  $M_{Diseño}$ , evaluaremos de acuerdo como especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones en su Norma Técnica E 060 de concreto armado.

**“15.4 MOMENTOS FLECTORES EN ZAPATAS; 15.4.1 El momento flector en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano vertical a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical. 15.4.2 Para una zapata aislada el momento máximo amplificado,  $M_u$ , debe calcularse en la forma indicada en 15.4.1.”**

Para poder determinar el  $M_{Diseño}$ , idealizaremos al volado de la zapata como una viga empotrada, como se muestra en la figura:

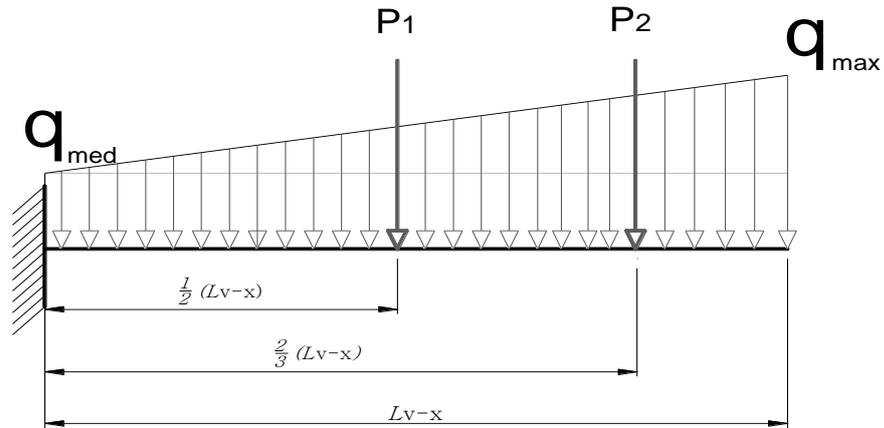


Figura N° 10: Idealización para determinar el momento

$$P_1 = (q_{med})(L_{v-x}) \quad [39]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{v-x}) \quad [40]$$

$$q_{med} = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right)(L_{v-x} + a) + q_{min} \quad [41]$$

$$M_{Diseño} = \left[ (q_{med} L_{v-x}) \left(\frac{L_{v-x}}{2}\right) + \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{v-x}) \left(\frac{2}{3} L_{v-x}\right) \right] B$$

$$M_{Diseño} = \left[ \left(\frac{q_{med}}{2} L_{v-x}^2\right) + (q_{max} - q_{med}) \left(\frac{L_{v-x}^2}{3}\right) \right] B$$

Momento de diseño a la cara de la zapata en la dirección longitudinal "X"

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{max} + q_{med})}{6} (L_{v-x}^2) \right] B \quad [42]$$

### 3.1.3.9.1. Acero requerido por Flexión.

Luego calcularemos el acero de refuerzo, para esto emplearemos el esfuerzo último  $R_u$ , que debe ser resistida por el refuerzo a tensión mostrada a continuación;

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [43]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [44]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_s = \rho B d \quad [45]$$

### 3.1.3.9.2. Distribución del refuerzo por flexión (RNE)

Solamente en zapatas cuadradas en dos direcciones, el refuerzo será distribuido uniformemente a través de todo el ancho de la zapata. No será aplicado como especifica la norma, **E 060 – Cap. 15 - 15.4.4.2.**

Luego determinamos el diámetro de la barra de refuerzo y la cantidad de barras a utilizar.

a) **Para el acero colocado en la dirección más larga será:**

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2 \quad [46]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad [47]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [48]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA CENTRAL

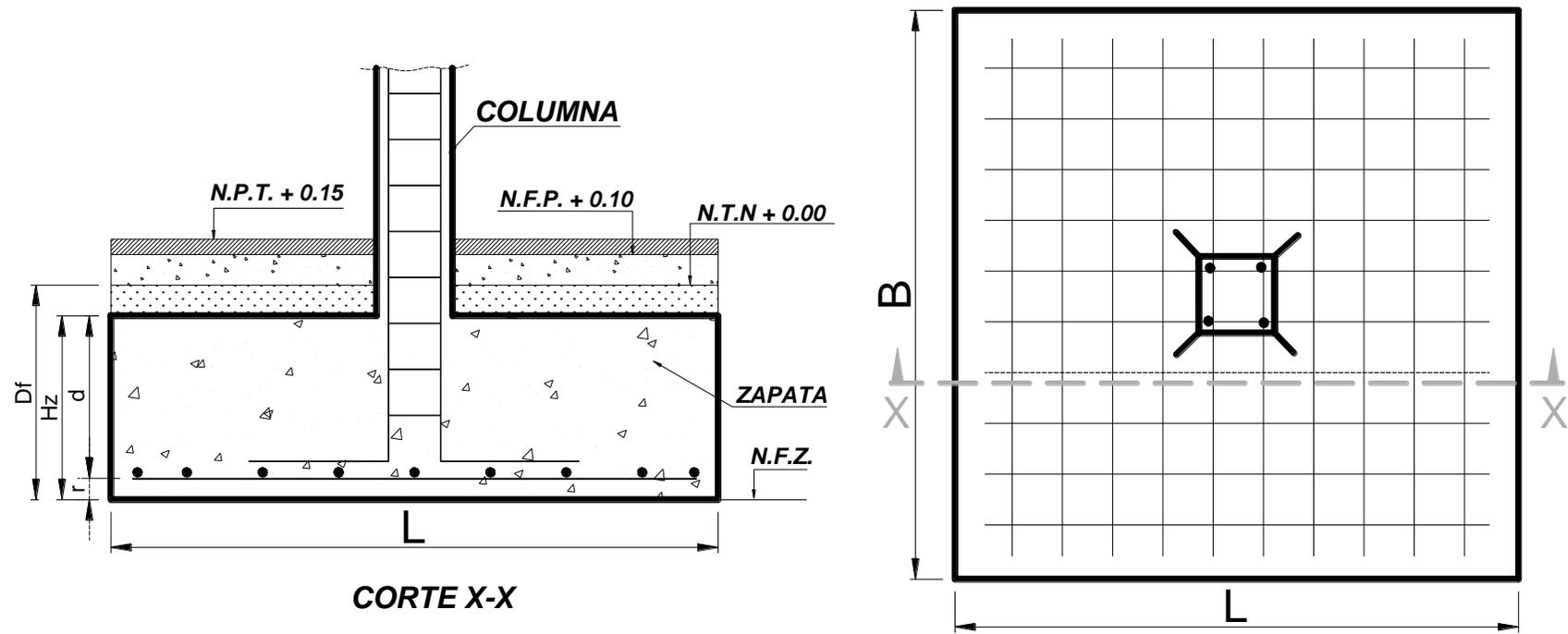


Figura N° 11: Detallado del refuerzo de zapata aislada cuadrada

## 3.2. ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA RECTANGULAR”

### 3.2.1. DATOS DE ENTRADA

#### 3.2.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

- $\sigma_{neta}$  = Capacidad portante del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $f'_c$  = Resistencia a compresion del concreto
- $f_y$  = Resistencia a fluencia del acero

Tabla N° 2: Cargas y Momentos de la columna rectangular

| <b>CARGAS</b>                        |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| <b>MOMENTOS</b>                      |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

### 3.2.2. PROCESO

#### 3.2.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_{\text{neto}} = \sigma_{\text{adm}} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [49]$$

#### 3.2.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

##### 3.2.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

Para las combinaciones de carga de servicio, será tomara igual como especifica en la zapata aislada central – “Columna cuadrada”, de tal manera escogeremos la carga máxima  $P_{max}$  de servicio que llega a la zapata; las combinaciones se muestran a continuación:

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

##### 3.2.2.2.2. Área De Zapata

$$A_z = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [50]$$

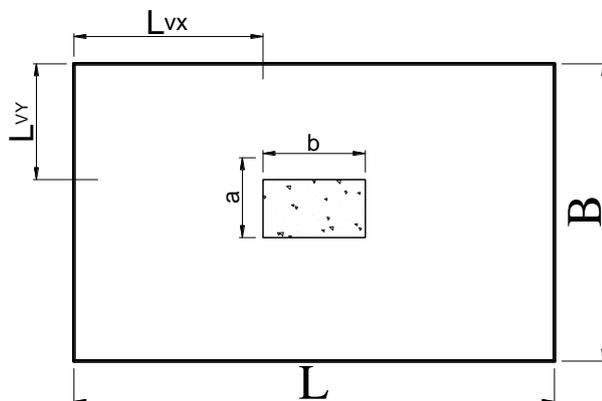


Figura N° 12: Área de zapata rectangular

$$L = \sqrt{A_z} + 0.5(b - a) \quad [51]$$

$$L_{vx} = 0.5(L - b)$$

$$B = \sqrt{A_z} - 0.5(b - a) \quad [52]$$

$$L_{vy} = 0.5(B - a)$$

### 3.2.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

#### 3.2.3.1. VERIFICACIÓN DE EXCENTRICIDADES:

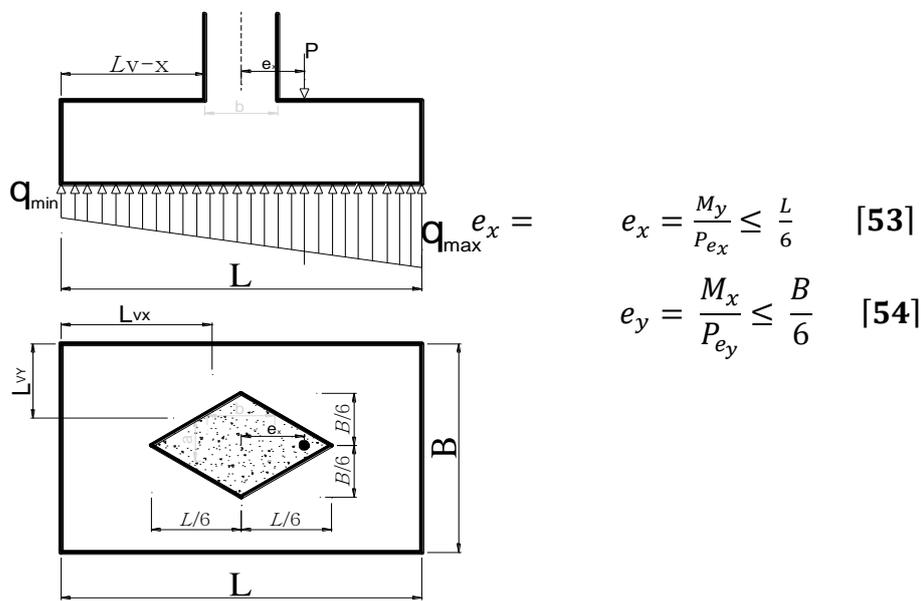


Figura N° 13: Elevación de zapata aislada.

#### 3.2.3.2. GEOMETRÍA DE LA ZAPATA AISLADA RECTANGULAR CENTRADA.

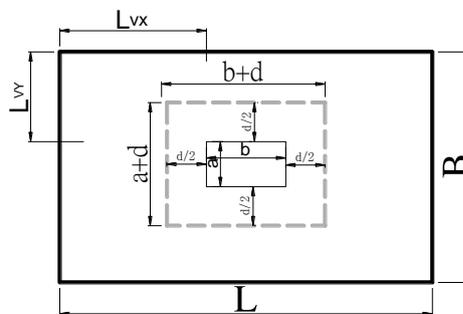


Figura N° 14: Geometría de zapata rectangular

### 3.2.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

Las combinaciones de cargas de servicio por Esfuerzos Admisibles para tal verificación son:

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + P_L}{A_z} \leq \sigma_n \quad [55]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_x})}{A_z} + \frac{6(M_{D_x} + 0.56M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [56]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_y})}{A_z} + \frac{6(M_{D_y} + 0.56M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [57]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_x})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_x} + 0.75M_{L_x} + 0.42M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6(0.75)M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [58]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_y})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_y} + 0.75M_{L_y} + 0.42M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6(0.75)M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [59]$$

### 3.2.3.4. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

Combinaciones cargas factoradas de diseño

$$P_U = 1.4P_D + 1.7P_L \quad [60]$$

$$P_U = 1.25(P_D + P_L) \pm P_E \quad [61]$$

$$P_U = 0.90P_D \pm P_E \quad [62]$$

### 3.2.3.4.1. Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial y Verificamos solo en la dirección “X” (dimensión en la dirección más larga de la cimentación).

$$q_{max-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [63]$$

$$q_{min-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [64]$$

- e) Continuamos verificando solo para carga de gravedad biaxial, pero esta vez teniendo en cuenta que los momentos actúan simultáneamente en las 2 direcciones.

$$q_{max-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [65]$$

$$q_{min-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [66]$$

a) Considerando gravedad + sismo en la dirección “X”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [67] \\ q_{max-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [68] \end{array} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [69] \\ q_{min-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [70] \end{array} \right.$$

b) Considerando gravedad + sismo en la dirección “Y”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-4} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \end{array} \right. \quad [71]$$

$$q_{max-4} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [72]$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-4} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \end{array} \right. \quad [73]$$

$$q_{min-4} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [74]$$

### 3.2.3.4.2. Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección "X"

$$q_{max-1} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-1} \leq \sigma_n$$

- b) Considerando Carga y Momentos de gravedad Biaxial, Dirección "X" e "Y"

$$q_{max-2} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-2} \leq \sigma_n$$

- c) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección "X".

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-3} \leq \sigma_n \\ q_{max-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-3} \leq \sigma_n \\ q_{min-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

- d) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección "Y".

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-4} \leq \sigma_n \\ q_{max-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-4} \leq \sigma_n \\ q_{min-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

Los esfuerzos en los cuatro vértices de la base se obtienen para los signos indicados en la figura.

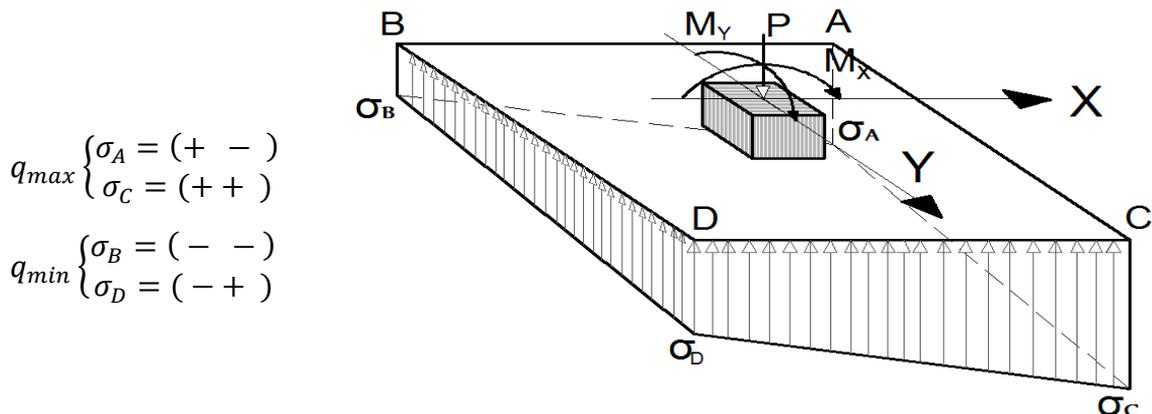


Figura N° 15: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada centrada

### 3.2.3.5. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [74]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [75]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [76]$$

### 3.2.3.6. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

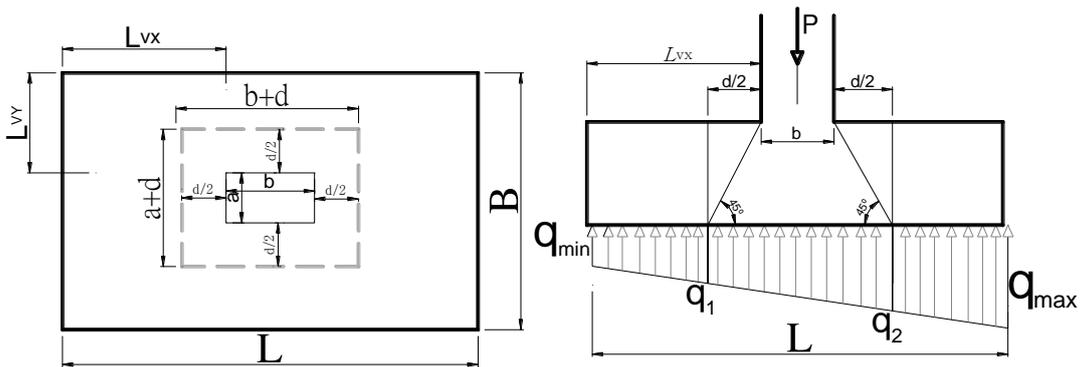


Figura N° 16: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular”

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{vx} - d/2) + q_{min} \quad [77]$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{vx} + b + d/2) + q_{min} \quad [78]$$

a) Cortante ultima actuante.

$$V_{c_u} = P_u - \left[ \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) A_0 \right] \quad [79]$$

-  $A_0 = \text{Area critica}$

$$- A_0 = (a + d)(b + d) \quad [80]$$

b) Cortante Resistente que toma el concreto.

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [81]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [82]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [83]$$

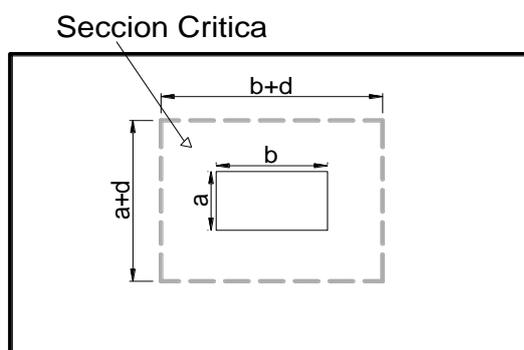


Figura N° 17: Perímetro de la sección crítica “Rectangular”

$b_o$  = Perímetro de la seccion critica

$$b_o = 2(a + d) + 2(b + d) \quad [84]$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 3.2.3.7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

#### 3.2.3.7.1. Dirección “X”

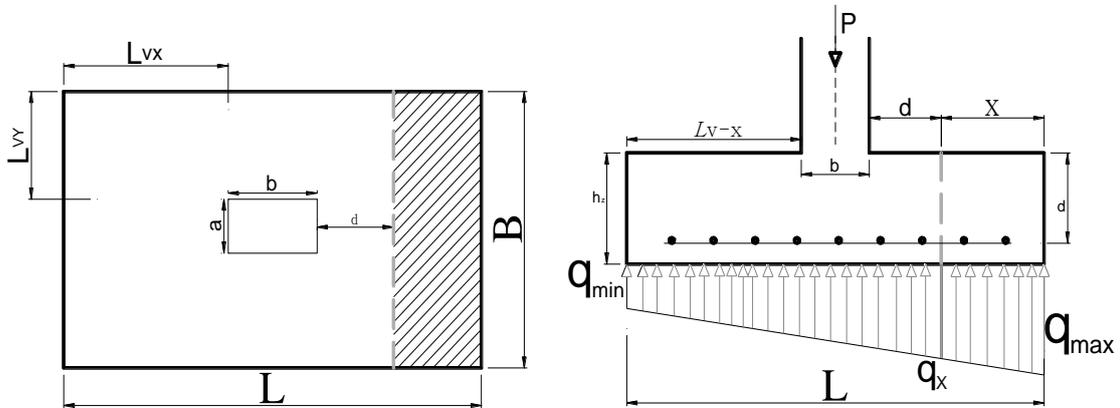


Figura N° 18: Sección crítica para cortante en la dirección “X”

$$q_x = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x} + b + d) + q_{min} \quad [85]$$

$$X = L_{v-x} - d$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_x}{2} \right) B X \quad [86]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B d \quad [87]$$

$B$  = Longitud corta de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 3.2.3.7.2. Dirección “Y”

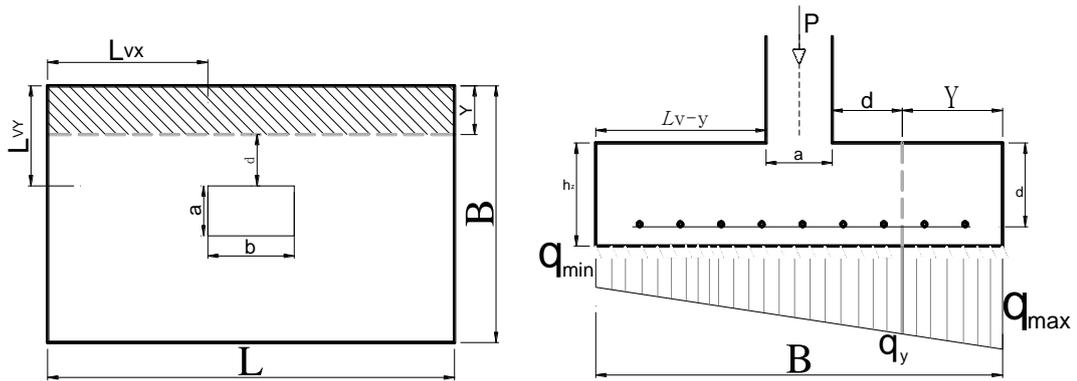


Figura N° 19: Sección crítica para cortante en la dirección “Y”

$$q_y = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_{v-y} + a + d) + q_{min} \quad [88]$$

$$Y = L_{v-y} - d$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_y}{2} \right) L Y \quad [89]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} L d \quad [90]$$

$L$  = Longitud larga de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 3.2.3.8. DISEÑO POR FLEXIÓN.

El momento máximo mayorado  $M_u$ , en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano vertical a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical.

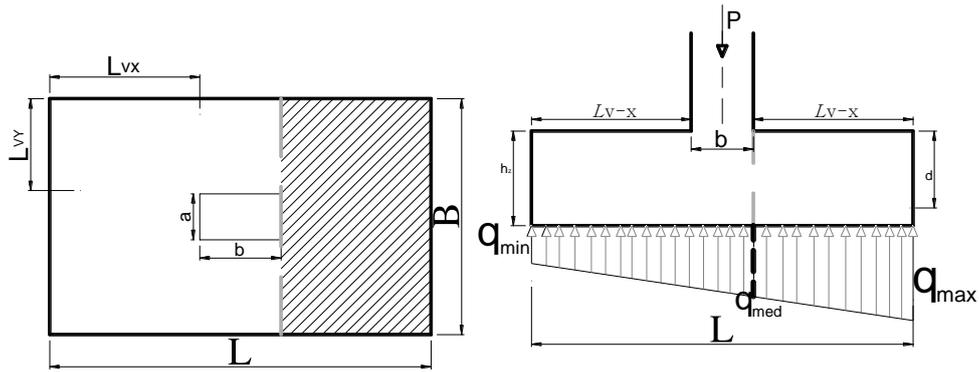


Figura N° 20: Sección crítica para momento en una dirección

Para poder determinar el  $M_{Diseño}$ , evaluaremos de acuerdo como especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones en su Norma Técnica E 060 de concreto armado.

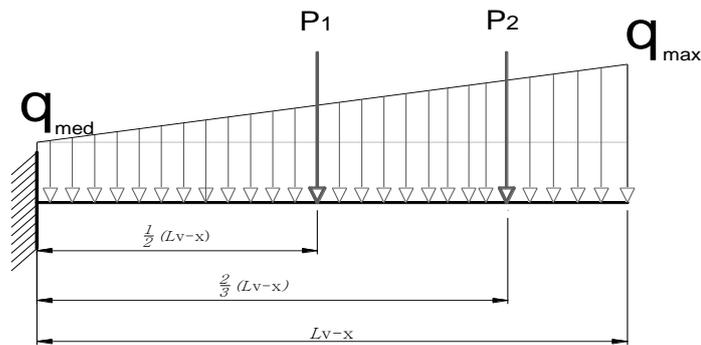


Figura N° 21 : Idealización para determinar el momento

$$P_1 = (q_{med})(L_{v-x}) \quad [91]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{v-x}) \quad [92]$$

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x} + b) + q_{min} \quad [93]$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{max} + q_{med})}{6} (L_{v-x}^2) \right] B \quad [94]$$

### 3.2.3.8.1. Acero requerido por Flexión.

Luego calcularemos el acero de refuerzo, para esto emplearemos el esfuerzo último  $R_u$ , que debe ser resistida por el refuerzo a tensión mostrada a continuación;

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [95]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [46]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{calculado} > \rho_{minimo} \quad \text{Tomar el mayor}$$

$$A_s = \rho B d \quad [47]$$

### 3.2.3.8.2. Distribución del refuerzo por flexión (RNE)

De acuerdo con la norma E-060 de concreto armado, en el capítulo 15 - 15.4.4.1. El refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata.

En zapatas rectangulares el refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata. Para el refuerzo en la dirección corta una porción total,  $\gamma_s A_s$  debe distribuirse en forma uniforme sobre una franja (centrada con respecto al eje de la columna o pedestal) cuyo ancho sea igual a la longitud del lado corto de la zapata.

El resto del refuerzo requerido en la dirección corta  $(1 - \gamma_s)A_s$ , debe distribuirse uniformemente en las zonas que queden fuera de la franja central de la zapata.

$$\gamma_s = \frac{2}{(\beta + 1)} \quad [98]$$

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

a) **Para el acero colocado a lo largo de la dirección más larga:**

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad [99]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calcula con la siguiente fórmula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [100]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo está mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA CENTRAL

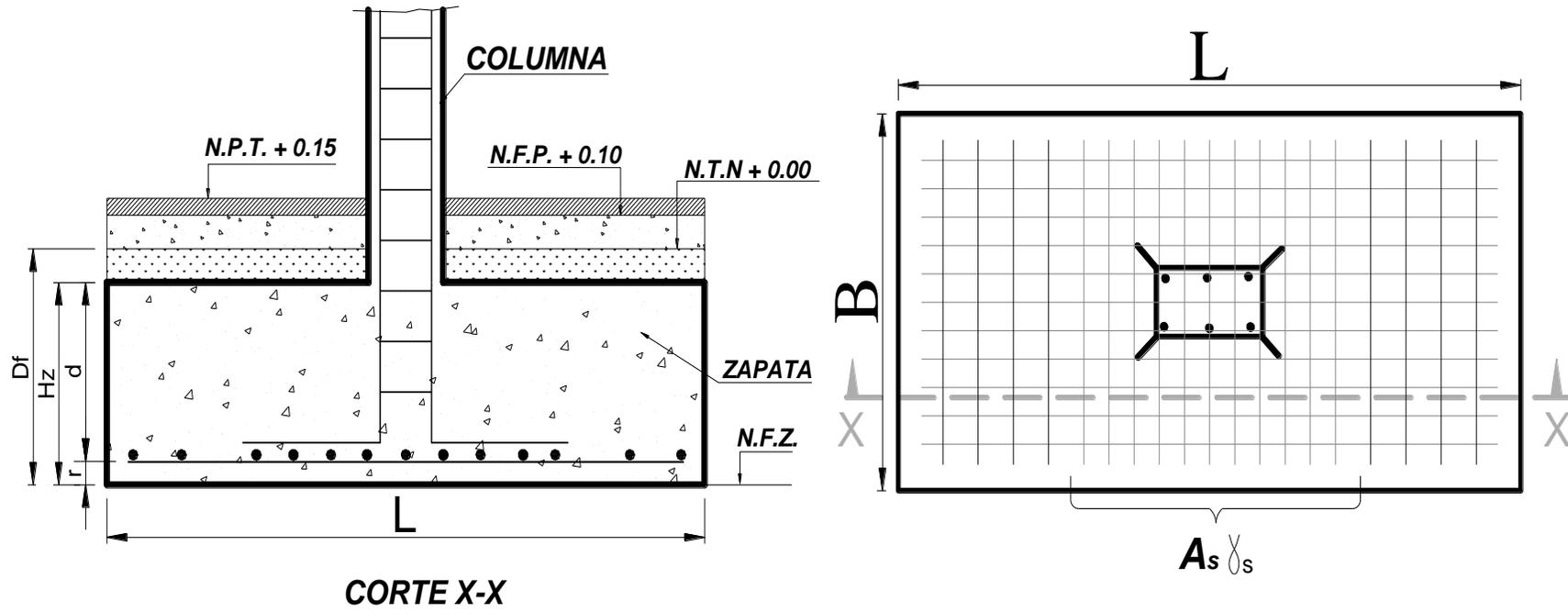


Figura N° 22: Detalle del refuerzo de zapata aislada rectangular

### 3.3. ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA T”

#### 3.3.1. DATOS DE ENTRADA

##### 3.3.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

- $\sigma_{neta}$  = Capacidad portante del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante

Tabla N° 3: Cargas y Momentos de la columna en T

| <b>CARGAS</b>                        |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| <b>MOMENTOS</b>                      |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

#### 3.3.2. PROCESO

##### 3.3.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_{neto} = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [101]$$

### 3.3.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 3.3.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 3.3.2.2.2. Área De Zapata

$$A_z = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [102]$$

Para determinar las dimensiones de la zapata emplearemos las siguientes fórmulas para obtener los mismos volados en cada dirección:

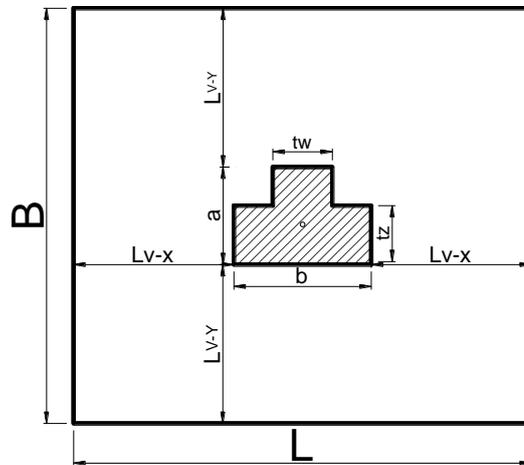


Figura N° 23: Área de zapata "T"

$$L = \sqrt{A_z} + 0.5(b - a) \quad [103]$$

$$L_{vx} = 0.5(L - b)$$

$$B = \sqrt{A_z} - 0.5(b - a) \quad [104]$$

$$L_{vy} = 0.5(B - a)$$

En la columna “T” el centro de gravedad donde se ubica la carga (ubicada el centro de gravedad de la columna) está a una distancia del centro de gravedad de la zapata en la dirección longitudinal, para ello hacemos coincidir el centro de gravedad de la columna y la zapata para que no exista excentricidad, y tener un esfuerzo del presiones rectangular por cargas verticales.

A continuación tenemos que determinar el centro de gravedad con las formulas 105 y 106 de la sección “T” ubicada a una distancia  $X_c$  e  $Y_c$  tanto en la distancia “X” e “Y” respectivamente. Las fórmulas para determinar el centro de gravedad son detalladas a continuación.

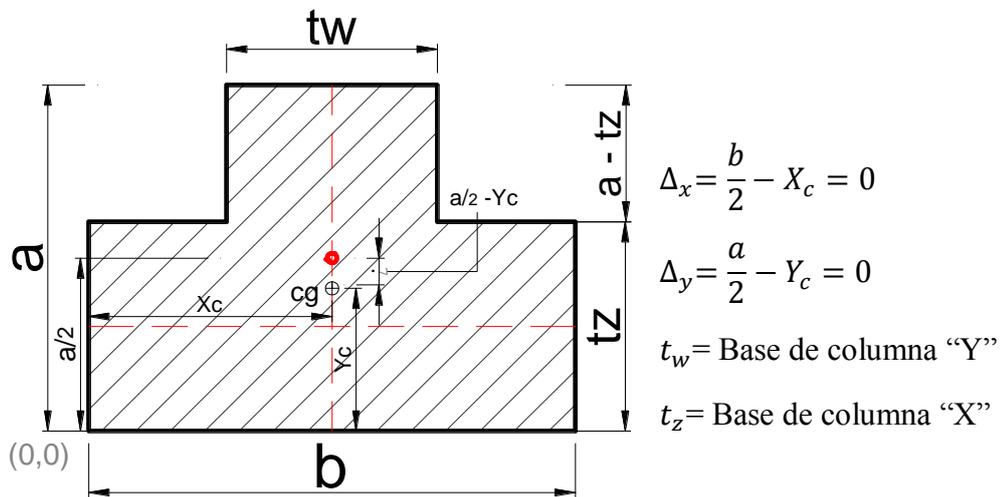


Figura N° 24: Centroide de la columna “T”

$$Y_c = \frac{(t_w)(a - t_z) \left(\frac{a + t_z}{2}\right) + (t_z)(b) \left(\frac{t_z}{2}\right)}{(t_z)(b) + (t_w)(a - t_z)} \quad [105]$$

$$X_c = \frac{b}{2} \quad [106]$$

Tal como se especifica anteriormente tenemos que hacer coincidir el centro de gravedad de la columna con el mismo de la zapata, de esta manera correremos las distancias, para obtener volados, pero en este caso

ya no serán iguales, las longitudes serán sumados y restados a los volados en cada dirección como se muestra a continuación:

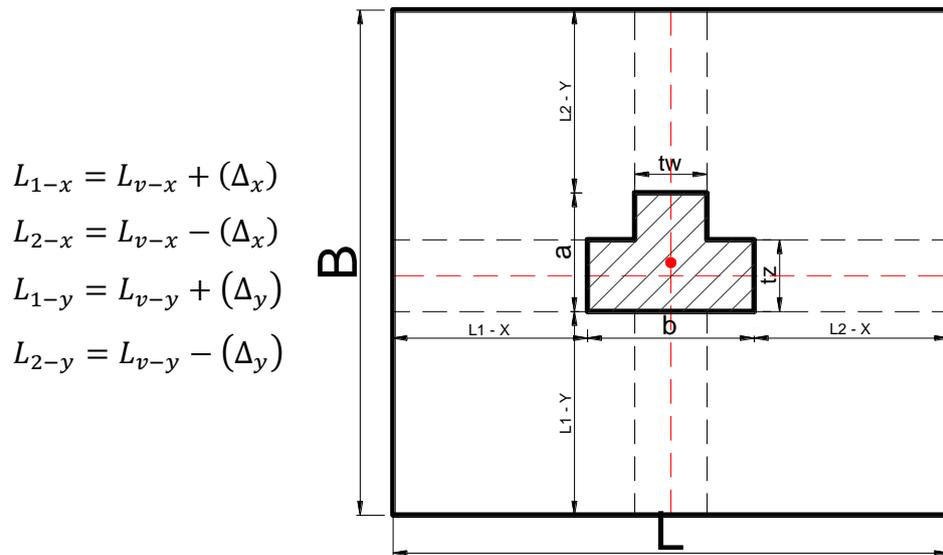


Figura N° 25: Ubicaciones de los centroides, zapata y columna T

Nuevas dimensiones de la zapata

$$L = L_{1-x} + L_{2-x} + b \quad [107]$$

$$B = L_{1-y} + L_{2-y} + a \quad [108]$$

### 3.3.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

#### 3.3.3.1. VERIFICACIÓN DE EXCENTRICIDADES:

Después de hacer coincidir los centros de gravedad y obtener excentricidades cero con cargas de servicio, obtenemos una distribución uniforme de presiones, de esta manera verificamos las excentricidades debido a sismo, donde las cargas tiene que estar dentro del tercio central de esa manera evitamos esfuerzo de tracción en el terreno, y la distribución de presiones tendrá un  $q_{max}$  y  $q_{mix}$  con una distribución trapezoidal.

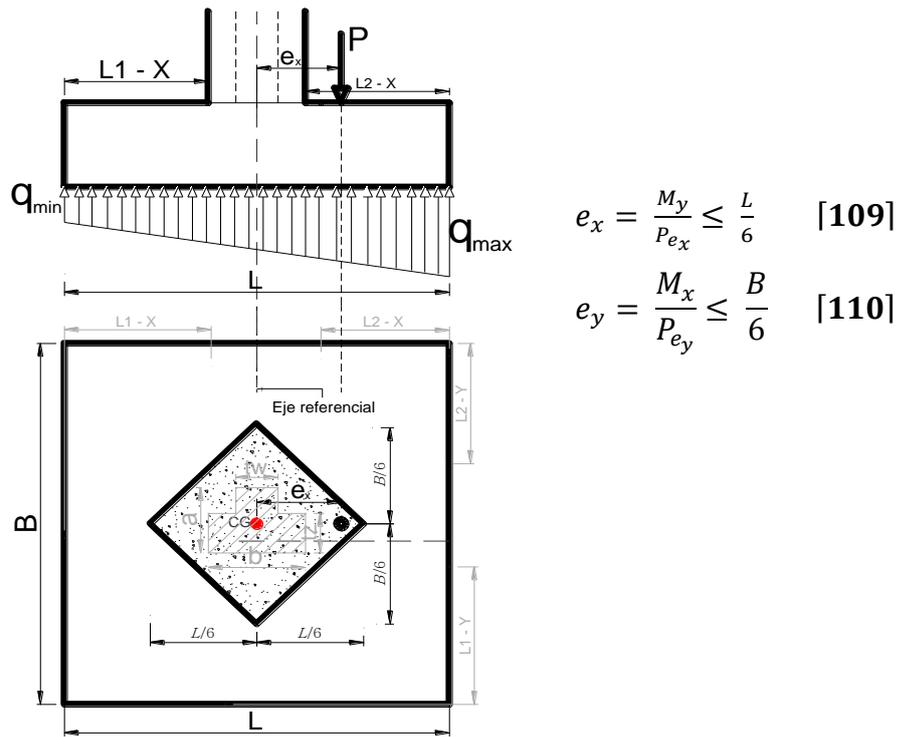


Figura N° 26: Elevación de zapata aislada – Columna T.

### 3.3.3.2. GEOMETRÍA DE LA ZAPATA AISLADA RECTANGULAR CENTRADA.

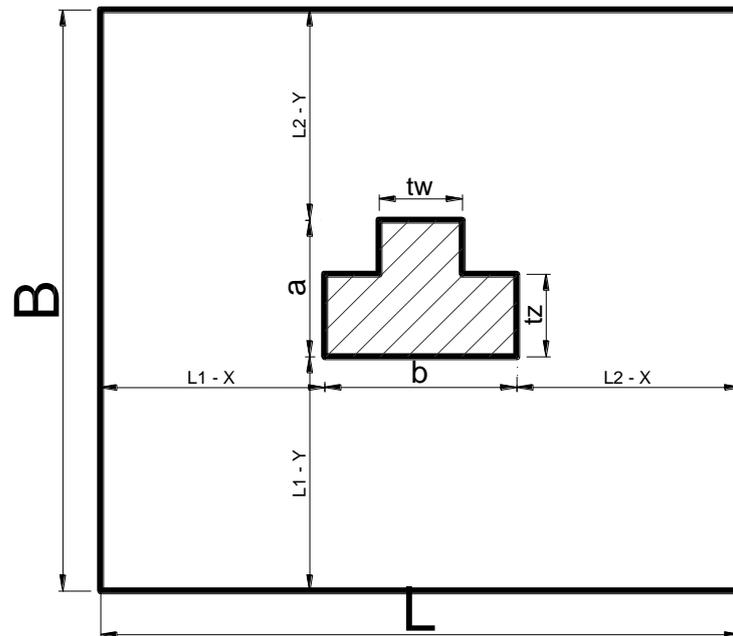


Figura N° 27: Geometría de zapata – Columna T

### 3.3.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

Las combinaciones de cargas de servicio por Esfuerzos Admisibles para tal verificación son:

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + P_L}{A_z} \leq \sigma_n \quad [111]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_x})}{A_z} + \frac{6(M_{D_x} + 0.56M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [112]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_y})}{A_z} + \frac{6(M_{D_y} + 0.56M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [113]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_x})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_x} + 0.75M_{L_x} + 0.42M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6(0.75)M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [114]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_y})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_y} + 0.75M_{L_y} + 0.42M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6(0.75)M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [115]$$

### 3.3.3.4. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

Combinaciones cargas factoradas de diseño

$$P_U = 1.4P_D + 1.7P_L \quad [116]$$

$$P_U = 1.25(P_D + P_L) \pm P_E \quad [117]$$

$$P_U = 0.90P_D \pm P_E \quad [118]$$

### 3.3.3.4.1. Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- b) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial y Verificamos solo en la dirección “X” (dimensión en la dirección más larga de la cimentación).

$$q_{max-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [118]$$

$$q_{min-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [119]$$

- f) Continuamos verificando solo para carga de gravedad biaxial, pero esta vez teniendo en cuenta que los momentos actúan simultáneamente en las 2 direcciones.

$$q_{max-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [120]$$

$$q_{min-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [121]$$

c) Considerando gravedad + sismo en la dirección “X”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [122] \\ q_{max-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [123] \end{array} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [124] \\ q_{min-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [125] \end{array} \right.$$

d) Considerando gravedad + sismo en la dirección “Y”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-4} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \end{array} \right. \quad [126]$$

$$q_{max-4} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [127]$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-4} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \end{array} \right. \quad [128]$$

$$q_{min-4} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [129]$$

### 3.3.3.4.2. Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- b) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección "X"

$$q_{max-1} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-1} \leq \sigma_n$$

- c) Considerando Carga y Momentos de gravedad Biaxial, Dirección "X" e "Y"

$$q_{max-2} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-2} \leq \sigma_n$$

- d) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección "X".

$$mayor \begin{cases} q_{max-3} \leq \sigma_n \\ q_{max-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$mayor \begin{cases} q_{min-3} \leq \sigma_n \\ q_{min-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

- e) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección "Y".

$$mayor \begin{cases} q_{max-4} \leq \sigma_n \\ q_{max-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$mayor \begin{cases} q_{min-4} \leq \sigma_n \\ q_{min-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

Los esfuerzos en los cuatro vértices de la base se obtienen para los signos indicados en la figura.

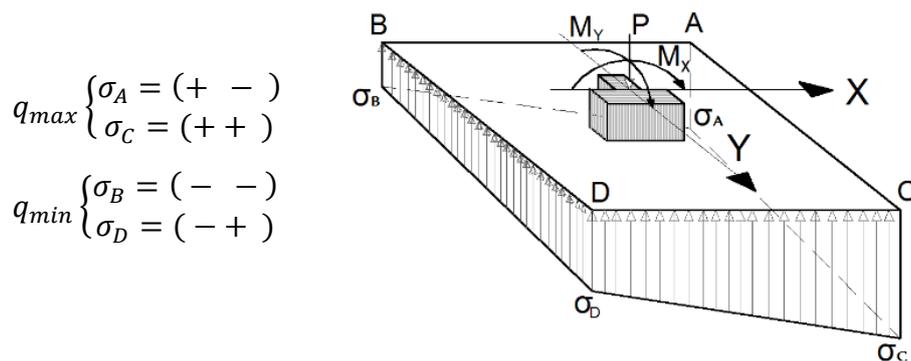


Figura N° 28: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada – Columna "T"

### 3.3.3.5. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [130]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [131]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [132]$$

### 3.3.3.6. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

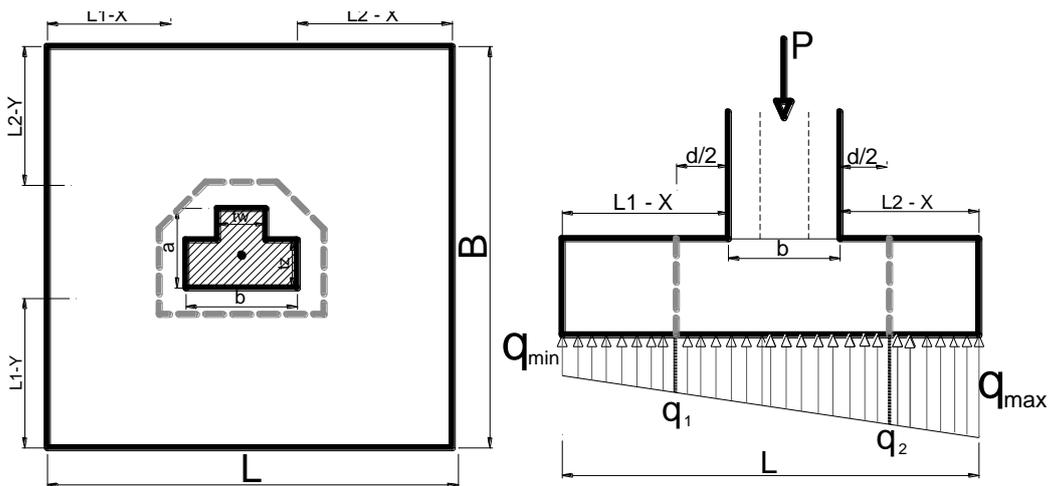


Figura N° 29: Sección crítica por punzonamiento “Columna T”

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{1-x} - d/2 \right) + q_{min} \quad [133]$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{1-x} + b + d/2 \right) + q_{min} \quad [134]$$

a) Cortante última actuante.

Con la fórmula de  $V_{cu} = P_u - Vol$  terminamos la cortante última actuante; en el caso del  $A_0$  formularemos un esquema para encontrar un área crítica.

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) A_0 \right] \quad [135]$$

$V_{cu}$  = Cortante última actuante

$P_u$  = Carga última factorada

$A_0$  = Área crítica

Para completar los datos de la cortante última, falta encontrar el  $A_0$  (área crítica) y de igual manera aprovechar y calcular el perímetro crítico, para ellos demuestra como determinar el valor del área crítica.

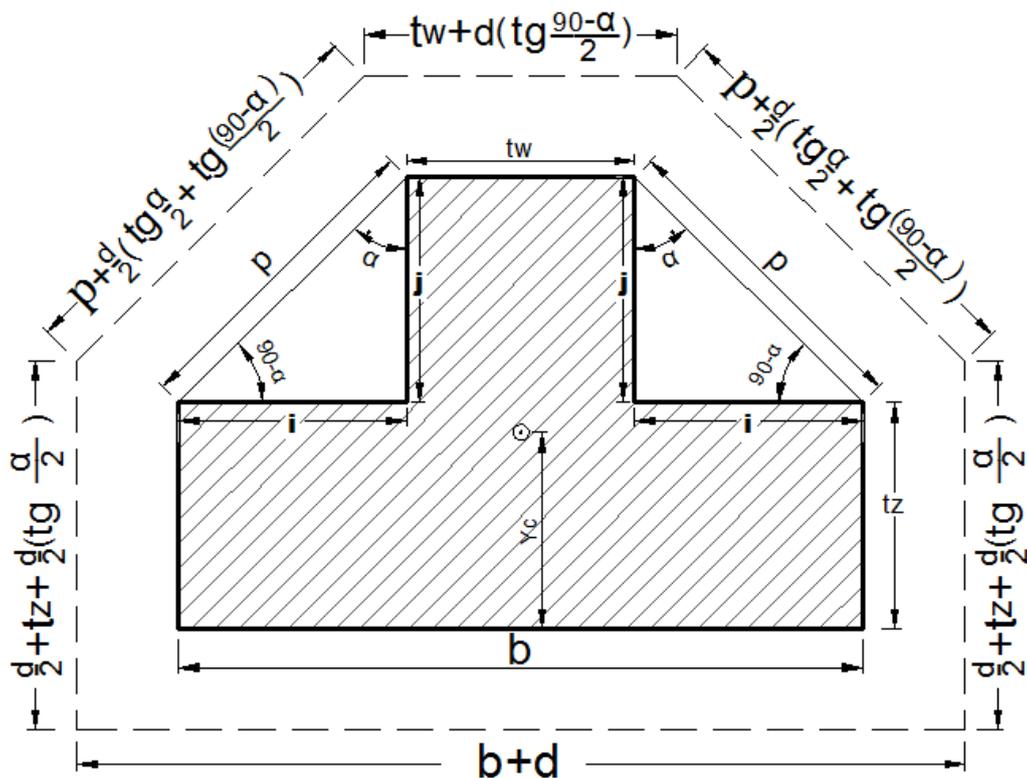


Figura N° 30: Perímetro y Área crítica en columna “T”

$$\beta = \frac{b}{a} \quad i = \frac{b - t_w}{2} \quad \rho = \sqrt{j^2 + i^2}$$

$$j = a - t_z \quad \alpha = \arctan\left(\frac{i}{j}\right)$$

**Perímetro crítico**

$$b_0 = (b + d) + 2 \left[ \left( \frac{d}{2} \left( 1 + \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) + t_z \right) + \left( \rho + \frac{d}{2} \left( \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) + \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \right) \right] + t_w + d \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) \quad [136]$$

**Área crítica**

$$A_0 = \left[ (b + d) \left( \frac{d}{2} \left( 1 + \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) + t_z \right) \right] + \left[ \frac{(b+d) + (t_w + d \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right))}{2} * \left( \frac{d}{2} + j - \frac{d}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \right] \quad [137]$$

**b) Cortante Resistente que toma el concreto.**

$$\phi V_c \geq V_{c_u}$$

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [138]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [139]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [140]$$

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 3.3.3.7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

#### 3.3.3.7.1. Dirección “X”

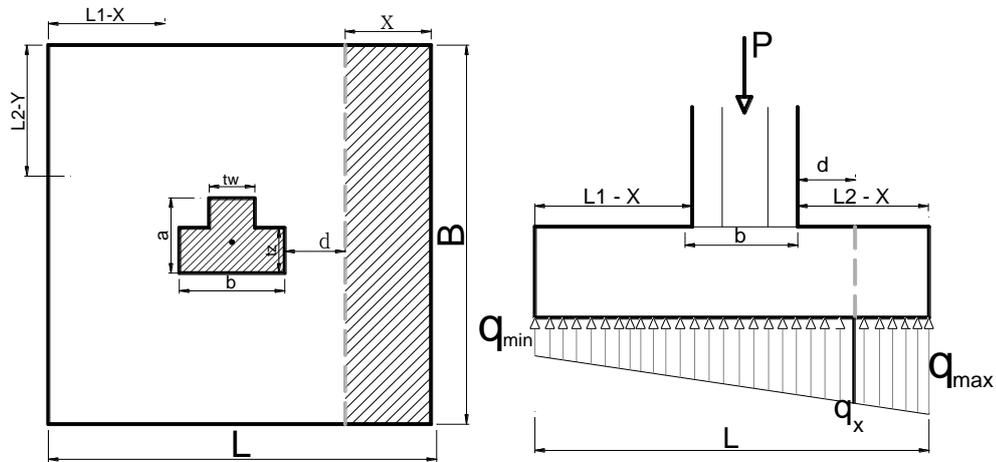


Figura N° 31: Sección crítica columna T para cortante en la dirección “X”

$$q_x = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{1-x} + b + d) + q_{min} \quad [141]$$

$$X = L_{2-x} - d$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_x}{2} \right) B X \quad [142]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B d \quad [143]$$

$B$  = Longitud corta de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 3.3.3.7.2. Dirección “Y”

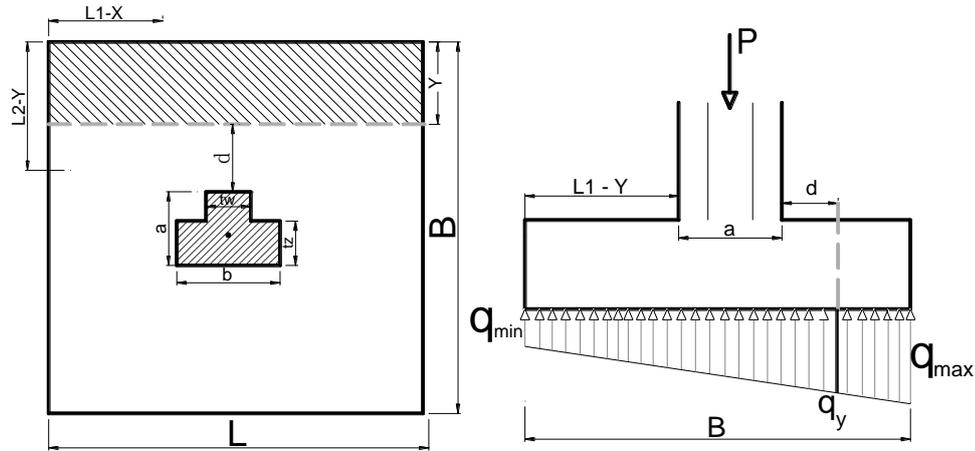


Figura N° 32: Sección crítica columna T para cortante en la dirección “Y”

$$q_y = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_{1-Y} + a + d) + q_{min} \quad [144]$$

$$Y = L_{2-y} - d$$

$$V_{d_u} = \left( \frac{q_{max} + q_y}{2} \right) L Y \quad [145]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{d_u}$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} L d \quad [146]$$

$L$  = Longitud larga de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 3.3.3.8. DISEÑO POR FLEXIÓN.

El momento máximo mayorado  $M_u$ , en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano vertical a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical.

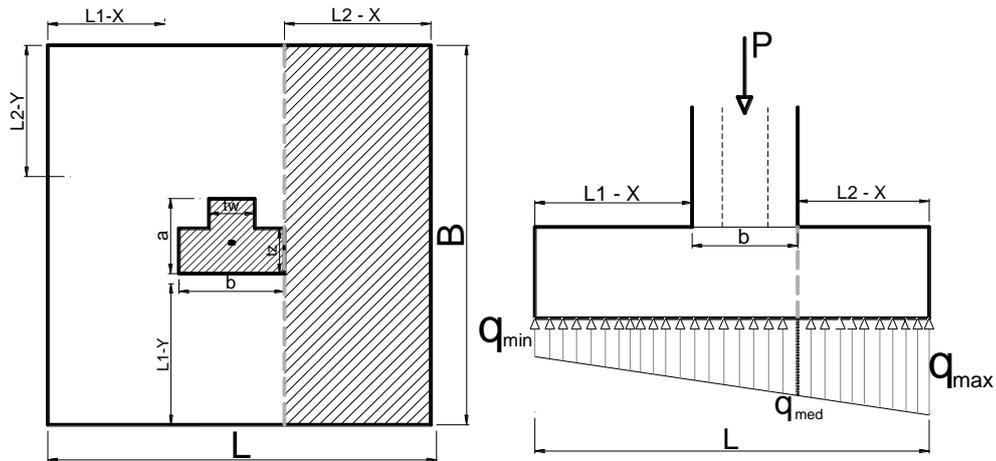


Figura N° 33: Sección crítica para momento en una dirección

Para poder determinar el  $M_{Diseño}$ , evaluaremos de acuerdo como especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones en su Norma Técnica E. 060 de concreto armado.

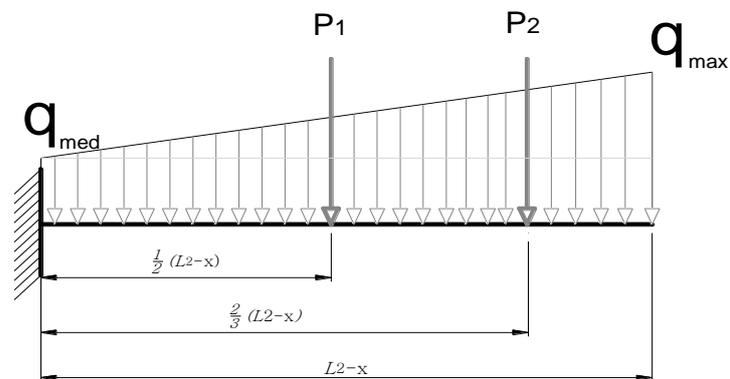


Figura N° 33: Idealización para determinar el momento

$$P_1 = (q_{med})(L_{2-x}) \quad [147]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{2-x}) \quad [148]$$

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{1-x} + b) + q_{min} \quad [149]$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{max} + q_{med})}{6} (L_{2-x}^2) \right] B \quad [150]$$

### 3.3.3.8.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [95]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [46]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_s = \rho B d \quad [47]$$

### 3.3.3.8.2. Distribución del refuerzo por flexión (RNE)

De acuerdo con la norma E-060 de concreto armado, en el capítulo 15 - 15.4.4.1. El refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata.

En zapatas rectangulares el refuerzo en la dirección larga debe distribuirse uniformemente en el ancho total de la zapata. Para el refuerzo en la dirección corta una porción total,  $\gamma_s A_s$  debe distribuirse en forma uniforme sobre una franja (centrada con respecto al eje de la columna o pedestal) cuyo ancho sea igual a la longitud del lado corto de la zapata.

El resto del refuerzo requerido en la dirección corta  $(1 - \gamma_s)A_s$ , debe distribuirse uniformemente en las zonas que queden fuera de la franja central de la zapata.

$$\gamma_s = \frac{2}{(\beta + 1)} \quad [152]$$

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna} \quad [153]$$

a) Para el acero colocado a lo largo de la dirección más larga:

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad [154]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calcula con la siguiente fórmula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [155]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo está mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA CENTRAL

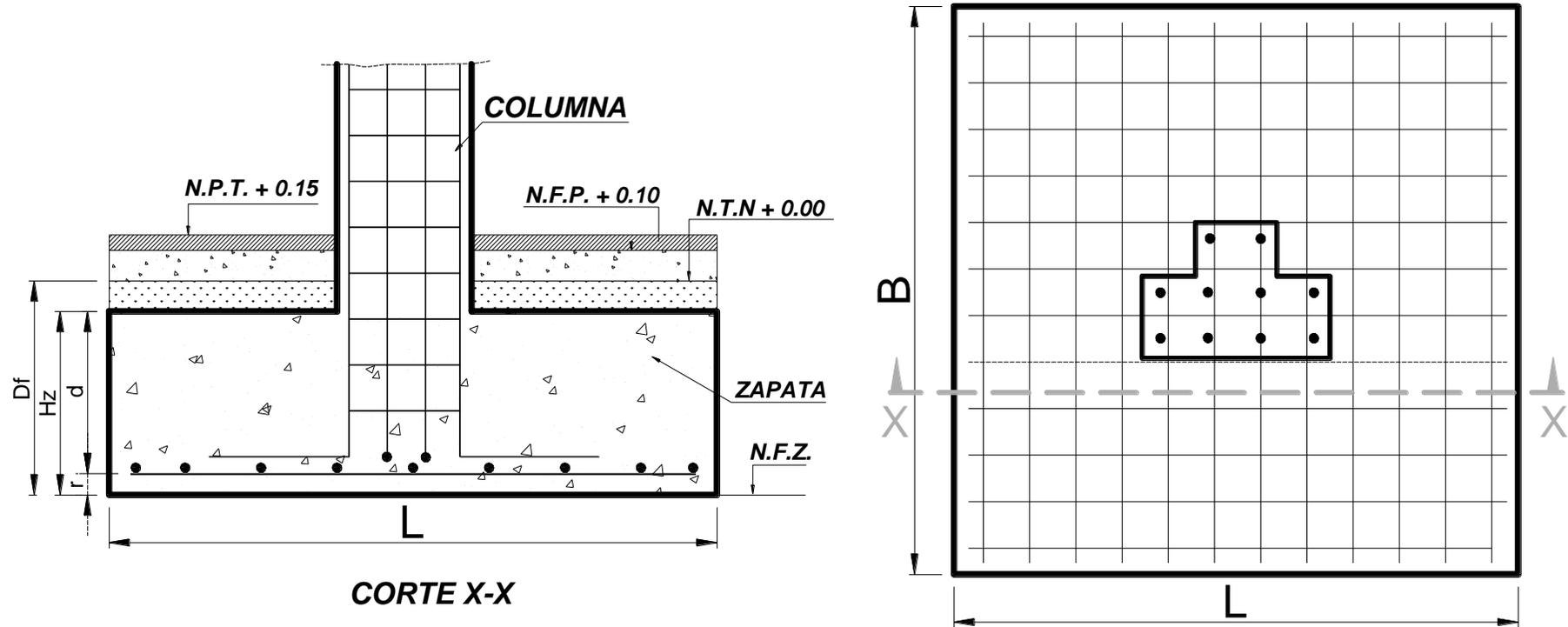


Figura N° 34: Detalle del refuerzo de zapata aislada rectangular

### 3.4. ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA L”

#### 3.4.1. DATOS DE ENTRADA

##### 3.4.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

- $\sigma_{neta}$  = Capacidad portante del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante

Tabla N° 4: Cargas y Momentos de la columna en L

| <b>CARGAS</b>                        |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| <b>MOMENTOS</b>                      |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

#### 3.4.2. PROCESO

##### 3.4.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_{neto} = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [156]$$

### 3.4.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 3.4.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$Mayor \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 3.4.2.2.2. Área De Zapata

$$A_z = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [157]$$

Para determinar las dimensiones de la zapata emplearemos las siguientes formulas estimadas, y determinamos los volados iguales.

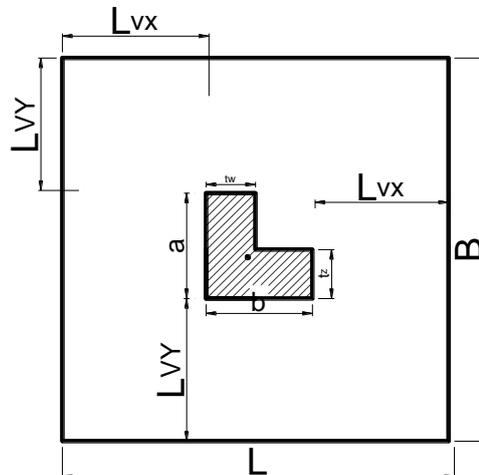


Figura N° 35: Área de zapata – Columna L

$$L = \sqrt{A_z} + 0.5(b - a) \quad [158]$$

$$L_{vx} = 0.5(L - b)$$

$$B = \sqrt{A_z} - 0.5(b - a) \quad [159]$$

$$L_{vy} = 0.5(B - a)$$

En la columna “L” el centro de gravedad donde se ubica la carga (ubicada el centro de gravedad de la columna) está a una distancia del centro de gravedad de la zapata, para ello hacemos coincidir el centro de gravedad de la columna y la zapata para que no exista excentricidad en ambas direcciones, y tener un esfuerzo del presiones rectangular por cargas de servicio.

A continuación tenemos que determinar el centro de gravedad de la sección “L” ubicada a una distancia  $X_c$  e  $Y_c$  tanto en la distancia “X” e “Y” respectivamente.

Las fórmulas para determinar el centro de gravedad son detalladas a continuación. Según la figura

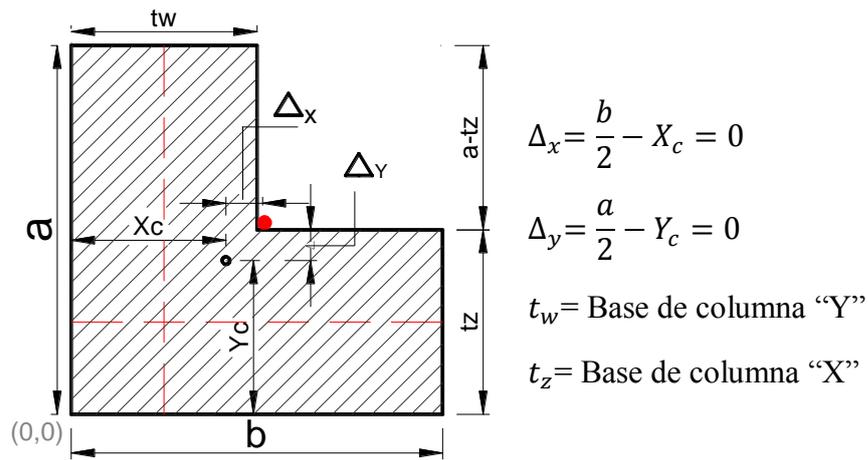


Figura N° 36: Centroide de la columna “L”

$$Y_c = \frac{(t_w)(a) \left(\frac{a}{2}\right) + (b - t_w)(t_z) \left(\frac{t_z}{2}\right)}{(t_w)(a) + (b - t_w)(t_z)} \quad [160]$$

$$X_c = \frac{(t_w)(a) \left(\frac{t_w}{2}\right) + (b - t_w)(t_z) \left(\frac{b + t_w}{2}\right)}{(t_w)(a) + (b - t_w)(t_z)} \quad [161]$$

Como se especifica anteriormente tenemos que hacer coincidir el centro de gravedad de la columna “L” con el mismo de la zapata, de esta manera correremos las distancias, para obtener volados, pero en este caso ya no serán iguales, las longitudes serán sumados y restados a los volados en cada dirección como se muestra a continuación:

$$L_{1-x} = L_{v-x} + (\Delta_x)$$

$$L_{2-x} = L_{v-x} - (\Delta_x)$$

$$L_{1-y} = L_{v-y} + (\Delta_y)$$

$$L_{2-y} = L_{v-y} - (\Delta_y)$$

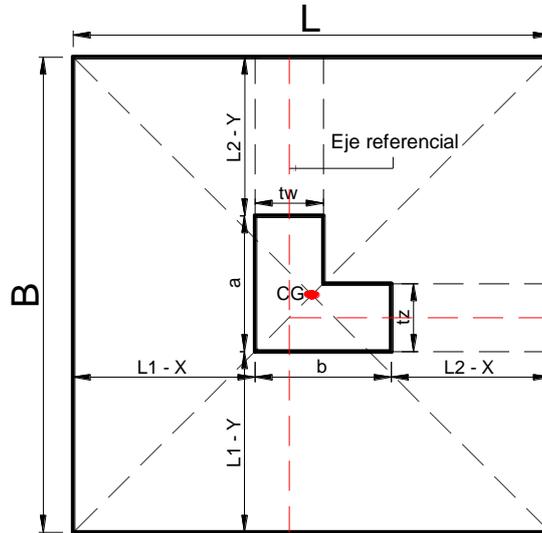


Figura N° 37: Ubicaciones de los canchales, zapata y columna L

Nuevas dimensiones de la zapata

$$L = L_{1-x} + L_{2-x} + b \quad [162]$$

$$B = L_{1-y} + L_{2-y} + a \quad [163]$$

### 3.4.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

#### 3.4.3.1. VERIFICACIÓN DE EXCENTRICIDADES:

Después de hacer coincidir los centros de gravedad y obtener excentricidades cero con cargas de servicio, obtenemos una distribución uniforme de presiones, de esta manera verificamos las excentricidades debido a sismo, donde las cargas tiene que estar dentro del tercio central de esa manera evitamos esfuerzo de tracción en el terreno, y la distribución de presiones tendrá un  $q_{max}$  y  $q_{mix}$  con una distribución trapezoidal.

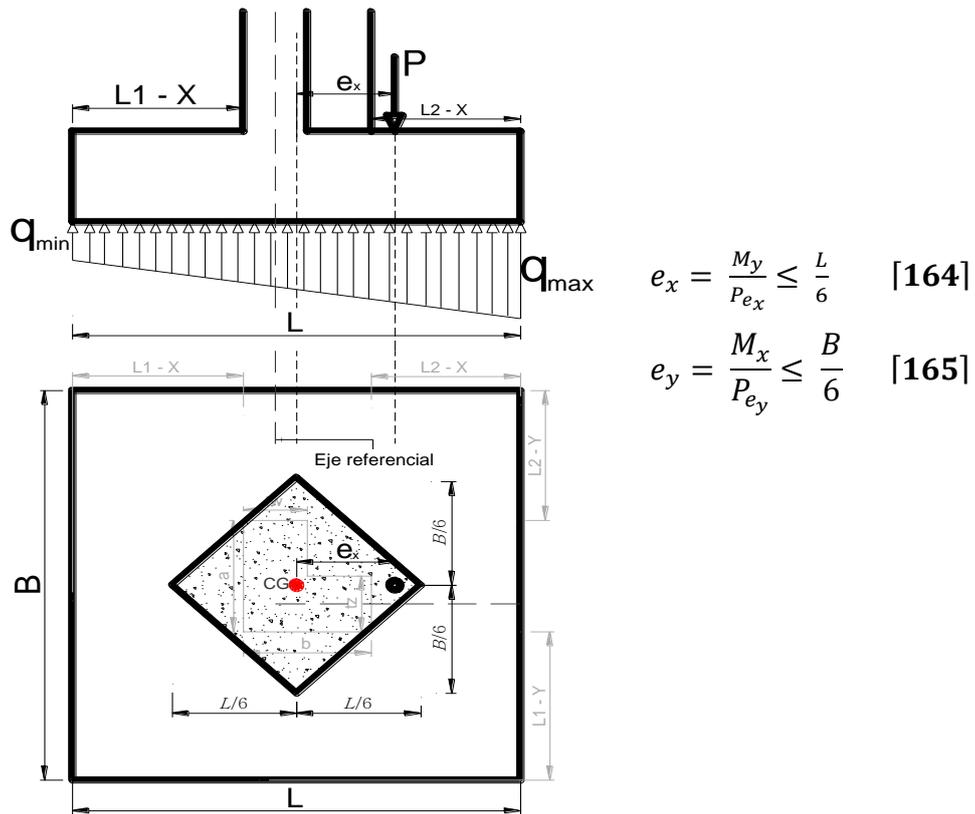


Figura N° 38: Elevación de zapata aislada – Columna L.

### 3.4.3.2. GEOMETRÍA DE LA ZAPATA AISLADA RECTANGULAR CENTRADA.

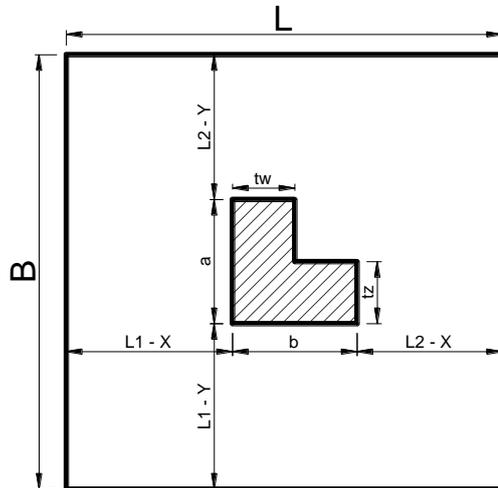


Figura N° 39: Geometría de zapata – Columna L

### 3.4.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

Las combinaciones de cargas de servicio por Esfuerzos Admisibles para tal verificación son:

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + P_L}{A_z} \leq \sigma_n \quad [166]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_x})}{A_z} + \frac{6(M_{D_x} + 0.56M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [167]$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_D + (0.56P_{E_y})}{A_z} + \frac{6(M_{D_y} + 0.56M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [168]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_x})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_x} + 0.75M_{L_x} + 0.42M_{E_x})}{BL^2} + \frac{6(0.75)M_{D_y}}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [169]$$

$$\sigma_{max} = \frac{[0.75P_D + 0.75P_L + (0.42P_{E_y})]}{A_z} + \frac{6(0.75M_{D_y} + 0.75M_{L_y} + 0.42M_{E_y})}{B^2L} + \frac{6(0.75)M_{D_x}}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [170]$$

### 3.4.3.4. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

Combinaciones cargas factoradas de diseño

$$P_U = 1.4P_D + 1.7P_L \quad [170]$$

$$P_U = 1.25(P_D + P_L) \pm P_E \quad [171]$$

$$P_U = 0.90P_D \pm P_E \quad [172]$$

### 3.4.3.4.1. Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial y Verificamos solo en la dirección “X” (dimensión en la dirección más larga de la cimentación).

$$q_{max-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [173]$$

$$q_{min-1} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [174]$$

- b) Continuamos verificando solo para carga de gravedad biaxial, pero esta vez teniendo en cuenta que los momentos actúan simultáneamente en las 2 direcciones.

$$q_{max-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [175]$$

$$q_{min-2} = \frac{(1.4P_{D_x} + 1.7P_{L_x})}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [176]$$

c) Considerando gravedad + sismo en la dirección “X”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [177] \\ q_{max-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [178] \end{array} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-3} = \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [179] \\ q_{min-3} = \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [180] \end{array} \right.$$

d) Considerando gravedad + sismo en la dirección “Y”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{aligned} q_{max-4} &= \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [181] \\ q_{max-4} &= \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [182] \end{aligned} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{aligned} q_{min-4} &= \frac{(1.25P_{D_x} + 1.25P_{L_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [183] \\ q_{min-4} &= \frac{(0.90P_{D_x} + 0.80P_{\bar{E}_y})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y} + 0.80M_{\bar{E}_y})}{LB^2} \leq \sigma_n & [184] \end{aligned} \right.$$

### 3.4.3.4.2. Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

- f) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección “X”

$$q_{max-1} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-1} \leq \sigma_n$$

- g) Considerando Carga y Momentos de gravedad Biaxial, Dirección “X” e ”Y”

$$q_{max-2} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-2} \leq \sigma_n$$

- h) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección “X”.

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-3} \leq \sigma_n \\ q_{max-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-3} \leq \sigma_n \\ q_{min-3} \leq \sigma_n \end{cases}$$

- i) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección “Y”.

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-4} \leq \sigma_n \\ q_{max-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-4} \leq \sigma_n \\ q_{min-4} \leq \sigma_n \end{cases}$$

Los esfuerzos en los cuatro vértices de la base se obtienen para los signos indicados en la figura.

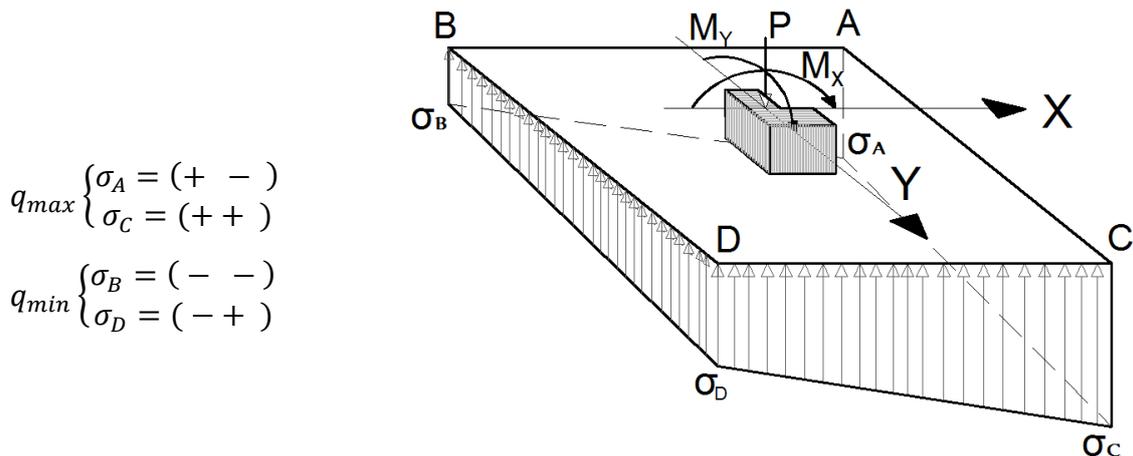


Figura N° 40: Esfuerzos biaxiales en zapata aislada – Columna “L”

### 3.4.3.5. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [185]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y \left(1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c}\right)} \quad [186]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [187]$$

### 3.4.3.6. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

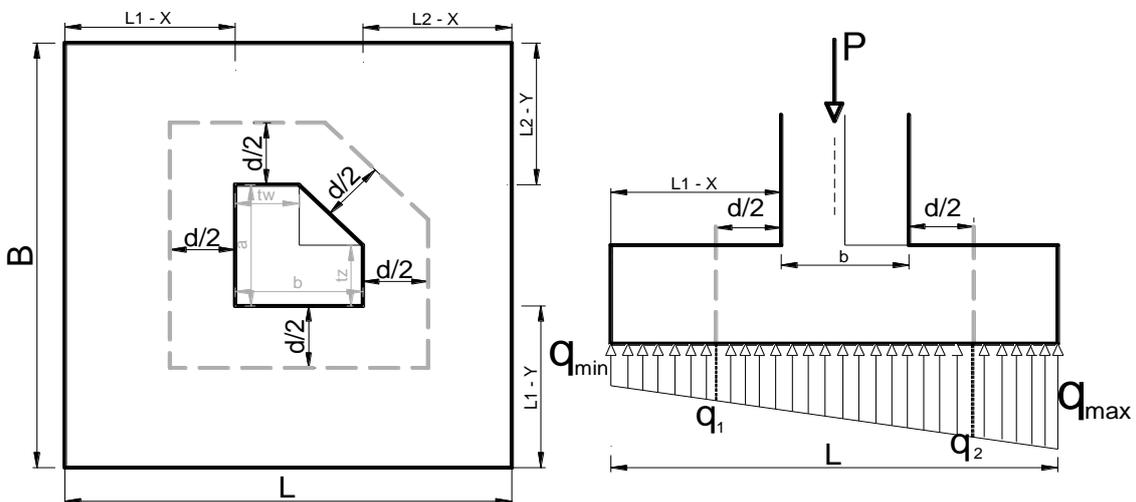


Figura N° 41: Sección crítica por punzonamiento “Columna L”

$$q_1 = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right) \left(L_{1-x} - d/2\right) + q_{min} \quad [188]$$

$$q_2 = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right) \left(L_{1-x} + b + d/2\right) + q_{min} \quad [189]$$

a) Cortante ultima actuante.

Con la fórmula de  $V_{cu} = P_u - Vol$  terminamos la cortante ultima actuante; en el caso del  $A_0$  formularemos un esquema para encontrar a un área critica.

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) A_0 \right] \quad [190]$$

$V_{cu}$  = Cortante ultima actuante

$P_u$  = Carga ultima factorada

$A_0$  = Área critica

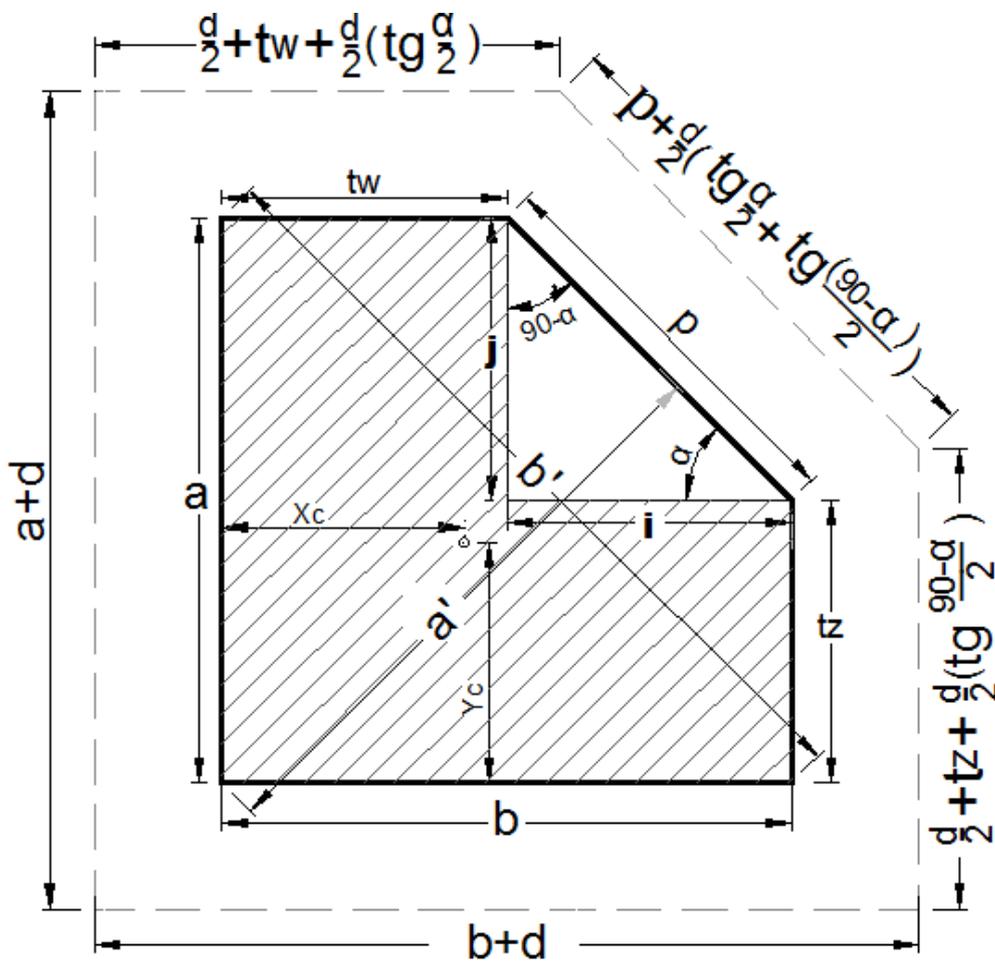


Figura N° 42: Perímetro y Área crítica en columna "L"

$$\beta = \frac{b'}{a'} \quad i = b - t_w \quad \rho = \sqrt{j^2 + i^2}$$

$$j = a - t_z \quad \alpha = \arctan\left(\frac{i}{j}\right)$$

**Perímetro crítico**

$$b_0 = (a + d) + \left(\frac{d}{2} + t_w + \frac{d}{2}\left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right) + \left(\rho + \frac{d}{2}\left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right)\right) + \left(t_z + \frac{d}{2}\left(\tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right) + \frac{d}{2}\right) + (b + d) \quad [191]$$

**Área crítica**

$$A_0 = (a + d) \left(\frac{d}{2} + t_w + \frac{d}{2}\left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right) + \left(\frac{(a+d) + \left(\frac{d}{2} t_z + \frac{d}{2}\left(\tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right) + \frac{d}{2}\right)}{2}\right) \left((b + d) - \left(\frac{d}{2} + t_w + \frac{d}{2}\left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right)\right) \quad [192]$$

**b) Cortante Resistente que toma el concreto.**

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [193]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [194]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [195]$$

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

$\beta = \frac{a'}{b'}$  de la columna

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “*d*” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 3.4.3.7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

#### 3.4.3.7.1. Dirección “X”

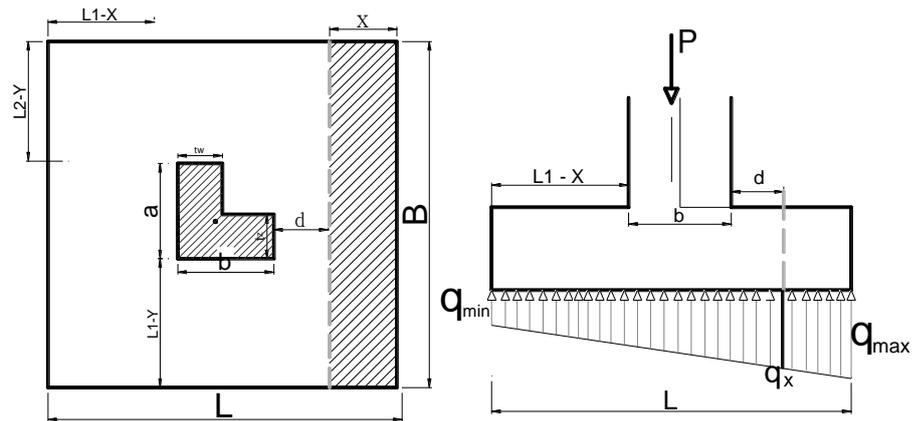


Figura N° 43: Sección crítica columna L para cortante en la dirección “X”

$$q_x = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{1-x} + b + d) + q_{min} \quad [196]$$

$$X = L_{2-x} - d$$

$$V_{d_u} = \left( \frac{q_{max} + q_x}{2} \right) B X \quad [197]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{d_u}$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B d \quad [198]$$

*B* = Longitud corta de la zapata

*d* = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 3.4.3.7.2. Dirección “Y”

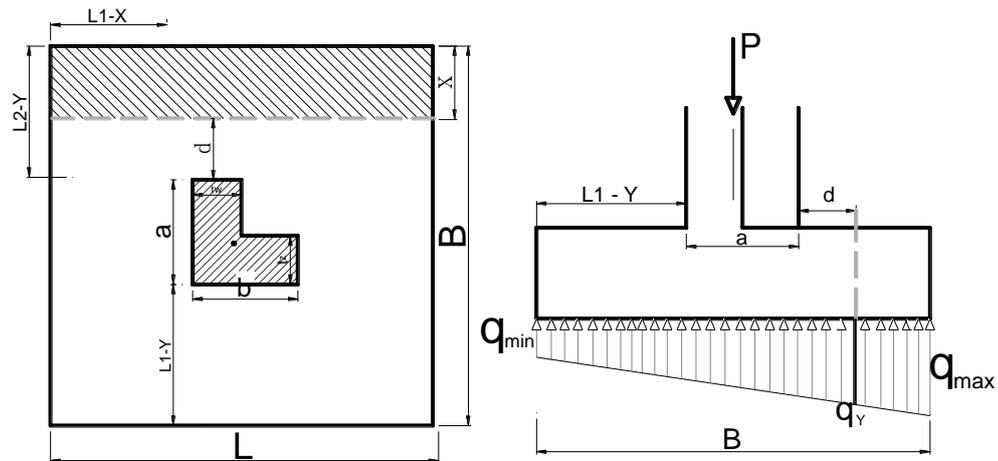


Figura N° 44: Sección crítica columna L para cortante en la dirección “Y”

$$q_y = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_{1-Y} + a + d) + q_{min} \quad [199]$$

$$Y = L_{1-y} - d \quad V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_y}{2} \right) L Y \quad [200]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} L d \quad [201]$$

$L$  = Longitud larga de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 3.4.3.8. DISEÑO POR FLEXIÓN.

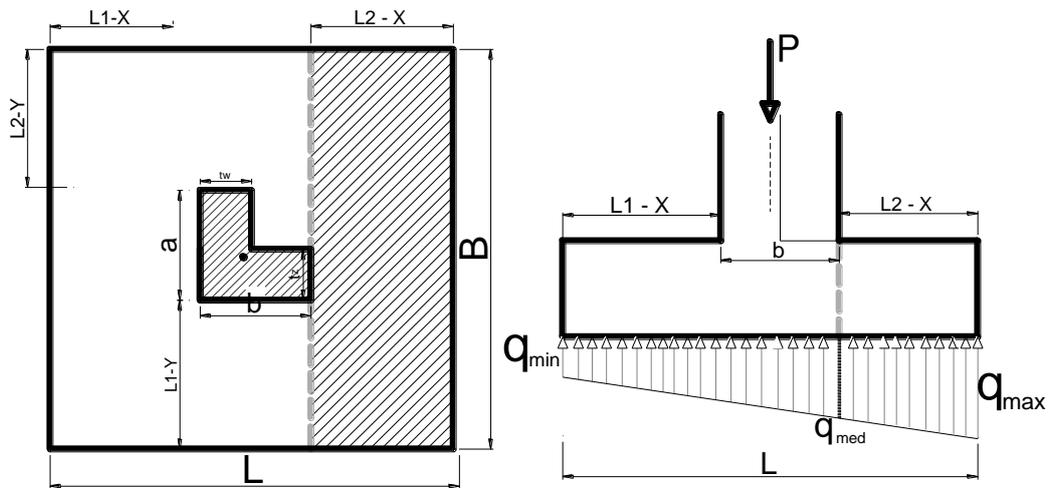


Figura N° 45: Sección crítica para momento en una dirección

Para poder determinar el  $M_{Diseño}$ , evaluaremos de acuerdo como especifica el Reglamento Nacional de Edificaciones en su Norma Técnica E 060 de concreto armado.

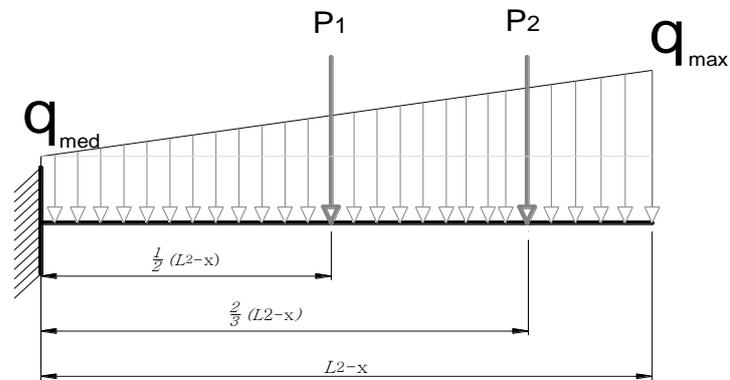


Figura N° 46: Idealización para determinar el momento

$$P_1 = (q_{med})(L_{2-x}) \quad [202]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{2-x}) \quad [203]$$

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{2-x} + b) + q_{min} \quad [204]$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2q_{max} + q_{med})}{6} (L_{2-x}^2) \right] B \quad [205]$$

### 3.4.3.8.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{\text{Diseño}}}{\phi B d^2} \quad [206]$$

$$\rho_{\text{calculado}} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [207]$$

$$\rho_{\text{minimo}} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{\text{calculado}} > \rho_{\text{minimo}}$  Tomar el mayor

$$A_s = \rho B d \quad [208]$$

### 3.4.3.8.2. Distribución del refuerzo por flexión (RNE)

$$\gamma_s = \frac{2}{(\beta+1)} \quad [209]$$

$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}}$  de la columna

a) Para el acero colocado a lo largo de la dirección más larga:

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad [210]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [211]$$

$$S_{\text{min}} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} \text{ (cm)}$$

## DETALLE DE ZAPATA CENTRAL

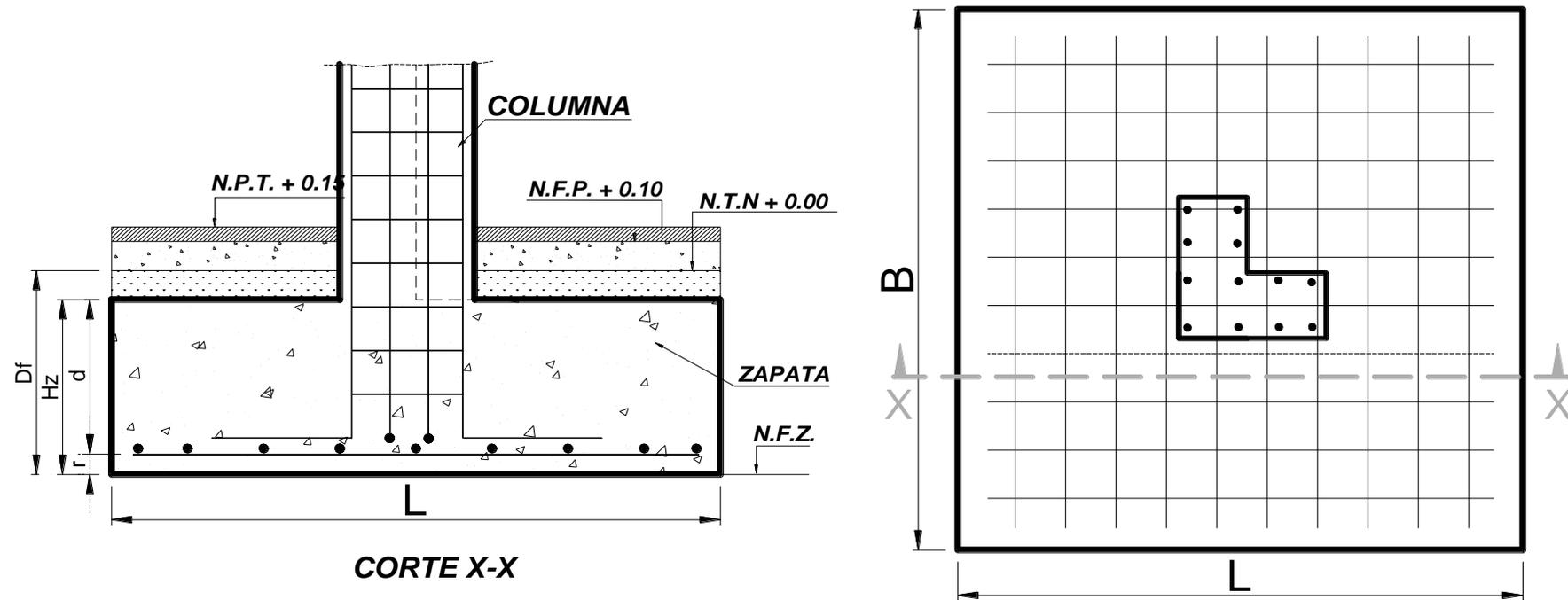


Figura N° 47: Detalle del refuerzo de zapata aislada – Columna L

### 3.5. ZAPATA AISLADA CENTRAL – “COLUMNA CIRCULAR”

Para este tipo de zapata que soporta una columna circular, se tendrán las mismas consideraciones de diseño que una zapata cuadrada especificada en 3.1. El área de la columna circular será un equivalente al de la columna cuadrada.

Para el análisis y diseño se considerara los mismos pasos que la zapata cuadrada, empezando desde 3.1 hasta 3.1.3.8.2, y teniendo en cuenta las formulas enumeradas desde 1 hasta 48.

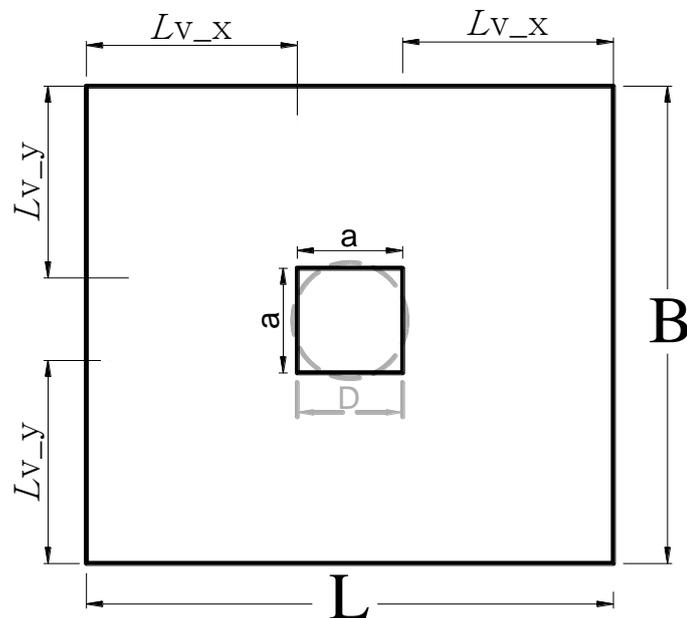


Figura N° 48: Área de zapata – Columna Circular

## DETALLE DE ZAPATA CENTRAL

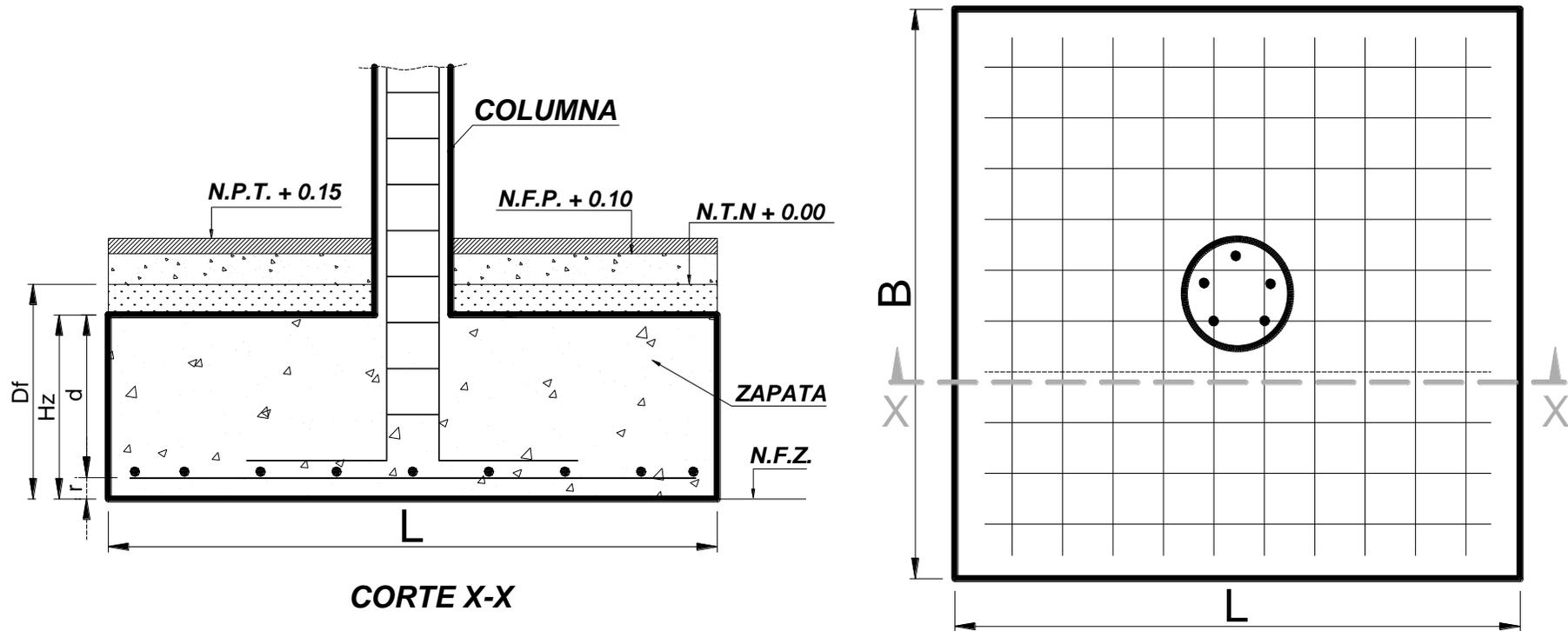


Figura N° 49: Detalle del refuerzo de zapata aislada – Columna Circular

## CAPÍTULO 4: ZAPATAS AISLADAS MEDIANERAS

**Fuente: Roberto Morales Morales, “Diseño en concreto armado”.**

Las cimentaciones excéntricas es una solución cuando la columna está en un límite de propiedad o cerca de dicho límite. Puede ser una solución económica si la excentricidad es moderada y la columna puede agrandarse lo suficiente para que tenga la rigidez necesaria para que controle la rotación.

**Fuente: José Calavera Ruiz, “Calculo estructura de cimentación”.**

La necesidad de su uso aparece en cuanto se disponen pilares junto a las lindes de propiedad del terreno en que se va a construir el edificio. Por tanto, las zapatas de medianera son de uso muy frecuentes en la práctica.

Existen muy diferentes sistemas para solucionar el problema, que en definitiva es apoyar un pilar de medianera.

### 4.1. ZAPATA AISLADA MEDIANERA – “COLUMNA RECTANGULAR”

Existen varias soluciones para el tema, para el diseño de este tipo de zapatas emplearemos una solución que se trata de un sistema en el que la resultante  $R$  es excéntrica respecto al cimiento, provocando por tanto un diagrama no uniforme de presiones como respuesta del terreno. La diferencia de tensiones a lo largo del cimiento provoca, a través de asientos diferenciales de un borde respecto al otro, el giro del cimiento. Como el pilar se supone un par de fuerzas  $T$ , una a nivel de viga de techo y otra en la superficie de contacto entre la zapata y el terreno. Este método no es considerado por el ACI-318, EHE, ni RNE.

Se supone que el equilibrio se alcanza mediante una distribución lineal de presiones bajo la zapata, con varios extremos  $q_{max}$  y  $q_{min}$  y resultante  $R$ . La excentricidad de  $R$  produce un par de fuerzas horizontales  $T$ , una a nivel del piso superior y otra a nivel del plano de cimiento (**Figura N° 50**). Las incógnitas son  $q_{max}$ ,  $q_{min}$  y  $T$ .

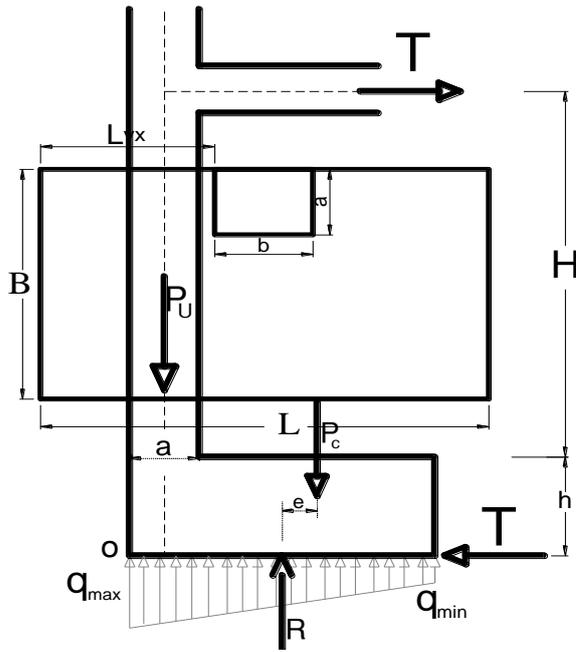


Figura N° 50: Zapata excéntrica con distribución variable de presiones

Se debe cumplir:

$$\sum F_y = 0$$

$$P_c + P_u = R = \left( \frac{q_{max} + q_{min}}{2} \right) B L \quad [212]$$

$$+ \sum M_o = 0$$

$$M_{U\bar{E}} + T(H + h) + \frac{1}{2}(a * P_u + B * P_c) = q_{min}BL \frac{B}{2} + \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{2} \right) BL \frac{B}{3} \quad [213]$$

$$P_u + P_c = \left( \frac{q_{max} + q_{min}}{2} \right) B L \quad [214]$$

$$\frac{T \lambda H^2}{3EI} = \frac{q_{max} - q_{min}}{K_c B} \quad [215]$$

Despejando los esfuerzos de las ecuaciones de 214 y 215

$$\Psi_1 \left\{ \frac{2(P_u + P_c)}{B L} \right\} - q_{min} = q_{max} \quad [216]$$

$$\Psi_2 \left\{ \frac{(T \lambda H^2) K_c B}{3EI} \right\} + q_{min} = q_{max} \quad [217]$$

Igualando las ecuaciones 216 y 217

$$\Psi_1 - q_{min} = \Psi_2 + q_{min}$$

$$q_{min} = \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{2} \quad [218]$$

De igual manera reemplazamos 218 y 216

$$\Psi_1 - \frac{\Psi_1 - \Psi_2}{2} = q_{max}$$

$$q_{max} = \frac{\Psi_1 + \Psi_2}{2} \quad [219]$$

Luego reemplazamos las ecuaciones de 218 y 219 en la ecuación 213.

$$M_{U_{\bar{E}}} + T(H + h) + \frac{1}{2}(a * P_u + B * P_c) = LB^2 \left( \frac{3\Psi_1 - \Psi_2}{12} \right)$$

$$M_{U_{\bar{E}}} + T(H + h) + \frac{1}{2}(a * P_u + B * P_c) = LB^2 \left( \frac{3 \left( \frac{2(P_u + P_c)}{B L} \right) - \frac{(T \lambda H^2) K_c B}{3EI}}{12} \right)$$

$$M_{U_{\bar{E}}} + T(H + h) + \frac{1}{2}(a * P_u + B * P_c) = \frac{B 6(P_u + P_c)}{12} - \frac{(T \lambda H^2) K_c B^3 L}{36 EI}$$

$$T \left[ (H + h) + \frac{\lambda H^2 K_c B^3 L}{36 EI} \right] = \frac{P_u(B - a)}{2} - M_{U_{\bar{E}}}$$

$$T = \frac{\frac{P_u(B - a)}{2} - M_{U_{\bar{E}}}}{\left[ (H + h) + \frac{\lambda H^2 K_c B^3 L}{36 EI} \right]} \quad [220]$$

**Importante:** La viga del primer nivel debe diseñarse considerando adicionalmente la fuerza de tracción resultante, T.

## 4.1.1. DATOS DE ENTRADA

### 4.1.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) "En el techo"
- $E$  = Módulo de elasticidad del concreto
- $I$  = Inercia de la columna
- $K_c$  = Módulo de balasto
- $H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata
- $C_s$  = Coeficiente de seguridad = 1.50
- $\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Tabla N° 5: Cargas y Momentos de la columna rectangular

| CARGAS                               |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| MOMENTOS                             |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

## 4.1.2. PROCESO

### 4.1.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_n = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [221]$$

### 4.1.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 4.1.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 4.1.2.2.2. Área de zapata

$$A_Z = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [222]$$

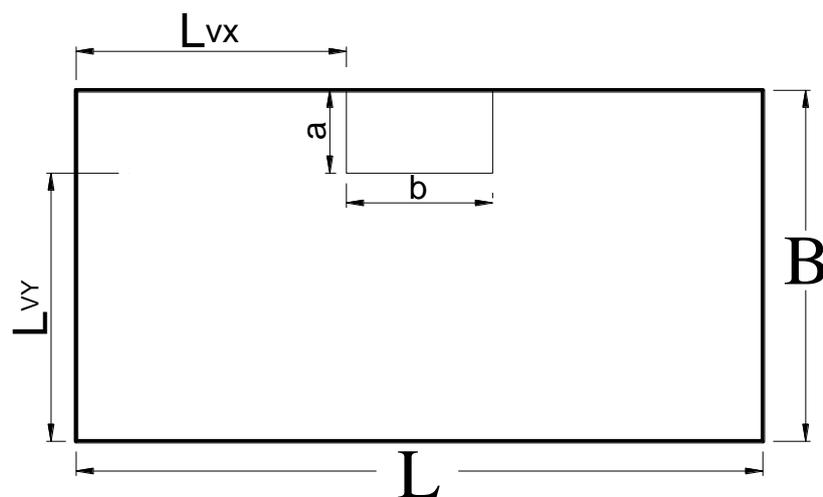


Figura N° 51: Área de Zapata excéntrica

$$L_{vx} = L_{vy} = \sqrt{\frac{A_z}{2} + \left(\frac{b + 2a}{4}\right)^2 - \frac{ab}{2} - \left(\frac{2a + b}{4}\right)} \quad [223]$$

$$L = 2 L_{vx} + b \quad [224]$$

$$B = L_{vy} + a \quad [225]$$

### 4.1.2.3. VERIFICACION DE EXCENTRICIDADES

#### 4.1.2.3.1. Definición

##### a) Dirección "Y"

Las cimentaciones de las columnas exteriores pueden estar sujetas a cargas excéntricas. Si la excentricidad es grande, puede resultar esfuerzo de tracción sobre un lado de la cimentación. Es recomendable dimensionar de manera que la carga está dentro del tercio central de manera de evitar esfuerzos de tracción en el suelo que teóricamente puede ocurrir antes de la redistribución de esfuerzos.

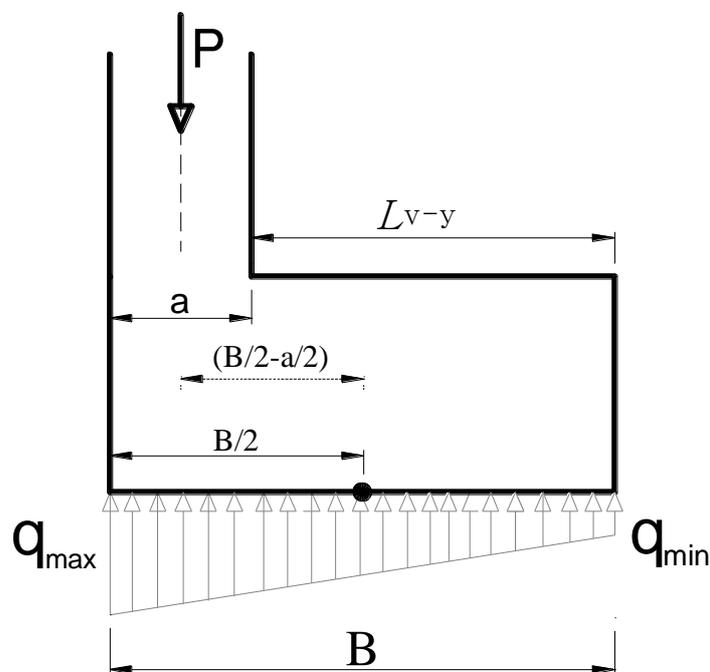


Figura N° 52: Zapata excéntrica dirección "Y"

$$e_y = \frac{M_x}{P_{e_y}} > \left( \frac{B - a}{2} \right) - \frac{B}{6} \quad [226]$$

Si la distancia B es menor, estaremos reduciendo la excentricidad en la dirección Y, en caso que las cargas sean muy grandes y no cumpla la excentricidad, se podrá emplear zapatas con vigas rígidas conectadas apoyadas en otra zapata para que se pueda transmitir los momentos.

b) Dirección "X"

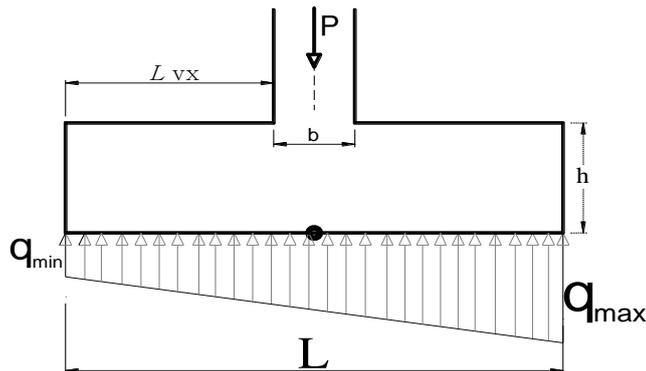


Figura N° 53: Zapata excéntrica dirección "X"

$$e_x = \frac{M_y}{P_{e_x}} \leq \frac{L}{6} \quad [227]$$

#### 4.1.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN "DIRECCION Y"

##### 4.1.3.1. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

##### 4.1.3.1.1. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección "Y"

Una vez obtenida el valor de la T (Tensión) en la formular [220] , tendremos en cuenta las combinaciones últimas de diseño que proporciona el reglamento nacional de edificaciones, se escogerá el mayor valor de las combinaciones para el cálculo de la resistencia requerida de cargas muertas, vivas y en el caso que se tuviera que considerar cargas de sismo, será igual a:

$$\text{Mayor } P_{U_y} \begin{cases} 1.4P_D + 1.7P_L \\ 1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{E_y} \\ 0.90P_D + 0.80P_{E_y} \end{cases} \quad [228]$$

$$\text{Mayor } M_{U_{\bar{E}}} \begin{cases} 1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y} \\ 1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{E_y} \\ 0.90M_{D_y} + 0.80M_{E_y} \end{cases} \quad [229]$$

$$T = \frac{\frac{P_u(B-a)}{2} - M_{U_{\bar{E}}}}{\left[ (H+h) + \frac{\lambda H^2 K_c B^3 L}{36 EI} \right]} \quad [230]$$

A continuación determinaremos los esfuerzos de diseño.

$$q_{max} = \frac{P_u}{BL} + \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T \leq \sigma_n \quad [231]$$

$$q_{min} = \frac{P_u}{BL} - \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T \leq \sigma_n \quad [232]$$

Donde:

$T$  = Tensión (Acción del suelo sobre la zapata)

$\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto

$I$  = Inercia de la columna

$K_c$  = Módulo de balasto

$P_{U_y}$  = Carga de última de diseño

$M_{U_{\bar{E}}}$  = Momento ultimo de diseño

$H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata

$h$  = Altura de zapata

#### 4.1.3.2. VERIFICACION POR FLEXION

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [233]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [234]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [235]$$

#### 4.1.3.3. VERIFICACION POR VOLTEO

$$C_s T \leq (P_u + P_c) \mu \quad [236]$$

$C_s$  = Coeficiente de seguridad = 1.50

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Si no cumple:

- aumentamos h o L
- Colocar tirante, viga de cimentación

#### 4.1.3.4. VERIFICACION DE CORTE POR PUNZONAMIENTO

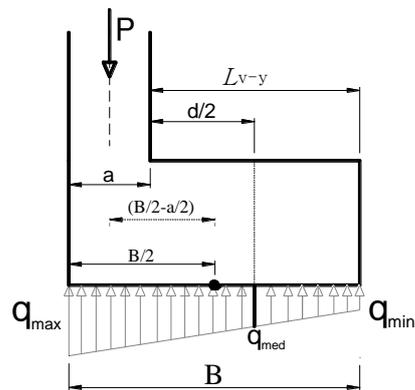
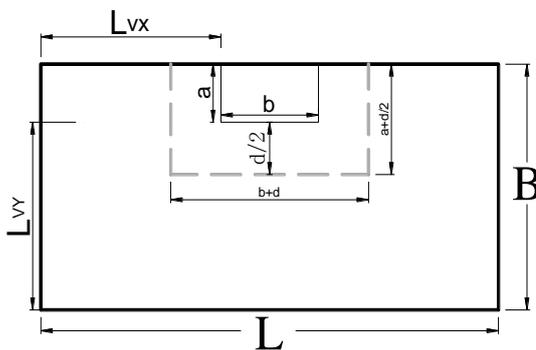


Figura N° 54: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular Excéntrica”

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) \left( L_{vy} - \frac{d}{2} \right) + q_{min} \quad [237]$$

a) Cortante ultima actuante.

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_{max} + q_{med}}{2} \right) A_0 \right] \quad [238]$$

$A_0 =$  Area critica

$$A_0 = \left( a + \frac{d}{2} \right) (b + d) \quad [239]$$

b) Cortante Resistente que toma el concreto.

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [240]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [241]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [242]$$

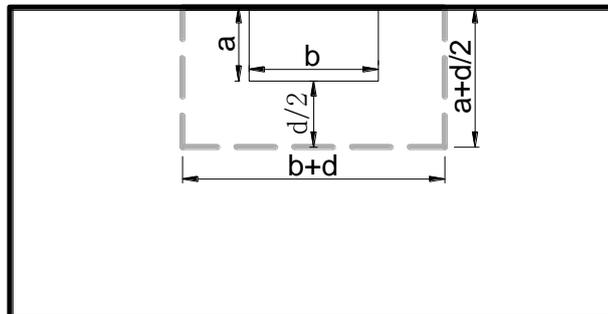


Figura N° 55: Perímetro de la sección crítica “Rectangular Excéntrica”

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$b_o = 2 \left( a + \frac{d}{2} \right) + (b + d) \quad [243]$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

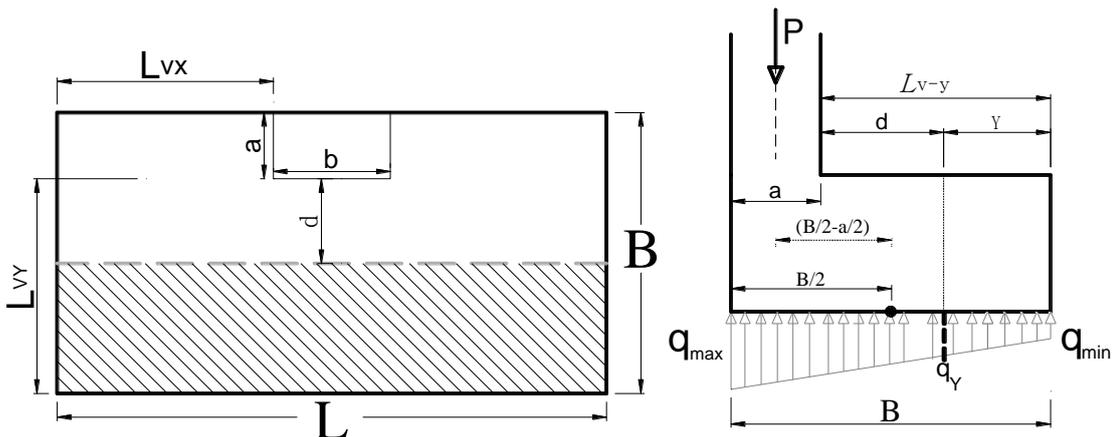


Figura N° 56: Sección crítica por Cortante “Rectangular Excéntrica”

#### 4.1.3.5. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

$$q_y = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_{vy} - d) + q_{min} \quad [244]$$

$$Y = L_{vy} - d$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{min} + q_y}{2} \right) L Y \quad [245]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

Donde:

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} L d \quad [246]$$

$l =$  Longitud larga de la zapata

$d =$  Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

#### 4.1.3.6. DISEÑO POR FLEXIÓN.

De igual manera en las zapatas aisladas excéntricas el momento máximo mayorado  $M_u$ , en cualquier sección de una zapata debe determinarse pasando un plano vertical a través de la zapata, y calculando el momento de las fuerzas que actúan sobre el área total de la zapata que quede a un lado de dicho plano vertical

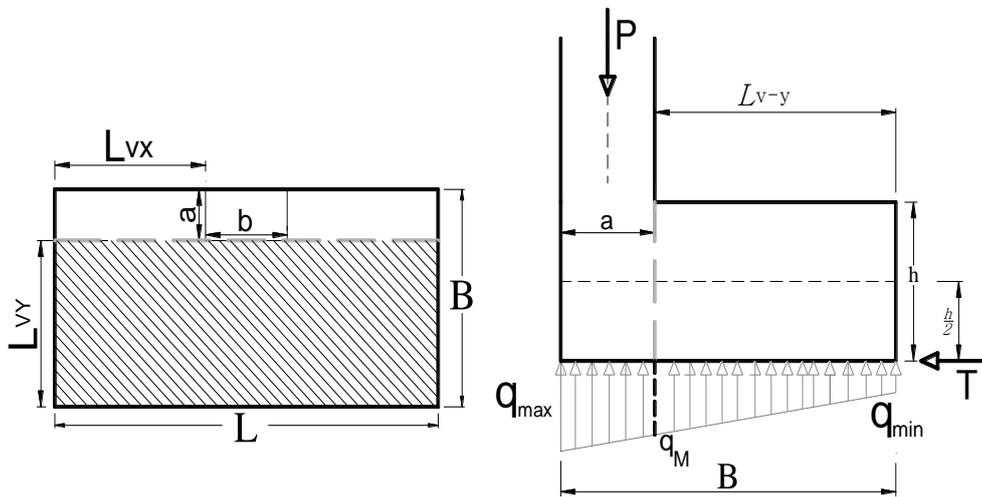


Figura N° 57: Sección crítica para momento en la dirección “Y”

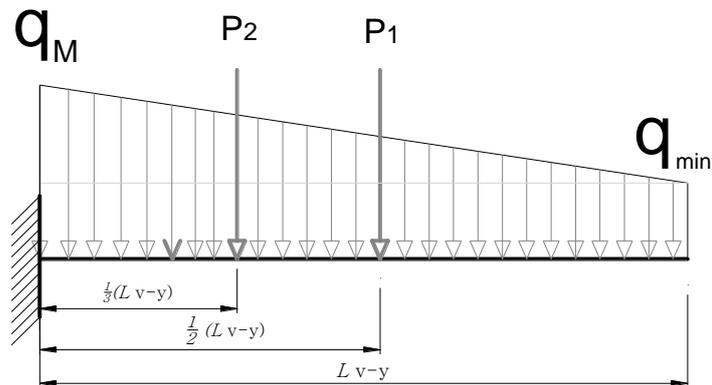


Figura N° 58: Idealización para determinar el momento en “Y”

$$P_1 = (q_{min})(L_{v-y}) \quad [247]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_M - q_{min})(L_{v-y}) \quad [248]$$

$$q_M = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{B}\right)(L_{v-y}) + q_{min} \quad [249]$$

$$M_{Diseño} = \left[\frac{(2 q_{min} + q_M)}{6} (L_{v-y}^2)\right] L - \frac{T^* h}{2} \quad [250]$$

#### 4.1.3.6.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [251]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}}\right) \quad [252]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_{s_y} = \rho B d \quad [253]$$

Una vez obtenida la cantidad de acero requerida, se calculara la cantidad de barras y la separación, calculada con las formulas a continuación:

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_{s_y}}{A_b} \quad [254]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [255]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

#### 4.1.4. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION X”

##### 4.1.4.1. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

##### 4.1.4.1.1. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “X”

Se calculara a partir de las combinaciones últimas más desfavorables en la dirección “X”, considerando una reducción del 80% al sismo para que no aumente el esfuerzo del terreno.

a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial

$$q_{max-1} = \frac{(1.4P_D + 1.7P_L)}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [256]$$

$$q_{min-1} = \frac{(1.4P_D + 1.7P_L)}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [257]$$

b) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-2} = \frac{(1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [258] \\ q_{max-2} = \frac{(0.90P_D + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [259] \end{array} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-2} = \frac{(1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [260] \\ q_{min-2} = \frac{(0.90P_D + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [261] \end{array} \right.$$

**4.1.4.1.2. Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño**

a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección “X”

$$q_{max-1} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-1} \leq \sigma_n$$

b) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección “X”.

$$mayor \begin{cases} q_{max-2} \leq \sigma_n \\ q_{max-2} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$mayor \begin{cases} q_{min-2} \leq \sigma_n \\ q_{min-2} \leq \sigma_n \end{cases}$$

**4.1.4.2. VERIFICACION DE CORTE POR PUNZONAMIENTO**

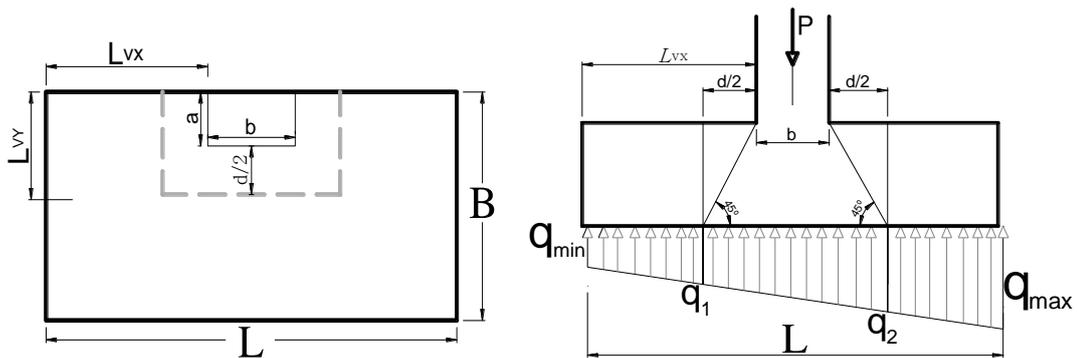


Figura N° 59: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular”

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{vx} - d/2 \right) + q_{min} \quad [262]$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{vx} + b + d/2 \right) + q_{min} \quad [263]$$

a) **Cortante ultima actuante.**

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) A_0 \right] \quad [264]$$

$A_0 =$  Area critica

$$A_0 = \left( a + \frac{d}{2} \right) (b + d) \quad [265]$$

b) **Cortante Resistente que toma el concreto.**

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_o d \quad [266]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_o d \quad [267]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_o d \quad [268]$$

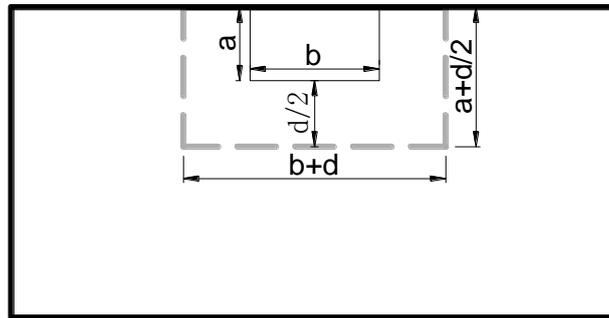


Figura N° 60: Perímetro de la sección crítica “Rectangular”

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$b_o = 2 \left( a + \frac{d}{2} \right) + (b + d) \quad [269]$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

#### 4.1.4.3. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

##### 4.1.4.3.1. Dirección "X"

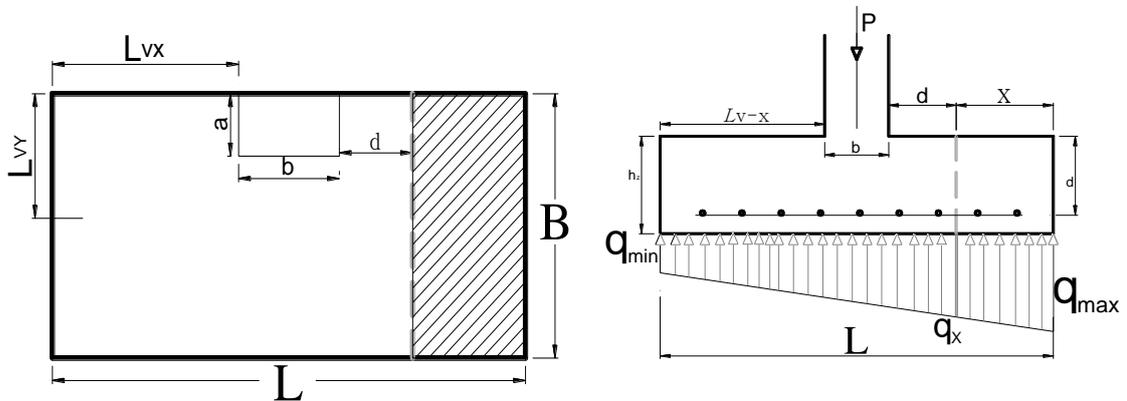


Figura N° 61: Sección crítica para cortante en la dirección "X"

$$q_x = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x} + b + d) + q_{min} \quad [270]$$

$$X = L_{v-x} - d$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_x}{2} \right) B X \quad [271]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du} \quad ; \quad \phi = 0.85$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B d \quad [272]$$

$B$  = Longitud corta de la zapata

$d$  = Altura efectiva

#### 4.1.4.4. DISEÑO POR FLEXION

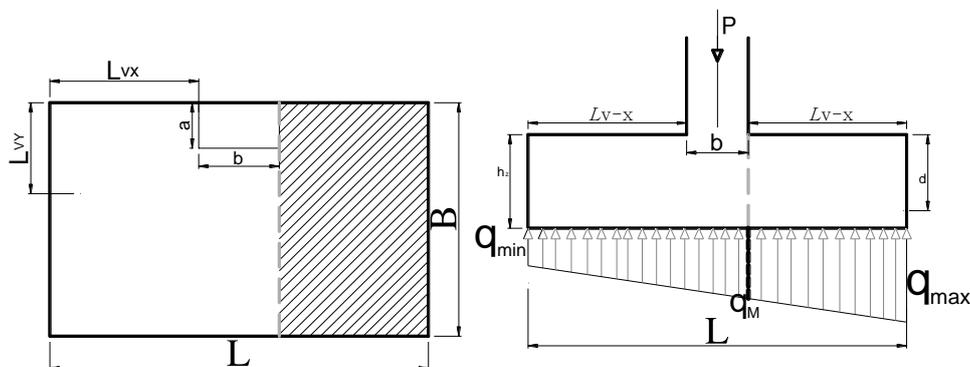


Figura N° 62: Momento a la cara de la columna

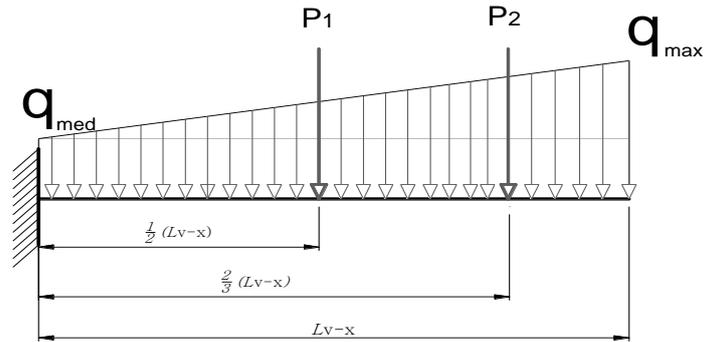


Figura N° 63: Idealización para determinar el momento en “X”

$$P_1 = (q_{med})(L_{v-x})$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{v-x})$$

$$q_{med} = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right)(L_{v-x} + b) + q_{min}$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{max} + q_{med})}{6} (L_{v-x}^2) \right] B \quad [273]$$

#### 4.1.4.4.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [274]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [275]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_{s_x} = \rho B d \quad [276]$$

Una vez obtenida la cantidad de acero requerida, se calculara la cantidad de barras y la separación, calculada con las formulas a continuación:

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_{sx}}{A_b} \quad [277]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{L - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [278]$$

- L: Representa la longitud de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA MEDIANERA

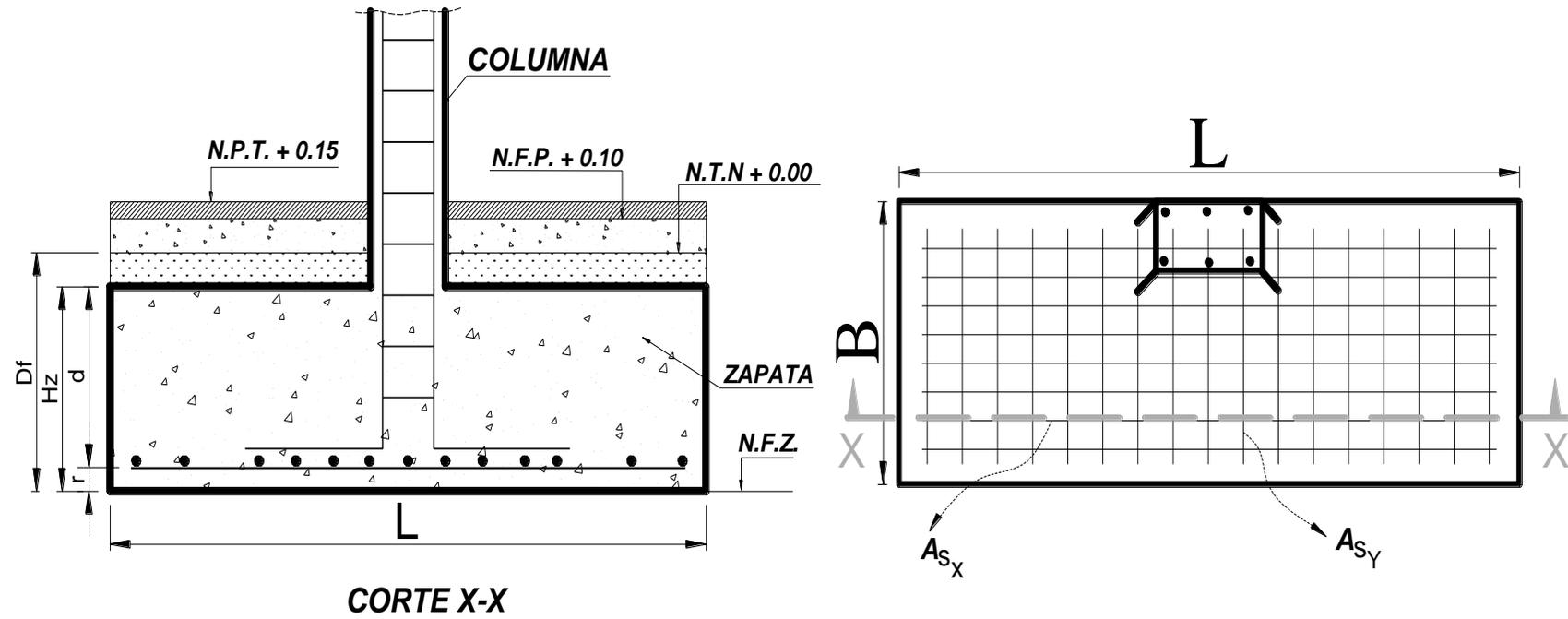


Figura N° 64: Detalle de refuerzo en zapata medianera

## 4.2. ZAPATA AISLADA MEDIANERA – “COLUMNA T”

### 4.2.1. DATOS DE ENTRADA

#### 4.2.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

- $\sigma_n$  = Capacidad neta del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”
- $E$  = Módulo de elasticidad del concreto
- $I$  = Inercia de la columna
- $K_c$  = Módulo de balasto
- $H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata
- $C_s$  = Coeficiente de seguridad = 1.50
- $\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Tabla N° 6: Cargas y Momentos de la columna T

| <b>CARGAS</b>                        |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| <b>MOMENTOS</b>                      |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

## 4.2.2. PROCESO

### 4.2.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_n = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [279]$$

### 4.2.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 4.2.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 4.2.2.2.2. Área de zapata

$$Az = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [280]$$

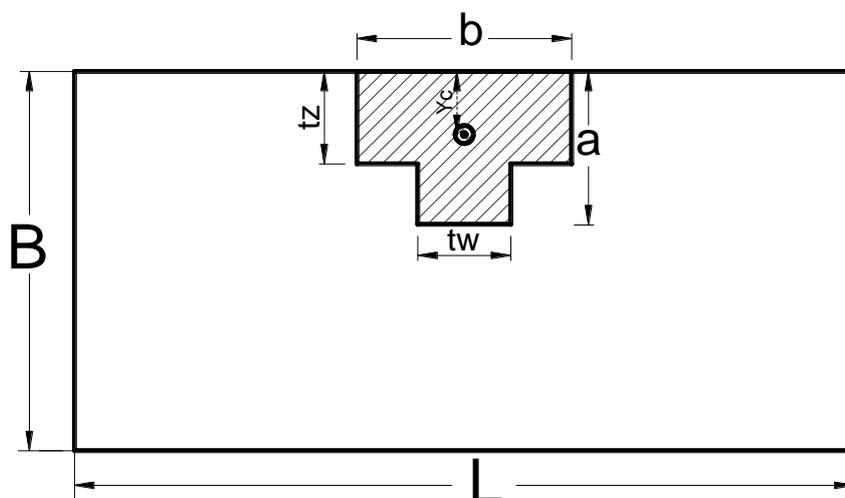


Figura N° 65: Área de Zapata excéntrica- Columna T

$$L_{v-x} = L_{v-y} = \sqrt{\frac{A_z}{2} + \left(\frac{b+2a}{4}\right)^2 - \frac{ab}{2} - \left(\frac{2a+b}{4}\right)} \quad [281]$$

$$L = 2 L_{v-x} + b \quad [282]$$

$$B = L_{v-y} + a \quad [283]$$

Calculo del centro de gravedad de la carga en la columna "T"

$$Y_c = \frac{(t_w)(a - t_z)\left(\frac{a + t_z}{2}\right) + (t_z)(b)\left(\frac{t_z}{2}\right)}{(t_z)(b) + (t_w)(a - t_z)} \quad [284]$$

### 4.2.2.3. VERIFICACION DE EXCENTRICIDADES

#### 4.2.2.3.1. Definición

##### a) Dirección "Y"

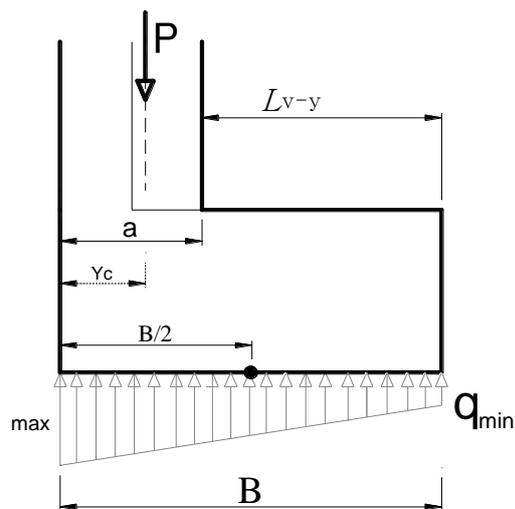


Figura N° 66: Zapata excéntrica dirección "Y"

$$e_y = \frac{M_x}{P_{e_y}} > \left(\frac{B}{2} - Y_c\right) - \frac{B}{6} \quad [285]$$

Si la distancia B es menor, estaremos reduciendo la excentricidad en la dirección Y; tiene que cumplir la condición para que la zapata este sometida a distribución variables de presiones.

b) Dirección "X"

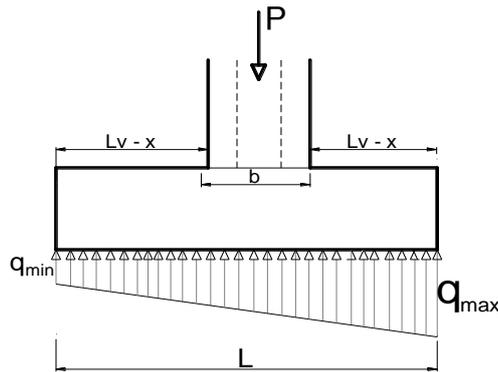


Figura N° 67: Zapata excéntrica dirección "X"

$$e_x = \frac{M_y}{P e_x} \leq \frac{L}{6} \quad [286]$$

4.2.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN "DIRECCION Y"

4.2.3.1. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

4.2.3.1.1. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección "Y"

$$\text{Mayor } P_{U_y} \begin{cases} 1.4P_D + 1.7P_L \\ 1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{E_y} \\ 0.90P_D + 0.80P_{E_y} \end{cases} \quad [287]$$

$$\text{Mayor } M_{U_{\bar{E}}} \begin{cases} 1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y} \\ 1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{E_y} \\ 0.90M_{D_y} + 0.80M_{E_y} \end{cases} \quad [288]$$

$$T = \frac{\frac{P_u(B - a)}{2} - M_{U_{\bar{E}}}}{\left[ (H + h) + \frac{\lambda H^2 K_c B^3 L}{36 EI} \right]} \quad [289]$$

A continuación determinaremos los esfuerzos de diseño.

$$q_{max} = \frac{P_u}{BL} + \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T \leq \sigma_n \quad [290]$$

$$q_{min} = \frac{P_u}{BL} - \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T \leq \sigma_n \quad [291]$$

Donde:

$T$  = Tensión (Acción del suelo sobre la zapata)

$\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto

$I$  = Inercia de la columna

$K_c$  = Módulo de balasto

$P_{Uy}$  = Carga de última de diseño

$M_{U\bar{E}}$  = Momento ultimo de diseño

$H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata

$h$  = Altura de zapata

#### 4.2.3.2. VERIFICACION POR FLEXION

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [292]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [293]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [294]$$

#### 4.2.3.3. VERIFICACION POR VOLTEO

$$C_S T \leq (P_u + P_c) \mu \quad [295]$$

$C_S$  = Coeficiente de seguridad = 1.50

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Si no cumple:

- aumentamos  $h$  o  $L$
- Colocar tirante, viga de cimentación

#### 4.2.3.4. VERIFICACION DE CORTE POR PUNZONAMIENTO

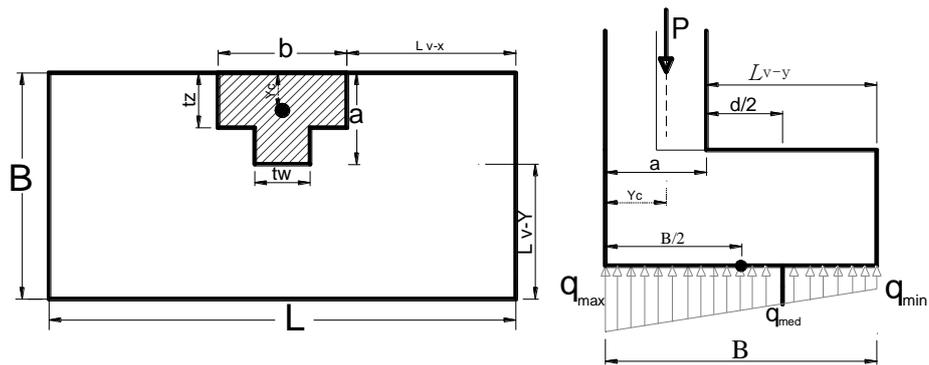


Figura N° 68: Sección crítica por punzonamiento “Columna T”

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) \left( L_{v-y} - d/2 \right) + q_{min} \quad [296]$$

a) Cortante ultima actuante.

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_{max} + q_{med}}{2} \right) A_0 \right] \quad [297]$$

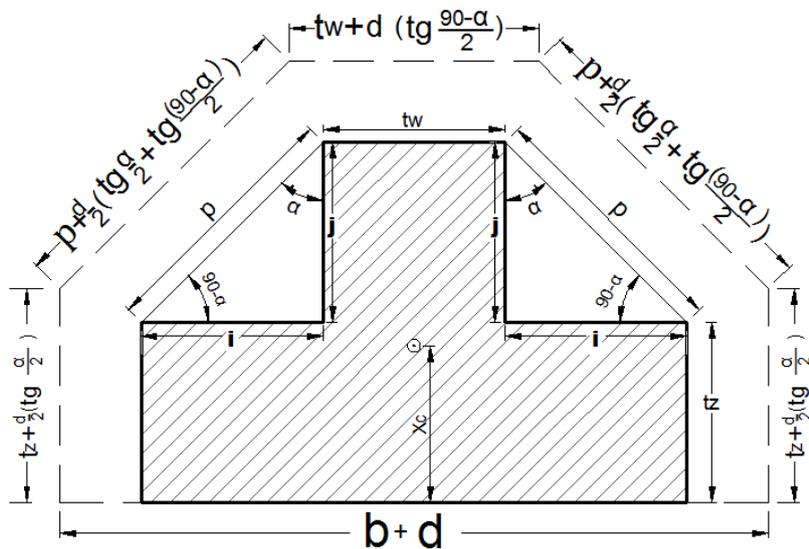


Figura N° 69: Área y perímetro crítico por punzonamiento “Columna T”

$$\beta = \frac{b}{a} \quad j = a - t_z \quad i = \frac{b - t_w}{2}$$

$$\rho = \sqrt{j^2 + i^2} \quad \alpha = \arctan\left(\frac{i}{j}\right)$$

✓ **Perímetro crítico**

$$b_0 = \left( t_w + d \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) \right) + 2 \left[ \left( t_z + \frac{d}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) + \left( \rho + \frac{d}{2} \left( \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) + \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \right) \right] \quad [298]$$

✓ **Área crítica**

$$A_0 = \left[ (b + d) \left( \frac{d_1}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) + t_z \right) \right] + \left[ \frac{(b+d) + \left( t_w + d \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) \right)}{2} * \left( \frac{d}{2} + j - \frac{d}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \right] \quad [299]$$

b) **Cortante Resistente que toma el concreto.**

$$\phi V_c \geq V_{cu}$$

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [300]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [301]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [302]$$

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica

$\alpha_s$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}}$  de la columna

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

#### 4.2.3.5. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

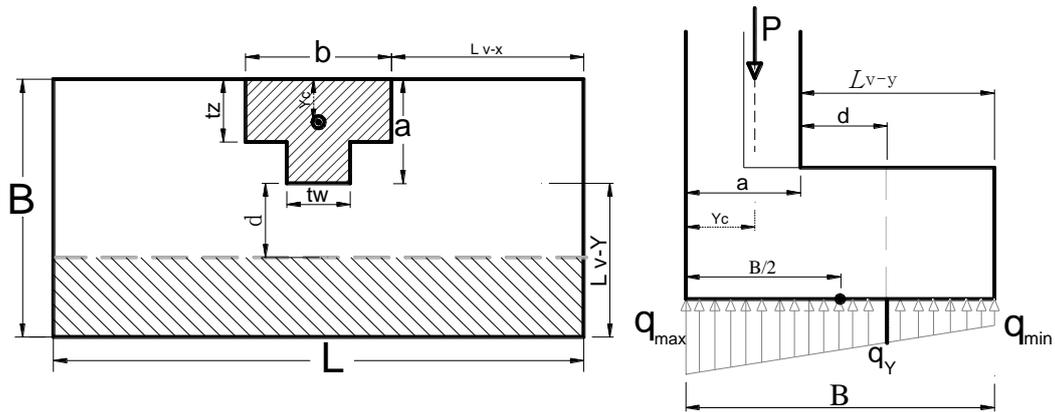


Figura N° 70: Sección crítica por Cortante “Columna T”

$$q_y = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_{v-y} - d) + q_{min} \quad [303]$$

$$Y = L_{v-y} - d$$

$$V_{d_u} = \left( \frac{q_{min} + q_y}{2} \right) L Y \quad [304]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{d_u}$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} L d \quad [304]$$

$l$  = Longitud larga de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

#### 4.2.3.6. DISEÑO POR FLEXIÓN.

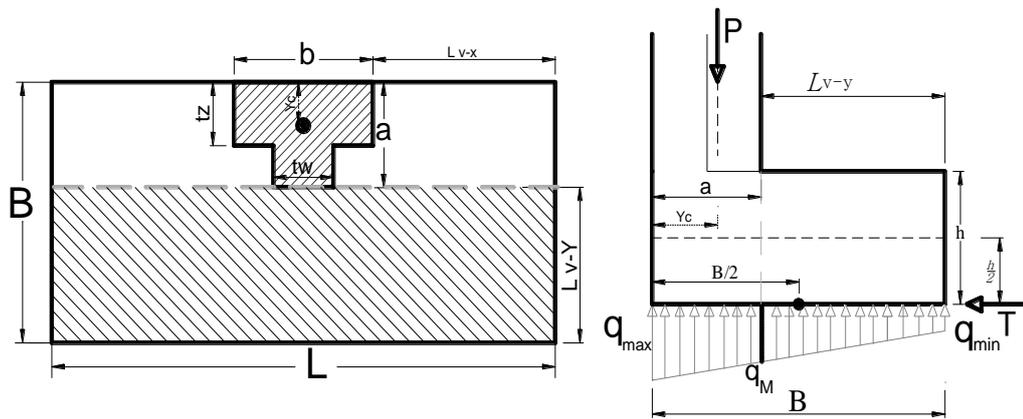


Figura N° 71: Sección crítica para momento en la dirección “Y”

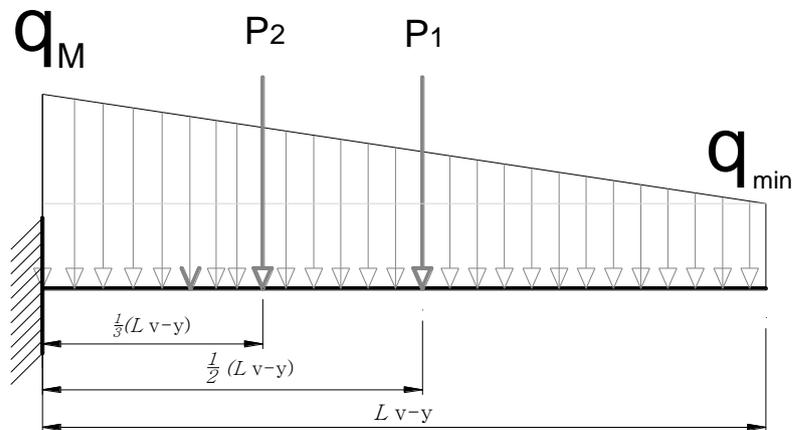


Figura N° 72: Idealización para determinar el momento en “Y”

$$P_1 = (q_{min})(L_{v-y}) \quad [305]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_M - q_{min})(L_{v-y}) \quad [306]$$

$$q_M = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{B}\right)(L_{v-y}) + q_{min} \quad [307]$$

$$M_{Diseño} = \left[\frac{(2q_{min} + q_M)}{6}(L_{v-y}^2)\right]L - \frac{T * h}{2} \quad [308]$$

##### 4.2.3.6.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [309]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [310]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_{s_y} = \rho B d \quad [311]$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_{s_y}}{A_b} \quad [312]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [313]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

#### 4.2.4. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION X”

##### 4.2.4.1. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

##### 4.2.4.1.1. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “X”

Se calculara a partir de las combinaciones últimas más desfavorables en la dirección “X”, considerando una reducción del 80% al sismo para que no aumente el esfuerzo del terreno.

a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial

$$q_{max-1} = \frac{(1.4P_D + 1.7P_L)}{BL} + \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [314]$$

$$q_{min-1} = \frac{(1.4P_D + 1.7P_L)}{BL} - \frac{6(1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x})}{BL^2} \leq \sigma_n \quad [315]$$

b) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{max-2} = \frac{(1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [316] \\ q_{max-2} = \frac{(0.90P_D + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} + \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} + \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [317] \end{array} \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$\text{mayor} \left\{ \begin{array}{l} q_{min-2} = \frac{(1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [318] \\ q_{min-2} = \frac{(0.90P_D + 0.80P_{\vec{E}_x})}{BL} - \frac{6(0.90M_{D_x} + 0.80M_{\vec{E}_x})}{BL^2} - \frac{6(0.90M_{D_y})}{LB^2} \leq \sigma_n \quad [319] \end{array} \right.$$

**4.2.4.1.2. Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño**

c) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección “X”

$$q_{max-1} \leq \sigma_n$$

$$q_{min-1} \leq \sigma_n$$

d) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección “X”.

$$mayor \begin{cases} q_{max-2} \leq \sigma_n \\ q_{max-2} \leq \sigma_n \end{cases}$$

$$mayor \begin{cases} q_{min-2} \leq \sigma_n \\ q_{min-2} \leq \sigma_n \end{cases}$$

**4.2.4.2. VERIFICACION DE CORTE POR PUNZONAMIENTO**

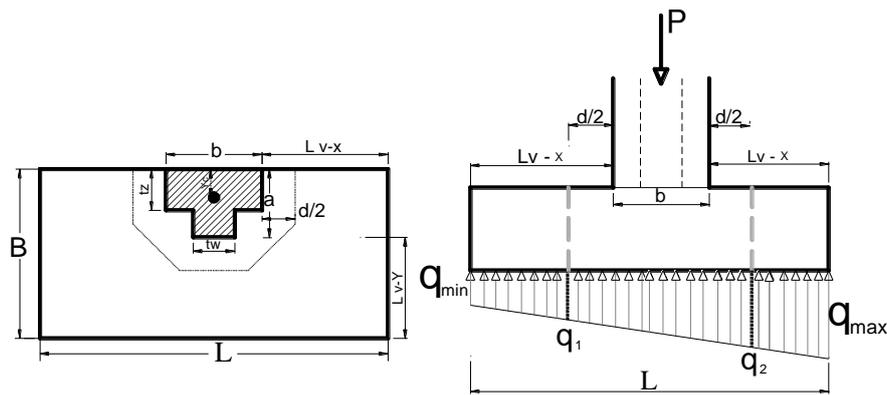


Figura N° 54: Sección crítica por punzonamiento “Rectangular”

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{vx} - d/2 \right) + q_{min} \quad [320]$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) \left( L_{vx} + b + d/2 \right) + q_{min} \quad [321]$$

a) **Cortante ultima actuante.**

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right) A_0 \right] \quad [322]$$

b) **Cortante Resistente que toma el concreto.**

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [323]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [324]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [325]$$

$b_0$  = Perimetro de la seccion critica

$b_0$  = Ver formula N° 84

$\alpha_0$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}}$  de la columna

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

#### 4.2.4.3. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.

##### 4.2.4.3.1. Dirección "X"

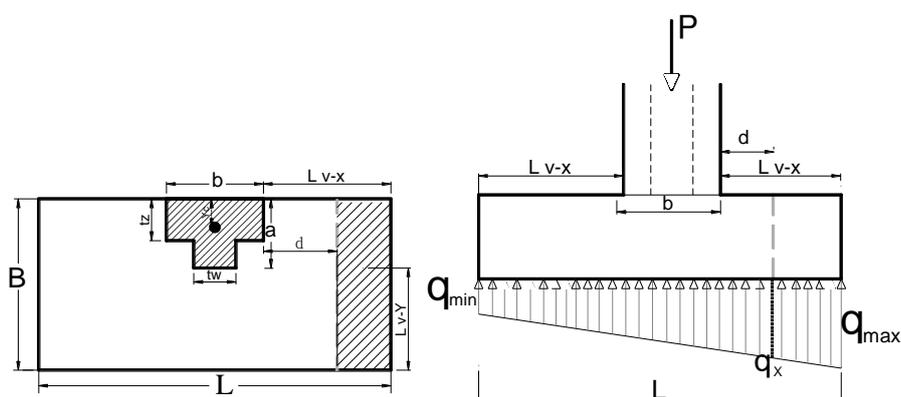


Figura N° 73: Sección crítica para cortante en la dirección "X"

$$q_x = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x} + b + d) + q_{min} \quad [326]$$

$$X = L_{v-x} - d$$

$$V_{du} = \left( \frac{q_{max} + q_x}{2} \right) B X \quad [327]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B d \quad [328]$$

$B$  = Longitud corta de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

#### 4.2.4.4. DISEÑO POR FLEXION

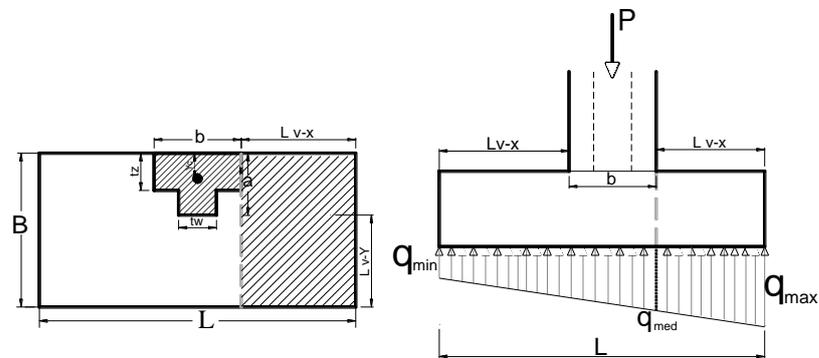


Figura N° 74: Momento a la cara de la columna

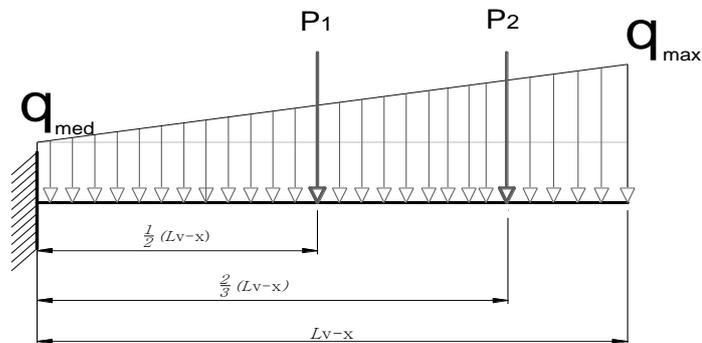


Figura N° 75: Idealización para determinar el momento en "X"

$$P_1 = (q_{med})(L_{v-x})$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_{max} - q_{med})(L_{v-x})$$

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x} + b) + q_{min}$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{max} + q_{med})}{6} (L_v - x^2) \right] B \quad [329]$$

#### 4.2.4.4.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [330]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [331]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_{s_x} = \rho B d \quad [332]$$

Una vez obtenida la cantidad de acero requerida, se calculara la cantidad de barras y la separación, calculada con las formulas a continuación:

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_{s_x}}{A_b} \quad [333]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{L - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [334]$$

- L: Representa la longitud de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)dagg \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA MEDIANERA

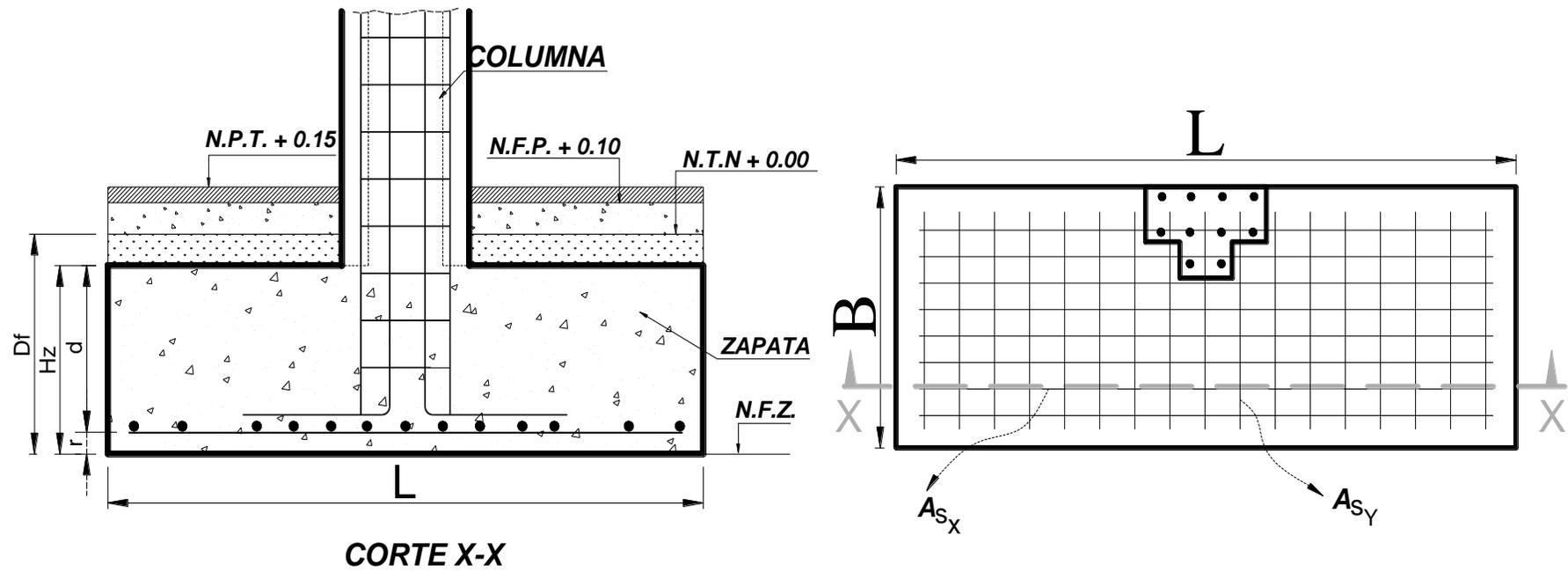


Figura N° 76: Detalle de refuerzo en zapata medianera

## CAPÍTULO 5: ZAPATAS AISLADAS ESQUINADAS

Este tipo de zapatas aparece en los edificios, bien en las esquinas en que concurren dos medianeras o bien en las que ocurren una medianera y una fachada en límites de vía pública.

Son, por tanto, de uso muy frecuente en construcciones urbanas y en ciertos tipos de construcciones industriales. Como en el caso de zapatas medianeras, se realizara el diseño teniendo la misma consideración que el capítulo 4.

El planteamiento para columna y zapata de forma cualquiera, es idéntico al efectuado en el capítulo 4 para zapatas medianeras, pero la resolución manual aquí presenta una complejidad muy grande si la columna y la zapata no son cuadrados.

Como en el caso de zapatas esquina, no existe ninguna razón preferente para hacerlas mayores en una dirección que en la otra, en lo que sigue desarrollamos el caso de zapata cuadrada. Insistimos en que el método es completamente general y puede ser aplicado a un caso numérico particular con el mismo planteamiento, con una resolución para un caso general resulta prácticamente inabordable

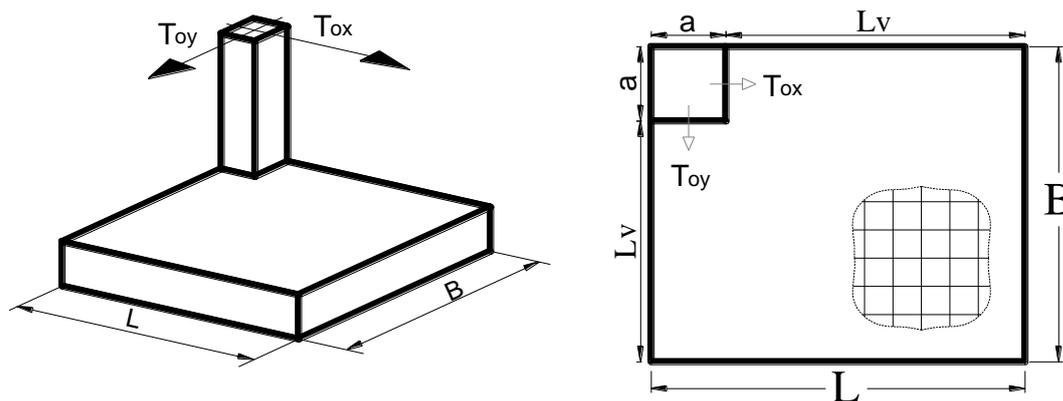


Figura N° 77: Esquema estructural y fuerzas de equilibrio

### 4.3. ZAPATA AISLADA ESQUINADAS – “COLUMNA CUADRADA”

#### 4.3.1. DATOS DE ENTRADA

##### 4.3.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUZZOS ADMISIBLES

- $\sigma_n$  = Capacidad neta del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”
- $E$  = Módulo de elasticidad del concreto
- $I$  = Inercia de la columna
- $K_c$  = Módulo de balasto
- $H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata
- $C_s$  = Coeficiente de seguridad = 1.50
- $\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Tabla N° 7: Cargas y Momentos de la columna cuadrada

| CARGAS                               |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| MOMENTOS                             |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

## 4.3.2. PROCESO

### 4.3.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_n = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [335]$$

### 4.3.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 4.3.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 4.3.2.2.2. Área de zapata

$$Az = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [336]$$

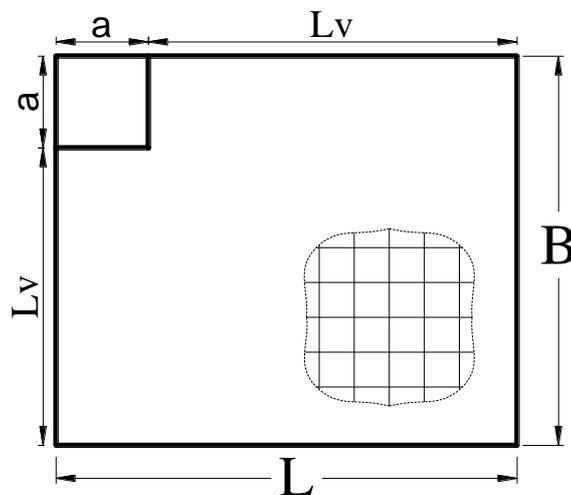


Figura N° 78: Área de Zapata Esquinada- Columna cuadrada

$$B = L = \sqrt{A_z} \quad [337]$$

$$L_v = B - a \quad [338]$$

$$L_v = L - a \quad [339]$$

### 4.3.2.3. VERIFICACION DE EXCENTRICIDADES

#### 4.3.2.3.1. Definición

##### a) Dirección "Y"

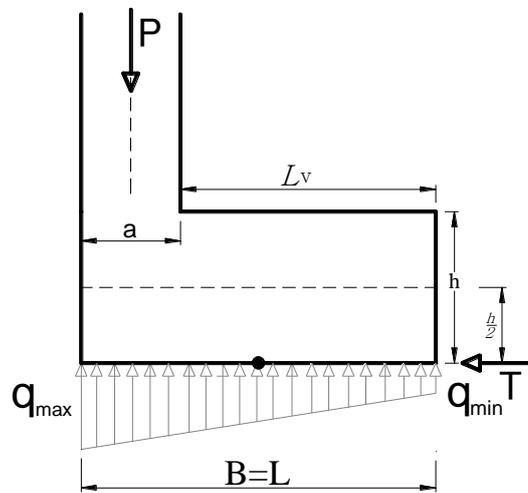


Figura N° 79: Zapata esquinada dirección "X e Y"

$$e_y = \frac{M_x}{P_{e_y}} > \left( \frac{B - a}{2} \right) - \frac{B}{6} \quad [340]$$

$$e_x = \frac{M_y}{P_{e_x}} > \left( \frac{L - a}{2} \right) - \frac{L}{6} \quad [341]$$

### 4.3.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION Y”

#### 4.3.3.1. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

##### 4.3.3.1.1. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “X”

$$\text{Mayor } P_{U_x} \begin{cases} 1.4P_D + 1.7P_L \\ 1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{E_x} \\ 0.90P_D + 0.80P_{E_x} \end{cases} \quad [342]$$

$$\text{Mayor } M_{\vec{E}_x} \begin{cases} 1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x} \\ 1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{E_x} \\ 0.90M_{D_x} + 0.80M_{E_x} \end{cases} \quad [343]$$

$$T_{o_x} = \frac{\frac{P_{U_x}(L-a)}{2} - M_{\vec{E}_x}}{\left[ (H+h) + \frac{\lambda H^2 K_c L^4}{36 EI} \right]} \quad [344]$$

A continuación determinaremos los esfuerzos de diseño.

$$q_{max-1} = \frac{P_{U_x}}{BL} + \frac{\lambda H^2 K_c L}{6 EI} T_{o_x} \leq \sigma_n \quad [345]$$

$$q_{min-1} = \frac{P_u}{BL} - \frac{\lambda H^2 K_c L}{6 EI} T_{o_x} \leq \sigma_n \quad [346]$$

##### 4.3.3.1.2. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “Y”

$$\text{Mayor } P_{U_y} \begin{cases} 1.4P_D + 1.7P_L \\ 1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{E_y} \\ 0.90P_D + 0.80P_{E_y} \end{cases} \quad [347]$$

$$\text{Mayor } M_{\vec{E}_y} \begin{cases} 1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y} \\ 1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{E_y} \\ 0.90M_{D_y} + 0.80M_{E_y} \end{cases} \quad [348]$$

$$T_{oy} = \frac{\frac{P_{Uy}(B-a)}{2} - M_{\bar{E}y}}{\left[ (H+h) + \frac{\lambda H^2 K_c B^4}{36 EI} \right]} \quad [349]$$

A continuación determinaremos los esfuerzos de diseño.

$$q_{max-2} = \frac{P_{Ux}}{BL} + \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T_{ox} \leq \sigma_n \quad [350]$$

$$q_{min-2} = \frac{P_u}{BL} - \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T_{ox} \leq \sigma_n \quad [351]$$

Donde:

$T$  = Tensión (Acción del suelo sobre la zapata)

$\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto

$I$  = Inercia de la columna

$K_c$  = Módulo de balasto

$P_{Uy}$  = Carga de última de diseño

$M_{U\bar{E}}$  = Momento ultimo de diseño

$H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata

$h$  = Altura de zapata

#### 4.3.3.1.3. Resumen de Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “Y”

$$\text{Mayores} \begin{cases} q_{max-1} \\ q_{min-1} \\ q_{max-2} \\ q_{min-2} \end{cases}$$

#### 4.3.3.2. VERIFICACION POR FLEXION

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [352]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [353]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [354]$$

#### 4.3.3.3. VERIFICACION POR VOLTEO

$$C_S T \leq (P_u + P_c) \mu \quad [355]$$

$C_S$  = Coeficiente de seguridad = 1.50

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Si no cumple:

- aumentamos h o L
- Colocar tirante, viga de cimentación

#### 4.3.3.4. VERIFICACION DE CORTE POR PUNZONAMIENTO

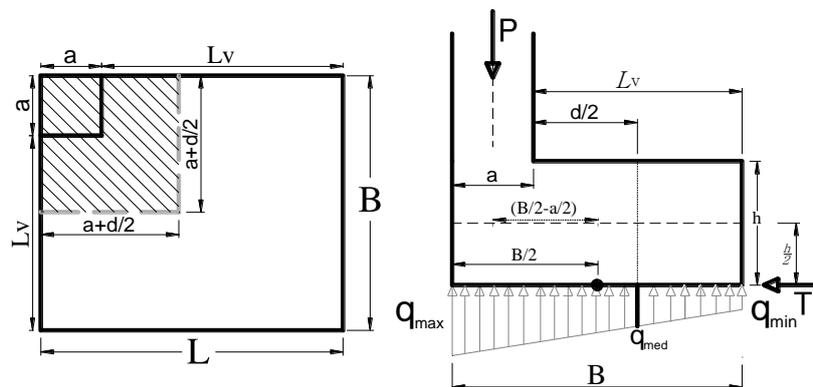


Figura N° 80: Sección crítica por punzonamiento “Columna Cuadrada”

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) \left( L_v - d/2 \right) + q_{min} \quad [356]$$

a) Cortante última actuante.

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_{max} + q_{med}}{2} \right) A_0 \right] \quad [357]$$

**b) Cortante Resistente que toma el concreto.**

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'c} b_o d \quad [358]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \sqrt{f'c} b_o d \quad [359]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_o d \quad [360]$$

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$b_o = 2a + d$$

$$A_o = \left(a + \frac{d}{2}\right) \left(a + \frac{d}{2}\right) \quad [361]$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 20 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 2 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

**4.3.3.5. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.**

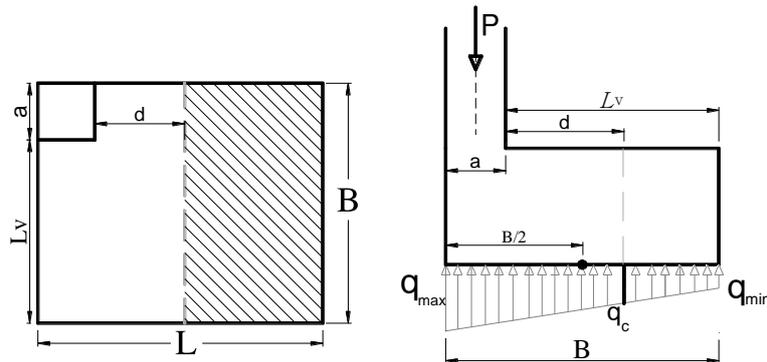


Figura N° 81: Sección crítica por Cortante “Columna Cuadrada”

$$q_c = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{B}\right) (L_v - d) + q_{min} \quad [362]$$

$$Y = L_v - d \qquad V_{du} = \left( \frac{q_{min} + q_y}{2} \right) L Y \quad [363]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

Donde:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} L d \quad [364]$$

$l$  = Longitud larga de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

#### 4.3.3.6. DISEÑO POR FLEXIÓN.

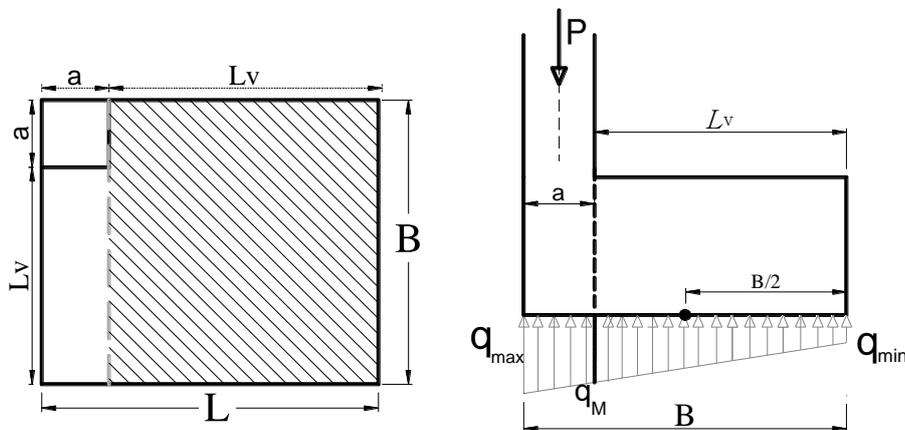


Figura N° 82: Sección crítica para momento en la dirección “Y”

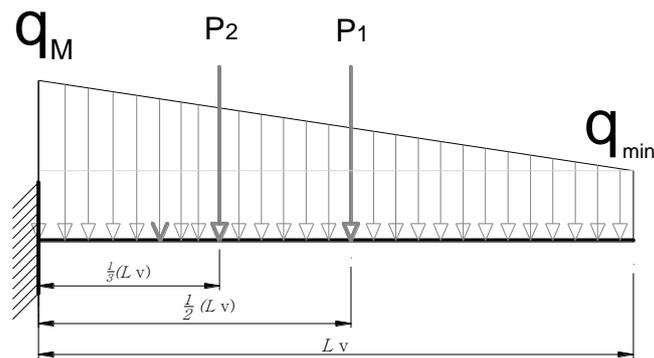


Figura N° 83: Idealización para determinar el momento en “Y”

$$P_1 = (q_{min})(L_v) \quad [365]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_M - q_{min})(L_v) \quad [366]$$

$$q_M = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_v) + q_{min} \quad [367]$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{min} + q_M)}{6} (L_v^2) \right] L - \frac{T^* h}{2} \quad [368]$$

#### 4.3.3.6.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [369]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [370]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_{sy} = \rho B d \quad [371]$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_{sy}}{A_b} \quad [372]$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [373]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)dagg \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA ESQUINA

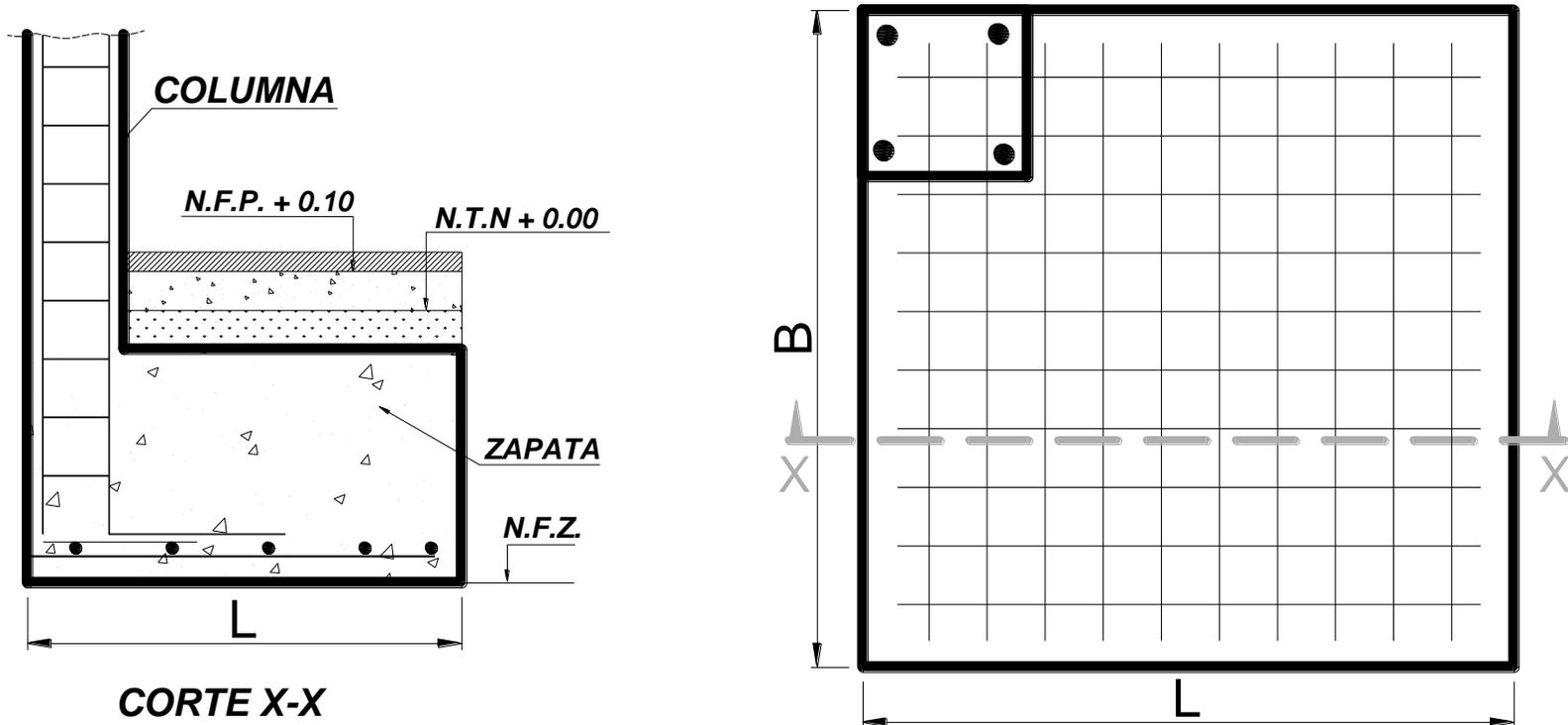


Figura N° 84: Detalle de refuerzo en zapata medianera

#### 4.4. ZAPATA AISLADA ESQUINADAS – “COLUMNA L”

##### 4.4.1. DATOS DE ENTRADA

##### 4.4.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUZZOS ADMISIBLES

- $\sigma_n$  = Capacidad neta del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”
- $E$  = Módulo de elasticidad del concreto
- $I$  = Inercia de la columna
- $K_c$  = Módulo de balasto
- $H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata
- $C_s$  = Coeficiente de seguridad = 1.50
- $\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Tabla N° 8: Cargas y Momentos de la columna L

| CARGAS                               |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| MOMENTOS                             |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

## 4.4.2. PROCESO

### 4.4.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_n = \sigma_{adm} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [374]$$

### 4.4.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 4.4.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_E \\ P_{max} = 0.75 P_D + 0.75 P_L + 0.525 P_E \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 4.4.2.2.2. Área de zapata

$$A_z = \frac{P_{max}}{\sigma_n} \quad [375]$$

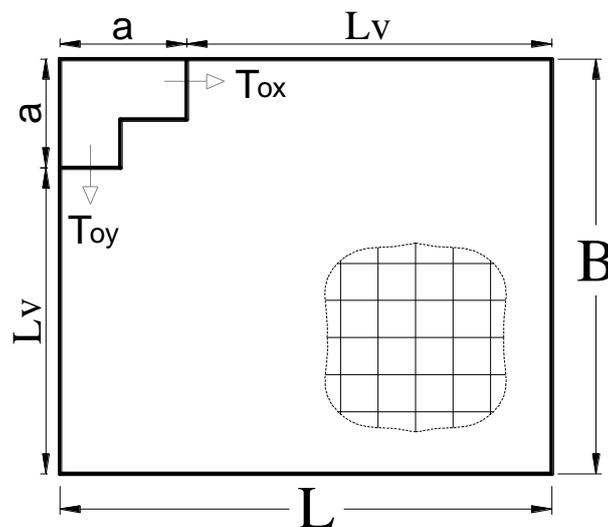


Figura N° 85: Área de Zapata Esquinada- Columna L

$$B = L = \sqrt{A_z} \quad [376]$$

$$L_v = B - a \quad [377]$$

$$L_v = L - a \quad [378]$$

#### 4.4.2.3. VERIFICACION DE EXCENTRICIDADES

##### 4.4.2.3.1. Definición

##### b) Dirección "Y"

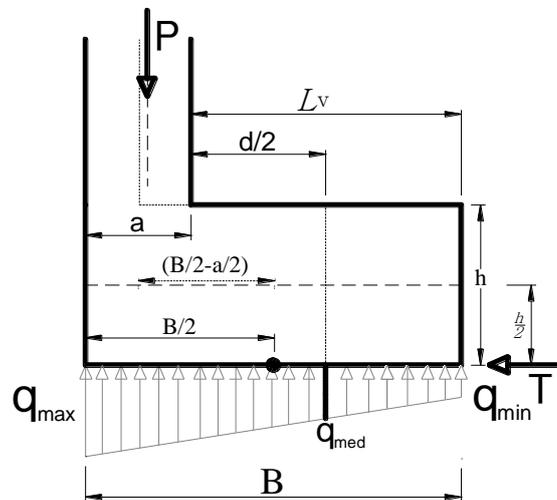


Figura N° 86: Zapata esquinada dirección "X e Y"

$$e_y = \frac{M_x}{P_{e_y}} > \left( \frac{B - a}{2} \right) - \frac{B}{6} \quad [379]$$

$$e_x = \frac{M_y}{P_{e_x}} > \left( \frac{L - a}{2} \right) - \frac{L}{6} \quad [380]$$

#### 4.4.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN “DIRECCION Y”

##### 4.4.3.1. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

##### 4.4.3.1.1. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “X”

$$\text{Mayor } P_{U_x} \begin{cases} 1.4P_D + 1.7P_L \\ 1.25P_D + 1.25P_L + 0.80P_{E_x} \\ 0.90P_D + 0.80P_{E_x} \end{cases} \quad [381]$$

$$\text{Mayor } M_{\bar{E}_x} \begin{cases} 1.4M_{D_x} + 1.7M_{L_x} \\ 1.25M_{D_x} + 1.25M_{L_x} + 0.80M_{E_x} \\ 0.90M_{D_x} + 0.80M_{E_x} \end{cases} \quad [382]$$

$$T_{o_x} = \frac{\frac{P_{U_x}(L-a)}{2} - M_{\bar{E}_x}}{\left[ (H+h) + \frac{\lambda H^2 K_c L^4}{36 EI} \right]} \quad [383]$$

A continuación determinaremos los esfuerzos de diseño.

$$q_{max-1} = \frac{P_{U_x}}{BL} + \frac{\lambda H^2 K_c L}{6 EI} T_{o_x} \leq \sigma_n \quad [384]$$

$$q_{min-1} = \frac{P_u}{BL} - \frac{\lambda H^2 K_c L}{6 EI} T_{o_x} \leq \sigma_n \quad [385]$$

##### 4.4.3.1.2. Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “Y”

$$\text{Mayor } P_{U_y} \begin{cases} 1.4P_{D_y} + 1.7P_{L_y} \\ 1.25P_{D_y} + 1.25P_{L_y} + 0.80P_{E_y} \\ 0.90P_{D_y} + 0.80P_{E_y} \end{cases} \quad [386]$$

$$\text{Mayor } M_{\bar{E}_y} \begin{cases} 1.4M_{D_y} + 1.7M_{L_y} \\ 1.25M_{D_y} + 1.25M_{L_y} + 0.80M_{E_y} \\ 0.90M_{D_y} + 0.80M_{E_y} \end{cases} \quad [387]$$

$$T_{oy} = \frac{\frac{P_{Uy}(B - a)}{2} - M_{\bar{E}y}}{\left[ (H + h) + \frac{\lambda H^2 K_c B^4}{36 EI} \right]} \quad [388]$$

A continuación determinaremos los esfuerzos de diseño.

$$q_{max-2} = \frac{P_{Ux}}{BL} + \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T_{ox} \leq \sigma_n \quad [389]$$

$$q_{min-2} = \frac{P_u}{BL} - \frac{\lambda H^2 K_c B}{6 EI} T_{ox} \leq \sigma_n \quad [390]$$

Donde:

$T$  = Tensión (Acción del suelo sobre la zapata)

$\lambda = 0.75$  (empotrado);  $1.00$  (Articulado) “En el techo”

$E$  = Módulo de elasticidad del concreto

$I$  = Inercia de la columna

$K_c$  = Módulo de balasto

$P_{Uy}$  = Carga de última de diseño

$M_{U\bar{E}}$  = Momento ultimo de diseño

$H$  = Altura desde eje de viga a la cara superior de la zapata

$h$  = Altura de zapata

#### 4.4.3.1.3. Resumen de Esfuerzo máximo y mínimo en la dirección “Y”

$$\text{Mayores} \begin{cases} q_{max-1} \\ q_{min-1} \\ q_{max-2} \\ q_{min-2} \end{cases}$$

#### 4.4.3.2. VERIFICACION POR FLEXION

$$\sigma_u = q_{max} \quad M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2} \quad [391]$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [392]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_z = d + r + d_b \quad [393]$$

#### 4.4.3.3. VERIFICACION POR VOLTEO

$$C_S T \leq (P_u + P_c) \mu \quad [394]$$

$C_S$  = Coeficiente de seguridad = 1.50

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento

Si no cumple:

- aumentamos h o L
- Colocar tirante, viga de cimentación

#### 4.4.3.4. VERIFICACION DE CORTE POR PUNZONAMIENTO

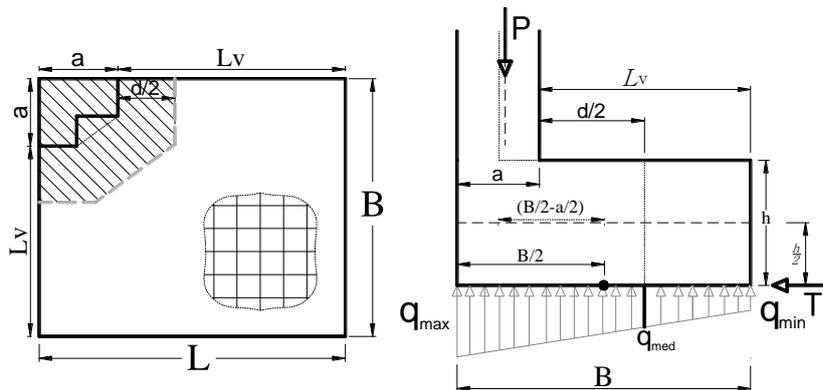


Figura N° 87: Sección crítica por punzonamiento “Columna L”

$$q_{med} = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) \left( L_v - d/2 \right) + q_{min} \quad [395]$$

##### a) Cortante última actuante.

$$V_{cu} = P_u - \left[ \left( \frac{q_{max} + q_{med}}{2} \right) A_0 \right] \quad [396]$$

**b) Cortante Resistente que toma el concreto.**

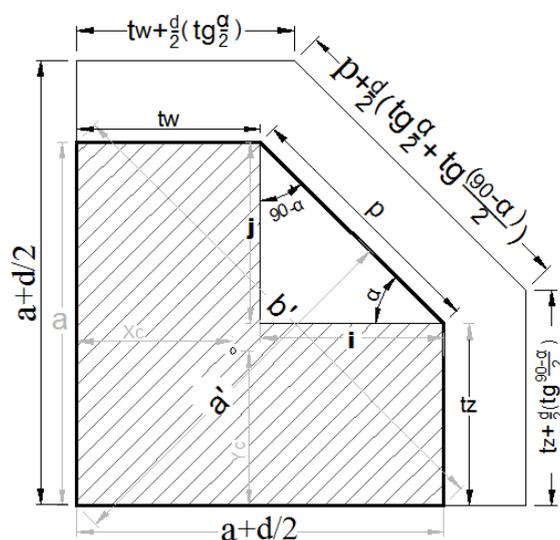
Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [397]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'c} b_0 d \quad [398]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_0 d \quad [399]$$

Calculo de la sección crítica



**Figura N° 54: Perímetro y área crítica “Columna L”**

$$\beta = \frac{b'}{a'} \quad i = b - t_w \quad \rho = \sqrt{j^2 + i^2}$$

$$j = a - t_z \quad \alpha = \arctan\left(\frac{j}{i}\right)$$

**Perímetro crítico**

$$b_0 = \left(t_w + \frac{d}{2} \left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right) + \left(\rho + \frac{d}{2} \left(\tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) + \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right)\right) + \left(t_z + \frac{d}{2} \left(\tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right)\right) \quad [400]$$

**Área crítica**

$$A_0 = \left( a + \frac{d}{2} \right) \left( t_w + \frac{d}{2} \left( \tan \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right) \right) + \left( \frac{\left( a + \frac{d}{2} \right) + \left( t_z + \frac{d}{2} \left( \tan \left( \frac{90 - \alpha}{2} \right) \right) \right)}{2} \right) * \\ \left( \left( a + \frac{d}{2} \right) - \left( t_w + \frac{d}{2} \left( \tan \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right) \right) \right) \quad [401]$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 20 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 2 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

**4.4.3.5. VERIFICACIÓN POR CORTANTE EN UNA DIRECCIÓN.**

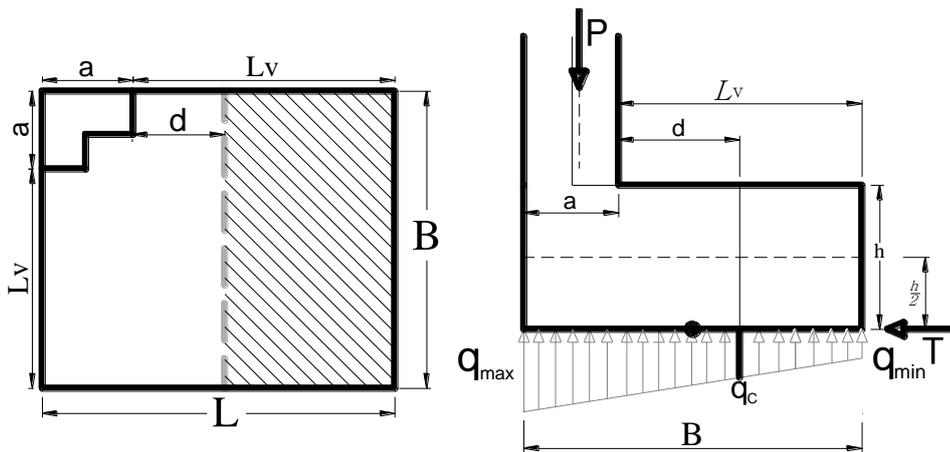


Figura N° 88: Sección crítica por Cortante “Columna L”

$$q_c = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{B} \right) (L_v - d) + q_{min} \quad [402]$$

$$Y = L_v - d \quad V_{du} = \left( \frac{q_{min} + q_y}{2} \right) L Y \quad [403]$$

Debe cumplirse la condición:

$$\phi V_c \geq V_{du}$$

Donde:

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} L d \quad [404]$$

$l$  = Longitud larga de la zapata

$d$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

#### 4.4.3.6. DISEÑO POR FLEXIÓN.

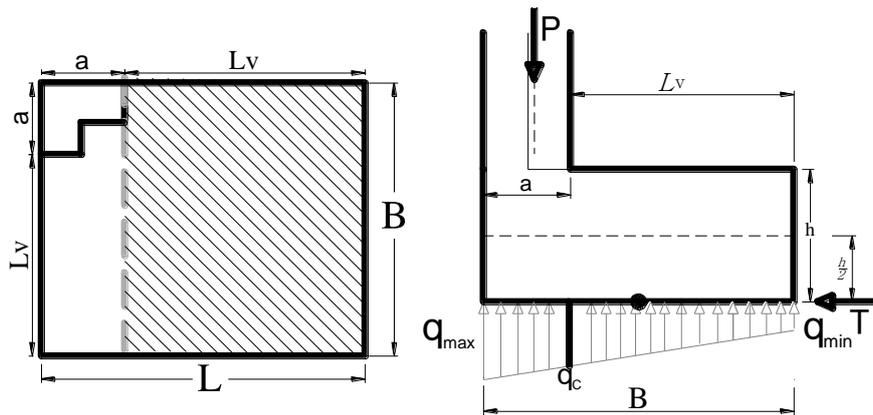


Figura N° 89: Sección crítica para momento

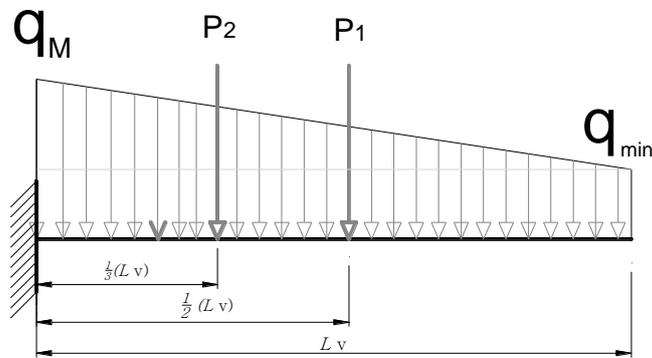


Figura N° 90: Idealización para determinar el momento en “Y”

$$P_1 = (q_{min})(L_v) \quad [405]$$

$$P_2 = \frac{1}{2}(q_M - q_{min})(L_v) \quad [406]$$

$$q_M = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{B}\right)(L_v) + q_{min} \quad [407]$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 q_{min} + q_M)}{6} (L_v^2) \right] L - \frac{T^* h}{2} \quad [408]$$

#### 4.4.3.6.1. Acero requerido por Flexión.

$$R_u = \frac{M_{Diseño}}{\phi B d^2} \quad [409]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [410]$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y}$$

$\rho_{calculado} > \rho_{minimo}$  Tomar el mayor

$$A_{s_y} = \rho B d \quad [411]$$

$$A_b = \frac{\pi}{4} (\text{diámetro de la barra})^2$$

$$n_b = \frac{A_{s_y}}{A_b} \quad 412$$

Posteriormente hallamos la separación  $S$ , y se calculara con la siguiente formula.

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [413]$$

- B: Representa el ancho de la zapata en dirección perpendicular al análisis.
- r: Recubrimiento
- $d_b$ : Diámetro de la barra

El espaciamiento del refuerzo esta mínimamente espaciado de la manera de acuerdo a las siguientes condiciones:

$$S_{min} \begin{cases} 2.54 \\ d_b \\ (4/3)d_{agg} \end{cases} (cm)$$

## DETALLE DE ZAPATA ESQUINA

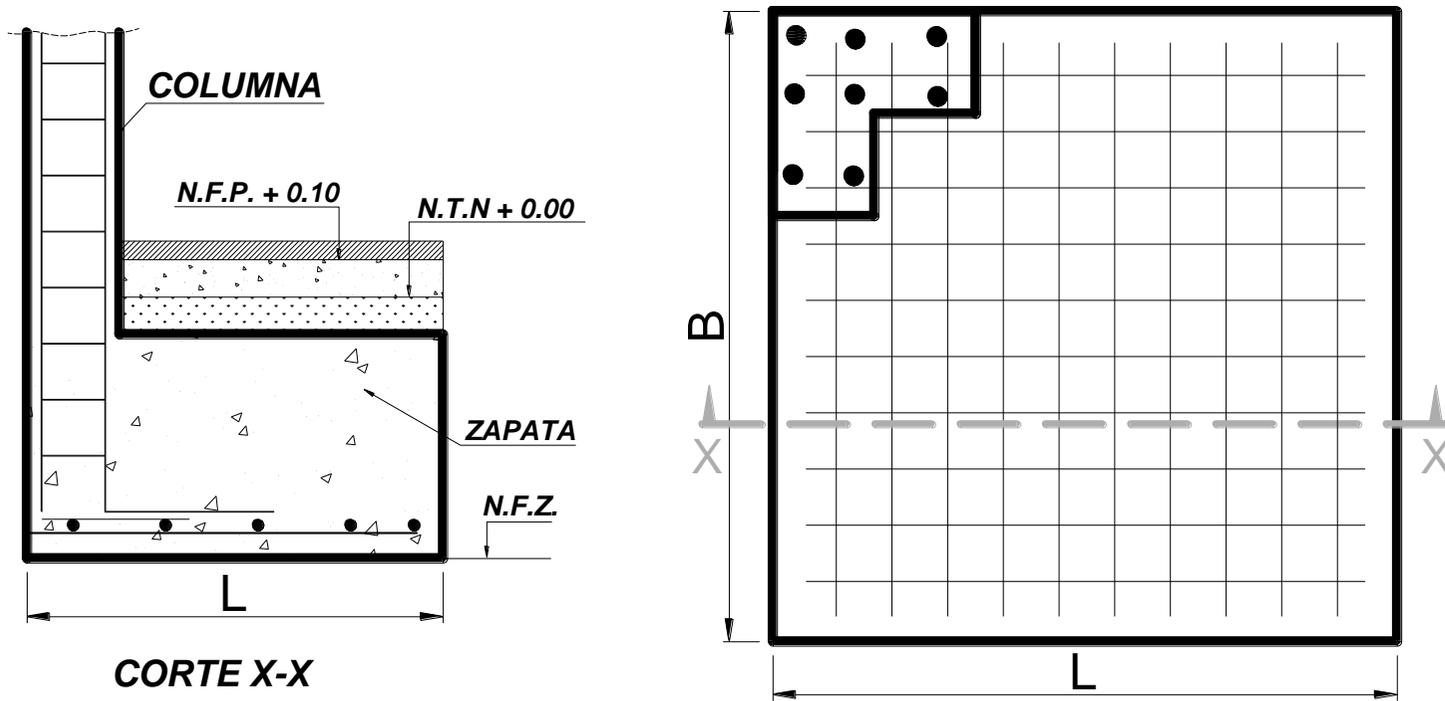


Figura N° 91: Detalle de refuerzo en zapata en esquina

## CAPÍTULO 6: ZAPATAS CORRIDAS

### 6.1. CIMENTACIONES CORRIDAS PARA MUROS

Las zapatas corridas son cimentaciones de gran longitud comparada con su dimensión transversal y que utilizan como base de muros o alineaciones de columnas (**Figura N° 50 - b**). En algunos casos se combinan mediante riostras diversas zapatas corridas, constituyendo un emparrillado sobre el cual se apoya el forjado de la planta inferior (**Figura N° 51**).

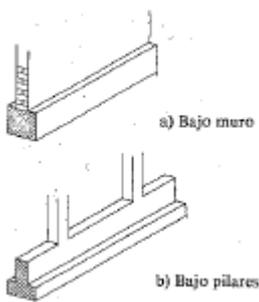


Figura N° 92: Zapatas Corridas

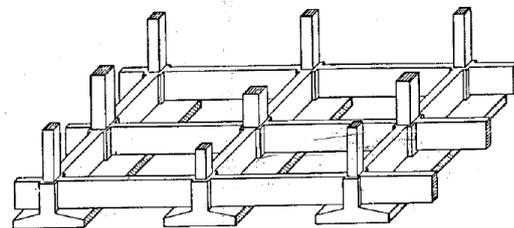


Figura N°93: Combinación de Zapatas Corridas

Las cimentaciones superficiales o zapatas corridas sirven de elemento de reparto y colaboración de cargas muy diversas, planteando un complejo problema de interacción y compatibilidad entre el terreno y la estructura.

Las condiciones de rigidez son más difíciles de establecer que en caso de las zapatas aisladas y el cálculo de esfuerzos y asiento se complica, progresivamente, al pasar de las piezas lineales, tipo de zapata corrida, a las bidimensionales, tipo losa. Ello obliga a considerables simplificaciones de cálculo y a aproximaciones semiempíricas cuyo grado de validez es objetivo de continua discusión; las zapatas corridas están indicadas cuando:

- Se trata de cimentar un elemento continuo como un muro de albañilería.
- Se quieren homogenizar los asientos de una alineación de columnas, sirviendo de arriostramiento.
- Interesa reducir las presiones de trabajo, combinando una serie de zapatas alineadas.
- Se busca una mayor facilidad constructiva en grupo de zapatas, etc.

## 6.1.1. DATOS DE ENTRADA

### 6.1.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

$\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno

$\gamma_s$  = Densidad del terreno

$D_f$  = Profundidad de desplante

$f'c$  = Resistencia del concreto

$W_D$  = Carga muerta distribuida

$W_L$  = Carga viva distribuida

$b_m$  = Ancho de muro de albañilería

$S/C$  = Sobrecarga

$db$  = diametro de la barra

## 4.2.1. PROCESO

### 4.2.1.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_{neto} = \sigma_{adm} - S/C - \gamma_m * D_f \quad [414]$$

### 4.2.1.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 4.2.1.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

$$W_T = W_D + W_L \quad [415]$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

#### 4.2.1.2.2. Base de Cimiento Corrido

La distribuciones de los esfuerzos en el suelo de fundación bajo las cimentaciones continuas o corridas que soportan muros de albañilería, se considera uniforme. Las varillas de acero principal se colocan normales a la dirección del muro.

Se designa por  $W_{max}$  a la carga de servicio del muro por unidad de longitud, y por  $W_u$  la carga mayorada. El ancho requerido  $B_{req}$  y la reacción del terreno se obtienen de la siguiente manera.

$$B_{req} = \frac{W_T}{\sigma_{neto}} \quad [415]$$

$$L_v = \frac{B_{req} - b_m}{2} \quad [416]$$

Las cimentaciones continuas de muros pueden ser de concreto simple o armado. En el primer caso, solo soportan cargas reducidas, como por ejemplo de muros de albañilería sin sobrecargas importantes.

Las dimensiones en este caso se indican en la figura, y los esfuerzos de tracción en el concreto son limitados:

### 4.2.2. DESARROLLO DE LA ZAPATA CORRIDA

#### 4.2.2.1. Peralte efectivo de zapata corrida

Más usadas son las cimentaciones corridas de concreto armado, para las cuales conveniente respetar una altura útil:

$$d \geq \frac{B_{req} - b}{4} \quad [417]$$

$$d \geq 15 \text{ cm}$$

Una vez calculada el peralte de la zapata, se procederá a calcular la altura efectiva de la zapata corrida.

$$h_z = d + r + d_b \quad [418]$$

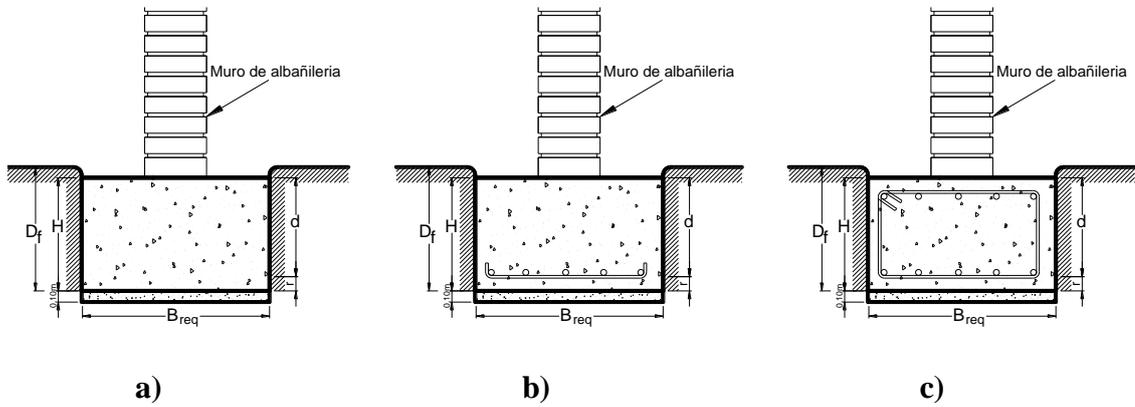


Figura N° 94: Zapatas Corridas

#### 4.2.2.2. Combinación de Cargas de Diseño

Posteriormente calcularemos el esfuerzo de diseño para ello las cargas de servicio serán amplificadas con las combinaciones ultimas de diseño escogidas del reglamento nacional de edificaciones.

La resistencia requerida para cargas muertas ( $W_D$ ) y cargas vivas ( $W_L$ ) será como mínimo.

$$W_U = 1.4W_D + 1.7W_L \quad [419]$$

Luego calcularemos el esfuerzo ultimo de diseño producido por el terreno en el ancho de un 1 m

$$\sigma_u = \frac{W_U}{B_{req}} \quad [420]$$

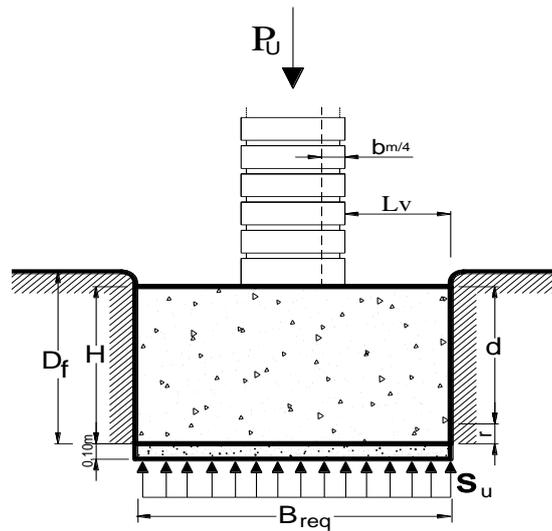


Figura N° 95. Esfuerzos en Zapata Corrida

#### 4.2.2.3. Verificación por Corte simple.

Al igual que zapatas aisladas también de la misma manera en zapatas corridas el cortante se mide a “d”, pero en este caso la distancia crítica empezara a medirse desde la cuarta parte del espesor del muro (Fig. 4).

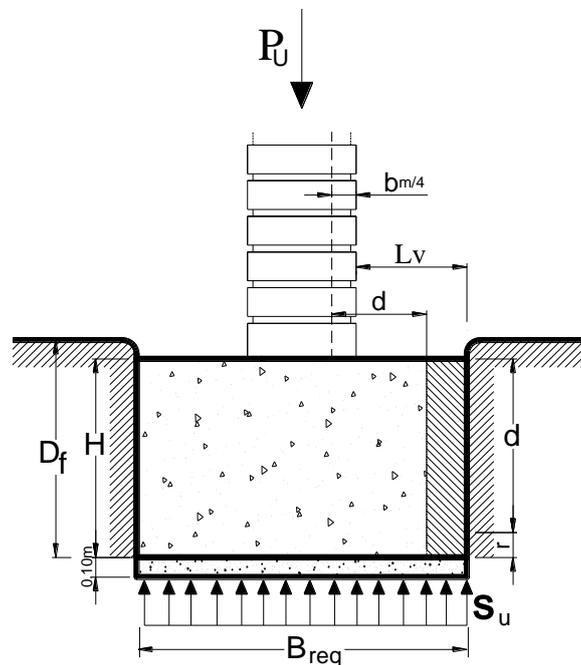


Figura N° 96: Esfuerzo cortante en Zapata Corrida

a) **Cortante actuante**

$$V_u = \sigma_u \left( L_v + \frac{b_m}{4} - d \right) (1) \quad [421]$$

$V_u =$  Cortante ultima actuante

b) **Cortante resistente**

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} (1) d \quad [422]$$

$V_c =$  Corante que toma el concreto

$d =$  Altura efectiva

$\phi = 0.85$

**Debe cumplir la condicione de:**

$$\phi V_c \geq V_u$$

**4.2.2.4. Calculo del momento de diseño**

En las cimentaciones continuas para muros de albañilería, los momentos de diseño se calculan de acuerdo como establece el Reglamento Nacional de Edificaciones, en cimentaciones con muros de albañilería se presenta en el punto medio entre el eje central y el borde del muro.

$$M_u = \sigma_u \frac{\left( L_v + \frac{b_m}{4} \right)^2}{2} \quad [423]$$

Luego el refuerzo será calculado como:

$$A_s = A_s = \frac{d - \sqrt{d^2 - (4) \frac{M_u}{1.7 \phi b f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 b f'_c} \right)} \quad [424]$$

$$A_s \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_{req} d \quad [425]$$

$$n_b = \frac{A_s}{Ab} \quad ; \quad S = \frac{B_{req} - r - db}{nb - 1}$$

## DETALLE DE ZAPATA CORRIDA

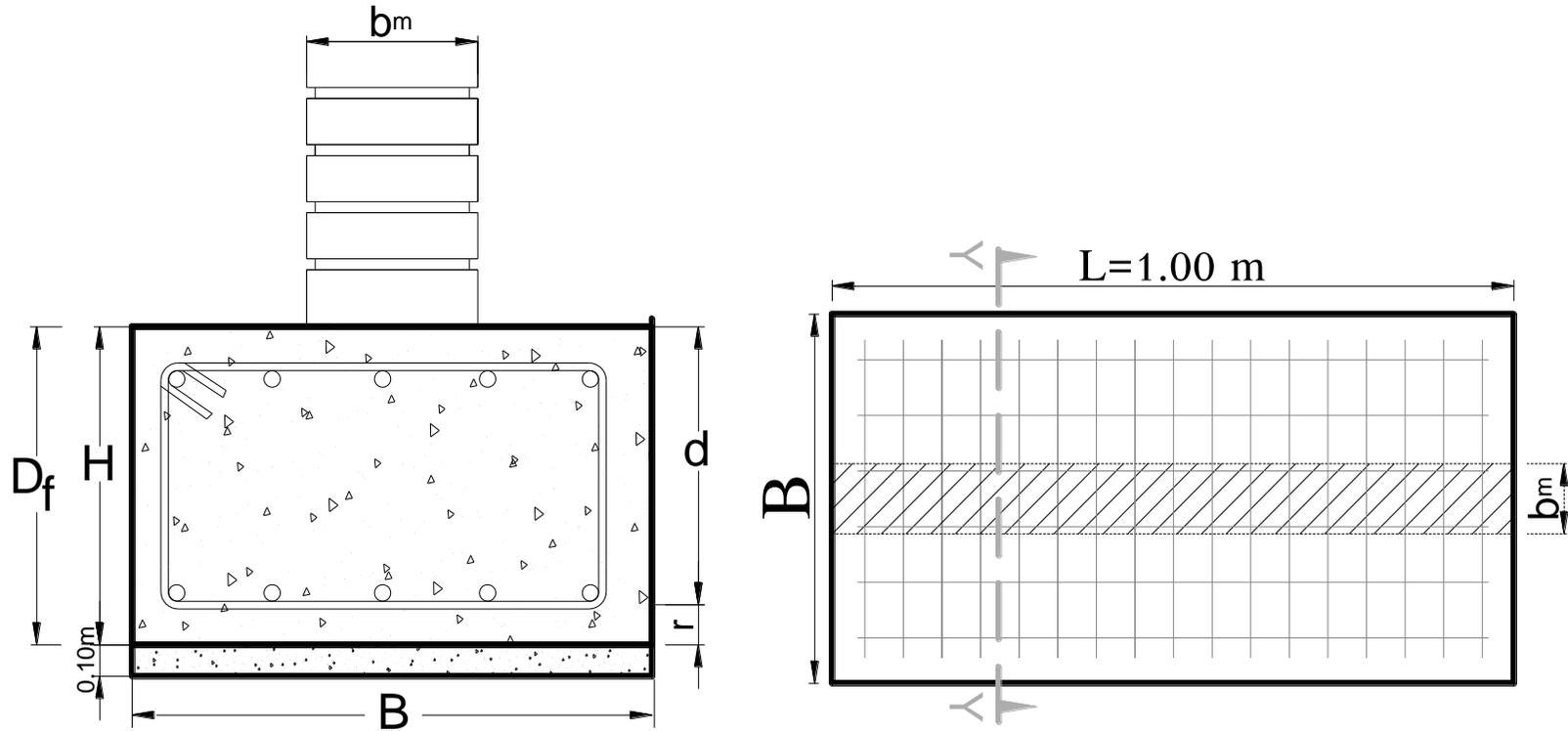


Figura N° 97: Detalle de refuerzo en zapata corrida

## CAPÍTULO 7: ZAPATAS CONECTADAS CON VIGA RIGIDA

Cuando las zapatas excéntricas soportan columnas muy cargadas, los tensores resultan poco eficaces pues las fuerzas de tracción que los solicitan se incrementan notablemente. Además, los momentos flectores en las columnas aumentan su sección, para que puedan soportar la flexo-compresión impuesta. En estos casos, es aconsejable la zapata excéntrica a otra zapata cercana mediante una viga rígida, capaz de absorber las grandes flexiones producidas por la excentricidad.

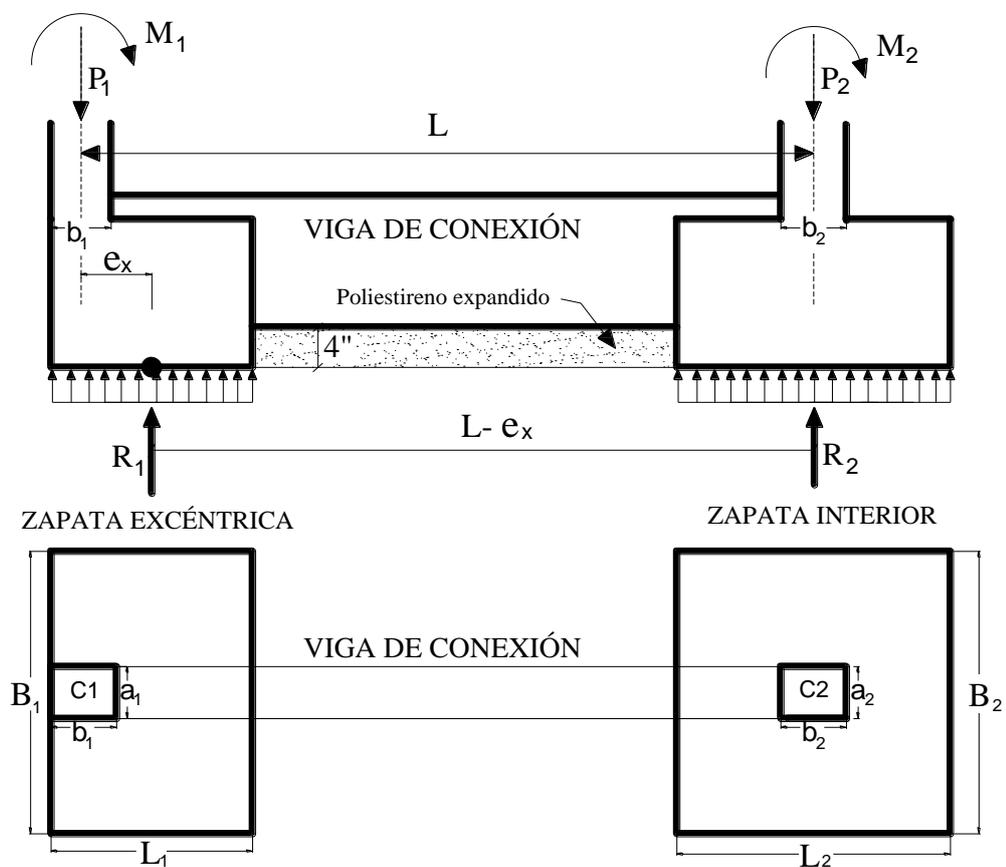


Figura N° 98: Vista en planta y en perfil de dos zapatas conectadas

La reacción en la zapata 1 es  $R_1$ , aplicada en el baricentro de la zapata excéntrica, a distancia  $e_x$  de la recta de acción de la carga  $P_1$ . En la zapata 2, la carga  $P_2$  y la reacción  $R_2$  son colineales, ya que la columna está centrada en la zapata. Las reacciones  $R_1$  y  $R_2$  se obtienen aplicando las ecuaciones de la estática.

- a) Análisis del comportamiento de la zapata conectada **sin considerar momentos:**

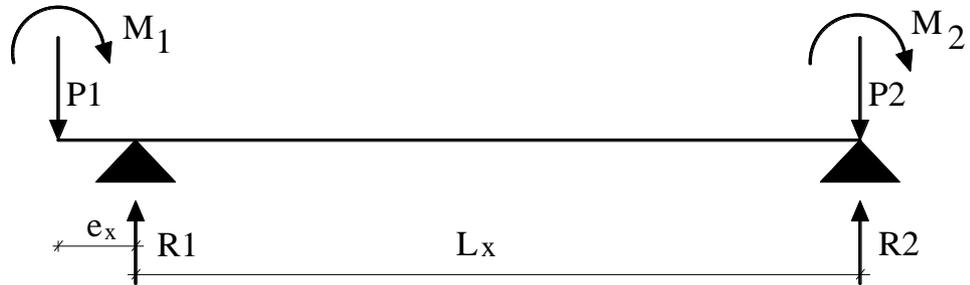


Figura N° 99: Modelo de comportamiento de zapata conectada

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 = P_1 + P_2 \quad [426]$$

$$\sum M_2 = 0$$

$$R_1 L_x - P_1 (e_x + L_x) = 0$$

$$R_1 = \frac{P_1 e_x + P_1 L_x}{L_x}$$

$$R_1 = \frac{P_1 e_x}{L_x} + P_1 \quad (A)$$

Remplazando en (A) en (1)

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1 e_x}{L_x} \quad (C)$$

- b) Análisis del comportamiento de la zapata conectada **considerando cargas y momentos.**

$$\sum F_y = 0$$

$$R_1 + R_2 = P_1 + P_2 \quad [427]$$

$$\sum M_2 = 0$$

$$R_1 L_x + M_1 + M_2 - P_1(e_x + L_x) = 0$$

$$R_1 = \frac{P_1(e_x + L_x) - (M_1 + M_2)}{L_x}$$

$$R_1 = \frac{P_1(e_x)}{L_x} + P_1 - \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad (B)$$

Remplazando:

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1 e_x}{L_x} + \frac{M_1 + M_2}{L_x} \quad (D)$$

## DIFERENTES TIPOS DE ZAPATAS CONECTADAS

Cada una de las bases analizadas, se calcula independientemente como si fueran bases aisladas centradas, soportando la misma reacción uniforme del suelo. En conveniente que el lado  $B_1$  de la zapata excéntrica no sea muy grande, para disminuir la magnitud del momento volcador, al crecer la distancia  $e_x$  entre la carga  $P_1$  y la reacción  $R_1$ . Siempre que sea posible, se debe diseñar la zapata interior como centrada cuadrada.

La viga rígida o viga de cimentación es siempre solidaria con la columna y la zapata excéntrica y en el ancho  $B_1$  trabaja como viga T donde las alas corresponden a la placa de la zapata, solicitada por la reacción del suelo. En el extremo opuesto, en la conexión con la columna centrada, la viga de cimentación puede ser o no solidaria con la zapata centrada.

El dimensionamiento, es el equivalente a dos zapatas aisladas; tenemos las siguientes particularidades:

a) La zapata excéntrica, se dimensionara con:

$$R_1 = \frac{P_1 e_x}{L_x} + P_1 \quad \text{O tambien} \quad R_1 = \frac{P_1(e_x)}{L_x} + P_1 - \frac{(M_1 + M_2)}{L_x}$$

M1 y M2 son positivos si son horarios

b) La zapata interior se dimensionara con:

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1 e_x}{L_x} \quad \text{O tambien} \quad R_2 = P_2 - \frac{P_1 e_x}{L_x} + \frac{M_1 + M_2}{L_x}$$

c) La zapata excéntrica es conveniente dimensionarla con volados diferentes de manera que el volado transversal a la viga sea mayor para dimensionar la excentricidad de la (viga) zapata.

d) Se recomienda que la viga tenga el ancho de la columna como mínimo y un gran peralte para conseguir mayor rigidez.

$$h_v \geq \frac{L}{8} \quad b = \frac{P - 1_{max}}{24 L} \geq \frac{h_v}{2}$$

L= Espaciamiento entre columnas exterior e interior a ejes de cargas.

$P - 1_{max}$  = Carga total de servicio de la columna sobre la zapata excéntrica.

## 7.1. ZAPATAS CONECTADAS (Rectangular-Rectangular)

### 7.1.1. DATOS DE ENTRADA

#### 7.1.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

- $\sigma_{neta}$  = Capacidad neta del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $L_c$  = Luz libre medidas entre cara de columnas
- $L$  = Longitud total de viga medida entre eje de cargas

| <b>COLUMNA (1)</b>                              | <b>COLUMNA (2)</b>                              |
|---|---|
| <b>CARGAS</b>                                   |   |
| $P_{D_1} = \text{Cargas Muerta}$                | $P_{D_2} = \text{Cargas Muerta}$                |
| $P_{L_1} = \text{Carga Viva}$                   | $P_{L_2} = \text{Carga Viva}$                   |
| $P_{\bar{E}_{x_1}} = \text{Carga Sismo en X}$   | $P_{\bar{E}_{x_2}} = \text{Carga Sismo en X}$   |
| $P_{\bar{E}_{y_1}} = \text{Carga Sismo en Y}$   | $P_{\bar{E}_{y_2}} = \text{Carga Sismo en Y}$   |
| <b>MOMENTOS</b>                                 |   |
| $M_{D_{x_1}} = \text{Momento Muerta en X}$      | $M_{D_{x_2}} = \text{Momento Muerta en X}$      |
| $M_{L_{x_1}} = \text{Momento Viva en X}$        | $M_{L_{x_2}} = \text{Momento Viva en X}$        |
| $M_{\bar{E}_{x_1}} = \text{Momento Sismo en X}$ | $M_{\bar{E}_{x_2}} = \text{Momento Sismo en X}$ |
| $M_{D_{y_1}} = \text{Momento Muerta en Y}$      | $M_{D_{y_2}} = \text{Momento Muerta en Y}$      |
| $M_{L_{y_1}} = \text{Momento Viva en Y}$        | $M_{L_{y_2}} = \text{Momento Viva en Y}$        |
| $M_{\bar{E}_{y_1}} = \text{Momento Sismo en Y}$ | $M_{\bar{E}_{y_2}} = \text{Momento Sismo en Y}$ |

Tabla N° 9: Cargas y Momentos del Análisis Estructural – Zapata Conectada

## 7.1.2. PROCESO

### 7.1.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_{\text{neto}} = \sigma_{\text{adm}} - S/c - \gamma_m * D_f \quad [428]$$

### 7.1.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 7.1.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

Para las combinaciones de carga de servicio, será tomara igual como especifica Cap. 5, Art. 19. De la E.020 Cargas del Reglamento Nacional De Edificaciones.

- Columna (1)

$$Mayor \begin{cases} P - 1_{max} = P_{D_1} + P_{L_1} \\ P - 1_{max} = 0.90P_{D_1} + 0.80P_{\vec{E}_{x_1}} \\ P - 1_{max} = P_{D_1} + P_{L_1} + 0.80P_{\vec{E}_{x_1}} \end{cases}$$

- Columna (2)

$$Mayor \begin{cases} P - 2_{max} = P_{D_2} + P_{L_2} \\ P - 2_{max} = 0.90P_{D_2} + 0.80P_{\vec{E}_{x_2}} \\ P - 2_{max} = P_{D_2} + P_{L_2} + 0.80P_{\vec{E}_{x_2}} \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

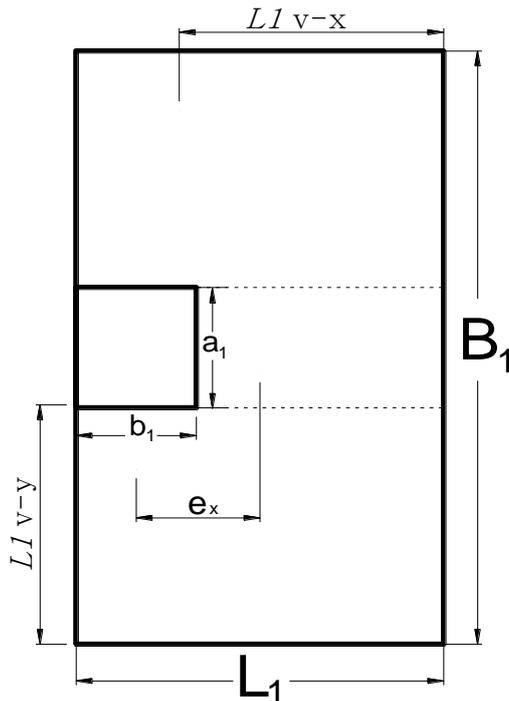
E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

#### 7.1.2.2.2. Área de zapatas

##### a) Columna 1 (Zapata Excéntrica)

$$A_{z-1} = \frac{P - 1_{max}}{\sigma_n} \quad [429]$$

Determinamos las dimensiones a partir de algunas fórmulas, las cuales nos darán dimensiones de igual medida.



Para la zapata excéntrica se toma un volado en la dirección de la viga que sea el menor posible, para disminuir la excentricidad se recomienda que:

$$L1_{v-x} = L1_{v-y} \quad [430]$$

$$A_{z-1} = B_1 L_1 \quad [431]$$

Figura N° 100: Área de zapata de la columna excéntrica

Determinaremos una fórmula de tal manera que satisfaga la condición de tener volados iguales.

$$L1_{v-x} = L1_{v-y} = \sqrt{\frac{A_{z-1}}{2} + \left(\frac{a_1+2b_1}{4}\right)^2 - \frac{a_1b_1}{2} - \left(\frac{a_1+2b_1}{4}\right)} \quad [432]$$

$$L_1 = L1_{v-x} + b_1 \text{ (Longitud en la dirección de la Viga)}$$

$$B_1 = 2L1_{v-y} + a_1 \text{ (Longitud en la dirección transversal)}$$

$$e_x = \frac{L_1 - b_1}{2} \quad [433]$$

#### b) Columna 2 (Zapata Central)

$$A_{z-2} = \frac{P - 2_{max}}{\sigma_n} \quad [434]$$

Determinamos las dimensiones a partir de algunas fórmulas, las cuales nos darán dimensiones de igual medida.

$$L_2 = \sqrt{A_z} + 0.5(b_2 - a_2) \quad [435]$$

$$L_{2v-x} = 0.5(L_2 - b_2)$$

$$B_2 = \sqrt{A_z} - 0.5(b_2 - a_2) \quad [436]$$

$$L_{2v-y} = 0.5(B_2 - a_2)$$

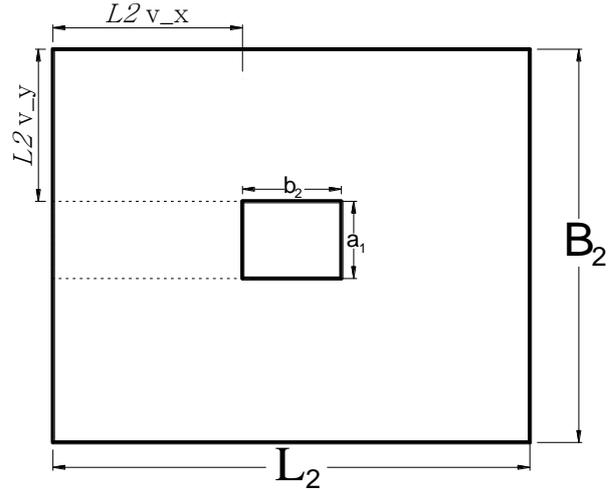


Figura N° 101: Área de zapata de la columna central

### 7.1.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACION

#### 7.1.3.1. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

##### 7.1.3.1.1. Zapata Excéntrica – Columna 1

$$\sigma_{1max} = \frac{P_{D1} + P_{L1}}{A_{z-1}} \leq \sigma_n \quad [437]$$

$$\sigma_{1max} = \frac{P_{D1} + (0.80P_{\vec{E}_{x1}})}{A_{z-1}} + \frac{6(M_{Dx1} + 0.80M_{\vec{E}_{x1}})}{B_1 L_1^2} + \frac{6M_{Dy1}}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [438]$$

$$\sigma_{1max} = \frac{P_{D1} + (0.80P_{\vec{E}_{y1}})}{A_{z-1}} + \frac{6(M_{Dy1} + 0.80M_{\vec{E}_{y1}})}{L_1 B_1^2} + \frac{6M_{Dx1}}{B_1 L_1^2} \leq \sigma_n \quad [439]$$

$$\sigma_{1max} = \frac{[P_{D1} + P_{L1} + (0.80P_{\vec{E}_{x1}})]}{A_{z-1}} + \frac{6(M_{Dx1} + M_{Lx1} + 0.80M_{\vec{E}_{x1}})}{B_1 L_1^2} + \frac{6M_{Dy1}}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [440]$$

$$\sigma_{1max} = \frac{[P_{D1} + P_{L1} + (0.80P_{\vec{E}_{y1}})]}{A_{z-1}} + \frac{6(M_{Dy1} + M_{Ly1} + 0.80M_{\vec{E}_{y1}})}{L_1 B_1^2} + \frac{6M_{Dx1}}{B_1 L_1^2} \leq \sigma_n \quad [441]$$

### 7.1.3.1.2. Zapata Central – Columna 2

$$\sigma_{2_{max}} = \frac{P_{D_2} + P_{L_2}}{A_{z-2}} \leq \sigma_n \quad [442]$$

$$\sigma_{2_{max}} = \frac{P_{D_2} + (0.80P_{\bar{E}_{x_2}})}{A_{z-2}} + \frac{6(M_{D_{x_2}} + 0.80M_{\bar{E}_{x_2}})}{B_2L_2^2} + \frac{6M_{D_{y_2}}}{L_2B_2^2} \leq \sigma_n \quad [443]$$

$$\sigma_{2_{max}} = \frac{P_{D_2} + (0.80P_{\bar{E}_{y_2}})}{A_{z-2}} + \frac{6(M_{D_{y_2}} + 0.80M_{\bar{E}_{y_2}})}{L_2B_2^2} + \frac{6M_{D_{x_2}}}{B_2L_2^2} \leq \sigma_n \quad [444]$$

$$\sigma_{2_{max}} = \frac{[P_{D_2} + P_{L_2} + (0.80P_{\bar{E}_{x_2}})]}{A_{z-2}} + \frac{6(M_{D_{x_2}} + M_{L_{x_2}} + 0.80M_{\bar{E}_{x_2}})}{B_2L_2^2} + \frac{6M_{D_{y_2}}}{L_2B_2^2} \leq \sigma_n \quad [445]$$

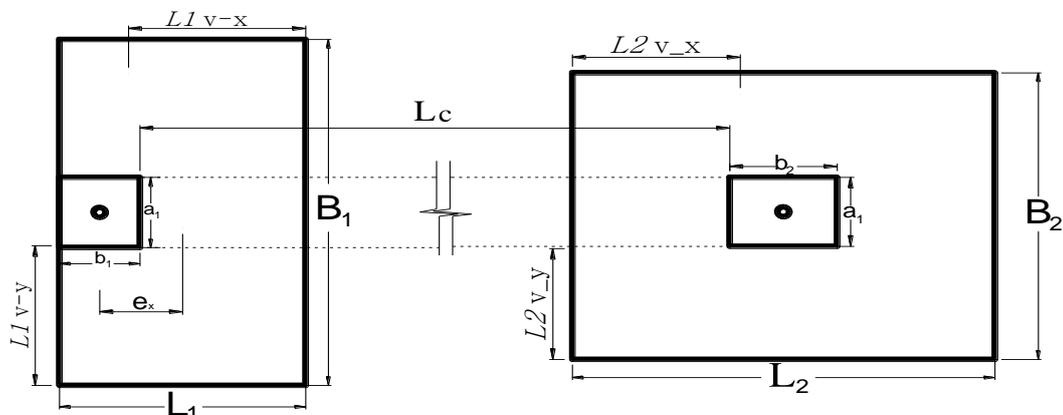
$$\sigma_{2_{max}} = \frac{[P_{D_2} + P_{L_2} + (0.80P_{\bar{E}_{y_2}})]}{A_{z-2}} + \frac{6(M_{D_{y_2}} + M_{L_{y_2}} + 0.80M_{\bar{E}_{y_2}})}{L_2B_2^2} + \frac{6M_{D_{x_2}}}{B_1L_2^2} \leq \sigma_n \quad [446]$$

### 7.1.3.2. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

$$P_U = 1.4P_D + 1.7P_L \quad [447]$$

$$P_U = 1.25(P_D + P_L) \pm P_E \quad [448]$$

### 7.1.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES CON COMBINACIONES ÚLTIMAS DE DISEÑO



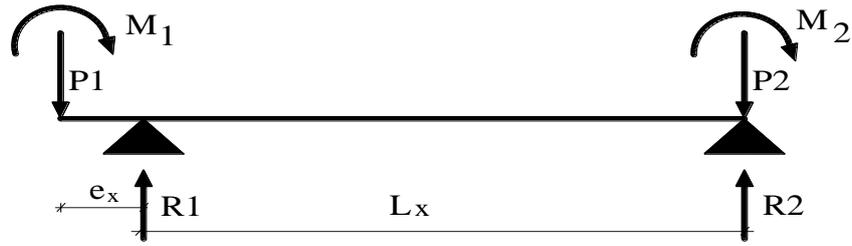


Figura N° 102: Cimentación conectada

- a) **Primera verificación de presiones:** Considerando los Momentos de Gravedad Transversal

Para la Zapata Excéntrica (Columna 1), tenemos:

$$L_x = L_c + \frac{b_2}{2} - \frac{L_1}{2} + b_1 \quad [449]$$

$$P_1 = 1.4P_{D_1} + 1.7P_{L_1} \quad [450]$$

$$M_1 = 1.4M_{D_{x_1}} + 1.7M_{L_{x_1}} \quad [451]$$

$$M_2 = 1.4M_{D_{x_2}} + 1.7M_{L_{x_2}} \quad [452]$$

$$e_x = \frac{L_1 - b_1}{2} \quad [453]$$

$$R_1 = \frac{P_1(e_x)}{L_x} + P_1 - \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [454]$$

$$q_{max-1-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} + \frac{6(1.4M_{D_{y_1}} + 1.7M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [455]$$

$$q_{min-1-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} - \frac{6(1.4M_{D_{y_1}} + 1.7M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [456]$$

**Para la Zapata Central (Columna 2), tenemos:**

$$P_2 = 1.4P_{D_2} + 1.7P_{L_2} \quad [457]$$

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1(e_x)}{L_x} + \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [458]$$

$$q_{max-1-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} + \frac{6(1.4M_{D_{y_2}} + 1.7M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [459]$$

$$q_{min-1-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} - \frac{6(1.4M_{D_{y_2}} + 1.7M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [460]$$

**b) Segunda verificación de presiones:** Considerando los momentos de sismo en dirección longitudinal y sentido antihorario.

**Para la Zapata Excéntrica (Columna 1), tenemos:**

$$P_1 = 1.25P_{D_1} + 1.25P_{L_1} + 0.80P_{\vec{E}_{x_1}} \quad [461]$$

$$M_1 = 1.25M_{D_{x_1}} + 1.25M_{L_{x_1}} - 0.80M_{\vec{E}_{x_1}} \quad [462]$$

$$M_2 = 1.25M_{D_{x_2}} + 1.25M_{L_{x_2}} - 0.80M_{\vec{E}_{x_2}} \quad [463]$$

$$e_x = \frac{L_1 - b_1}{2} \quad [464]$$

$$R_1 = \frac{P_1(e_x)}{L_x} + P_1 - \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [465]$$

$$q_{max-2-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} + \frac{6(1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [466]$$

$$q_{min-2-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} - \frac{6(1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [467]$$

**Para la Zapata Central (Columna 2), tenemos:**

$$P_2 = 1.25P_{D_2} + 1.25P_{L_2} + 0.80P_{\vec{E}_{x_2}} \quad [468]$$

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1(e_x)}{L_x} + \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [469]$$

$$q_{max-2-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} + \frac{6(1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [470]$$

$$q_{min-2-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} - \frac{6(1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [471]$$

- c) **Tercera verificación de presiones:** Considerando los momentos de sismo en dirección longitudinal y sentido Horario.

**Para la Zapata Excéntrica (Columna 1), tenemos:**

$$P_1 = 1.25P_{D_1} + 1.25P_{L_1} - 0.80P_{\vec{E}_{x_1}} \quad [472]$$

$$M_1 = 1.25M_{D_{x_1}} + 1.25M_{L_{x_1}} + 0.80M_{\vec{E}_{x_1}} \quad [473]$$

$$M_2 = 1.25M_{D_{x_2}} + 1.25M_{L_{x_2}} + 0.80M_{\vec{E}_{x_2}} \quad [474]$$

$$e_x = \frac{L_1 - b_1}{2} \quad [475]$$

$$R_1 = \frac{P_1(e_x)}{L_x} + P_1 - \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [476]$$

$$q_{max-3-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} + \frac{6(1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [477]$$

$$q_{min-3-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} - \frac{6(1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [478]$$

**Para la Zapata Central (Columna 2), tenemos:**

$$P_2 = 1.25P_{D_2} + 1.25P_{L_2} - 0.80P_{\vec{E}_{x_2}} \quad [479]$$

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1(e_x)}{L_x} + \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [480]$$

$$q_{max-3-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} + \frac{6(1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [481]$$

$$q_{min-3-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} - \frac{6(1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [482]$$

- d) **Cuarta verificación de presiones:** Considerando los momentos de sismo en dirección Transversal va a generar un aumento en la carga axial y en los momentos transversales de la primera verificación, donde únicamente se analiza considerando momentos por cargas de gravedad.

**Para la Zapata Excéntrica (Columna 1), tenemos:**

$$P_1 = 1.25P_{D_1} + 1.25P_{L_1} + 0.80P_{\vec{E}_{y_1}} \quad [483]$$

$$M_1 = 1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}} + 0.80M_{\vec{E}_{y_1}} \quad [484]$$

$$M_2 = 1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}} + 0.80M_{\vec{E}_{y_2}} \quad [485]$$

$$e_x = \frac{L_1 - b_1}{2} \quad [486]$$

$$R_1 = \frac{P_1(e_x)}{L_x} + P_1 - \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [487]$$

$$q_{max-4-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} + \frac{6(1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [488]$$

$$q_{min-4-1} = \frac{R_1}{B_1 L_1} - \frac{6(1.25M_{D_{y_1}} + 1.25M_{L_{y_1}})}{L_1 B_1^2} \leq \sigma_n \quad [489]$$

**Para la Zapata Central (Columna 2), tenemos:**

$$P_2 = 1.25P_{D_2} + 1.25P_{L_2} + 0.80P_{\vec{E}_{y_2}} \quad [490]$$

$$R_2 = P_2 - \frac{P_1(e_x)}{L_x} + \frac{(M_1 + M_2)}{L_x} \quad [491]$$

$$q_{max-4-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} + \frac{6(1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [492]$$

$$q_{min-4-2} = \frac{R_2}{B_2 L_2} - \frac{6(1.25M_{D_{y_2}} + 1.25M_{L_{y_2}})}{L_2 B_2^2} \leq \sigma_n \quad [493]$$

#### 7.1.3.4. Resumen de Presiones con Combinaciones Últimas de Diseño

**Primera verificación:**

|               |               |
|---------------|---------------|
| Zapata N° 1   | Zapata N°2    |
| $q_{max-1-1}$ | $q_{max-1-2}$ |
| $q_{min-1-1}$ | $q_{min-1-2}$ |

**Segunda verificación:**

|               |               |
|---------------|---------------|
| Zapata N° 1   | Zapata N°2    |
| $q_{max-2-1}$ | $q_{max-2-2}$ |
| $q_{min-2-1}$ | $q_{min-2-2}$ |

**Tercera verificación:**

|               |               |
|---------------|---------------|
| Zapata N° 1   | Zapata N°2    |
| $q_{max-3-1}$ | $q_{max-3-2}$ |
| $q_{min-3-1}$ | $q_{min-3-2}$ |

**Cuarta verificación:**

|               |               |
|---------------|---------------|
| Zapata N° 1   | Zapata N°2    |
| $q_{max-4-1}$ | $q_{max-4-2}$ |
| $q_{min-4-1}$ | $q_{min-4-2}$ |

De las cuatro verificaciones de presiones, se obtendrá el esfuerzo máximo y mínimo en cada zapata; se tendrá que **verificar que el esfuerzo mínimo no**

**tenga signo negativo**, para que todo el suelo este trabajando en compresión, se escogerá el máximo valor de esfuerzo, el cual nos permitirá para las verificaciones de punzonamiento, cortante y diseño propio de las zapatas.

**Zapata N° 1**

$$\sigma_{u_1} = q_{max1}$$

**Zapata N°2**

$$\sigma_{u_2} = q_{max2}$$

**7.1.4. DISEÑO DE LA CIMENTACION.**

**7.1.4.1. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.**

Para poder determinar el espesor de la zapata  $h_z$ . En zapatas de columnas, el espesor total de la zapata se calculara mediante la verificación por flexión. El peralte efectivo mínimo de cada zapata para la condición de cortante se calculara a continuación:

**Zapata N° 1**

$$M_{u_1} = \frac{\sigma_{u_1} L1_{v-x}^2 B_1}{2} \quad [494]$$

**Zapata N°2**

$$M_{u_2} = \frac{\sigma_{u_2} L2_{v-x}^2 B_2}{2} \quad [495]$$

$$d_1^2 = \frac{M_{u_1}}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [496] \quad d_2^2 = \frac{M_{u_2}}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})} \quad [497]$$

El espesor de la zapata será igual a:

$$h_{z-1} = d_1 + r + d_b \quad [498]$$

$$h_{z-2} = d_2 + r + d_b \quad [499]$$

7.1.4.2. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

ZAPATA N° 1 (columna 1)

a) Cortante última actuante.

$$V_{c_{u-1}} = \sigma_{u_1} [A_{z-1} - A_{o_1}] \quad [500]$$

$A_{o_1}$  = Area crítica

$$A_{o_1} = (a_1 + d_1) \left( b_1 + \frac{d_1}{2} \right) \quad [501]$$

$$A_{z-1} = B_1 L_1 \quad [502]$$

ZAPATA EXCÉNTRICA

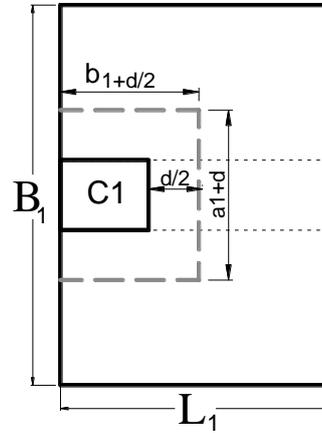


Figura N° 103: Perímetro crítico por falla punzonamiento “Zapata 1”

b) Cortante Resistente que toma el concreto.

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} b_{o_1} d_1 \quad [503]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_{30} d_1}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'_c} b_{o_1} d_1 \quad [504]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} b_{o_1} d_1 \quad [505]$$

$b_{o_1}$  = Perímetro de la sección crítica

$$b_{o_1} = 2 \left( b_1 + \frac{d_1}{2} \right) + (a_1 + d_1) \quad [506]$$

$\alpha_{30}$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}}$  de la columna

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{c_{u-1}}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 7.1.4.3. VERIFICACIÓN POR CORTANTE

#### a) Cortante actuante

$$V_{d_{u-1}} = \sigma_{u_1} B_1 X \quad [507]$$

$$X_1 = L_{1_{v-x}} - d_1 \quad [508]$$

#### b) Cortante Resistente

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B_1 d_1 \quad [509]$$

$B_1$  = Largo de la sección

$d_1$  = Altura efectiva

$\phi = 0.85$

ZAPATA EXCÉNTRICA

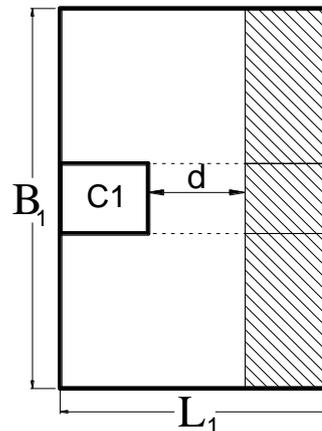


Figura N° 104: Perímetro crítico por falla Corte “Zapata 1”

### 7.1.4.4. DISEÑO POR FLEXIÓN.

#### a) Zapata 1: (En la dirección x)

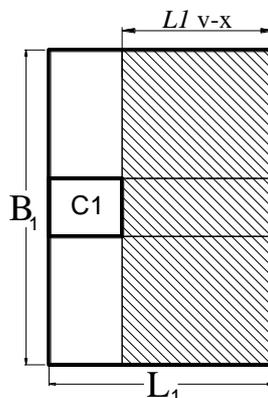


Figura N° 105: Perímetro crítico por Flexión “Zapata 1”

$$M_{ux_1} = \frac{\sigma_{u_1} B_1 L_1 v-x^2}{2} \quad [510]$$

- Acero requerido en la dirección “X”

$$A_{Sx_1} = \frac{d_1 - \sqrt{d_1^2 - (4) \frac{M_{ux_1}}{1.7 \phi B_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 B_1 f'_c} \right)} \quad [511]$$

$$A_s = A_{Sx_1} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_1 d_1 \quad [512]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad ; \quad S_x = \frac{B_1 - 2r - db}{nb - 1} \quad [513]$$

b) Zapata 1: (En la dirección y)

$$M_{uy_1} = \frac{\sigma_{u_1} L_1 L_1 v-y^2}{2} \quad [514]$$

- Acero requerido en la dirección “Y”

$$A_{Sy_1} = \frac{d_1 - \sqrt{d_1^2 - (4) \frac{M_{uy_1}}{1.7 \phi L_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 L_1 f'_c} \right)} \quad [515]$$

$$A_s = A_{Sy_1} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} L_1 d_1 \quad [516]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad ; \quad S_y = \frac{L_1 - 2r - db}{nb - 1} \quad [517]$$

ZAPATA N° 2 (columna 2)

**7.1.4.5. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO**

a) Cortante ultima actuante.

$$V_{c_{u-2}} = \sigma_{u_2} [A_{z-2} - A_{o_2}] \quad [518]$$

$A_{o_2}$  = Area critica

$$A_{o_2} = (a_2 + d_2) \left( L_{2v-x} + \frac{d_2}{2} \right) \quad [519]$$

$$A_{z-2} = B_2 L_2 \quad [520]$$

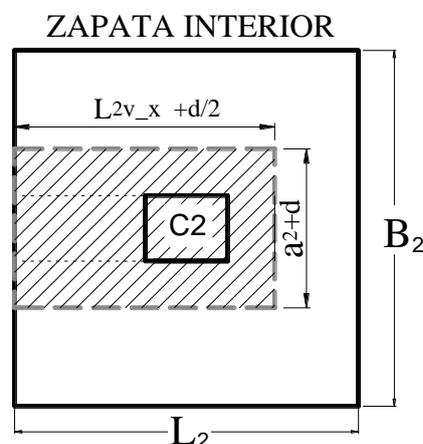


Figura N° 106: Perímetro crítico por falla punzonamiento “zapata 2”

b) Cortante Resistente que toma el concreto.

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_{o_2} d_2 \quad [521]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_{40} d_2}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_{o_2} d_2 \quad [523]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_{o_2} d_2 \quad [524]$$

$b_{o_2}$  = Perimetro de la seccion critica

$$b_{o_2} = 2 \left( b_2 + \frac{d_2}{2} \right) + (a_2 + d_2) \quad [525]$$

$\alpha_{40}$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu-2}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

#### 7.1.4.6. VERIFICACIÓN POR CORTANTE

##### a) Cortante actuante

$$V_{d_{u-2}} = \sigma_{u_2} B_2 X \quad [526]$$

$$X_2 = L_{2_{v-x}} - d_2 \quad [527]$$

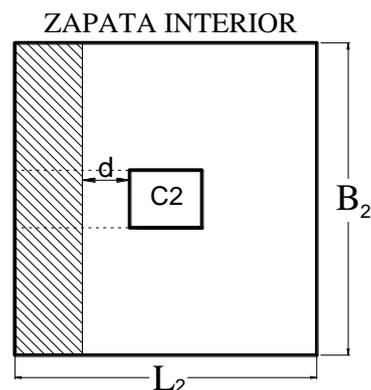


Figura N° 107: Perímetro crítico por falla Corte “Zapata 2”

##### b) Cortante Resistente

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} B_2 d_2 \quad [528]$$

$L_2$  = Largo de la sección

$d_2$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

### 7.1.4.7. DISEÑO POR FLEXIÓN.

a) Zapata 1: (En la dirección x)

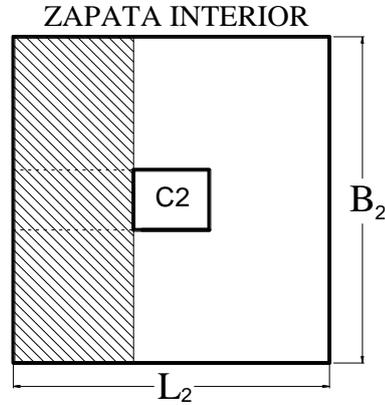


Figura N° 108: Perímetro crítico por Flexión “Zapata 2”

$$M_{ux_2} = \frac{\sigma_{u_2} B_2 L_1 v-x^2}{2} \quad [529]$$

- Acero requerido en la dirección “X”

$$A_{Sx_2} = \frac{d_2 - \sqrt{d_2^2 - (4) \frac{M_{ux_2}}{1.7 \phi B_2 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 B_2 f'_c} \right)} \quad [530]$$

$$A_s = A_{Sx_2} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_2 d_2 \quad [531]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad ; \quad S_x = \frac{B_2 - 2r - db}{nb - 1} \quad [532]$$

b) Zapata 1: (En la dirección y)

$$M_{uy_2} = \frac{\sigma_{u_2} L_2 L_{2v-y}^2}{2} \quad [533]$$

- Acero requerido en la dirección “Y”

$$A_{Sy_2} = \frac{d_2 - \sqrt{d_2^2 - (4) \frac{M_{uy_2}}{1.7 \phi L_2 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 L_2 f'_c} \right)} \quad [534]$$

$$A_s = A_{Sy_2} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} L_2 d_2 \quad [535]$$

$$n_b = \frac{A_s}{Ab} \quad ; \quad S_y = \frac{L_2 - 2r - db}{nb - 1} \quad [536]$$

### 7.1.5. DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN

La viga de cimentación es siempre solidaria con la columna y zapata excéntrica, ver figura Fig. 6 y en ancho  $B_1$  trabaja como una “T” donde las alas corresponden a la placa de base, solicitada por la reacción del suelo. En el extremo opuesto en la conexión con la columna centrada ver Fig. 11, la viga de cimentación puede ser o no solidaria con la zapata central. En primer caso se grafica en la Fig. 12, con los diagramas de cortante y momento últimos de diseño o mayorados.

La viga de cimentación debe ser muy rígida para que sea compatible con el modelo estructural supuesto. La única complicación es la interacción entre el suelo y el fondo de la viga. Algunos autores recomiendan que la viga no se apoye en el terreno, o que se apoye debajo de ella de manera que solo resista su peso propio, para poder aislar se puede colocar poliestireno expandido entre el suelo y fondo de viga.

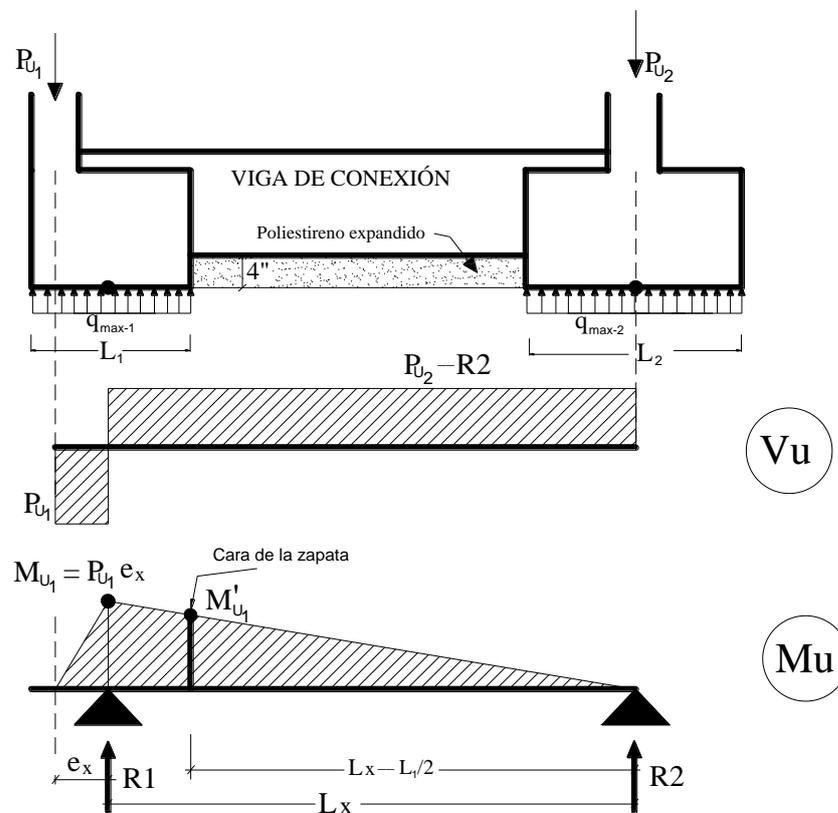


Figura N° 109: Diagrama de momento y cortante última de diseño

### 7.1.7.1. DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE VIGA.

Debe analizarse como una viga articulada a las columnas exterior e interior, que soporta la reacción neta del terreno en la zapata exterior y su peso propio mostrada en la Fig. 12.

$M_{u_1}$  = Momento de diseño máximo

$P_2$  = Carga última de la verificación más desfavorable

$R_2$  = Reacción última de la verificación más desfavorable

$L$  = Espaciamiento entre la columna exterior e interior a ejes de cargas

$P - 1_{max}$  = Carga total mayor de servicio de la columna excéntrica

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{u_1} = 1.4P_{D_1} + 1.7P_{L_1} \\ P_{u_1} = 1.25P_{D_1} + 1.25P_{L_1} + P_{E_{x_1}} \end{cases}$$

### 7.1.7.1.1. DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA VIGA DE CIMENTACION

#### 7.1.7.1.1.1. Dimensionamiento de la viga de cimentación:

Donde:

$$h_v \geq \frac{L}{8} \quad b_v = \frac{P_{max-1}}{24L} \geq \frac{h_v}{2} \quad [537]$$

$$d_v = h_v - r - \frac{d_b}{2} \quad [538]$$

#### 7.1.7.1.1.2. Verificaciones por cortante de diseño

##### a) Cortante última actuante

$$V_{ud} = P_2 - R_2$$

Cortante última de diseño generada por la columna interior, estos valores serán obtenidos de la verificación máxima.

b) **Cortante resistente.**

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_v d_v \quad [539]$$

$$V_{u_d} \leq \phi V_c$$

En caso que no se cumpla la condición de que la cortante resistente sea menor que la actuante será necesario incluir estribos, los cuales se calcularán de la siguiente manera.

$$V_{u_d} \geq \phi V_c$$
$$V_s = \frac{V_{u_d}}{\phi} - V_c$$

$V_s =$  Cortante que necesita estribos

Luego se calcula la separación de los estribos:

$$S = \frac{A_r f_y d}{V_s} \quad [540]$$

Donde:

$A_r =$  Area del estribo de 2 ramas

$A_s = 1.42\text{cm}^2 -$  Area de dos barras de 3/8"

$$S_{\max} = \frac{d}{2}$$

Donde  $S \leq S_{\max}$

$\therefore$  Usar  $\pi \phi db'' - 1 @ 0.05$ , resto @  $(S \text{ ò } S_{\max})$

**7.1.7.1.1.3. Diseño por Flexión.**

- Cálculo del Momento a la cara de zapata, encontraremos de acuerdo con el momento máximo.

$$M_{u_1} = P_{u_1} e_x \quad M'_{u_1} = \frac{M_{u_1} \left( L_x - \frac{B_1}{2} \right)}{L_x} \quad [541]$$

- Cálculo del peso propio de viga

$$M_{ppv} = \frac{w_{ppv} L}{8} \quad [542]$$

Luego sumamos los momentos para poder determinar el área de acero.

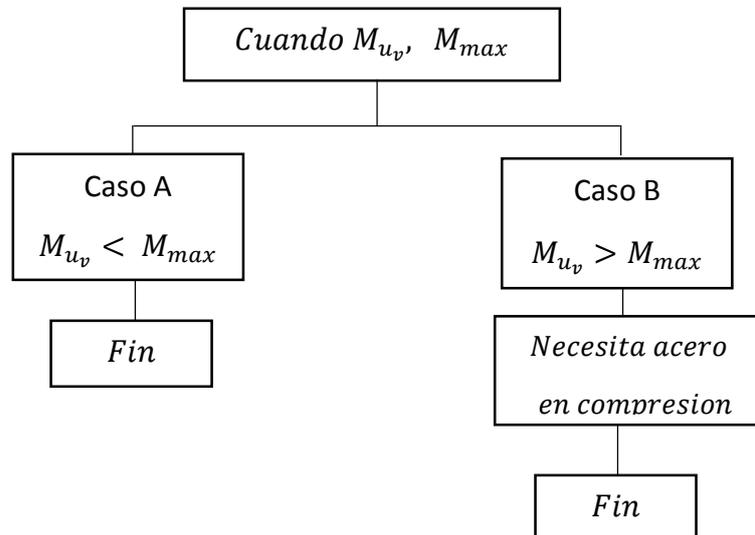
$$M_{u_v} = M'_{u_1} + M_{pp_v} \quad [543]$$

Siguiente paso es verificar si el momento  $M_{u_v}$  sea menor que el momento máximo, si se cumple esta condición la viga se diseñara como doblemente reforzada con acero en compresión.

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} b_v d_v \quad [544]$$

$$a_{max} = \frac{A_{s_{max}} f_y}{0.58 f'_c b_v} \quad [545]$$

$$M_{max} = \phi A_{s_{max}} f_y \left( d_v - \frac{a_{max}}{2} \right) \quad [546]$$



a) **Caso A**

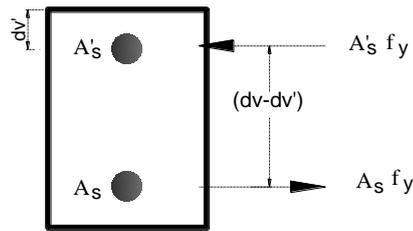
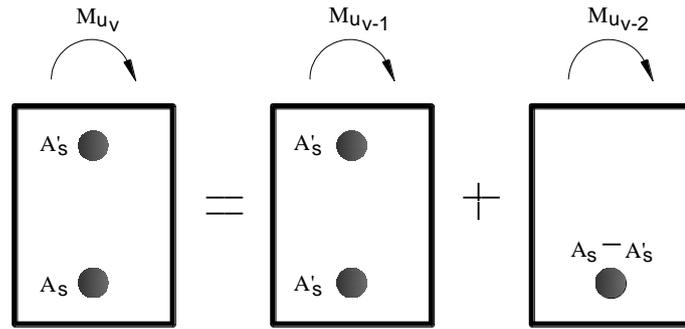
$M_{u_v}$  = Momento de viga

$$A_s = \frac{M_{u_v}}{\phi f_y \left( d_v - \frac{a}{2} \right)} \quad a = \frac{A_s f_y}{0.58 f'_c b_v} \quad [547]$$

b) **Caso B**

$M_{u_v}$  = Momento ultimo de diseño

$M_{max}$  = Momento maximo



$$M_{u_{v-1}} = M_{u_v} - M_{u_{v-2}}$$

$$M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f_y (d_v - d'_v) \quad \text{o} \quad M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f'_s (d_v - d'_v) \quad [548]$$

Averiguamos si el Acero en compresión está en fluencia.

$$C = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{0.003(C - d'_v)}{C} \quad [550]$$

$$a = a_{max}$$

Si,  $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$  entonces  $f'_s = \varepsilon'_s * E_s$ ; también si  $f'_s > f_y$  el acero en compresión esta en fluencia, por tanto usar  $f_y$ , en el momento máximo  $M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f_y (d_v - d'_v)$ , en caso contrario se usara  $f'_s$ .

$$A'_s = \frac{M_{u_{v-1}}}{\phi f_y (d_v - d'_v)} \quad \text{o} \quad A'_s = \frac{M_{u_{v-1}}}{\phi f'_s (d_v - d'_v)} \quad [551]$$

$$A_s = A'_s + A_{s_{max}} \quad [552]$$

## 7.2. ZAPATAS CONECTADAS (T - T)

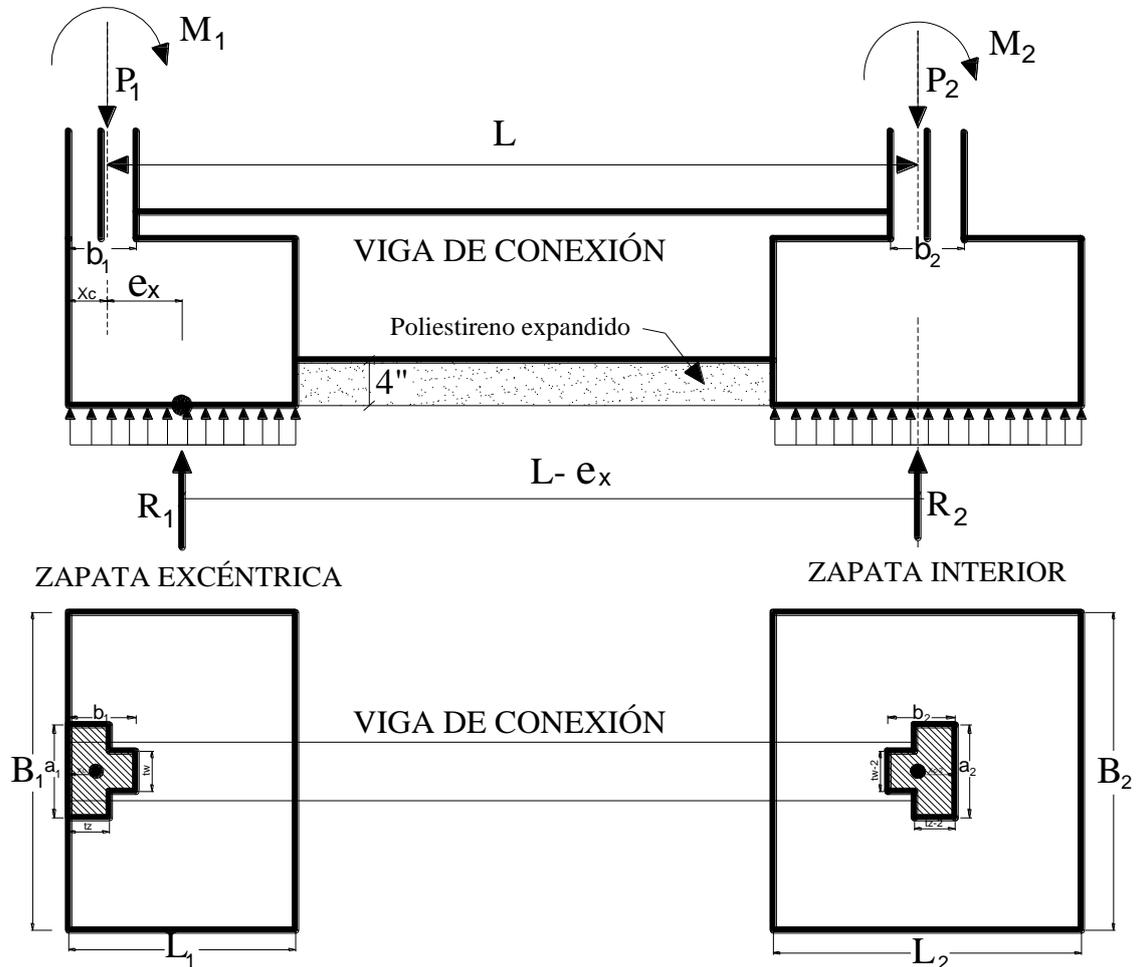


Figura N° 110: Dimensionamiento De Zapatras Conectadas

### 7.2.1. DATOS DE ENTRADA

#### 7.2.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

### 7.2.2. PROCESO

#### 7.2.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

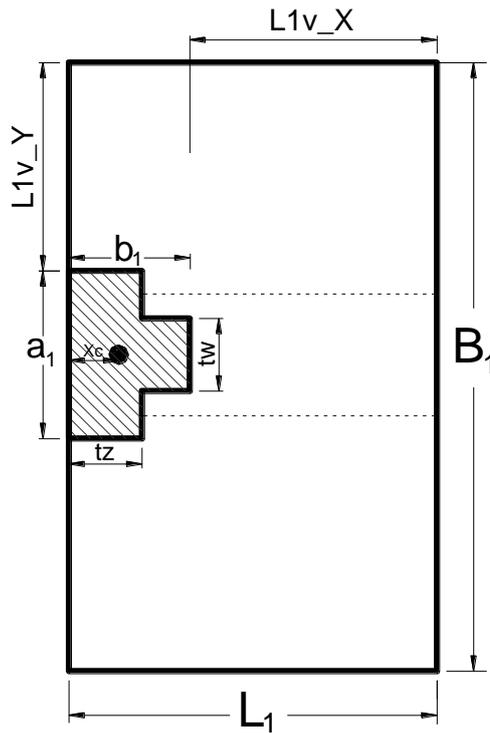
#### 7.2.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

##### 7.2.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

### 7.2.2.2.2. Área de zapatas

#### a) Columna 1 (Zapata Excéntrica)

$$A_{z-1} = \frac{P - 1_{max}}{\sigma_n} \quad [553]$$



$$L1_{v-x} = L1_{v-y} \quad [554]$$

$$A_{z-1} = B_1 L_1 \quad [555]$$

Figura N° 111: Área de Zapata Excéntrica

$$L1_{v-x} = L1_{v-y} = \sqrt{\frac{A_{z-1}}{2} + \left(\frac{2a_1 + b_1}{4}\right)^2 - \frac{a_1 b_1}{2} - \left(\frac{2a_1 + b_1}{4}\right)} \quad [556]$$

$$L_1 = L1_{v-x} + b_1 \quad (\text{Longitud en la dirección de la Viga})$$

$$B_1 = 2L1_{v-y} + a_1 \quad (\text{Longitud en la dirección transversal})$$

$$X_c = \frac{(t_w)(b_1 - t_z) \left(\frac{b_1 + t_z}{2}\right) + (t_z)(a_1) \left(\frac{t_z}{2}\right)}{(t_z)(a_1) + (t_w)(b_1 - t_z)} \quad [557]$$

$$e_x = \frac{L_1}{2} - X_c$$

**b) Columna 2 (Zapata Central)**

$$A_{z-2} = \frac{P - 2_{max}}{\sigma_n} \quad [558]$$

Para determinar las dimensiones de la zapata emplearemos las siguientes fórmulas para obtener los mismos volados en cada dirección:

$$L_2 = \sqrt{A_z} + 0.5(b_2 - a_2) \quad [559]$$

$$L_{2v-x} = 0.5(L_2 - b_2)$$

$$B_2 = \sqrt{A_z} - 0.5(b_2 - a_2) \quad [560]$$

$$L_{2v-y} = 0.5(B_2 - a_2)$$

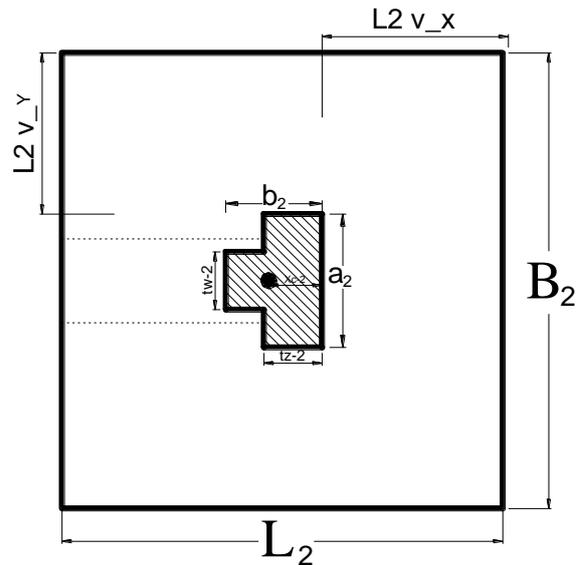


Figura N° 112: Área de Zapata Central

De la misma manera como se analizó la columna “T” apoyada en la zapata aislada, el centro de gravedad donde se ubica la carga tiene que coincidir con el centro de la zapata, de esta manera tampoco tendremos volados iguales.

A continuación tenemos que determinar el centro de gravedad de la sección “T” ubicada a una distancia  $X_c$  e  $Y_c$  tanto en la distancia “X” e “Y” respectivamente. Las fórmulas para determinar el centro de gravedad son detalladas a continuación. Según la figura.

$$\Delta_x = \frac{b_2}{2} - X_{c-2} = 0$$

$$\Delta_y = \frac{a_2}{2} - Y_{c-2} = 0$$

$t_w$  = Base de columna “Y”

$t_z$  = Base de columna “X”

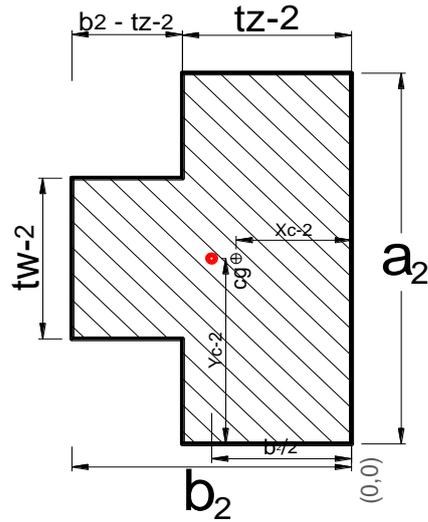


Figura N° 113: Centro en columna "T"

$$X_{c-2} = \frac{(t_{w-2})(b_2 - t_{z-2}) \left( \frac{b_2 + t_{z-2}}{2} \right) + (t_{z-2})(a_2) \left( \frac{t_{z-2}}{2} \right)}{(t_{z-2})(a_2) + (t_{w-2})(b_2 - t_{z-2})} \quad [561]$$

$$Y_{c-2} = \frac{a_2}{2} \quad [562]$$

Tal como se especifica anteriormente tenemos que hacer coincidir el centro de gravedad de la columna con el mismo de la zapata, de esta manera correremos las distancias, para obtener volados, pero en este caso ya no serán iguales, las longitudes serán sumados y restados a los volados en cada dirección como se muestra a continuación:

$$L_{b-2x} = L2_{v-x} + (\Delta_x)$$

$$L_{a-2x} = L2_{v-x} - (\Delta_x)$$

$$L_{b-2y} = L2_{v-y} + (\Delta_y)$$

$$L_{a-2y} = L2_{v-y} - (\Delta_y)$$

$$L_2 = L_{a-2x} + L_{b-2x} + b_2 \quad [563]$$

$$B_2 = L_{a-2y} + L_{b-2y} + a_2 \quad [564]$$

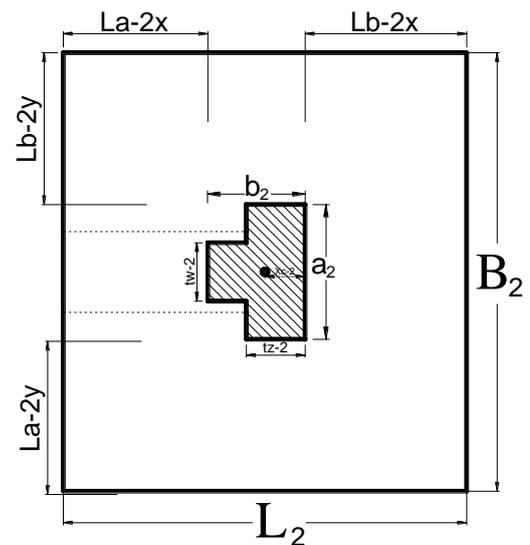


Figura N° 114: Área de Zapata Excéntrica

### 7.2.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACION

#### 7.2.3.1. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

##### 7.2.3.1.1. Zapata Excéntrica – Columna 1

##### 7.2.3.1.2. Zapata Central – Columna 2

#### 7.2.3.2. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

#### 7.2.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES CON COMBINACIONES

#### ÚLTIMAS DE DISEÑO

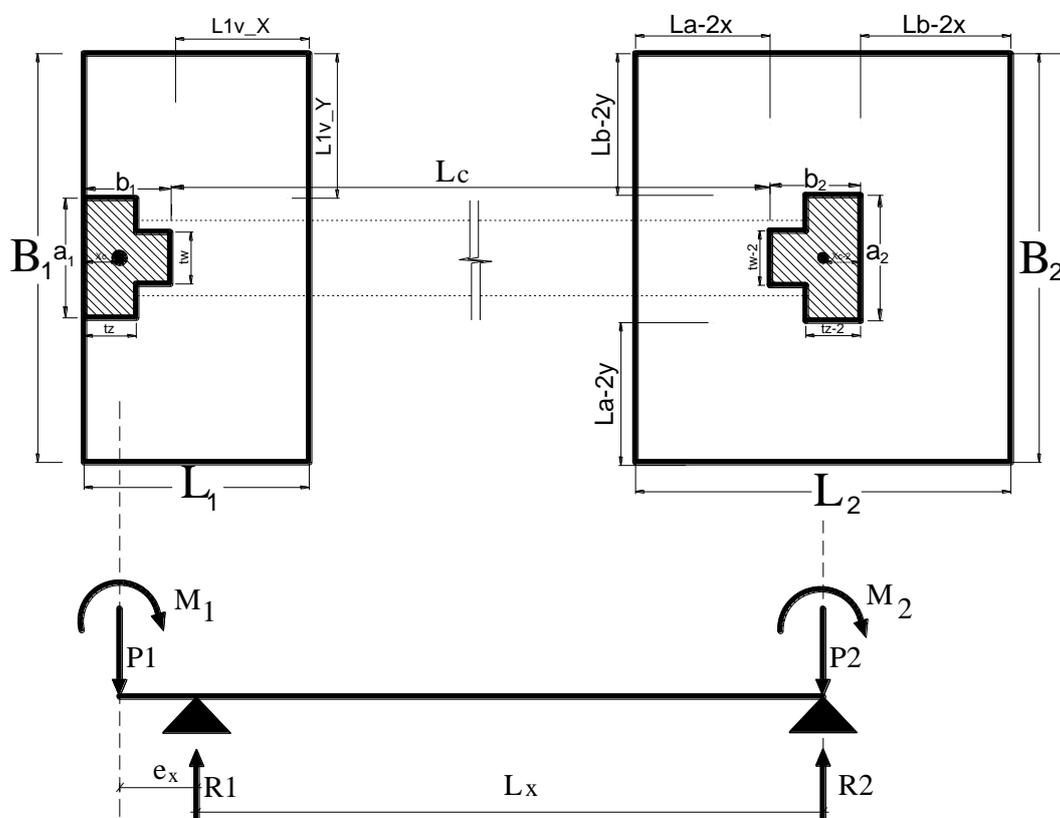


Figura N° 115: Cimentación conectada “T – T”

#### a) Primera verificación de presiones

$$L_x = L_c + b_2 - X_{c-2} + \frac{L_1}{2} - b_1 \quad [565]$$

$$e_x = \frac{L_1}{2} - X_c \quad [566]$$

**b) Segunda verificación de presiones**

**c) Tercera verificación de presiones**

**d) Cuarta verificación de presiones**

#### 7.2.4. Resumen de Presiones con Combinaciones Últimas de Diseño

**Zapata N° 1**

$$\sigma_{u_1} = q_{max1}$$

**Zapata N°2**

$$\sigma_{u_2} = q_{max2}$$

#### 7.2.5. DISEÑO DE LA CIMENTACION.

7.2.5.1. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.

7.2.5.2. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

##### ZAPATA N° 1 (columna 1)

a) Cortante ultima actuante

$$V_{cu-1} = \sigma_{u_1} [A_{z-1} - A_{o_1}] \quad [567]$$

$A_{o_1}$  = Area critica

$$A_{z-1} = B_1 L_1$$

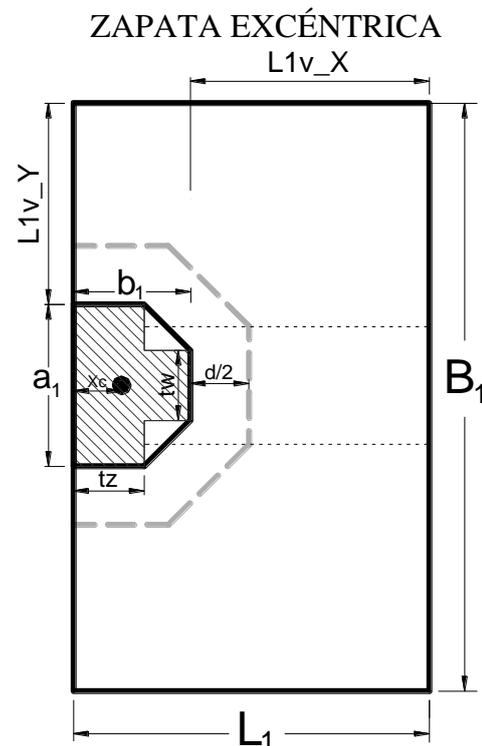


Figura N° 116: Área de Zapata Excéntrica

b) Cortante Resistente que toma el concreto.

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_{0_1} d_1 \quad [568]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_{30} d_1}{b_{0_1}} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_{0_1} d_1 \quad [569]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_{0_1} d_1 \quad [570]$$

$\alpha_{30}$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Para completar los datos de la cortante última, falta encontrar el  $A_0$  (área crítica) y de igual manera aprovechar y calcular el perímetro crítico, para ellos demuestra como determinar el valor del área crítica.

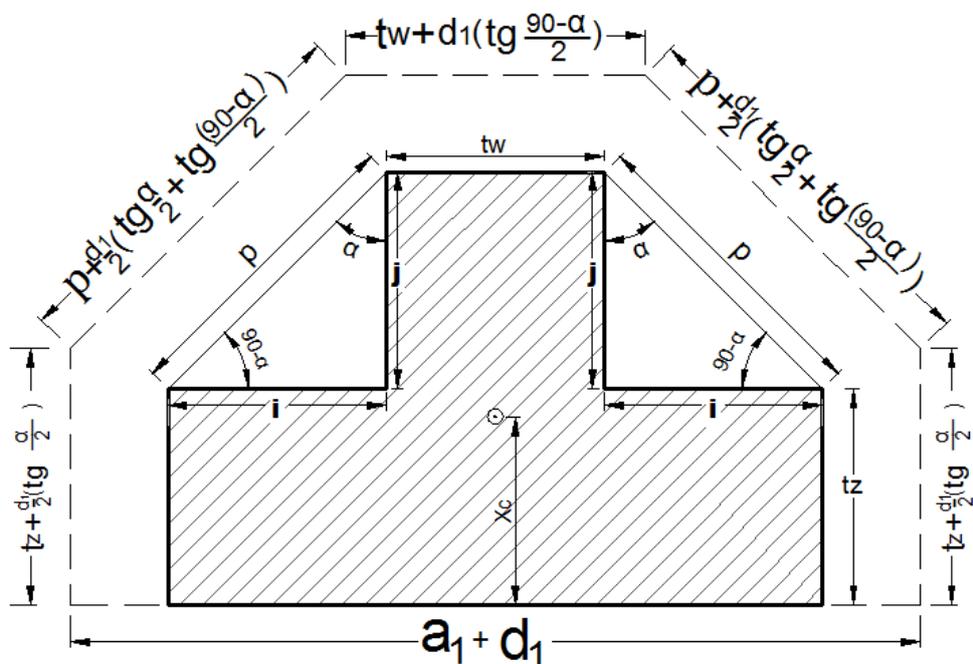


Figura N° 117: Área y Perímetro crítico en zapata 1

$$\beta = \frac{a_1}{b_1} \quad [571]$$

$$j = b_1 - t_z \quad i = \frac{a_1 - t_w}{2} \quad [572]$$

$$\rho = \sqrt{j^2 + i^2} \quad \alpha = \arctan\left(\frac{i}{j}\right) \quad [573]$$

$$\rho = \sqrt{(b_1 - t_z)^2 + \left(\frac{a_1 - t_w}{2}\right)^2} \quad [574]$$

✓ Perímetro crítico

$$b_0 = \left(t_w + d_1 \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right) + 2 \left[\left(t_z + \frac{d_1}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) + \left(\rho + \frac{d_1}{2} \left(\tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) + \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right)\right] \quad [575]$$

✓ Área crítica

$$A_0 = \left[(a_1 + d_1) \left(\frac{d_1}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) + t_z\right)\right] + \left[\frac{(a_1 + d_1) + \left(t_w + d_1 \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right)}{2} * \left(\frac{d}{2} + j - \frac{d}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right] \quad [576]$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “ $d_1$ ” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 7.2.5.3. VERIFICACIÓN POR CORTANTE

#### a) Cortante actuante

$$V_{d_{u-1}} = \sigma_{u_1} B_1 X \quad [577]$$

$$X_1 = L_{1v-x} - d_1 \quad [578]$$

#### b) Cortante Resistente

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B_1 d_1 \quad [579]$$

$B_1$  = Largo de la sección

$d_1$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

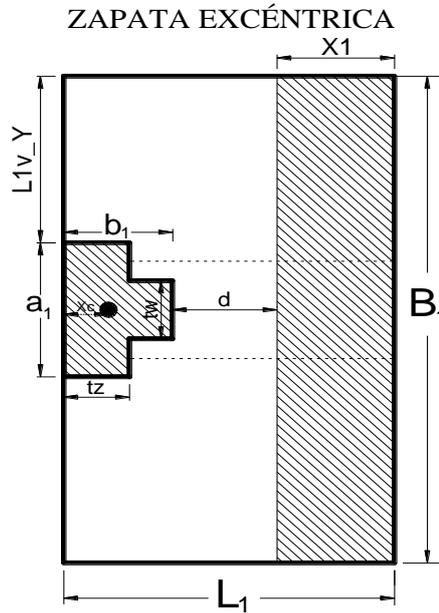


Figura N° 118: Área de corte en Zapata Excéntrica

### 7.2.5.4. DISEÑO POR FLEXIÓN.

#### a) Zapata 1: (En la dirección x)

$$M_{ux_1} = \frac{\sigma_{u_1} B_1 L_{1v-x}^2}{2} \quad [580]$$

- Acero requerido en la dirección "X"

$$A_{Sx_1} = \frac{d_1 - \sqrt{d_1^2 - (4) \frac{M_{ux_1}}{1.7 \phi B_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 B_1 f'_c} \right)} \quad [581]$$

$$A_s = A_{Sx_1} \geq A_{min}; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_1 d_1 \quad [582]$$

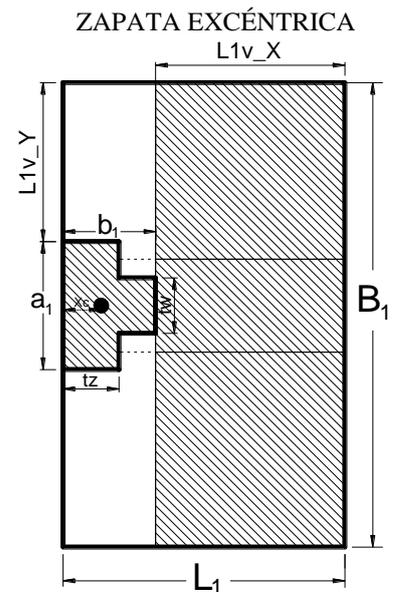


Figura N° 119: Momento crítico en zapata 1

$$n_b = \frac{As}{Ab} \quad ; \quad S_x = \frac{B_1 - 2r - db}{nb - 1} \quad [583]$$

b) *Zapata 1: (En la dirección y)*

$$M_{uy_1} = \frac{\sigma_{u_1} L_1 L_{1v-y}^2}{2} \quad [584]$$

- Acero requerido en la dirección “Y”

$$A_{Sy_1} = \frac{d_1 - \sqrt{d_1^2 - (4) \frac{M_{uy_1}}{1.7 \phi L_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 L_1 f'_c} \right)} \quad [585]$$

$$As = A_{Sx_1} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} L_1 d_1 \quad [586]$$

$$n_b = \frac{As}{Ab} \quad ; \quad S_y = \frac{L_1 - 2r - db}{nb - 1} \quad [587]$$

### ZAPATA N° 2 (columna 2)

a) Cortante ultima actuante.

$$V_{c_{u-2}} = \sigma_{u_2} [A_{Z-2} - A_{o_2}] \quad [588]$$

$A_{o_2}$  = Area critica

$$A_{o_2} = (m) (n)$$

$$A_{Z-2} = B_2 L_2 \quad [589]$$

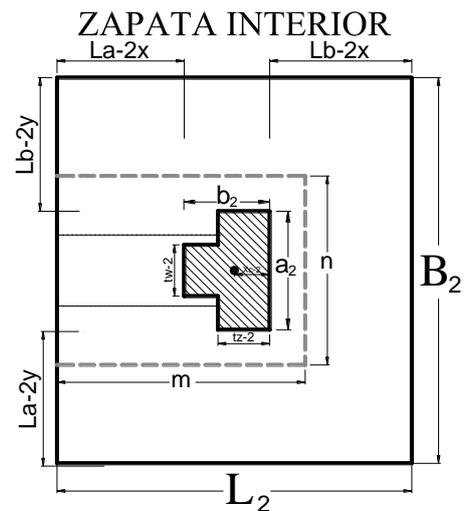


Figura N° 120: Área de Zapata Central 2

Para completar los datos de la cortante última, falta encontrar el  $A_0$  (área crítica).

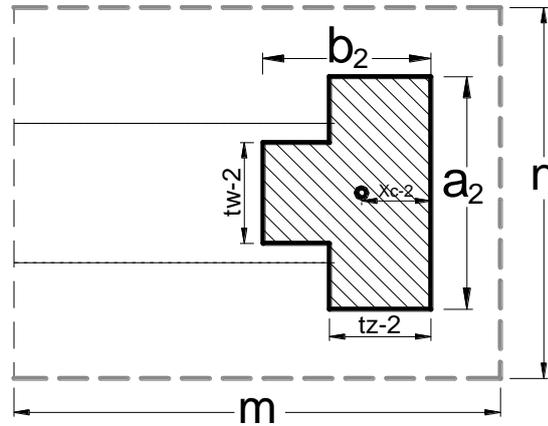


Figura N° 121: Área y perímetro crítico en Zapata Central 2

$$m = L_{a-2x} + b_2 + \frac{d_2}{2} \quad [590]$$

$$n = a_2 + d_2 \quad [591]$$

**b) Cortante Resistente que toma el concreto.**

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_{0_2} d_2 \quad [592]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_{40} d_2}{b_{0_2}} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_{0_2} d_2 \quad [593]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_{0_2} d_2 \quad [594]$$

$b_{0_2} =$  Perímetro de la sección crítica

$$b_{0_2} = 2m + n$$

$\alpha_{40} =$  Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu-2}}{\phi}; \quad \phi = 0.85$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 7.2.5.5. VERIFICACIÓN POR CORTANTE.

a) Cortante actuante

$$V_{d_{u-2}} = \sigma_{u_2} B_2 X_2 \quad [595]$$

$$X_2 = L_{a-2x} - d_2 \quad [596]$$

b) Cortante Resistente

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B_2 d_2 \quad [597]$$

$B_2$  = Ancho de la sección

$d_2$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

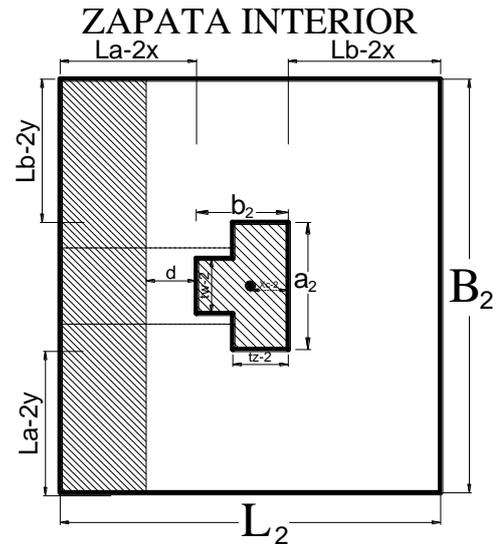


Figura N° 122: Área de corte crítico en zapata central 2

### 7.2.5.6. DISEÑO POR FLEXIÓN.

a) Zapata 1: (En la dirección x)

$$M_{ux_2} = \frac{\sigma_{u_2} B_2 L_{a-2x}^2}{2} \quad [598]$$

- Acero requerido en la dirección “X”

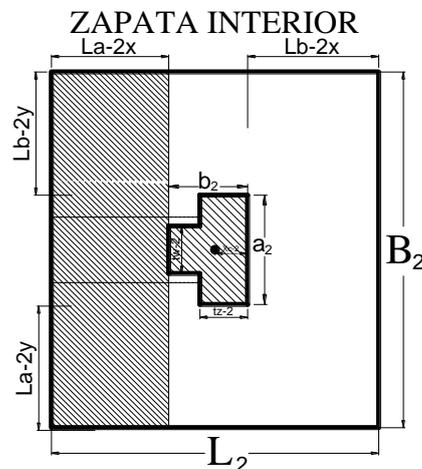


Figura N° 123: Momento a la cara de la columna

$$A_{Sx_2} = \frac{d_2 - \sqrt{d_2^2 - (4) \frac{M_{ux_2}}{1.7 \phi B_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 B_2 f'_c} \right)} \quad [599]$$

$$As = A_{Sx_2} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_2 d_2 \quad [600]$$

$$n_b = \frac{As}{Ab} \quad ; \quad S_x = \frac{B_2 - 2r - db}{nb - 1} \quad [601]$$

**b) Zapata 1: (En la dirección y)**

$$M_{uy_2} = \frac{\sigma_{u_2} L_2 L_{b-2y}^2}{2} \quad [602]$$

- Acero requerido en la dirección “Y”

$$A_{Sy_2} = \frac{d_2 - \sqrt{d_2^2 - (4) \frac{M_{uy_2}}{1.7 \phi L_2 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 L_2 f'_c} \right)} \quad [603]$$

$$As = A_{Sy_2} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} L_2 d_2 \quad [604]$$

$$n_b = \frac{As}{Ab} \quad ; \quad S_y = \frac{L_2 - 2r - db}{nb - 1} \quad [605]$$

## 7.2.6. DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN

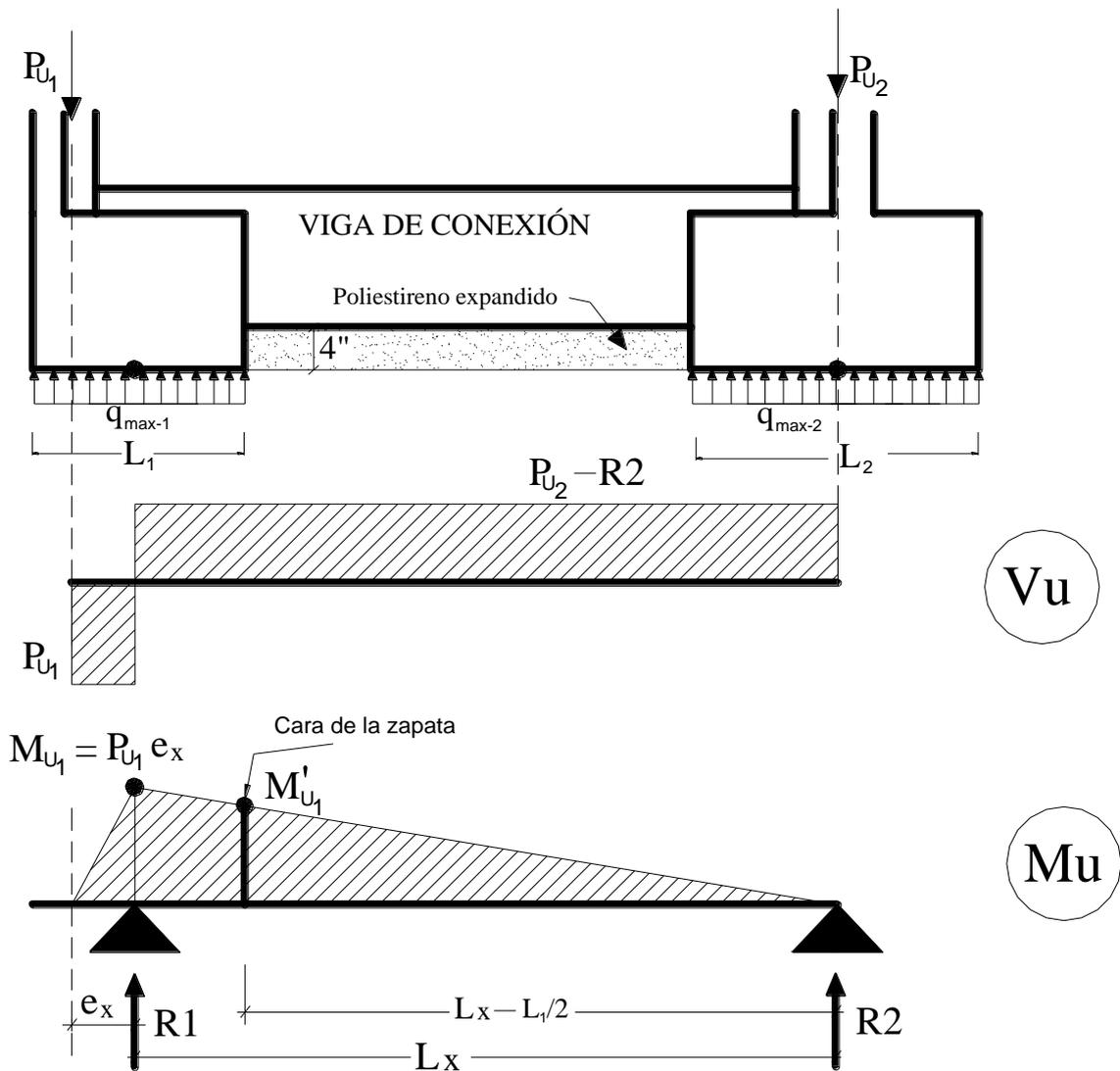


Figura N° 124: Diagrama de momento y cortante última de diseño

### 7.2.6.1. DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE VIGA.

#### 7.2.6.1.1. DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA VIGA DE CIMENTACION

##### 7.2.6.1.1.1. Dimensionamiento de la viga de cimentación:

- **Diseño por Flexión**

Calculo del Momento a la cara de zapata, encontraremos de acuerdo con el momento máximo.

$$e_x = \frac{L_1}{2} - X_c \qquad M_{u_1} = P_{u_1} e_x \quad [606]$$

$$M'_{u_1} = \frac{M_{u_1} \left( L_x - \frac{B_1}{2} \right)}{L_x} \quad [607]$$

- **Calculo del peso propio de viga**

$$M_{ppv} = \frac{w_{ppv} L}{8} \quad [608]$$

Luego sumamos los momentos para poder determinar el área de acero.

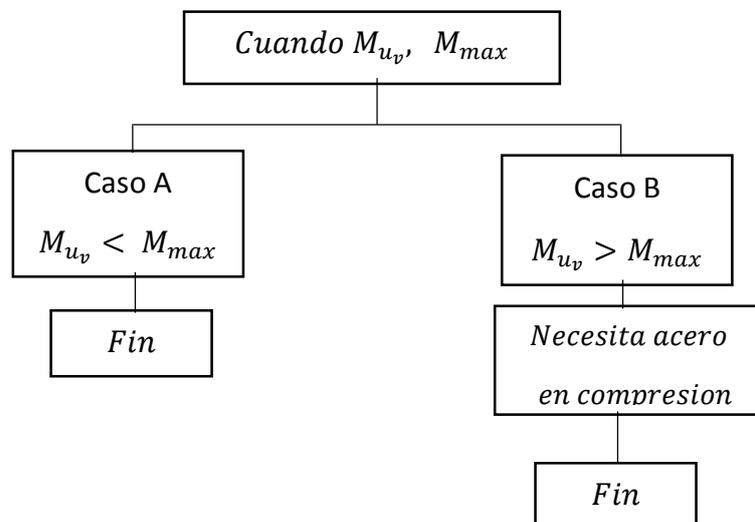
$$M_{u_v} = M'_{u_1} + M_{ppv} \quad [609]$$

Siguiente paso es verificar si el momento  $M_{u_v}$  sea menor que el momento máximo, si se cumple esta condición la viga se diseñara como doblemente reforzada con acero en compresión.

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} b_v d_v \quad [610]$$

$$a_{max} = \frac{A_{s_{max}} f_y}{0.58 f'_c b_v} \quad [611]$$

$$M_{max} = \phi A_{s_{max}} f_y \left( d_v - \frac{a_{max}}{2} \right) \quad [612]$$



a) **Caso A**

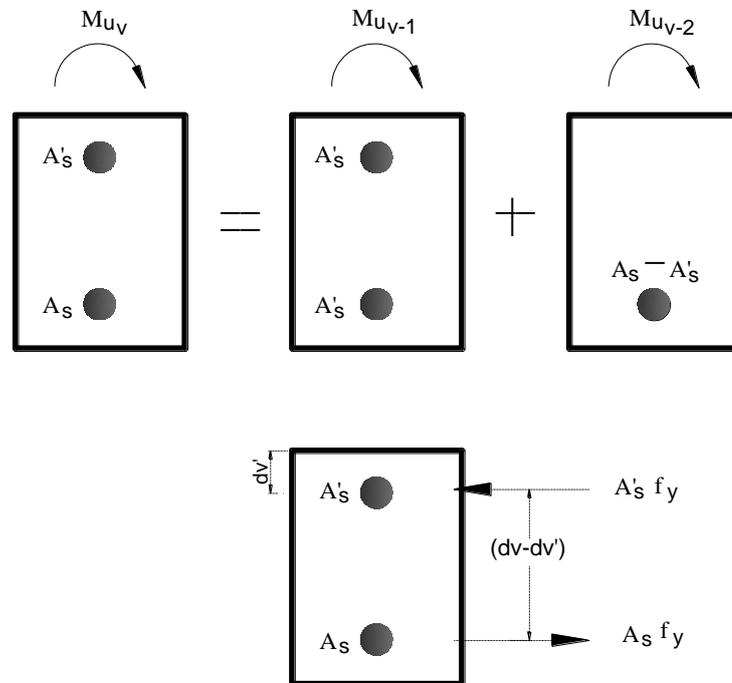
$M_{uv}$  = Momento de viga

$$A_s = \frac{M_{uv}}{\phi f_y \left( d_v - \frac{a}{2} \right)} \quad a = \frac{A_s f_y}{0.58 f'_c b_v} \quad [613]$$

b) **Caso B**

$M_{uv}$  = Momento ultimo de diseño

$M_{max}$  = Momento maximo



$$M_{u_{v-1}} = M_{uv} - M_{u_{v-2}}$$

$$M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f_y (d_v - d'_v) \quad \text{o} \quad M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f'_s (d_v - d'_v) \quad [614]$$

Averiguamos si el Acero en compresión está en fluencia.

$$C = \frac{a}{\beta_1} \quad \epsilon'_s = \frac{0.003(C - d'_v)}{C} \quad [615]$$

$a = a_{max}$

Si,  $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$  entonces  $f'_s = \varepsilon'_s * E_s$ ; también si  $f'_s > f_y$  el acero en compresión esta en fluencia, por tanto usar  $f_y$ , en el momento máximo  $M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f_y (d_v - d'_v)$ , en caso contrario se usara  $f'_s$ .

$$A'_s = \frac{M_{u_{v-1}}}{\phi f_y (d_v - d'_v)} \quad o \quad A'_s = \frac{M_{u_{v-1}}}{\phi f'_s (d_v - d'_v)} \quad [616]$$

$$A_s = A'_s + A_{s_{max}}$$

### 7.3. ZAPATAS CONECTADAS (T - Rectangular)

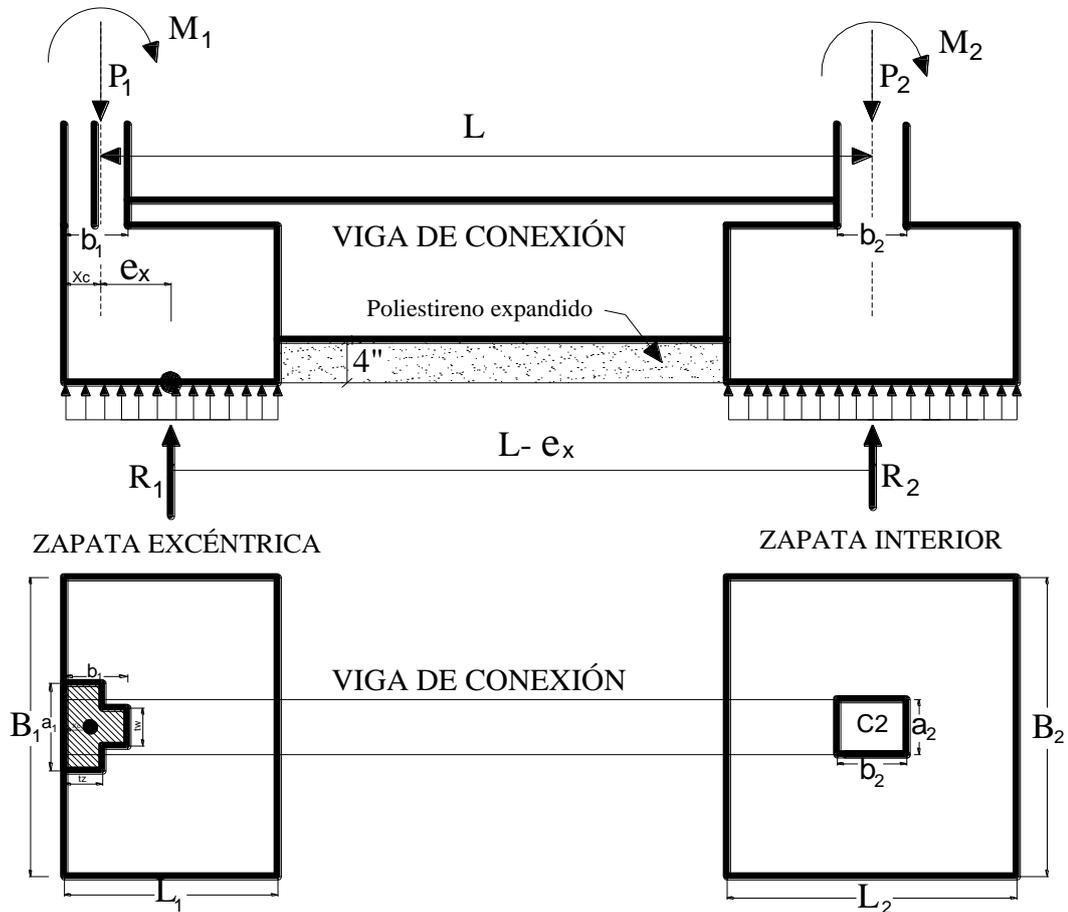


Figura N° 125: Dimensionamiento De Zapatas Conectadas

#### 7.3.1. DATOS DE ENTRADA

##### 7.3.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 7.3.2. PROCESO

##### 7.3.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

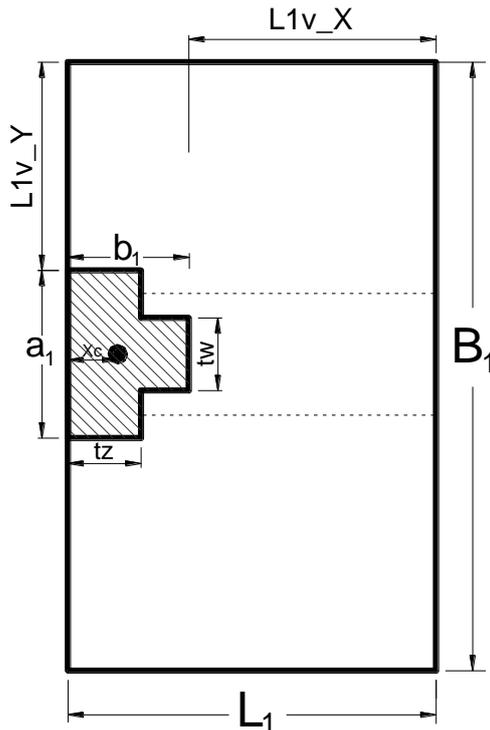
##### 7.3.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

###### 7.3.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

### 7.3.2.2.2. Área de zapatas

#### a) Columna 1 (Zapata Excéntrica)

$$A_{z-1} = \frac{P - 1_{max}}{\sigma_n}$$



$$L1_{v-x} = L1_{v-y} \quad [618]$$

$$A_{z-1} = B_1 L_1 \quad [619]$$

Figura N° 126: Área de zapata excéntrica 1

$$L1_{v-x} = L1_{v-y} = \sqrt{\frac{A_{z-1}}{2} + \left(\frac{2a_1 + b_1}{4}\right)^2 - \frac{a_1 b_1}{2} - \left(\frac{2a_1 + b_1}{4}\right)} \quad [620]$$

$$L_1 = L1_{v-x} + b_1 \text{ (Longitud en la dirección de la Viga)}$$

$$B_1 = 2L1_{v-y} + a_1 \text{ (Longitud en la dirección transversal)}$$

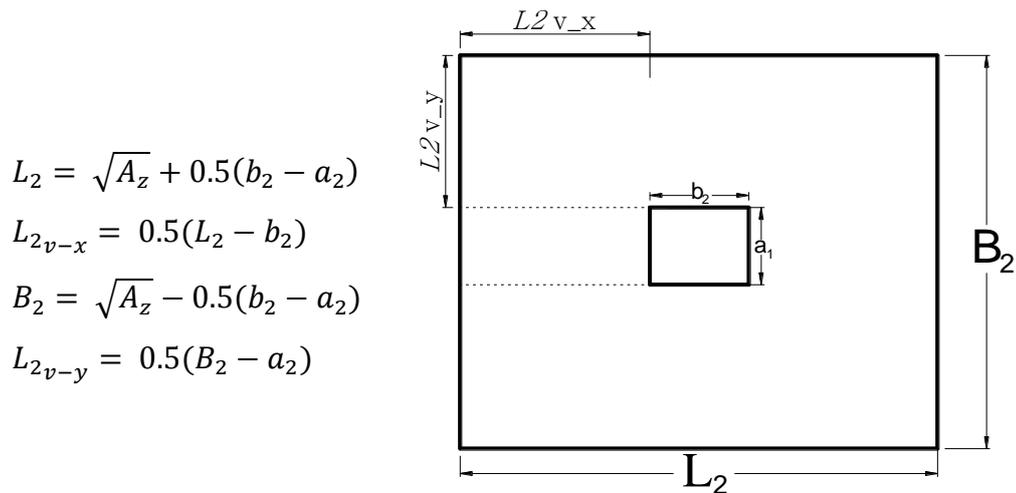
$$X_c = \frac{(t_w)(b_1 - t_z)\left(\frac{b_1 + t_z}{2}\right) + (t_z)(a_1)\left(\frac{t_z}{2}\right)}{(t_z)(a_1) + (t_w)(b_1 - t_z)} \quad [621]$$

$$e_x = \frac{L_1}{2} - X_c$$

### b) Columna 2 (Zapata Central)

$$A_{z-2} = \frac{P - 2_{max}}{\sigma_n} \quad [622]$$

Determinamos las dimensiones a partir de algunas fórmulas, las cuales nos darán dimensiones de igual medida.



$$L_2 = \sqrt{A_z} + 0.5(b_2 - a_2)$$

$$L_{2v-x} = 0.5(L_2 - b_2)$$

$$B_2 = \sqrt{A_z} - 0.5(b_2 - a_2)$$

$$L_{2v-y} = 0.5(B_2 - a_2)$$

Figura N° 127: Área de zapata central 1

### 7.3.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACION

#### 7.3.3.1. VERIFICACIÓN DE PRESIONES.

##### 7.3.3.1.1. Zapata Excéntrica – Columna 1

##### 7.3.3.1.2. Zapata Central – Columna 2

#### 7.3.3.2. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

#### 7.3.3.3. VERIFICACIÓN DE PRESIONES CON COMBINACIONES ÚLTIMAS DE DISEÑO

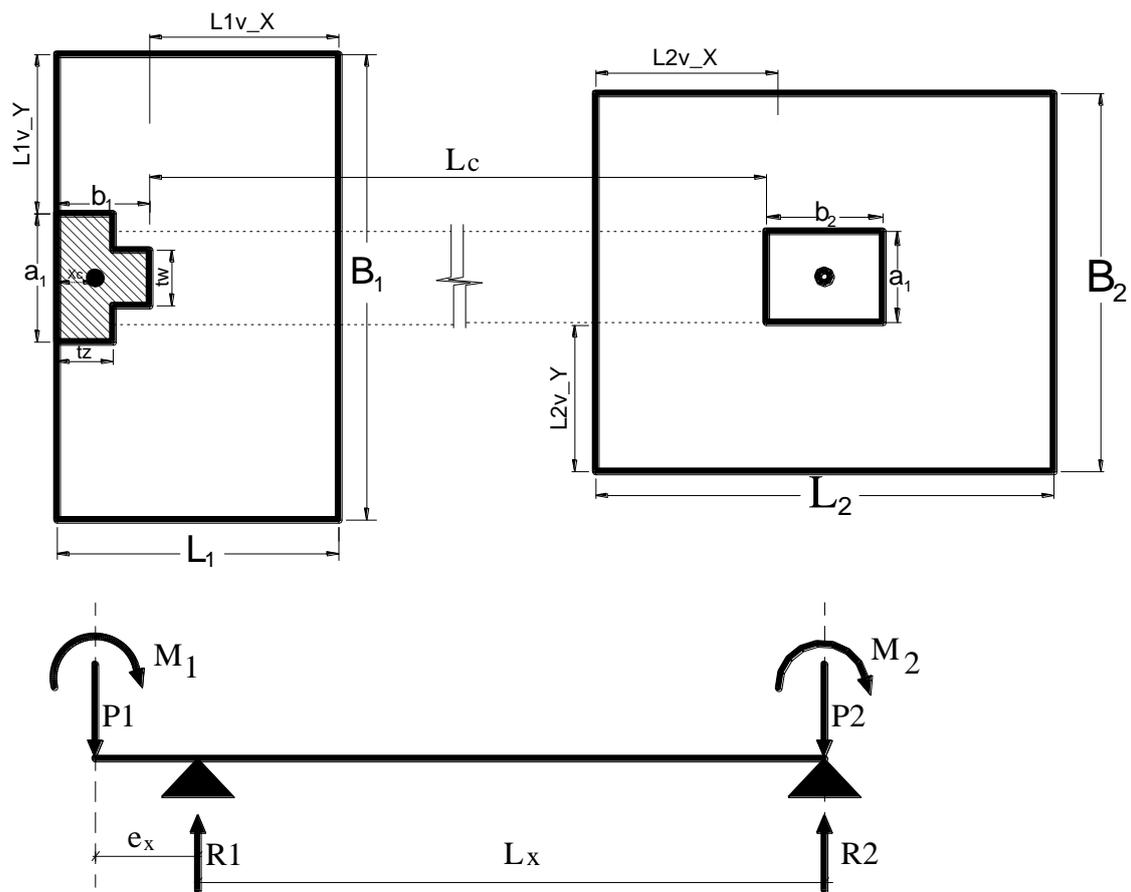


Figura N° 128: Cimentación conectada “T – Rectangular”

- a) Primera verificación de presiones
- b) Segunda verificación de presiones
- c) Tercera verificación de presiones
- d) Cuarta verificación de presiones

#### 7.3.4. Resumen de Presiones con Combinaciones Últimas de Diseño

Zapata N° 1

$$\sigma_{u_1} = q_{max1}$$

Zapata N°2

$$\sigma_{u_2} = q_{max2}$$

### 7.3.5. DISEÑO DE LA CIMENTACION.

#### 7.3.5.1. VERIFICACIÓN POR FLEXIÓN.

#### 7.3.5.2. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO.

##### ZAPATA N° 1 (columna 1)

##### a) Cortante última actuante

$$V_{c_{u-1}} = \sigma_{u_1} [A_{z-1} - A_{o_1}] \quad [623]$$

$A_{o_1}$  = Area critica

$$A_{z-1} = B_1 L_1 \quad [624]$$

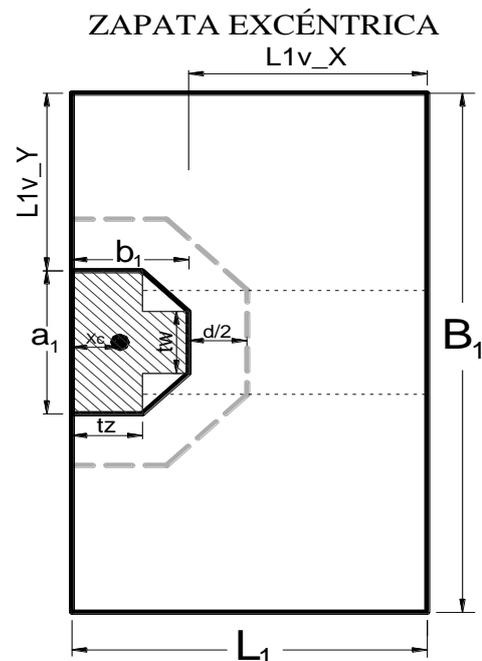


Figura N° 129: Área y perímetro crítico en zapata excéntrica

##### b) Cortante Resistente que toma el concreto.

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'_c} b_{o_1} d_1 \quad [625]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_{30} d_1}{b_{o_1}} + 2\right) \sqrt{f'_c} b_{o_1} d_1 \quad [626]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} b_{o_1} d_1 \quad [627]$$

$\alpha_{30}$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 3 lados.

$$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}} \text{ de la columna}$$

Para completar los datos de la cortante última, falta encontrar el  $A_0$  (área crítica) y de igual manera aprovechar y calcular el perímetro crítico, para ellos demuestra como determinar el valor del área crítica.

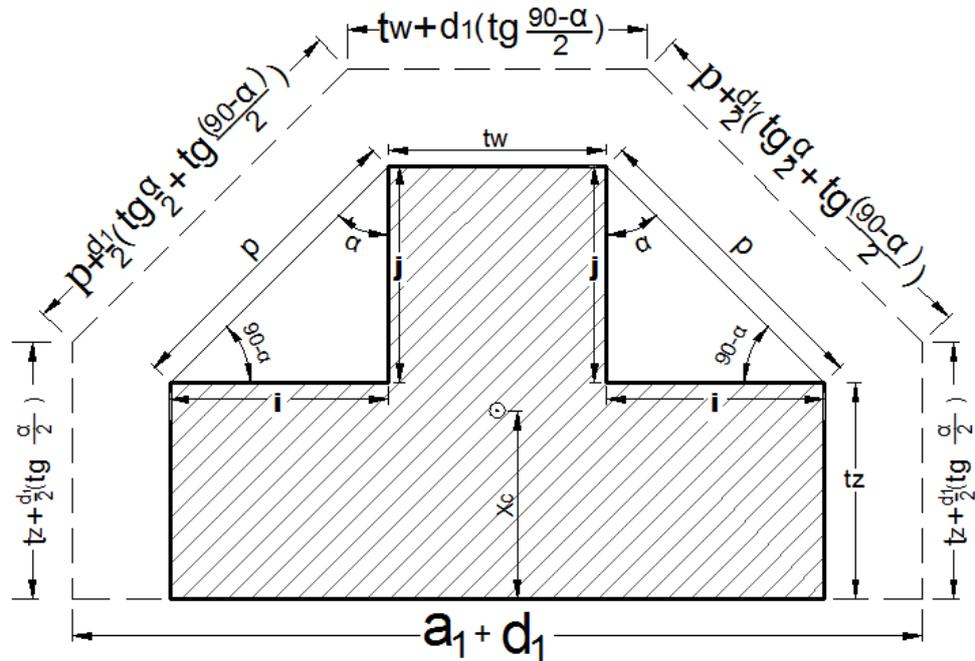


Figura N° 130: Sección crítica por punzonamiento.

$$\beta = \frac{a_1}{b_1} \quad [628]$$

$$j = b_1 - t_z \quad i = \frac{a_1 - t_w}{2} \quad [629]$$

$$\rho = \sqrt{j^2 + i^2} \quad \alpha = \arctan\left(\frac{i}{j}\right) \quad [630]$$

$$\rho = \sqrt{(b_1 - t_z)^2 + \left(\frac{a_1 - t_w}{2}\right)^2} \quad [631]$$

✓ Perímetro crítico

$$\mathbf{b_0} = \left(t_w + d_1 \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right)\right) + 2 \left[\left(t_z + \frac{d_1}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right) + \left(\rho + \frac{d_1}{2} \left(\tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right) + \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)\right)\right] \quad [632]$$

✓ Área crítica

$$A_0 = \left[ (a_1 + d_1) \left( \frac{d_1}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) + t_z \right) + \left[ \frac{(a_1 + d_1) + (t_w + d_1 \tan\left(\frac{90-\alpha}{2}\right))}{2} * \left( \frac{d}{2} + j - \frac{d_1}{2} \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \right] \right] \quad [633]$$

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu}}{\phi}; \quad \phi = 0.75$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “ $d_1$ ” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

**7.3.5.3. VERIFICACIÓN POR CORTANTE.**

**a) Cortante actuante**

$$V_{d_{u-1}} = \sigma_{u_1} B_1 X \quad [634]$$

$$X_1 = L_{1v-x} - d_1 \quad [635]$$

**b) Cortante Resistente**

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} B_1 d_1 \quad [636]$$

$B_1$  = Largo de la sección

$d_1$  = Altura efectiva

$\phi = 0.85$

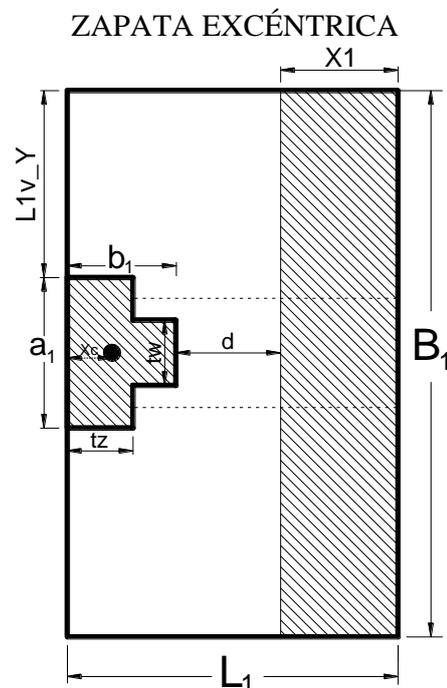


Figura N° 131: Área crítica de corte en zapata excéntrica

### 7.3.5.4. DISEÑO POR FLEXIÓN.

a) Zapata 1: (En la dirección x)

$$M_{ux_1} = \frac{\sigma_{u_1} B_1 L_{1v-x}^2}{2} \quad [637]$$

- Acero requerido en la dirección "X"

$$A_{Sx_1} = \frac{d_1 - \sqrt{d_1^2 - (4) \frac{M_{ux_1}}{1.7 \phi B_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 B_1 f'_c} \right)} \quad [638]$$

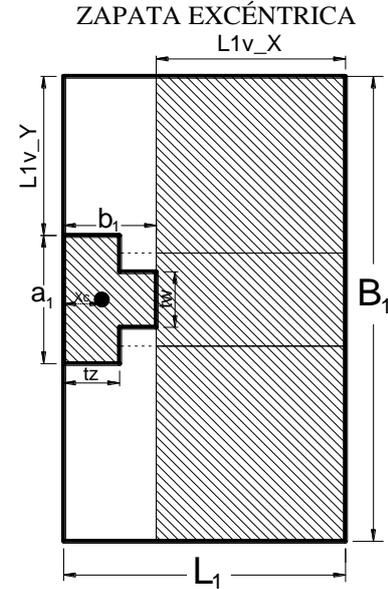


Figura N° 132: Momento ultimo a la cara de la columna.

$$As = A_{Sx_1} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_1 d_1 \quad [639]$$

$$n_b = \frac{As}{Ab} ; S_x = \frac{B_1 - 2r - db}{nb - 1} \quad [640]$$

c) Zapata 1: (En la dirección y)

$$M_{uy_1} = \frac{\sigma_{u_1} L_1 L_{1v-y}^2}{2} \quad [641]$$

- Acero requerido en la dirección "Y"

$$A_{Sy_1} = \frac{d_1 - \sqrt{d_1^2 - (4) \frac{M_{uy_1}}{1.7 \phi L_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 L_1 f'_c} \right)} \quad [642]$$

$$As = A_{Sx_1} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} L_1 d_1 \quad [643]$$

$$n_b = \frac{As}{Ab} \quad ; \quad S_y = \frac{L_1 - 2r - db}{nb - 1} \quad [644]$$

**ZAPATA N° 2 (columna 2)**

a) **Cortante ultima actuante.**

$$V_{c_{u-2}} = \sigma_{u_2} [A_{z-2} - A_{o_2}] \quad [644]$$

$A_{o_2}$  = Area critica

$$A_{o_2} = (a_2 + d_2) \left( L_{2v-x} + \frac{d_2}{2} \right) \quad [645]$$

$$A_{z-2} = B_2 L_2 \quad [646]$$

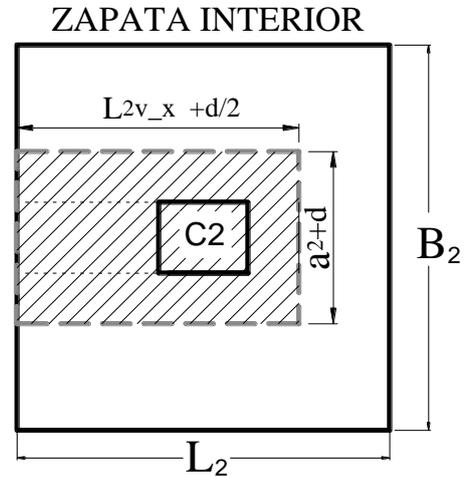


Figura N° 133: Area y perímetro critico en zapata central

b) **Cortante Resistente que toma el concreto.**

Para zapatas, el  $V_c$  debe ser menor entre los siguientes valores:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_{o_2} d_2 \quad [647]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_{40} d_2}{b_{o_2}} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_{o_2} d_2 \quad [648]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_{o_2} d_2 \quad [649]$$

$b_{o_2}$  = Perimetro de la seccion critica

$$b_{o_2} = 2 \left( b_1 + \frac{d_1}{2} \right) + (a_1 + d_1) \quad [650]$$

$\alpha_{40}$  = Parámetro igual a 30 para aquellas columnas en que la sección critica de punzonamiento tiene 4 lados.

$\beta = \frac{\text{Lado mayor}}{\text{Lado menor}}$  de la columna

Comprobar que:

$$V_c \geq \frac{V_{cu-2}}{\phi}; \quad \phi = 0.75$$

Si esto no se cumple aumentar el valor de “d” y realizar el proceso hasta que el concreto pueda soportar el cortante por punzonamiento.

### 7.3.5.5. VERIFICACIÓN POR CORTANTE.

a) Cortante actuante

$$V_{d_{u-2}} = \sigma_{u_2} B_2 X \quad [651]$$

$$X_2 = L_{2_{v-x}} - d_2 \quad [652]$$

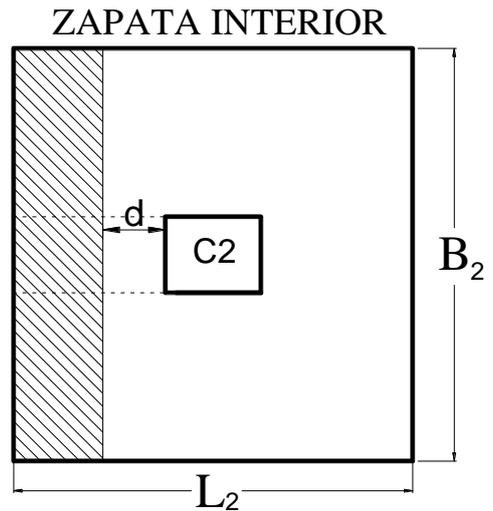


Figura N° 134: Área de corte en zapata central

b) Cortante Resistente

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} B_2 d_2 \quad [653]$$

$L_2$  =Largo de la sección

$d_2$  = Altura efectiva

$$\phi = 0.85$$

**7.3.5.6. DISEÑO POR FLEXIÓN.**

a) Zapata 2: (En la dirección x)

$$M_{ux_2} = \frac{\sigma_{u_2} B_2 L_2 - v_x^2}{2} \quad [654]$$

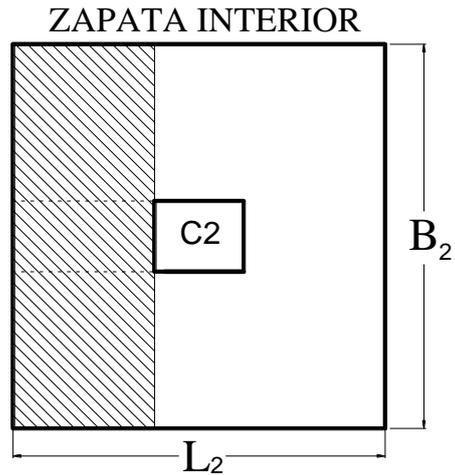


Figura N° 135: Momento ultimo a la cara de la columna.

- Acero requerido en la dirección “X”

$$A_{Sx_2} = \frac{d_2 - \sqrt{d_2^2 - (4) \frac{M_{ux_2}}{1.7 \phi B_1 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 B_2 f'_c} \right)} \quad [655]$$

$$A_s = A_{Sx_2} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} B_2 d_2 \quad [656]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} ; S_x = \frac{B_2 - 2r - db}{nb - 1} \quad [657]$$

b) Zapata 2: (En la dirección y)

$$M_{uy_2} = \frac{\sigma_{u_2} L_2 L_2 - v_y^2}{2} \quad [658]$$

Acero requerido en la dirección “Y”

$$A_{Sy_2} = \frac{d_2 - \sqrt{d_2^2 - (4) \frac{M_{uy_2}}{1.7 \phi L_2 f'_c}}}{2 \left( \frac{f_y}{1.7 L_2 f'_c} \right)} \quad [659]$$

$$A_s = A_{Sy_2} \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} L_2 d_2 \quad [660]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} ; S_y = \frac{L_2 - 2r - db}{nb - 1} \quad [661]$$

### 7.3.6. DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN

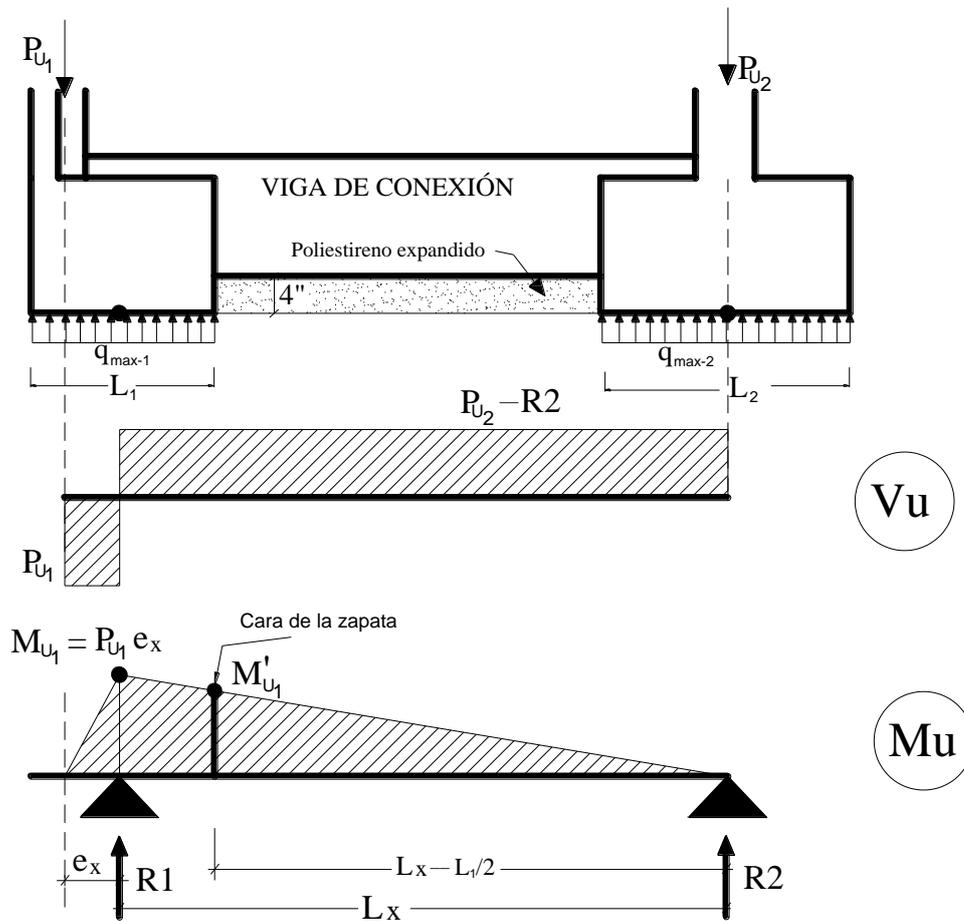


Figura 136: Diagrama de corte y momento en viga de cimentación

#### 7.3.6.1. DATOS DE ENTRADA PARA EL DISEÑO DE VIGA.

##### 7.3.6.1.1. DESARROLLO DEL DISEÑO DE LA VIGA DE CIMENTACION

###### 7.3.6.1.1.1. Dimensionamiento de la viga de cimentación

- **Diseño por Flexión**

Calculo del Momento a la cara de zapata, encontraremos de acuerdo con el momento máximo.

$$e_x = \frac{L_1}{2} - X_c \qquad M_{u1} = P_{u1} e_x \qquad [662]$$

$$M'_{u_1} = \frac{M_{u_1} \left( L_x - \frac{B_1}{2} \right)}{L_x} \quad [663]$$

- **Calculo del peso propio de viga**

$$M_{ppv} = \frac{w_{ppv} L}{8} \quad [664]$$

Luego sumamos los momentos para poder determinar el área de acero.

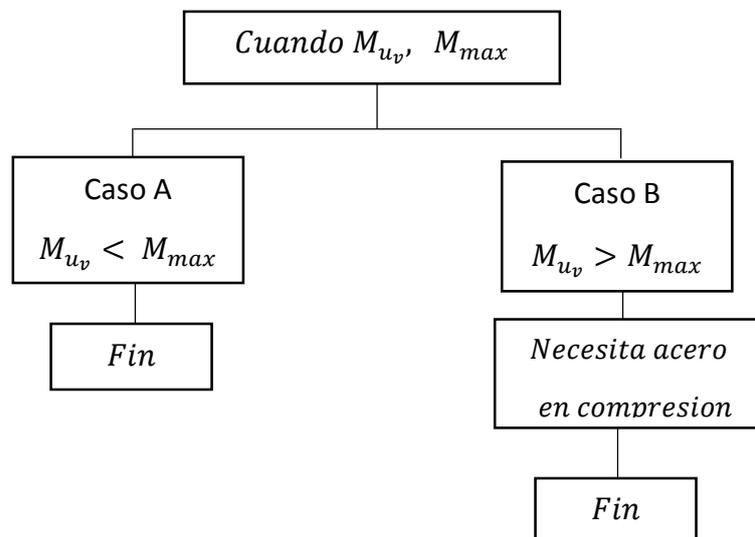
$$M_{uv} = M'_{u_1} + M_{ppv} \quad [665]$$

Siguiente paso es verificar si el momento  $M_{uv}$  sea menor que el momento máximo, si se cumple esta condición la viga se diseñara como doblemente reforzada con acero en compresión.

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} b_v d_v \quad [666]$$

$$a_{max} = \frac{A_{s_{max}} f_y}{0.58 f'_c b_v} \quad [667]$$

$$M_{max} = \phi A_{s_{max}} f_y \left( d_v - \frac{a_{max}}{2} \right) \quad [668]$$



a) **Caso A**

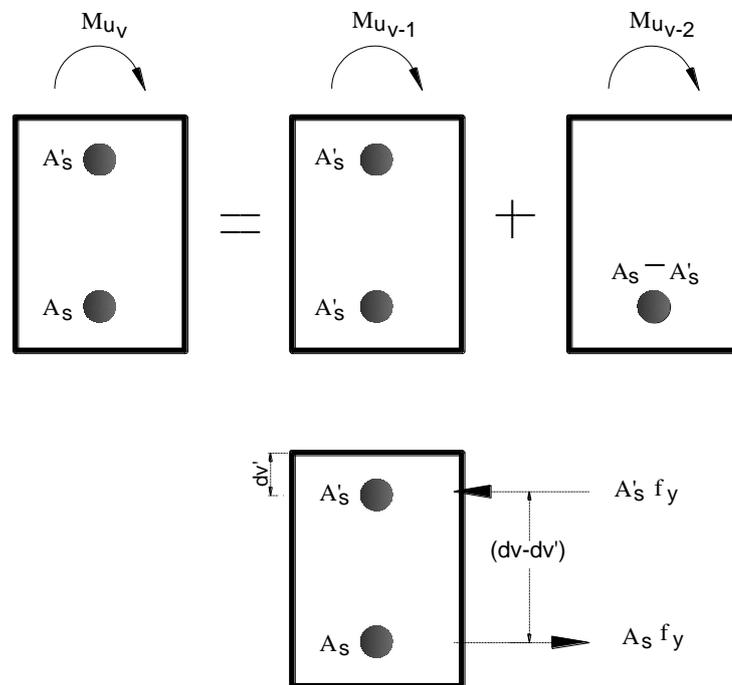
$M_{u_v}$  = Momento de viga

$$A_s = \frac{M_{u_v}}{\phi f_y \left( d_v - \frac{a}{2} \right)} \quad a = \frac{A_s f_y}{0.58 f'_c b_v} \quad [669]$$

b) **Caso B**

$M_{u_v}$  = Momento ultimo de diseño

$M_{max}$  = Momento maximo



$$M_{u_{v-1}} = M_{u_v} - M_{u_{v-2}} \quad [670]$$

$$M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f_y (d_v - d'_v) \quad o \quad M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f'_s (d_v - d'_v) \quad [671]$$

Averiguamos si el Acero en compresión está en fluencia.

$$C = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\varepsilon'_s = \frac{0.003(C - d'_v)}{C} \quad [672]$$

$$a = a_{max}$$

Si,  $\varepsilon'_s > \varepsilon_y$  entonces  $f'_s = \varepsilon'_s * E_s$ ; también si  $f'_s > f_y$  el acero en compresión esta en fluencia, por tanto usar  $f_y$ , en el momento máximo  $M_{u_{v-1}} = \phi A'_s f_y (d_v - d'_v)$ , en caso contrario se usara  $f'_s$ .

$$A'_s = \frac{M_{u_{v-1}}}{\phi f_y (d_v - d'_v)} \quad o \quad A'_s = \frac{M_{u_{v-1}}}{\phi f'_s (d_v - d'_v)} \quad [673]$$

$$A_s = A'_s + A_{s_{max}}$$

## CAPÍTULO 8: ZAPATAS COMBINADAS

Se entienden por zapatas combinadas la que cimienta dos columnas; este tipo de zapatas se utiliza cuando la capacidad de soporte del suelo es baja y/o la separación entre columnas es muy pequeña. En general, este caso es buena práctica dimensionar la zapata de forma que el centro de gravedad de su superficie en planta coincida sensiblemente con el de las acciones.

El dimensionamiento de este tipo de cimentaciones, se tiene que hacer coincidir el centro de gravedad de la superficie en planta con el de las cargas de las dos columnas, esto se hace con el objetivo de conseguir una distribución lineal de presiones en el suelo. La forma más sencilla de lograr esto es construir una zapata rectangular, de modo que el centro de gravedad del rectángulo coincida con la línea de acción de la resultante de las dos columnas. Por lo general las cargas en las columnas de linderos o perimetrales son menores que las de una zapata céntrica, si se presenta el caso en que se vaya a cimentar una columna céntrica y una de linderos, en donde la carga de la columna de linderos es mayor que la céntrica, no es posible lograr una distribución uniforme de presiones utilizando una zapata combinada rectangular, para este tipo de cimentaciones una posible solución podría ser una zapata trapezoidal.



Figura N° 137: Foto de una zapata combinada típica

## 8.1. TIPOS DE ZAPATAS COMBINADAS

### 8.1.1. DATOS DE ENTRADA

- $\sigma_{neta}$  = Capacidad neta del terreno
- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $S/c$  = Sobrecarga
- $\gamma_m$  = Densidad promedio
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $L_c$  = Luz libre medidas entre cara de columnas
- $L$  = Longitud total de viga medida entre eje de cargas

| COLUMNA (1)                              | COLUMNA (2)                              |
|--|--|
| <b>CARGAS</b>                            |  |
| $P_{D_1}$ = Cargas Muerta                | $P_{D_2}$ = Cargas Muerta                |
| $P_{L_1}$ = Carga Viva                   | $P_{L_2}$ = Carga Viva                   |
| $P_{\vec{E}_{x_1}}$ = Carga Sismo en X   | $P_{\vec{E}_{x_2}}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\vec{E}_{y_1}}$ = Carga Sismo en Y   | $P_{\vec{E}_{y_2}}$ = Carga Sismo en Y   |
| <b>MOMENTOS</b>                          |  |
| $M_{D_{x_1}}$ = Momento Muerta en X      | $M_{D_{x_2}}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_{x_1}}$ = Momento Viva en X        | $M_{L_{x_2}}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\vec{E}_{x_1}}$ = Momento Sismo en X | $M_{\vec{E}_{x_2}}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_{y_1}}$ = Momento Muerta en Y      | $M_{D_{y_2}}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_{y_1}}$ = Momento Viva en Y        | $M_{L_{y_2}}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\vec{E}_{y_1}}$ = Momento Sismo en Y | $M_{\vec{E}_{y_2}}$ = Momento Sismo en Y |

Tabla N° 10: Cargas y Momentos del Análisis Estructural- Zapata combinada

### Geometría Columna 1

- Rectangular : a, b
- En "T" : Tw, Tz, a, b

### Geometría Columna 2

- Rectangular : a, b
- En "T" : Tw, Tz, a, b

## 8.1.2. PROCESO

### 8.1.2.1. ESFUERZO NETO ADMISIBLE

$$\sigma_{\text{neto}} = \sigma_{\text{adm}} - S/C - \gamma_m * D_f \quad [674]$$

### 8.1.2.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

#### 8.1.2.2.1. Combinación de Cargas de servicio

La Combinación de cargas de servicios se hace para cada columna.

- Columna (1)

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{1max} = P_{D_1} + P_{L_1} \\ P_{1max} = 0.90P_{D_1} + 0.80P_{\vec{E}_{x_1}} \\ P_{1max} = P_{D_1} + P_{L_1} + 0.80P_{\vec{E}_{x_1}} \end{cases}$$

- Columna (2)

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{2max} = P_{D_2} + P_{L_2} \\ P_{2max} = 0.90P_{D_2} + 0.80P_{\vec{E}_{x_2}} \\ P_{2max} = P_{D_2} + P_{L_2} + 0.80P_{\vec{E}_{x_2}} \end{cases}$$

Donde:

D = Carga muerta, según capítulo 2

L = Carga viva, según capítulo 3

E = Carga de sismo, según NTE E.030 Diseño Sismoresistente

### 8.1.2.2. Área De Zapata

$$A_{z_1} = \frac{P_{1max}}{\sigma_n} \qquad A_{z_2} = \frac{P_{2max}}{\sigma_n} \qquad [675]$$

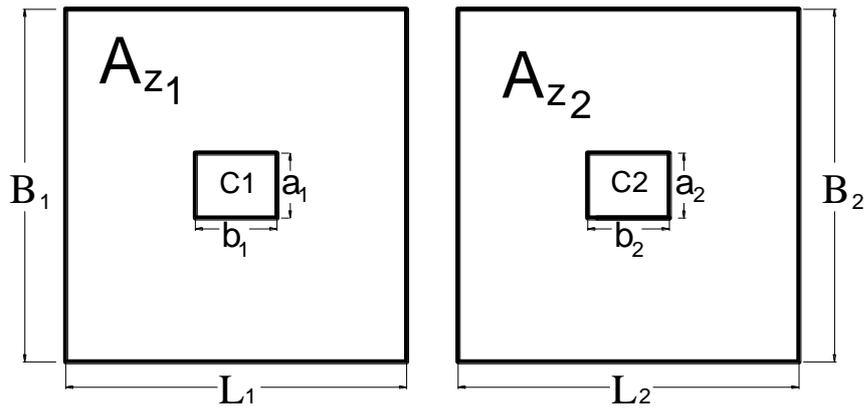


Figura N° 138: Zapatas Aisladas cercanas.

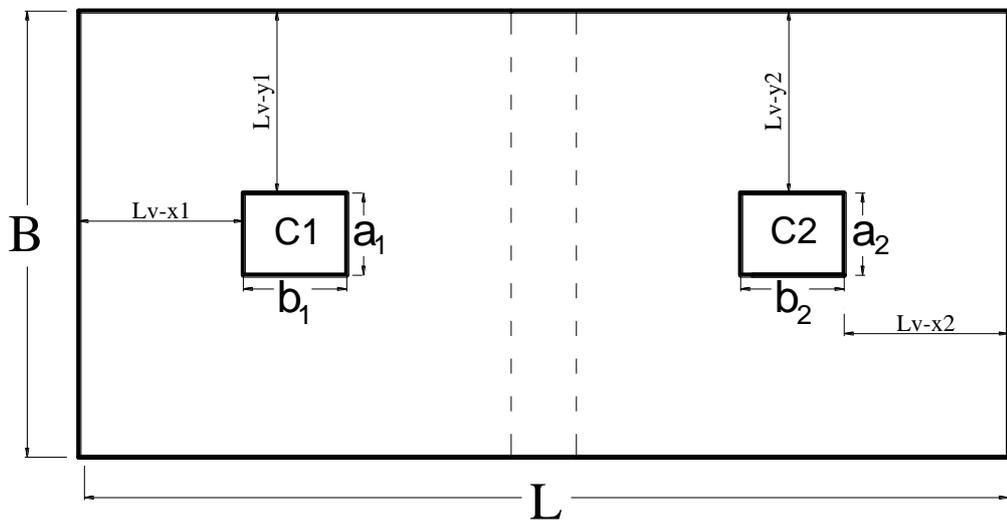


Figura N° 139: Área de zapata combinada

### 8.1.2.2.3. Calculo de Volados

Los volados se calculan para cada columna, asumimos como criterio que el volado en “y” será igual al volado mayor, y se tendrá volados correspondientes a cada columna en la dirección “x”. Considerándose el diseño de zapatas combinadas rectangulares.

$$L' = \sqrt{Az} + 0.5(b - a) \quad [676]$$

$$L_{v-x} = 0.5(L' - a)$$

$$B' = \sqrt{Az} + 0.5(b - a) \quad [677]$$

$$L_{v-y} = 0.5(B' - b)$$

### 8.1.2.2.4. Geometría De Zapata Combinada

$$B_0 = \frac{P_{max1} + P_{max2}}{L_n \cdot \sigma_{n-a}} \quad [678]$$

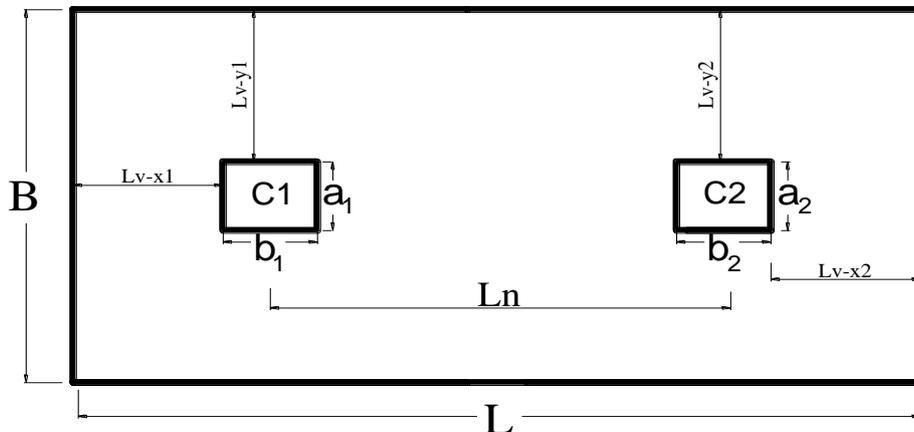


Figura N° 140: Volados iguales en Zapata Combinada

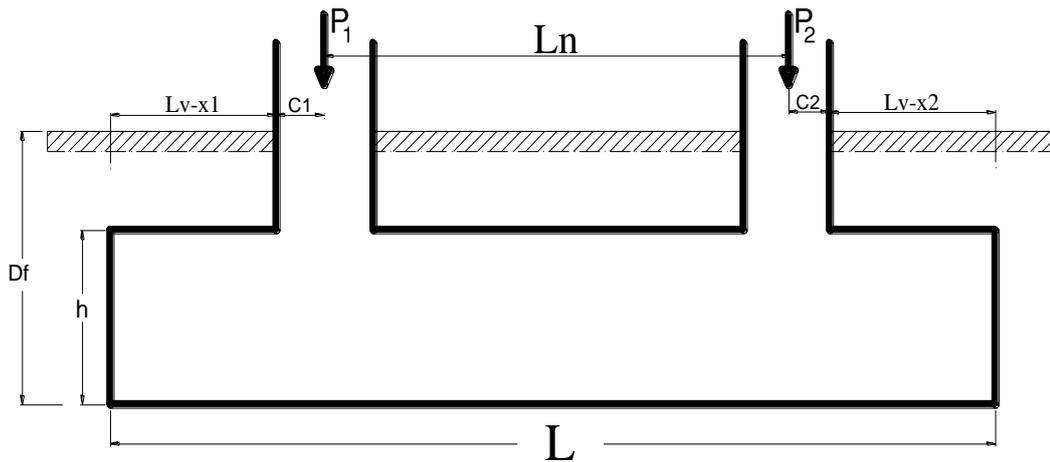


Figura N° 141: Elevación de Zapata Combinada

$$B = \begin{cases} \frac{B_0 \cdot L_n}{L_n + L_{v-x2}} & \text{si } L_{v-x1} = 0 \text{ y } L_{v-x2} > 0 \\ \frac{B_0 \cdot L_n}{L_n + L_{v-x1}} & \text{si } L_{v-x2} = 0 \text{ y } L_{v-x1} > 0 \\ \frac{B_0 \cdot L_n}{L_n + L_{v-x1} + L_{v-x2}} & \text{si } L_{v-x1} > 0 \text{ y } L_{v-x2} > 0 \end{cases}$$

$$L = L_{v-x1} + b_1 + L_n + b_2 + L_{v-x2} \quad [679]$$

### 8.1.3. DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

#### 8.1.3.1. VERIFICACIÓN POR EXCENTRICIDADES

Para hacer la verificación de excentricidades se analiza la excentricidad producida en cada columna, y se obtiene la excentricidad de la resultante, la misma que deberá mantenerse en el núcleo geométrico para poder aplicar la ley de Navier.

$$e_x = \frac{M_y}{P_{Ex}} < \frac{L}{6} \quad [680]$$

$$e_y = \frac{M_x}{P_{Ey}} < \frac{B}{6} \quad [681]$$

$$x = \frac{P_{E1}(e_{x1}) + P_{E2}(L_n + e_{x2})}{P_{E1} + P_{E2}} \quad [682]$$

$$y = \frac{P_{E1}(e_{y1}) + P_{E2}(e_{y2})}{P_{E1} + P_{E2}} \quad [683]$$

### 8.1.3.2. VERIFICACIÓN DE PRESIONES

- Servicio 1

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_z} = \frac{P_{D1} + P_{D2} + P_{L1} + P_{L2}}{A_z} \quad [684]$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_{n-a}$$

- Servicio 2

$$\sigma_D = \frac{P}{A_z} = \frac{P_{D1} + P_{D2}}{A_z} \quad [685]$$

$$\sigma_L = \frac{P}{A_z} = \frac{P_{L1} + P_{L2}}{A_z} \quad [686]$$

$$\sigma_{Ex} = \frac{P_{Ex}}{A_z} = \frac{P_{Ex1} + P_{Ex2}}{A_z} \quad [687]$$

$$\sigma_{Ey} = \frac{P_{Ey}}{A_z} = \frac{P_{Ey1} + P_{Ey2}}{A_z} \quad [688]$$

#### Sismo Dirección x

$$\sigma_{2x} = \sigma_D + 0.70(0.80\sigma_{Ex}) \quad [689]$$

$$\sigma_{2x} \leq \sigma_{n-a}$$

### Sismo Dirección y

$$\sigma_{2y} = \sigma_D + 0.70(0.80\sigma_{Ey}) \quad [690]$$

$$\sigma_{2y} \leq \sigma_{n-a}$$

- Servicio 3

### Sismo Dirección x

$$\sigma_{3x} = \alpha[\sigma_D + \sigma_L + 0.70(0.80\sigma_{Ex})] \quad [691]$$

$$\sigma_{3x} \leq \sigma_{n-a}$$

### Sismo Dirección y

$$\sigma_{3y} = \alpha[\sigma_D + \sigma_L + 0.70(0.80\sigma_{Ey})] \quad [692]$$

$$\sigma_{3y} \leq \sigma_{n-a}$$

## 8.1.3.3. COMBINACIÓN DE CARGAS DE DISEÑO

### Columna 1

Cargas

$$P_{U1} = 1.4P_{D1} + 1.7P_{L1} \quad [693]$$

$$P_{U1} = 1.25(P_{D1} + P_{L1}) \pm P_{E1} \quad [694]$$

$$P_{U1} = 0.90P_{D1} \pm P_{E1} \quad [695]$$

Momentos

$$M_{U1} = 1.4M_{D1} + 1.7M_{L1} \quad [696]$$

$$M_{U1} = 1.25(M_{D1} + M_{L1}) \pm M_{E1} \quad [697]$$

$$M_{U1} = 0.90M_{D1} \pm M_{E1} \quad [698]$$

### **Columna 2**

Cargas

$$P_{U2} = 1.4P_{D2} + 1.7P_{L2} \quad [699]$$

$$P_{U2} = 1.25(P_{D2} + P_{L2}) \pm P_{E2} \quad [700]$$

$$P_{U2} = 0.90P_{D2} \pm P_{E2} \quad [701]$$

Momentos

$$M_{U2} = 1.4M_{D2} + 1.7M_{L2} \quad [702]$$

$$M_{U2} = 1.25(M_{D2} + M_{L2}) \pm M_{E2} \quad [703]$$

$$M_{U2} = 0.90M_{D2} \pm M_{E2} \quad [704]$$

#### **8.1.3.4. COMBINACIONES FACTORADAS ULTIMAS DE DISEÑO**

- g) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial y Verificamos solo en la dirección "X" (dimensión en la dirección más larga de la cimentación)

$$P_{Ux} = 1.4P_{Dx} + 1.7P_{Lx} \quad [705]$$

$$M_{Ux} = 1.4M_{Dx} + 1.7M_{Lx} \quad [706]$$

$$q_{max} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} + \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} \leq \sigma_{neto} \quad [707]$$

$$q_{min} = \frac{(1.4P_{Dx1} + 1.7P_{Lx1})}{BL} - \frac{6(1.4M_{Dx1} + 1.7M_{Lx1})}{BL^2} \leq \sigma_{neto} \quad [708]$$

h) Continuamos verificando solo para carga de gravedad biaxial, pero esta vez teniendo en cuenta que los momentos actúan simultáneamente en las 2 direcciones.

$$P_{Ux} = 1.4P_{Dx} + 1.7P_{Lx} \quad [709]$$

$$P_{Uy} = 1.4P_{Dy} + 1.7P_{Ly} \quad [710]$$

$$M_{Ux} = 1.4M_{Dx} + 1.7M_{Lx} \quad [711]$$

$$M_{Uy} = 1.4M_{Dy} + 1.7M_{Ly} \quad [712]$$

$$q_{max} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} + \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} + \frac{6(M_{Uy1} + M_{Uy2})}{LB^2} \leq \sigma_{neto} \quad [713]$$

$$q_{min} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} - \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} - \frac{6(M_{Uy1} + M_{Uy2})}{LB^2} \leq \sigma_{neto} \quad [714]$$

i) Considerando gravedad + sismo en la dirección “X”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$P_{Ux} = 1.25(P_{Dx} + P_{Lx}) \pm 0.80P_{Ex} \quad [715]$$

$$M_{Ux} = 1.25(M_{Dx} + M_{Lx}) \pm 0.80M_{Ex} \quad [716]$$

$$M_{Uy} = 1.25(M_{Dy} + M_{Ly}) \quad [717]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{max1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} + \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} + \frac{6(M_{Uy1} + M_{Uy2})}{LB^2} \leq \sigma_{neta} \quad [718] \right.$$

$$P_{Ux} = 0.90P_{Dx} \pm 0.80P_{Ex} \quad [718]$$

$$M_{Ux} = 0.90M_{Dx} \pm 0.80M_{Ex} \quad [719]$$

$$M_{Uy} = 0.90M_{Dy} \quad [720]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{max1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} + \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} + \frac{6(M_{Dy1} + M_{Dy2})}{LB^2} \leq \sigma_{neta} \right. \quad [721]$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$P_{Ux} = 1.25(P_{Dx} + P_{Lx}) \pm 0.80P_{Ex} \quad [722]$$

$$M_{Ux} = 1.25(M_{Dx} + M_{Lx}) \pm 0.80M_{Ex} \quad [723]$$

$$M_{Uy} = 1.25(M_{Dy} + M_{Ly}) \quad [724]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{min1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} - \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} - \frac{6(M_{Uy1} + M_{Uy2})}{LB^2} \leq \sigma_{neta} \right. \quad [725]$$

$$P_{Ux} = 0.90P_{Dx} \pm 0.80P_{Ex} \quad [726]$$

$$M_{Ux} = 0.90M_{Dx} \pm 0.80M_{Ex} \quad [727]$$

$$M_{Uy} = 0.90M_{Dy} \quad [728]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{min1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} - \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} - \frac{6(M_{Dy1} + M_{Dy2})}{LB^2} \leq \sigma_{neta} \right. \quad [729]$$

j) Considerando gravedad + sismo en la dirección “Y”.

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$P_{Ux} = 1.25(P_{Dy} + P_{Ly}) \pm 0.80P_{Ey} \quad [730]$$

$$M_{Uy} = 1.25(M_{Dy} + M_{Ly}) \pm 0.80M_{Ey} \quad [731]$$

$$M_{Ux} = 1.25(M_{Dx} + M_{Lx}) \quad [732]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{\max 1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} + \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} + \frac{6(M_{Uy1} + M_{Uy2})}{LB^2} \leq \sigma_{\text{neta}} \right. \quad [733]$$

$$P_{Ux} = 0.90P_{Dx} \pm 0.80P_{Ex} \quad [734]$$

$$M_{Uy} = 0.90M_{Dy} \pm 0.80M_{Ey} \quad [735]$$

$$M_{Ux} = 0.90M_{Dx} \quad [736]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{\max 1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} + \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} + \frac{6(M_{Dy1} + M_{Dy2})}{LB^2} \leq \sigma_{\text{neta}} \right. \quad [737]$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{\min}$

$$P_{Ux} = 1.25(P_{Dx} + P_{Lx}) \pm 0.80P_{Ex} \quad [738]$$

$$M_{Uy} = 1.25(M_{Dy} + M_{Ly}) \pm 0.80M_{Ey} \quad [739]$$

$$M_{Ux} = 1.25(M_{Dx} + M_{Lx}) \quad [740]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{\min 1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} - \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} - \frac{6(M_{Uy1} + M_{Uy2})}{LB^2} \leq \sigma_{\text{neta}} \right. \quad [741]$$

$$P_{Ux} = 0.90P_{Dx} \pm 0.80P_{Ex} \quad [742]$$

$$M_{Uy} = 0.90M_{Dy} \pm 0.80M_{Ey} \quad [743]$$

$$M_{Ux} = 0.90M_{Dx} \quad [744]$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{\min 1} = \frac{(P_{Ux1} + P_{Ux2})}{BL} - \frac{6(M_{Ux1} + M_{Ux2})}{BL^2} - \frac{6(M_{Dy1} + M_{Dy2})}{LB^2} \leq \sigma_{\text{neta}} \right. \quad [745]$$

### 8.1.3.5. VERIFICACIÓN POR PUNZONAMIENTO

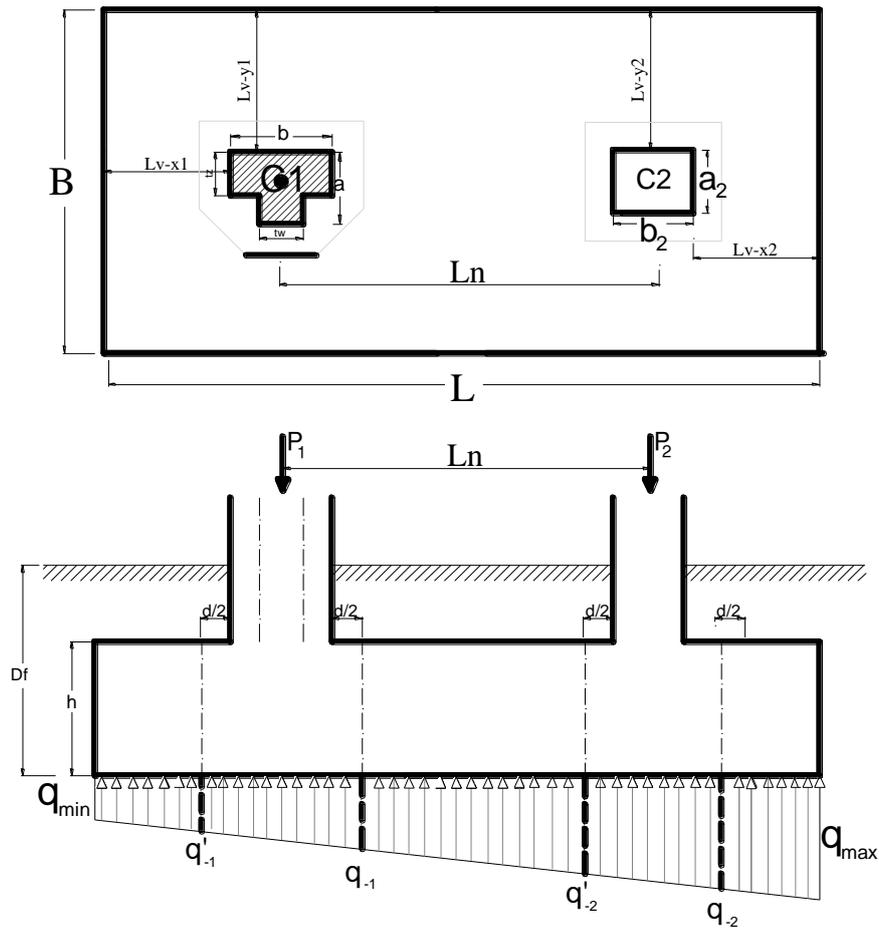


Figura N° 142: Área y perímetro crítico en zapata combinada

El punzonamiento se analiza para cada una de las columnas, las que tendrán que ser verificadas y se obtendrá el peralte.

#### Columna 1

$$\sigma_{u1} = \frac{P_{u1} - \left(\frac{q'_{-1} + q_{-1}}{2}\right)A_{cr1}}{\phi b_{o1} d} \quad [746]$$

$$q'_{-1} = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right) \left(L_{v-x1} - \frac{d}{2}\right) + q_{min} \quad [747]$$

$$q_{-1} = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right) \left(L_{v-x1} + C_1 + \frac{d}{2}\right) + q_{min} \quad [748]$$

$$\sigma_{u1} \leq \sigma_c$$

Hallamos el valor “d” peralte igualando los dos esfuerzos.

## Columna 2

$$\sigma_{u2} = \frac{P_{u2} - \left(\frac{q'_{-2} + q_{-2}}{2}\right)A_{cr2}}{\phi b_{o2}d} \quad [749]$$

$$q'_{-2} = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right) \left(L_{v-x1} + C_1 + L_n - C_2 - \frac{d}{2}\right) + q_{min} \quad [750]$$

$$q_{-2} = \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{L}\right) \left(L_{v-x1} + C_1 + L_n - C_2 + b_2 + \frac{d}{2}\right) + q_{min} \quad [751]$$

$$\sigma_{u2} \leq \sigma_c$$

Hallamos el valor “d” peralte correspondiente a la verificación por punzonamiento en la columna 2.

### 8.1.3.6. VERIFICACIÓN POR CORTANTE - LONGITUDINAL

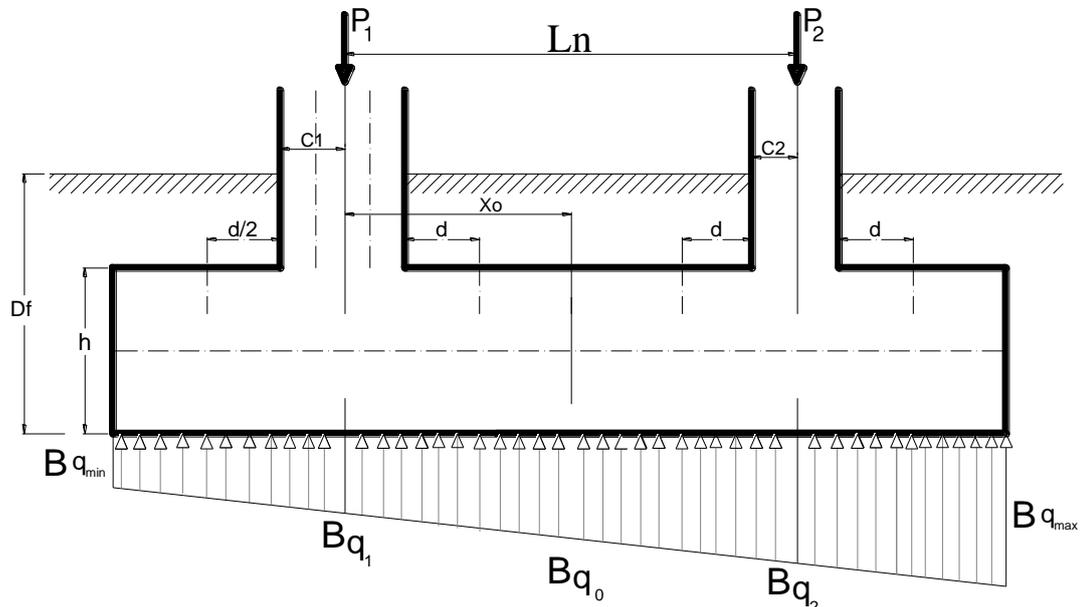


Figura N° 143: Área de Corte en Zapata Combinada

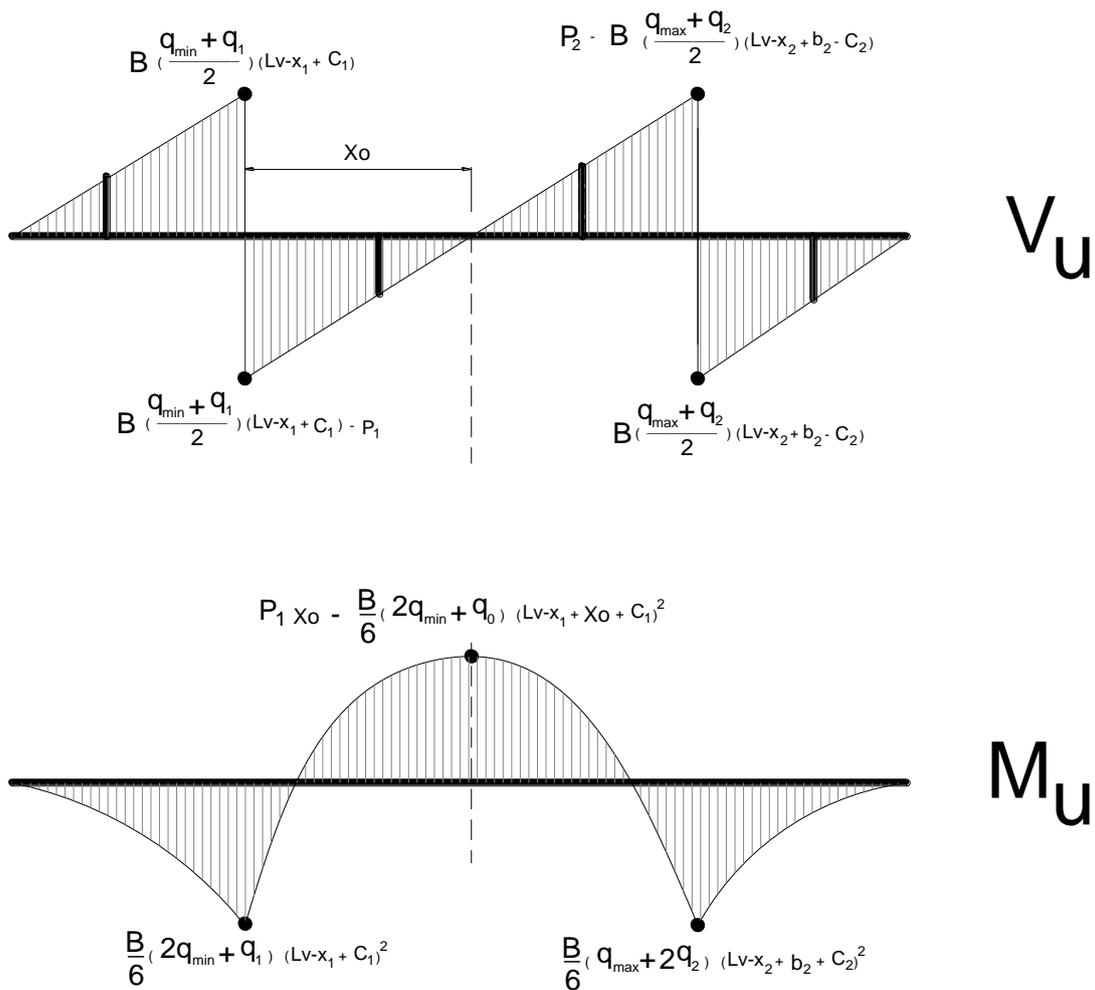


Figura N° 144: Diagrama de cortante y momento – Dirección Longitudinal

$$I_1 = B \left( \frac{q_{min} + q_1}{2} \right) (L_{vx1} + C_1) \quad [752]$$

$$I_2 = \psi_1 = B \left( \frac{q_{min} + q_1}{2} \right) (L_{vx1} + C_1) - P_1 \quad [753]$$

$$I_3 = \psi_2 = P_2 - B \left( \frac{q_{max} + q_2}{2} \right) (L_{vx2} + b_2 - C_2) \quad [754]$$

$$I_4 = B \left( \frac{q_{max} + q_2}{2} \right) (L_{vx2} + b_2 - C_2) \quad [755]$$

$$I_5 = \frac{B}{6} (2q_{min} + q_1) (L_{vx1} + C_1)^2 \quad [756]$$

$$I_6 = P_1 \cdot X_0 - \frac{B}{6} (2q_{min} + q_0) (L_{vx1} + C_1 + X_0)^2 \quad [757]$$

$$I_7 = \frac{B}{6} (q_{max} + 2q_2) (L_{vx2} + b_2 - C_2)^2 \quad [758]$$

Donde:

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x1} + C_1) + q_{min} \quad [759]$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x1} + C_1 + L_n + C_2) + q_{min} \quad [760]$$

$$X_0 = \frac{L_n \cdot \psi_1}{\psi_1 + \psi_2} \quad [761]$$

$$q_0 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x1} + C_1 + X_0) + q_{min} \quad [762]$$

### 8.1.3.7. VERIFICACIÓN POR CORTANTE – TRANSVERSAL

Usamos la mayor de las cargas P1 o P2 y analizamos la cortante actuante.

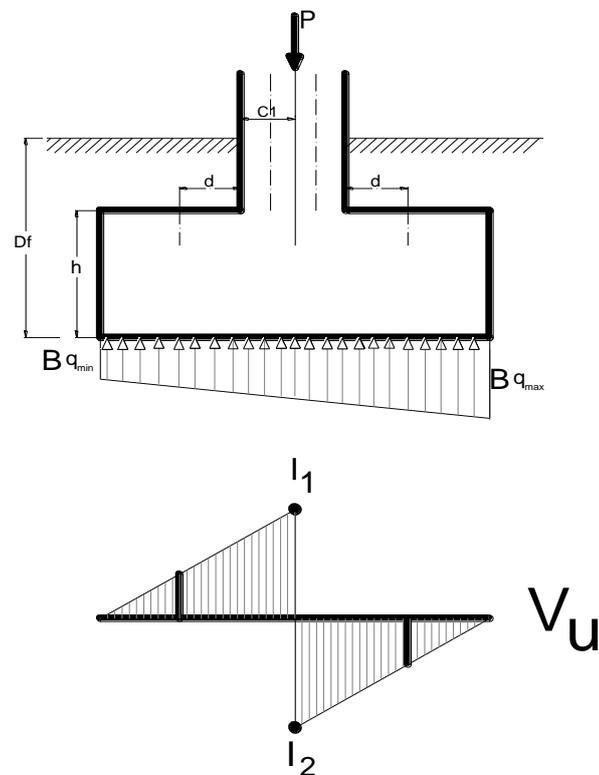


Figura N° 145: Diagrama de cortante – Dirección Transversal

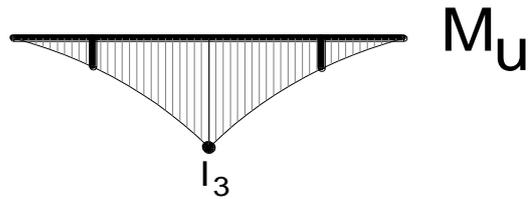


Figura N° 146: Diagrama de momento – Dirección Transversal

$$V_{du} = q_{max} \cdot L \cdot X \quad [763]$$

$$I_1 = L \cdot \sigma_u (L_{vy} + C) \quad [764]$$

$$I_2 = L \cdot \sigma_u (L_{vy} + C) - P \quad [765]$$

$$I_3 = \frac{L \cdot \sigma_u \cdot L_{vy}^2}{2} \quad [766]$$

$$M_{ux_1} = \frac{q_{max} L x L_{v-y}^2}{2} \quad [767]$$

Se deberá verificar:

$$V_u \leq \phi V_c$$

La cortante actuante  $V_u$  lo obtenemos a una distancia “d” desde la cara de la columna, tomado del diagrama de Cortante.

### 8.1.3.8. REFUERZO EN ZAPATA COMBINADA

#### 8.1.3.8.1. Refuerzo Longitudinal

Tomamos el momento en la cara de la columna, para el análisis tomamos el mayor.

- a) Momento Ultimo a la cara de la columna 1
- b) Momento Ultimo a la cara de la columna 2
- c) Momento Ultimo máximo

$$R_u = \frac{M_{u-cara-L}}{\phi B \cdot d^2} \quad [768]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [769]$$

$$\phi = 0.90$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y} \quad ; \quad \rho_{calculado} > \rho_{minimo} \quad \text{Tomar el mayor}$$

Tomar en cuenta la cuantía mínima, luego calculamos el acero de refuerzo

$$A_s = \rho \cdot B \cdot d \quad [770]$$

Separación

$$S = \frac{B - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad [771]$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b}$$

Donde:

$r_e$  = Recubrimiento

$d_b$  = Diámetro de barra

$n_b$  = # de Barras

$A_b$  = Área de Barra

Separación Mínima y Máxima

$$S_{min} = \max \begin{cases} 2.54 \text{ (cm)} \\ d_b \text{ (cm)} \end{cases}$$

$$S_{max} = \max \begin{cases} 2h \text{ (cm)} \\ 45 \text{ (cm)} \end{cases}$$

#### 8.1.3.8.2. Refuerzo Transversal

Tomamos el momento en la cara de la columna, para el análisis tomamos el mayor.

$$R_u = \frac{M_{u-cara-T}}{\phi B \cdot d^2} \quad [772]$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_u}{\phi f'_c}} \right) \quad [773]$$

$$\phi = 0.90$$

$$\rho_{\text{minimo}} = \frac{14}{f_y} \quad ; \quad \rho_{\text{calculado}} > \rho_{\text{minimo}} \quad \text{Tomar el mayor}$$

Tomar en cuenta la cuantía mínima, luego calculamos el acero de refuerzo

$$A_s = \rho \cdot B \cdot d \quad [774]$$

Separación

$$S = \frac{L - 2r - d_b}{n_b - 1} \quad ; \quad n_b = \frac{A_s}{A_b} \quad [775]$$

Donde:

$r_e$  = Recubrimiento

$d_b$  = Diámetro de barra

$n_b$  = # de Barras

$A_b$  = Área de Barra

Separación Mínima y Máxima

## DETALLE DE ZAPATA COMBINADA

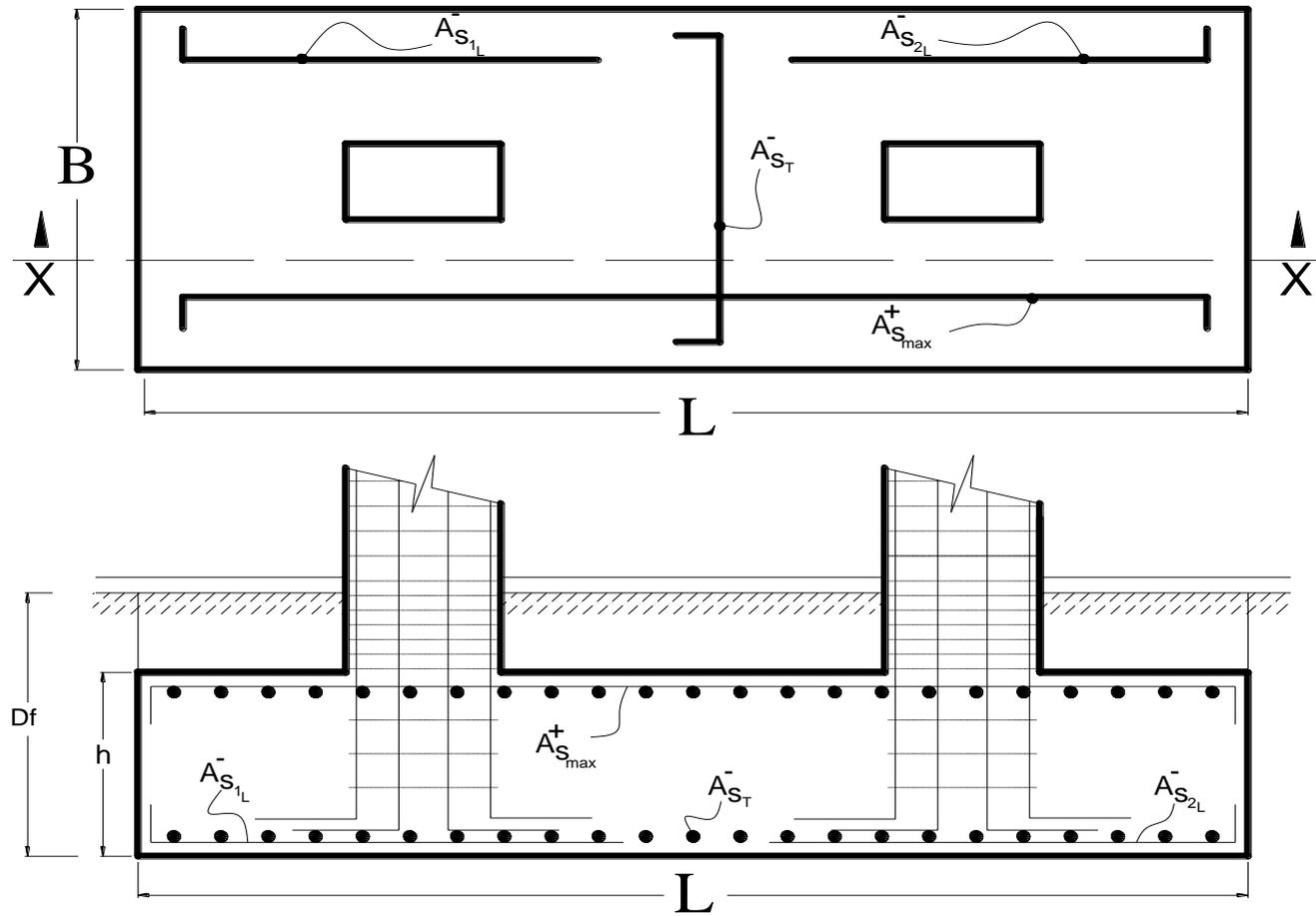


Figura N° 147. Detalle de refuerzo en zapata combinada.

## DETALLE DE ZAPATA COMBINADA

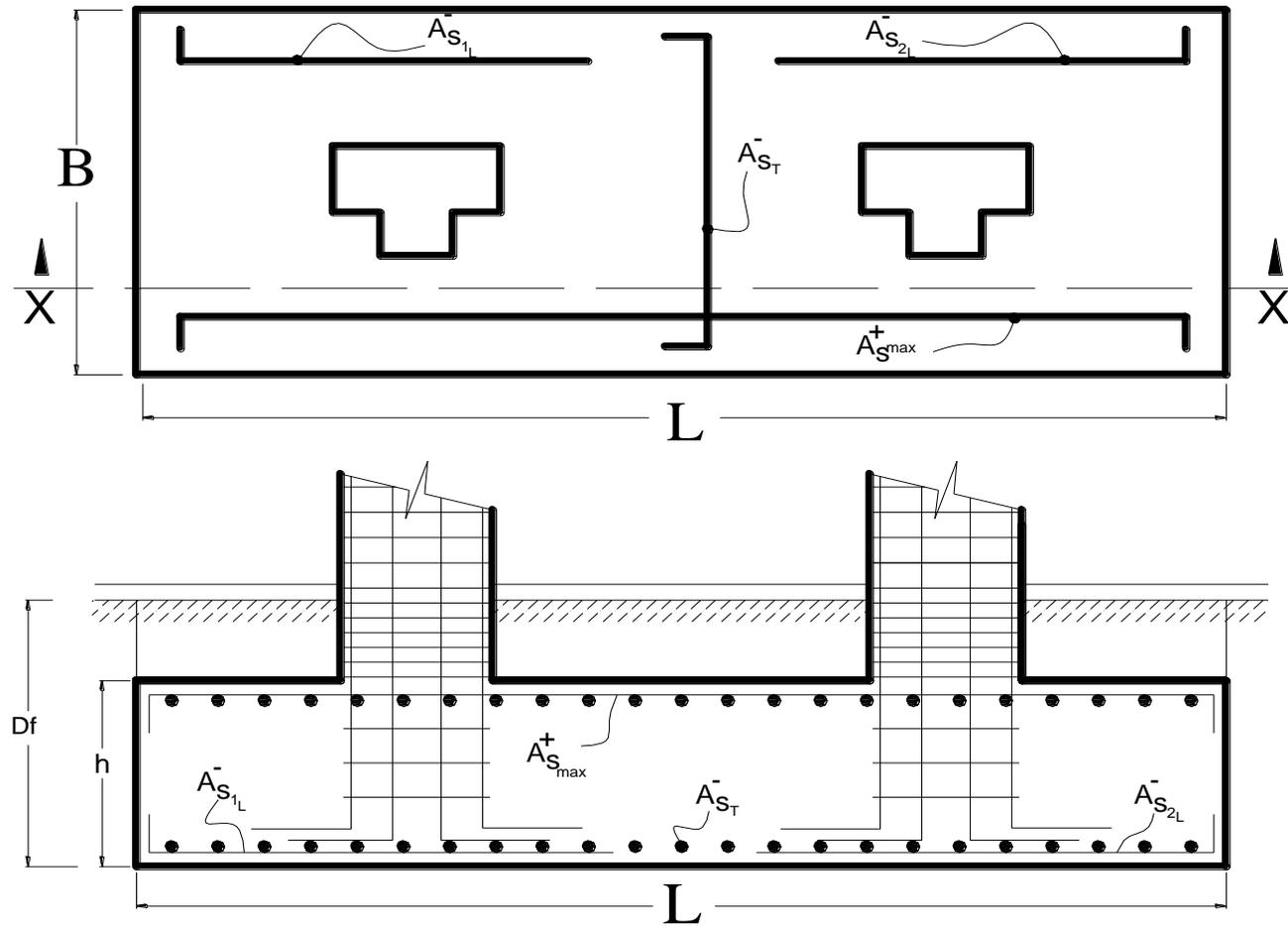


Figura N° 148: Detalle de refuerzo en zapata combinada.

## DETALLE DE ZAPATA COMBINADA

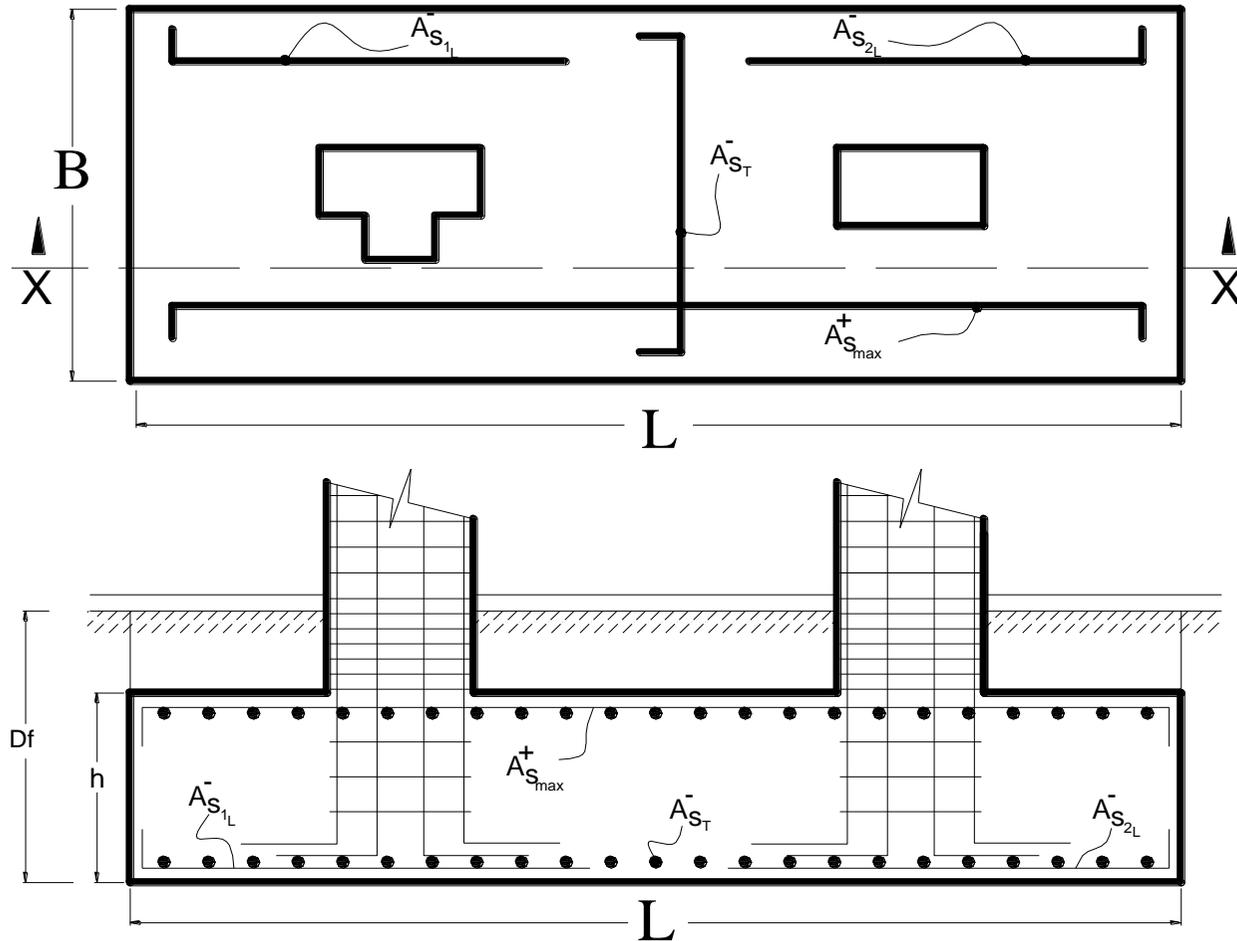


Figura N° 149: Detalle de refuerzo en zapata combinada.

## CAPÍTULO 9: PILOTES CON CABEZAL RIGIDO

### 9.1. PILOTES

#### 9.1.1. GENERALIDADES SOBRE PILOTES

Los pilotes son miembros estructurales de gran esbeltez, con sección transversal circular, poligonal, que penetran en suelos de baja capacidad portante a de transmitir las cargas a niveles más profundos del subsuelo.

Los pilotes pueden clasificarse de diferentes formas, según:

- El material usado
- La forma de ejecución y colocación
- La capacidad resistente
- El tipo de trabajo
- La forma de su sección transversal
- La altura alcanzada
- El perfil longitudinal

#### 9.1.2. CLASES DE CIMENTACIONES PILOTEADAS

Las cimentaciones piloteadas pueden dividirse en dos clases principales:

##### a) Cimentaciones con pilotes de fricción

Como su nombre lo sugiere, los pilotes de fricción dependen, para su capacidad de carga, de la resistencia a la fricción del terreno sobre las paredes de los pilotes, sin que haya contribución de su punta o siendo está muy pequeña.

Los pilotes de fricción se hincan en terrenos cuya resistencia no aumenta con la profundidad o, cuando menos, en donde la relación del incremento en su resistencia con la profundidad, es muy baja.

***b) Cimentaciones con pilotes de punta***

El uso de pilotes de punta supone la aceptación táctica de que hay un lecho más fuerte en un nivel inferior, en contraste con los pilotes de fricción, en donde no es esencial un aumento de resistencia con la profundidad para tener éxito.

Los pilotes de punta trabajan como columnas o pilas, transmiten la carga hacia un nivel inferior que puede soportar la carga con toda seguridad.

**9.1.3. PANDEO DE PILOTES**

Puesto que los pilotes de punta funcionan como columnas, es esencial considerar la resistencia contra el pandeo. Sin embargo, en el pasado, las dimensiones de los pilotes fueron tales que, con el soporte lateral proporcionado, incluso en arcillas suaves, no se presentaron fallas por pandeo en pilotes completamente embebidos, o cuando menos, no se ha reportado ningún caso.

Granholtz (1929) y Cummings (1938), concluyeron que aun en suelos muy débiles hay suficiente soporte lateral, de tal manera, que el pilote falla más bien por aplastamiento del material, que por pandeo.

**9.2. TIPO DE PILOTES**

**9.2.1. Pilotes de madera:**

Desde el imperio romano que bien establecido el uso de troncos de árboles como pilotes; los detalles de las cimentaciones piloteadas fueron descritos por Vitruvio en el año 58 D.C. Probablemente, los

pilotes de madera son el tipo que más se usa en todo el mundo. Su longitud está limitada por la altura de los árboles disponibles; son comunes los pilotes de 12 a 18 m, en tanto que longitudes mayores no pueden obtenerse económicamente en todas las regiones.

Aunque los pilotes de madera pueden durar indefinidamente por un suelo saturado, están sujetos a pudrirse arriba de la zona de saturación.

### **9.2.2. Pilotes de concreto:**

Poco después de 1900, se idearon varios tipos de pilotes de concreto. Desde entonces, han aparecido numerosas variantes, y en la actualidad se dispone de una gran variedad de pilotes entre los cuales el ingeniero puede elegir el mejor se adapte a una obra determinada.

Los pilotes de concreto pueden dividirse en dos categorías principales, coladas en el lugar y precolados. Los lados en el lugar pueden subdividirse en pilotes con y sin ademe. El concreto de un pilote con ademe se cuela dentro de un molde, que usualmente consiste en un forro de metal o tubo delgado que se deja en el terreno.

Los pilotes precolados pueden ser tan bien preesforzados. Con el proeesforzado trata de reducir las grietas producidas por tensión durante su manejo e hincado, y de proporcionar resistencia a os esfuerzos de flexión.

### **9.2.3. Pilotes tubulares rellenos de concreto:**

Existen varios tipos para el diseño de pilotes tubulares llenos de concreto, en casos en los cuales no gobiernan los reglamentos de

construcción. Serán dados cuatro de los métodos más comúnmente empleados, utilizando la siguiente anotación:

- a) **Método proporcionalidad:** Se elabora la hipótesis de que el concreto y el acero soportan cada uno una porción de la carga, directamente proporcional a sus áreas y módulos de elasticidad. Sin embargo, reconociendo que estas dos unidades trabajan en una relación más íntima que el caso ordinario de las columnas de concreto espiral armadas, debido al hecho de que el concreto se encuentra confinado por el caso o envolvente de acero, la carga normal de  $0.255 f'_c$  ha sido incrementada en un 20%.

$$R = (A_c + nA_s)(0.255f'_c \times 1.2) \quad [776]$$

$$A_s = \text{Area total del tubo}$$

- b) **Método de carga máxima o última:** Este método toma en cuenta el hecho de que realmente no sabemos con exactitud cómo se distribuye la carga entre el concreto y el tubo. Sin embargo, se ha obtenido una gran cantidad de información donde la resistencia máxima de tales elementos se ha encontrado menor a 85% de la resistencia del aplastamiento del concreto a los 28 días, multiplicada por el área del concreto, más el área del acero multiplicada por el límite elástico aparente.

La carga de trabajo es deducida a partir de la carga máxima como se da al dividir entre el requerido factor de seguridad.

$$R = \frac{0.85 f'_c + f_{syp} A_s}{FS} \quad [777]$$

FS = Factor de Seguridad

$A_s$  = área del tubo que permanece después de deducir 1/16" por efecto de corrosión.

c) **Método ACI:** Un tercer método frecuentemente empleado es el sugerido por el Building Code del American Concrete Institute (ACI) que ha adaptado la fórmula de columna a la peculiar condición de tener continuo reforzado espiral en la forma de un tubo que rodea el núcleo de concreto:

$$R = 0.25f'_c \frac{1 - 0.000025 l^2}{r_c^2} A_c + f'_r A_s \quad [778]$$

El valor de  $f'_r$  será proporcionado por la formula siguiente cuando el pilote tiene una resistencia a punto cedente de por lo menos 33,000 psi (2,320 Kg/cm<sup>2</sup>) y una relación de  $1/r_s$  igual o menor q 120:

$$f'_r = 17,000 - \frac{0.485 l^2}{r_s^2} \quad [779]$$

R = Carga de seguridad en pilotes cortos axialmente cargados, en los cuales la longitud no apoyada “L” es no mayor que 10 veces la mínima dimensión lateral “d” en libras.

$f'_r$  = Esfuerzo unitario admisible en tubificación metálica en lb/plg<sup>2</sup>

$l$  = Longitud no apoyada del tubo, en plg.

$r_c$  = Radio de giro del concreto

$r_s$  = Radio de giro del tubo de acero

$A_s$  = área del tubo que permanece después de deducir 1/16” por efecto de corrosión.

La carga **R'** máxima admisible sobre columnas largas cargadas axialmente (que tienen un largo  $l$  mayor a 10 veces la mínima dimensión lateral “d”) es proporcional por la formula siguiente:

$$R' = R(1.3 - 0.03 \frac{l}{d}) \quad [780]$$

R= Carga axial admisible sobre una columna corta es dada anteriormente en la formula “R”.

**d) Método del Chicago Building Code:** El Chicago Building Code ha establecido una formula como nos muestra a continuación:

$$R = 0.25f'_c A_c + 0.36f_{syp} A_s) \quad [781]$$

$A_s$  = Area del tubo que permanece después de deducir 1/8” por efecto de corrosión.

#### 9.2.4. Pilotes de acero:

Se utilizan mucho como pilotes los tubos de acero, que usualmente se llena de concreto después de hincados, y los perfiles de acero en “H” cuando las condiciones requieren un hincado violento, longitudes desusadamente grandes, o elevadas cargas de trabajo por pilote.

Los pilotes de perfiles de acero en “H” penetran en el terreno más fácilmente que otros tipos, en parte porque desalojan relativamente poco material. En consecuencia se utiliza con frecuencia para alcanzar un estrato de gran capacidad de carga a gran profundidad. El hincado es difícil, y especialmente si el material superior contiene obstrucciones o gravas gruesas, es probable que los patines se dañen y los pilotes se tuerzan o se doblen.

### 9.2.5. Pilotes fabricados in situ:

Una gran parte de los pilotes se fabrican total o parcialmente en el terreno, en la posición que ocuparan finalmente como parte de la cimentación terminada.

*Probablemente, la primera forma de pilote in situ fue el pilote de área. El primer uso conocido en Europa fue Bayunne, Francia, en 1830, se hincaron pilotes de madera muy cortos (2m) dentro del terreno, que se extrajeron posteriormente. Dejando hoyos que se llenaron con arena bien apisonada (Moreau, 1832; Ponts et Chaussées, 1835).*

*Los pilotes de concreto colado en el lugar, se dice que fueron inventados por A. A. Raymond y se usaron por primera vez en la cimentación de un edificio en Chicago (hool y Knne, 1943)*

Los pilotes fabricados *in situ* pueden clasificarse como perforados o hincados. Para fabricar el pilote perforado, se hace un hoyo, con la técnica de perforación de pozos y se usa ademe o lodo de perforación para retener las paredes; a la profundidad requerida, se para la perforación y el hoyo se llena de concreto.

Hay distintas variantes en la clasificación general de pilotes de concreto moldeado "*in situ*", pero pueden dividirse en dos grupos:

- a) Los que llevan una envuelta metálica que se hinca, se deja en el terreno y después se rellena de concreto.
- b) Los que llevan una envuelta que se quita antes de vaciar el concreto o se va retirando a mediada q se vierte el concreto.

Dentro del primer grupo están los siguientes:

- Los pilotes tronco-cónicos o tronco-cónicos escalonados tipo Raymond.

- El pilote Monotubo.
- El pilote con envuelta de chapa ondulada Mac Arthur.
- El pilote tubular metálico tapado.
- El pilote tubular metálico abierto por el extremo.

En el segundo grupo – pilotes sin envuelta metálica – están incluidos los siguientes tipos:

- El pilote cilíndrico sencillo.
- El pilote bulbo tipo MacArthur.
- El pilote Franki.

### **9.3. HINCADO DE PILOTES:**

Se entiende la operación de hacer llegar el pilote hasta la posición que ha de ocupar como parte del conjunto de la infraestructura. El golpearlo para introducirlo puede ser o no una parte del proceso, aunque generalmente lo es. Los detalles de los métodos a emplear o de la combinación de métodos, generalmente dependen del tipo de pilote, de las características del suelo dentro del que hay situarlo, de las condiciones bajo las cuales han de realizarse la operación de campo y del equipo de que se disponga y mejor se adapte para la operación.

A continuación se nombrará tipos de hincados utilizados a lo largo de la historia:

Martinete de Caída, Libre, Martinete a Vapor, Chorro de agua, Perforaciones, Hinca por medio de Gatos.

Para desarrollar la capacidad de carga deseada, un pilote de punta debe penetrar suficientemente el estrato denso de suelo o tener contacto suficiente con un estrato de roca. En este requisito no siempre se satisface hincando un pilote a una profundidad predeterminada debido a la variación de los perfiles de suelo, por lo que se han desarrollado varias ecuaciones

para calcular la capacidad última de un pilote durante el hincado. Estas ecuaciones dinámicas se usan ampliamente en el campo para determinar si el pilote ha alcanzado un valor satisfactorio de carga a la profundidad predeterminada. Una de las primeras ecuaciones dinámicas, comúnmente llamada la fórmula del *Engineering News Record (EN)* se deriva de la teoría del trabajo y de la energía, Es decir:  
Energía impartida por el martillo en cada golpe= (resistencia del pilote) (penetración por golpe de martillo).

$$Q_u = \frac{W_R h}{s + c} \quad [782]$$

$W_R$  = Peso del martillo.

$h$  = Altura de caída del martillo.

$s$  = Penetración del pilote por golpe.

$c$  = Constante.

#### 9.4. ESTIMACIÓN DE LA LONGITUD DEL PILOTE.

Seleccionar el tipo de pilote por usar y estimar su longitud necesaria son tareas difíciles que requieren buen juicio.

##### a) Pilotes de carga de punta:

Si los registros de perforación establecen la presencia de lechos de roca o de material rocoso a una profundidad razonable, los pilotes se extienden hasta la superficie de la roca. En este caso, la capacidad última de los pilotes depende por completo de la capacidad de carga del material subyacente; entonces son llamados *pilotes de carga última*.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad [783]$$

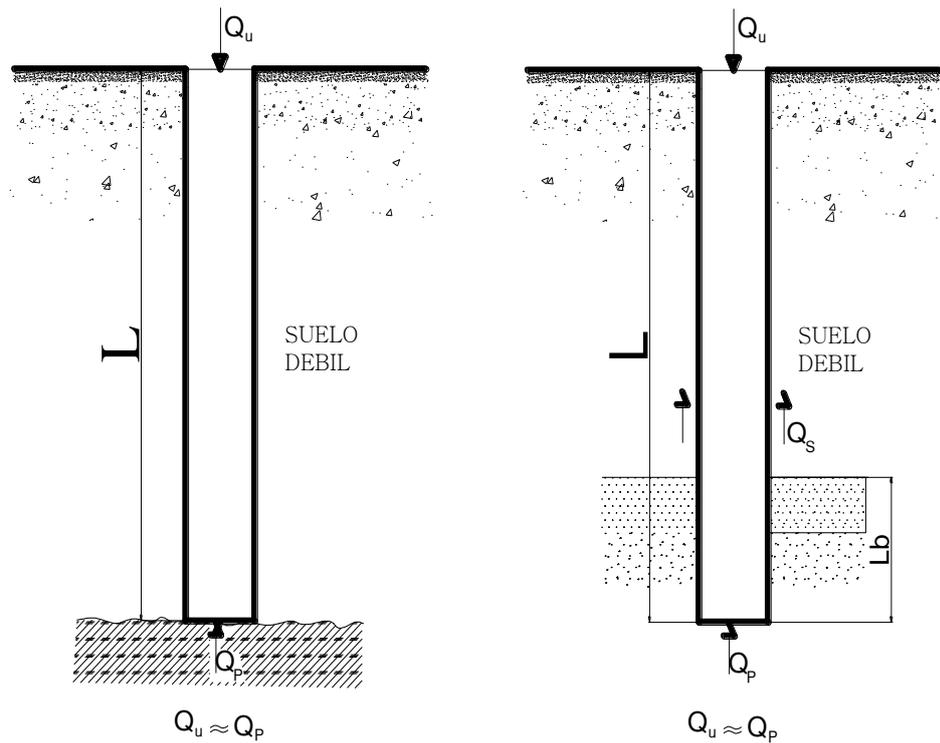


Figura N° 150: Pilotes de Punta

$Q_p$  = Carga tomada en la punta del pilote

$Q_s$  = Carga tomada por la fricción superficial desarrollada en los lados del pilote (causada por la resistencia cortante entre el suelo y el pilote).

Si  $Q_s$  es muy pequeña, entonces

$$Q_u \approx Q_p$$

### 9.5. ECUACIONES PARA ESTIMAR LA CAPACIDAD DE UN PILOTE.

La capacidad última de carga de un pilote se logra por una simple ecuación como la suma de la carga tomada por la punta del pilote más la resistencia total por fricción (fricción superficial) generada en la interfaz suelo-pilote.

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad [784]$$

$Q_u$  = Capacidad ultima del pilote

$Q_p$  = Capacidad de carga de la punta del pilote

$Q_s$  = Resistencia por fricción.

Numerosos estudios publicados tratan de determinar los valores de  $Q_s$  y  $Q_p$ , Excelentes resúmenes de muchas de esas investigaciones fueron proporcionadas por Vesic (1977), Meyerhof (1976) y Coyle y Vastello (1981). Tales estudios son una valiosa ayuda en la determinación de la capacidad última de los pilotes.

### 9.5.1. Capacidad de la carga de la punta, $Q_p$

La capacidad de carga última  $Q_u$  de un pilote se expresa como:

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

Para cimentaciones superficiales se tiene la ecuación dada por Terzaghi para calcular la capacidad última de carga:

Donde:

$$q_u = c'^{N^*_c} + q N^*_q + \gamma_s D N^*_y \quad [785]$$

$C'$  = Cohesión del suelo

$\gamma_s$  = Peso específico del suelo

$D$  = Ancho de la cimentación

$N^*_c, N^*_q, N^*_y$  Son los factores de capacidad de carga que influye los factores necesarios de forma y profundidad.

Como el ancho  $D$  de un pilote es relativamente pequeño, el término  $\gamma_s D N^*_y$  se cancela del lado derecho de la ecuación, por tanto tenemos:

$$q_u = c'^{N^*_c} + q' N^*_q \quad [786]$$

El término que fue sustituido por  $q'$  para indicar un esfuerzo efectivo. Por tanto la carga de punta del pilote es:

$$Q_p = A_p q_p = A_p (c' N_c^* + q' N_q^*) \quad [787]$$

$A_p$  = Área de la punta del pilote.

$q_p$  = Resistencia unitaria de punta

### 9.5.2. Resistencia por fricción, $Q_s$

La resistencia por fricción superficial de un pilote se expresa como:

$$Q_s = \sum p \Delta L f \quad [788]$$

$p$  = Perímetro de la sección del pilote

$\Delta L$  = Longitud incremental del pilote sobre lo cual  $p$  y  $f$  se considera constantes.

$f$  = Resistencia unitaria por fricción a cualquier profundidad  $Z$ .

Correlación empírica según Meyerhof propuso una manera sencilla para determinar la resistencia por fricción a partir de los datos obtenidos en una prueba de penetración estándar, expresada en la siguiente ecuación:

$$Q_s = \sum 0.02 N A_s L \left( \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \right) \quad [789]$$

Donde:

$Q_s$  = Resistencia por fricción

$N$  = Numero de golpes, N, para penetrar 30 cm del estrato resistente

$N$  = Numero de golpes, N, para penetrar 30 cm del estrato intermedio

$A_s$  = El perímetro del pilote

$L$  = Longitud del pilote

### 9.5.3. Método para estimar la carga por punta ( $Q_p$ )

#### 9.5.3.1. Método de Meyerhof

En base a observaciones de campo Meyerhof en 1976 sugirió que la resistencia de punta ultima  $q_p$  mediante la siguiente ecuación.

Para pilotes en arena,  $c'=0$

$$Q_p = A_p q_p = A_p q' N_q^* \quad [790]$$

La variación de  $N_q^*$  con el ángulo  $\phi'$  de fricción del suelo se muestra en la figura sin embargo,  $Q_p$  no debe exceder el valor límite  $A_p q_l$ , es decir:

$$Q_p = A_p q' N_q^* \leq A_p q_l \quad [791]$$

La resistencia de punta límite es:

$$q_l = 50 p_a N_q^* \tan \phi'$$

Donde:

$p_a$  = Presión atmosférica (100 kN/m<sup>2</sup> o 2000 lb/pie<sup>2</sup>)

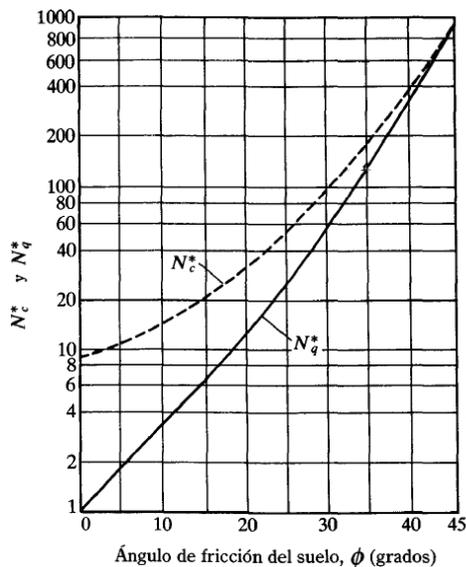


Figura N° 151: Abaco de ángulo de fricción del suelo- Meyerhof

### 9.5.3.2. Método de Vesic.

Vesic en 1977 propuso un método para estimar la capacidad de carga de punta de un pilote con base en la teoría de expansión de cavidades. De acuerdo con esta teoría, basada en parámetros de esfuerzo efectivo, se deduce la ecuación propuesta.

$$Q_p = A_p q_p = (c' N_c^* + \bar{\sigma}_o' N_\sigma^*) \quad [792]$$

### 9.5.3.3. Método de Janbu.

Janbu en 1976 propuso calcular la carga por punta en pilotes mediante la expresión descrita.

$$Q_p = A_p q_p = (c' N_c^* + q' N_q^*) \text{ En arena.} \quad [793]$$

Los valores de capacidad de carga  $N_c^*$ ,  $N_\sigma^*$  se calculan su poniendo una superficie de falla en el suelo en la punta del pilote.

Las relaciones de capacidad de carga son entonces:

$$N_q^* = (\tan \phi + \sqrt{1 + \tan^2 \phi})^2 (e^{2\eta' \tan \phi}) \quad [794]$$

$$N_c^* = (N_q^* - 1) \cot \phi \quad [795]$$

El ángulo  $\eta'$  se varía aproximadamente  $70^\circ$  en arcillas blandas a aproximadamente  $105^\circ$  en suelos arenosos densos.

Independientemente del procedimiento teórico usado para calcular  $Q_p$ , su magnitud plena no se obtiene sino hasta que el pilote ha penetrado por lo menos el 10% y 25% de su ancho. Esta profundidad es crítica en el caso de arena.

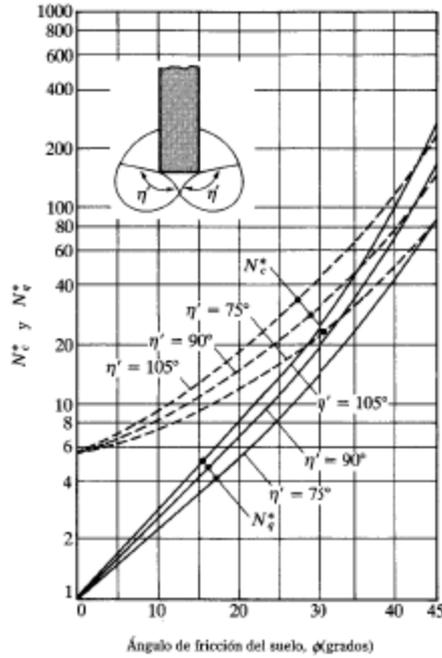


Figura N° 152: Abaco de ángulo de fricción del suelo - Janbu

| ϕ     | η' = 60° |       | η' = 75° |       | η' = 90° |        |
|-------|----------|-------|----------|-------|----------|--------|
|       | N*c      | N*q   | N*c      | N*q   | N*c      | N*q    |
| 0.00  | 5.74     | 1.00  | 5.74     | 1.00  | 5.74     | 1.00   |
| 10.00 | 5.95     | 2.05  | 7.11     | 2.25  | 8.34     | 2.47   |
| 20.00 | 9.26     | 4.37  | 11.78    | 5.29  | 14.83    | 6.40   |
| 30.00 | 19.26    | 10.05 | 21.82    | 13.60 | 30.14    | 18.40  |
| 40.00 | 30.58    | 26.66 | 48.11    | 41.37 | 75.31    | 64.20  |
| 45.00 | 46.32    | 47.32 | 78.90    | 79.90 | 133.87   | 134.87 |

Tabla N° 11: Factores de capacidad de carga

Fuente: Braja Das M., Principios de Ingeniería de Cimentaciones, 2006.

#### 9.5.3.4. Método de Coyle y Castello.

Coyle y Castello en 1981 analizaron 24 pruebas de carga en campo a gran escala de pilotes hincados en arenas. Con los resultados obtenidos, sugirieron la siguiente ecuación:

$$Q_p = q' N^*_q A_p \quad [796]$$

## 9.6. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PILOTES CON CABEZAL RIGIDO

### INTRODUCCIÓN:

Los ingenieros especialistas en el diseño de pilotes tienen la libertad de diseñar de acuerdo con sus conocimientos y experiencia, pero deben verificar que sus resultados cumplan con el reglamento de diseño.

En el diseño estructural de una cimentación debe tenerse en cuenta, en el grupo en que sean significados, los siguientes factores:

- Capacidad de carga del suelo o roca.
- Deformaciones del suelo, inmediatas y diferidas.
- Resistencia y rigidez de la estructura.
- Resistencia y rigidez de la superestructura.

Los pilotes deben ser capaces de resistir sin dañarse:

- a) El aplastamiento bajo cargas verticales
- b) El aplastamiento por impacto durante el hincado
- c) Esfuerzo durante el manejo
- d) Tensión debida a fuerzas de subpresión, bufamiento del suelo o rebote durante el hincado.
- e) Fuerzas horizontales que ocasionen flexión.
- f) Fuerzas excéntricas que causen flexión.
- g) Momentos flexionantes por curvatura
- h) Efecto de columna en los tramos sin soporte lateral del terreno en contacto con el aire, agua o lodo muy fluido.

En el diseño estructural de una cimentación puede seguirse el procedimiento básico siguiente:

- Calcúlense las fuerzas y momentos transmitidos a la cimentación por la superestructura.
- Estimar las dimensiones de la cimentación de tal manera que bajo las cargas y momentos que la estructura trasmite a la subestructura no se exceda la capacidad de carga calculada del terreno.
- Supóngase una distribución de presiones de contacto entre la subestructura y el suelo o, en caso en sistemas formado por el suelo y los pilotes, que cumpla con las siguientes condiciones:
  - Exista equilibrio local y general entre las presiones de contacto, las fuerzas internas en la subestructura y las fuerzas de momentos transmitidos a esta por la superestructura.
  - Los hundimientos diferenciales, inmediatos y diferidos.

Si no cumple alguna de las condiciones anteriores, debe suponerse otra distribución de presiones de contacto y repetirse el proceso.

Cuando los estratos superficiales del suelo de fundación no son lo suficientemente resistentes para soportar las cargas impuestas por las bases directas de la superestructura se pueden producir:

- a) Asentamientos locales excesivos e inadmisibles.
- b) Falla del suelo, al superar su capacidad portante.

Para solucionar este problema, se deben buscar estratos profundos más firmes, de modo de transmitir a ellos las cargas estuantes, mediante fundaciones indirectas o profundas, las cuales se pueden clasificar en:

- Pilotines (  $10 \text{ cm} \leq D \leq 20 \text{ cm}$  )
- **Pilotes** (  $20 \text{ cm} \leq D \leq 80 \text{ cm}$  )
- Pilas (  $80 \text{ cm} \leq D \leq 220 \text{ cm}$  )

### 9.6.1. DATOS DE ENTRADA.

#### 9.6.1.1. CAPACIDAD DE CARGA NETA Y ESFUZZOS ADMISIBLES

- $\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible del terreno
- $\gamma_s$  = Peso especifico del suelo
- $D_f$  = Profundidad de desplante
- $\gamma_c$  = Peso especifico del concreto
- $f'_c$  = Resistencia del concreto
- $f_y$  = Resistencia a la fluencia del acero
- $L$  = Longitud estimada del pilote.
- $\phi$  = Diametro del pilote
- $(b \times a)$  Dimensionamiento de la columna

| <b>CARGAS</b>                        |
|--------------------------------------|
| $P_D$ = Cargas Muerta                |
| $P_L$ = Carga Viva                   |
| $P_{\bar{E}_x}$ = Carga Sismo en X   |
| $P_{\bar{E}_y}$ = Carga Sismo en Y   |
|                                      |
| <b>MOMENTOS</b>                      |
| $M_{D_x}$ = Momento Muerta en X      |
| $M_{L_x}$ = Momento Viva en X        |
| $M_{\bar{E}_x}$ = Momento Sismo en X |
| $M_{D_y}$ = Momento Muerta en Y      |
| $M_{L_y}$ = Momento Viva en Y        |
| $M_{\bar{E}_y}$ = Momento Sismo en Y |

Tabla N° 12: Cargas y Momentos del Análisis Estructural- Pilotes

### 9.6.1.2. DIMENSIONAMIENTO DE CABEZAL

Los cabezales son elementos estructurales monolíticos de concreto, de considerable volumen y rigidez, que cumplen la función de conectar las cabezas de los pilotes, transfiriendo las cargas de la superestructura. Por tanto, los cabezales se comportan en forma similar a las zapatas aisladas tratadas en el capítulo I, con la diferencia que en los cabezales, las reacciones del suelo actúan como cargas concentradas, en el eje de los pilotes.

Las formas geométricas y las dimensiones de los cabezales quedan definidas por el número de pilotes que conectan y su separación, así como el valor adoptado de recubrimiento “r” medido desde la cara exterior de los pilotes, se adopta generalmente.

$$r \geq 10 \text{ a } 15 \text{ cm}$$

La separación “S” entre los ejes de pilotes dependerá de la forma principal de trabajo de los mismos, a continuación se muestran algunas separaciones estimadas, tanto para pilotes que trabajan por punta o por fricción.

$$S \geq \begin{cases} \varnothing + 30 \text{ (cm)} \\ (1.75 \text{ a } 3) \varnothing \text{ (cm)} \\ 75 \text{ (cm)} \end{cases}$$

Los cabezales se pueden agrupar de 2 a 15 pilotes, solamente para nuestro caso agruparemos máximo hasta 8 pilotes, No se aconseja el uso de un solo pilote por cabezal, aun cuando este arriostrado convenientemente, salvo en el caso de columnas que transmitan cargas muy livianas, cuyo eje longitudinal coincida con el del pilote.

A continuaciones mostraremos algunos cabezales rígidos unidos con pilotes, los cuales tendremos en cuenta para el diseño de los mismos.

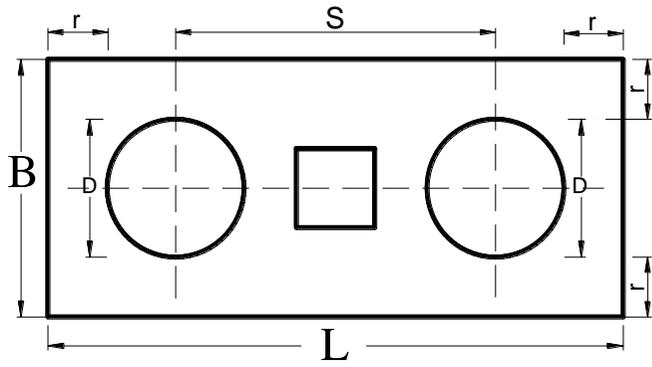


Figura N° 153: 2 Pilotes (Rectangular)

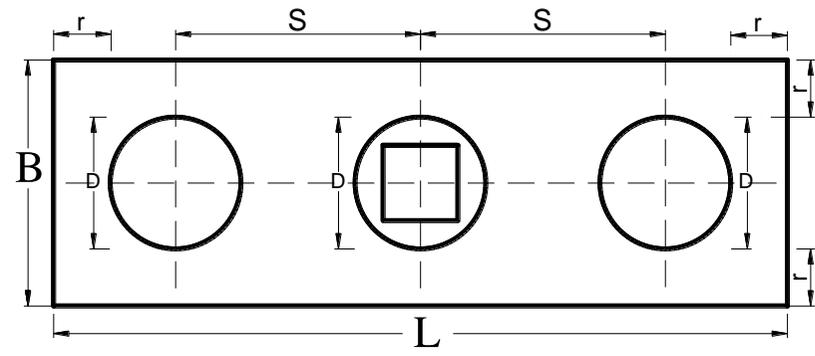


Figura N° 154: 3 Pilotes (Rectangular)

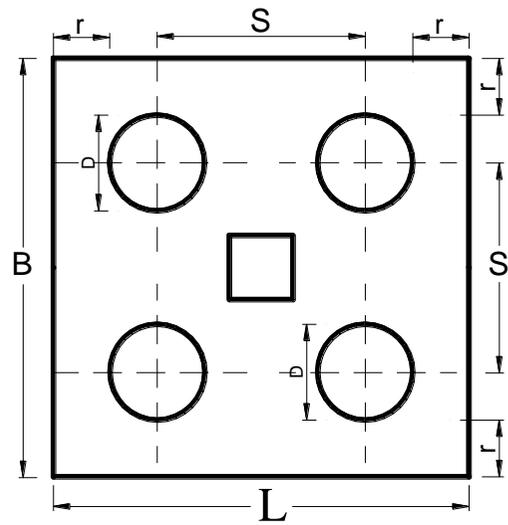


Figura N° 155: 4 Pilotes (Cuadrado)

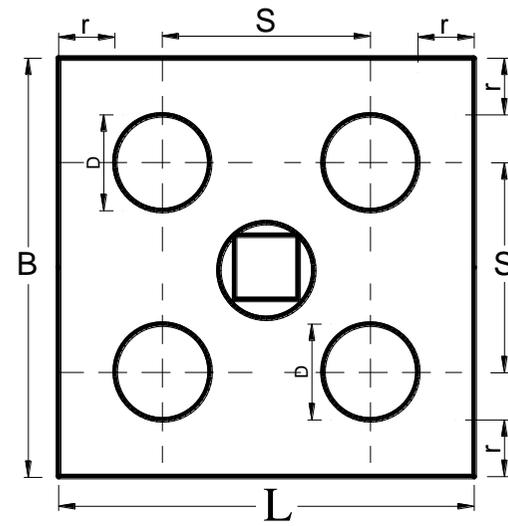


Figura N° 156: 5 Pilotes (Cuadrado)

## 9.6.2. CABEZAL RIGIDO DE DOS PILOTES

### 9.6.2.1. PROCESO

#### 9.6.2.1.1. ESFUERZO ADMISIBLE DEL TERRENO.

De acuerdo al Estudio de Mecánica de Suelos, se proporcionan los siguientes valores. La longitud estimada del pilote, dependerá de la profundidad a la que se encuentre una capacidad de carga admisible del suelo no menor de 5 Kg/cm<sup>2</sup> y la sección del pilote se propone según criterio y experiencia del estructuralista (recomendado que puede variar entre 2.5 a 3 veces el diámetro del pilote).

Para el cálculo del número de pilotes, se determinara a partir del esfuerzo admisible del terreno estimado en el estudio de mecánica de suelos.

$$\sigma_{adm} = \text{Esfuerzo admisible del terreno}$$

#### 9.6.2.1.2. DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES

##### 9.6.2.1.2.1. Combinación de Cargas de servicio.

Para el cálculo del número de pilotes a emplear, se determinara a partir de una carga máxima de servicio y un esfuerzo admisible del terreno ya calculado, luego se empleara combinaciones de carga por esfuerzos admisibles.

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L \\ P_{max} = P_D + 0.70 P_{\bar{E}_x} \\ P_{max} = 0.75P_D + 0.75P_L + 0.525 P_{\bar{E}_x} \end{cases}$$

Como no se conoce las dimensiones del cabezal se estimara en un 15% del peso propio de servicio máximo para obtener el número de pilotes.

$$N^{\circ} = \frac{1.15 P_{max}}{\sigma_{adm}} \quad [797]$$

### 9.6.2.1.2.2. Dimensiones a priori de Cabezal Rígido.

Separación de ejes entre pilotes, esto nos permitirá calcular las dimensiones a priori del cabezal rígido.

$$\text{Mayor } \begin{cases} S \geq \varnothing + 0.30 \\ S \geq (1.75 \text{ a } 3)\varnothing \\ S \geq 0.75 \end{cases} ; \quad d \geq 0.6 S$$

Luego se estimaran las dimensiones y altura del cabezal:

$$L = 2r + \varnothing + S \quad [798]$$

$$B = 2r + \varnothing \quad [799]$$

$$h = d + 0.15 \quad [800]$$

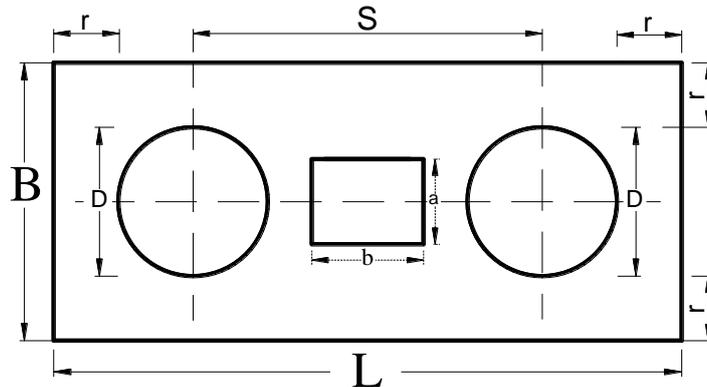


Figura N° 157: Cabezal rígido con dos pilotes

### 9.6.2.1.2.3. Cargas sobre los pilotes.

Analógicamente a los análisis de presiones realizados anteriormente para zapatas aisladas, se puede aplicar la fórmula de compresión compuesta, simplificándola para el caso de reparto puntual, con lo que la carga que recibe cada pilote es:

$$P_i = \frac{P_{max}}{N} \pm \frac{M_{x_{max}} Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_{y_{max}} X}{\sum X^2} \leq P_{adm} \quad [801]$$

Se tendrá que aumentar a la carga máxima, una carga de relleno y peso propio del cabezal, por el motivo que no se restó al esfuerzo admisible del terreno.

$$P_p = B * L * h * \gamma_c + (D_f - h) * (B * L - a * b) * \gamma_s \quad [802]$$

Se aumentara el peso de cabezal y del suelo a la carga máxima de servicio.

- Mayor  $\begin{cases} P_{max} = P_D + P_L + P_p \\ P_{max} = P_D + P_p + 0.70 P_{\bar{E}_x} \\ P_{max} = 0.75(P_D + P_p + P_L) + 0.525 P_{\bar{E}_x} \end{cases}$
- Mayor  $\begin{cases} M_{y_{max}} = M_{D_y} + M_{L_y} \\ M_{y_{max}} = M_{D_y} + 0.70 M_{E_y} \\ M_{y_{max}} = 0.75 M_{D_y} + 0.75 M_{L_y} + 0.525 M_{E_y} \end{cases}$

Solamente se consideran coordenadas en la dirección “X”, por tanto la sumatoria de coordenadas en la dirección “Y” es cero, donde quedaría la ecuación simplificada igual a:

$$P_1 = \frac{P_{max}}{N} - \frac{M_{Y_{max}}}{S} \leq P_{adm} \quad [803]$$

$$P_2 = \frac{P_{max}}{N} + \frac{M_{Y_{max}}}{S} \leq P_{adm} \quad [804]$$

#### 9.6.2.1.2.4. Combinación De Cargas Factoradas

- Mayor  $\begin{cases} P_u = 1.4(P_D + P_p) + 1.7 P_L \\ P_u = 1.25(P_D + P_p + P_L) + 0.80 P_{E_x} \\ P_u = 0.9(P_D + P_p) + 0.80 P_{E_x} \end{cases}$
- Mayor  $\begin{cases} M_{U_y} = 1.4 M_{D_y} + 1.7 M_{L_y} \\ M_{U_y} = 1.25 M_{D_y} + 1.25 M_{L_y} + 0.80 M_{E_y} \\ M_{U_y} = 0.90 M_{D_y} + 0.80 M_{E_y} \end{cases}$

$$P_{u_1} = \frac{P_u}{N} - \frac{M_{Uy}}{S} \leq P_{adm} \quad [805]$$

$$P_{u_2} = \frac{P_u}{N} + \frac{M_{Uy}}{S} \leq P_{adm} \quad [806]$$

### 9.6.2.1.3. COMPROBACIONES.

#### 9.6.2.1.3.1. Cortante como viga.

Criterio de interpretación para poder encontrar la carga ultima que llega al pilote, se tendrán los siguientes casos:

- a) **Caso 1:** La sección crítica se encuentra antes del pilote, se considera la magnitud total de la carga sobre los pilotes.

$$\left(d + \frac{b}{2}\right) < \left(\frac{s}{2} - \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [807]$$

$$P_{u_1} \text{ (Completo)}$$

$$P_{u_2} \text{ (Completo)}$$

- b) **Caso 2:** La sección crítica se encuentra dentro del pilote, se tendrá que interpolar.

$$\left(\frac{s}{2} - \frac{\emptyset}{2}\right) < \left(d + \frac{b}{2}\right) < \left(\frac{s}{2} + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [808]$$

$$P'_{u_1} = \frac{P_{u_1}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + \frac{S}{2} - \frac{b}{2} - d\right) \quad [809]$$

$$P'_{u_2} = \frac{P_{u_2}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + \frac{S}{2} - \frac{b}{2} - d\right) \quad [810]$$

- c) **Caso 3:** La sección crítica se encuentra fuera del pilote, No se considerara la acción de carga.

$$\left(d + \frac{b}{2}\right) > \left(\frac{s}{2} + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [811]$$

La verificación del comportamiento de la zapata tomada como viga se lleva a cabo a una distancia “d” de la cara de la columna.

$$P_1 = P'_{u_1} \quad \text{ò} \quad P_{u_1} \quad [812]$$

$$P_2 = P'_{u_2} \quad \text{ò} \quad P_{u_2} \quad [813]$$

Resultante de los pilotes más cargados:

$$V_u = P_1 + P_2 \quad [814]$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en la dirección larga.

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} B d \quad [815]$$

Se tiene que cumplir la condición de:

$$\phi = 0.85$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

#### 9.6.2.1.3.2. Cortante como placa.

La verificación de los esfuerzos causados por la fuerza cortante sobre la zapata considerada como losa se lleva a cabo a una distancia “d/2” de la cara de la columna.

Criterio de interpretación para poder encontrar la carga ultima que llega al pilote, se tendrán los siguientes casos:

- a) **Caso 1:** La sección crítica se encuentra antes del pilote, se considera la magnitud total de la carga sobre los pilotes.

$$\left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) < \left(\frac{s}{2} - \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [816]$$

$P_{u_1}$  (Completo)

$P_{u_2}$  (Completo)

**b) Caso 2:** La sección crítica se encuentra dentro del pilote, se tendrá que interpolar.

$$\left(\frac{s}{2} - \frac{\emptyset}{2}\right) < \left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) < \left(\frac{s}{2} + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [817]$$

$$P'_{u_1} = \frac{P_{u_1}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + \frac{s}{2} - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [818]$$

$$P'_{u_2} = \frac{P_{u_2}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + \frac{s}{2} - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [819]$$

**c) Caso 3:** La sección crítica se encuentra fuera del pilote, No se considerara la acción de carga.

$$\left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) > \left(\frac{s}{2} + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [820]$$

La verificación del comportamiento de la zapata tomada como viga se lleva a cabo a una distancia “d” de la cara de la columna.

$$P_1 = P'_{u_1} \quad \text{ò} \quad P_{u_1} \quad [821]$$

$$P_2 = P'_{u_2} \quad \text{ò} \quad P_{u_2} \quad [822]$$

Resultante de los pilotes más cargados:

$$V_u = P_1 + P_2 \quad [823]$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en el perímetro de falla (de longitud  $b_0$ ) es, de acuerdo criterio tomado en cimentaciones superficiales.

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'_c} \, b_0 \, d \quad [824]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'_c} \, b_0 \, d \quad [825]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} \, b_0 \, d \quad [826]$$

$$b_0 = 2(a + d) + 2(b + d) \quad [827]$$

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica

$$\beta = \frac{b}{a}$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$\phi = 0.85 \quad ; \quad \phi V_c \geq V_u$$

#### 9.6.2.1.3.3. Punzonamiento del pilote más cargado.

$$Mayor = P_{punz.} \begin{cases} P_{u1} \\ P_{u2} \end{cases} \quad [828]$$

Carga sobre el pilote más cargado, el único que se someterá a verificación por punzonamiento.

$$P_{punz.} = \text{Pilote mas cargado}$$

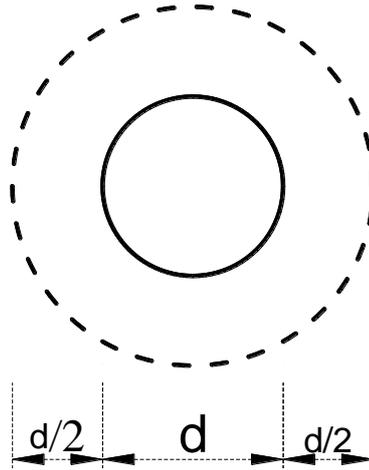


Figura N° 158: Punzonamiento en Pilotes más cargado

$$\phi = d'$$

$$b_o = 2d'\pi$$

$$V_u = P_{punz.}$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en el perímetro de falla (de longitud  $b_o$ ) es, de acuerdo criterio tomado en cimentaciones superficiales.

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} b_o d' \quad [829]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f'_c} b_o d' \quad [830]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} b_o d' \quad [831]$$

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$\beta = \frac{b}{a}$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$\phi = 0.85$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

### 9.6.3. CABEZAL RIGIDO CON TRES PILOTES.

#### 9.6.3.1. Dimensiones a priori de Cabezal Rígido.

$$S = 2.5 \varnothing \quad ; \quad d = 1.2 S \quad [832]$$

Luego se estimaran las dimensiones y altura del cabezal:

$$L = 2 r + \varnothing + 2 S \quad [833]$$

$$B = 2r + \varnothing \quad [834]$$

$$h = d + 0.15 \quad [835]$$

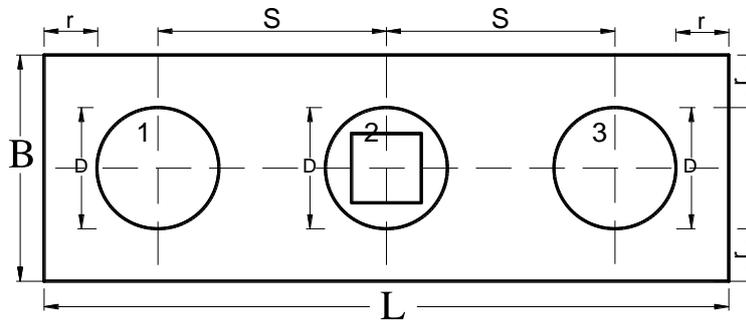


Figura N° 159: Cabezal rígido con tres pilotes

#### 9.6.3.2. Cargas sobre los pilotes.

$$P_i = \frac{P_{max}}{N} \pm \frac{M_{x_{max}} Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_{y_{max}} X}{\sum X^2} \leq P_{adm} \quad [836]$$

Peso propio del cabezal, adicional a la carga máxima.

$$P_p = B * L * h * \gamma_c + (D_f - h) * (B * L - a * b) * \gamma_s \quad [837]$$

- Mayor  $\begin{cases} P_{max} = P_D + P_L + P_p \\ P_{max} = P_D + P_p + 0.70 P_{\bar{E}_x} \\ P_{max} = 0.75(P_D + P_p + P_L) + 0.525 P_{\bar{E}_x} \end{cases}$
- Mayor  $\begin{cases} M_{y_{max}} = M_{D_y} + M_{L_y} \\ M_{y_{max}} = M_{D_y} + 0.70 M_{E_y} \\ M_{y_{max}} = 0.75 M_{D_y} + 0.75 M_{L_y} + 0.525 M_{E_y} \end{cases}$

$$P_1 = \frac{P_{max}}{N} - \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [838]$$

$$P_2 = \frac{P_{max}}{N} \leq P_{adm} \quad [839]$$

$$P_3 = \frac{P_{max}}{N} + \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [840]$$

### 9.6.3.3. Combinación De Cargas Factoradas

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} P_u = 1.4(P_D + P_p) + 1.7 P_L \\ P_u = 1.25(P_D + P_p + P_L) + 0.80 P_{E_x} \\ P_u = 0.9(P_D + P_p) + 0.80 P_{E_x} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} M_{U_Y} = 1.4 M_{D_y} + 1.7 M_{L_y} \\ M_{U_Y} = 1.25 M_{D_y} + 1.25 M_{L_y} + 0.80 M_{E_y} \\ M_{U_Y} = 0.90 M_{D_y} + 0.80 M_{E_y} \end{cases}$$

$$P_{u_1} = \frac{P_u}{N} - \frac{M_{U_Y}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [841]$$

$$P_{u_2} = \frac{P_u}{N} \leq P_{adm} \quad [842]$$

$$P_{u_3} = \frac{P_u}{N} + \frac{M_{U_Y}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [843]$$

### 9.6.3.4. Comprobaciones.

#### 9.6.3.4.1. Cortante como viga.

a) **Caso 1:** La sección crítica se encuentra antes del pilote, se considera la magnitud total de la carga sobre los pilotes.

$$\left(d + \frac{b}{2}\right) < \left(S - \frac{\phi}{2}\right) \quad [844]$$

$P_{u_1}$  (Completo)

$P_{u_2}$  (Completo)

$P_{u_3}$  (Completo)

**b) Caso 2:** La sección crítica se encuentra dentro del pilote, se tendrá que interpolar.

$$\left(S - \frac{\emptyset}{2}\right) < \left(d + \frac{b}{2}\right) < \left(S + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [845]$$

$$P'_{u_1} = \frac{P_{u_1}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - d\right) \quad [846]$$

$$P'_{u_2} = 0 \quad [847]$$

$$P'_{u_3} = \frac{P_{u_3}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - d\right) \quad [848]$$

**c) Caso 3:** La sección crítica se encuentra fuera del pilote, No se considerara la acción de carga.

$$\left(d + \frac{b}{2}\right) > \left(S + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [849]$$

Luego la verificación del comportamiento de la zapata tomada como viga se lleva a cabo a una distancia “d” de la cara de la columna.

$$P_1 = P'_{u_1} \quad \text{ò} \quad P_{u_1} \quad [850]$$

$$P_2 = P_{u_2} \quad [851]$$

$$P_3 = P'_{u_2} \quad \text{ò} \quad P_{u_2} \quad [852]$$

Resultante de los pilotes más cargados:

$$V_u = P_1 + P_2 + P_3 \quad [853]$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en la dirección larga.

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} B d \quad [854]$$

Se tiene que cumplir la condición de:

$$\emptyset = 0.85 \quad ; \quad \emptyset V_c \geq V_u$$

### 9.6.3.4.2. Cortante como placa.

a) **Caso 1:** La sección crítica se encuentra antes del pilote, se considera la magnitud total de la carga sobre los pilotes.

$$\left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) < \left(S - \frac{\phi}{2}\right) \quad [855]$$

$$P_{u_1} (\text{Completo})$$

$$P_{u_2} (\text{Completo})$$

$$P_{u_3} (\text{Completo})$$

b) **Caso 2:** La sección crítica se encuentra dentro del pilote, se tendrá que interpolar.

$$\left(S - \frac{\phi}{2}\right) < \left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) < \left(S + \frac{\phi}{2}\right) \quad [856]$$

$$P'_{u_1} = \frac{P_{u_1}}{\phi} \left(\frac{\phi}{2} + S - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [857]$$

$$P'_{u_2} = 0$$

$$P'_{u_3} = \frac{P_{u_3}}{\phi} \left(\frac{\phi}{2} + S - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [858]$$

c) **Caso 3:** La sección crítica se encuentra fuera del pilote, No se considerara la acción de carga.

$$\left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) > \left(S + \frac{\phi}{2}\right) \quad [859]$$

Luego la verificación del comportamiento de la zapata tomada como viga se lleva a cabo a una distancia “d” de la cara de la columna.

$$P_1 = P'_{u_1} \text{ ó } P_{u_1} \quad [860]$$

$$P_2 = P_{u_2} \quad [861]$$

$$P_3 = P'_{u_3} \text{ ò } P_{u_3} \quad [862]$$

Resultante de los pilotes más cargados:

$$V_u = P_1 + P_2 + P_3 \quad [863]$$

Cortante resistente:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'c} \, b_0 \, d \quad [864]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_0} + 2\right) \sqrt{f'c} \, b_0 \, d \quad [865]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} \, b_0 \, d \quad [866]$$

$$b_o = 2(a + d) + 2(b + d) \quad [867]$$

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$\beta = \frac{b}{a}$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$\phi = 0.85 \quad ; \quad \phi V_c \geq V_u$$

#### 9.6.3.4.3. Punzonamiento del pilote más cargado.

$$Mayor = P_{punz.} \begin{cases} P_{u_1} \\ P_{u_2} \\ P_{u_3} \end{cases}$$

Carga sobre el pilote más cargado, el único que se someterá a verificación por punzonamiento.

$$P_{punz.} = \text{Pilote mas cargado}$$

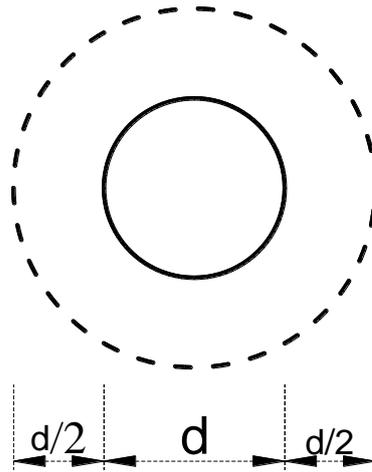


Figura N° 160: Punzonamiento en Pilotes más cargado

$$\phi = d'$$

$$b_o = 2d'\pi$$

$$V_u = P_{punz.}$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en el perímetro de falla (de longitud  $b_o$ ) es, de acuerdo criterio tomado en cimentaciones superficiales.

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'c} b_o d' \quad [868]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \sqrt{f'c} b_o d' \quad [869]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'c} b_o d' \quad [870]$$

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$\beta = \frac{b}{a}$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$\phi = 0.85$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

## 9.6.4. CABEZAL RIGIDO CON CUATRO PILOTES.

### 9.6.4.1. Dimensiones a priori de Cabezal Rígido.

$$S = 2.5 \phi \quad ; \quad d = 0.842 S$$

Luego se estimaran las dimensiones y altura del cabezal:

$$L = 2r + \phi + S$$

$$B = 2r + \phi + S$$

$$h = d + 0.15$$

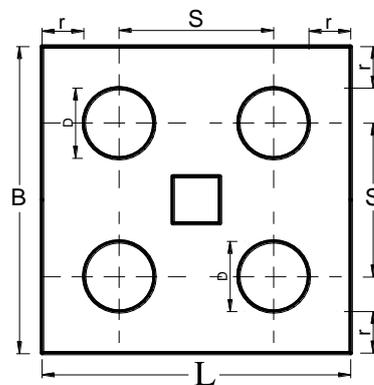


Figura N° 161: Cabezal rígido con cuatro pilotes

### 9.6.4.2. Cargas sobre los pilotes.

$$P_i = \frac{P_{max}}{N} \pm \frac{M_{xmax} Y}{\sum Y^2} \pm \frac{M_{ymax} X}{\sum X^2} \leq P_{adm} \quad [871]$$

Peso propio del cabezal, adicional a la carga máxima.

$$P_p = B * L * h * \gamma_c + (D_f - h) * (B * L - a * b) * \gamma_s \quad [872]$$

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} P_{max} = P_D + P_L + P_p \\ P_{max} = P_D + P_p + 0.70 P_{\vec{E}_x} \\ P_{max} = 0.75(P_D + P_p + P_L) + 0.525 P_{\vec{E}_x} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} M_{y_{max}} = M_{D_x} + M_{L_x} \\ M_{y_{max}} = M_{D_x} + 0.70 M_{E_x} \\ M_{y_{max}} = 0.75 M_{D_x} + 0.75 M_{L_x} + 0.525 M_{E_x} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} M_{y_{max}} = M_{D_y} + M_{L_y} \\ M_{y_{max}} = M_{D_y} + 0.70 M_{E_y} \\ M_{y_{max}} = 0.75 M_{D_y} + 0.75 M_{L_y} + 0.525 M_{E_y} \end{cases}$$

$$P_1 = \frac{P_{max}}{N} + \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} - \frac{M_{X_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [873]$$

$$P_2 = \frac{P_{max}}{N} + \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} + \frac{M_{X_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [874]$$

$$P_3 = \frac{P_{max}}{N} - \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} - \frac{M_{X_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [875]$$

$$P_4 = \frac{P_{max}}{N} - \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} + \frac{M_{X_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [876]$$

### 9.6.4.3. Combinación De Cargas Factoradas

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} P_u = 1.4(P_D + P_p) + 1.7 P_L \\ P_u = 1.25(P_D + P_p + P_L) + 0.80 P_{E_x} \\ P_u = 0.9(P_D + P_p) + 0.80 P_{E_x} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} M_{U_Y} = 1.4 M_{D_y} + 1.7 M_{L_y} \\ M_{U_Y} = 1.25 M_{D_y} + 1.25 M_{L_y} + 0.80 M_{E_y} \\ M_{U_Y} = 0.90 M_{D_y} + 0.80 M_{E_y} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ Mayor } \begin{cases} M_{U_Y} = 1.4 M_{D_y} + 1.7 M_{L_y} \\ M_{U_Y} = 1.25 M_{D_y} + 1.25 M_{L_y} + 0.80 M_{E_y} \\ M_{U_Y} = 0.90 M_{D_y} + 0.80 M_{E_y} \end{cases}$$

$$P_{u1} = \frac{P_u}{N} + \frac{M_{u_y}}{2 S} - \frac{M_{u_x}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [877]$$

$$P_{u2} = \frac{P_{max}}{N} + \frac{M_{Y_{max}}}{2 S} + \frac{M_{X_{max}}}{2 S} \leq P_{adm} \quad [878]$$

$$P_{u_3} = \frac{P_{max}}{N} - \frac{M_{Y_{max}}}{2S} - \frac{M_{X_{max}}}{2S} \leq P_{adm} \quad [879]$$

$$P_{u_4} = \frac{P_{max}}{N} - \frac{M_{Y_{max}}}{2S} + \frac{M_{X_{max}}}{2S} \leq P_{adm} \quad [880]$$

#### 9.6.4.4. Comprobaciones.

##### 9.6.4.4.1. Cortante como viga.

d) **Caso 1:** La sección crítica se encuentra antes del pilote, se considera la magnitud total de la carga sobre los pilotes.

$$\left(d + \frac{b}{2}\right) < \left(S - \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [881]$$

$P_{u_1}$  (Completo)

$P_{u_2}$  (Completo)

$P_{u_3}$  (Completo)

$P_{u_4}$  (Completo)

e) **Caso 2:** La sección crítica se encuentra dentro del pilote, se tendrá que interpolar.

$$\left(S - \frac{\emptyset}{2}\right) < \left(d + \frac{b}{2}\right) < \left(S + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [882]$$

$$P'_{u_1} = \frac{P_{u_1}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - d\right) \quad [883]$$

$$P'_{u_2} = \frac{P_{u_2}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - d\right) \quad [884]$$

$$P'_{u_3} = \frac{P_{u_3}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - d\right) \quad [885]$$

$$P'_{u_4} = \frac{P_{u_4}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - d\right) \quad [886]$$

f) **Caso 3:** La sección crítica se encuentra fuera del pilote, No se considerara la acción de carga.

$$\left(d + \frac{b}{2}\right) > \left(S + \frac{\phi}{2}\right) \quad [887]$$

Luego la verificación del comportamiento de la zapata tomada como viga se lleva a cabo a una distancia “d” de la cara de la columna.

$$P_1 = P'_{u_1} \quad \text{ò} \quad P_{u_1} \quad [888]$$

$$P_2 = P'_{u_2} \quad \text{ò} \quad P_{u_2} \quad [889]$$

$$P_3 = P'_{u_3} \quad \text{ò} \quad P_{u_3} \quad [890]$$

$$P_4 = P'_{u_4} \quad \text{ò} \quad P_{u_4} \quad [891]$$

Resultante de los pilotes más cargados:

$$V_u = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad [892]$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en la dirección larga.

$$V_c = 0.53\sqrt{f'_c} B d \quad [893]$$

Se tiene que cumplir la condición de:

$$\phi = 0.85 \quad ; \quad \phi V_c \geq V_u$$

#### 9.6.4.4.2. Cortante como placa.

**d) Caso 1:** La sección crítica se encuentra antes del pilote, se considera la magnitud total de la carga sobre los pilotes.

$$\left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) < \left(S - \frac{\phi}{2}\right) \quad [894]$$

$$P_{u_1} (\text{Completo})$$

$$P_{u_2} (\text{Completo})$$

$$P_{u_3} \text{ (Completo)}$$

$$P_{u_4} \text{ (Completo)}$$

- e) **Caso 2:** La sección crítica se encuentra dentro del pilote, se tendrá que interpolar.

$$\left(S - \frac{\emptyset}{2}\right) < \left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) < \left(S + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [895]$$

$$P'_{u_1} = \frac{P_{u_1}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [896]$$

$$P'_{u_2} = \frac{P_{u_2}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [897]$$

$$P'_{u_3} = \frac{P_{u_3}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [898]$$

$$P'_{u_4} = \frac{P_{u_4}}{\emptyset} \left(\frac{\emptyset}{2} + S - \frac{b}{2} - \frac{d}{2}\right) \quad [899]$$

- f) **Caso 3:** La sección crítica se encuentra fuera del pilote, No se considerara la acción de carga.

$$\left(\frac{d}{2} + \frac{b}{2}\right) > \left(S + \frac{\emptyset}{2}\right) \quad [900]$$

Luego la verificación del comportamiento de la zapata tomada como viga se lleva a cabo a una distancia “d” de la cara de la columna.

$$P_1 = P'_{u_1} \quad \text{ò} \quad P_{u_1} \quad [901]$$

$$P_2 = P_{u_2} \quad \text{ò} \quad P_{u_2} \quad [902]$$

$$P_3 = P'_{u_3} \quad \text{ò} \quad P_{u_3} \quad [903]$$

$$P_4 = P'_{u_4} \quad \text{ò} \quad P_{u_4} \quad [904]$$

Resultante de los pilotes más cargados:

$$V_u = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad [905]$$

Cortante resistente:

$$a) \quad V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\beta} \right) \sqrt{f'_c} \, b_0 \, d \quad [906]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left( \frac{\alpha_s d}{b_0} + 2 \right) \sqrt{f'_c} \, b_0 \, d \quad [907]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} \, b_0 \, d \quad [908]$$

$$b_0 = 2(a + d) + 2(b + d) \quad [909]$$

$b_0$  = Perímetro de la sección crítica

$$\beta = \frac{b}{a}$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$\phi = 0.85 \quad ; \quad \phi V_c \geq V_u$$

#### 9.6.4.4.3. Punzonamiento del pilote más cargado.

$$Mayor = P_{punz.} \begin{cases} P_{u1} \\ P_{u2} \\ P_{u3} \\ P_{u4} \end{cases}$$

Carga sobre el pilote más cargado, el único que se someterá a verificación por punzonamiento.

$$P_{punz.} = \text{Pilote mas cargado}$$

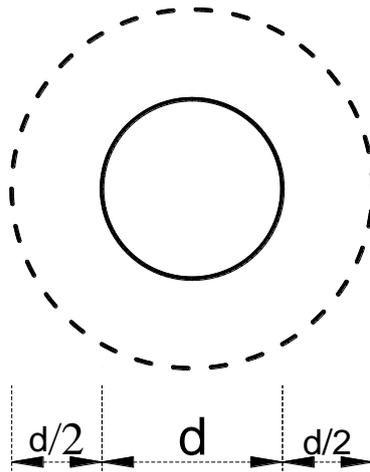


Figura N° 162: Punzonamiento en Pilotes más cargado

$$\phi = d'$$

$$b_o = 2d'\pi$$

$$V_u = P_{punz.}$$

El esfuerzo cortante máximo que resiste el concreto en el perímetro de falla (de longitud  $b_o$ ) es, de acuerdo criterio tomado en cimentaciones superficiales.

$$a) \quad V_c = 0.53 \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \sqrt{f'_c} b_o d' \quad [910]$$

$$b) \quad V_c = 0.27 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2\right) \sqrt{f'_c} b_o d' \quad [911]$$

$$c) \quad V_c = 1.06 \sqrt{f'_c} b_o d' \quad [912]$$

$b_o$  = Perímetro de la sección crítica

$$\beta = \frac{b}{a}$$

$\alpha_o$  = Parámetro igual a 40 para aquellas columnas en que la sección crítica de punzonamiento tiene 4 lados.

Comprobar que:

$$\phi = 0.85$$

$$\phi V_c \geq V_u$$

## CONCLUSIONES

- FONDAZIONI 1.0 (DISEÑO DE CIMENTACIONES) es una herramienta software que permite el análisis y diseño de cimentaciones superficiales tales como zapatas centrales, excéntrica, esquinada, combinada, conectada con viga rígida y pilotes con cabezales rígidos
- FONDAZIONI 1.0 permite a sus usuarios determinar de forma automática, el acero longitudinal, y transversal en cualquier sección de vigas y zapatas, teniendo en cuenta que se cumplan los requisitos del reglamento Nacional de Edificaciones
- El programa calcula un peralte (d) inicial en base a la cuantía mínima para las zapatas aisladas, combinadas y conectadas; este valor es bastante conservador para las verificaciones posteriores, pero el programa FONDAZIONI 1.0 calculara un “d” automático en base al inicial, siempre y cuando no cumplan con las verificaciones por punzonamiento y Cortante.
- En el cálculo de las dimensiones de las zapatas aisladas, combinadas y conectadas; el algoritmo desarrollado nos permite encontrar las dimensiones más económicas debido a que realiza una iteración variando en  $\pm 0.1\%$  de dichas dimensiones hasta cumplir todas las verificaciones
- En el análisis de pilotes con cabezales rígidos hemos considerado solamente verificaciones.
- El programa tiene los siguientes datos de entrada: Esfuerzo admisible del terreno, sobre carga, profundidad de desplante, peso específico promedio, resistencia a la fluencia del acero, resistencia a la compresión del concreto, dimensiones de columna, cargas y momentos provenientes del análisis estructural, módulo de balastro, coeficiente de rozamiento, Inercia de columna, módulo de elasticidad del Concreto, longitud de entrepiso, longitud entre eje de cargas, dimensiones de acero comercial, coeficiente de seguridad. Las variables de salida son: área de acero, peralte, dimensiones de zapata, distribución y cantidad de refuerzo.
- El programa se ha validado comparando diferentes casos resueltos analíticamente y en la bibliografía que se hace referencia en esta investigación.
- En el proceso de diseño de las cimentaciones se ha considerado el criterio de que éstas son rígidas con una distribución de presiones lineal y están apoyadas sobre un suelo flexible, recomendamos para posteriores investigaciones considerar una distribución de presiones no lineales y cimentaciones no rígidas.

## RECOMENDACIONES

- Para posteriores investigaciones recomendamos que en el análisis de cimentaciones consideren la interacción suelo estructura, y que se verifiquen los asentamientos diferenciales y permisibles.
- Para tesis similares se recomienda establecer variables de salida y entrada homogenizadas y generalizadas para mantener el sistema del programa versátil y el análisis sea más rápido.
- Para implementar el programa y realizar el análisis de diseño de cimentaciones superficiales isostáticas se recomienda revisar los criterios, funciones y algoritmos con los que se ha hecho la programación; estos parámetros están detallados ampliamente en el presente trabajo de investigación.
- Se recomienda realizar una investigación de cimentaciones profundas en base al método de Puntal y Tirante para el diseño de pilotes.
- En las investigaciones siguientes se recomienda exportar los planos a detalle de todos los tipos de cimentaciones superficiales y pilotes.
- Antes de instalar el programa FONDAZIONI 1.0, para un correcto funcionamiento del mismo, debemos tener en cuenta los siguiente:

### Requerimientos del Sistema:

- Resolución mínima de 1,024 x 768 pixeles
  - Copiar e instalar los fonts greekc y greekcs en la carpeta \Windows\Fonts
  - Instalar el programa en el Directorio c: FONDAZIONI 1.0.
- Aumentar el software para los diferentes tipos de cimentaciones en próximas tesis, FUNDAZIONI 1.0 es el primer paso para poder obtener un software completo que permita resolver todo tipo de cimentaciones, y sea zapata con tirante, zapatas para estribos, emparrillados de cimentación, losas, etc.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ARTHUR H. Nilson. *Diseño de Estructuras de Concreto*. Duodécima edición, Bogota, 2001.
- BRAJA M. DAS, *Principios de Ingenieria de Cimentaciones*. Cuarta Edicion, California, 1999.
- CALAVERA R. Jose, *Calculo de Estructuras de Cimentacion*. Cuarta edicion, España, 1982.
- CALAVERA R. Jose, *Manual de Detalles Constructivos en Obras de Hormigon Armado*. España 1993.
- RNE: REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES. Lima 2006.
- BOWLES, Joseph E. *Foundation Analysis and Desing*, Toronro: The Mc Graw Hill Companies. Inc.
- A. L. LITTLE. *Cimentaciones*, Primera Edicion en español, Mexico 1965.
- ALVA H, Jorge E. *Diseño de Cimentaciones*, Fondo Editorial ICG.
- ZEEVAERT W. Leonardo. *Interaccion. Suelo – Estructura de cimentación*. Editorial LIMUSA, S.A. 1980.
- BLANCO, A. (1991). *Estructuración y diseño de edificaciones de Concreto Armado*. Lima
- ORTEGA G. Juan. *Análisis de Estructuras de Concreto Armado*, Septiembre de 1990.
- VARGAS M. Delgado. *Ingenieria de Cimentaciones*, Segunda Edicion, Editorial Alfa-omega. Colombia 1999.
- MORALES M. Roberto, *Diseño de concreto armado*.

## ANEXOS A

### DESARROLLO DEL PROGRAMA FONDAZIONI 1.0.

nació en el año 1964 como una herramienta destinado a principiantes, buscando una forma sencilla de realizar programas, empleando un lenguaje casi igual al usado en la vida ordinaria ( en inglés), y con instrucciones muy sencillas y escasas. Teniendo en cuenta el año de su nacimiento, este lenguaje cubría casi todas las necesidades para la ejecución de programas. Téngase en cuenta que las máquinas existentes en aquella poca estaban estrenando los transistores como elementos de conmutación, los ciclos de trabajo llegaban a la impensable cifra de 10.000 por segundo y la memoria no pasaba de unos pocos k's en toroides de ferrita.

La evolución del BASIC por los años 70 fue escasa, dado el auge que tomaron en aquella época lenguajes de alto nivel como el FORTRAN y el COBOL. En 1978 se definió una norma para unificar los Basics existentes creándose la normativa BASIC STANDARD Con la aparición de los primeros ordenadores personales, dedicados comercialmente al usuario particular, allá por la primera mitad de los ochenta, el BASIC resurgió como lenguaje de programación pensado para principiantes, y muchos de estos pequeños ordenadores domésticos lo usaban como único sistema operativo (Sinclair, Spectrum, Amstrad)

Con la popularización del PC, salieron varias versiones del BASIC que funcionaban en este tipo de ordenadores (Versiones BASICA, GW-BASIC), pero todas estas versiones del BASIC no hicieron otra cosa que terminar de rematar este lenguaje. Los programadores profesionales no llegaron a utilizarlo, habida cuenta de las desventajas de este lenguaje respecto a otras herramientas (PASCAL, C, CLIPPER). El BASIC con estas versiones para PC llegó incluso a perder crédito entre los profesionales de la informática.

Las razones para ello eran obvias

- No era un lenguaje estructurado.
- No existían herramientas de compilación fiables.
- No disponía de herramientas de intercambio de información.
- No tenía librerías.
- No se podía acceder al interior de la máquina.
- Una gran cantidad de desventajas respecto a otros lenguajes de programación.

Tal fue ese abandono por parte de los usuarios, que la aparición del Quick-BASIC de Microsoft, una versión ya potente del BASIC, que corregía casi todos los defectos de las versiones pasó prácticamente inadvertida, a no ser porque las últimas versiones del sistema operativo MS-DOS incluían una versión de Quick-BASIC algo recortada (QBasic).

Como un producto más dentro de la amplia gama de ficheros ejecutables que acompañan al sistema operativo, y aprovecha de él el editor de textos (Cada vez que se llama al EDIT estamos corriendo el editor del Q-Basic).

Esta versión del popular BASIC ya es un lenguaje estructurado, lo que permite crear programas modularmente, mediante subrutinas y módulos, capaz de crear programas ya competitivos con otros lenguajes de alto nivel. Sin embargo llegaba tarde, pues los entornos MS-DOS estaban ya superados por el entorno gráfico Windows.

Sin embargo algo había en el BASIC que tentaba a superarse: su gran sencillez de manejo. Si a esto se le añade el entorno gráfico Windows, el aprovechamiento al máximo de las posibilidades de Windows en cuanto a intercambio de información, de sus librerías, de sus drivers y controladores, manejo de bases de datos, etc. el producto resultante puede ser algo que satisfaga todas las necesidades de programación en el entorno Windows. La suma de todas estas cosas es VISUAL - BASIC. Esta herramienta conserva del BASIC de los años 80 únicamente su nombre y su sencillez, y tras su lanzamiento al mercado, la aceptación a nivel profesional hizo borrar por fin el "mal nombre" asociado a la palabra BASIC.

Actualmente se está comercializando la versión 6.0 de este producto. Desde su salida al mercado, cada versión supera y mejora la anterior. Dados los buenos resultados a nivel profesional de este producto, y el apoyo prestado por el fabricante para la formación de programadores, Visual-Basic se ha convertido en la primera herramienta de desarrollo de aplicaciones en entorno Windows.

Es obligado decir sin embargo, que sigue siendo BASIC. No se pueden comparar sus prestaciones con otros lenguajes cuando deseamos llegar al fondo de la máquina y controlar uno a uno sus registros. No es ese el fin perseguido con VB y si es necesario llegar a esas precisiones será necesario utilizar otro lenguaje que permita bajar el nivel de programación. (Visual-C). o realizar librerías (DLLs) que lo hagan. En la mayor

parte de las aplicaciones, las herramientas aportadas por VB son más que suficiente para lograr un programa fácil de realizar y de altas prestaciones.

### **Características Generales de Visual-Basic**

Visual-Basic es una herramienta de diseño de aplicaciones para Windows, en la que estas se desarrollan en una gran parte a partir del diseño de una interface gráfica. En una aplicación Visual - Basic, el programa está formado por una parte de código puro, y otras partes asociadas a los objetos que forman la interface gráfica. Es por tanto un término medio entre la programación tradicional, formada por una sucesión lineal de código estructurado, y la programación orientada a objetos. Combina ambas tendencias. Ya que no podemos decir que VB pertenezca por completo a uno de esos dos tipos de programación, debemos inventar una palabra que la defina:

### **PROGRAMACION VISUAL.**

La creación de un programa bajo Visual Basic lleva los siguientes pasos:

- Creación de un interface de usuario. Este interface será la principal vía de comunicación hombre máquina, tanto para salida de datos como para entrada. Será necesario partir de una ventana - Formulario - a la que le iremos añadiendo los controles necesarios.

- Definición de las propiedades de los controles - Objetos - que hayamos colocado en ese formulario. Estas propiedades determinarán la forma estática de los controles, es decir, como son los controles y para qué sirven.

- Generación del código asociado a los eventos que ocurran a estos objetos. A la respuesta a estos eventos (click, doble click, una tecla pulsada, etc.) le llamamos

Procedimiento, y deberá generarse de acuerdo a las necesidades del programa.

- Generación del código del programa. Un programa puede hacerse solamente con la programación de los distintos procedimientos que acompañan a cada objeto. Sin embargo, VB ofrece la posibilidad de establecer un código de programa separado de estos eventos. Este código puede introducirse en unos bloques llamados Módulos, en otros bloques llamados Funciones, y otros llamados Procedimientos.

## Formulario Principal

```
Imports System.Windows.Forms

Public Class MDIPrincipal

    Private Sub MDIPrincipal_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        tsbCancelModel.Visible = False
        Fondo.MdiParent = Me
        Fondo.Show()
    End Sub

    Public Sub tsbNewModel_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles tsbNewModel.Click
        NuevoModeloToolStripMenuItem.Enabled = False
        tsbNewModel.Enabled = False
        AbrirModeloToolStripMenuItem.Enabled = False
        tsbOpenModel.Enabled = False
        tsbCancelModel.Visible = True
        frmModelos.MdiParent = Me
        frmModelos.Show()
    End Sub

    Private Sub tsbOpenModel_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles tsbOpenModel.Click

    End Sub

    Private Sub tsbCancelModel_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles tsbCancelModel.Click
        frmModelos.Close()
        NuevoModeloToolStripMenuItem.Enabled = True
        tsbNewModel.Enabled = True
        AbrirModeloToolStripMenuItem.Enabled = True
        tsbOpenModel.Enabled = True
        tsbCancelModel.Visible = False
    End Sub
End Class
```

## Formulario Modelos

```
Public Class frmModelos
    Inherits System.Windows.Forms.Form

    Private Sub FormModelos_Disposed(ByVal sender As Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Me.Disposed
        If Paso = 1 Then
            MDIPrincipal.NuevoModeloToolStripMenuItem.Enabled = False
            MDIPrincipal.tsbNewModel.Enabled = False
            MDIPrincipal.AbrirModeloToolStripMenuItem.Enabled = False
            MDIPrincipal.tsbOpenModel.Enabled = False
        ElseIf Paso = 0 Then
            MDIPrincipal.NuevoModeloToolStripMenuItem.Enabled = True
            MDIPrincipal.tsbNewModel.Enabled = True
            MDIPrincipal.AbrirModeloToolStripMenuItem.Enabled = True
            MDIPrincipal.tsbOpenModel.Enabled = True
        End If
    End Sub
End Class
```

```

End Sub

Private Sub FormModelos_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    Paso = 0
End Sub

Private Sub btnZcorr_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnZcorr.Click
    Paso = 1
    Me.Hide()
    frmZcorr.MdiParent = MDIPrincipal
    frmZcorr.Show()
    MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = False
End Sub

Private Sub btnZaislada_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnZaislada.Click
    Paso = 1
    Me.Hide()
    frmZAislada.MdiParent = MDIPrincipal
    frmZAislada.Show()
    MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = False
End Sub

Private Sub btnZCombin_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnZCombin.Click
    Paso = 1
    Me.Hide()
    frmZCombinada.MdiParent = MDIPrincipal
    frmZCombinada.Show()
    MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = False
End Sub

Private Sub btnZConec_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnZConec.Click
    Paso = 1
    Me.Hide()
    frmZConectada.MdiParent = MDIPrincipal
    frmZConectada.Show()
    MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = False
End Sub

Private Sub btnPilotes_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnPilotes.Click
    Paso = 1
    Me.Hide()
    frmPilotes.MdiParent = MDIPrincipal
    frmPilotes.Show()
    MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = False
End Sub
End Class

```

### Formulario Datos de Ingreso Zapata Corrida

```

Public Class frmZcorr
    Private Sub btnNext_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnNext.Click
        SAdm = Val(txtEsfuerzo.Text) * 10000
    End Sub
End Class

```

```

Densidad = Val(txtDensidad.Text)
Df = Val(txtProfundidad.Text)
SC = Val(txtSobrecarga.Text)
WD = Val(txtCargaMuerta.Text)
WL = Val(txtCargaViva.Text)
fy = Val(txtEsfAcero.Text) * 10000
fc = Val(txtResConcreto.Text) * 10000
bm = Val(txtAnchoMuro.Text) / 100
r = Val(txtRecubre.Text) / 100
Me.Hide()
frmZCorrVer.MdiParent = MDIPrincipal
frmZCorrVer.Show()
End Sub

Private Sub btnBack_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnBack.Click
Me.Close()
Timer1.Enabled = False
frmModelos.Show()
MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = True
End Sub

Private Sub FormZcorr_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
Timer1.Enabled = True
btnNext.Enabled = False
txtResConcreto.Text = 210
txtEsfAcero.Text = 4200

End Sub

Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
If Len(txtEsfuerzo.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtDensidad.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtProfundidad.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtSobrecarga.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtCargaMuerta.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtCargaViva.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtEsfAcero.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtResConcreto.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(cmbDiamBar.Text) = 0 Then
btnNext.Enabled = False
Exit Sub
ElseIf Len(txtRecubre.Text) = 0 Then

```

```

        btnNext.Enabled = False
    Exit Sub
ElseIf Len(txtAnchoMuro.Text) = 0 Then
    btnNext.Enabled = False
    Exit Sub
Else
    btnNext.Enabled = True
End If

End Sub

Private Sub txtEsfuerzo_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e
As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles
txtEsfuerzo.KeyPress, txtDensidad.KeyPress, txtProfundidad.KeyPress,
txtSobrecarga.KeyPress
    If Char.IsNumber(e.KeyChar) Then
        e.Handled = False
    ElseIf Char.IsControl(e.KeyChar) Then
        e.Handled = False
    ElseIf Char.IsPunctuation(e.KeyChar) Then
        If e.KeyChar = "." Then
            e.Handled = False
        Else
            e.Handled = True
        End If
    Else
        e.Handled = True
    End If

    If e.KeyChar = ChrW(Keys.Enter) Then
        e.Handled = True
        SendKeys.Send("{TAB}")
    End If
End Sub

Private Sub txtCargaMuerta_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal
e As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles
txtCargaMuerta.KeyPress, txtCargaViva.KeyPress
    If Char.IsNumber(e.KeyChar) Then
        e.Handled = False
    ElseIf Char.IsControl(e.KeyChar) Then
        e.Handled = False
    ElseIf Char.IsPunctuation(e.KeyChar) Then
        If e.KeyChar = "." Then
            e.Handled = False
        Else
            e.Handled = True
        End If
    Else
        e.Handled = True
    End If

    If e.KeyChar = ChrW(Keys.Enter) Then
        e.Handled = True
        SendKeys.Send("{TAB}")
    End If
End Sub

Private Sub txtEsfAcero_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e
As System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles
txtEsfAcero.KeyPress, txtResConcreto.KeyPress

```

```

If Char.IsNumber(e.KeyChar) Then
    e.Handled = False
ElseIf Char.IsControl(e.KeyChar) Then
    e.Handled = False
ElseIf Char.IsPunctuation(e.KeyChar) Then
    If e.KeyChar = "." Then
        e.Handled = False
    Else
        e.Handled = True
    End If
Else
    e.Handled = True
End If

If e.KeyChar = ChrW(Keys.Enter) Then
    e.Handled = True
    SendKeys.Send("{TAB}")
End If
End Sub

```

```

Private Sub txtRecubre_KeyPress(ByVal sender As Object, ByVal e As
System.Windows.Forms.KeyPressEventArgs) Handles txtRecubre.KeyPress,
txtAnchoMuro.KeyPress

```

```

    If Char.IsNumber(e.KeyChar) Then
        e.Handled = False
    ElseIf Char.IsControl(e.KeyChar) Then
        e.Handled = False
    ElseIf Char.IsPunctuation(e.KeyChar) Then
        If e.KeyChar = "." Then
            e.Handled = False
        Else
            e.Handled = True
        End If
    Else
        e.Handled = True
    End If

    If e.KeyChar = ChrW(Keys.Enter) Then
        e.Handled = True
        SendKeys.Send("{TAB}")
    End If
End Sub

```

```

Private Sub cmbDiamBar_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbDiamBar.SelectedIndexChanged

```

```

    If cmbDiamBar.Text = "1/4'" Then
        db = 0.00638
        Ab = 0.32
    ElseIf cmbDiamBar.Text = "3/8'" Then
        db = 0.00951
        Ab = 0.71
    ElseIf cmbDiamBar.Text = "1/2'" Then
        db = 0.01272
        Ab = 1.27
    ElseIf cmbDiamBar.Text = "5/8'" Then
        db = 0.01588
        Ab = 1.98
    ElseIf cmbDiamBar.Text = "3/4'" Then
        db = 0.01905
        Ab = 2.85
    End If

```

```

        Else
            db = 0.02541
            Ab = 2.07
        End If

    End Sub
End Class

```

### **Formulario Resultados Zapata Corrida**

```

Public Class frmZCorrVer
    Private Sub frmZCorrVer_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Sneto = SAdm - SC - Densidad * Df
        WT = WD + WL
        Breq = WT / Sneto
        Wu = 1.4 * WD + 1.7 * WL
        txtWu.Text = Format(Wu, "0.00")
        Timer1.Enabled = True
    End Sub

    Private Sub btnBack_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnBack.Click
        Me.Close()
        frmZcorr.Show()
        MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = True
    End Sub

    Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
        Sult = Wu / Breq
        If Sult >= Sneto Then
            Breq = Breq + 0.01
            Timer1.Enabled = True
        Else
            Lv = (Breq - bm) / 2
            d = Lv / 2
            txtLv.Text = Format(Lv, "0.00")
            Timer1.Enabled = False
            Timer2.Enabled = True
        End If
    End Sub

    Private Sub Timer2_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Timer2.Tick
        Vu = Sult * (Lv + bm / 4 - d)
        Vc = 0.53 * Math.Sqrt(fc) * d
        If 0.85 * Vc < Vu Then
            d = d + 0.01
            Timer2.Enabled = True
        Else
            hz = d + r + db
            txtBreq.Text = Format(Breq, "0.00")
            txtd.Text = Format(d, "0.00")
            txthz.Text = Format(hz, "0.00")
            txtEsfUlt.Text = Format(Sult, "0.00")
            txtEsfNeto.Text = Format(Sneto, "0.00")
        End If
    End Sub
End Class

```

```

        txtVu.Text = Format(Vu, "0.00")
        txtVc.Text = Format(0.85 * Vc, "0.00")
        Mu = Sult * Math.Pow((Lv + bm / 4), 2) / 2
        txtMu.Text = Format(Mu, "0.00")
        Aas = 0.5 * (d - Math.Sqrt(d * d - 4 * Mu / (1.7 * 0.9 *
Breq * fc))) / (fy / (1.7 * Breq * fc))
        Amin = 0.25 * Math.Sqrt(fc) * Breq * d / fy
        Ass = Math.Max(Aas, Amin) * 10000
        txtAs.Text = Format(Ass, "0.00")
        nb = Math.Truncate(Ass / Ab) + 1
        If nb > 1 Then
            sep = Math.Round(100 * (Breq - r - db) / (nb - 1))
            If sep < 2.54 Then
                sep = 3
            End If
            If sep > 45 Then
                sep = 45
            End If
        Else
            sep = 0
        End If
        lblRef.Text = nb & " " & frmZcorr.cmbDiamBar.Text & "@" &
sep & "cm"
        Timer2.Enabled = False
    End If

End Sub

End Class

```

### **Formulario Datos Entrada Zapata Aislada**

```
Public Class frmZAislada
```

```

    Private Sub cmbTipoZ_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbTipoZ.SelectedIndexChanged
        GroupBox1.Visible = False
        GroupBox2.Visible = False
        GroupBox3.Visible = False
        GroupBox4.Visible = False
        GroupBox5.Visible = False
        GroupBox6.Visible = False
        PictureBox1.Visible = False
        lblC.Visible = True
        cmbTipoC.Visible = True
        If cmbTipoZ.Text = "Central" Then
            cmbTipoC.Items.Clear()
            cmbTipoC.Items.Add("Rectangular")
            cmbTipoC.Items.Add("T")
            cmbTipoC.Items.Add("L")
            cmbTipoC.Items.Add("Circular")
            cmbTipoC.Text = ""
            TipoZ = "Central"
        ElseIf cmbTipoZ.Text = "Medianera" Then
            cmbTipoC.Items.Clear()
            cmbTipoC.Items.Add("Rectangular")

```

```

        cmbTipoC.Items.Add("T")
        cmbTipoC.Text = ""
        TipoZ = "Medianera"
    Else
        cmbTipoC.Items.Clear()
        cmbTipoC.Items.Add("Rectangular")
        cmbTipoC.Items.Add("L")
        cmbTipoC.Text = ""
        TipoZ = "Esquinada"
    End If
End Sub

Private Sub frmZAislada_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal
e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    GroupBox1.Visible = False
    GroupBox2.Visible = False
    GroupBox3.Visible = False
    GroupBox4.Visible = False
    GroupBox5.Visible = False
    GroupBox6.Visible = False
    Timer1.Enabled = True
    lblC.Visible = False
    cmbTipoC.Visible = False
    'btnNext.Enabled = False
    txtfc.Text = 210
    txtfy.Text = 4200
End Sub

Private Sub cmbTipoC_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbTipoC.SelectedIndexChanged
    If cmbTipoZ.Text = "Central" Then
        GroupBox6.Visible = False
    Else
        GroupBox6.Visible = True
    End If
    GroupBox1.Visible = True
    GroupBox2.Visible = True
    GroupBox3.Visible = True
    GroupBox4.Visible = True
    GroupBox5.Visible = True
    PictureBox1.Visible = True
    If cmbTipoC.Text = "T" Then
        If cmbTipoZ.Text = "Medianera" Then
            PictureBox2.Image = ImageList2.Images(4)
        Else
            PictureBox2.Image = ImageList2.Images(0)
        End If
        TipoC = "T"
        PictureBox1.Image = ImageList1.Images(0)
        lbla.Visible = True
        lblb.Visible = True
        lblau.Visible = True
        lblbu.Visible = True
        lblTw1.Visible = True
        lblTz1.Visible = True
        lblTw2.Visible = True
        lblTz2.Visible = True
        lblTwu.Visible = True
        lblTzu.Visible = True
        txta.Visible = True

```

```

    txtb.Visible = True
    txtTw.Visible = True
    txtTz.Visible = True
ElseIf cmbTipoC.Text = "L" Then
    If cmbTipoZ.Text = "Esquinada" Then
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(1)
    Else
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(0)
    End If
    TipoC = "L"
    PictureBox1.Image = ImageList1.Images(1)
    lbla.Visible = True
    lblb.Visible = True
    lblau.Visible = True
    lblbu.Visible = True
    lblTw1.Visible = True
    lblTz1.Visible = True
    lblTw2.Visible = True
    lblTz2.Visible = True
    lblTwu.Visible = True
    lblTzu.Visible = True
    txta.Visible = True
    txtb.Visible = True
    txtTw.Visible = True
    txtTz.Visible = True
ElseIf cmbTipoC.Text = "Circular" Then
    TipoC = "Circular"
    PictureBox1.Image = ImageList1.Images(2)
    lbla.Text = "d"
    lbla.Visible = True
    lblau.Visible = True
    lblb.Visible = False
    lblbu.Visible = False
    lblTw1.Visible = False
    lblTw2.Visible = False
    lblTz1.Visible = False
    lblTz2.Visible = False
    lblTwu.Visible = False
    lblTzu.Visible = False
    txta.Visible = True
    txtb.Visible = False
    txtTw.Visible = False
    txtTz.Visible = False
Else
    TipoC = "Rectangular"
    If cmbTipoZ.Text = "Esquinada" Then
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(2)
    ElseIf cmbTipoZ.Text = "Medianera" Then
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(3)
    Else
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(0)
    End If
    PictureBox1.Image = ImageList1.Images(3)
    If cmbTipoZ.Text = "Central" Then
        lblKc1.Visible = False
        lblKc2.Visible = False
        lblKc3.Visible = False
        txtKc.Visible = False
        lblCs1.Visible = False
        lblCs2.Visible = False
        lblCs3.Visible = False
    End If

```

```

        txtCs.Visible = False
        lblu1.Visible = False
        lblu2.Visible = False
        txtu.Visible = False
    Else
        lblKc1.Visible = True
        lblKc2.Visible = True
        lblKc3.Visible = True
        txtKc.Visible = True
        lblCs1.Visible = True
        lblCs2.Visible = True
        lblCs3.Visible = True
        txtCs.Visible = True
        lblu1.Visible = True
        lblu2.Visible = True
        txtu.Visible = True
    End If
    lbla.Text = "a"
    lbla.Visible = True
    lblb.Visible = True
    lblau.Visible = True
    lblbu.Visible = True
    lblTw1.Visible = False
    lblTw2.Visible = False
    lblTz1.Visible = False
    lblTz2.Visible = False
    lblTwu.Visible = False
    lblTzu.Visible = False
    txta.Visible = True
    txtb.Visible = True
    txtTw.Visible = False
    txtTz.Visible = False
End If
End Sub

Private Sub btnBack_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnBack.Click
    Me.Close()
    frmModelos.Show()
    MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = True
End Sub

Private Sub btnNext_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnNext.Click
    SAdm = Val(txtEsfuerzo.Text) * 10000
    Densidad = Val(txtDensidad.Text)
    Df = Val(txtProfundidad.Text)
    SC = Val(txtSobrecarga.Text)
    r = Val(txtRecubre.Text) / 100
    PD = Val(txtPD.Text)
    PL = Val(txtPL.Text)
    PEx = Val(txtPEX.Text)
    PEy = Val(txtPEy.Text)
    fy = Val(txtfy.Text) * 10000
    fc = Val(txtfc.Text) * 10000
    a = Val(txta.Text) / 100
    b = Val(txtb.Text) / 100
    MDx = Val(txtMDx.Text)
    MLx = Val(txtMLx.Text)
    MEx = Val(txtMEx.Text)
    MDy = Val(txtMDy.Text)

```

```

        Mly = Val(txtMly.Text)
        MEy = Val(txtMEy.Text)
        Me.Hide()
        frmZAisladaVer.MdiParent = MDIPrincipal
        frmZAisladaVer.Show()
    End Sub

    Private Sub cmbDBZ_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbDBZ.SelectedIndexChanged
        If cmbDBZ.Text = "1/4'" Then
            dbz = 0.00638
            Abz = 0.32
        ElseIf cmbDBZ.Text = "3/8'" Then
            dbz = 0.00951
            Abz = 0.71
        ElseIf cmbDBZ.Text = "1/2'" Then
            dbz = 0.01272
            Abz = 1.27
        ElseIf cmbDBZ.Text = "5/8'" Then
            dbz = 0.01588
            Abz = 1.98
        ElseIf cmbDBZ.Text = "3/4'" Then
            dbz = 0.01905
            Abz = 2.85
        Else
            dbz = 0.02541
            Abz = 2.07
        End If
    End Sub

    Private Sub cmbDBC_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbDBC.SelectedIndexChanged
        If cmbDBC.Text = "1/4'" Then
            dbc = 0.00638
            Abc = 0.32
        ElseIf cmbDBC.Text = "3/8'" Then
            dbc = 0.00951
            Abc = 0.71
        ElseIf cmbDBC.Text = "1/2'" Then
            dbc = 0.01272
            Abc = 1.27
        ElseIf cmbDBC.Text = "5/8'" Then
            dbc = 0.01588
            Abc = 1.98
        ElseIf cmbDBC.Text = "3/4'" Then
            dbc = 0.01905
            Abc = 2.85
        Else
            dbc = 0.02541
            Abc = 2.07
        End If
    End Sub

    Private Sub cmbLamda_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbLamda.SelectedIndexChanged
    End Sub
End Class

```

## Formulario Resultados Zapata Aislada

```
Public Class frmZAisladaVer

    Private Sub frmZAisladaVer_Load(ByVal sender As System.Object,
    ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        Sneto = SAdm - SC - Densidad * Df
        ReDim Preserve Pmax(5)
        Pmax(1) = PD + PL
        Pmax(2) = PD + 0.7 * PEx
        Pmax(3) = PD + 0.7 * PEy
        Pmax(4) = 0.75 * PD + 0.75 * PL + 0.525 * PEx
        Pmax(5) = 0.75 * PD + 0.75 * PL + 0.525 * PEy
        Pmax(0) = Math.Max(Pmax(1), Pmax(2))
        Pmax(0) = Math.Max(Pmax(0), Pmax(3))
        Pmax(0) = Math.Max(Pmax(0), Pmax(4))
        Pmax(0) = Math.Max(Pmax(0), Pmax(5))
        Az = Pmax(0) / Sneto
        If TipoZ = "Central" Then
            L = Math.Sqrt(Az) + 0.5 * (b - a)
            Lvx = 0.5 * (L - b)
            B1 = Math.Sqrt(Az) - 0.5 * (b - a)
            Lvy = 0.5 * (B1 - a)
        ElseIf TipoZ = "Medianera" Then
            Lvx = Math.Sqrt(0.5 * Az + Math.Pow((b + 2 * a) / 4, 2) -
            0.5 * a * b) - 0.25 * (2 * a + b)
            Lvy = Lvx
            L = 2 * Lvx + b
            B1 = Lvy + a
        Else
            L = Math.Sqrt(Az)
            B1 = L
            Lvx = B1 - a
            Lvy = Lvx
        End If
        ReDim Preserve Pu(5)
        Pu(1) = 1.4 * PD + 1.7 * PL
        Pu(2) = 1.25 * (PD + PL) + PEx
        Pu(3) = 1.25 * (PD + PL) + PEy
        Pu(4) = 0.9 * PD + PEx
        Pu(5) = 0.9 * PD + PEy
        Pu(0) = Math.Max(Pu(1), Pu(2))
        Pu(0) = Math.Max(Pu(0), Pu(3))
        Pu(0) = Math.Max(Pu(0), Pu(4))
        Pu(0) = Math.Max(Pu(0), Pu(5))
        Timer1.Enabled = True
        Ver = 1
    End Sub

    Private Sub Timer1_Tick(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
    System.EventArgs) Handles Timer1.Tick
        If Ver = 1 Then 'Excentricidad
            Ex = MEy / PEx
            Ey = MEx / PEy
            If TipoZ = "Central" Then
                If L <= 6 * Ex Or L <= 6 * Ey Then
                    L = L + 0.01
                    B1 = B1 + 0.01
                    Timer1.Enabled = True
                End If
            End If
        End If
    End Sub
End Class
```

```

Else
    Timer1.Enabled = True
    Ver = 2
End If
ElseIf TipoZ = "Medianera" Then
    If Ey <= 0.5 * (B1 - a) - B1 / 6 Or Ex >= L / 6 Then
        L = L + 0.01
        B1 = B1 + 0.01
        Timer1.Enabled = True
    Else
        Timer1.Enabled = True
        Ver = 2
    End If
Else
    If Ey <= 0.5 * (B1 - a) - B1 / 6 Or Ex <= 0.5 * (L -
a) - L / 6 Then
        L = L + 0.01
        B1 = B1 + 0.01
        Timer1.Enabled = True
    Else
        Timer1.Enabled = True
        Ver = 2
    End If
End If

ElseIf Ver = 2 Then 'Presiones
    If TipoZ = "Central" Then
        Az = B1 * L
        ReDim Preserve Smax(4)
        Smax(0) = (PD + PL) / Az
        Smax(1) = (PD + 0.56 * PEx) / Az + 6 * (MDx + 0.56 *
MEx) / (Az * L) + 6 * MDy / (Az * B1)
        Smax(2) = (PD + 0.56 * PEy) / Az + 6 * (MDy + 0.56 *
MEy) / (Az * B1) + 6 * MDx / (Az * L)
        Smax(3) = (0.75 * PD + 0.75 * PL + 0.42 * PEx) / Az +
6 * (0.75 * MDx + 0.75 * MLx + 0.42 * MEx) / (Az * L) + 6 * 0.75 * MDy
/ (Az * B1)
        Smax(4) = (0.75 * PD + 0.75 * PL + 0.42 * PEy) / Az +
6 * (0.75 * MDy + 0.75 * MLy + 0.42 * MEy) / (Az * B1) + 6 * 0.75 *
MDx / (Az * L)
        If Smax(0) >= Sneto Or Smax(1) >= Sneto Or Smax(2) >=
Sneto Or Smax(3) >= Sneto Or Smax(4) >= Sneto Then
            L = L + 0.01
            B1 = B1 + 0.01
            Timer1.Enabled = True
        Else
            Timer1.Enabled = True
            Ver = 3
        End If
    Else
        Ver = 3
    End If
End If

ElseIf Ver = 3 Then 'Combinaciones de Carga de Diseño
    If TipoZ = "Central" Then
        Az = B1 * L
        ReDim Preserve qmax(4), qmin(4)
        qmax(1) = Pu(1) / Az + 6 * (1.4 * MDx + 1.7 * MLx) /
(Az * L)
        qmin(1) = Pu(1) / Az - 6 * (1.4 * MDx + 1.7 * MLx) /
(Az * L)

```

```

        qmax(2) = qmax(1) + 6 * (1.4 * MDy + 1.7 * MLy) / (Az
* B1)
        qmin(2) = qmin(1) - 6 * (1.4 * MDy + 1.7 * MLy) / (Az
* B1)
        qmax(3) = (1.25 * PD + 1.25 * PL + 0.8 * PEx) / Az + 6
* (1.25 * MDx + 1.25 * MLx + 0.8 * MEx) / (Az * L) + 6 * (1.25 * MDy +
1.25 * MLy) / (Az * B1)
        qmax(3) = Math.Max(qmax(3), ((0.9 * PD + 0.8 * PEx) /
Az + 6 * (0.9 * MDx + 0.8 * MEx) / (Az * L) + 6 * (0.9 * MDy) / (Az *
B1)))
        qmin(3) = (1.25 * PD + 1.25 * PL + 0.8 * PEx) / Az - 6
* (1.25 * MDx + 1.25 * MLx + 0.8 * MEx) / (Az * L) - 6 * (1.25 * MDy +
1.25 * MLy) / (Az * B1)
        qmin(3) = Math.Max(qmin(3), ((0.9 * PD + 0.8 * PEx) /
Az - 6 * (0.9 * MDx + 0.8 * MEx) / (Az * L) - 6 * (0.9 * MDy) / (Az *
B1)))
        qmax(4) = (1.25 * PD + 1.25 * PL + 0.8 * PEy) / Az + 6
* (1.25 * MDy + 1.25 * MLy + 0.8 * MEy) / (Az * B1) + 6 * (1.25 * MDx
+ 1.25 * MLx) / (Az * L)
        qmax(4) = Math.Max(qmax(4), ((0.9 * PD + 0.8 * PEx) /
Az + 6 * (0.9 * MDy + 0.8 * MEy) / (Az * B1) + 6 * (0.9 * MDx) / (Az *
L)))
        qmin(4) = (1.25 * PD + 1.25 * PL + 0.8 * PEy) / Az - 6
* (1.25 * MDy + 1.25 * MLy + 0.8 * MEy) / (Az * B1) - 6 * (1.25 * MDx
+ 1.25 * MLx) / (Az * L)
        qmin(4) = Math.Max(qmin(4), ((0.9 * PD + 0.8 * PEx) /
Az - 6 * (0.9 * MDy + 0.8 * MEy) / (Az * B1) - 6 * (0.9 * MDx) / (Az *
L)))
        If qmax(1) >= Sneto Or qmax(2) >= Sneto Or qmax(3) >=
Sneto Or qmax(4) >= Sneto Then
            L = L + 0.01
            B1 = B1 + 0.01
            Timer1.Enabled = True
        Else
            qmax(0) = qmax(1)
            qmin(0) = qmin(1)
            If qmax(0) < qmax(2) Then
                qmax(0) = qmax(2)
                qmin(0) = qmin(2)
            End If
            If qmax(0) < qmax(3) Then
                qmax(0) = qmax(3)
                qmin(0) = qmin(3)
            End If
            If qmax(0) < qmax(4) Then
                qmax(0) = qmax(4)
                qmin(0) = qmin(4)
            End If
            Timer1.Enabled = True
            txtB.Text = Format(B1, "0.00")
            txtL.Text = Format(L, "0.00")
            Lvx = 0.5 * (L - b)
            Lvy = 0.5 * (B1 - a)
            txtLvx.Text = Format(Lvx, "0.00")
            txtLvy.Text = Format(Lvy, "0.00")
            Sult = qmax(0)
            Mu = Sult * Lvx * Lvx * B1 / 2
            ro = 0.85 * 100 * Math.Sqrt(fc) / fy
            d = Math.Sqrt(Mu / (0.9 * ro * B1 * fy * (1 - 0.59
* ro * fy / fc)))
            Ver = 4

```

```

End If
ElseIf TipoZ = "Medianera" Then
  Az = B1 * L
  If Ver = 3 Then
    ReDim Preserve qmax(2), qmin(2)
    qmax(1) = Pu(1) / Az + 6 * (1.4 * MDx + 1.7 * MLx)
    / (Az * L)
    qmin(1) = Pu(1) / Az - 6 * (1.4 * MDx + 1.7 * MLx)
    / (Az * L)
    qmax(2) = (1.25 * PD + 1.25 * PL + 0.8 * PEx) / Az
    + 6 * (1.25 * MDx + 1.25 * MLx + 0.8 * MEx) / (Az * L) + 6 * (1.25 *
    MDy + 1.25 * MLy) / (Az * B1)
    qmax(2) = Math.Max(qmax(2), ((0.9 * PD + 0.8 *
    PEx) / Az + 6 * (0.9 * MDx + 0.8 * MEx) / (Az * L) + 6 * (0.9 * MDy) /
    (Az * B1)))
    qmin(2) = (1.25 * PD + 1.25 * PL + 0.8 * PEx) / Az
    - 6 * (1.25 * MDx + 1.25 * MLx + 0.8 * MEx) / (Az * L) - 6 * (1.25 *
    MDy + 1.25 * MLy) / (Az * B1)
    qmin(2) = Math.Max(qmin(2), ((0.9 * PD + 0.8 *
    PEx) / Az - 6 * (0.9 * MDx + 0.8 * MEx) / (Az * L) - 6 * (0.9 * MDy) /
    (Az * B1)))

    If qmax(1) >= Sneto Or qmax(2) >= Sneto Then
      L = L + 0.01
      B1 = B1 + 0.01
      Timer1.Enabled = True
    Else
      Ver = 3.5
      qmax(0) = qmax(1)
      qmin(0) = qmin(1)
      If qmax(0) < qmax(2) Then
        qmax(0) = qmax(2)
        qmin(0) = qmin(2)
      End If
      qmaxx = qmax(0)
      qminx = qmin(0)
      Timer1.Enabled = True
    End If
  Else
    ReDim Preserve Puy(3)
    Puy(1) = 1.4 * PD + 1.7 * PL
    Puy(2) = 1.25 * (PD + PL) + 0.8 * PEy
    Puy(3) = 0.9 * PD + 0.8 * PEy
    Puy(0) = Math.Max(Puy(1), Puy(2))
    Puy(0) = Math.Max(Puy(0), Puy(3))
    ReDim Preserve MUy(3)
    MUy(1) = 1.4 * MDy + 1.7 * MLy
    MUy(2) = 1.25 * (MDy + MLy) + 0.8 * MEy
    MUy(3) = 0.9 * MDy + 0.8 * MEy
    MUy(0) = Math.Max(MUy(1), MUy(2))
    MUy(0) = Math.Max(MUy(0), MUy(3))
    T = (0.5 * Puy(0) * (B1 - a) - MUy(0)) / (H + 0.3
    + (Landa * H * H * Kc * B1 * B1 * B1 * L) / (36 * Ec * I))
    qmaxy = Puy(0) / Az + Landa * H * H * Kc * B1 * T
    / (6 * Ec * I)
    qminy = Puy(0) / Az - Landa * H * H * Kc * B1 * T
    / (6 * Ec * I)

    If qmaxy >= Sneto Then
      L = L + 0.01
      B1 = B1 + 0.01
      Timer1.Enabled = True
    Else

```

```

Timer1.Enabled = True
txtB.Text = Format(B1, "0.00")
txtL.Text = Format(L, "0.00")
LvX = 0.5 * (L - b)
LvY = 0.5 * (B1 - a)
txtLvX.Text = Format(LvX, "0.00")
txtLvY.Text = Format(LvY, "0.00")
Sult = qmax(0)
Mu = Sult * LvX * LvX * B1 / 2
ro = 0.85 * 100 * Math.Sqrt(fc) / fy
d = Math.Sqrt(Mu / (0.9 * ro * B1 * fy * (1 -
0.59 * ro * fy / fc)))
Ver = 4
End If
End If
Else
Az = B1 * L
If Ver = 3 Then
ReDim Preserve Pu(3)
Pux(1) = 1.4 * PD + 1.7 * PL
Pux(2) = 1.25 * (PD + PL) + 0.8 * PEx
Pux(3) = 0.9 * PD + 0.8 * PEx
Pux(0) = Math.Max(Pux(1), Pux(2))
Pux(0) = Math.Max(Pux(0), Pux(3))
ReDim Preserve MUx(3)
MUx(1) = 1.4 * MDx + 1.7 * MLx
MUx(2) = 1.25 * (MDx + MLx) + 0.8 * MEx
MUx(3) = 0.9 * MDx + 0.8 * MEx
MUx(0) = Math.Max(MUx(1), MUx(2))
MUx(0) = Math.Max(MUx(0), MUx(3))
T = (0.5 * Pux(0) * (B1 - a) - MUx(0)) / (H + 0.3
+ (Landa * H * H * Kc * B1 * B1 * B1 * L) / (36 * Ec * I))
qmaxx = Pux(0) / Az + Landa * H * H * Kc * B1 * T
/ (6 * Ec * I)
qminx = Pux(0) / Az - Landa * H * H * Kc * B1 * T
/ (6 * Ec * I)
If qmaxx >= Sneto Then
L = L + 0.01
B1 = B1 + 0.01
Timer1.Enabled = True
Else
Ver = 3.5
Timer1.Enabled = True
End If
Else
ReDim Preserve Pu(3)
Puy(1) = 1.4 * PD + 1.7 * PL
Puy(2) = 1.25 * (PD + PL) + 0.8 * PEy
Puy(3) = 0.9 * PD + 0.8 * PEy
Puy(0) = Math.Max(Puy(1), Puy(2))
Puy(0) = Math.Max(Puy(0), Puy(3))
ReDim Preserve MUy(3)
MUy(1) = 1.4 * MDy + 1.7 * MLy
MUy(2) = 1.25 * (MDy + MLy) + 0.8 * MEy
MUy(3) = 0.9 * MDy + 0.8 * MEy
MUy(0) = Math.Max(MUy(1), MUy(2))
MUy(0) = Math.Max(MUy(0), MUy(3))
T = (0.5 * Puy(0) * (B1 - a) - MUy(0)) / (H + 0.3
+ (Landa * H * H * Kc * B1 * B1 * B1 * L) / (36 * Ec * I))
ReDim Preserve qmax(0), qmin(0)

```

```

/ (6 * Ec * I)          qmaxy = Puy(0) / Az + Landa * H * H * Kc * B1 * T
/ (6 * Ec * I)          qminy = Puy(0) / Az - Landa * H * H * Kc * B1 * T

If qmaxy >= Sneto Then
    L = L + 0.01
    B1 = B1 + 0.01
    Timer1.Enabled = True
Else
    Timer1.Enabled = True
    txtB.Text = Format(B1, "0.00")
    txtL.Text = Format(L, "0.00")
    Lvx = 0.5 * (L - b)
    Lvy = 0.5 * (B1 - a)
    txtLvx.Text = Format(Lvx, "0.00")
    txtLvy.Text = Format(Lvy, "0.00")
    Sult = qmax(0)
    Mu = Sult * Lvx * Lvx * B1 / 2
    ro = 0.85 * 100 * Math.Sqrt(fc) / fy
    d = 100 * Math.Sqrt(Mu / (0.9 * ro * B1 * fy *
(1 - 0.59 * ro * fy / fc)))
    Ver = 4
    End If
End If
End If

ElseIf Ver = 4 Then 'Por Punzonamiento
    If TipoZ = "Central" Then
        q1 = (qmax(0) - qmin(0)) * (Lvx - d / 2) / L + qmin(0)
        q2 = (qmax(0) - qmin(0)) * (Lvx + b + d / 2) / L +
qmin(0)

        ReDim Preserve Vca(3)
        If TipoC = "Rectangular" Then
            b0 = 2 * (a + d) + 2 * (b + d)
            A0 = (a + d / 100) * (b + d / 100)
        ElseIf TipoC = "T" Then

        ElseIf TipoC = "L" Then

        Else

        End If
        Vcu = Pu(0) - ((q1 + q2) / 2) * A0
        Vca(1) = 0.53 * (1 + 2 * b / a) * Math.Sqrt(fc) * b0 *
d
        Vca(2) = 0.27 * (40 * d / b0 + 2) * Math.Sqrt(fc) * b0
* d
        Vca(3) = 1.06 * Math.Sqrt(fc) * b0 * d
        Vca(0) = Math.Min(Vca(1), Vca(2))
        Vca(0) = Math.Min(Vca(0), Vca(3))
        If Vcu >= 0.85 * Vca(0) Then
            d = d + 1
            Timer1.Enabled = True
        Else
            Ver = 5
        End If
    ElseIf TipoZ = "Medianera" Then

    Else

    End If

```

```

        Else
            Timer1.Enabled = False
        End If
    End Sub

    Private Sub btnBack_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnBack.Click
        Me.Close()
        frmZAislada.Show()
        MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = True
    End Sub
End Class

```

### **Formulario Datos Entrada Zapata Combinada**

```

Public Class frmZCombinada

    Private Sub btnBack_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnBack.Click
        Me.Close()
        frmModelos.Show()
        MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = True
    End Sub

    Private Sub frmZCombinada_Load(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        GroupBox1.Visible = False
        GroupBox2.Visible = False
        GroupBox3.Visible = False
        GroupBox4.Visible = False
        GroupBox5.Visible = False
        GroupBox6.Visible = False

    End Sub

    Private Sub cmbTipoC1_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbTipoC1.SelectedIndexChanged
        GroupBox1.Visible = True
        GroupBox2.Visible = True
        GroupBox3.Visible = True
        PictureBox1.Visible = True
        If cmbTipoC1.Text = "T" Then
            TipoC = "T"
            PictureBox1.Image = ImageList1.Images(0)
            lblTw11.Visible = True
            lblTw21.Visible = True
            lblTwu1.Visible = True
            txtTw1.Visible = True
            lblTz11.Visible = True
            lblTz21.Visible = True
            lblTzu1.Visible = True
            txtTz1.Visible = True
        Else
            PictureBox1.Image = ImageList1.Images(1)
            lblTw11.Visible = False
            lblTw21.Visible = False

```

```

        lblTwu1.Visible = False
        txtTw1.Visible = False
        lblTz11.Visible = False
        lblTz21.Visible = False
        lblTzu1.Visible = False
        txtTz1.Visible = False
    End If
End Sub

Private Sub cmbTipoC2_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbTipoC2.SelectedIndexChanged
    GroupBox4.Visible = True
    GroupBox5.Visible = True
    GroupBox6.Visible = True
    If cmbTipoC2.Text = "T" Then
        TipoC = "T"
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(0)
        lblTw12.Visible = True
        lblTw22.Visible = True
        lblTwu2.Visible = True
        txtTw2.Visible = True
        lblTz12.Visible = True
        lblTz22.Visible = True
        lblTzu2.Visible = True
        txtTz2.Visible = True
    Else
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(1)
        lblTw12.Visible = False
        lblTw22.Visible = False
        lblTwu2.Visible = False
        txtTw2.Visible = False
        lblTz12.Visible = False
        lblTz22.Visible = False
        lblTzu2.Visible = False
        txtTz2.Visible = False
    End If
End Sub

Private Sub btnNext_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnNext.Click
    Me.Hide()
    frmZCombinadaVer.MdiParent = MDIPrincipal
    frmZCombinadaVer.Show()
End Sub
End Class

```

### **Formulario Datos Entrada Zapata Conectada**

```

Public Class frmZConectada

    Private Sub btnBack_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnBack.Click
        Me.Close()
        frmModelos.Show()
        MDIPrincipal.tsbCancelModel.Visible = True
    End Sub

```

```

Private Sub frmZCombinada_Load(ByVal sender As System.Object,
ByVal e As System.EventArgs) Handles MyBase.Load
    GroupBox1.Visible = False
    GroupBox2.Visible = False
    GroupBox3.Visible = False
    GroupBox4.Visible = False
    GroupBox5.Visible = False
    GroupBox6.Visible = False

```

```
End Sub
```

```

Private Sub cmbTipoC1_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbTipoC1.SelectedIndexChanged

```

```

    GroupBox1.Visible = True
    GroupBox2.Visible = True
    GroupBox3.Visible = True
    PictureBox1.Visible = True
    If cmbTipoC1.Text = "T" Then
        TipoC = "T"
        PictureBox1.Image = ImageList1.Images(0)
        lblTw11.Visible = True
        lblTw21.Visible = True
        lblTwu1.Visible = True
        txtTw1.Visible = True
        lblTz11.Visible = True
        lblTz21.Visible = True
        lblTzu1.Visible = True
        txtTz1.Visible = True

```

```
Else
```

```

    PictureBox1.Image = ImageList1.Images(1)
    lblTw11.Visible = False
    lblTw21.Visible = False
    lblTwu1.Visible = False
    txtTw1.Visible = False
    lblTz11.Visible = False
    lblTz21.Visible = False
    lblTzu1.Visible = False
    txtTz1.Visible = False

```

```
End If
```

```
End Sub
```

```

Private Sub cmbTipoC2_SelectedIndexChanged(ByVal sender As
System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles
cmbTipoC2.SelectedIndexChanged

```

```

    GroupBox4.Visible = True
    GroupBox5.Visible = True
    GroupBox6.Visible = True
    If cmbTipoC2.Text = "T" Then
        TipoC = "T"
        PictureBox2.Image = ImageList2.Images(0)
        lblTw12.Visible = True
        lblTw22.Visible = True
        lblTwu2.Visible = True
        txtTw2.Visible = True
        lblTz12.Visible = True
        lblTz22.Visible = True
        lblTzu2.Visible = True
        txtTz2.Visible = True

```

```
Else
```

```

    PictureBox2.Image = ImageList2.Images(1)

```

```

        lblTw12.Visible = False
        lblTw22.Visible = False
        lblTwu2.Visible = False
        txtTw2.Visible = False
        lblTz12.Visible = False
        lblTz22.Visible = False
        lblTzu2.Visible = False
        txtTz2.Visible = False
    End If
End Sub

Private Sub btnNext_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e
As System.EventArgs) Handles btnNext.Click
    Me.Hide()
    frmZConectadaVer.MdiParent = MDIPrincipal
    frmZConectadaVer.Show()
End Sub
End Class

```

## ANEXOS B

### VALIDACION DEL PROGRAMA FONDAZIONI 1.0.

#### I. Desarrollo de una zapata corrida por el método analítico.

##### DATOS DE ENTRADA

$$\sigma_{adm} = 0.95 \text{ Kg/cm}^2$$

$$W_L = 1765 \text{ Kg}$$

$$\gamma_m = 2100 \text{ Kg/m}^3$$

$$b_m = 23 \text{ cm}$$

$$D_f = 1.4 \text{ m}$$

$$\frac{S}{c} = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$db = 3/8''$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_D = 7514 \text{ Kg}$$

##### PROCESO

##### Esfuerzo Neto Admisible

$$\sigma_{neto} = 9500 - 300 - 2100 * 1.4 = 6260 \text{ Kg/m}^2$$

##### Base de Cimiento Corrido

$$B_{req} = \frac{9279}{6260 * 1} = 1.48 \text{ m}$$

$$L_v = \frac{1.48 - 0.23}{2} = 0.63 \text{ m}$$

##### DESARROLLO DE LA ZAPATA CORRIDA

##### Peralte efectivo de zapata corrida

$$d = \frac{1.48 - 0.23}{4} = 0.31 \text{ m}$$

Una vez calculada el peralte de la zapata, se procederá a calcular la altura efectiva de la zapata corrida.

$$h_z = 0.37 \text{ m}$$

## Combinación de Cargas de Diseño

$$W_U = 1.4 * 7514 + 1.7 * 1765 = 13520.10 \text{ kg/m}$$

Luego calcularemos el esfuerzo ultimo de diseño producido por el terreno en el ancho de un 1 m

$$\sigma_u = \frac{13520.10}{1.48} = 9121.22 \text{ kg/m}^2$$

$$9121.22 \leq 6260 \text{ NO..!!}$$

Aumentar las dimensiones:

$$B_{req} = 2.16 \text{ m}$$

$$L_v = \frac{2.16 - 0.23}{2} = 0.97 \text{ m}$$

$$d = 0.93 \text{ m}$$

Ahora nuevamente verificamos los esfuerzos del terreno.

$$6552.74 \leq 6260.00 \text{ OK..!!}$$

**Verificación por Corte simple.**

### Cortante actuante

$$V_u = 6552.74 \left( 0.97 + \frac{0.23}{4} - 0.93 \right) (1) = 566.29 \text{ Kg}$$

### Cortante resistente

$$V_c = 0.85 * 0.53 * \sqrt{2100000} * 1 * 0.93 = 609.14 \text{ Kg}$$

$$609.14 \text{ Kg} \geq 566.29 \text{ Kg} \text{ OK..!!}$$

### Calculo del momento de diseño

$$M_u = 6552.74 \frac{\left(0.97 + \frac{0.23}{4}\right)^2}{2} = 3275.89 \text{ Kg} - \text{m}$$

Luego el refuerzo será calculado como:

$$A_s = \frac{0.93 - \sqrt{0.93^2 - (4) \frac{3275.89}{1.7 * 0.9 * 0.23 * 2100000}}}{2 \left(\frac{420}{1.7 * 0.23 * 210}\right)} = 0.93 \text{ cm}^2$$

$$A_s \geq A_{min} ; A_{min} = \frac{0.25 \sqrt{2100000}}{4200000} * 1.48 * 0.65 = 0.08 \text{ cm}^2$$

$$n_b = \frac{1.28}{0.32} = 2$$

$$S = \frac{2.16 - 0.075 - 0.00951}{2 - 1} = 1.41 \text{ m}$$

$$S_{max} = 45 \text{ cm}$$

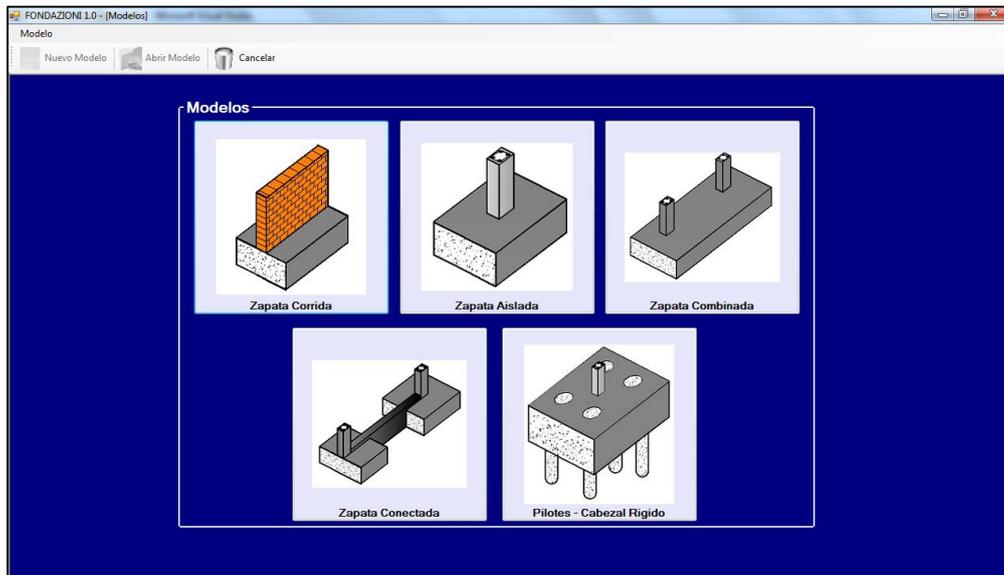
∴ Usar 2 Φ 3/8" @ 45cm

## II. Desarrollo de una zapata corrida por el método programado.

- Ingresar al programa Fondazioni, hacer click y luego nos mostrara la ventana principal, posteriormente hacemos click en nuevo modelo.



- Una vez que hicimos click en nuevo modelo, el siguiente cuadro nos mostrara los tipos de cimentaciones superficiales.

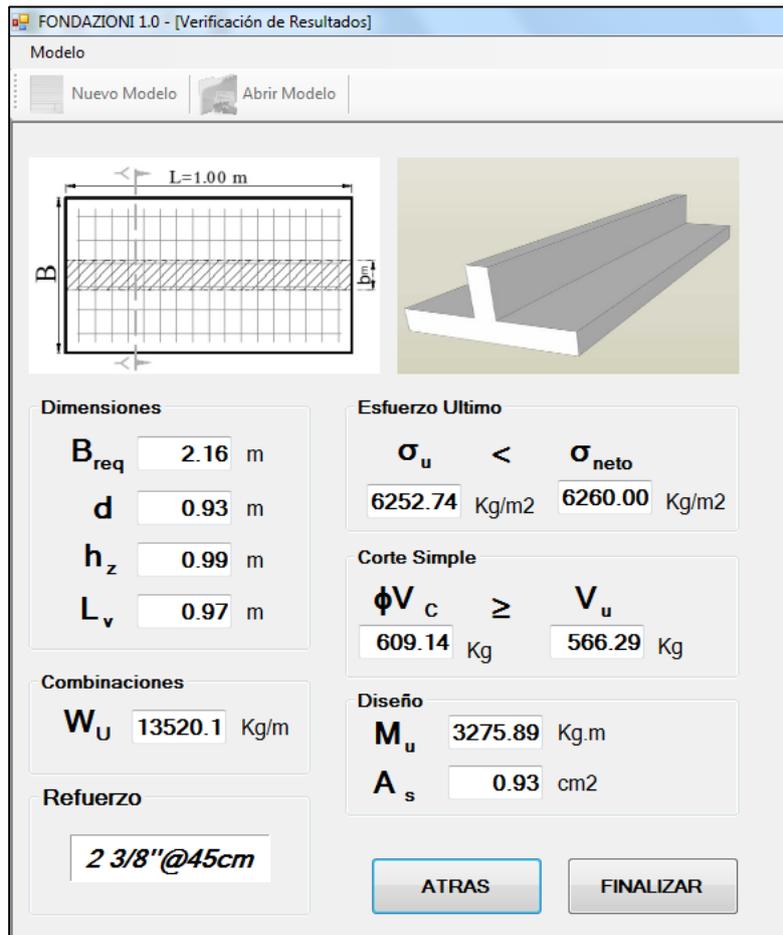


- Luego escogemos el tipo de zapata a diseñar, en este caso la primera opción llamada zapata corrida. El cual el siguiente cuadro nos mostrara todos los datos de entrada, para ellos debemos de tener todos los datos para posterior diseño, en caso de falta un dato el programa no podrá avanzar a la siguiente ventana.

The screenshot shows the 'Zapata Corrida' design window in the FONDAZIONI 1.0 software. It contains the following input fields and sections:

- Ingreso de Datos:**
  - Suelo:**
    - $\sigma_{adm}$ : 0.95 kg/cm<sup>2</sup>
    - $\gamma_m$ : 2100 kg/m<sup>3</sup>
    - $D_f$ : 1.4 m
    - S/C: 300 kg/m<sup>2</sup>
  - Cargas:**
    - $W_D$ : 7514 kg/m
    - $W_L$ : 1765 kg/m
  - Prop. de Materiales:**
    - $f_c$ : 210 kg/cm<sup>2</sup>
    - $f_y$ : 4200 kg/cm<sup>2</sup>
- Dimensiones Basicas:**
  - Diagram showing length  $L = 1.00$  m and width  $B$ .
  - $d_b$ : 3/8"
  - $r$ : 5 cm
  - $b_m$ : 23 cm
- Buttons:** ATRAS and SIGUIENTE.

- Una vez ingresado todos los valores, damos click en siguiente, pasamos a posterior cuadro donde nos mostrara datos de salida.



- Como podemos observar este cuadro nos muestra los valores de las verificaciones y el refuerzo requerido satisfactorio para la zapata corrida de una manera más rápida.

## I. Desarrollo de una zapata aislada centrada por el método analítico.

### DATOS DE ENTRADA

#### Suelo:

$$\sigma_{adm} = 1.9 \text{ Kg/cm}^2$$

$$S/c = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$\gamma_m = 2100 \text{ Kg/m}^3$$

$$D_f = 1.3 \text{ m}$$

#### Cargas:

$$P_D = 97690.44 \text{ Kg}$$

$$P_L = 40500.21 \text{ Kg}$$

$$P_{\vec{E}_x} = 31199.03 \text{ Kg}$$

$$P_{\vec{E}_y} = 31626.57 \text{ Kg}$$

#### Materiales:

$$f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$$

#### Columna:

$$a = 50 \text{ cm}$$

$$b = 65 \text{ cm}$$

#### Momentos:

$$M_{D_x} = 168.25 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_{D_y} = 190.96 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_{L_x} = 195.92 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_{L_y} = 221.47 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_{\vec{E}_x} = 3637.85 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_{\vec{E}_y} = 5183.72 \text{ Kg} - \text{m}$$

Cargas y momentos arrojados por el programa ETABS v15.0

| Joint Reactions |             |             |                 |         |         |          |          |          |          |  |
|-----------------|-------------|-------------|-----------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|--|
| Story           | Joint Label | Unique Name | Load Case/Combo | FX kgf  | FY kgf  | FZ kgf   | MX kgf-m | MY kgf-m | MZ kgf-m |  |
| Base            | 29          | 203         | Sismo X         | -1635.2 | -75.36  | 31199.03 | 169.52   | -5183.72 | 50       |  |
| Base            | 29          | 203         | Sismo Y         | -91.98  | -1298.6 | 31626.57 | 3637.85  | -226.81  | -50      |  |
| Base            | 29          | 203         | PD              | -120.22 | -104.13 | 97690.44 | 168.25   | -190.96  | 0        |  |
| Base            | 29          | 203         | PL              | -139.43 | -121.26 | 40500.21 | 195.92   | -221.47  | 0        |  |

## PROCESO

### Esfuerzo Neto Admisible

$$\sigma_n = 1.9 \times 10^4 - 500 - 2100 \times 1.3 = 15770 \text{ Kg/m}^2$$

$$\sigma_n = 1.577 \text{ Kg/cm}^2$$

## Dimensionamiento Por Esfuerzos Admisibles

$$\text{Mayor } \left\{ \begin{array}{l} P_{\max} = 97690.44 + 40500.21 = \mathbf{138190.65 \text{ Kg}} \\ P_{\max} = 97690.44 + 0.7 * 31199.03 = \mathbf{119529.76 \text{ Kg}} \\ P_{\max} = 97690.44 + 0.7 * 31626.57 = \mathbf{119829.04 \text{ Kg}} \\ P_{\max} = 0.75 * 97690.44 + 0.75 * 40500.21 + 0.525 * 31199.03 = \mathbf{120022.48 \text{ Kg}} \\ P_{\max} = 0.75 * 97690.44 + 0.75 * 40500.21 + 0.525 * 31626.57 = \mathbf{120246.94 \text{ Kg}} \end{array} \right.$$

$$P_{\max} = \mathbf{138190.65 \text{ Kg}}$$

## Área De Zapata

$$A_z = \frac{138190.65 \text{ Kg}}{1.577 \text{ Kg/cm}^2} = 18024.73 \text{ cm}^2$$

$$A_z = 8.763 \text{ m}^2$$

$$L = \sqrt{8.763 \text{ m}^2} + 0.5(0.65 - 0.50)m = 3.035 \text{ m}$$

$$B = \sqrt{8.763 \text{ m}^2} - 0.5(0.65 - 0.50)m = 2.885m$$

$$L_{v-x} = 0.5(3.035 - 0.65) = 1.193 \text{ m}$$

$$L_{v-y} = 0.5(2.885 - 0.50) = 1.193 \text{ m}$$

## DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

$$e_x = \frac{5183.72 \text{ Kg} - m}{31199.03 \text{ Kg}} < \frac{3.035m}{6} = 0.1662 < 0.5059 \text{ SI..!}$$

$$e_y = \frac{3637.85 \text{ Kg} - m}{31626.57 \text{ Kg}} < \frac{2.885 \text{ m}}{6} = 0.1150 < 0.4809 \text{ SI..!}$$

## Verificación de presiones.

Las combinaciones de cargas de servicio por Esfuerzos Admisibles para tal verificación son:

$$\sigma_n = \frac{97690.44 + 40500.21}{2.885 * 3.035} = 15780.13 \leq 15770.00 \text{ NO..!}$$

Aumentar las dimensiones de la zapatas en un 50%(calculado) debido a que no cumple los esfuerzos del terreno, entonces regresamos a verificar los esfuerzos en el terreno con las dimensiones nuevas.

Ahora las nuevas dimensiones de la zapata aislada central son de **B=3.55 m y L=3.70 m**

$$\sigma_{max} = \frac{97690.44 + 40500.21}{3.70 * 3.55} = 10493.34 \leq 15770.00 \quad \text{OK.!$$

$$\sigma_{max} = \frac{115161.90}{13.14} + \frac{13232.68}{48.62} + \frac{6145.76}{46.65} \leq 9040.38 \leq 15770.00 \quad \text{OK.!$$

$$\sigma_{max} = \frac{115401.3}{13.14} + \frac{18563.06}{46.65} + \frac{1009.50}{48.62} \leq 9180.08 \leq 15770.00 \quad \text{OK.!$$

$$\sigma_{max} = \frac{116746.60}{13.14} + \frac{10806.15}{48.62} + \frac{859.32}{46.65} \leq 9126.38 \leq 15770.00 \quad \text{OK.!$$

$$\sigma_{max} = \frac{116926.10}{13.14} + \frac{14918.91}{46.64} + \frac{757.13}{48.62} \leq 9234.76 \leq 15770.00 \quad \text{OK.!$$

### Combinaciones de cargas de diseño.

En el siguiente cuadro se muestran las combinaciones de cargas ultimas de diseño arrojadas por el programa ETABS v15

| Story | Joint Label | Unique Name | Load Case/Combo  | FX kgf   | FY kgf   | FZ kgf    | MX kgf-m | MY kgf-m | MZ kgf-m |
|-------|-------------|-------------|------------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|
| Base  | 29          | 203         | 1.4D+1.7L        | -405.35  | -351.93  | 205616.98 | 568.62   | -643.85  | 0        |
| Base  | 29          | 203         | 1.25(D+L)+SismoX | -1959.77 | -357.1   | 203937.35 | 624.74   | -5699.26 | 50       |
| Base  | 29          | 203         | 1.25(D+L)+SismoY | -416.55  | -1580.34 | 204364.89 | 4093.07  | -742.35  | -50      |
| Base  | 29          | 203         | 0.90D+SismoX     | -1743.4  | -169.08  | 119120.43 | 320.95   | -5355.59 | 50       |
| Base  | 29          | 203         | 0.90D+SismoY     | -200.18  | -1392.32 | 119547.97 | 3789.28  | -398.68  | -50      |

**Pu=205616.97 Kg**

## Resumen de presiones de las Combinación Factoradas Ultimas de Diseño

a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial, Dirección “X”

$$q_{max-1} = 15683.20 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!$$

$$q_{min-1} = 15543.35 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!$$

b) Considerando Carga y Momentos de gravedad Biaxial, Dirección “X” e  
”Y”

$$q_{max-2} = 15765.72 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!$$

$$q_{min-2} = 15460.83 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!$$

c) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección  
”X”.

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-3} = 15491.88 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \\ q_{max-3} = 8970.00 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-3} = 14531.96 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \\ q_{min-3} = 8172.90 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \end{cases}$$

d) Considerando cargas y momentos de gravedad + sismo en la dirección  
”Y”.

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{max-4} = 15665.49 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \\ q_{max-4} = 9143.61 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \end{cases}$$

$$\text{mayor} \begin{cases} q_{min-4} = 14358.36 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \\ q_{min-4} = 7999.29 \leq 15770.00 \quad \mathbf{OK.!!} \end{cases}$$

Luego escogemos los mayores esfuerzos que producen las combinaciones ultimas de  
diseño para poder realizar las verificaciones

$$q_{max} = 15765.72 \text{Kg/m}^2$$

$$q_{min} = 15460.83 \text{Kg/m}^2$$

### Verificaciones por Flexión.

Se determinara el espesor de la zapara por flexión con cuantía mínima.

$$\sigma_u = 15765.72 \text{ Kg/m}^2 \quad M_u = \frac{15765.72 * 1.527^2 * 3.55}{2}$$

$$M_u = 65370.10 \text{ Kg} - m$$

$$d^2 = \frac{65370.10}{0.9 * 0.003333 * 3.55 * 42000000 (1 - 0.59 * 0.03333 * \frac{420}{21})}$$

$$d = 0.45 \text{ m (Calculado)}$$

$$d = 0.43 \text{ m (Recomentado)}$$

El espesor de la zapata será igual a:

Usando barras de 5/8"

$$h_z = 43 + 7.5 + 1.588 = 52 \text{ cm}$$

### Verificaciones por Punzonamiento.

$$q_1 = \left( \frac{15765.72 - 15460.83}{3.70} \right) \left( 1.527 - \frac{0.43}{2} \right) + 15460.83 = 15568.96 \text{ Kg/m}^2$$

$$q_2 = \left( \frac{15765.72 - 15460.83}{3.70} \right) \left( 1.527 + 0.65 + \frac{0.43}{2} \right) + 15460.83 = 155657.59 \text{ Kg/m}^2$$

$$A_0 = 0.998 \text{ cm}^2$$

- **Cortante ultima actuante.**

$$V_{cu} = 205616.97 - \left[ \left( \frac{15568.96 + 155657.59}{2} \right) * (0.998) \right] = 190029.72 \text{ Kg}$$

- **Cortante resistente que toma el concreto**

$$V_c = 0.53 \left( 1 + \frac{2}{\frac{0.65}{0.5}} \right) \sqrt{2100000} * 2(0.5 + 0.65 + 2 * 0.43) * 0.43 = 473162.93 \text{ Kg}$$

$$V_c = 0.27 \left( \frac{40 * 0.43}{2 * (0.65 + 0.45) + 2(0.5 + 0.45)} + 2 \right) \sqrt{2100000} * 2(0.5 + 0.65 + 2 * 0.43) * 0.43 = 419241.14 \text{ Kg}$$

$$V_c = 1.06 \sqrt{2100000} * 2(0.5 + 0.65 + 2 * 0.38) * 0.38 = 262868.29 \text{ Kg}$$

$$0.85 * 262868.29 \geq 189064.99$$

$$223438.05 \geq 190029.72 \quad \text{OK.!!}$$

## Verificaciones por cortante

Dirección "X"

$$q_x = \left( \frac{15765.72 - 15460.83}{3.70} \right) (1.527 + 0.65 + 0.43) + 15460.83 = 15675.16 \text{ Kg/m}^2$$

- **Cortante ultima actuante.**

$$V_{du} = \left( \frac{15765.72 - 15675.16}{2} \right) 3.55 * 1.10 = 61492.12 \text{ Kg}$$

- **Cortante ultima resistente.**

$$V_c = 0.53 * \sqrt{2100000} * 3.55 * 0.43 = 116572.96 \text{ Kg}$$

Luego igualamos las condiciones que debe cumplir:

$$0.85 * 116572.96 \geq 61492.12$$

$$\mathbf{99087.02 \geq 61492.12 \quad OK!!}$$

Dirección "Y"

$$q_y = \left( \frac{15765.72 - 15460.83}{3.55} \right) (1.527 + 0.50 + 0.43) + 15460.83 = 15660.45 \text{ Kg/m}^2$$

- **Cortante ultima actuante.**

$$V_{du} = \left( \frac{15765.72 - 15660.45}{2} \right) 3.70 * 1.10 = 64056.92 \text{ Kg}$$

- **Cortante ultima resistente.**

$$V_c = 0.53 * \sqrt{2100000} * 3.70 * 0.38 = 108125.10 \text{ Kg}$$

Luego igualamos las condiciones que debe cumplir

$$0.85 * 121492.02 \geq 64056.92$$

$$\mathbf{91906.34 \geq 66791.61 \quad OK!!}$$

### Diseño por Flexión:

#### Momento de diseño dirección "X"

$$q_{med} = \left( \frac{15765.72 - 15460.83}{3.70} \right) (1.527 + 0.65) + 15460.83 = 15627.68 \text{ Kg/m}^2$$

$$M_{Diseño} = \left[ \left( \frac{15627.68}{2} \cdot 1.527^2 \right) + (15765.72 - 15627.68) \left( \frac{1.527^2}{3} \right) \right] 3.55$$

$$M_{Diseño} = \left[ \frac{(2 * 15765.72 + 15627.68)}{6} (1.527^2) \right] 3.55$$

$$M_{Diseño} = 65179.31 \text{ Kg} - \text{m}$$

#### Momento de diseño dirección "Y"

$$q_{med} = \left( \frac{15765.72 - 15460.83}{3.55} \right) (1.527 + 0.50) + 15460.83 = 15647.58 \text{ Kg/m}^2$$

$$M_{Diseño} = 67958.72 \text{ Kg} - \text{m}$$

### Acero requerido por Flexión:

Luego calcularemos el acero de refuerzo, para esto emplearemos el esfuerzo último  $R_u$ , que debe ser resistida por el refuerzo a tensión mostrada a continuación.

#### Dirección "X"

$$R_u = \frac{65179.31}{0.90 * 3.55 * 0.43^2} = 111750.66 \frac{\text{Kg} - \text{m}}{\text{m}}$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 * \frac{21}{420} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 111750.66}{0.9 * 2100000}} \right) = 0.002592$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{4200} = 0.00333$$

$$A_s = 0.003333 * 355 * 43 = 50.59 \text{ cm}^2$$

$$n_b = \frac{50.59}{1.98} = 26$$

$$S = \frac{3.55 - 2 * 0.075 - 0.01588}{26 - 1} = 0.14 \text{ m}$$

**∴ Usar 26 Ø 5/8" @ 14 cm**

Dirección "Y"

$$R_u = \frac{67958.37}{0.90 * 3.70 * 0.38^2} = 111797.83 \frac{\text{Kg} - \text{m}}{\text{m}}$$

$$\rho_{\text{calculado}} = 0.85 * \frac{21}{420} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 * 111797.83}{0.9 * 2100000}} \right) = 0.0025931$$

$$\rho_{\text{minimo}} = \frac{14}{4200} = 0.00333$$

$$A_s = 0.003333 * 370 * 43 = 53.59 \text{ cm}^2$$

$$n_b = \frac{46.93}{1.98} = 26$$

$$S = \frac{3.70 - 2 * 0.075 - 0.01588}{24 - 1} = 0.13 \text{ m}$$

**∴ Usar 26 Ø 5/8" @ 13 cm**

### III. Desarrollo de una Zapata Aislada Central en método programado.

Para hacer el diseño de una zapata aislada, ingresamos en el menú principal y seleccionamos el icono de zapata aislada, en seguida se muestra la siguiente ventana; una vez acá vamos a ingresar todos los valores solicitados y a continuación clic en el botón siguiente.

FONDAZIONI 1.0 - [Form1]

Modelo

Nuevo Modelo | Abrir Modelo

Zapata **Central** | Columna **Rectangular**

Suelo

$\sigma_{adm}$  1.9 kg/cm<sup>2</sup>

$\gamma_m$  2100 kg/m<sup>3</sup>

$D_f$  1.3 m

S/C 500 kg/m<sup>2</sup>

r 7.5 cm

Momentos

$M_{Dx}$  168.25 kg.m

$M_{Lx}$  195.92 kg.m

$M_{Ex}$  3637.85 kg.m

$M_{Dy}$  190.96 kg.m

$M_{Ly}$  221.47 kg.m

$M_{Ey}$  5183.72 kg.m

Dimensiones Basicas

Varilla Zapata 5/8" | Varilla Columna 3/8"

a 50 cm

b 65 cm

Cargas

$P_D$  97690.44 kg

$P_L$  40500.21 kg

$P_{Ex}$  31199.03 kg

$P_{Ey}$  31626.57 kg

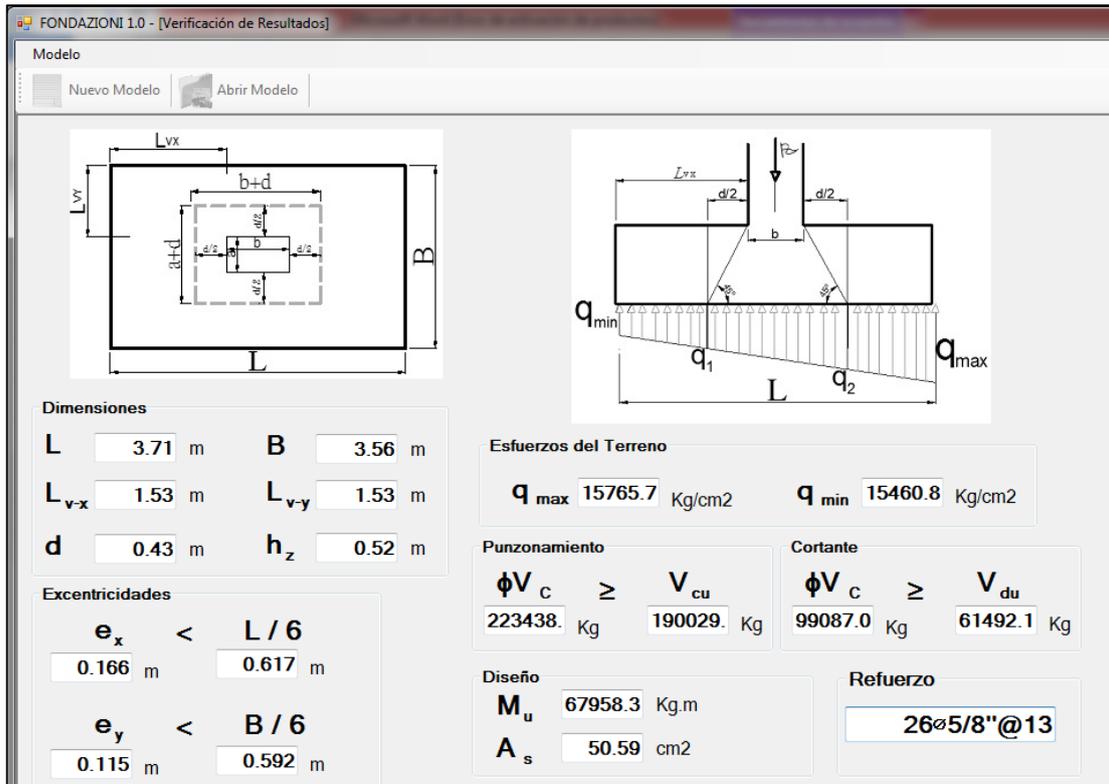
Prop. de Materiales

$f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>

$f_y$  4200 kg/cm<sup>2</sup>

ATRAS | SIGUIENTE

La siguiente ventana muestra los resultados correspondientes a la zapata aislada, verificaciones, dimensiones, peralte y Acero requerido.



#### IV. Desarrollo de una Zapata Combinada por el método analítico.

|                                |                 |                    |                    |
|--------------------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| Esfuerzo admisible del terreno | 1.9             | kg/cm <sup>2</sup> |                    |
| Sobrecarga                     | 500             | kg/m <sup>2</sup>  |                    |
| Densidad promedio              | 2100            | kg/m <sup>3</sup>  |                    |
| Profundidad de desplante       | 1.3             | m                  |                    |
| Luz libre entre cara columna   |                 | m                  |                    |
| Long. Desde los ejes de cargas | 3.5             | m                  |                    |
| Fluencia del acero             | f' <sub>c</sub> | 210                | kg/cm <sup>2</sup> |
| Resistencia del concreto       | F <sub>y</sub>  | 4200               | kg/cm <sup>2</sup> |

| Columna 1        |     |       |      |
|------------------|-----|-------|------|
| <b>Cargas</b>    |     |       |      |
| Carga muerta     | Pd1 | 75000 | Kg   |
| Carga viva       | Pl1 | 47000 | Kg   |
| Carga en sismo x | Pex | 7000  | Kg   |
| Carga en sismo y | Pey | 6500  | Kg   |
| <b>Momentos</b>  |     |       |      |
| Mom. Sism. En x  | Mex | 3000  | Kg-m |

|                 |     |      |      |
|-----------------|-----|------|------|
| Mom. Muerto x   | Mdx | 220  | Kg-m |
| Mom. Vivo en x  | MLx | 125  | Kg-m |
| Mom. Sism. En y | Mey | 4000 | Kg-m |
| Mom. Muerto y   | Mdy | 220  | Kg-m |
| Mom. Vivo en y  | Mly | 130  | Kg-m |
| Geometria       |     |      |      |
| a               |     | 40   | Cm   |
| b               |     | 50   | Cm   |

| <b>Columna 2</b> |     |       |      |
|------------------|-----|-------|------|
| <b>Cargas</b>    |     |       |      |
| Carga muerta     | PD2 | 78000 | Kg   |
| Carga viva       | PL2 | 46000 | Kg   |
| Carga en sismo x | PEx | 5500  | Kg   |
| Carga en sismo y | PEy | 4000  | Kg   |
| <b>Momentos</b>  |     |       |      |
| Mom. Sism. En x  | MEx | 2500  | Kg-m |
| Mom. Muerto x    | MDx | 225   | Kg-m |
| Mom. Vivo en x   | MLx | 130   | Kg-m |
| Mom. Sism. En y  | MEy | 3500  | Kg-m |
| Mom. Muerto y    | MDy | 220   | Kg-m |
| Mom. Vivo en y   | MLy | 130   | Kg-m |
| Geometria        |     |       |      |
| a                |     | 40    | Cm   |
| b                |     | 50    | Cm   |

### **Esfuerzo Neto Admisible**

$$\sigma_{\text{neto}} = 19000 - 500 - 2100 * 1.30 = 15770 \text{ kg/m}^2$$

### **Dimensionamiento Por Esfuerzos Admisibles**

#### Combinación de Cargas de servicio

La Combinación de cargas de servicios se hace para cada columna.

- Columna (1)

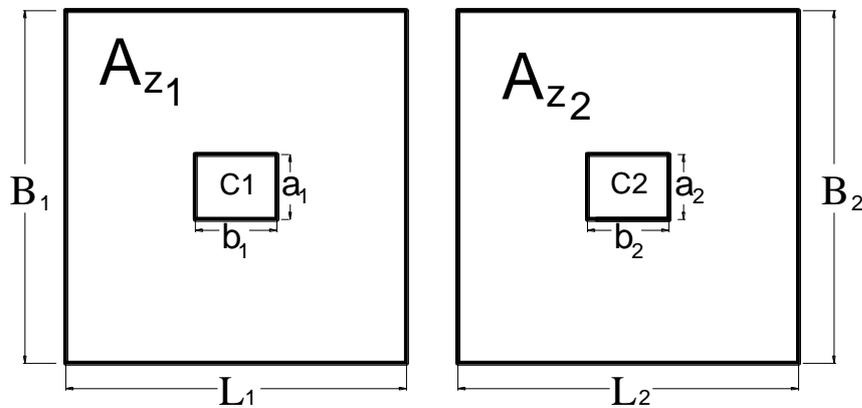
$$\text{Mayor } \begin{cases} P_{1\text{max}} = 75000 + 47000 = 122000 \text{ kg} \\ P_{1\text{max}} = 0.90 \times 75000 + 0.80 \times 47000 = 73100 \text{ kg} \\ P_{1\text{max}} = 75000 + 47000 + 0.80 \times 47000 = 127600 \text{ kg} \end{cases}$$

- Columna (2)

$$\text{Mayor} \begin{cases} P_{2max} = 78000 + 46000 = 124000 \text{ kg} \\ P_{2max} = 0.90 \times 78000 + 0.80 \times 5500 = 74600 \text{ kg} \\ P_{2max} = 78000 + 46000 + 0.80 \times 5500 = 128400 \text{ kg} \end{cases}$$

### Área De Zapata

$$A_{z1} = \frac{127600}{15770} = 8.09 \quad A_{z2} = \frac{128400}{15770} = 8.14 \text{ m}^2$$



### Calculo de Volados

$$L' = \sqrt{8.09} + 0.5(0.5 - 0.4) = 2.79 \text{ m}$$

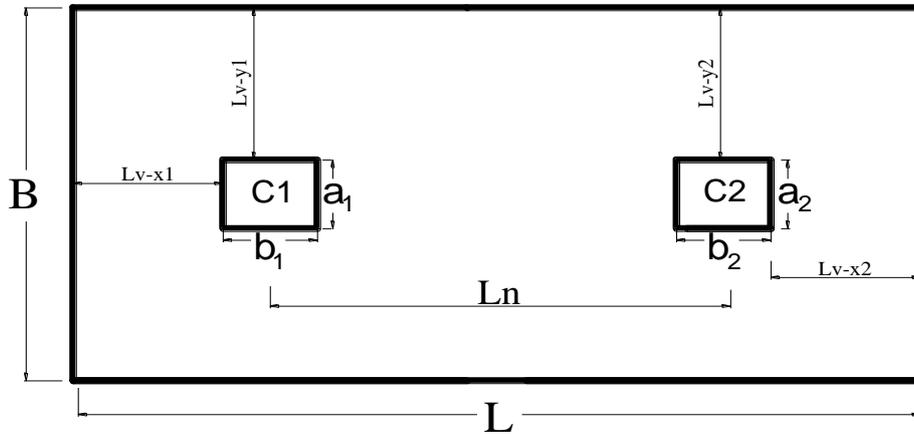
$$L_{v-x} = 0.5(2.79 - 0.40) = 1.20 \text{ m}$$

$$B' = \sqrt{8.09} + 0.5(0.5 - 0.4) = 2.89 \text{ m}$$

$$L_{v-y} = 0.5(2.89 - 0.50) = 1.20 \text{ m}$$

### Geometría De Zapata Combinada

$$B_0 = \frac{127600 + 128400}{3.5 \times 15770} = 4.64 \text{ m}$$



$$B = \begin{cases} \frac{4.64 \times 3.5}{3.5 + 1.20 + 1.20} = 2.75 \text{ m} & \text{si } L_{v-x1} > 0 \text{ y } L_{v-x2} > 0 \end{cases}$$

$$L = 1.20 + 0.50 + 3.5 + 0.50 + 1.20 = 6.90 \text{ m}$$

- **Valores Asumidos Para Cumplir Las Verificaciones, Proceso Iterativo**

|       |      |   |
|-------|------|---|
| B cal | 2.75 | m |
| B     | 3.30 | m |
| Lvy   | 1.45 | m |
| L cal | 6.90 | m |
| L     | 7.30 | m |
| Lvx   | 1.40 | m |

## DESARROLLO DE LA CIMENTACIÓN

### Verificación Por Excentricidades

$$e_x = \frac{4000}{7000} = 0.57 \text{ m} < \frac{L}{6}$$

$$e_y = \frac{3000}{6500} = 0.46, < \frac{B}{6}$$

$$x = \frac{7000(0.57) + 5500(3.5 + 0.64)}{7000 + 5500} = 2.14$$

$$y = \frac{6500(0.46) + 4000(0.63)}{6500 + 4000} = 0.52 \text{ m}$$

### Verificación De Presiones

- **Servicio 1**

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_z} = \frac{75000 + 78000 + 47000 + 46000}{3.30 \times 7.30} = 10211.71 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_1 \leq \sigma_{n-a}$$

- **Servicio 2**

$$\sigma_D = \frac{P}{A_z} = \frac{75000 + 78000}{3.30 \times 7.30} = 6351.18 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_L = \frac{P}{A_z} = \frac{47000 + 46000}{3.30 \times 7.30} = 3860.52 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{Ex} = \frac{P_{Ex}}{A_z} = \frac{7000 + 5500}{3.30 \times 7.30} = 518.89 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{Ey} = \frac{P_{Ey}}{A_z} = \frac{6500 + 4000}{3.30 \times 7.30} = 435.87 \text{ kg/m}^2$$

#### Sismo Dirección x

$$\sigma_{2x} = 6351.18 + 0.70(0.80 \times 518.89) = 6641.76 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{2x} \leq \sigma_{n-a}$$

#### Sismo Dirección y

$$\sigma_{2y} = 6351.18 + 0.70(0.80 \times 435.87) = 6595.27 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_{2y} \leq \sigma_{n-a}$$

- **Servicio 3**

**Sismo Dirección x**

$$\sigma_{3x} = 0.75(6351.18 + 3860.52 + 0.70(0.80 \times 518.89)) = 7876.71 \frac{kg}{m^2}$$

$$\sigma_{3x} \leq \sigma_{n-a}$$

**Sismo Dirección y**

$$\sigma_{3y} = 0.75(6351.18 + 3860.52 + 0.70(0.80 \times 435.87)) = 7841.84 \frac{kg}{m^2}$$

$$\sigma_{3y} \leq \sigma_{n-a}$$

**Combinación De Cargas De Diseño**

**Columna 1**

Cargas

$$P_{U1} = 1.4 \times 75000 + 1.7 \times 47000$$

$$P_{U1} = 1.25(75000 + 47000) \pm 7000$$

$$P_{U1} = 0.90 \times 75000 \pm 7000$$

Momentos

$$M_{U1} = 1.4 \times 220 + 1.7 \times 125$$

$$M_{U1} = 1.25(220 + 125) \pm 3000$$

$$M_{U1} = 0.90 \times 220 \pm 3000$$

**Columna 2**

Cargas

$$P_{U2} = 1.4 \times 78000 + 1.7 \times 46000$$

$$P_{U2} = 1.25(78000 + 46000) \pm 5500$$

$$P_{U2} = 0.90 \times 78000 \pm 5500$$

Momentos

$$M_{U2} = 1.4 \times 225 + 1.7 \times 130$$

$$M_{U2} = 1.25(225 + 130) \pm 2500$$

$$M_{U2} = 0.90 \times 225 \pm 2500$$

### Combinaciones Factoradas Últimas De Diseño

- a) Considerando Cargas y Momentos de gravedad Uniáxial y Verificamos solo en la dirección "X" (dimensión en la dirección más larga de la cimentación)

$$P_{Ux1} = 1.4P_{Dx1} + 1.7P_{Lx1} = 184900 \text{ kg}$$

$$M_{Ux1} = 1.4M_{Dx1} + 1.7M_{Lx1} = 520.5 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 1.4P_{Dx2} + 1.7P_{Lx2} = 187400 \text{ kg}$$

$$M_{Ux2} = 1.4M_{Dx2} + 1.7M_{Lx2} = 536.0 \text{ kg} - m$$

$$q_{max} = \frac{(184900 + 187400)}{3.3 \times 7.30} + \frac{6(520.5 + 536.0)}{3.30 \times 7.30^2} = 15510.50 \leq 15770$$

$$q_{min} = \frac{(184900 + 187400)}{3.3 \times 7.30} - \frac{6(520.5 + 536.0)}{3.30 \times 7.30^2} = 15389.59 \leq 15770$$

- b) Continuamos verificando solo para carga de gravedad biaxial, pero esta vez teniendo en cuenta que los momentos actúan simultáneamente en las 2 direcciones.

$$P_{Ux1} = 1.4P_{Dx1} + 1.7P_{Lx1} = 184900 \text{ kg}$$

$$P_{Uy1} = 1.4P_{Dy1} + 1.7P_{Ly1} = 184900 \text{ kg}$$

$$M_{Ux1} = 1.4M_{Dx1} + 1.7M_{Lx1} = 520.5 \text{ kg}$$

$$M_{Uy1} = 1.4M_{Dy1} + 1.7M_{Ly1} = 529.0 \text{ kg}$$

$$P_{Ux2} = 1.4P_{Dx2} + 1.7P_{Lx2} = 187400 \text{ kg}$$

$$P_{Uy2} = 1.4P_{Dy2} + 1.7P_{Ly2} = 187400 \text{ kg}$$

$$M_{Ux2} = 1.4M_{Dx2} + 1.7M_{Lx2} = 536.0 \text{ kg}$$

$$M_{Uy2} = 1.4M_{Dy2} + 1.7M_{Ly2} = 529.0 \text{ kg}$$

$$q_{max} = \frac{(184900 + 187400)}{3.3 \times 7.30} + \frac{6(520.5 + 536.0)}{3.30 \times 7.30^2} + \frac{6(529.0 + 529.0)}{7.30 \times 3.30^2} = 15570.44 \leq 15770$$

$$q_{min} = \frac{(184900 + 187400)}{3.3 \times 7.30} - \frac{6(520.5 + 536.0)}{3.30 \times 7.30^2} - \frac{6(529.0 + 529.0)}{7.30 \times 3.30^2} = 15570.44 \leq 15770$$

c) Considerando gravedad + sismo en la dirección "X".

El Reglamento Nacional de Edificaciones en el Cap. 15 – 15.2.4; Se podrá considerar un incremento del 30% en el valor de la presión admisible del suelo para los estados de cargas en los que intervengan cargas temporales, tales como sismo o viento.

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{max}$

$$P_{Ux1} = 1.25(P_{Dx1} + P_{Lx1}) \pm 0.80P_{Ex1} = 158100 \text{ kg}$$

$$M_{Ux1} = 1.25(M_{Dx1} + M_{Lx1}) \pm 0.80M_{Ex1} = 2831.25 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy1} = 1.25(M_{Dy1} + M_{Ly1}) = 437.5 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 1.25(P_{Dx2} + P_{Lx2}) \pm 0.80P_{Ex2} = 159400 \text{ kg}$$

$$M_{Ux2} = 1.25(M_{Dx2} + M_{Lx2}) \pm 0.80M_{Ex2} = 2443.75 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy2} = 1.25(M_{Dy2} + M_{Ly2}) = 437.5 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{max1} = \frac{(158100 + 159400)}{3.30 \times 7.30} + \frac{6(2831.25 + 2443.75)}{3.30 \times 7.30^2} + \frac{6(437.5 + 437.5)}{7.30 \times 3.30^2} = 13425.76 \right.$$

≤ 15770

$$P_{Ux1} = 0.90P_{Dx1} \pm 0.80P_{Ex1} = 73100 \text{ kg}$$

$$M_{Ux1} = 0.90M_{Dx1} \pm 0.80M_{Ex1} = 2598 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy1} = 0.90M_{Dy1} = 198 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 0.90P_{Dx2} \pm 0.80P_{Ex2} = 74600 \text{ kg}$$

$$M_{Ux2} = 0.90M_{Dx2} \pm 0.80M_{Ex2} = 2202.5 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy2} = 0.90M_{Dy2} = 198 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{max1} = \frac{(73100 + 74600)}{3.30 \times 7.30} + \frac{6(2589 + 2202.5)}{3.30 \times 7.30^2} + \frac{6(198 + 198)}{7.30 \times 3.30^2} = 6324.85 \leq 15770 \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{min}$

$$P_{Ux1} = 1.25(P_{Dx1} + P_{Lx1}) \pm 0.80P_{Ex1} = 158100 \text{ kg}$$

$$M_{Ux1} = 1.25(M_{Dx1} + M_{Lx1}) \pm 0.80M_{Ex1} = 2831.25 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy1} = 1.25(M_{Dy1} + M_{Ly1}) = 437.5 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 1.25(P_{Dx2} + P_{Lx2}) \pm 0.80P_{Ex2} = 159400 \text{ kg}$$

$$M_{Ux2} = 1.25(M_{Dx2} + M_{Lx2}) \pm 0.80M_{Ex2} = 2443.75 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy2} = 1.25(M_{Dy2} + M_{Ly2}) = 437.5 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{min1} = \frac{(158100 + 159400)}{3.30 \times 7.30} - \frac{6(2831.25 + 2443.75)}{3.30 \times 7.30^2} - \frac{6(437.5 + 437.5)}{7.30 \times 3.30^2} = 12933.73 \right.$$

$\leq \sigma_{neta}$

$$P_{Ux1} = 0.90P_{Dx1} \pm 0.80P_{Ex1} = 73100 \text{ kg}$$

$$M_{Ux1} = 0.90M_{Dx1} \pm 0.80M_{Ex1} = 2598 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy1} = 0.90M_{Dy1} = 198 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 0.90P_{Dx2} \pm 0.80P_{Ex2} = 74600 \text{ kg}$$

$$M_{Ux2} = 0.90M_{Dx2} \pm 0.80M_{Ex2} = 2202.5 \text{ kg} - m$$

$$M_{Uy2} = 0.90M_{Dy2} = 198 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{\min 1} = \frac{(73100 + 74600)}{3.30 \times 7.30} - \frac{6(2589 + 2202.5)}{3.30 \times 7.30^2} - \frac{6(198 + 198)}{7.30 \times 3.30^2} = 5937.50 \leq 15770 \right.$$

d) Considerando gravedad + sismo en la dirección "Y".

Esfuerzo máximo en la zapatas  $q_{\max}$

$$P_{Ux1} = 1.25(P_{Dy1} + P_{Ly1}) \pm 0.80P_{Ey1} = 157700 \text{ kg}$$

$$M_{Uy1} = 1.25(M_{Dy1} + M_{Ly1}) \pm 0.80M_{Ey1} = 3637.5 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux1} = 1.25(M_{Dx1} + M_{Lx1}) = 431.25 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 1.25(P_{Dy2} + P_{Ly2}) \pm 0.80P_{Ey2} = 158200 \text{ kg}$$

$$M_{Uy2} = 1.25(M_{Dy2} + M_{Ly2}) \pm 0.80M_{Ey2} = 3237.5 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux2} = 1.25(M_{Dx2} + M_{Lx2}) = 443.75 \text{ kg} - m$$

$$\left\{ q_{\max 1} = \frac{(157700 + 158200)}{3.30 \times 7.30} + \frac{6(431.25 + 443.75)}{3.30 \times 7.30^2} + \frac{6(3637.5 + 3237.5)}{7.30 \times 3.30^2} = 13662.07 \right.$$

$\leq 15770$

$$P_{Ux1} = 0.90P_{Dx1} \pm 0.80P_{Ex1} = 72700 \text{ kg}$$

$$M_{Uy1} = 0.90M_{Dy1} \pm 0.80M_{Ey1} = 3398 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux1} = 0.90M_{Dx1} = 198 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 0.90P_{Dx2} \pm 0.80P_{Ex2} = 73400 \text{ kg}$$

$$M_{Uy2} = 0.90M_{Dy2} \pm 0.80M_{Ey2} = 2998 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux2} = 0.90M_{Dx2} = 202.5 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{\max 1} = \frac{(72700 + 73400)}{3.30 \times 7.30} + \frac{6(198 + 202.5)}{3.30 \times 7.30^2} + \frac{6(3398 + 2998)}{7.30 \times 3.30^2} = 6561.16 \leq 15770 \right.$$

Esfuerzo mínimo en la zapatas  $q_{\min}$

$$P_{Ux1} = 1.25(P_{Dy1} + P_{Ly1}) \pm 0.80P_{Ey1} = 157700 \text{ kg}$$

$$M_{Uy1} = 1.25(M_{Dy1} + M_{Ly1}) \pm 0.80M_{Ey1} = 3637.5 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux1} = 1.25(M_{Dx1} + M_{Lx1}) = 431.25 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 1.25(P_{Dy2} + P_{Ly2}) \pm 0.80P_{Ey2} = 158200 \text{ kg}$$

$$M_{Uy2} = 1.25(M_{Dy2} + M_{Ly2}) \pm 0.80M_{Ey2} = 3237.5 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux2} = 1.25(M_{Dx2} + M_{Lx2}) = 443.75 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{min1} = \frac{(157700 + 158200)}{3.30 \times 7.30} - \frac{6(431.25 + 443.75)}{3.30 \times 7.30^2} - \frac{6(3637.5 + 3237.5)}{7.30 \times 3.30^2} = 12564.58 \right.$$

$$P_{Ux1} = 0.90P_{Dx1} \pm 0.80P_{Ex1} = 72700 \text{ kg}$$

$$M_{Uy1} = 0.90M_{Dy1} \pm 0.80M_{Ey1} = 3398 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux1} = 0.90M_{Dx1} = 198 \text{ kg} - m$$

$$P_{Ux2} = 0.90P_{Dx2} \pm 0.80P_{Ex2} = 73400 \text{ kg}$$

$$M_{Uy2} = 0.90M_{Dy2} \pm 0.80M_{Ey2} = 2998 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ux2} = 0.90M_{Dx2} = 202.5 \text{ kg} - m$$

$$\text{mayor} \left\{ q_{max1} = \frac{(72700 + 73400)}{3.30 \times 7.30} - \frac{6(198 + 202.5)}{3.30 \times 7.30^2} - \frac{6(3398 + 2998)}{7.30 \times 3.30^2} = 5568.3615770 \right.$$

### Verificación Por Punzonamiento

$$q_{max} = 15510.50 \text{ kg/m}^2$$

$$q_{min} = 15398.59 \text{ kg/m}^2$$

|           |           |
|-----------|-----------|
| Pu1       | Pu2       |
| 184900 Kg | 187400 Kg |

$$\sigma_u = q_{max}$$

$$M_u = \frac{\sigma_u L_v - x^2 B}{2}$$

$$d^2 = \frac{M_u}{\phi \rho b f_y (1 - 0.59 \rho \frac{f_y}{f'_c})}$$

*ρ min*

El valor de “d”, valor inicial, se calculó usando cuantía mínima: d calculado igual a 0.36 m. Se ha tomado un valor de “d” igual a 0.40 m.

$$\sigma_{u1} = \frac{184900 - \left(\frac{15416.99 + 15430.79}{2}\right) 0.72}{0.90 \times 3.4 \times 0.4} = 150341.79 \text{ kg/m}^2$$

$$q'_{-1} = \left(\frac{15510.5 - 15398.6}{7.30}\right) \left(1.40 - \frac{0.4}{2}\right) + 15398.6 = 15416.99$$

$$q_{-1} = \left(\frac{15510.5 - 15398.6}{7.30}\right) \left(1.40 + 0.25 + \frac{0.4}{2}\right) + 15398.6$$

$$= 15430.79$$

$$\sigma_{u1} \leq \sigma_c$$

Hallamos el valor “d” peralte igualando los dos esfuerzos.

Columna 2

$$\sigma_{u1} = \frac{187400 - \left(\frac{15416.99 + 15430.79}{2}\right) 0.72}{0.90 \times 3.4 \times 0.4} = 152470.74 \text{ kg/m}^2$$

$$q'_{-2} = \left(\frac{15510.5 - 15398.6}{7.30}\right) \left(1.40 + 0.25 + 3.5_n - 0.25 - \frac{0.4}{2}\right) + 15398.6 = 15484.44$$

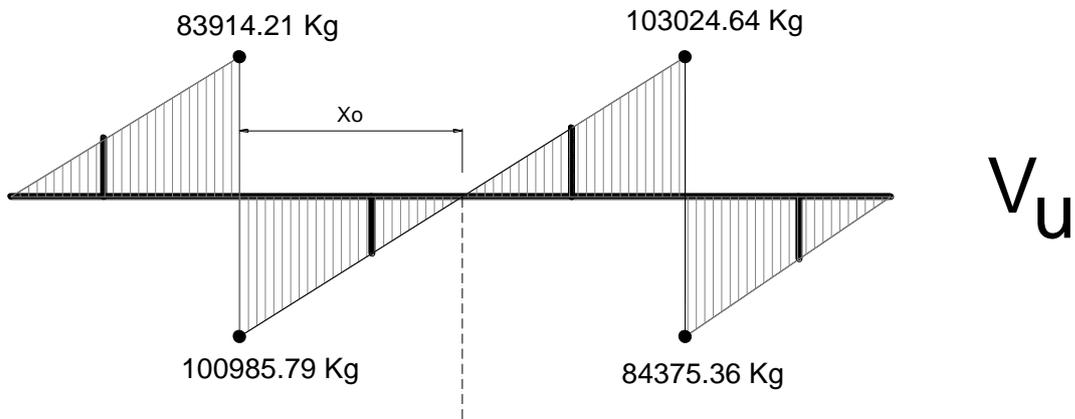
$$q_{-2} = \left(\frac{15510.5 - 15398.6}{7.30}\right) \left(1.40 + 0.25 + 3.5 - 0.25 + 0.50 + \frac{0.4}{2}\right) + 15398.6$$

$$= 15470.64$$

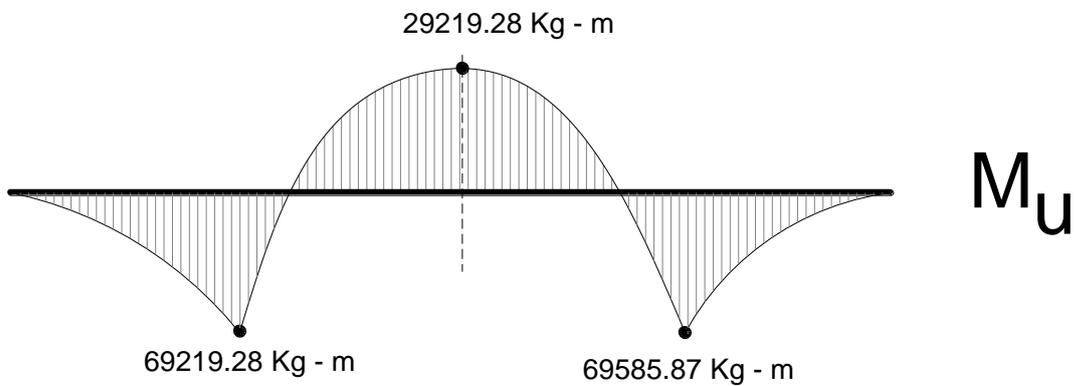
$$\sigma_{u2} \leq \sigma_c$$

Hallamos el valor “d” peralte correspondiente a la verificación por punzonamiento en la columna 2.

## Verificación Por Cortante – Longitudinal



$V_u$



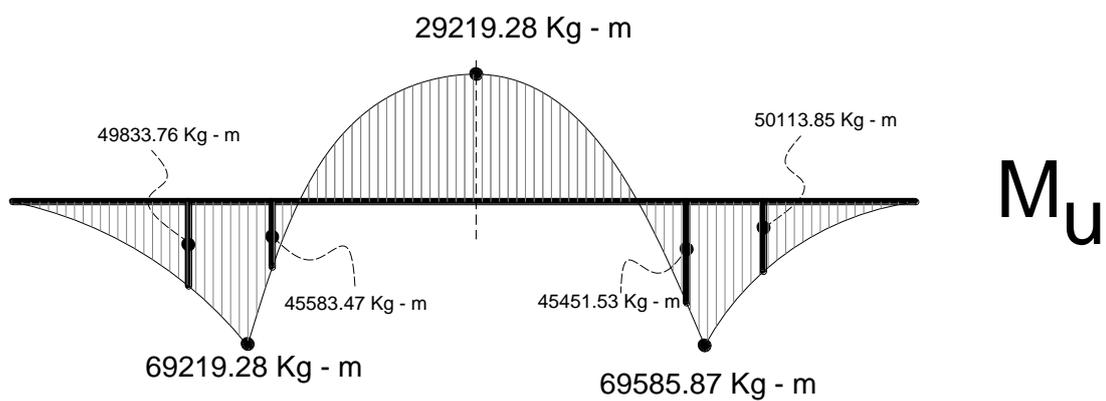
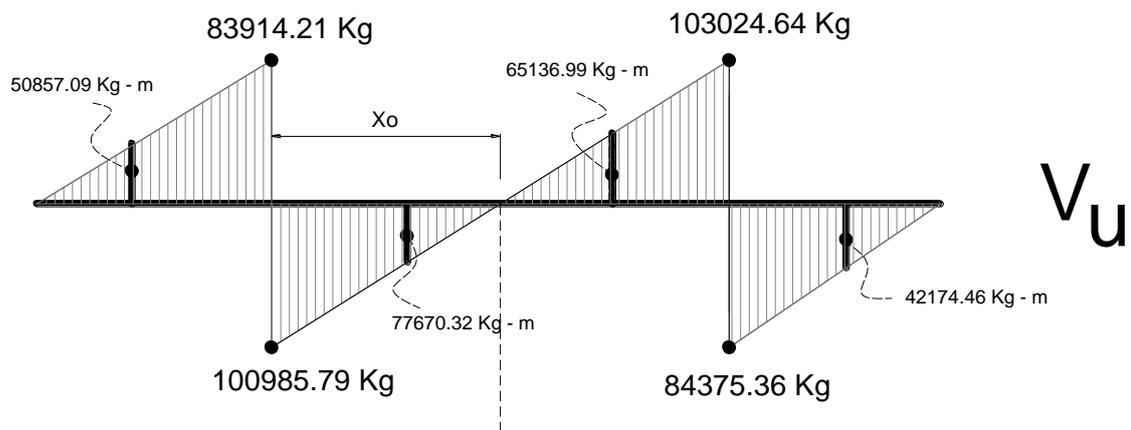
$M_u$

$$q_1 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x1} + C_1) + q_{min} = 15423.89 \text{ kg/m}^2$$

$$q_2 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x1} + C_1 + L_n + C_2) + q_{min} = 15481.37 \text{ kg/m}^2$$

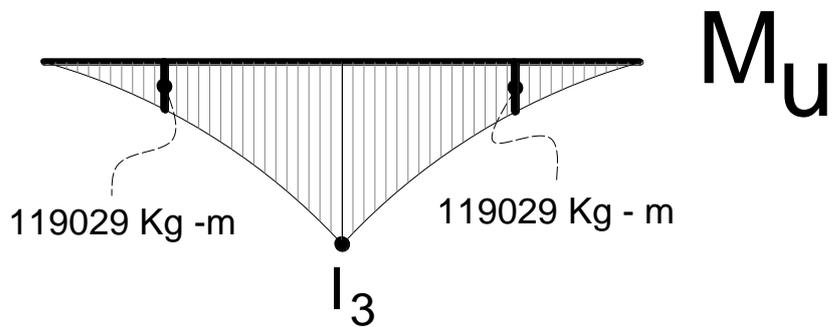
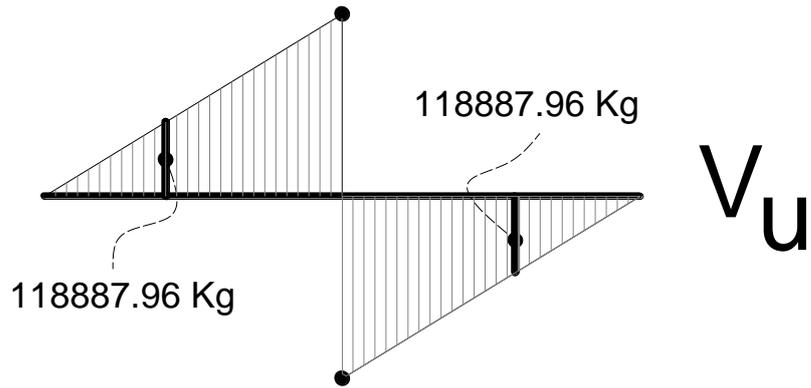
$$X_0 = \frac{L_n \cdot \psi_1}{\psi_1 + \psi_2} = 1.73 \text{ m}$$

$$q_0 = \left( \frac{q_{max} - q_{min}}{L} \right) (L_{v-x1} + C_1 + X_0) + q_{min} = 15450.45 \text{ kg/m}^2$$



### Verificación Por Cortante – Transversal

Usamos la mayor de las cargas P1 o P2 y analizamos la cortante actuante.



$$V_{du} = q_{max} \cdot L \cdot X = 15510 \times 7.30 \times (1.45 - 0.40) = 118887.96 \text{ kg}$$

$$M_{ux_1} = \frac{15510 \times 7.30 \times 1.45^2}{2} = 119029 \text{ kg} - \text{m}$$

### Refuerzo En Zapata Combinada

#### Refuerzo Longitudinal

Tomamos el momento en la cara de la columna, para el análisis tomamos el mayor.

- d) Momento Ultimo a la cara de la columna 1
- e) Momento Ultimo a la cara de la columna 2
- f) Momento Ultimo máximo

$$R_u = \frac{50113.85}{0.90 \times 3.30 \times 0.40^2} = 105458.44 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{210}{4200} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 105458.44}{0.9 \times 4200 \times 10^4}} \right) = 0.0024$$

$$\phi = 0.90$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y} = 0.0033 \quad ; \quad \rho_{calculado} > \rho_{minimo} \quad \text{Tomar el mayor}$$

Tomar en cuenta la cuantía mínima, luego calculamos el acero de refuerzo

$$A_s = 0.0033 \times 330 \times 40 = 44 \text{ cm}^2$$

Separación

$$S = \frac{3.30 - 2 \times 0.075 - 0.016}{23 - 1} = 0.14 \text{ m}$$

$$n_b = \frac{A_s}{A_b} = \frac{44}{1.98} \cong 23$$

Donde:

$r_e$  = Recubrimiento

$d_b$  = Diámetro de barra

$n_b$  = # de Barras

$A_b$  = Área de Barra

Separación Mínima y Máxima

$$S_{min} = \max \begin{cases} 2.54 \text{ (cm)} \\ d_b \text{ (cm)} \end{cases}$$

$$S_{max} = \max \begin{cases} 2h \text{ (cm)} \\ 45 \text{ (cm)} \end{cases}$$

**Usar 23  $\Phi$  5/8" @ 14**

### Refuerzo Transversal

Tomamos el momento en la cara de la columna, para el análisis tomamos el mayor.

$$R_u = \frac{119029.49}{0.90 \times 7.30 \times 0.40^2} = 113232.01 \text{ kg/m}^2$$

$$\rho_{calculado} = 0.85 \frac{210}{4200} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 113232.01}{0.90 \times 4200 \times 10^4}} \right) = 0.0026$$

$$\phi = 0.90$$

$$\rho_{minimo} = \frac{14}{f_y} = 0.0033 ; \quad \rho_{calculado} >$$

$\rho_{minimo}$  Tomar el mayor

Tomar en cuenta la cuantía mínima, luego calculamos el acero de refuerzo

$$A_s = 0.0033 \times 330 \times 40 = 44 \text{ cm}^2$$

Separación

$$S = \frac{7.3 - 2 \times 0.075 - 0.016}{23 - 1} = 0.32 \text{ m} \quad ; \quad n_b = \frac{44}{1.98} \cong 23$$

Donde:

$r_e$  = Recubrimiento

$d_b$  = Diámetro de barra

$n_b$  = # de Barras

$A_b$  = Área de Barra

Separación Mínima y Máxima

**USAR 23  $\Phi$  5/8" @ 32**

## V. Desarrollo de una Zapata Combinada por el método programado.

Para hacer el diseño de una zapata combinada, ingresamos en el menú principal y seleccionamos el icono de zapata combinada, en seguida se muestra la siguiente ventana; una vez acá vamos a ingresar todos los valores solicitados y a continuación clic en el botón siguiente.

La siguiente ventana muestra los resultados correspondientes a la zapata Combinada, verificaciones, dimensiones, peralte y acero requerido.

## VI. Desarrollo de una Zapata Conectada por el método Analítico.

### DATOS DE ENTRADA

#### Capacidad De Carga Neta Y Esfuerzos Admisibles

- $\sigma_{adm} = 2.80 \text{ kg/cm}^2$
- $S/c = 500 \text{ Kg/m}^2$
- $\gamma_m = 2100 \text{ Kg/m}^3$
- $D_f = 1.2 \text{ m}$
- $L_c = 6 \text{ m}$

| COLUMNA (1)                              | COLUMNA (2)                              |
|--|--|
| <b>CARGAS</b>                            |  |
| $P_{D_1} = 100\ 000 \text{ Kg}$          | $P_{D_2} = 150\ 000 \text{ Kg}$          |
| $P_{L_1} = 50\ 000 \text{ Kg}$           | $P_{L_2} = 80\ 000 \text{ Kg}$           |
| $P_{\vec{E}_{x_1}} = 20\ 000 \text{ kg}$ | $P_{\vec{E}_{x_2}} = 15\ 000 \text{ Kg}$ |
| $P_{\vec{E}_{y_1}} = 12\ 000 \text{ Kg}$ | $P_{\vec{E}_{y_2}} = 13\ 000 \text{ Kg}$ |
| <b>MOMENTOS</b>                          |  |
| $M_{D_{x_1}} = 8\ 000 \text{ Kg}$        | $M_{D_{x_2}} = 3\ 000 \text{ Kg}$        |
| $M_{L_{x_1}} = 6\ 000 \text{ Kg}$        | $M_{L_{x_2}} = 150 \text{ Kg}$           |
| $M_{\vec{E}_{x_1}} = 9\ 000 \text{ Kg}$  | $M_{\vec{E}_{x_2}} = 10\ 000 \text{ Kg}$ |
| $M_{D_{y_1}} = 6\ 000 \text{ Kg}$        | $M_{D_{y_2}} = 7\ 000 \text{ Kg}$        |
| $M_{L_{y_1}} = 4\ 000 \text{ Kg}$        | $M_{L_{y_2}} = 5\ 000 \text{ Kg}$        |
| $M_{\vec{E}_{y_1}} = 6\ 000 \text{ Kg}$  | $M_{\vec{E}_{y_2}} = 7\ 000 \text{ Kg}$  |

### PROCESO

### **Esfuerzo Neto Admisible**

$$\sigma_{\text{neto}} = 2802 - 500 - 2100 * 1.20 = 2.500 \text{ Kg/cm}^2$$

### **DIMENSIONAMIENTO POR ESFUERZOS ADMISIBLES**

#### **Combinación de Cargas de servicio.**

Para las combinaciones de carga de servicio, será tomara igual como especifica Cap. 5, Art. 19. De la E.020 Cargas del Reglamento Nacional De Edificaciones.

- Columna (1)

$$\text{Mayor} \begin{cases} P - 1_{\text{max}} = 150000 + 50000 = 200000 \text{ Kg} \\ P - 1_{\text{max}} = 0.90 * 150000 + 0.80 * 200000 = 295000 \text{ Kg} \\ P - 1_{\text{max}} = 150000 + 100000 + 0.80 * 200000 \text{ Kg} = 410000 \text{ Kg} \end{cases}$$

- Columna (2)

$$\text{Mayor} \begin{cases} P - 2_{\text{max}} = 150000 + 80000 = 230000 \text{ Kg} \\ P - 2_{\text{max}} = 0.90 * 150000 + 0.80 * 150000 = 255000 \text{ Kg} \\ P - 2_{\text{max}} = 150000 + 80000 + 0.80 * 150000 = 350000 \text{ Kg} \end{cases}$$

#### **Área de zapatas**

##### **c) Columna 1 (Zapata Excéntrica)**

$$A_{z-1} = 8.00 \text{ m}^2$$

$$L_1 = 2.15 \text{ m}$$

$$B_1 = 3.75 \text{ m}$$

$$L_x = 6.00 + 0.40 - 0.5 = 5.90$$

Determinamos las dimensiones a partir de algunas fórmulas, las cuales nos darán dimensiones de igual medida.

**d) Columna 2 (Zapata Central)**

$$A_{z-2} = 10.85 \text{ m}^2$$

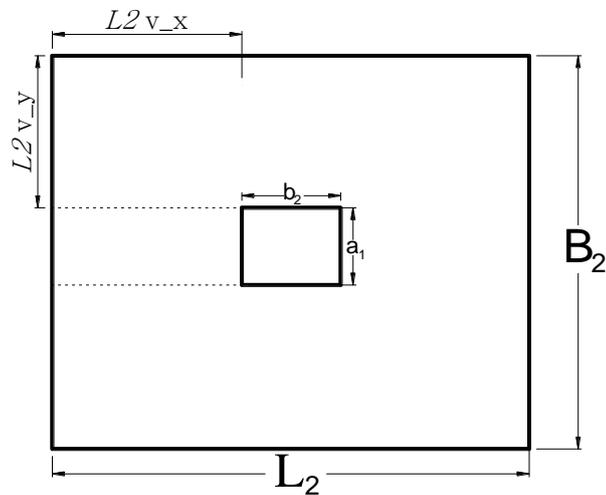
Determinamos las dimensiones a partir de algunas fórmulas, las cuales nos darán dimensiones de igual medida.

$$L_2 = 3.50 \text{ m}$$

$$L_{2v-x} = 1.35 \text{ m}$$

$$B_2 = 3.10 \text{ m}$$

$$L_{2v-y} = 1.35 \text{ m}$$



**DESARROLLO DE LA CIMENTACION**

**Combinación De Cargas De Diseño**

$$P_U = 1.4 * 150000 + 1.7 * 80000 =$$

$$P_U = 1.25(150000 + 80000) + 150000 =$$

## Verificación De Presiones Con Combinaciones Últimas De Diseño

### Primera verificación:

| Zapata N° 1                             | Zapata N°2                               |
|---|--|
| $q_{max-1-1} = 39420.02 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{max-1-2} = 39140.05 \frac{Kg}{m^2}$  |
| $q_{min-1-1} = 33180.10 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{min-1-2} = 320810.20 \frac{Kg}{m^2}$ |

### Segunda verificación:

| Zapata N° 1                             | Zapata N°2                              |
|---|---|
| $q_{max-2-1} = 25610.12 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{max-2-2} = 28540.14 \frac{Kg}{m^2}$ |
| $q_{min-2-1} = 20880.45 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{min-2-2} = 23192.45 \frac{Kg}{m^2}$ |

### Tercera verificación:

| Zapata N° 1                             | Zapata N°2                              |
|---|---|
| $q_{max-3-1} = 20481.25 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{max-3-2} = 28541.74 \frac{Kg}{m^2}$ |
| $q_{min-3-1} = 16704.24 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{min-3-2} = 23194.54 \frac{Kg}{m^2}$ |

### Cuarta verificación:

| Zapata N° 1                             | Zapata N°2                              |
|---|---|
| $q_{max-4-1} = 33251.40 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{max-4-2} = 30250.42 \frac{Kg}{m^2}$ |
| $q_{min-4-1} = 20560.10 \frac{Kg}{m^2}$ | $q_{min-4-2} = 21781.47 \frac{Kg}{m^2}$ |

De las cuatro verificaciones de presiones, se obtendrá el esfuerzo máximo y mínimo en cada zapata; se tendrá que **verificar que el esfuerzo mínimo no tenga signo negativo**, para que todo el suelo este trabajando en compresión, se escogerá el máximo valor de esfuerzo, el cual nos permitirá para las verificaciones de punzonamiento, cortante y diseño propio de las zapatas.

| Zapata N° 1   | Zapata N°2  |
|---|---|
| $\sigma_{u_1} = q_{max1} = 36123.14 \frac{Kg}{m^2}$ | $\sigma_{u_2} = q_{max2} = 35891.82 \frac{Kg}{m^2}$ |

## DISEÑO DE LA CIMENTACION.

### ZAPATA Nº 1 (columna 1)

**Verificación por punzonamiento:** Asumimos,

$$h = 0.60 \text{ m} \quad d = 52.5 \quad d/2 = 26.25$$

$$b_o = 2\left(C_1 + \frac{d}{2}\right) + C_2 + d$$

$$b_o = 2.65 \text{ m}$$

$$A_o = \left(C_1 + \frac{d}{2}\right)(C_2 + d) = 0.798 \text{ m}^2 \quad \rightarrow \quad A_r = 3.80 \times 2.20 = 8.36 \text{ m}^2$$

$$V_{u\phi} = \sigma_u (A_r - A_o) = 36.12(8.36 - 0.798) = 273.14 \text{ Ton.}$$

$$V_{CP} = \left(0.53 + \frac{1.1}{\beta_o}\right) \sqrt{f'c} b_o d = 0.53 + \frac{1.1}{60/40} \sqrt{210} * 265 * 26.15 = 254.80 \text{ Ton.}$$

$$V_{CP} = 1.1 \sqrt{f'c} b_o d = 221.86 \text{ Ton.}$$

$$\phi V_{CP} = 0.85 * 221.86 = 188.50 \text{ Ton}$$

$$\phi V_{CP} > V_u$$

$$188.5 > 273.14 \quad \rightarrow \quad \text{Por lo tanto aumentamos } d = 67.5 \quad h = 75$$

$$A_o = 1.008 \text{ m}^2$$

$$b_o = 2.951 \text{ m}$$

$$V_{up} = 265.55 \text{ Ton.}$$

$$V_{cp} = 317.52 \text{ Ton.}$$

$$\phi V_{cp} = 269.89 \text{ Ton.}$$

$$\text{Entonces: } V_u = 265.55 \text{ Ton} < \phi V_{cp} = 269.89 \text{ Ton.}$$

**Cortante por Flexión:**

$$Vu = \sigma_u * B * x$$

$$X = 1.60 - 0.675 = 0.925$$

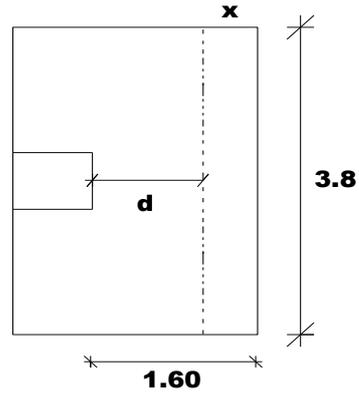
**Columna 1:**

$$Vu = 36.12 * 3.80 * 0.915 = 126.96 \text{Ton}$$

$$Vc = 0.53 \sqrt{f'c} b d$$

$$\phi Vc = 0.85 * 0.53 \sqrt{210} * 380 * 67.5 = 167.45 \text{Ton.}$$

$$Vu = 126.96 < \phi Vc = 167.45 \text{Ton}$$



**1. Diseño por Flexión.**

**Zapata 1:** (En la dirección x)

$$Mu = \sigma_u \frac{Bx^2}{2}$$

$$x = 2.20 - 0.60 = 1.60 \text{m}$$

$$Mu = 36.12 * 380 \frac{160^2}{2} = 175.7 \dots T - m$$

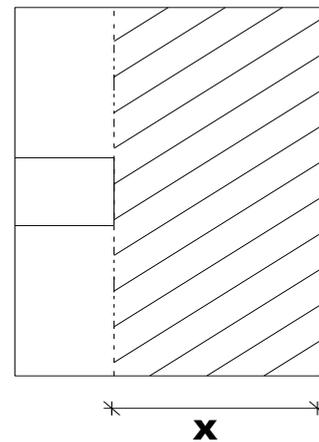
$$As = \frac{Mu}{\phi f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)}$$

$$As = \frac{175.5 * 10^5}{0.90 * 4200 \left( 67.5 - \frac{13.5}{2} \right)} = 76.5 \dots \text{cm}^2$$

$$a = \frac{As * f_y}{0.85 * f'c b}$$

$$a = \frac{76.5 * 4200}{0.85 * 210 * 380} = 4.7$$

$$a = 4.7 \text{cm} \neq 13.5$$



Probando con  $a = 4.6$

$$A_s = \frac{175.7 * 10^5}{0.9 * 4200 \left( 67.5 * \frac{4.6}{2} \right)} = 71.3$$

$$a = \frac{71.3 * 4200}{0.85 * 210 * 380} = 4.4 \text{ cm.}$$

Entonces: separación de barras "S"

$$S = \frac{Ab}{A_{st}} * b \qquad S = \frac{2.84}{71.3} * 380 = 15.1 \approx 15$$

Usar  $\phi \frac{3}{4} @ 0.15$

En la dirección y:

$$Mu = \sigma_u * L * \frac{y^2}{2}$$

$$Mu = 36.12 * 2.20 * \left( \frac{1.70^2}{2} \right)$$

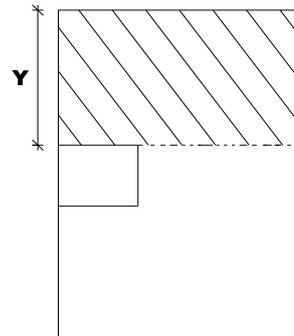
$$Mu = 114.8 \dots T - m$$

$$A_s = \frac{114.8 * 10^5}{0.9 * 4200 \left( 67.5 - \frac{13.5}{2} \right)} = 50 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{50 * 4200}{0.85 * 210 * 220} = 5.3$$

$$A_s = \frac{114.8 * 10^5}{0.9 * 4200 \left( 67.5 - \frac{5.3}{2} \right)} = 46.8 \text{ cm}^2$$

$$a = \frac{46.8 * 4200}{0.85 * 210 * 220} = 5.0 \cong 5.3 \dots \dots \dots OK$$



$$\frac{5}{8}'' \rightarrow S = \frac{2.00}{46.8} * 220 = 9.4 \approx 10cm$$

$$\frac{3}{4}'' \rightarrow S = \frac{2.84}{46.8} * 220 = 13.3 \approx 15cm$$

## ZAPATA Nº 2 (COLUMNA 2)

### 1. Verificación por punzonamiento: Asumimos,

$$h = 0.70 m \quad d = 62.5 \quad d/2 = 31.25 cm$$

$$A = (0.80 + 0.635) (0.40 + 0.625) = 1.461 m^2$$

$$A = 3.5 \times 3.10 = 10.85 m^2$$

$$b_o = 2(0.80 + 0.625) + 2(0.40 + 0.625) = 336.97 ton.$$

Cortante de diseño:

$$V_{up} = (10.85 - 1.461) \times 35.89 = 336.97 Ton.$$

Cortante resistente:

$$V_{up} = \left[ 0.53 + \frac{1.1}{\frac{80}{40}} \right] \sqrt{210} * 490 * 62.5 = 479.30Ton.$$

$$\leq 1.1\sqrt{210} * 490 * 62.5 = 488.18Ton.$$

**Verificación por Cortante:** Tomando el más desfavorable en el sentido de 3.1 ya que las alas son iguales

$$Wu = 3.5 \times 35.89 = 125.615 \text{ T/m}$$

$$Vu = Wu (1.35 - 0.625) = 125.615 \times 0.725 = 91.07 \text{ Ton.}$$

**Cortante resistente:**

$$Vc = 0.85 * 0.53 \sqrt{210} * 350 * 0.625 = 142.81 \text{ Ton.}$$

2. **Diseño del Refuerzo:** Se hace por metro de ancho.

Volados iguales de 1.35 m

$$Mu = \frac{35.89(1.35)^2}{2} = 32.705 \text{ T} - \text{m/m}$$

$$b = 100$$

$$d = 62.5$$

$$f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Con} \dots a = 3.1 \implies As = 13.12 \text{ cm}^2$$

$$\phi \frac{5}{8} \implies S = \frac{2.00}{13.12} = 15.2 \text{ cm}^2$$

Usar \dots \phi \frac{5}{8} \dots @ 15 \text{ cm} \dots \text{en} \dots \text{ambos} \dots \text{sentidos}

## DISEÑO DE LA VIGA DE CONEXIÓN.

$$Vud = 28.38 \text{Ton.}$$

$$Mu = 161.40 \text{Ton.}$$

Peralte por Cortante: Asumimos  $h = \frac{l}{8} \approx \frac{6.6}{8} \approx 0.82 \approx 0.80 \text{m}$

Cortante por Diseño:  $Vud = 28.38 \text{ Ton.}$

Cortante Resistente:

$$Vc = 0.53 \sqrt{210} * 40 * 72.5 = 22.27 \text{Ton}$$

$$Vud \leq \phi Vc \implies Vud > \phi Vc$$

Como el cortante que toma el concreto no es suficiente, colocamos estribos:

$$Vs = \frac{Vud}{\phi} - Vc = \frac{28.38}{0.85} - 22.27 = 11.12 - \text{Ton.}$$

Usamos  $\Pi \phi \frac{3}{8}$ "  $\rightarrow Ar = 0.71 \times 2 = 1.42 \text{ cm}^2$  y  $fy = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

Luego obtenemos:

$$S = \frac{Ar * fy * d}{Vs}$$

$$S = \frac{1.42 * 4200 * 72.5}{11200} = 38.9 \text{cm}$$

Separación máxima =  $d/2 = 725/2 = 36.25 \text{ cm.}$

Colocamos estribos  $\phi \frac{3}{8}$ " @ 0.30

Diseño por Refuerzo:

$$Mu = 161.40 \text{Ton.}$$

$$b = 40$$

$$H = 80$$

$$d = 72.5 \text{cm}$$

$$\rho_{\min.} = \frac{0.7\sqrt{f'c}}{fy} = 0.0024 \implies As_{\min.} = \rho_{\min} bd = 0.0024 * 40 * 72.5 = 6.96 \text{cm}^2$$

$$\rho_{\max.} = 0.75\rho_b = 0.016 \implies As_{\max.} = \rho_{\max} bd = 0.016 * 40 * 72.5 = 46.4 \text{cm}^2$$

$$a_{\min.} = \rho_{\min} \frac{fy}{f'c} d = 0.0024 * \frac{4200}{210} * 72.5 = 3.48 \text{cm}$$

$$a_{\max.} = \frac{0.016 * 4200 * 72.5}{210} = 2.32 \text{cm}$$

$$M_{\min.} = \phi As_{\min.} * fy \frac{\left(d - \frac{a_{\min.}}{2}\right)}{10^5}$$

$$M_{\min.} = 0.9 * 6.96 * 4200 \left(72.5 - \frac{3.48}{2}\right) = 18.6 \text{Ton-m.}$$

$$M_{\max.} = 0.9 * 46.4 * 4200 \frac{\left(72.5 - \frac{23.2}{2}\right)}{10^5} = 106.81 \text{Ton-m.}$$

$Mu > M_{\max.} \rightarrow$  Necesita  $As$  en compresión.

$$Mu = \phi A's * fy (d - d')$$

$$54.59 * 10^5 = 0.9 * A's * 4200 (72.5 - 6)$$

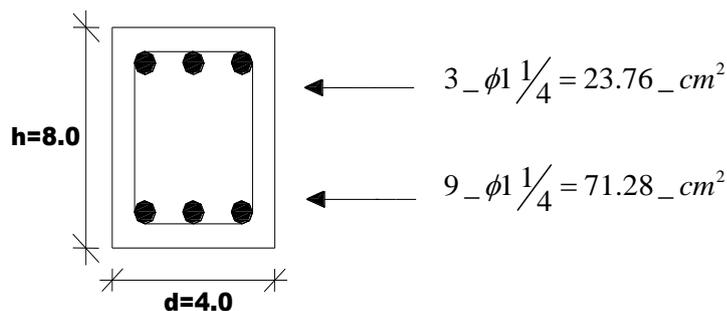
$$A's = 21.72 \text{cm}^2$$

$$As = A's + (As - A's)$$

$$As = 21.72 + 46.4 = 68.12 \text{cm}^2$$

$\rightarrow$  13  $\phi$  12" , no alcanza

$\rightarrow$  9  $\phi$  1 1/4 = 71.28 cm<sup>2</sup>



## VII. Desarrollo de una Zapata Conectada por el método Programado.

Para hacer el diseño de una zapata Conectada, ingresamos en el menú principal y seleccionamos el icono de zapata conectada, en seguida se muestra la siguiente ventana; una vez acá vamos a ingresar todos los valores solicitados y a continuación clic en el botón siguiente.

The screenshot shows the 'FONDAZIONE 1.0' software interface. It is divided into several sections:

- Modelo:** Buttons for 'Nuevo Modelo' and 'Abrir Modelo'.
- Columna 1 Rectangula:** A diagram of a rectangular column with width 'b' and height 'a'. Below it are 'Dimensiones Basicas' for 'Vanilla Zapata' (5/8") and 'Vanilla Columna' (5/8").
- Momentos:** A list of moments:  $M_{Dx}$  8000 kg.m,  $M_{Lx}$  6000 kg.m,  $M_{Ex}$  9000 kg.m,  $M_{Dy}$  6000 kg.m,  $M_{Ly}$  4000 kg.m,  $M_{Ey}$  6000 kg.m.
- Cargas:** A list of loads:  $P_D$  100000 kg,  $P_L$  50000 kg,  $P_{Ex}$  20000 kg,  $P_{Ey}$  12000 kg.
- Suelo:** Soil properties:  $\sigma_{adm}$  2.8 kg/cm<sup>2</sup>,  $Y_m$  2100 kg/m<sup>3</sup>,  $D_f$  1.2 m, S/C 500 kg/m<sup>2</sup>,  $r$  5 cm,  $L_n$  6 m.
- Prop. de Materiales:** Material properties:  $f_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>,  $f_y$  4200 kg/cm<sup>2</sup>.
- Columna 2 Rectangula:** A diagram of a rectangular column with width 'b' and height 'a'.
- Momentos:** A list of moments:  $M_{Dx}$  3000 kg.m,  $M_{Lx}$  1500 kg.m,  $M_{Ex}$  10000 kg.m,  $M_{Dy}$  7000 kg.m,  $M_{Ly}$  5000 kg.m,  $M_{Ey}$  7000 kg.m.
- Cargas:** A list of loads:  $P_D$  150000 kg,  $P_L$  80000 kg,  $P_{Ex}$  15000 kg,  $P_{Ey}$  13000 kg.
- Buttons:** 'ATRAS' and 'SIGUIENTE'.

La siguiente ventana muestra los resultados correspondientes a la zapata Conectada, verificaciones, dimensiones y área de acero.

The screenshot shows the results of the design for a connected footing. It includes diagrams and detailed design data for two footings and the connecting beam.

**ZAPATA EXCÉNTRICA** and **ZAPATA INTERIOR** diagrams are shown at the top left, connected by a **VIGA DE CONEXIÓN**.

**Zapata 1:**

- Dimensiones:**  $L_1$  2.15 m,  $B_1$  3.75 m,  $L_{1-v-x}$  1.55 m,  $L_{1-v-y}$  1.55 m,  $d_1$  0.675 m,  $h_{z1}$  0.75 m.
- Punzonamiento:**  $\phi V_C \geq V_{cu-1}$  265550 Kg, 269890 Kg.
- Cortante:**  $\phi V_C \geq V_{du-2}$  167450 Kg, 126960 Kg.
- Diseño:**  $M_{ux1}$  175700 Kg.m,  $M_{uy1}$  114800 Kg.m,  $A_{sy1}$  71.3 cm<sup>2</sup>,  $A_{sy1}$  46.8 cm<sup>2</sup>.
- Refuerzo:** En "X"  $\phi 3/4 @ 0.15$ , En "Y"  $\phi 3/4 @ 0.15$ .

**Zapata 2:**

- Dimensiones:**  $L_2$  3.50 m,  $B_2$  3.10 m,  $L_{2-v-x}$  1.35 m,  $L_{2-v-y}$  1.35 m,  $d_2$  0.625 m,  $h_{z2}$  0.70 m.
- Punzonamiento:**  $\phi V_C \geq V_{cu-2}$  479300 Kg, 336970 Kg.
- Cortante:**  $\phi V_C \geq V_{du-2}$  142810.00 Kg, 91070.81 Kg.
- Diseño:**  $M_{ux2}$  32705 Kg.m,  $M_{uy2}$  32705 Kg.m,  $A_{sy2}$  13.12 cm<sup>2</sup>,  $A_{sy2}$  13.12 cm<sup>2</sup>.
- Refuerzo:** En "X"  $\phi 5/8 @ 0.15$ , En "Y"  $\phi 5/8 @ 0.15$ .

**Diseño de Viga:**

- Datos:**  $M_{uv}$  161400 Kg.m,  $b_v$  0.40 Kg.m,  $h_v$  0.80 cm<sup>2</sup>.
- Diseño por Corte:**  $\phi V_C \geq V_{du}$  22270 Kg, 28380 Kg. Estribos 3/8 @ 0.30 m.
- Diseño por Flexión:**  $M_{uv}$  161400 Kg.m,  $A_{sv}$  71.28 cm<sup>2</sup>.
- Refuerzo:** Usar 9  $\phi 1 1/4$ .

**Buttons:** 'ATRAS' and 'FINALIZAR'.