

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS RECTANGULARES  
COMPUESTAS NO COMPACTAS CON ATIESADORES IN-  
TERMEDIOS, SOMETIDAS A CARGA AXIAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
MENCIÓN ESTRUCTURAS**

**EMERSON MARCELINO CONTERON MALDONADO**

**emerson\_conteron@hotmail.com**

**EDISON RICARDO ERAZO MONAR**

**edison240792@hotmail.com**

**DIRECTOR: Ing. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO M.Sc.**

**vintimilla.j@gmail.com**

**Quito, diciembre 2017**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Emerson Marcelino Conteron Maldonado y Edison Ricardo Erazo Monar, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

---

**EMERSON MARCELINO  
CONTERON MALDONADO**

---

**EDISON RICARDO  
ERAZO MONAR**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Emerson Marcelino Conteron Maldonado y Edison Ricardo Erazo Monar, bajo mi supervisión.

---

**Ing. JORGE VINTIMILLA JARAMILLO M.Sc**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Escuela Politécnica Nacional, por acogernos con su infraestructura, por sus servicios prestados.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, autoridades y personal administrativo y de servicio por su apoyo en la obtención del título de ingeniería civil mención estructuras.

Al cuerpo docente por transmitir sus conocimientos durante el transcurso de los años.

Al Centro de Investigación de la Vivienda, y al Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas por la predisposición de trabajo para culminar nuestro proyecto.

Al ingeniero Jorge Vintimilla por todo el apoyo brindado para la realización del presente estudio. Aportando con su conocimiento y experiencia.

Finalmente, a nuestros compañeros y amigos por su ayuda oportuna.

## DEDICATORIA

A mis padres, Marcelino y Luzmila.

## DEDICATORIA

A mis padres, Oscar y Beatriz, por su apoyo incondicional, por sus enseñanzas de vida y su guía oportuna en cada uno de mis pasos.

A mis tías, Elena y Gladys, por su cariño y consejo.

A todos quienes de una u otra manera me ayudaron a seguir adelante y tuvieron fe en mí.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE TABLAS.....	23
RESUMEN .....	28
ABSTRACT .....	29
PRESENTACIÓN .....	30
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>31</b>
INTRODUCCIÓN .....	31
1.1. ANTECEDENTES.....	31
1.2. OBJETIVOS.....	32
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	32
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	32
1.3. ALCANCE .....	33
1.4. JUSTIFICACIÓN .....	33
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>35</b>
MARCO TEÓRICO.....	35
2.1. ACERO ESTRUCTURAL.....	35
2.1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL.....	35
2.1.2. DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL.....	36
2.1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	36
2.1.4. ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36.....	38
2.1.5. CLASIFICACIÓN DE MIEMBROS DE ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN SU CONFORMACIÓN.....	39
2.2. SOLDADURA.....	39
2.2.1. PROCESOS DE SOLDADURA.....	39
2.3. HORMIGÓN.....	40
2.3.1. COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN .....	40
2.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN .....	41
2.3.3. CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DE HORMIGÓN.....	43
2.3.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN .....	43
2.4. MIEMBROS COMPUESTOS .....	44
2.5. COLUMNAS COMPUESTAS .....	45

2.5.1.	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS COLUMNAS COMPUESTAS .....	45
2.6.	FENÓMENO DE PANDEO .....	46
2.7.	PANDEO LATERAL .....	47
2.7.1.	DEDUCCIÓN DE LA FÓRMULA DE EULER.....	48
2.8.	PANDEO LOCAL .....	50
2.9.	CONFINAMIENTO DEL HORMIGÓN .....	51
2.10.	ADHERENCIA.....	53
2.11.	DUCTILIDAD EN LOS MIEMBROS .....	54
2.12.	ATIESADORES.....	54
2.13.	EQUIPOS DE LABORATORIO .....	55
2.13.1.	MARCO DE CARGA .....	55
2.13.2.	GATO HIDRÁULICO (CILINDRO DE DOBLE ACCIÓN) .....	56
2.13.3.	PERFILES GUÍA.....	56
2.13.4.	PLACAS DE APOYO Y SUJECCIÓN .....	57
2.13.5.	STRAIN GAUGES.....	57
2.13.6.	CÓDIGOS DE REFERENCIA .....	58
	<b>CAPÍTULO III</b> .....	59
	METODOLOGÍA.....	59
3.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	59
3.1.1.	TOMA DE MUESTRAS DE CILINDROS DE HORMIGÓN.....	61
3.1.2.	TOMA DE MUESTRAS DEL ACERO ESTRUCTURAL.....	63
3.1.3.	ENSAYO DE LAS MUESTRAS DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	64
3.1.4.	ENSAYO DE LAS MUESTRAS DE ACERO ESTRUCTURAL .....	67
3.2.	CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS .....	69
3.2.1.	SOLDADURA DE PROBETAS .....	70
3.2.2.	APUNTALAMIENTO DE PROBETAS.....	72
3.2.3.	FUNDICIÓN DE PROBETAS.....	74
3.2.4.	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PROBETAS.....	76
3.3.	DISEÑO DE COLUMNAS COMPUESTAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN.....	77
3.4.	PROPIEDADES DE SECCIONES CONFORMADAS EN FRÍO.....	80
3.4.1.	PERFILES CON SIMPLE SIMETRÍA CON O SIN LABIOS RIGIDIZADORES.....	81
3.5.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE SECCIONES TUBULARES RELLENAS DE HORMIGÓN SEGÚN EL CÓDIGO AISC 360-16 .....	83
3.5.1.	HORMIGÓN Y ACERO DE REFUERZO .....	83
3.5.2.	RESISTENCIA NOMINAL DE SECCIONES COMPUESTAS .....	83
3.5.3.	LIMITACIONES DEL MATERIAL .....	84



3.5.4.	CLASIFICACIÓN DE SECCIONES COMPUESTAS RELLENAS PARA PANDEO LOCAL .....	85
3.5.5.	LÍMITES .....	86
3.5.6.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	86
3.5.7.	PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	89
3.6.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE SECCIONES TUBULARES SEGÚN EL CÓDIGO AISI S100-16 (MÉTODO ANCHO EFECTIVO) .....	108
3.6.1.	LÍMITACIONES DEL MATERIAL .....	108
3.6.2.	LÍMITES DE RELACIÓN ANCHO/ESPELOR PARA ELEMENTOS QUE CONFORMAN MIEMBROS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO MEDIANTE EL MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO.....	109
3.6.3.	ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS MIEMBROS DE LÁMINA DELGADA.....	110
3.6.4.	PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	112
3.7.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO A COMPRESIÓN AXIAL MEDIANTE EL SOFTWARE “COLUMNAS RCFT CON ATIESADORES INTERMEDIOS” BASADO EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FIBRAS .....	146
3.7.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL .....	146
3.7.2.	ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL METODO DE FIBRAS .....	147
3.7.3.	DISCRETIZACIÓN PARA ELEMENTOS DE HORMIGÓN NO CONFINADOS Y CONFINADOS DE COLUMNAS RECTANGULARES .....	149
3.7.4.	DESCRIPCIÓN PROGRAMA MATLAB PARA COLUMNAS RCFT CON ATIESADORES INTERMEDIOS, MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FIBRAS .....	151
3.7.5.	RESULTADOS CÁLCULO TEÓRICO USANDO EL MÉTODO FIBRAS .....	153
3.8.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE COLUMNAS COMPUESTAS SEGÚN EL EUROCÓDIGO 4 .....	156
3.8.1.	INTRODUCCIÓN .....	156
3.8.2.	MÉTODOS DE CÁLCULO .....	157
3.8.3.	LIMITACIONES ADOPTADAS EN EL MÉTODO SIMPLICIFICADO .....	157
3.8.4.	PANDEO LOCAL DEL PERFIL DE ACERO .....	160
3.8.5.	RESISTENCIA DE ELEMNTOS SOMETIDOS A CARGA AXIAL .....	161

3.8.6.	MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO.....	163
3.9.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE COLUMNAS COMPUESTAS SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA SA 5100-6.....	189
3.9.1.	MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS DE HORMIGÓN .....	189
3.9.2.	LIMITACIONES DEL MATERIAL .....	189
3.9.3.	PANDEO LOCAL EN EL PERFIL DE ACERO.....	189
3.9.4.	PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	190
<b>CAPÍTULO IV</b> .....		210
RESULTADOS TEÓRICOS, EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		210
4.1.	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES.....	210
4.1.1.	HORMIGÓN.....	210
4.1.2.	ACERO .....	210
4.2.	RESULTADOS TEÓRICOS .....	211
4.2.1.	RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN LA ESPECIFICACIÓN AISC 360-16 .....	211
4.2.2.	RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN LA ESPECIFICACIÓN AISI S100-16.....	213
4.2.3.	RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE FIBRAS .....	215
4.2.4.	RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN EUROCÓDIGO 4 .....	217
4.2.5.	RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA 5100-6.....	218
4.3.	RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	220
4.3.1.	ENSAYO 1 COLUMNA 100X200 SIN ATIESADORES.....	220
4.3.2.	ENSAYO 2 COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES 1.....	223
4.3.3.	ENSAYO 3 COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES 2.....	226
4.3.4.	ENSAYO 4 COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES.....	229
4.3.5.	ENSAYO 5 COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES 1.....	232
4.3.6.	ENSAYO 6 COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES 2.....	235
4.3.7.	ENSAYO 7 COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES.....	238
4.3.8.	ENSAYO 8 COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES 1.....	242
4.3.9.	ENSAYO 9 COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES 2.....	245
4.3.10.	ANÁLISIS RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	248
4.3.11.	ANÁLISIS DUCTILIDAD DE LAS COLUMNAS EN BASE A RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	249
<b>CAPÍTULO V</b> .....		256

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	256
5.1. COMPARACIÓN TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE RESULTADOS.....	256
5.1.1. COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	256
5.1.2. COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	258
5.1.3. COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	261
5.1.4. COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	263
5.1.5. COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	266
5.1.6. COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	268
5.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE COLUMNAS CON Y SIN ATIESADORES .....	271
5.2.1. COMPARACIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X200 .....	272
5.2.2. COMPARACIÓN COLUMNA COMPUESTA 120X160 .....	274
5.2.3. COMPARACIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X150 .....	276
5.3. ANÁLISIS DE ADHERENCIA.....	278
5.3.1. INTERACCIÓN POR ADHERENCIA DIRECTA.....	278
5.3.2. PANDEO FLEXURAL CASO: COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS.....	279
5.3.3. PANDEO LOCAL CASO: COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS.....	279
5.3.4. PANDEO LOCAL CASO: COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES.....	280
5.4. PROPUESTA DE UN VALOR DE COEFICIENTE DE PANDEO DE PLACAS K PARA ELEMENTOS COMPUESTOS RIGIDIZADOS CON ATIESADORES INTERMEDIOS.....	281
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	282
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	282
6.1. CONCLUSIONES .....	282
6.2. RECOMENDACIONES .....	286
REFERENCIAS.....	288
ANEXOS .....	291
ANEXO No1 .....	292
RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN .....	292

ANEXO No2 .....	294
RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN .....	294
ANEXO No3 .....	297
RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS DE ACERO NORMA ASTM A36 .....	297
ANEXO No4 .....	302
FICHA TÉCNICA DE LOS STRAIN GAUGES .....	302

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> DIAGRAMA DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE VARIOS TIPOS DE ACERO ESTRUCTURAL.....	36
<b>FIGURA 2</b> PROCESO DE SOLDADURA GMAW .....	40
<b>FIGURA 3</b> CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DE HORMIGONES DE VARIAS RESISTENCIAS .....	43
<b>FIGURA 4</b> CURVAS RELACIÓN ESBELTEZ-ESFUERZO DE PANDEO POR FLEXIÓN SEGÚN AISC .....	48
<b>FIGURA 5</b> COLUMNA DEFLEXIONADA EN SISTEMA DE COORDENANAS .....	49
<b>FIGURA 6</b> ESQUEMA DE PANDEO LOCAL EN PLACAS .....	51
<b>FIGURA 7</b> MECANISMOS DE ADHERENCIA.....	53
<b>FIGURA 8</b> MARCO DE CARGA.....	55
<b>FIGURA 9</b> CILINDRO DE DOBLE ACCIÓN.....	56
<b>FIGURA 10</b> PERFILES GUÍA.....	56
<b>FIGURA 11</b> PLACAS DE APOYO Y SUJECCIÓN .....	57
<b>FIGURA 12</b> STRAIN GAUGES USADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN .....	58
<b>FIGURA 13</b> ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN.....	60
<b>FIGURA 14</b> PERFILES DE ACERO CON ASTIESADORES INTERMEDIOS .....	61
<b>FIGURA 15</b> TOMA DE MUESTRAS DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	62

<b>FIGURA 16</b> ETIQUETADO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN SEGÚN LAS EDADES .....	62
<b>FIGURA 17</b> MUESTRA DE ACERO ESTRUCTURAL .....	63
<b>FIGURA 18</b> DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN .....	64
<b>FIGURA 19</b> PESA DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN .....	65
<b>FIGURA 20</b> ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	65
<b>FIGURA 21</b> ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS, USANDO STRAIN GAUGES .....	67
<b>FIGURA 22</b> ENSAYO A TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO .....	68
<b>FIGURA 23</b> COLUMNAS ENSAMBLADAS PREVIO SU TRASLADO AL CIV .....	69
<b>FIGURA 24</b> PROCESO DE SOLDADURA DE ATIESADORES INTERNOS.....	70
<b>FIGURA 25</b> CORDÓN DE SOLDADURA DE LOS ATIESADORES .....	71
<b>FIGURA 26</b> PROCESO DE SOLDADURA DE PERFILES DE ACERO.....	71
<b>FIGURA 27</b> RECUBRIMIENTO CON PINTURA ANTICORROSIVA.....	72
<b>FIGURA 28</b> ENCAMISADO DE LAS COLUMNAS.....	73
<b>FIGURA 29</b> APUNTALAMIENTO DE LOS MIEMBROS COMPUESTOS .....	73
<b>FIGURA 30</b> VERTIDO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS.....	74
<b>FIGURA 31</b> SELLADO EN LA BASE DE LAS COLUMNAS .....	75
<b>FIGURA 32</b> ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN .....	75

<b>FIGURA 33</b> UBICACIÓN DE LOS STRAIN GUGES.....	76
<b>FIGURA 34</b> ESQUEMA DEL ENSAYO DE PROBETAS.....	77
<b>FIGURA 35</b> PERFIL G CON LABIOS RIGIDIZADORES .....	81
<b>FIGURA 36</b> PERFIL C SON LABIOS RIGIDIZADORES.....	81
<b>FIGURA 37</b> SECCIÓN COMPUESTA SIN ATIESADOR .....	87
<b>FIGURA 38</b> SECCIÓN COMPUESTA CON ATIESADOR INTERMEDIO.....	87
<b>FIGURA 39</b> ESQUEMA GENERAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	92
<b>FIGURA 40</b> ESQUEMA GENERAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	101
<b>FIGURA 41</b> CONSIDERACIÓN DEL PERFIL L COMO RIGIDIZADOR INTERMEDIO PARA EL CÁLCULO W/T .....	101
<b>FIGURA 42</b> ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN MIEMBRO A COMPRESIÓN.....	110
<b>FIGURA 43</b> ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS MIEMBROS COMPUESTOS.....	111
<b>FIGURA 44</b> ESQUEMA GENERAL DE LA CONSIDERACIÓN DE LOS ELEMENTOS ATIESADOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....	112
<b>FIGURA 45</b> ANCHO EFECTIVO PARA MIEMBROS RIGIDIZADOS .....	113
<b>FIGURA 46</b> MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO PARA MIEMBROS RIGIDIZADOS POR UN LABIO RIGIDIZADOR SIMPLE .....	114
<b>FIGURA 47</b> MIEMBROS COMPUESTOS CFT Y SRC MODELADOS CON ELEMENTOS FIBRA.....	146

<b>FIGURA 48</b> ARREGLOS DE FIBRAS EN SECCIONES COMPUESTAS SRC Y CFT Y CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN ASUMIDAS EN SECCIONES FIBRAS .....	147
<b>FIGURA 49</b> IDEALIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE COLUMNAS COMPUESTAS SRC CONSIDERANDO LA ZONA CONFINADA .....	147
<b>FIGURA 50</b> IDEALIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE COLUMNAS COMPUESTAS CFT CONSIDERANDO LA ZONA CONFINADA.....	148
<b>FIGURA 51</b> DISCRETIZACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL RECTANGULAR PARA COLUMNAS SRC.....	149
<b>FIGURA 52</b> DISCRETIZACIÓN DE LA ZONA NO CONFINADA, PARCIALMENTE CONFINADA Y ALTAMENTE CONFINADA EN COLUMNAS RECTANGULARES. ....	149
<b>FIGURA 53</b> DISCRETIZACIÓN DEL PERFIL “I” DE ACERO ESTRUCTURAL.....	150
<b>FIGURA 54</b> DISCRETIZACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL RECTANGULAR PARA COLUMNAS RCFT.....	150
<b>FIGURA 55</b> DISCRETIZACIÓN DEL PERFIL DE ACERO Y DE LA ZONA CONFINADA DE HORMIGÓN. ....	150
<b>FIGURA 56</b> REPRESENTACIÓN DE DISCRETIZACIÓN DE LA ZONA EN COMPRESIÓN DE LA COLUMNA RECTANGULAR EN EL MODELO MATLAB PARA UN ÁNGULO DE ESVAJE DE 45° .....	151
<b>FIGURA 57</b> PANTALLA DE INGRESO DE DATOS PROGRAMA CFT_RECT.....	152
<b>FIGURA 58</b> RESULTADOS COLUMNA 100X200X2 SIN ATIESADOR .....	153
<b>FIGURA 59</b> RESULTADOS COLUMNA 120X160X2 SIN ATIESADOR .....	153



<b>FIGURA 60</b> RESULTADOS COLUMNA 100X150X2 SIN ATIESADOR .....	154
<b>FIGURA 61</b> RESULTADOS COLUMNA 100X200X2 CON ATIESADOR .....	154
<b>FIGURA 62</b> RESULTADOS COLUMNA 120X160X2 CON ATIESADOR .....	155
<b>FIGURA 63</b> RESULTADOS COLUMNA 100X150X2 CON ATIESADOR .....	155
<b>FIGURA 64</b> TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES CONTEMPLADAS EN EL EUROCÓDIGO 4.....	156
<b>FIGURA 65</b> CURVAS EUROPEAS DE PANDEO.....	163
<b>FIGURA 66</b> CONSIDERACIÓN DE LOS ANCHOS PLANOS EN EL METODO DE ANCHO EFECTIVO.....	164
<b>FIGURA 67</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES ESPECIFICACIÓN AISC 360-16.....	211
<b>FIGURA 68</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES ESPECIFICACIÓN AISI S100-16.....	213
<b>FIGURA 69</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES MÉTODO DE FIBRAS.....	215
<b>FIGURA 70</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES EUROCÓDIGO 4 .....	217
<b>FIGURA 71</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES NORMA AUSTRALIANA 5100-6 .....	219
<b>FIGURA 72</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES .....	220
<b>FIGURA 73</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES.....	221

<b>FIGURA 74</b> FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES.....	221
<b>FIGURA 75</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES .....	222
<b>FIGURA 76</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES .....	222
<b>FIGURA 77</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1 .....	223
<b>FIGURA 78</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1 .....	224
<b>FIGURA 79</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1 .....	224
<b>FIGURA 80</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1 .....	225
<b>FIGURA 81</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1 .....	225
<b>FIGURA 82</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2 .....	226
<b>FIGURA 83</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2.....	227
<b>FIGURA 84</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2 .....	227
<b>FIGURA 85</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2 .....	228

<b>FIGURA 86</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2 .....	228
<b>FIGURA 87</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES .....	229
<b>FIGURA 88</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES.....	230
<b>FIGURA 89</b> FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES.....	230
<b>FIGURA 90</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES .....	231
<b>FIGURA 91</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES .....	231
<b>FIGURA 92</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1 .....	232
<b>FIGURA 93</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1 .....	233
<b>FIGURA 94</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1 .....	233
<b>FIGURA 95</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL EN LA CARA POSTERIOR DE LA COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1 .....	234
<b>FIGURA 96</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1 .....	234
<b>FIGURA 97</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1 .....	235

<b>FIGURA 98</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2 .....	236
<b>FIGURA 99</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2 .....	236
<b>FIGURA 100</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2 .....	237
<b>FIGURA 101</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2 .....	237
<b>FIGURA 102</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2 .....	238
<b>FIGURA 103</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	239
<b>FIGURA 104</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	239
<b>FIGURA 105</b> FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	240
<b>FIGURA 106</b> FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	240
<b>FIGURA 107</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	241
<b>FIGURA 108</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	241
<b>FIGURA 109</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 1 CON ATIESADORES .....	242

<b>FIGURA 110</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1 .....	243
<b>FIGURA 111</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1 .....	243
<b>FIGURA 112</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1 .....	244
<b>FIGURA 113</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1 .....	244
<b>FIGURA 114</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2 .....	245
<b>FIGURA 115</b> ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2.....	246
<b>FIGURA 116</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2 .....	246
<b>FIGURA 117</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2 .....	247
<b>FIGURA 118</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2 .....	247
<b>FIGURA 119</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES MÉTODO EXPERIMENTAL .....	248
<b>FIGURA 120</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES .....	250
<b>FIGURA 121</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES .....	251

<b>FIGURA 122</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES .....	252
<b>FIGURA 123</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES .....	253
<b>FIGURA 124</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES .....	254
<b>FIGURA 125</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES .....	255
<b>FIGURA 126</b> CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X200 SIN ATIESADORES.....	256
<b>FIGURA 127</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X200 SIN ATIESADORES CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	257
<b>FIGURA 128</b> CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	258
<b>FIGURA 129</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X200 CON ATIESADORES 1 CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	259
<b>FIGURA 130</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X200 CON ATIESADORES 2 CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	260
<b>FIGURA 131</b> CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES.....	261
<b>FIGURA 132</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 120X160 SIN ATIESADORES CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	262

<b>FIGURA 133</b> CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	263
<b>FIGURA 134</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 120X160 CON ATIESADORES 1 CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	264
<b>FIGURA 135</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 120X160 CON ATIESADORES 2 CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	265
<b>FIGURA 136</b> CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES.....	266
<b>FIGURA 137</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X150 SIN ATIESADORES CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	267
<b>FIGURA 138</b> CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	268
<b>FIGURA 139</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X150 CON ATIESADORES 1 CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	269
<b>FIGURA 140</b> GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X150 CON ATIESADORES 2 CON RESULTADOS TEÓRICOS .....	270
<b>FIGURA 141</b> GRÁFICO RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS COLUMNAS COMPUESTAS .....	271
<b>FIGURA 142</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 .....	272

<b>FIGURA 143</b> COMPARACIÓN CAPACIDAD A COMPRESIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X200 [mm].....	273
<b>FIGURA 144</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 .....	274
<b>FIGURA 145</b> COMPARACIÓN CAPACIDAD A COMPRESIÓN COLUMNA COMPUESTA 120X160 [mm].....	275
<b>FIGURA 146</b> GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 .....	276
<b>FIGURA 147</b> COMPARACIÓN CAPACIDAD A COMPRESIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X150 [mm].....	277
<b>FIGURA 148</b> FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	279
<b>FIGURA 149</b> FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	279
<b>FIGURA 150</b> FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	280
<b>FIGURA 151</b> COEFICIENTE DE PANDEO DE PLACAS PARA ELEMENTOS ATIESADOS EN MIEMBROS COMPUESTOS .....	281



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA 1</b> REQUISITOS QUÍMICOS PARA PERFILES DE ACERO SEGÚN LA NORMA ASTM A36/A36M .....	38
<b>TABLA 2</b> REQUISITOS DE TENSIÓN PARA PERFILES DE ACERO SEGÚN LA NORMA ASTM A36/A36M .....	38
<b>TABLA 3</b> LÍMITES DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO PORTLAND.....	41
<b>TABLA 4</b> RESISTENCIA DE CILINDROS DE HORMIGÓN .....	66
<b>TABLA 5</b> MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN .....	67
<b>TABLA 6</b> RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE PROBETAS DE ACERO .....	68
<b>TABLA 7</b> ESPECIFICACIONES DE PROBETAS A ENSAYAR .....	79
<b>TABLA 8</b> LÍMITES DE LA RELACIÓN ANCHO-ESPELOR PARA ELEMENTOS DE MIEMBROS COMPUESTOS SUJETOS A COMPRESIÓN AXIAL.....	85
<b>TABLA 9</b> PORCENTAJES DE ACERO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE CADA COLUMNA .....	86
<b>TABLA 10</b> CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS SEGÚN LA RELACIÓN ANCHO-ESPELOR PARA ELEMENTOS DE MIEMBROS COMPUESTOS SUJETOS A COMPRESIÓN AXIAL .....	89
<b>TABLA 11</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	92

<b>TABLA 12</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	95
<b>TABLA 13</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	98
<b>TABLA 14</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	102
<b>TABLA 15</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	104
<b>TABLA 16</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	106
<b>TABLA 17</b> LÍMITES DE RELACIÓN ANCHO/ESPEJOR .....	109
<b>TABLA 18</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	116
<b>TABLA 19</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	121
<b>TABLA 20</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	126
<b>TABLA 21</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	131
<b>TABLA 22</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	136
<b>TABLA 23</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	141
<b>TABLA 24</b> VERIFICACIÓN DE LAS SECCIONES A PANDEO LOCAL SEGÚN EL EUROCÓDIGO 4 .....	161

<b>TABLA 25</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	165
<b>TABLA 26</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	169
<b>TABLA 27</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	173
<b>TABLA 28</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	177
<b>TABLA 29</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	181
<b>TABLA 30</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	185
<b>TABLA 31</b> VERIFICACIÓN A PANDEO LOCAL SEGÚN STANDARDS AUSTRALIA 5100-6 .....	190
<b>TABLA 32</b> COEFICIENTES DE CONSTANTE SECCIONAL .....	191
<b>TABLA 33</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	192
<b>TABLA 34</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	195
<b>TABLA 35</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS .....	198
<b>TABLA 36</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	201
<b>TABLA 37</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	204

<b>TABLA 38</b> PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS .....	207
<b>TABLA 39</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES ESPECIFICACIÓN AISC 360-16.....	211
<b>TABLA 40</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO AISC 360-16.....	212
<b>TABLA 41</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE RIGIDEZ EFECTIVA POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO AISC 360-16.....	212
<b>TABLA 42</b> RESULTADOS A PANDEO LOCAL ESPECIFICACIÓN AISI S100-16.....	213
<b>TABLA 43</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO AISI S100-16 .....	214
<b>TABLA 44</b> PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE AREA SEGÚN EL MÉTODO DE ANCHO EFECTIVO AISI S100-16.....	214
<b>TABLA 45</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES MÉTODO DE FIBRAS.....	215
<b>TABLA 46</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO DE FIBRAS .....	216
<b>TABLA 47</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EUROCÓDIGO 4 .....	217
<b>TABLA 48</b> PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE AREA SEGÚN EL MÉTODO DE ANCHO EFECTIVO EUROCÓDIGO 4 .....	217

<b>TABLA 49</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE RIGIDEZ EFECTIVA POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA .....	218
<b>TABLA 50</b> CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES NORMA AUSTRALIANA 5100-6 .....	218
<b>TABLA 51</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA .....	219
<b>TABLA 52</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE RIGIDEZ EFECTIVA POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA .....	219
<b>TABLA 53</b> CAPACIDAD A CARGA AXIAL EXPERIMENTAL DE LAS COLUMNAS COMPUESTAS .....	248
<b>TABLA 54</b> PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA .....	249

## RESUMEN

Actualmente el sector de la construcción ecuatoriana ha optimizado su proceso constructivo mediante la utilización de sistemas de acero estructural (Pontón et al, 2016), estos sistemas han reemplazado a los tradicionales debido a su eficiencia en tiempos de construcción y rapidez de montaje (McCormac & Csernak, 2012).

Las estructuras con miembros compuestos combinan materiales como el acero estructural y el hormigón, reducen la inestabilidad del acero a compresión y mejora la baja capacidad a tracción del hormigón (Crisafulli, 2014).

En las secciones compuestas no compactas el esfuerzo de fluencia se alcanza en algunos, pero no en todos los elementos en compresión, por tanto, se genera una disminución en su área efectiva lo que provoca la reducción de su capacidad, pudiendo presentarse el fenómeno de pandeo local antes de la plastificación (McCormac & Csernak, 2012). Una forma de que los elementos trabajen como compactos es disminuyendo su ancho a través del uso de atiesadores de rigidez, que son elementos fijados en el miembro para prevenir el pandeo (AISC 360-16, 2016).

Este estudio se basa en el ensayo de columnas rectangulares rellenas de hormigón, se construyeron 9 columnas de distintas secciones con y sin atiesadores intermedios, permitiendo conocer el comportamiento de las secciones compactas y no compactas, las dimensiones de las secciones se eligieron según varios parámetros como la disponibilidad de material en el mercado y la capacidad máxima a compresión axial para los ensayos de laboratorio en el Centro de Investigación de la Vivienda.

A través de un proceso histerético de carga axial, se obtuvo la capacidad experimental de las probetas, hubo un aumento en el área efectiva de las secciones con atiesadores intermedios y su comportamiento se asemeja al de los miembros con elementos compactos, comprobando así la eficiencia del uso de estos rigidizadores en la reducción de la relación ancho-espesor y su utilidad en la construcción.

## ABSTRACT

*Currently the Ecuadorian construction sector has optimized its construction process by using structural steel systems (Pontón et al, 2016), these systems have replaced traditional systems due to their efficiency in construction times and fast assembly times (McCormac & Csernak, 2012).*

*Structures with composite members combine materials such as structural steel and concrete, reduce instability of compressed steel, and improve the low tensile strength of concrete (Crisafulli, 2014).*

*In the non-compacted composite sections, the yield stress is reached in some, but not in all the elements in compression, therefore, a reduction in its effective area is generated which causes the reduction of its capacity, being able to present the phenomenon of buckling local prior to plastification (McCormac & Csernak, 2012). One way that the elements work as compact is to decrease their width through the use of rigidity stiffeners, which are elements fixed on the member to prevent buckling (AISC 360-16, 2016).*

*This study was based on the test of rectangular columns filled with concrete, 9 columns of different sections were constructed with and without intermediate stiffeners, allowing to know the behavior of the compact and non-compact sections, the dimensions of the sections were chosen according to several parameters as the availability of material on the market and the maximum axial compression capacity for laboratory tests in the CIV.*

*Through a hysteretic axial loading process, the experimental capacity of the test specimens was obtained, there was an increase in the effective area of the sections with intermediate stiffeners and their behavior resembles that of the members with compact elements, thus checking the efficiency of the use of these stiffeners in the reduction of the width-thickness ratio and its usefulness in construction.*

## PRESENTACIÓN

El presente proyecto consta de seis capítulos divididos de la siguiente manera:

El primer capítulo, se presentan los antecedentes, el objetivo general y los específicos, alcance y limitaciones para la realización del estudio, así como su justificación.

El segundo capítulo, se describe de manera general los materiales, procesos e instrumentos de laboratorio necesarios para los ensayos, así como los miembros compuestos, fenómenos de pandeo, ductilidad, atiesadores, y códigos de referencia para el diseño de estructuras.

El tercer capítulo, habla sobre la construcción de las probetas y el procedimiento de los ensayos, tipo de probetas y sus dimensiones. Adicionalmente, se introduce el procedimiento de cálculo teórico de la capacidad de las probetas, basados en modelos matemáticos y la resistencia de materiales.

El cuarto capítulo, contiene todos los resultados teóricos y experimentales con un análisis de su carga crítica y esfuerzos.

El quinto capítulo, presenta un análisis y comparación de resultados, así como, la propuesta y validación del coeficiente de pandeo de placas propuesto por Bradford et al.

El sexto capítulo, contiene las conclusiones, recomendaciones y anexos obtenidos de este estudio.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

Los principales miembros que transmiten a la base las acciones a las que está sometida la estructura son las columnas (Carrasco Navarrete, Herrera, Beltrán , & Massone, 2010). Tradicionalmente estos miembros son construidos con hormigón armado, sin embargo, los sistemas de acero estructural han venido reemplazando a los sistemas tradicionales utilizados en la construcción por su eficiencia en tiempos de construcción y rapidez de montaje (McCormac & Csernak, 2012).

Las secciones compuestas combinan el acero estructural y el hormigón mejorando su comportamiento individual (Crisafulli, 2014). En el diseño de estructuras de acero, las columnas que conforman los Pórticos Especiales a Momento deben estar compuestas únicamente por elementos sísmicamente compactos (NEC 15, 2015). Una forma de que los elementos en las secciones no compactas trabajen como compactos es aumentando su ancho efectivo a través del uso de atiesadores de rigidez, que son elementos fijados sobre el miembro para prevenir el pandeo (AISC 360-16, 2016).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción no hace ninguna referencia sobre el uso de secciones compuestas, por lo que es de nuestro interés analizar a través de un estudio experimental el uso de atiesadores intermedios en columnas compuestas no compactas. Se espera obtener un aumento en el área efectiva de las secciones y determinar si su comportamiento se asemeja al de los miembros con elementos compactos, de manera que se pueda trabajar con perfiles metálicos de menor espesor lo que disminuiría la cantidad de material de construcción en una obra.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar el uso de atiesadores en secciones compuestas no compactas mediante ensayos experimentales con el objeto de reducir la relación ancho-espesor retrasando el fenómeno de pandeo local.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar el aumento de la capacidad a compresión de las columnas por el uso de atiesadores, mediante la comparación de resultados experimentales entre secciones atiesadas y no atiesadas para validar su uso en el diseño de miembros estructurales.
- Analizar la capacidad a compresión teórica de los miembros compuestos conformados por elementos no compactos según los métodos AISI S100-16, AISC 360-16, Método de fibras, Eurocódigo 4 y Norma Australiana 5100-6, mediante la comparación con los valores obtenidos experimentalmente, para validar su uso en cálculo de la capacidad a compresión axial.
- Validar el coeficiente de pandeo de placas  $k=10.6$  propuesto por Bradford et al. para elementos rigidizados en miembros compuestos, mediante la comparación de los resultados teóricos (AISI S100-16) y experimentales de los miembros compuestos sin atiesadores intermedios, para verificar su uso en el cálculo de la capacidad a compresión axial en miembros compuestos formados por elementos no compactos.
- Proponer un valor del coeficiente de pandeo de placas  $k$ , según el método de secciones efectivas propuesto por AISI S100-16 y en base a los resultados obtenidos experimentalmente, para determinar el ancho efectivo de los elementos rigidizados con una placa en un extremo y un atiesador en el otro.

### **1.3. ALCANCE**

Este proyecto de investigación pretende determinar la efectividad del uso de atiesadores intermedios en secciones compuestas para la disminución de la relación ancho-espesor de los elementos que conforman a los miembros compuestos, evitando así la falla por pandeo local.

Se realizarán 9 probetas de diferentes secciones, con y sin atiesadores, las cuales serán ensayadas a compresión axial, determinando así su capacidad axial máxima y el tipo de falla dominante. Los elementos de los miembros compuestos seleccionados para el ensayo son clasificados como No Compactas y Esbeltos según la especificación AISC 360-16.

El análisis contempla la comparación entre la capacidad de las secciones atiesadas y no atiesadas, así como el tipo de falla ante la aplicación de la carga axial.

Este trabajo no contempla un análisis de costos de construcción, y no se tomarán en cuenta efectos de compresión de segundo orden.

### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

En una sección compuesta el núcleo de hormigón protege los elementos que componen al miembro de acero del pandeo local (ITEA, 2011), por tanto, para miembros rellenos de hormigón, el código AISC 360-16 aumenta el parámetro de esbeltez  $\lambda_p$  que clasifica las secciones compactas y no compactas, permitiendo así un aumento en la relación ancho-espesor de los elementos de la sección.

Este estudio, brindará conocimientos acerca del uso de atiesadores en secciones no compactas, esperando obtener un aumento en el área efectiva de las secciones y determinando si su comportamiento se asemeja al de los miembros con elementos compactos. La comparación se realizará usando la teoría del AISC 360-16 donde se calculan las capacidades de las secciones en base a los límites de la

relación ancho-espesor. Además, se propondrá un valor de  $k$  (coeficiente de pandeo de placas) utilizado para determinar el ancho efectivo de los elementos rigidizados con una placa en un extremo y un atiesador en el otro (AISI S100-16, 2016).

Además de las especificaciones mencionadas, se adjuntará los procedimientos de cálculo de las especificaciones de la Norma Australiana 5100-6 y Eurocódigo 6.

Se espera que la presente investigación aporte a los estudios realizados por Escudero Elvis y Carapaz Daniel, así como Holguer Benitez y Lascano Gustavo con información acerca del uso de atiesadores en secciones no compactas, esperando corregir o disminuir el problema del pandeo local.

Por otra parte, la Norma Ecuatoriana de Construcción contempla únicamente el uso de secciones sísmicamente compactas por lo que se pretende aportar al sector de la construcción con información sobre el uso de secciones de lámina delgada con atiesadores, con el propósito de disminuir el espesor de los elementos que conforman la sección de acero, reduciendo así el costo de construcción de la estructura, y comprobando la efectividad de los atiesadores.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ACERO ESTRUCTURAL

El acero está compuesto en un 98% de hierro. El acero estructural es una aleación que combina hierro, carbono, manganeso, silicio, fósforo, azufre y otros elementos que contribuyen a un conjunto de propiedades determinadas (McCormac & Csernak, 2012).

##### 2.1.1. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

Elasticidad: Es la capacidad del material de regresar a su tamaño y forma original después de haber sido sometido a una carga externa.

Módulo de elasticidad: Es la relación entre esfuerzo normal y su correspondiente deformación unitaria ya sea por tracción o compresión menor al límite de proporcionalidad del material.

Límite de Elasticidad: Es el máximo valor de esfuerzo que un material soporta sin sufrir una deformación permanente.

Plasticidad: Capacidad de un material de deformarse permanentemente bajo la aplicación de una carga.

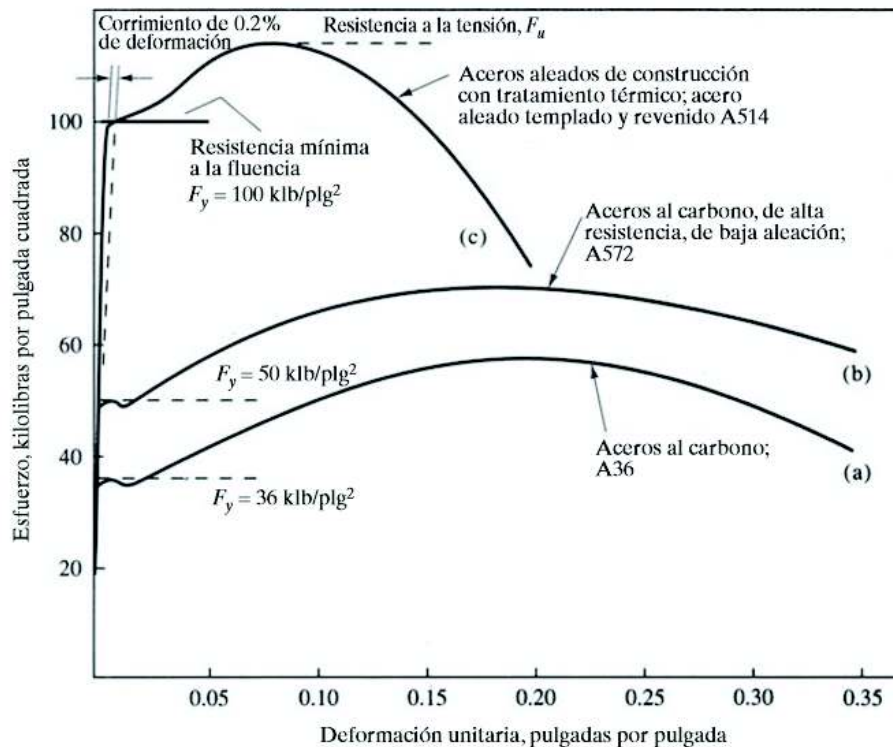
Límite de fluencia: Máximo valor de esfuerzo que un material soporta, a partir del cual existen incrementos de deformación sin requerir aumento de carga.

Resistencia y Ductilidad: Es una propiedad del acero que depende de la cantidad de carbono que posee pues un incremento del 0.01% del contenido de carbono causará que la resistencia de fluencia del acero aumente en 35.153 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, a mayor cantidad de carbono perderá su ductilidad es decir será más frágil (Timoshenko S. , 2002).

### 2.1.2. DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL

En la figura 1 observa que el rango elástico crece linealmente hasta el esfuerzo de fluencia  $F_y$ , seguido por la meseta que permanece hasta el endurecimiento por deformación terminando finalmente en el esfuerzo de rotura.

**FIGURA 1** DIAGRAMA DE ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE VARIOS TIPOS DE ACERO ESTRUCTURAL.



FUENTE: McCormac, Csernak. Estructuras de Acero. Alfaomega, 2011.

### 2.1.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Las ventajas del acero estructural son:

- Alta resistencia por unidad de peso: Importante en estructuras que buscan salvar grandes claros, poseen gran altura y en aquellas con deficientes condiciones de cimentación.

- Uniformidad: El acero se considera prácticamente invariable en el tiempo sobre todo si se recubren de hormigón.
- Elasticidad: El acero se comporta de acuerdo con la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos, de modo que se pueden calcular los momentos de inercia de manera exacta.
- Durabilidad: Si se provee de un mantenimiento adecuado a las estructuras de acero pueden durar indefinidamente.
- Ductilidad: Implica que la estructura de acero puede soportar grandes deformaciones y evitar la falla bajo esfuerzos de tensión altos.
- Tenacidad: Es la capacidad que posee un material para absorber gran cantidad de energía, lo cual implica la presencia de resistencia y ductilidad dentro del acero estructural
- Versatilidad como material estructural, facilidad de fabricación, capacidad de realizar ampliaciones debido a la facilidad para unir miembros, prefabricación de los mismos, rapidez constructiva, gran capacidad de laminación, reutilizable, y reciclable.

Las principales desventajas del acero estructural son:

- Corrosión: El acero al estar expuesto al aire y al agua se debe proveer de algún método de protección del material.
- Costo de la protección contra el fuego: La resistencia del acero estructural se ve disminuida considerablemente por el aumento de temperatura durante incendios por lo que debe protegerse con materiales aislantes de calor y adicionalmente con un sistema de rociadores.
- Inestabilidad: Cuanto más largos y esbeltos sean los miembros a compresión mayor será el peligro de pandeo por lo que necesitan ser rigidizadas con acero adicional aumentando su costo.

- Fatiga: La resistencia puede disminuir si se somete a un gran número de ciclos de carga variable.
- Fractura frágil: Se produce bajo condiciones donde el acero pierde su ductilidad como cargas cíclicas con, bajas temperaturas y condiciones de esfuerzo triaxial.

#### 2.1.4. ACERO ESTRUCTURAL ASTM A36

**TABLA 1** REQUISITOS QUÍMICOS PARA PERFILES DE ACERO SEGÚN LA NORMA ASTM A36/A36M

Perfil con aletas de espesor menor a 75 mm	
Carbono máximo %	0.26
Manganeso %	No se requiere
Fósforo máximo %	0.04
Azufre máximo %	0.05
Silicio máximo %	0.4
Cobre min cuando es especificado %	0.2
Perfil con aletas de espesor mayor a 75 mm	
Carbono máximo %	0.26
Manganeso %	0.85-1.35
Fósforo máximo %	0.04
Azufre máximo %	0.05
Silicio %	0.15-0.4
Cobre min cuando es especificado %	0.2

FUENTE: ASTM A36/A36M, 2014.

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**TABLA 2** REQUISITOS DE TENSIÓN PARA PERFILES DE ACERO SEGÚN LA NORMA ASTM A36/A36M

Perfil con aletas de espesor menor a 75 mm	
Elongación mínima en 200 mm, %	20
Elongación mínima en 50 mm, %	21
esfuerzo de tensión	400 MPa - 550 MPa
Límite de elasticidad mínimo	250 MPa
Perfil con aleta de espesor mayor a 75 mm	
Elongación mínima en 50 mm, %	19
esfuerzo de tensión	400 MPa - no aplica
Límite de elasticidad mínimo	250 MPa

FUENTE: ASTM A36/A36M, 2014.

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.



### **2.1.5. CLASIFICACIÓN DE MIEMBROS DE ACERO ESTRUCTURAL SEGÚN SU CONFORMACIÓN**

Según su fabricación existen tres categorías (Hernández , 2012):

- **Perfiles conformados en caliente:** Se conforman a partir de la extrusión de un bloque base que se encuentra entre 800 y 1200 grados centígrados obteniendo el perfil completo sin necesidad de utilizar soldadura.
- **Perfiles conformados en frío:** Los perfiles se obtienen a partir del doblado de una plancha metálica a temperatura ambiente y de la soldadura longitudinal que se realiza luego para unirlo a otro elemento similar y terminarlo. Este proceso genera tensiones residuales de manera que el límite elástico del acero varía en el perfil.
- **Perfiles acabados en caliente:** Los perfiles se obtiene a partir del doblado de planchas metálicas a temperatura ambiente y de un tratamiento térmico posterior utilizado para aliviar las tensiones residuales.

## **2.2. SOLDADURA**

Se denomina soldadura al proceso de unión de materiales calentados a temperatura de soldadura, adicionando o no presión o por aplicación de presión solamente, y con o sin el uso de metal de aporte (American Welding Society , 2015).

### **2.2.1. PROCESOS DE SOLDADURA**

Proceso de Soldadura por Arco con Alambre Continuo Protegido con Gas (Gas Metal Arc Welding – GMAW).

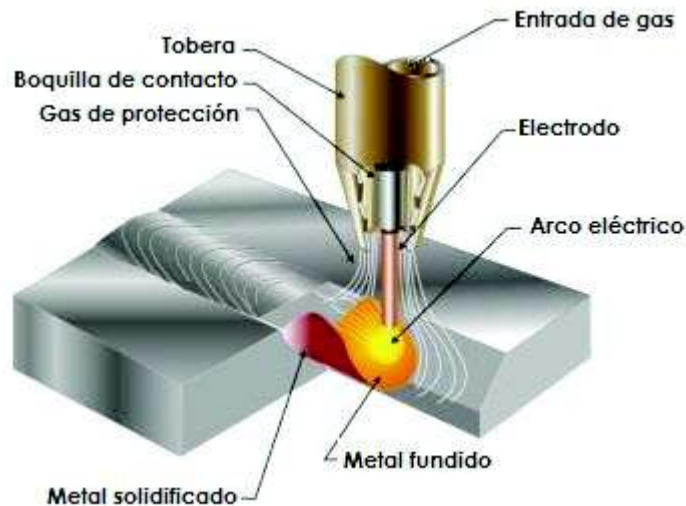
Utiliza un electrodo metálico continuo como material de aporte y el charco de soldadura del metal base. La protección por arco se produce por el suministro externo de gas sin presión.

Al proceso GMAW se lo denomina también como MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas) según la entrega del gas de protección sea inerte o activo.

Este proceso forma una vítrea ligera y no una capa de escoria como otros procesos.

Al no existir agentes limpiadores ni fundentes se requiere de un cuidado y limpieza adecuado que garanticen soldaduras libres de poros y discontinuidades.

**FIGURA 2** PROCESO DE SOLDADURA GMAW



FUENTE: Marin A. soldadurasestructuras.com, 2016.

## 2.3. HORMIGÓN

Material heterogéneo formado a partir de la mezcla de cemento, agregado fino, grueso y agua con o sin aditivos (Hernández , 2012) (NEC, 2014).

Los aditivos se añaden acorde a las características del hormigón deseadas ya sean modificaciones en ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado (McCormac & Brown, 2011).

### 2.3.1. COMPOSICIÓN DEL HORMIGÓN

Cemento: Es un material pulverizado, sus componentes son óxido de calcio, sílice, alumina, y óxido de hierro. Al agregar agua se produce una pasta conglomerante que se endurece hasta formar una masa sólida (Rivera López, 2001).

Cemento Portland: Se obtiene a partir de la pulverización del Clinker Portland con la adición de sulfato de calcio, su composición química es la siguiente:

**TABLA 3** LÍMITES DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO PORTLAND

ÓXIDO	CONTENIDO (%)
CaO	60-67
SiO <sub>2</sub>	17-25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.0-8.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6.0
MgO	0.1-4.0
Álcalis	0.2-1.3
SO <sub>3</sub>	1.0-3.0

FUENTE: RIVERA G. Concreto Simple. 2001.

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Agregados: Es el material granular que utiliza un medio cementante para formar el hormigón, este material puede ser piedra triturada, grava, arena, y escoria de hierro (ACI 318-08).

Agua: Permite hidratar el cemento y hace que la mezcla sea manejable, el agua sobrante es evaporada con el tiempo dejando vacío que pueden alterar la resistencia y durabilidad de la mezcla en general la cantidad de agua que se necesita para cumplir con esas dos funciones importantes es de más del 40% de la masa del cemento (Rivera López, 2001).

Aditivos: Se utilizan para aumentar la trabajabilidad del hormigón sin aumentar el agua, también cuando lo agregados son deficientes en finos o cuando el cemento tiende a producir exudación (Rivera López, 2001).

### 2.3.2. PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

Resistencia a compresión: El concreto posee muy buena resistencia a la compresión, esta propiedad aumenta con la edad.

La edad que generalmente se utiliza para emplear la resistencia a la compresión es 28 días con un curado correcto, la capacidad que tiene el material a resistir una carga axial de compresión por unidad de área se determina a partir de los ensayos normalizados.

Resistencia a la tensión: El concreto tiene muy baja resistencia a tensión, esta propiedad suele descartarse en el diseño de estructuras normales, sin embargo, es importante considerar el agrietamiento del concreto sobre todo si son mezclados con agregados livianos porque tienden a contraerse mucho más que los normales (Curbelo, 2015).

Resistencia a la flexión: Se lo denomina también como módulo de rotura, el concreto posee baja resistencia a la flexión, alrededor de un 10% a 20% de la resistencia a la compresión (NRMCA, 2012).

Resistencia a la Abrasión: Resistencia del hormigón a la fricción con otro material. Para lograrlo se necesita una baja relación agua-cemento, curado adecuado, y resistencia de los agregados gruesos adecuada.

Trabajabilidad: Es la facilidad con la que la mezcla se transporta, maneja, y consolida sin segregarse.

Durabilidad del concreto: Sucede cuando el concreto resiste de manera satisfactoria las condiciones de servicio bajo las que estará sujeto, depende básicamente de la permeabilidad del concreto.

Permeabilidad: Es la facilidad relativa con la que el concreto puede saturarse de agua, generando riesgo de congelamiento, corrosión del acero de refuerzo, pérdida de adherencia acero-hormigón, etc. Si un concreto usa bajo contenido de agua, tiene buena gradación de agregados, es trabajable, y bien compactado, es prácticamente impermeable.

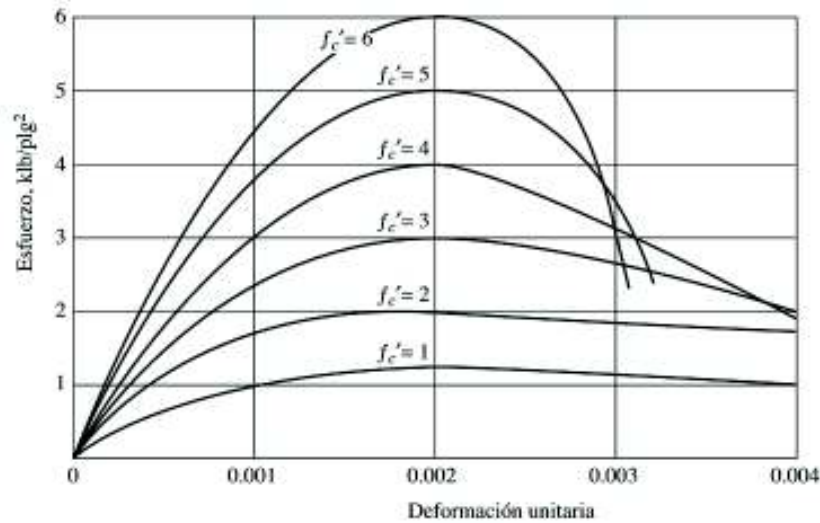
Módulo de elasticidad: Es la relación entre esfuerzo normal y deformación unitaria según los esfuerzos del material en la parte recta de la curva esfuerzo-deformación unitaria (ACI 318-08).

En base a la investigación realizada por el ingeniero Henry Alejandro en la ciudad de Quito en el año 2014, se propuso la siguiente fórmula para el cálculo del módulo de elasticidad en el Ecuador:

$$E_c = 12400 \sqrt{f'_c} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] \quad (2.1)$$

### 2.3.3. CURVA ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DE HORMIGÓN

**FIGURA 3** CURVAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN UNITARIA DE HORMIGONES DE VARIAS RESISTENCIAS



FUENTE: McCormac, Brown. Diseño de Concreto Reforzado. Alfaomega, 2011.

### 2.3.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

Las principales ventajas del hormigón son:

- Alta resistencia a la compresión como todo material pétreo, la diferencia re-  
posa en su bajo costo.
- Alta resistencia al fuego y agua.
- Capacidad de adaptarse a un sin número de formas o recipientes.
- Fácil manejo.
- Provee rigidez.
- Poco mantenimiento

- Larga vida de servicio debido a que la resistencia del concreto no disminuye con el tiempo.
- Fácil obtención de agregados.

Las principales desventajas del hormigón son:

- Baja resistencia a la tensión.
- Requiere encofrado y apuntalamiento.
- Genera miembros pesados debido a su baja resistencia por unidad de peso.
- Genera miembros relativamente grandes debido a su baja resistencia por unidad de volumen.
- Depende en gran medida de la proporción de materiales en el mezclado, colado y curado del concreto.
- Contracción y fluencia plástica del concreto

## **2.4. MIEMBROS COMPUESTOS**

También conocidos como miembros mixtos en los cuales para su elaboración se usan dos o más materiales, los que se combinan de manera que el material resultante presente un mejor comportamiento que el de los componentes individuales (Crisafulli, 2014).

El comportamiento de un miembro compuesto proviene del comportamiento de cada material por separado y de su interacción entre ellos, obteniendo propiedades combinadas (Hernández , 2012).

Existen diferentes tipos de miembros compuestos como columnas, vigas, losas, muros y riostras de pandeo restringido. Sin embargo, este estudio se centra en las columnas.

## 2.5. COLUMNAS COMPUESTAS

Son miembros cargados axialmente a compresión conformados con perfiles de acero embebidos o rellenos de hormigón.

Las columnas generalmente pueden fallar por pandeo lateral, pandeo local y pandeo flexo-torsional.

Columnas compuestas embebidas en hormigón: Por lo general usan perfiles tipo viga-I o viga-H en el centro, el recubrimiento de hormigón da un refuerzo adicional ante esfuerzos de carga axial y contra el fuego (Davison & Owens, 2007). Generalmente usan varillas longitudinales y estribos en forma de U colaborando en el aumento de resistencia de la columna y facilitando la colocación de los mismos (McCormac & Csernak, 2012).

Columnas compuestas rellenas de hormigón: Utilizan secciones circulares, cuadrangulares y rectangulares de acero para posteriormente ser rellenas con hormigón. Este tipo de miembros son usados debido al gran aumento en la capacidad a carga axial de la sección, lo cual reduce las dimensiones del miembro con relación a uno de concreto reforzado (Hernández, 2012).

### 2.5.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS COLUMNAS COMPUESTAS

Las principales ventajas de las columnas compuestas:

- Poseen resistencia al fuego y durabilidad.
- El concreto provee de esfuerzo de compresión a la sección y conduce a ahorros considerables en el costo del trabajo en acero.
- Se reduce la esbeltez de la sección de acero en pandeo lateral, aumentando el esfuerzo a compresión que puede resistir dicha sección.
- Arquitectónicamente las secciones tubulares rellenas de hormigón tienen un buen efecto visual.

- En edificios de gran altura las columnas compuestas son de menor sección que las columnas de hormigón armado bajo las mismas acciones, lo cual reduce el peso que se transmite a la cimentación.
- Su estructura se ensambla de manera eficiente pudiendo trabajar en varios frentes en distintas alturas.
- No necesitan de encofrados

Las principales desventajas de las columnas compuestas:

- La dificultad de controlar sus acortamientos variando su rapidez y magnitud debido a las distintas etapas de construcción ejecutadas simultáneamente.
- De utilizar columnas compuestas en la periferia de edificios altos y columnas solo de acero en el centro pueden aparecer problemas de desnivel en pisos, necesitando de ajustes que igualen la elevación medida y la calculada.
- La falta de conocimientos sobre la adherencia mecánica entre el hormigón y el acero estructural pudiendo presentar una ruptura severa en la junta.

## **2.6. FENÓMENO DE PANDEO**

La tendencia de un miembro a pandearse es medida generalmente por la relación de esbeltez es decir por la relación longitud y radio de giro mínimo del elemento o miembro (Mc Cormac & Csernak, 2012).

En este estudio no se analizan el pandeo flexo-torsión y factores como: tipo de conexión, excentricidad de la aplicación de carga, imperfecciones en el material de columna, deformaciones iniciales en la columna y esfuerzos residuales de fabricación. En la construcción, estos factores son prácticamente imposibles de evitar, provocando que ciertas zonas del miembro alcancen el esfuerzo de fluencia y entren al rango plástico mucho más rápido que otras.



## 2.7. PANDEO LATERAL

Se lo denomina también como pandeo flexionante o de Euler, aparece cuando el miembro sujeto a compresión se vuelve inestable. Entre más larga es una columna decrece el esfuerzo bajo el cual pandea.

$$F_e = \frac{P}{A} = \frac{\pi^2 EI}{(KL/r)^2} \left[ \frac{kg}{cm^2} \right] \quad (2.2)$$

Sustituyendo

$$r = \sqrt{I/A} \quad [cm] \quad (2.3)$$

Se obtiene:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad [kg] \quad (2.4)$$

La altura de la columna es un factor para determinar si el pandeo es elástico o inelástico y se determina:

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  el pandeo es inelástico

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25$  el pandeo es elástico

Donde:

$$P_{no} = [P_p \text{ Compacto}, P_{no} \text{ No compacto}, P_{no} \text{ Esbelto}] \quad (2.5)$$

Siendo:

$P_{no}$ = Resistencia nominal a compresión para miembros compuestos de simetría doble, con longitud nula cargados axialmente (kg)

$P_e$ = Carga crítica de pandeo elástico de Euler (kg)

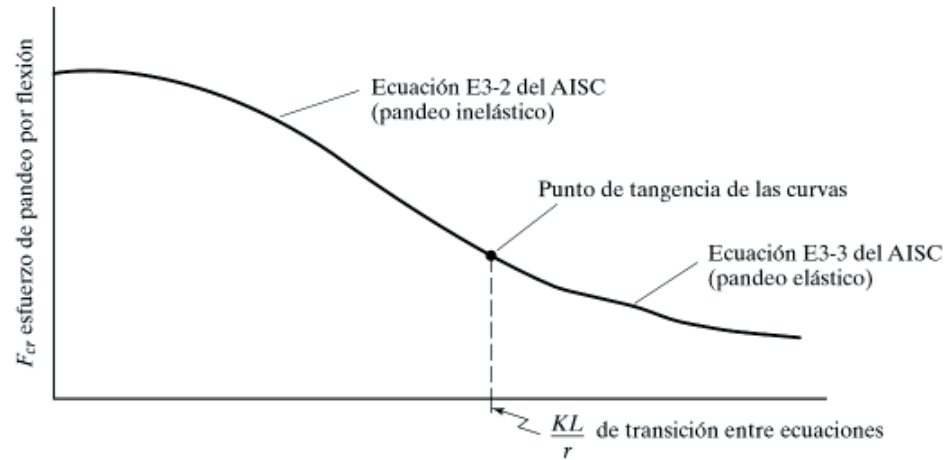
$F_y$ = Esfuerzo de fluencia del acero ( $kg/cm^2$ )

$A_s$ = Área de la sección de acero ( $cm^2$ )

$f'_c$ = Resistencia a la compresión del concreto (kg/cm<sup>2</sup>)

$A_c$ = Área del concreto (cm<sup>2</sup>)

**FIGURA 4** CURVAS RELACIÓN ESBELTEZ-ESFUERZO DE PANDEO POR FLEXIÓN SEGÚN AISC

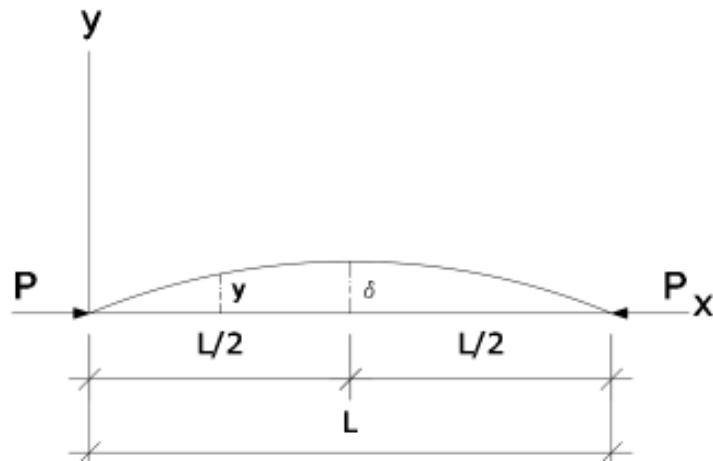


FUENTE: McCormac,Csernak. Estructuras de Acero. Alfaomega, 2011.

### 2.7.1. DEDUCCIÓN DE LA FÓRMULA DE EULER

La fórmula de Euler se deduce para una columna sin peso, recta, cargada concéntricamente, homogénea, larga, esbelta, elástica y con extremos redondeados. Se supone que esta columna perfecta ha sido reflexionada lateralmente por algún medio, como se muestra en la figura 5 y que, por sus propiedades elásticas, si se retira la carga concéntrica  $P$ , la columna recuperará su verticalidad inicial (McCormac & Csernak, 2012).

**FIGURA 5** COLUMNA DEFLEXIONADA EN SISTEMA DE COORDENANAS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Considerando que el momento flexionante en cualquier punto es  $-Py$ , la ecuación de la curva elástica se puede definir como:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -Py \quad (2.6)$$

Multiplicando por  $2dy$

$$EI 2 \frac{dy}{dx} d \frac{dy}{dx} = -2Pydy$$

$$EI \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = -Py^2 + c1$$

Cuando  $y = \delta, \frac{dy}{dx} = 0$  y  $c1 = P\delta^2$

$$EI \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = -Py^2 + P\delta^2 \quad (2.7)$$

$$\left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = \frac{P}{EI} (\delta^2 - y^2)$$

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \sqrt{(\delta^2 - y^2)}$$

$$\frac{dy}{\sqrt{(\delta^2 - y^2)}} = \sqrt{\frac{P}{EI}} dx$$

Integrando

$$\text{arc sen} \frac{y}{\delta} = \sqrt{\frac{P}{EI}} x + c_2$$

Cuando  $x=0$ ,  $y=0$  por lo tanto  $c_2=0$

$$\text{arc sen} \frac{y}{\delta} = \sqrt{\frac{P}{EI}} x$$

Cuando  $x = \frac{L}{2}$ ,  $y = \delta$ , por lo tanto

$$\frac{\pi}{2} = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}} \quad (2.8)$$

Despejando P tenemos:

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.9)$$

Se conoce que:

$$r^2 = \frac{I}{A} \quad [cm] \quad (2.10)$$

Se obtiene:

$$F_e = \frac{\pi^2 EI}{(L/r)^2} \quad (2.11)$$

## 2.8. PANDEO LOCAL

Este fenómeno aparece en las secciones no compactas donde el esfuerzo de fluencia se alcanza en algunos, pero no en todos los elementos en compresión, por tanto, se genera una disminución en su área efectiva lo que provoca la reducción de su capacidad, presentándose como una abolladura hacia el interior del tubo, generando el colapso antes de la plastificación (Mc Cormac & Csernak, 2012).

Las columnas compuestas tubulares con núcleo de hormigón impiden el pandeo del tubo hacia el interior lo cual retrasa el pandeo local de la sección.

**FIGURA 6** ESQUEMA DE PANDEO LOCAL EN PLACAS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

## 2.9. CONFINAMIENTO DEL HORMIGÓN

Es la restricción parcial de la expansión del hormigón en las direcciones ortogonales a la directriz del miembro comprimido.

El confinamiento puede ser de tipo activo y pasivo:

El confinamiento activo: Es aquel que ejerce presión activa sobre el hormigón independientemente de la carga axial aplicada, este confinamiento retrasa el crecimiento de grietas en el hormigón al impedir su expansión lateral.

El confinamiento pasivo: Es el aporte de presión lateral del perfil de acero al núcleo de hormigón depende del aumento de carga axial y por ende de la deformación

axial y lateral para que crezca la presión lateral ejercida sobre el núcleo de hormigón.

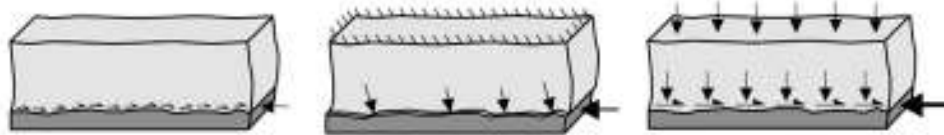
Este estudio utiliza un tipo de confinamiento pasivo. El confinamiento pasivo depende de factores como:

- **Materiales empleados:** El hormigón de alta resistencia posee menor capacidad de deformación lateral y por ende el perfil de acero generaría menor confinamiento.
- **Forma de la sección:** Las secciones circulares con las más efectivas debido a que la superficie circular del perfil metálico siempre es perpendicular a la superficie del hormigón.
- **Esbeltez del elemento confinado:** Si la esbeltez del elemento es alta también lo será los efectos de segundo orden.
- **Excentricidad aplicada:** Genera flexión disminuyendo la zona de compresión y por ende la presión lateral de confinamiento.
- **Excentricidades en los extremos:** Si la excentricidad es la misma en cada extremo el confinamiento pasivo es mínimo, si las excentricidades son diferentes la sección crítica se comprime más y su deformación transversal aumenta favoreciendo el confinamiento pasivo.
- **Aplicación de la carga:** Puede ser solo sobre el perfil de acero, solo sobre el núcleo de hormigón o sobre toda la sección y sus efectos varían de acuerdo con eso, para este estudio la aplicación de carga se la realizó sobre toda la sección de acero y hormigón por lo cual se considera que el confinamiento es progresivo con el nivel de carga. Al principio de la aplicación de la carga el hormigón no recibe ninguna presión de parte del perfil pues el coeficiente de Poisson del hormigón es menor que el del acero, posteriormente el aumento de carga hace que el hormigón se expanda lateralmente obteniendo el confinamiento pasivo del perfil metálico.

## 2.10. ADHERENCIA

Es propiedad que analiza la transferencia de esfuerzos entre el núcleo de hormigón y el tubo de acero, siendo mayor su demanda en zonas de discontinuidad geométrica.

**FIGURA 7** MECANISMOS DE ADHERENCIA



FUENTE: Johansson, M. Composite action and confinement effect in tubular Steel concrete columns. Suecia, 2002.

Según el código AISC en el capítulo I señala los mecanismos de transferencia de fuerzas para miembros compuestos, para las columnas compuestas cuya carga es aplicada simultáneamente al perfil de acero y al hormigón como en nuestro caso de estudio, la fuerza requerida para establecer equilibrio en la sección transversal se denomina  $V'_r$ .

Por otra parte, la resistencia nominal de los mecanismos de transferencia  $R_n$  se determina según el tipo de mecanismo de transferencia que se utilice, estos mecanismos pueden ser:

- Adherencia directa
- Conexión de corte
- Aplastamiento directo.

En el caso de la Interacción por adherencia directa, las fuerzas son transferidas en miembros compuestos rellenos por la interacción química entre el acero y el concreto, formando una resistencia para secciones rectangulares como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_n = B^2 C_{in} F_{in} \quad (2.12)$$

Donde:

$R_n$  = resistencia nominal de adherencia, (T)

$F_{in}$  = tensión nominal de adherencia, (0.04 kgf)

$C_{in}$  = 2 si el miembro compuesto relleno se extiende a un lado del punto de transferencia de fuerzas, 4 si el miembro compuesto relleno se extiende a ambos lados del punto de transferencia de fuerzas

$B$  = ancho total de la sección rectangular a lo largo de la cara de transferencia de carga, (cm)

El mecanismo de aplastamiento directo funciona solo cuando existe algún mecanismo interno como el uso de planchas de acero, este estudio no utilizó este tipo de mecanismo por lo que no se toma en cuenta.

En este estudio tampoco se utilizan los conectores de corte los cuales transfieren las fuerzas sumando las resistencias de cada conector.

## **2.11. DUCTILIDAD EN LOS MIEMBROS**

En general la ductilidad es la capacidad de un miembro para soportar grandes deformaciones en el rango plástico evitando el colapso. Esta propiedad aporta con seguridad dentro de la construcción pues evita el tipo de falla frágil.

Las columnas compuestas tienen una ductilidad muy elevada en comparación con las columnas de hormigón armado pues no presentan una gran caída de resistencia al alcanzar la carga última, y tampoco pandea localmente antes de alcanzar el límite plástico del material como en un perfil de acero (Hernández , 2012).

## **2.12. ATIESADORES**

Los atiesadores con elementos estructurales, usualmente planchas o ángulos, fijadas a un miembro para distribuir carga, transferir corte o prevenir pandeo (AISC 360-16, 2016).



Con la colocación de atiesadores intermedios en las placas de las columnas se aumentará el ancho efectivo de los miembros, disminuyendo la relación ancho-espesor para la clasificación de los miembros esbeltos en el fenómeno de pandeo local.

## **2.13. EQUIPOS DE LABORATORIO**

Para el ensayo de las columnas a compresión axial se usaron las instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda.

A continuación, se describen los principales equipos utilizados:

### **2.13.1. MARCO DE CARGA**

Estructura aperticada anclada a la losa de reacción, que sirve de soporte para ensayo a compresión.

**FIGURA 8** MARCO DE CARGA



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 2.13.2. GATO HIDRÁULICO (CILINDRO DE DOBLE ACCIÓN)

Elemento sujeto en la parte superior del marco de carga que transmite la fuerza axial a las probetas con una capacidad máxima de 100 toneladas.

**FIGURA 9** CILINDRO DE DOBLE ACCIÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 2.13.3. PERFILES GUÍA

Son perfiles colocados transversalmente que sirven como una banda de seguridad en caso de que en el ensayo las probetas salgan del plano de carga.

**FIGURA 10** PERFILES GUÍA



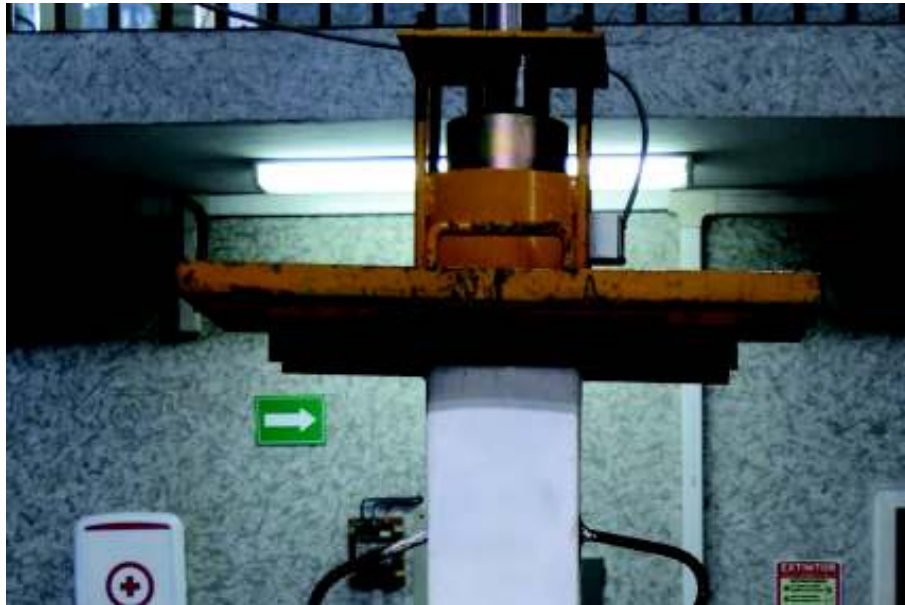
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

#### 2.13.4. PLACAS DE APOYO Y SUJECCIÓN

Transmiten la carga del cilindro de doble acción a las probetas, distribuyéndola de una manera uniforme a la sección, además permite la condición de doble articulación para el ensayo.

Las placas sirven para alinear las columnas a la celda de carga.

#### FIGURA 11 PLACAS DE APOYO Y SUJECCIÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

#### 2.13.5. STRAIN GAUGES

Son dispositivos de alta precisión conocidos también como galgas extensiométricas. Permiten conocer las deformaciones unitarias a través de las variaciones de resistencia eléctrica.

Las galgas extensiométricas son una de las herramientas más importantes en la técnica aplicada de medición eléctrica de magnitudes mecánicas, siendo utilizadas para la medición esfuerzos de tracción y compresión.

**FIGURA 12** STRAIN GAUGES USADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 2.13.6. CÓDIGOS DE REFERENCIA

Para el diseño de miembros compuestos y clasificación de los elementos ante el fenómeno de pandeo local se usó la norma AISC 360-16.

Para la comprobación del coeficiente de pandeo de placas propuesto por Bradford et al. en miembros compuestos y propuesta de un valor K para elementos atiesados con rigidizadores intermedios se usó la norma AISI S100-16.

Además de las normas mencionadas, se usaron las normas Standards Australia 5100-6 y Eurocódigo 4 para comparación con los resultados experimentales.

Para la caracterización de las propiedades mecánicas de los miembros compuestos se utilizaron las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Material) correspondientes a cada uno de los materiales. Para el acero se usó la normativa ASTM A370-17 y para el hormigón la normativa ASTM C39.

Para el proceso de soldadura se siguieron las especificaciones de la norma AWS D1.1, correspondiente al capítulo de soldadura estructural.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

Los materiales usados para la elaboración de los miembros compuestos deben cumplir con requerimientos mínimos para que sean considerados como estructurales.

La caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales se realizó mediante ensayos correspondientes a las especificaciones ASTM (American Society for Testing and Materials).

Para esta investigación los materiales han sido elegidos considerando su uso más común en el diseño estructural, así como su disponibilidad en el mercado.

Para este proceso de caracterización de los materiales se usaron las instalaciones del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) y el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) de la Escuela Politécnica Nacional.

#### **HORMIGÓN**

La especificación AISC menciona en el capítulo I, correspondiente al Diseño de Miembros de Sección Compuesta que la resistencia mínima a compresión  $f'_c$  del concreto es de 215 kg/cm<sup>2</sup>, debido a este requerimiento se usó un hormigón de  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup>, siendo ésta la resistencia mínima a compresión exigida por la Norma Ecuatoriana de la Construcción para elementos estructurales de concreto.

El concreto fue adquirido a la empresa Holcim S.A, el cual fue transportado por un mixer de la empresa a los exteriores del Centro de Investigación de la Vivienda para la fundición.

Debido a que las dimensiones de las secciones de los miembros compuestos son relativamente pequeñas se vio la necesidad de adquirir un concreto con agregado grueso de 9mm, para evitar así problemas de segregación al momento de la fundición de las columnas.

**FIGURA 13** ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

## **ACERO**

El material ASTM A36 es el acero más usado en la construcción en el país (Pontón, Robalino, Sánchez, Moya, & P.C.H.Cía.Ltda., 2016), por tal motivo se ha elegido a este material para la elaboración de los miembros compuestos.

Los perfiles tipo C para las columnas y perfiles tipo L para los atiesadores fueron adquiridos a la empresa IPAC, posteriormente fueron trasladados a un taller especializado donde fueron limpiados, cortados, soldados y pintados, garantizando así la correcta elaboración de los miembros a ser ensayados.



**FIGURA 14** PERFILES DE ACERO CON ASTIESADORES INTERMEDIOS

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 3.1.1. TOMA DE MUESTRAS DE CILINDROS DE HORMIGÓN

La caracterización de las propiedades mecánicas del hormigón se realizó mediante la especificación ASTM C39 “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilindros de Concreto” en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR).

Los especímenes fueron tomados en día de la fundición, con el objetivo de ser ensayados a los 7, 14, 28 y 45 días en las instalaciones del LEMSUR.

Los cilindros de hormigón fueron ensayados en las edades mencionadas en un rango de  $\pm 8$  horas de la hora de la fundición.

El ensayo a 45 días tiene la finalidad de determinar el módulo de elasticidad del hormigón una vez que se han desarrollado sus propiedades dinámicas

Debido al tamaño del agregado grueso las norma ASTM C39 permitía que las dimensiones de los cilindros para las pruebas de compresión del hormigón sean de 10cm de diámetro y 20cm de altura.

Para cada edad se procedió a ensayar 4 especímenes.

**FIGURA 15** TOMA DE MUESTRAS DE CILINDROS DE HORMIGÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Una vez finalizado el proceso de toma de muestras, se procedió a almacenarlas dentro las instalaciones del LEMSUR, posteriormente en un lapso de 24 horas retirar los moldes, etiquetar las muestras y almacenarlas en el cuarto de curado hasta el día del ensayo.

**FIGURA 16** ETIQUETADO DE MUESTRAS DE HORMIGÓN SEGÚN LAS EDADES



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.



### 3.1.2. TOMA DE MUESTRAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

La caracterización de las propiedades mecánicas del acero se realizó mediante la especificación ASTM A370-17 “Métodos de Pruebas Estándar para Determinación de Propiedades Mecánicas en Productos de Acero” en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

Para la determinación de las propiedades mecánicas del acero se realizaron 6 probetas metálicas que fueron ensayadas a tracción.

Debido a que era necesario la reducción de imperfecciones en la elaboración de las probetas, éstas fueron elaboradas mediante el uso de la tecnología corte en agua de una placa de 5mm de material ASTM A36.

Las probetas fueron elaboradas en el taller Servicor, con una muestra de acero A36 de la empresa IPAC.

**FIGURA 17** MUESTRA DE ACERO ESTRUCTURAL



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 3.1.3. ENSAYO DE LAS MUESTRAS DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Luego de 24 horas terminado el proceso de toma de muestras de cilindros de hormigón se procede a quitar los moldes, con una tolerancia de  $\pm 8$  horas para iniciar así el proceso de curado de las muestras.

Previo al ensayo a compresión de las muestras, se debe pesar los cilindros y determinar las dimensiones reales de las muestras, tanto en diámetro como en altura. Este proceso nos permite realizar una media aritmética de las dimensiones de las muestras, las cuales son usadas como las medidas reales para la obtención del área de compresión.

**FIGURA 18** DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 19** PESA DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN



FOTOGRAFÍA: Conterón-Erazo, 2017.

Una vez determinados las dimensiones del cilindro y su peso, se procedió a ensayar los cilindros en las edades de 7, 14, 28 y 45 días después de la fundición.

**FIGURA 20** ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Mediante este ensayo se determinó que el hormigón cumple con los requerimientos mínimos para ser clasificado con  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , pero debido a que la resistencia del hormigón aumenta con el tiempo, se usó el valor de  $f'c=254 \text{ kg/cm}^2$ , siendo este un valor promedio de los resultados experimentales de los cilindros de hormigón ensayados a los 45 días. El informe del ensayo a compresión se encuentra adjunto en el Anexo 1.

**TABLA 4** RESISTENCIA DE CILINDROS DE HORMIGÓN

Nro	EDAD	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANS. (mm <sup>2</sup> )	P. ESP. (kg/m <sup>3</sup> )	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	28 días	101	8012	2340	221
10	28 días	101	7933	2367	259
11	28 días	101	7933	2319	285
12	28 días	101	8012	2353	263
13	45 días	103	8252	2294	252
14	45 días	103	8171	2286	268

ELABORACIÓN: Conterón-Erazo, 2017.

Para esta investigación es necesario conocer el módulo de elasticidad del hormigón, debido a lo cual se realizó el ensayo a 45 días después de la fundición. El módulo de elasticidad del hormigón es necesario para determinar parámetros como elasticidad y rigidez efectiva de la sección compuesta.

Para la determinación del módulo de elasticidad se usaron Strain Gauges que median las deformaciones unitarias producidas por los efectos de la carga axial.

Para esta investigación se usó como módulo de elasticidad el valor  $E=205\,404.00 \text{ kg/cm}^2$  obtenido mediante los ensayos experimentales.

Para la obtención del módulo de elasticidad se usó la norma ASTM C469-14. El resultado del ensayo se encuentra adjunto en el Anexo 2.

**FIGURA 21** ENSAYO A COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS, USANDO STRAIN GAUGES



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**TABLA 5** MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL HORMIGÓN

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIÁMETRO (cm)	10.06
ALTURA (cm)	20.16
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )	1602.16
PESO (N)	3684.10
PESO UNITARIO (KN/m <sup>3</sup> )	2.30
CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
ÁREA (cm <sup>2</sup> )	79.49
RELACIÓN L/D	2.00
CARGA MÁXIMA (Kg)	19294.00
MÓDULO DE ELASTICIDAD (kg/cm <sup>2</sup> )	205404.00

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### 3.1.4. ENSAYO DE LAS MUESTRAS DE ACERO ESTRUCTURAL

Para la determinación de las propiedades mecánicas del acero, se procedió a ensayar a compresión axial las probetas elaboradas con el material A36.

Mediante este ensayo se determinaron los siguientes valores: carga máxima registrada, límite de fluencia, resistencia a la tracción y porcentaje de elongación.

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

**FIGURA 22** ENSAYO A TRACCIÓN DE LAS PROBETAS DE ACERO



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**TABLA 6** RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DE PROBETAS DE ACERO

ID.	ANCHO PROMEDIO	ESPESOR PROMEDIO	CARGA MÁXIMA REGISTRADA		LÍMITE DE FLUENCIA		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN		% ELONGACIÓN EN 50 mm
	mm	mm	N	lbf	Mpa	Ksi	Mpa	Ksi	
T-1	12.62	5.02	25.600	5.755	289.7	42.0	404.5	58.7	37.7
T-2	12.62	5.01	26.100	5.868	311.3	45.1	412.8	59.9	37.8
T-3	12.59	5.02	25.400	5.710	311.4	45.2	402.1	58.3	37.6
T-4	12.61	5.02	26.200	5.890	310.0	45.0	414.2	60.1	36.3
T-5	12.53	5.01	25.700	5.778	312.0	45.3	409.4	59.4	37.1
T-6	12.56	5.00	25.800	5.800	307.0	44.5	410.5	59.5	38.2

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Mediante este ensayo se determinó que el material cumple con las exigencias para ser clasificado como ASTM A36, con una resistencia de  $f_y = 36$  Ksi o  $2530$  kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad de  $2\ 043\ 000$  kg/cm<sup>2</sup>.



### 3.2. CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE PROBETAS

Por facilidad de elaboración, se procedió a armar las columnas con los perfiles en un taller mecánico ubicado en el sur de Quito, siendo este el único procedimiento realizado en los exteriores de la Escuela Politécnica Nacional.

Los perfiles tipo C y L generalmente son comercializados en longitudes de 6m, lo que permitió la elaboración de 3 probetas de 1.96 metros de altura de las mismas dimensiones.

Una vez finalizado el proceso de soldadura de los perfiles, las probetas fueron pintadas para evitar así efectos de corrosión debido a su exposición al ambiente.

Las columnas fueron apuntaladas en los exteriores del Centro de Investigación de la Vivienda, facilitando así el traslado de las probetas para el ensayo.

**FIGURA 23** COLUMNAS ENSAMBLADAS PREVIO SU TRASLADO AL CIV



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Las probetas fueron ensayadas a una edad de 45 días después del proceso de fundición.

### 3.2.1. SOLDADURA DE PROBETAS

Los perfiles tipo C fueron unidos mediante soldadura tipo GMAW de cordón continuo, después de haber sido cortados previamente con amoladora.

En el caso de la construcción de las secciones compuestas con atiesadores, los perfiles tipo L fueron colocados previo al armado de los perfiles C, con cordón alternado.

**FIGURA 24** PROCESO DE SOLDADURA DE ATIESADORES INTERNOS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Al iniciar este proyecto de investigación, se planteó la idea de soldar los atiesadores de forma continua al perfil C, pero debido al calor producido por la soldadura, en el perfil C se producía una torsión en el eje principal del miembro, provocando así una deformación inicial al momento de la construcción de la probeta, la cual reduciría la capacidad de la sección compuesta a carga axial. Por este motivo se procedió a soldar a los atiesadores de manera alternada, es decir con un cordón continuo de 5cm en intervalos de 10 cm.



**FIGURA 25** CORDÓN DE SOLDADURA DE LOS ATIESADORES



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 26** PROCESO DE SOLDADURA DE PERFILES DE ACERO



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Debido a que las probetas permanecerán expuestas al ambiente durante el proceso de endurecimiento, estas fueron cubiertas con pintura anticorrosiva.

**FIGURA 27 RECUBRIMIENTO CON PINTURA ANTICORROSIVA**



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Una vez finalizado el armado de los perfiles metálicos se procedió a trasladarlos a las instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda, para la fundición.

### **3.2.2. APUNTALAMIENTO DE PROBETAS**

El proceso de apuntalamiento fue de muy importancia para la construcción de las probetas de sección armada, ya que debido al reducido espesor de los perfiles la colocación del hormigón puede generar deformaciones en las columnas. Siguiendo recomendaciones de investigaciones anteriores se realizó un reforzamiento en el apuntalamiento de las probetas tipo encamisado para evitar deformaciones en los elementos donde se espera el fenómeno de pandeo local.

El encamisado de las probetas consiste en la colocación de perfiles rectangulares de madera en la parte central de los 4 lados del miembro sujetos con alambre galvanizado con un espaciamiento de 40 centímetros.

**FIGURA 28** ENCAMISADO DE LAS COLUMNAS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

El apuntalamiento se realizó de manera que las columnas mantengan una posición vertical durante los procesos de fundición y endurecimiento del hormigón.

**FIGURA 29** APUNTALAMIENTO DE LOS MIEMBROS COMPUESTOS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 3.2.3. FUNDICIÓN DE PROBETAS

La colocación del hormigón se lo realizó directamente desde un mixer con ayuda de una bomba.

El hormigón fue vertido de manera directa en las columnas y posteriormente se usó un vibrador mecánico para lograr así un asentamiento del hormigón, además de un martillo de goma evitando en lo posible dejar espacios vacíos dentro de las probetas.

Previo al ensayo de las probetas, se procedió a enrazar las superficies exteriores de las probetas previamente, para lograr así una distribución uniforme de esfuerzos ante la aplicación de la carga axial.

La toma de muestras de hormigón se la realizó durante el proceso de fundición.

**FIGURA 30** VERTIDO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Debido a que, en este tipo de fundición, el hormigón tiende a fugarse por la base de las columnas, se selló con silicón en el pie de las columnas.



**FIGURA 31** SELLADO EN LA BASE DE LAS COLUMNAS

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Debido a las dimensiones de las probetas, el vertido del hormigón podría generar una segregación en la parte inferior de las probetas. Para evitar este fenómeno se usó hormigón de consistencia fluida. En la fundición se realizó el ensayo del Cono de Abrams, en la cual se midió un asentamiento de 9.00 cm, clasificando la consistencia del hormigón como Blanda.

**FIGURA 32** ENSAYO DE CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

### 3.2.4. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO DE PROBETAS

En ensayo de las probetas se realizó con ayuda del cilindro de carga de doble acción ubicado dentro de las instalaciones del Centro de Investigación de la Vivienda, para el ensayo se utilizó la celda de carga de 100 toneladas.

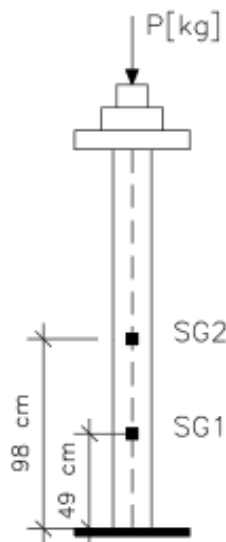
El esquema del ensayo se muestra en la figura 33.

Para poder determinar las propiedades mecánicas de los miembros, se realizó un ensayo de tipo histerético de un ciclo de carga-descarga con intervalos de 10 toneladas hasta llegar a la resistencia última.

En cada ensayo se colocaron 3 Transformadores Diferenciales de Variación Lineal (LVDT) capaces de medir la deformación total en los tres ejes de coordenadas y 2 Strain Gauges capaces de medir deformaciones unitarias en las zonas posibles donde se espera que ocurra el pandeo.

Los Strain Gauges fueron colocados a una altura de 49 cm y 98 cm medidos desde la base.

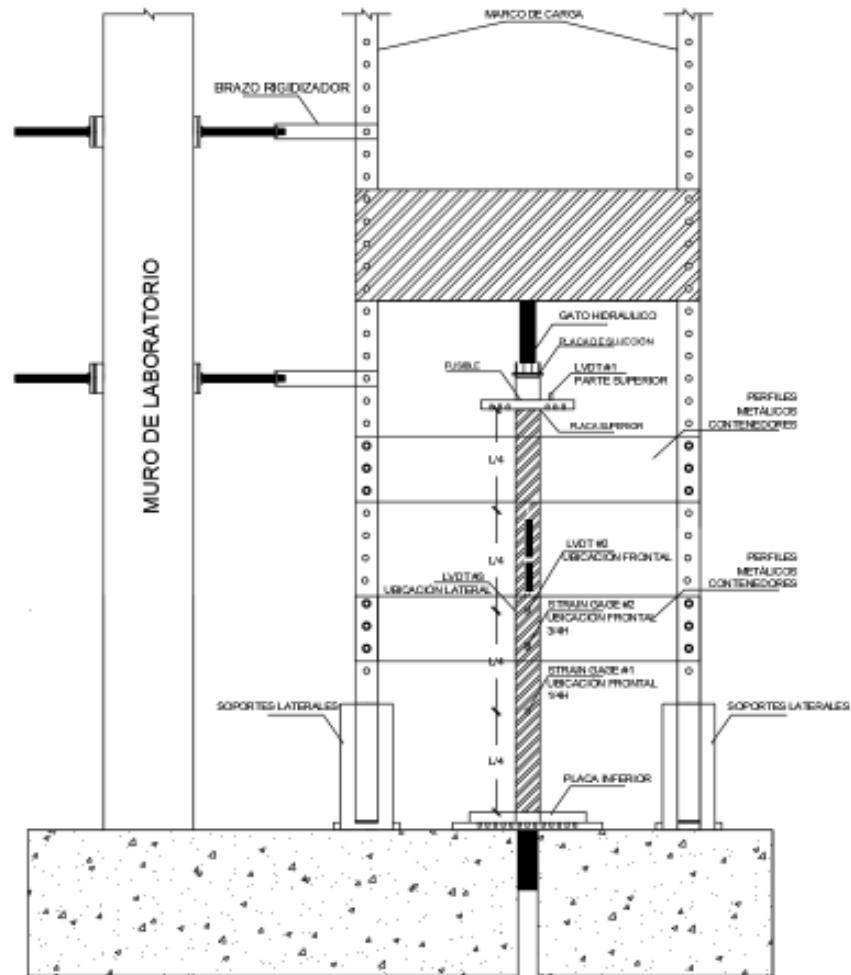
**FIGURA 33** UBICACIÓN DE LOS STRAIN GUGES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Es importante también mencionar que las columnas deben estar completamente centradas, evitando así en la medida de lo posible efectos de segundo orden por excentricidad en la aplicación de carga.

**FIGURA 34** ESQUEMA DEL ENSAYO DE PROBETAS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### 3.3. DISEÑO DE COLUMNAS COMPUESTAS SOMETIDAS A COMPRESIÓN

Las distintas secciones asignadas para las probetas fueron seleccionadas en base a parámetros necesarios para realizar esta investigación como: la relación ancho-espesor, la clasificación de los miembros compactos y no compactos.

Debido a recomendaciones de anteriores investigaciones se decidió optar por columnas de mediana altura (1.96m), esta consideración ayuda a disminuir los efectos de segundo orden en el comportamiento del miembro ante carga axial (Benitez & Lascano, 2016).


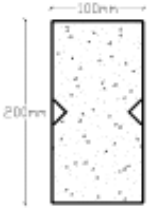
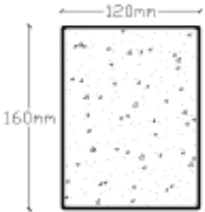
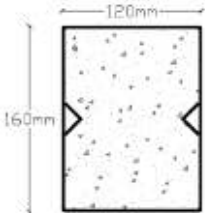
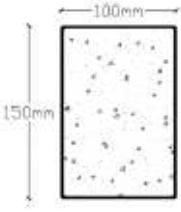
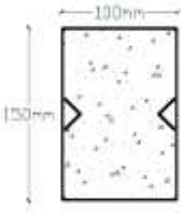
Para este proyecto de investigación se usaron como atiesadores intermedios perfiles estructurales tipo L, los cuales fueron soldados en la cara interna de los perfiles C, previo la unión de los 2 perfiles C.

Se obtuvieron 3 tipos de secciones de diferentes dimensiones, con 3 probetas de cada sección siendo, dando así un total de 9 probetas que fueron sometidas al ensayo de compresión axial.

En la tabla 7 se pueden observar los distintos tipos de secciones utilizadas para este proyecto de investigación, cantidad, materiales y descripciones.



**TABLA 7** ESPECIFICACIONES DE PROBETAS A ENSAYAR

Sección (mm)	Figura	Perfiles (mm)	Cantidad	Descripción
Columna 100x200		2C 200x50x2	1	Columna rectangular compuesta sin atiesadores intermedios.
Columna 100x200 atiesada		2C 200x50x2  2L 20x20x2	2	Columna rectangular compuesta con atiesadores intermedios.
Columna 120x160		2C 160x60x2	1	Columna rectangular compuesta sin atiesadores intermedios.
Columna 120x160 atiesada		2C 160x60x2  2L 20x20x2	2	Columna rectangular compuesta con atiesadores intermedios.
Columna 100x150		2C 150x50x2	1	Columna rectangular compuesta sin atiesadores intermedios.
Columna 100x150 atiesada		2C 150x50x2  2L 20x20x2	2	Columna rectangular compuesta con atiesadores intermedios.

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### 3.4. PROPIEDADES DE SECCIONES CONFORMADAS EN FRÍO

Para esta investigación se usaron perfiles de lámina delgada, para lo cual se debe considerar algunas variaciones en el cálculo de las propiedades de las secciones.

Para este procedimiento se usará el método descrito en el AISI Manual Cold-Formed Steel Design 2013 Edition.

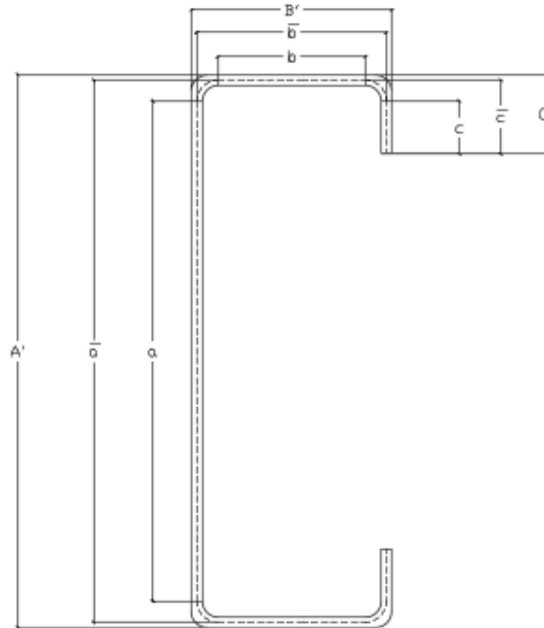
Las propiedades de las secciones serán calculadas con las ecuaciones que se muestran a continuación.

Esta metodología de cálculo realiza las siguientes consideraciones:

- Se usarán tres tipos de dimensiones: Letras en mayúsculas (A) denotan las dimensiones exteriores del perfil, letras sobrerayadas ( $\bar{a}$ ) denotan las dimensiones tomadas de eje a eje y las letras minúsculas (a) indican las dimensiones de la parte plana de los elementos que conforman el miembro.
- La letra t indica el espesor del perfil.
- En todos los cálculos se consideran las esquinas redondeadas de los perfiles laminados en frío, a excepción de algunas propiedades torsionales.
- El radio de curvatura mínimo deberá ser 1.5 veces el espesor del perfil.

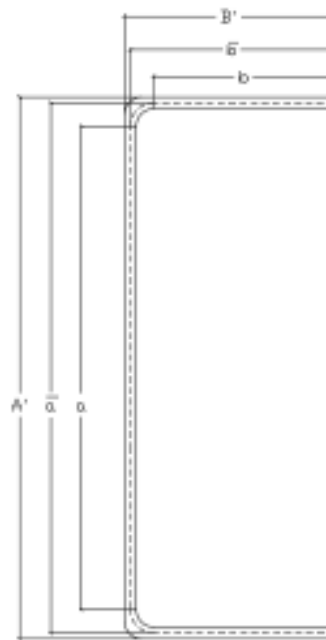
### 3.4.1. PERFILES CON SIMPLE SIMETRÍA CON O SIN LABIOS RIGIDIZADORES

**FIGURA 35** PERFIL G CON LABIOS RIGIDIZADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 36** PERFIL C SON LABIOS RIGIDIZADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

## a. PARÁMETROS BÁSICOS

$$R = 1.5 * t \quad (3.1)$$

$$r = R + \frac{t}{2} \quad (3.2)$$

$$a = A' - (2r + t) \quad (3.3)$$

$$\bar{a} = A' - t \quad (3.4)$$

$$b = B' - \left[ r + \frac{t}{2} + \alpha \left( r + \frac{t}{2} \right) \right] \quad (3.5)$$

$$\bar{b} = B' - \left( \frac{t}{2} + \alpha \frac{t}{2} \right) \quad (3.6)$$

$$c = \alpha \left[ C' - \left( r + \frac{t}{2} \right) \right] \quad (3.7)$$

$$\bar{c} = \alpha \left( C' - \frac{t}{2} \right) \quad (3.8)$$

$$u = \frac{\pi r}{2} \quad x \quad (3.9)$$

<sup>x</sup> para rigidizadores conectados a 90

## b. ÁREA GRUESA DE LA SECCIÓN

$$A = t[2a + u + \alpha (2c + 2u)] \quad (3.10)$$

## c. DISTANCIA ENTRE EL EJE DEL ALMA DEL MIEMBRO Y CENTROIDE

$$\bar{x}_c = \frac{2t}{A} \left\{ b \left( \frac{b}{2} + r \right) + u(0.363r) + \alpha [u(b + 1.637r) + c(b + 2r)] \right\} \quad (3.11)$$

## d. MOMENTO DE INERCIA CON RESPECTO AL EJE XX

$$I_x = 2t \left\{ 0.0417a^3 + b \left( \frac{a}{2} + r \right)^2 + u \left( \frac{a}{2} + 0.637r \right)^2 + 0.149r^3 + \alpha \left[ 0.0833c^3 + \frac{c}{4}(a - c)^2 + u \left( \frac{a}{2} + 0.637r \right)^2 + 0.149r^3 \right] \right\} \quad (3.12)$$

## e. MOMENTO DE INERCIA CON RESPECTO AL EJE YY

$$I_y = 2t \left\{ b \left( \frac{b}{2} + r \right)^2 + \frac{b^3}{12} + 0.356r^3 + \alpha [c(b + 2r)^2 + u(b + 1.637r)^2 + 0.149r^3] \right\} - A\bar{x}_c^2 \quad (3.13)$$

### **3.5. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE SECCIONES TUBULARES RELLENAS DE HORMIGÓN SEGÚN EL CÓDIGO AISC 360-16**

El capítulo I de la especificación AISC 360-16 abarca el diseño de miembros compuestos conformados por perfiles de acero estructural laminados o armados y concreto estructural actuando en conjunto (AISC 360-16, 2016).

Para que un miembro sea considerado compuesto por la especificación AISC, deberá cumplir con las siguientes disposiciones generales:

#### **3.5.1. HORMIGÓN Y ACERO DE REFUERZO**

El diseño, detalles y propiedades de los materiales relacionados a las partes de concreto y acero de refuerzo en la construcción compuesta deben cumplir con las especificaciones de diseño para concreto reforzado y barras de refuerzo estipuladas por la normativa de edificación ACI-318, tomando en cuenta las excepciones y limitaciones que señala la norma (AISC 360-16, 2016).

#### **3.5.2. RESISTENCIA NOMINAL DE SECCIONES COMPUESTAS**

La especificación AISC 360-16 propone dos métodos adicionales para el cálculo de la resistencia nominal de secciones compuestas, las cuales son:

##### **a) Método de Distribución de las Tensiones Plásticas**

En este método, la resistencia nominal debe ser calculada asumiendo que los componentes de acero han alcanzado la tensión  $F_y$ , ya sea en tracción o en compresión y que los componentes del concreto han alcanzado la tensión de  $0.85f'_c$  para secciones tubulares no redondas y  $0.95f'_c$  para secciones tubulares redondas debido a fuerzas axiales y/o flexión.

#### b) Método de Compatibilidad de las Deformaciones

En este caso se debe suponer una distribución lineal de las deformaciones en la sección, con una deformación unitarias máxima del concreto en compresión de 0.003 mm/mm. Este método debe ser usado para determinar la resistencia nominal de secciones irregulares y cuando el acero no exhibe un comportamiento elasto-plástico.

#### c) Método de Distribución de las Tensiones Elásticas

En este método la resistencia nominal será determinada mediante la superposición de las tensiones elásticas para el estado límite de fluencia o rotura del hormigón.

#### d) Método de Esfuerzo-Deformación Efectiva

Para el método de esfuerzo-deformación efectiva, la resistencia nominal se calculará asumiendo la compatibilidad de deformaciones y las relaciones de esfuerzo-deformación efectivas para el acero y hormigón, considerando los efectos de pandeo local, fluencia, interacción y confinamiento del concreto.

### 3.5.3. LIMITACIONES DEL MATERIAL

Los materiales usados en sistemas compuestos como son el acero estructural, concreto y barras de acero de refuerzo deben cumplir con las siguientes limitaciones que se mencionan en la especificación AISC 360-16.

El concreto debe tener una resistencia a la compresión  $f'_c$  no menor que 215 kg/cm<sup>2</sup> (21 Mpa) ni mayor que 715 kg/cm<sup>2</sup> (70 Mpa) en concreto de peso normal y una resistencia  $f'_c$  no menor que 215 kg/cm<sup>2</sup> (21 Mpa) ni mayor que 430 kg/cm<sup>2</sup> (42 Mpa) en caso de concreto liviano.

Para el acero estructural y barras de acero de refuerzo, usadas en el cálculo de la resistencia de una columna compuesta, el esfuerzo de fluencia no debe exceder 535 kg/cm<sup>2</sup> (525 Mpa).

### 3.5.4. CLASIFICACIÓN DE SECCIONES COMPUESTAS RELLENAS PARA PANDEO LOCAL

Para miembros en compresión, la especificación AISC clasifica a las secciones como compactas, no compactas o esbeltas, basándose en la relación ancho-espesor de los elementos que conforman los miembros compuestos.

- Una sección será compacta si la relación ancho-espesor de los elementos que conforman el miembro sometido a compresión no excede la relación ancho-espesor límite  $\lambda_p$ .
- Una sección será no compacta si al menos uno de los elementos que conforman el miembro sometido a compresión excede la relación ancho-espesor límite  $\lambda_p$  pero no  $\lambda_r$ .
- Una sección será clasificada como esbelta si uno o varios de los elementos que conforman el miembro sometido a compresión excede la relación  $\lambda_r$ .
- Ningún elemento de la sección compuesta sometido a carga axial deberá superar la máxima permitida especificada en la Tabla I 1.1a de la especificación AISC 360-16.

**TABLA 8** LÍMITES DE LA RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ELEMENTOS DE MIEMBROS COMPUESTOS SUJETOS A COMPRESIÓN AXIAL

<b>TABLE I1.1a</b> <b>Limiting Width-to-Thickness Ratios for</b> <b>Compression Steel Elements in Composite</b> <b>Members Subject to Axial Compression</b> <b>for Use with Section I2.2</b>				
Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	$\lambda_p$ Compact/ Noncompact	$\lambda_r$ Noncompact/ Slender	Maximum Permitted
Walls of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	$b/t$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$0.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	$D/t$	$\frac{0.15E}{F_y}$	$\frac{0.19E}{F_y}$	$\frac{0.51E}{F_y}$

FUENTE: AISC 360-16, 2016.

Para determinar la resistencia nominal a compresión de la sección compuesta se usarán las especificaciones de la norma AISC 360-16, capítulo I, sección I2 Fuerza Axial.

Para esta investigación se usó el apartado I2.2, correspondiente al diseño de Columnas Compuestas Rellenas.

### 3.5.5. LÍMITES

Para miembros compuestos rellenos, el área transversal de la sección de acero deberá contener por lo menos un 1% del área total de sección compuesta.

La tabla 9 contiene el porcentaje de la sección de acero de los miembros usados en este proyecto de investigación.

**TABLA 9** PORCENTAJES DE ACERO EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE CADA COLUMNA

Descripción	B(cm)	H(cm)	t(cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	As(cm <sup>2</sup> )	%
Columna 100x200	10	20	0.2	200	11.84	6%
Columna 100x200 atiesada	10	20	0.2	200	13.36	7%
Columna 120x160	12	16	0.2	192	11.04	6%
Columna 120x160 atiesada	12	16	0.2	192	12.56	7%
Columna 100x150	10	15	0.2	150	9.84	7%
Columna 100x150 atiesada	10	15	0.2	150	11.36	8%

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### 3.5.6. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

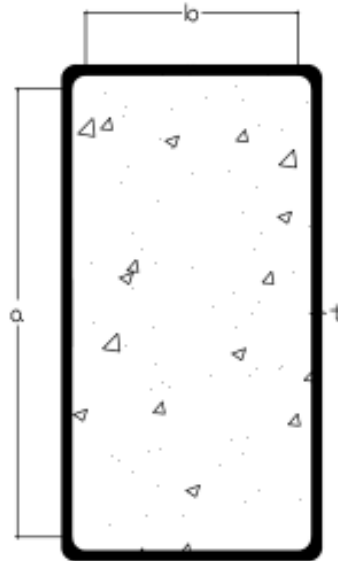
Los miembros rellenos deberán ser clasificados para pandeo local en base a la tabla I 1.1a de la especificación AISC 360-16.

Debido a que la especificación AISC 360-16 no menciona a secciones compuestas con atiesadores intermedios, se procedió a clasificarlas considerando al atiesador como un rigidizador intermedio, esta consideración servirá para determinar el pro-



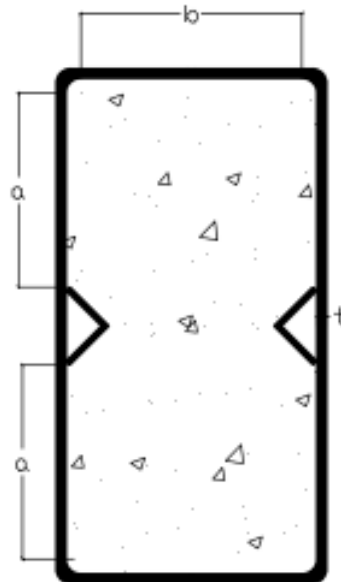
cedimiento de cálculo de la capacidad axial de la sección, la cual deberá ser comprobada mediante los ensayos experimentales de las secciones no atiesadas con rigidizadores intermedios.

**FIGURA 37** SECCIÓN COMPUESTA SIN ATIESADOR



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 38** SECCIÓN COMPUESTA CON ATIESADOR INTERMEDIO



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**SECCIÓN COMPACTA**

$$\frac{a}{t} < 2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{a}{t} < 64.22$$

**SECCIÓN NO COMPACTA**

$$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{a}{t} < 3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$64.22 < \frac{a}{t} < 85.25$$

**SECCIÓN ESBELTA**

$$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} < \frac{a}{t} < 5.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$85.25 < \frac{b}{t} < 142.08$$

Siendo:

B,H= dimensiones exteriores de los elementos del miembro a compresión (cm)

a,b= dimensión plana de los elementos del miembro a compresión (cm)

t= espesor del elemento (cm)

E= módulo de elasticidad del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

F<sub>y</sub>= módulo de fluencia del acero (kg/cm<sup>2</sup>)

**TABLA 10** CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS SEGÚN LA RELACIÓN ANCHO-ESPESOR PARA ELEMENTOS DE MIEMBROS COMPUESTOS SUJETOS A COMPRESIÓN AXIAL

Descripción	H(cm)	B(cm)	a(cm)	b(cm)	t(cm)	$\lambda_a$	$\lambda_b$	$\lambda_{max}$	Clasificación
Columna 100x200	20.00	10.00	19.00	9.00	0.20	95.00	45.00	95.00	Esbelto
Columna 100x200 atiesada	20.00	10.00	7.95	9.00	0.20	39.75	45.00	45.00	Compacto
Columna 120x160	16.00	12.00	15.00	11.00	0.20	75.00	55.00	75.00	No Compacto
Columna 120x160 atiesada	16.00	12.00	5.95	11.00	0.20	29.75	55.00	55.00	Compacto
Columna 100x150	15.00	10.00	14.00	9.00	0.20	70.00	45.00	70.00	No Compacto
Columna 100x150 atiesada	15.00	10.00	5.45	9.00	0.20	27.25	45.00	45.00	Compacto

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### 3.5.7. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

$\phi_c = 0.75$  (LRFD)

$\Omega_c = 2.00$  (ASD)

$$P_a = \phi_c \times P_n \text{ (LRFD)} \quad (3.14)$$

$$P_a = \frac{P_n}{\Omega_c} \text{ (ASD)} \quad (3.15)$$

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658 \left( \frac{P_{no}}{P_e} \right) \right] \quad (3.16)$$

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25$  Pandeo Elástico

$$P_n = 0.877 P_e \quad (3.17)$$

Donde:

$$E_{ieff} = E_{sls} + E_{slsr} + C3E_{clc} \quad (3.18)$$

$$C3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9 \quad (3.19)$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2(EI_{eff})}{(KL)^2} \quad (3.20)$$

Para cálculo de  $P_{no}$

Para secciones compactas:

$$P_{no} = P_p \quad (3.21)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f' c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c}) \quad (3.22)$$

$C_2=0.85$  para secciones rectangulares

Para secciones no compactas:

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad (3.23)$$

$\lambda$ ,  $\lambda_p$  y  $\lambda_r$  razones de rigidez

$P_p$  es determinado según la ecuación 3.22

Donde:

$$P_{no} = F_y A_s + 0.7 f' c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c}) \quad (3.24)$$

Para secciones esbeltas:

$$P_{no} = F_{cr} A_s + 0.7 f' c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c}) \quad (3.25)$$

Donde:

(i) Para secciones rectangulares rellenas

$$F_{cr} = \frac{9.0 E_s}{(b/t)^2} \quad (3.26)$$

(ii) Para secciones redondas rellenas

$$F_{cr} = \frac{0.72 F_y}{\left(\frac{b}{t}\right) \left(\frac{F_y}{E_s}\right)^2} \quad (3.27)$$

Donde:

$A_c$ = área del concreto (cm<sup>2</sup>)

$A_s$ = área de la sección de acero (cm<sup>2</sup>)

$A_{sr}$ = área de las barras de acero de refuerzo (cm<sup>2</sup>)

$E_c$ = módulo de elasticidad del concreto 205 404 kg/cm<sup>2</sup>

$E_{eff}$ = rigidez efectiva de la sección compuesta (kg-cm<sup>2</sup>)

$C_3$ = coeficiente para el cálculo de la rigidez efectiva de miembros compuestos rellenos en compresión.

$E_s$ = módulo de elasticidad del acero 2 043 000 kg/cm<sup>2</sup>

$F_y$ = límite de fluencia del acero 2 530 kg/cm<sup>2</sup>

$F_{ysr}$ = límite de fluencia de las barras de refuerzo de acero 4 200 kg/cm<sup>2</sup>

$I_c$ = momento de inercia de la sección de concreto sobre el eje neutro elástico de la sección compuesta (cm<sup>4</sup>)

$I_s$ = momento de inercia del perfil de acero sobre el eje neutro elástico de la sección compuesta (cm<sup>4</sup>)

$I_{sr}$ = momento de inercia de las barras de acero de refuerzo sobre el eje neutro elástico de la sección compuesta (cm<sup>4</sup>)

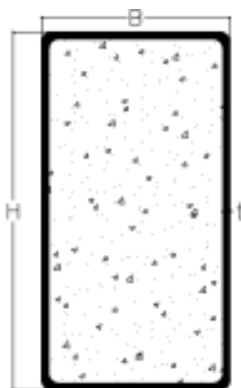
$K$ =factor de longitud efectiva

$L$ = longitud no arriostrada lateralmente lateralmente del miembro (cm)

$f'_c$ = resistencia a la compresión del concreto 254 kg/cm<sup>2</sup>

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 DE HORMIGÓN RELLENA SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISC 360-16.**

**FIGURA 39** ESQUEMA GENERAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA SIN ATIESADORES INTERMEDIOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 11** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	11.70	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	188.16	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.63	s/u
I <sub>xx s</sub> =	629.47	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	218.14	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	6023.63	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	1445.07	cm <sup>4</sup>
Esbelto		
Pandeo Inelástico		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

## CAPACIDAD A COMPRESIÓN

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658^{\left(\frac{P_{no}}{P_e}\right)} \right]$$

$$P_n = 55.86 \text{ Ton} \left[ 0.658^{\left(\frac{55.86}{162.21}\right)} \right]$$

$$\mathbf{P_n = 48.36 \text{ Ton}}$$

Donde:

$$P_{no} = 55.36 \text{ Ton}$$

$$E_{ieff} = E_s I_s + E_s I_r + C_3 E_c I_c$$

$$E_{ieff} = 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 218.14 \text{ cm}^4 + 0.63 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1445.10 \text{ cm}^4$$

$$E_{ieff} = 631\,373\,304.87 \text{ kg.cm}^2$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_r}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{11.70 \text{ cm}^2}{188.16 \text{ cm}^2 + 11.70 \text{ cm}^2} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.63$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2 (E_{ieff})}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (631\,373\,304.87 \text{ kg.cm}^2)}{(1 * 196 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 162.21 \text{ Ton}$$

Para secciones esbeltas:

$$P_{no} = FcrAs + 0.7 f'c(Ac + Asr \frac{Es}{Ec})$$

$$P_{no} = 1\,914.52 \frac{kg}{cm^2} * 11.70 cm^2 + 0.70 * 254 \frac{kg}{cm^2} (188.16 cm^2)$$

$$\mathbf{P_{no} = 55.86 Ton}$$

Donde:

(i) Para secciones rectangulares rellenas

$$Fcr = \frac{9.0 Es}{(b/t)^2}$$

$$Fcr = \frac{9 * (2\,043\,000 \frac{kg}{cm^2})}{(98)^2}$$

$$Fcr = 1\,914.52 kg/cm^2$$



**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISC 360-16.**

**TABLA 12** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	10.90	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	180.96	cm <sup>2</sup>
C <sub>2</sub>	0.85	s/u
C <sub>3</sub>	0.62	s/u
I <sub>xx s</sub> =	417.41	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	269.87	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	3669.87	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	2029.16	cm <sup>4</sup>
No Compacto		
Pandeo Inelástico		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**CAPACIDAD A COMPRESIÓN**

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658 \left( \frac{P_{no}}{P_e} \right) \right]$$

$$P_n = 63.69 \text{ Ton} \left[ 0.658 \left( \frac{63.69}{208.09} \right) \right]$$

$$\mathbf{P_n = 56.04 \text{ Ton}}$$

Donde:

$$P_{no} = 63.69 \text{ Ton}$$

$$E_{ieff} = E_{sIs} + E_{sIsr} + C3E_{clc}$$

$$E_{ieff} = 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 269.87 \text{ cm}^4 + 0.62 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 2029.16 \text{ cm}^4$$

$$E_{ieff} = 809\,961\,727.15 \text{ kg.cm}^2$$

$$C3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C3 = 0.45 + 3 \left( \frac{11.70 \text{ cm}^2}{188.16 \text{ cm}^2 + 11.70 \text{ cm}^2} \right) \leq 0.9$$

$$C3 = 0.62$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2 (E_{ieff})}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (809\,961\,727.15 \text{ kg.cm}^2)}{(1 * 196 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 208.09 \text{ Tons}$$

Para secciones no compactas:

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2$$

$$P_{no} = 66.66 \text{ Ton} - \frac{66.66 \text{ Ton} - 59.76 \text{ Ton}}{(85.24 - 64.22)^2} (78.00 - 64.22)^2$$

$$\mathbf{P_{no} = 63.69 \text{ Ton}}$$

$\lambda$ ,  $\lambda_p$  y  $\lambda_r$  son razones de rigidez

$$\lambda = 78.00$$

$$\lambda_p = 64.22$$

$$\lambda_r = 85.24$$

Donde:

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f'_c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c})$$

$$P_y = 2530 \frac{kg}{cm^2} * 10.90 cm^2 + 0.70 * 254 \frac{kg}{cm^2} * 180.96 cm^2$$

$$P_y = 59.76 \text{ Ton}$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c})$$

$$P_p = 2530 \frac{kg}{cm^2} * 10.90 cm^2 + 0.85 * 254 \frac{kg}{cm^2} * 180.96 cm^2$$

$$P_p = 66.66 \text{ Ton}$$

$C_2 = 0.85$  para secciones rectangulares

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISC 360-16.**

**TABLA 13** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	9.70	cm <sup>2</sup>
Ac=	140.16	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.64	s/u
Ixx s=	315.13	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	170.12	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	2489.71	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1076.43	cm <sup>4</sup>
No Compacto		
Pandeo Inelástico		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**CAPACIDAD A COMPRESIÓN**

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658 \left( \frac{P_{no}}{P_e} \right) \right]$$

$$P_n = 53.88 \text{ Ton} \left[ 0.658 \left( \frac{53.88}{125.89} \right) \right]$$

$$\mathbf{P_n = 45.04 \text{ Ton}}$$

Donde:

$$P_{no} = 53.88 \text{ Ton}$$

$$E_{ieff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$$

$$E_{ieff} = 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 170.12 \text{ cm}^4 + 0.64 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1076.43 \text{ cm}^4$$

$$E_{ieff} = 489\,999\,354.27 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{9.70 \text{ cm}^2}{140.16 \text{ cm}^2 + 9.70 \text{ cm}^2} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.64$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2 (E_{ieff})}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (489\,999\,354.27 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2)}{(1 * 196 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 125.89 \text{ Ton}$$

Para secciones no compactas:

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2$$

$$P_{no} = 54.81 \text{ Ton} - \frac{54.81 \text{ Ton} - 49.47 \text{ Ton}}{(85.24 - 64.22)^2} (73.00 - 64.22)^2$$

$$\mathbf{P_{no} = 53.88 \text{ Ton}}$$

$\lambda$ ,  $\lambda_p$  y  $\lambda_r$  son razones de rigidez

$$\lambda = 73.00$$

$$\lambda_p = 64.22$$

$$\lambda_r = 85.24$$

Donde:

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f'_c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c})$$

$$P_y = 2530 \frac{kg}{cm^2} * 9.70 cm^2 + 0.70 * 254 \frac{kg}{cm^2} * 140.16 cm^2$$

$$P_y = 49.47 \text{ Ton}$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c (A_c + A_s r \frac{E_s}{E_c})$$

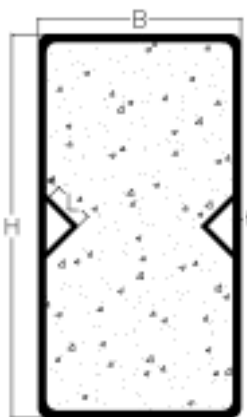
$$P_p = 2530 \frac{kg}{cm^2} * 9.70 cm^2 + 0.85 * 254 \frac{kg}{cm^2} * 140.16 cm^2$$

$$P_p = 54.81 \text{ Ton}$$

$C_2 = 0.85$  para secciones rectangulares

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 RELLENA DE HORMIGÓN CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISC 360-16.**

**FIGURA 40** ESQUEMA GENERAL DE LA SECCIÓN COMPUESTA CON ATIESADORES INTERMEDIOS

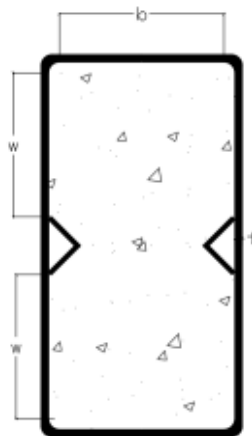


ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Para la clasificación de los miembros de sección compuesta a pandeo local, se consideró a los perfiles L como rigidizadores intermedios, disminuyendo así la relación  $w/t$  como se muestra en la figura 38.

Para el cálculo de la capacidad a compresión axial de las secciones se consideró el área de aporte de los perfiles L y la disminución del hormigón por la colocación de los rigidizadores.

**FIGURA 41** CONSIDERACIÓN DEL PERFIL L COMO RIGIDIZADOR INTERMEDIO PARA EL CÁLCULO  $w/t$



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 14** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	13.22	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	178.27	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.68	s/u
I <sub>xx s</sub> =	630.54	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	245.18	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	6021.68	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	1355.70	cm <sup>4</sup>
Compacto		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658^{\left(\frac{P_{no}}{P_e}\right)} \right]$$

$$P_n = 71.95 \text{ Ton} \left[ 0.658^{\left(\frac{71.95}{177.28}\right)} \right]$$

$$\mathbf{P_n = 60.71 \text{ Ton}}$$

Donde:



$$P_{no} = 71.95 \text{ Ton}$$

$$E_{ieff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C3 E_c I_c$$

$$E_{ieff} = 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 245.18 \text{ cm}^4 + 0.68 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1355.70 \text{ cm}^4$$

$$E_{ieff} = 690\,026\,536.42 \text{ kg.cm}^2$$

$$C3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C3 = 0.45 + 3 \left( \frac{13.22 \text{ cm}^2}{178.27 \text{ cm}^2 + 13.22 \text{ cm}^2} \right) \leq 0.9$$

$$C3 = 0.68$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2 (E_{ieff})}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (690\,026\,536.42 \text{ kg.cm}^2)}{(1 * 196 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 177.28 \text{ Ton}$$

Para secciones compactas:

$$P_{no} = P_p$$

$$P_p = F_y A_s + C2 f'_c (A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c})$$

$$P_p = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 13.22 \text{ cm}^2 + 0.85 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 178.27 \text{ cm}^2$$

$$P_p = 71.95 \text{ Ton}$$

C2=0.85 para secciones rectangulares

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 RELLENA DE HORMIGÓN  
CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISC 360-16.**

**TABLA 15** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	12.42	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	171.07	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.68	s/u
I <sub>xx s</sub> =	418.48	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	311.64	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	3667.92	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	1893.51	cm <sup>4</sup>
Compacto		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A COMPRESIÓN**

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658 \left( \frac{P_{no}}{P_e} \right) \right]$$

$$P_n = 68.37 \text{ Ton} \left[ 0.658 \left( \frac{68.37}{231.03} \right) \right]$$

$$\mathbf{P_n = 60.40 \text{ Ton}}$$

$$P_{no} = 68.37 \text{ Ton}$$

$$E_{ieff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$$

$$E_{ieff} = 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 311.64 \text{ cm}^4 + 0.67 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1893.51 \text{ cm}^4$$

$$E_{ieff} = 899\,256\,495.75 \text{ kg.cm}^2$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{12.42 \text{ cm}^2}{171.07 \text{ cm}^2 + 12.42 \text{ cm}^2} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.68$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2 (E_{ieff})}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (899\,256\,495.75 \text{ kg.cm}^2)}{(1 * 196 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 231.03 \text{ Ton}$$

Para secciones compactas:

$$P_{no} = P_p$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c (A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c})$$

$$P_p = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 12.42 \text{ cm}^2 + 0.85 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 171.07 \text{ cm}^2$$

$$P_p = \mathbf{68.37 \text{ Ton}}$$

C2=0.85 para secciones rectangulares

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 RELLENA DE HORMIGÓN  
CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISC 360-16.**

**TABLA 16** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	11.22	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	130.27	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.71	s/u
I <sub>xx s</sub> =	316.20	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	197.16	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	2487.76	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	987.06	cm <sup>4</sup>
Compacto		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Cuando  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$  Pandeo Inelástico

$$P_n = P_{no} \left[ 0.658^{\left(\frac{P_{no}}{P_e}\right)} \right]$$

$$P_n = 56.52 \text{ Ton} \left[ 0.658^{\left(\frac{56.52}{140.47}\right)} \right]$$

$$\mathbf{P_n = 47.76 \text{ Ton}}$$

$$P_{no} = 56.52 \text{ Ton}$$

$$E_{ieff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c$$

$$E_{ieff} = 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 197.16 \text{ cm}^4 + 0.71 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 987.06 \text{ cm}^4$$

$$E_{ieff} = 546\,740\,302.88 \text{ kg.cm}^2$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left( \frac{11.22 \text{ cm}^2}{130.27 \text{ cm}^2 + 11.22 \text{ cm}^2} \right) \leq 0.9$$

$$C_3 = 0.71$$

Pe= carga crítica de pandeo elástico

$$P_e = \frac{\pi^2 (E_{ieff})}{(KL)^2}$$

$$P_e = \frac{\pi^2 (546\,740\,302.88 \text{ kg.cm}^2)}{(1 * 196 \text{ cm})^2}$$

$$P_e = 140.47 \text{ Ton}$$

Para secciones compactas:

$$P_{no} = P_p$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c (A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c})$$

$$P_p = 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 11.22 \text{ cm}^2 + 0.85 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 130.27 \text{ cm}^2$$

$$P_p = 56.52 \text{ Ton}$$

C2=0.85 para secciones rectangulares

### **3.6. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE SECCIONES TUBULARES SEGÚN EL CÓDIGO AISI S100-16 (MÉTODO ANCHO EFECTIVO)**

La norma AISI S100-16 correspondiente a la Especificación Norteamericana para el diseño de Miembros Estructurales de Acero Conformados en Frío no menciona en ninguno de sus capítulos el diseño de miembros compuestos sometidos a carga axial, por lo cual para esta investigación se procedió a calcular la capacidad a compresión axial de los distintos materiales que conforman los miembros compuestos para obtener la resistencia total mediante la adición de las capacidades.

#### **3.6.1. LÍMITACIONES DEL MATERIAL**

La especificación AISI S100-16 requiere que los materiales que conformen el miembro estructural cumplan con los siguientes requerimientos:

##### **ACERO**

La especificación requiere el empleo de acero de calidad estructural de acuerdo con lo definido en general por lo requisitos de las siguientes especificaciones de la ASTM:

ASTM 36/A36M

ASTM A242/A242M

ASTM A283/A283M

ASTM 792/A792M

ASTM A500

ASTM A572/A572M

Todos los aceros usados para miembros estructurales no mencionados anteriormente deberán cumplir con las siguientes condiciones de ductilidad:

La relación entre la resistencia a la tracción y el límite de fluencia no debe ser menor que 1.08.

El alargamiento total no debe ser menor que el 10% de una muestra normalizada de 50mm de longitud o 7% de una muestra normalizada de 200 mm de acuerdo con los ensayos ASTM A370 o ASTM A1058.

## HORMIGÓN

La norma AISI S100-16 recomienda que el concreto sea estructural bajo las condiciones de la especificación ACI 318 (American Concrete Institute).

La norma AISI S100-16 únicamente menciona el diseño de miembros compuestos para vigas con sistema de losas colaborantes.

### 3.6.2. LÍMITES DE RELACIÓN ANCHO/ESPESOR PARA ELEMENTOS QUE CONFORMAN MIEMBROS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO MEDIANTE EL MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO

Las máximas relaciones entre el ancho plano y el espesor  $w/t$ ,  $b/t$ , despreciando los rigidizadores intermedios y considerando  $t$  como el espesor real del elemento, deben ser las siguientes:

**TABLA 17** LÍMITES DE RELACIÓN ANCHO/ESPESOR

Criterio	Variable a consideración	Límite para método del ancho efectivo
Elemento comprimido rigidizado con ambos bordes longitudinales conectados a otros elementos rigidizados	$w/t$	$\leq 500$
Cualquier otro tipo de rigidizador	$b/t$	$\leq 90$ for $l_s \geq l_a$ $\leq 60$ for $l_s < l_a$
Labio rigidizador simple	$b/t$	$\leq 60$

FUENTE: AISI S100-16, 2016.

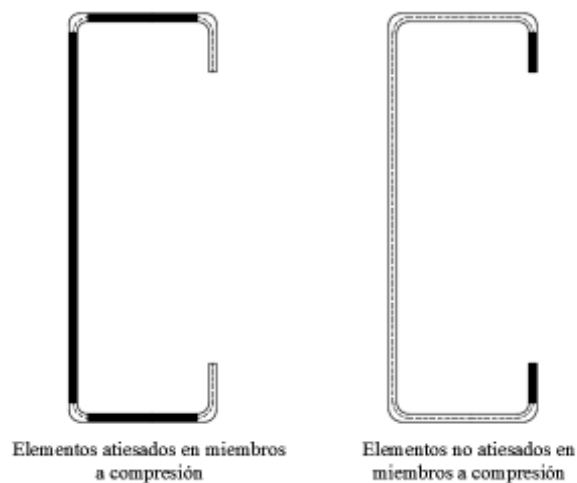
### 3.6.3. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS MIEMBROS DE LÁMINA DELGADA

La especificación AISI S100-16 clasifica a los elementos que conforman los miembros en compresión en atiesados y no atiesados.

Un elemento no atiesado es una pieza proyectante con un borde libre, paralelo a la dirección de la fuerza de compresión, mientras que un elemento atiesado está soportado en ambos bordes a lo largo a de la dirección de la carga.

Los elementos pueden estar atiesados por otros elementos rigidizados o labios rigidizadores.

**FIGURA 42** ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN MIEMBRO A COMPRESIÓN



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Para esta investigación se usarán perfiles tipo L que servirán como atiesadores intermedios, los cuales deberán cumplir con las condiciones de inercia de la norma para la clasificación del elemento atiesado ante las condiciones  $b/t$ .

$$I_a = 399t^4 \left( \frac{w/t}{s} - 0.328 \right)^3 \leq t^4 \left( 115 \frac{w/t}{s} + 5 \right) \quad (3.28)$$

Donde:

$$s = 1.28 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (3.29)$$

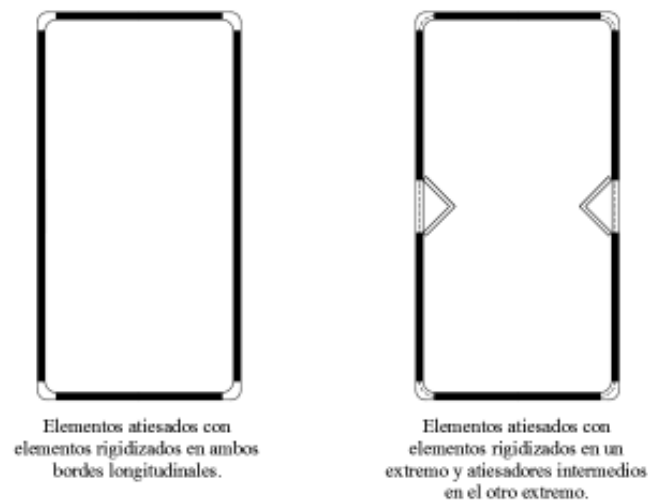


Siendo  $I_a$ : Momento de inercia adecuado del rigidizador, de manera que cada elemento componente se comporte como un elemento rigidizado.

$$I_s = (d^3 t \sin^2 \theta) / 12 \quad (3.30)$$

Siendo  $I_s$ : Momento de Inercia de la sección total del rigidizador respecto a su propio eje baricéntrico paralelo al elemento a rigidizar y superficie efectiva del rigidizador. Para los rigidizadores de borde, la esquina redondeada entre el rigidizador y el elemento no se debe considerar parte del rigidizador.

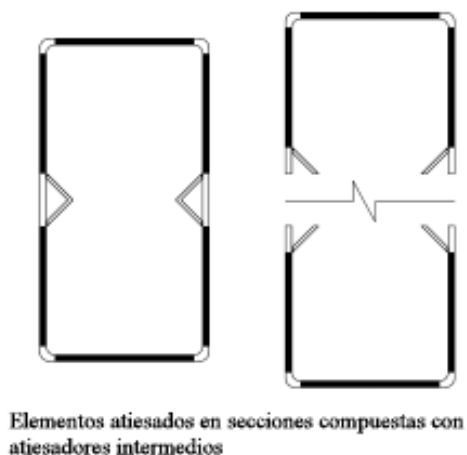
**FIGURA 43** ELEMENTOS QUE CONFORMAN LOS MIEMBROS COMPUESTOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Para esta investigación se consideró a los elementos de los perfiles L como labios rigidizadores de los elementos de los perfiles C que conforman el miembro de acero, formando así un elemento uniformemente comprimido atiesado con un labio rigidizador.

**FIGURA 44** ESQUEMA GENERAL DE LA CONSIDERACIÓN DE LOS ELEMENTOS ATIESADOS PARA EL CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

#### 3.6.4. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Debido a que la especificación AISI S100-16 no menciona procedimientos de cálculo de resistencia a carga axial de miembros compuestos, se procedió a calcular la capacidad a pandeo local mediante el método especificado en la norma AISI S100-16 Método Ancho Efectivo. En esta investigación no se considera la capacidad a compresión a pandeo flexural según la especificación AISI S100-16, razón por la cual la capacidad a compresión de la sección compuesta fue determinada por el método Ancho Efectivo.

Para el cálculo del pandeo local se ha usado el método del ancho efectivo de placas propuesto por la especificación AISI S100-16 en el apéndice 1. Para este procedimiento se calculó únicamente la capacidad a pandeo local del miembro de acero con un coeficiente de placas  $K=10.6$  propuesto por Bradford et al, para posteriormente añadir la capacidad a compresión de la sección de concreto, reducida por el coeficiente de rigidez efectiva de una sección compuesta rellena en compresión C3.

Las capacidades de la sección compuesta a pandeo local Método Ancho Efectivo fueron comparadas con las capacidades de la sección compuesta a pandeo flexural

método AISC 360-16 con el fin de determinar qué tipo de falla dominante la acción de una carga axial a compresión.

## PANDEO LOCAL

Método del ancho efectivo de placas

$$P_{nl} = A_e F_n + C3 A_c F' c \quad (3.31)$$

$$C3 = 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9 \quad (3.32)$$

Donde  $F_n$  = Esfuerzo nominal de pandeo

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658 \lambda_c^2) F_y \quad (3.33)$$

$$\lambda_c > 1.50 \therefore \text{Pandeo Elástico} \quad F_n = \left( \frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (3.34)$$

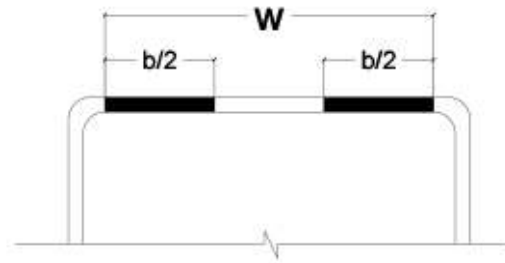
$$\lambda_c = \sqrt{\frac{F_y}{F_{cre}}} \quad (3.35)$$

$F_{cre}$  = Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left( \frac{KL}{r} \right)^2} \quad (3.36)$$

## MIEMBROS RIGIDIZADOS POR OTROS ELEMENTOS RIGIDIZADOS

**FIGURA 45** ANCHO EFECTIVO PARA MIEMBROS RIGIDIZADOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

$$b = \rho w \quad (3.37)$$

Si:

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673 \quad (3.38)$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando} \quad \lambda > 0.673 \quad (3.39)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}} \quad (3.40)$$

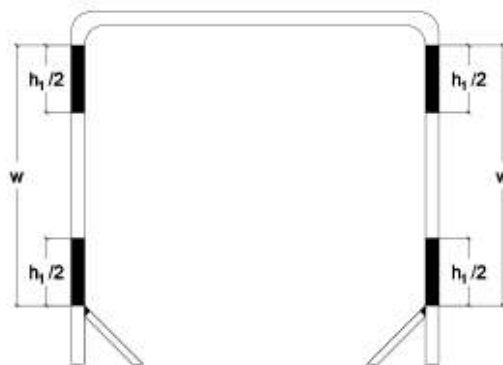
Donde:

$F_{crl}$  = Esfuerzo a compresión en placa

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12*(1-u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2 \quad (3.41)$$

### MIEMBROS RIGIDIZADOS POR UN ELEMENTO RIGIDIZADO Y UN LABIO RIGIDIZADOR SIMPLE

**FIGURA 46** MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO PARA MIEMBROS RIGIDIZADOS POR UN LABIO RIGIDIZADOR SIMPLE



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Si:

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673 \quad (3.42)$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando} \quad \lambda > 0.673 \quad (3.43)$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}} \quad (3.44)$$

Donde:

$F_{cri}$  = Esfuerzo a compresión en placa

$$F_{cri} = \frac{k\pi^2 E}{12*(1-u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2 \quad (3.45)$$

$A_s$  = área de la sección de acero (cm<sup>2</sup>)

$A_e$  = área efectiva de la sección ante la tensión nominal (cm<sup>2</sup>)

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto 205 404 (kg/cm<sup>2</sup>)

$E_s$  = módulo de elasticidad del acero 2 043 000 (kg/cm<sup>2</sup>)

$F_y$  = límite de fluencia del acero 2530 (kg/cm<sup>2</sup>)

$f'_c$  = resistencia a la compresión del concreto 254 (kg/cm<sup>2</sup>)

$\lambda, \lambda_c$  = coeficientes de esbeltez

$r$  = radio de giro de la sección compuesta (cm)

$K$  = factor de longitud efectiva

$L$  = longitud no arriostrada lateralmente del miembro (cm)

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISI S100-16.**

**TABLA 18** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	11.70	cm <sup>2</sup>
Ac=	188.16	cm <sup>2</sup>
u=	0.30	s/u
C3	0.63	s/u
Ixx s=	629.47	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	218.14	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	6023.63	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1445.07	cm <sup>4</sup>
Esbelto		
Pandeo Inelástico		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**PANDEO LOCAL**

$$P_{nl} = A_e F_n + C3 A_c F'_c$$

$$P_{nl} = 9.93 \text{ cm}^2 * 2\,270.83 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.63 * 188.16 \text{ cm}^2 * 254 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{nl} = 52.46 \text{ Ton}$$

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$F_n = (0.658^{0.508^2}) 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Fn = 2\,270.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{F_{cre}}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2530 \text{ kg/cm}^2}{9784.09 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0.508$$

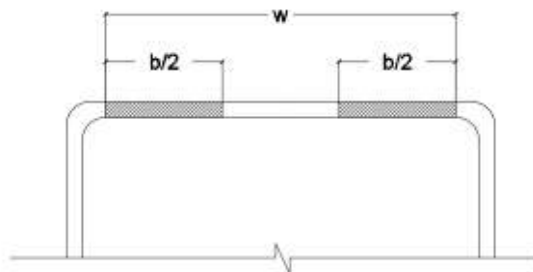
Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 2043000 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 \times 196 \text{ cm}}{4.32 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_{cre} = 9\,784.09 \text{ kg/cm}^2$$

B en compresión:



$$b = \rho w$$

$$b = 1 * 9 \text{ cm}$$

$$b = 9 \text{ cm}$$

$$w = B - (2r + t)$$

$$w = 9.00 \text{ cm}$$

$$B = 10 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,270.83 \text{ kg/cm}^2}{9\,665.54 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.485 \quad \therefore \quad \rho = 1$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,270.83 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

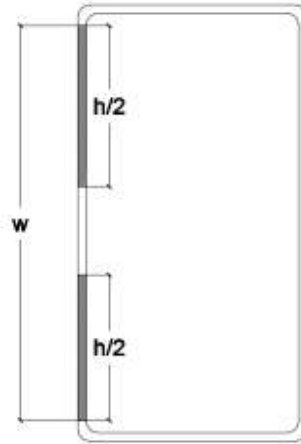
$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{9.00}\right)^2$$



$$F_{crl} = 9\,665.54 \text{ kg/cm}^2$$

H en compresión:



$$h = \rho w$$

$$h = 0.77 * 19 \text{ cm}$$

$$h = 14.58 \text{ cm}$$

$$w = H - (2r + t)$$

$$w = 19.00 \text{ cm}$$

$$H = 20 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,270.83 \text{ kg/cm}^2}{2\,168.72 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 1.023 \therefore \rho = 0.77$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{1.02}}{1.02}$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,270.83 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{19.00}\right)^2$$

$$F_{crl} = 2\,168.72 \text{ kg/cm}^2$$

Área efectiva

$$Ae = As - Ane$$

$$Ae = 11.70 \text{ cm}^2 - 1.77 \text{ cm}^2$$

$$Ae = 9.93 \text{ cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISI S100-16.**

**TABLA 19** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	10.90	cm <sup>2</sup>
Ac=	180.96	cm <sup>2</sup>
u=	0.30	s/u
C3	0.62	s/u
Ixx s=	417.41	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	269.87	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	3669.87	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	2029.16	cm <sup>4</sup>
No Compacto		
Pandeo Inelástico		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**PANDEO LOCAL**

$$P_{nl} = A_e F_n + C3 A_c F'_c$$

$$P_{nl} = 10.26 \text{ cm}^2 * 2332.35 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.62 * 180.96 \text{ cm}^2 * 254 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{nl} = 52.45 \text{ Ton}$$

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$Fn = (0.658^{0.441^2})2530 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Fn = 2332.35 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{F_{cre}}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2530 \text{ kg/cm}^2}{12992.50 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0.4413$$

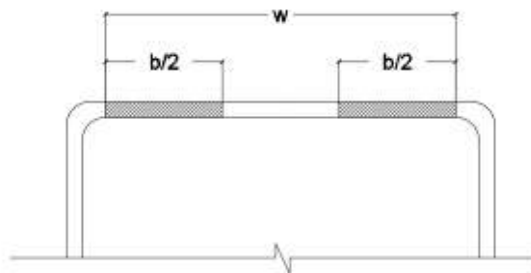
Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 2043000 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 \times 196 \text{ cm}}{4.97 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_{cre} = 12992.50 \text{ kg/cm}^2$$

B en compresión:



$$b = \rho w$$

$$b = 1 * 11 \text{ cm}$$

$$b = 11 \text{ cm}$$

$$w = B - (2r + t)$$

$$w = 11.00 \text{ cm}$$

$$B = 12 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,332.35 \text{ kg/cm}^2}{6\,470.32 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.600 \therefore \rho = 1$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,332.35 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

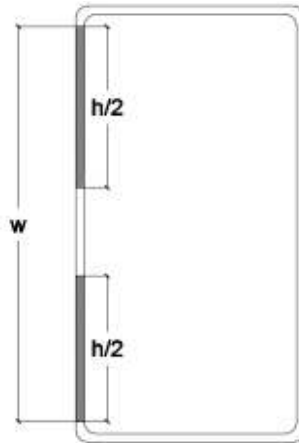
k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{11.00}\right)^2$$

$$F_{crl} = 6\,470.32 \text{ kg/cm}^2$$

H en compresión:



$$h = \rho w$$

$$h = 0.89 * 15 \text{ cm}$$

$$h = 13.39 \text{ cm}$$

$$w = H - (2r + t)$$

$$w = 15.00 \text{ cm}$$

$$H = 16 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,332.35 \text{ kg/cm}^2}{3\,479.60 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.819 \therefore \rho = 0.89$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{0.819}}{0.819}$$

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,332.35 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{15.00}\right)^2$$

$$F_{crl} = 3\,479.60 \text{ kg/cm}^2$$

Área efectiva

$$Ae = As - Ane$$

$$Ae = 10.92 \text{ cm}^2 - 0.64 \text{ cm}^2$$

$$Ae = 10.26 \text{ cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISI S100-16.**

**TABLA 20** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	9.70	cm <sup>2</sup>
Ac=	140.16	cm <sup>2</sup>
u=	0.30	s/u
C3	0.64	s/u
Ixx s=	315.13	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	170.12	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	2489.71	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1076.43	cm <sup>4</sup>
No Compacto		
Pandeo Inelástico		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**PANDEO LOCAL**

$$P_{nl} = A_e F_n + C3 A_c F'_c$$

$$P_{nl} = 9.37 \text{ cm}^2 * 2 255.36 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.64 * 140.16 \text{ cm}^2 * 254 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{nl} = 44.07 \text{ Ton}$$

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$F_n = (0.658^{0.5244^2}) 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$



$$Fn = 2\,255.36 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{F_{cre}}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2530 \text{ kg/cm}^2}{9\,203.16 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0.5244$$

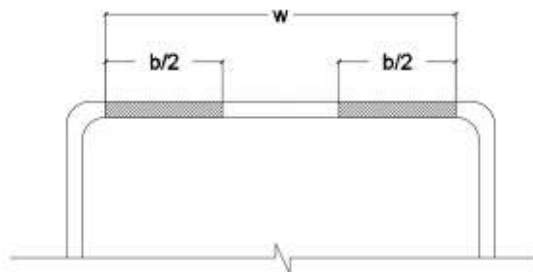
Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 2043000 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 \times 196 \text{ cm}}{4.19 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_{cre} = 9\,203.16 \text{ kg/cm}^2$$

B en compresión:



$$b = \rho w$$

$$b = 1 * 9 \text{ cm}$$

$$b = 9 \text{ cm}$$

$$w = B - (2r + t)$$

$$w = 9.00 \text{ cm}$$

$$B = 10 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,255.36 \text{ kg/cm}^2}{9\,665.54 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.483 \quad \therefore \quad \rho = 1$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,255.36 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

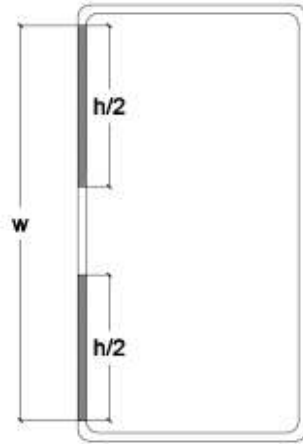
k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{9.00}\right)^2$$

$$F_{cr1} = 9\,665.54 \text{ kg/cm}^2$$

H en compresión:



$$h = \rho w$$

$$h = 0.94 * 14 \text{ cm}$$

$$h = 13.17 \text{ cm}$$

$$w = H - (2r + t)$$

$$w = 14.00 \text{ cm}$$

$$H = 15 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,255.36 \text{ kg/cm}^2}{3\,994.43 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.751 \therefore \rho = 0.94$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{0.751}}{0.751}$$

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,255.36 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{14.00}\right)^2$$

$$F_{crl} = 3\,994.43 \text{ kg/cm}^2$$

Área efectiva

$$Ae = As - Ane$$

$$Ae = 9.70 \text{ cm}^2 - 0.33 \text{ cm}^2$$

$$Ae = 9.37 \text{ cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 RELLENA DE HORMIGÓN CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISI S100-16.**

**TABLA 21** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f <sub>c</sub> =	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	13.22	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	178.27	cm <sup>2</sup>
C <sub>2</sub>	0.85	s/u
C <sub>3</sub>	0.68	s/u
I <sub>xx s</sub> =	630.54	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	245.18	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	6021.68	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	1355.70	cm <sup>4</sup>
Esbelto		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**PANDEO LOCAL**

$$P_{nl} = A_e F_n + C_3 A_c F'_c$$

$$P_{nl} = 13.22 \text{ cm}^2 * 2269.53 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.68 * 178.27 \text{ cm}^2 * 254 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{nl} = 60.76 \text{ Ton}$$

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$Fn = (0.658^{0.5098^2}) 2530 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Fn = 2\,269.53 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{F_{cre}}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2530 \text{ kg/cm}^2}{9\,732.72 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0.5098$$

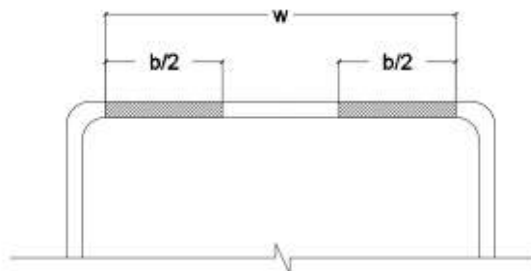
Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 2043000 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 \times 196 \text{ cm}}{4.31 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_{cre} = 9\,732.72 \text{ kg/cm}^2$$

B en compresión:



$$b = \rho w$$

$$b = 1 * 9 \text{ cm}$$

$$b = 9 \text{ cm}$$

$$w = B - (2r + t)$$

$$w = 9.00 \text{ cm}$$

$$B = 10 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,269.53 \text{ kg/cm}^2}{9\,665.54 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.485 \quad \therefore \quad \rho = 1$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,269.53 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

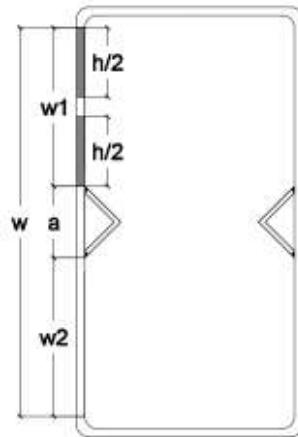
k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{9.00}\right)^2$$

$$F_{crl} = 9\,665.54 \text{ kg/cm}^2$$

H en compresión:



$$h = \rho w_1$$

$$h = 1.00 * 7.94 \text{ cm}$$

$$h = 7.94 \text{ cm}$$

$$w_1 = (w - a)/2$$

$$w_1 = 7.94 \text{ cm}$$

$$w = H - (2r + t)$$

$$w = 19.00 \text{ cm}$$

$$H = 20 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$



$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,269.53 \text{ kg/cm}^2}{12\,404.89 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.428 \therefore \rho = 1$$

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,269.53 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{7.94}\right)^2$$

$$F_{crl} = 12\,404.89 \text{ kg/cm}^2$$

Área efectiva

$$Ae = As - Ane$$

$$Ae = 13.22 \text{ cm}^2 - 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Ae = 13.22 \text{ cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 RELLENA DE HORMIGÓN  
CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISI S100-16.**

**TABLA 22** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	12.42	cm <sup>2</sup>
Ac=	171.07	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.68	s/u
Ixx s=	418.48	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	311.64	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	3667.92	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1893.51	cm <sup>4</sup>
No Compacto		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**PANDEO LOCAL**

$$P_{nl} = A_e F_n + C3 A_c F'c$$

$$P_{nl} = 12.42 \text{ cm}^2 * 2334.88 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.68 * 171.07 \text{ cm}^2 * 254 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{nl} = 58.34 \text{ Ton}$$

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$Fn = (0.658^{0.4384^2}) 2530 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Fn = 2334.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{F_{cre}}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2530 \text{ kg/cm}^2}{13167.62 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0.4384$$

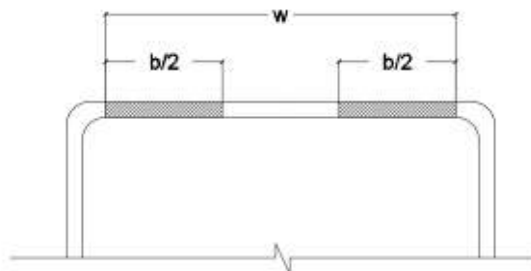
Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 2043000 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 \times 196 \text{ cm}}{5.01 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_{cre} = 13167.62 \text{ kg/cm}^2$$

B en compresión:



$$b = \rho w$$

$$b = 1 * 11 \text{ cm}$$

$$b = 11 \text{ cm}$$

$$w = B - (2r + t)$$

$$w = 11.00 \text{ cm}$$

$$B = 12 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,334.88 \text{ kg/cm}^2}{6\,470.32 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.601 \quad \therefore \quad \rho = 1$$

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,334.88 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

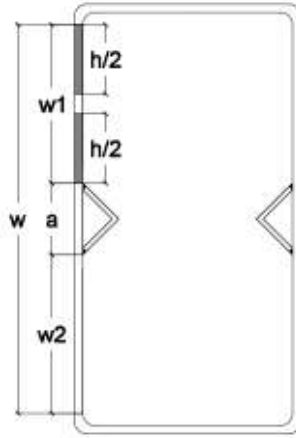
k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{11.00}\right)^2$$

$$F_{cr1} = 6\,470.32 \text{ kg/cm}^2$$

H en compresión:



$$h = \rho w_1$$

$$h = 1.00 * 5.94 \text{ cm}$$

$$h = 5.94 \text{ cm}$$

$$w_1 = (w - a)/2$$

$$w_1 = 5.94 \text{ cm}$$

$$w = H - (2r + t)$$

$$w = 15.00 \text{ cm}$$

$$H = 16 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = \frac{1 - \frac{0.22}{\lambda}}{\lambda} \quad \text{cuando } \lambda > 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,334.88 \text{ kg/cm}^2}{22\,156.46 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.325 \therefore \rho = 1$$

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,334.88 \text{ kg/cm}^2$$

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{5.94}\right)^2$$

$$F_{crl} = 22\,156.46 \text{ kg/cm}^2$$

Área efectiva

$$Ae = As - Ane$$

$$Ae = 12.42 \text{ cm}^2 - 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Ae = 12.42 \text{ cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 RELLENA DE HORMIGÓN CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO AISI S100-16.**

**TABLA 23** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	11.22	cm <sup>2</sup>
Ac=	130.27	cm <sup>2</sup>
C2	0.85	s/u
C3	0.71	s/u
Ixx s=	316.20	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	197.16	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	2487.76	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	987.06	cm <sup>4</sup>
No Compacto		
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**PANDEO LOCAL**

$$P_{nl} = A_e F_n + C3 A_c F'_c$$

$$P_{nl} = 11.22 \text{ cm}^2 * 2 255.88 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.71 * 130.27 \text{ cm}^2 * 254 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_{nl} = 48.81 \text{ Ton}$$

$$\lambda_c \leq 1.50 \therefore \text{Pandeo Inelástico} \quad F_n = (0.658^{\lambda_c^2}) F_y$$

$$F_n = (0.658^{0.5238^2}) 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$Fn = 2\,255.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{Fy}{F_{cre}}}$$

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2530 \text{ kg/cm}^2}{9\,221.33 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda_c = 0.5238$$

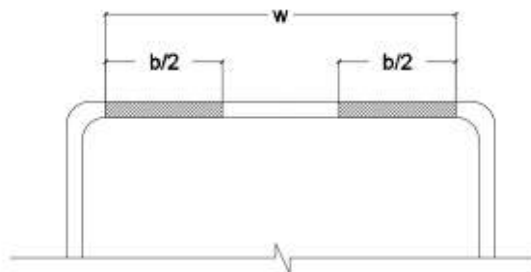
Esfuerzo crítico de Euler

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_{cre} = \frac{\pi^2 2043000 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 \times 196 \text{ cm}}{4.19 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_{cre} = 9\,221.33 \text{ kg/cm}^2$$

B en compresión:



$$b = \rho w$$

$$b = 1 * 9 \text{ cm}$$

$$b = 9 \text{ cm}$$

$$w = B - (2r + t)$$



$$w = 9 \text{ cm}$$

$$B = 10 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,225.88 \text{ kg/cm}^2}{9\,665.54 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.483 \quad \therefore \quad \rho = 1$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,225.88 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

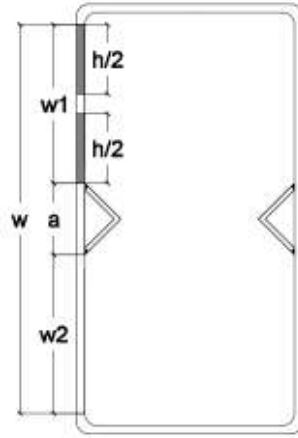
k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{9.00}\right)^2$$

$$F_{cr1} = 9\,665.54 \text{ kg/cm}^2$$

H en compresión:



$$h = \rho w_1$$

$$h = 1.00 * 5.44 \text{ cm}$$

$$h = 5.44 \text{ cm}$$

$$w_1 = (w - a)/2$$

$$w_1 = 5.44 \text{ cm}$$

$$w = H - (2r + t)$$

$$w = 14.00 \text{ cm}$$

$$H = 15 \text{ cm}$$

$$R = 1.5t$$

$$R = 0.30 \text{ cm}$$

$$r = R + \frac{t}{2}$$

$$r = 0.40 \text{ cm}$$

$$\rho = 1 \quad \text{cuando} \quad \lambda \leq 0.673$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{Fn}{F_{crl}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2\,255.88 \text{ kg/cm}^2}{26\,412.95 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$\lambda = 0.292 \therefore \rho = 1$$

Donde:

Esfuerzo a compresión nominal

$$Fn = 2\,255.88 \text{ kg/cm}^2$$

Esfuerzo a compresión en placa

k=10.6 para secciones rellenas según Bradford et al. (2002).

$$F_{crl} = \frac{k\pi^2 E}{12 * (1 - u^2)} * \left(\frac{t}{w}\right)^2$$

$$F_{crl} = \frac{10.6\pi^2 2\,043\,000 \text{ kg/cm}^2}{12 * (1 - 0.30^2)} * \left(\frac{0.2}{5.44}\right)^2$$

$$F_{crl} = 26\,412.95 \text{ kg/cm}^2$$

Área efectiva

$$Ae = As - Ane$$

$$Ae = 11.22 \text{ cm}^2 - 0.00 \text{ cm}^2$$

$$Ae = 11.22 \text{ cm}^2$$

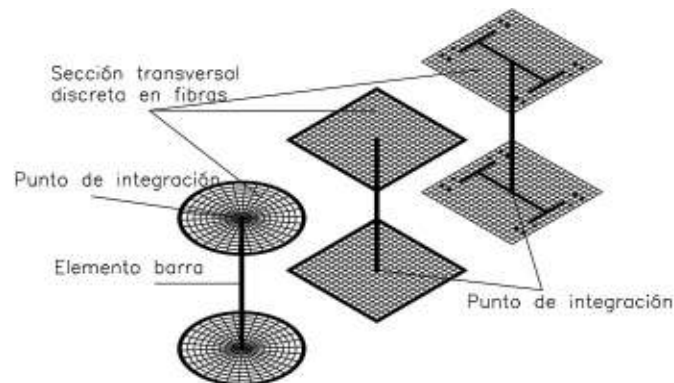
### 3.7. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO A COMPRESIÓN AXIAL MEDIANTE EL SOFTWARE “COLUMNAS RCFT CON ATIESADORES INTERMEDIOS” BASADO EN EL MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FIBRAS

#### 3.7.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

El análisis de elementos fibras nos permite calcular la respuesta de elementos compuestos con una mayor precisión. Este método integra el análisis convencional de elementos lineales (barra) y el análisis de las secciones transversales (Perea & León, 2010).

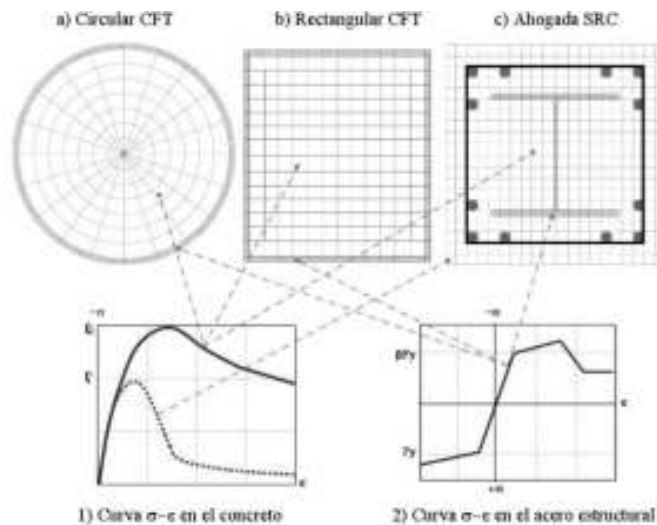
La técnica numérica en el análisis de elementos fibra supone que los extremos de un elemento estructural están acoplados a una sección transversal, la cual a su vez se discretiza en un arreglo de fibras, cada una con propiedades que pueden diferir de las demás fibras. Las respuestas esfuerzo-deformación ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) asociadas a cada una de las fibras que se integran para obtener las respuestas de cada sección, y a partir de éstas obtener la respuesta del elemento barra. Una discretización mayor del elemento barra en varios segmentos aumentará el número de puntos de integración, y una mayor densidad de fibras en la sección aumentará el número de elementos a integrar.

**FIGURA 47** MIEMBROS COMPUESTOS CFT Y SRC MODELADOS CON ELEMENTOS FIBRA



FUENTE: Perea, León. Análisis y diseño de columnas compuestas de acero estructural y acero reforzado. Madrid, 2010.

**FIGURA 48** ARREGLOS DE FIBRAS EN SECCIONES COMPUESTAS SRC Y CFT Y CURVAS ESFUERZO DEFORMACIÓN ASUMIDAS EN SECCIONES FIBRAS

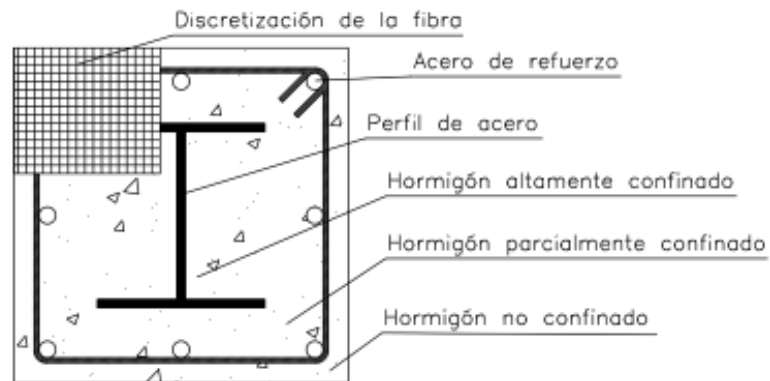


FUENTE: Perea, León. Análisis y diseño de columnas compuestas de acero estructural y acero reforzado. Madrid, 2010.

### 3.7.2. ANÁLISIS NUMÉRICO POR EL METODO DE FIBRAS

Para la determinación de la resistencia a compresión de la columna compuesta se analiza cada fibra o elemento diferencial de la sección transversal de la columna relativos al modelo constitutivo de los materiales, estos son hormigón no confinado, hormigón parcialmente confinado y altamente confinado, acero de refuerzo y acero estructural. (Quishpe, 2016)

**FIGURA 49** IDEALIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE COLUMNAS COMPUESTAS SRC CONSIDERANDO LA ZONA CONFINADA

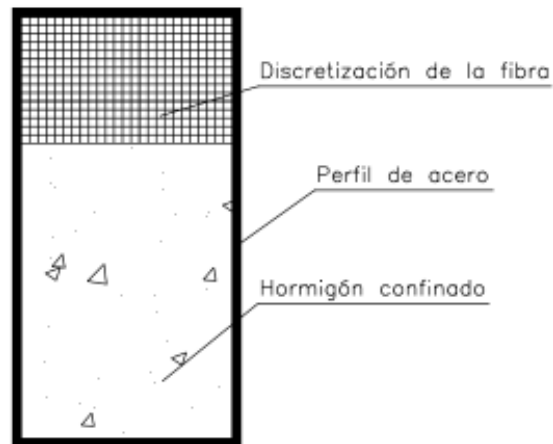


FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero "I", sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

Para el análisis numérico por el método de la fibra y la determinación de la resistencia de las columnas mixtas Weng, 2007 asume que en toda la sección transversal el hormigón trabaja como no confinado y confinado.

Para columnas RCFT se considera al hormigón como confinado.

**FIGURA 50** IDEALIZACIÓN DE LAS FIBRAS DE COLUMNAS COMPUESTAS CFT CONSIDERANDO LA ZONA CONFINADA



FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero "I", sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

El software "Columnas RCFT con atiesadores intermedios" es una continuación del software "Programa para Análisis a Flexocompresión Biaxial de Columnas Rectangulares SRC" desarrollado por el ingeniero Edison Quishpe en la investigación Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero "I", sujetas a flexocompresión biaxial.

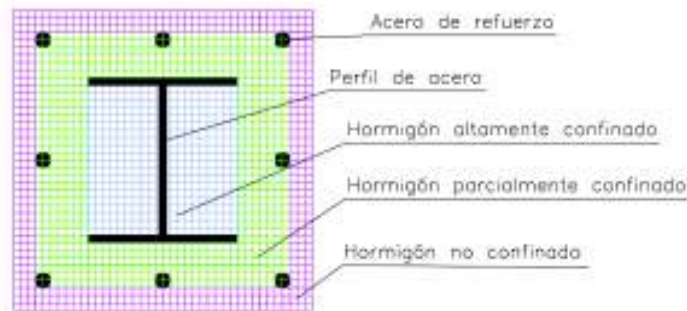
Para esta investigación se usará únicamente la resistencia a compresión axial de la columna RCFT.

### 3.7.3. DISCRETIZACIÓN PARA ELEMENTOS DE HORMIGÓN NO CONFINADOS Y CONFINADOS DE COLUMNAS RECTANGULARES

Se subdivide a las secciones en pequeñas fibras o elementos rectangulares diferenciales, en donde, depende del tipo de sección compuesta se determinará las zonas de confinamiento del hormigón, perfil del acero y acero de refuerzo.

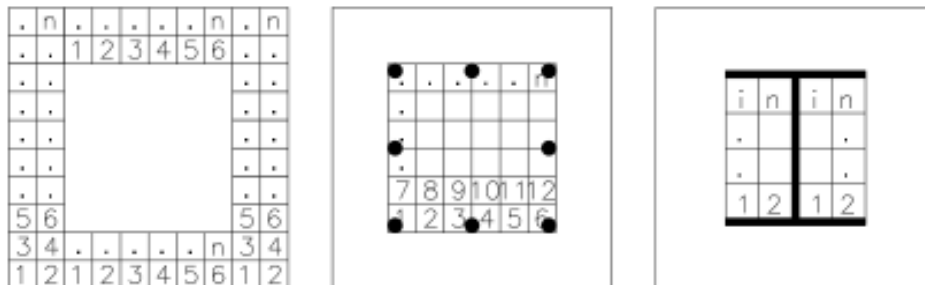
Para las columnas compuesta SRC se considera hormigón confinado aquel que se encuentra dentro de los estribos o espirales, mientras que el que se encuentra afuera se considerará hormigón no confinado. (Quishpe, 2016)

**FIGURA 51** DISCRETIZACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL RECTANGULAR PARA COLUMNAS SRC.



FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero "I", sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

**FIGURA 52** DISCRETIZACIÓN DE LA ZONA NO CONFINADA, PARCIALMENTE CONFINADA Y ALTAMENTE CONFINADA EN COLUMNAS RECTANGULARES.

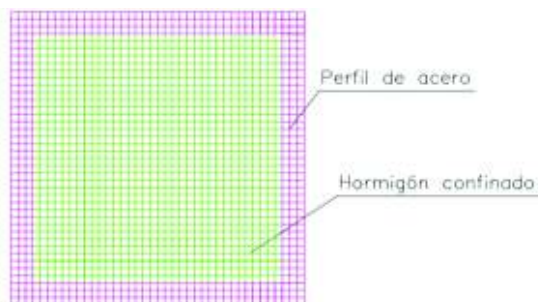


FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero "I", sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

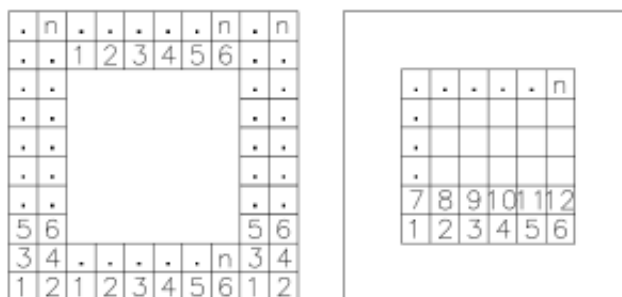
**FIGURA 53** DISCRETIZACIÓN DEL PERFIL “I” DE ACERO ESTRUCTURAL.

FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero “I”, sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

Para columnas RCFT únicamente se realiza la consideración de hormigón confinado para la división de la sección en fibras.

**FIGURA 54** DISCRETIZACIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL RECTANGULAR PARA COLUMNAS RCFT.

FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero “I”, sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

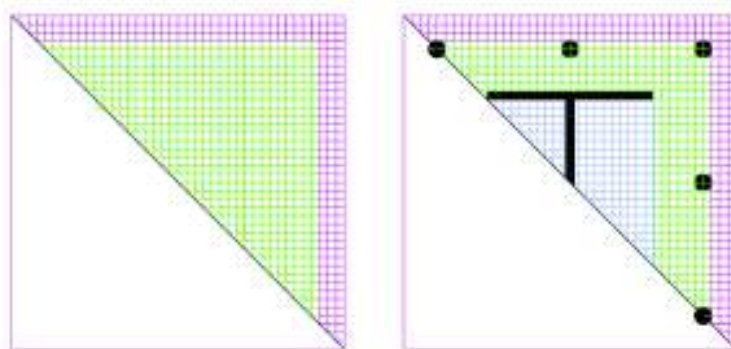
**FIGURA 55** DISCRETIZACIÓN DEL PERFIL DE ACERO Y DE LA ZONA CONFINADA DE HORMIGÓN.

FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero “I”, sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.



El programa realizado en Matlab calcula el diagrama de interacción a carga axial y momento flector a un determinado ángulo de esviaje del eje neutro. Al ingresar un grupo de ángulos en un determinado rango de 0 a 360 grados se obtiene una familia de diagramas de interacción para las columnas SRC y RCFT.

**FIGURA 56** REPRESENTACIÓN DE DISCRETIZACIÓN DE LA ZONA EN COMPRESIÓN DE LA COLUMNA RECTANGULAR EN EL MODELO MATLAB PARA UN ÁNGULO DE ESVAJE DE 45°



FUENTE: Quishpe, E. Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con Perfil de Acero "I", sujetas a flexocompresión biaxial. Quito, 2016.

Para nuestra investigación se usará un ángulo de esviaje de 0°.

#### **3.7.4. DESCRIPCIÓN PROGRAMA MATLAB PARA COLUMNAS RCFT CON ATIESADORES INTERMEDIOS, MÉTODO DE ANÁLISIS DE ELEMENTOS FIBRAS**

La programación fue realizada por el ingeniero Edison Quishpe, este programa es capaz de calcular la resistencia a flexocompresión de las columnas RCFT, las propiedades del miembro compuesto rectangular con y sin atiesadores intermedios, la resistencia a compresión axial de la columna, y de graficar su diagrama de interacción para un ángulo de esviaje. Este programa utiliza el método de análisis de elementos de fibras.

Las dimensiones de la columna, condiciones de apoyo, y propiedades de los materiales se ingresan en la pantalla de ingreso de datos como se muestra en la figura

46, debido a que los atiesadores del programa están considerados como rectangulares se necesita realizar una simplificación de los perfiles L utilizados como atiesadores en esta investigación.

Finalmente se obtiene la fuerza nominal del miembro, dando clic en calcular, se despliega los resultados de sus propiedades y la resistencia a compresión.

**FIGURA 57** PANTALLA DE INGRESO DE DATOS PROGRAMA CFT\_RECT

**PANTALLA DE INGRESO DE DATOS TUBOS DE ACERO RELLENOS RCFT Y CCFT**

RECTANGULARES [RCFT] = [1]  
CIRCULARES [CCFT] = [2]

**SECCIÓN RECTANGULAR**

**Geometría**

b [mm]= 100 Base de la sección rectangular  
ht [mm]= 150 Altura de la sección rectangular  
tf [mm]= 2 Espesor del ala  
tw [mm]= 2 Espesor del alma

**SECCIÓN CIRCULAR**

**Geometría**

Ø [mm]= Diámetro Exterior  
t [mm]= Espesor de pared tubular  
N\_dia\_rad [n]= Número de Divisiones de Radio de Círculo  
N\_dia\_ang [n]= Número de Divisiones Angulares [0-360°]

**ATIESADORES PARA LA C. RECTANGULAR**

Dirección x-x Dirección y-y

ax [mm]= 0 Espesor en x-x ay [mm]= 0 Espesor en y-y  
ax [mm]= 0 Ancho en x-x ay [mm]= 0 Ancho en y-y  
max [n]= 0 No Aties. en x may [n]= 0 No. Aties. en y

**LONGITUD DE LA COLUMNA**

L [m]= 1.56 Longitud de la Columna  
Kx = 1 Coeficiente de longitud efectiva x  
Ky = 1 Coeficiente de longitud efectiva y

**HORMIGÓN**

**Materials**

Fc [Kg/cm²]= 254 Resistencia especificada del hormigón  
Ec [Kg/cm²]= 206400 Módulo de Elasticidad del hormigón  
eca [cm/cm]= 0.003 Deformación unitaria para fc [0.003]

**ACERO ESTRUCTURAL**

**Materials**

fy [Kg/cm²]= 2570 Esfuerzo de fluencia del acero estructural  
Es [Kg/cm²]= 204300 Módulo de elasticidad del acero estructural

Activar Figura Salir

RESET

Referencia: Norma AISI 360-15

FUENTE: Quishpe,E, CFT\_RECT. Quito, 2016.

### 3.7.5. RESULTADOS CÁLCULO TEÓRICO USANDO EL MÉTODO FIBRAS

#### RESULTADOS DE LA COLUMNA 100X200 SIN ATIESADOR

FIGURA 58 RESULTADOS COLUMNA 100X200X2 SIN ATIESADOR

**propiedadesCFTrec**  
CALCULAR

**PROPIEDADES DE LA SECCIÓN RECTANGULAR**

$A_g(\text{cm}^2) = 200$  Área total de la sección  
 $A_s(\text{cm}^2) = 5.53299$  Área de acero estructural  
 $A_c(\text{cm}^2) = 190.467$  Área de hormigón  
 $I_{sx}(\text{cm}^4) = 642.938$  Momento de inercia del acero en x  
 $I_{sy}(\text{cm}^4) = 721.188$  Momento de inercia del acero en y  
 $I_{cx}(\text{cm}^4) = 8823.63$  Momento de inercia del hormigón en x  
 $I_{cy}(\text{cm}^4) = 1445.97$  Momento de inercia del hormigón en y  
 $Z_{sx}(\text{cm}^3) = 64.3038$  Módulo Plástico del acero en x  
 $Z_{sy}(\text{cm}^3) = 44.3185$  Módulo Plástico del acero en y  
 $Z_{cx}(\text{cm}^3) = 614.656$  Módulo Plástico del hormigón en x  
 $Z_{cy}(\text{cm}^3) = 301.656$  Módulo Plástico del hormigón en y  
 $C_3 = 0.582955$  Coeficiente para columna RCFT  $\leq 0.9$  [2-13]  
 $E_{\text{eff}_x} [T\text{-m}^2] = 62.6735$  Rigidez Efectiva a Flexión en x [2-12]  
 $E_{\text{eff}_y} [T\text{-m}^2] = 204.741$  Rigidez Efectiva a Flexión en y [2-12]

**RESISTENCIA DE LA COLUMNA**

$P_{n_x} [T] = 161.831$  Carga Crítica de Pandeo Elástico en x [2-5]  
 $P_{n_y} [T] = 526.608$  Carga Crítica de Pandeo Elástico en y [2-5]  
 $P_{n_x} [T] = 45.5328$  Carga axial nominal con efecto flexional en x [2-2 y 3]  
 $P_{n_y} [T] = 49.9991$  Carga axial nominal con efecto flexional en y [2-2 y 3]  
 $\omega_{\text{req}} = 2$  (ASD),  $\phi = 0.75$  (LRFD)  
 $P_{u_x} [T] = 34.1496$  Carga Axial de Diseño en x [Sección 18]  
 $P_{u_y} [T] = 37.4993$  Carga Axial de Diseño en y [Sección 18]  
 $P_{a_x} [T] = 22.7664$  Carga Axial Admisible en x [Sección 18]  
 $P_{a_y} [T] = 24.9955$  Carga Axial Admisible en y [Sección 18]  
 $P_{\text{pl}} [T] = 65.2403$  Fuerza Axial de Plasticación [2-4]

**TIPO DE SECCIÓN**  
Miembro, esbelto

**CONDICIONES DE PANDEO LOCAL AISC 360-16**

Sección Rectangular RCFT		Sección Circular CCFT	
lambdas:	98 [b1] Tabla	lambdas:	0c/1 Tabla [11-19]
lambdas:	85.2502 3.00(E <sub>eff</sub> /y) Factor de esbeltez AISC 360-16 Tabla [11-1a]	lambdas:	0.19'E <sub>eff</sub> /y Tabla [11-1b]
lambdas:	64.2218 2.26(E <sub>eff</sub> /y) Factor de Esbeltez AISC 360-16 Tabla [11-1a]	lambdas:	0.15'E <sub>eff</sub> /y Tabla [11-1b]
bed(cm):	18.2365 Ancho efectivo del perfil en x		
bey(cm):	13.696 Ancho efectivo del perfil en y		

OK

FUENTE: Quishpe, E. CFT\_RECT. Quito, 2016.

#### RESULTADOS DE LA COLUMNA 120X160 SIN ATIESADOR

FIGURA 59 RESULTADOS COLUMNA 120X160X2 SIN ATIESADOR

**propiedadesCFTrec**  
CALCULAR

**PROPIEDADES DE LA SECCIÓN RECTANGULAR**

$A_g(\text{cm}^2) = 152$  Área total de la sección  
 $A_s(\text{cm}^2) = 9.63445$  Área de acero estructural  
 $A_c(\text{cm}^2) = 182.366$  Área de hormigón  
 $I_{sx}(\text{cm}^4) = 426.131$  Momento de inercia del acero en x  
 $I_{sy}(\text{cm}^4) = 274.876$  Momento de inercia del acero en y  
 $I_{cx}(\text{cm}^4) = 3689.87$  Momento de inercia del hormigón en x  
 $I_{cy}(\text{cm}^4) = 2025.15$  Momento de inercia del hormigón en y  
 $Z_{sx}(\text{cm}^3) = 63.2994$  Módulo Plástico del acero en x  
 $Z_{sy}(\text{cm}^3) = 45.8068$  Módulo Plástico del acero en y  
 $Z_{cx}(\text{cm}^3) = 470.488$  Módulo Plástico del hormigón en x  
 $Z_{cy}(\text{cm}^3) = 349.856$  Módulo Plástico del hormigón en y  
 $C_3 = 0.800638$  Coeficiente para columna RCFT  $\leq 0.9$  [2-13]  
 $E_{\text{eff}_x} [T\text{-m}^2] = 81.1767$  Rigidez Efectiva a Flexión en x [2-12]  
 $E_{\text{eff}_y} [T\text{-m}^2] = 132.327$  Rigidez Efectiva a Flexión en y [2-12]

**RESISTENCIA DE LA COLUMNA**

$P_{n_x} [T] = 208.588$  Carga Crítica de Pandeo Elástico en x [2-5]  
 $P_{n_y} [T] = 339.966$  Carga Crítica de Pandeo Elástico en y [2-5]  
 $P_{n_x} [T] = 63.7888$  Carga axial nominal con efecto flexional en x [2-2 y 3]  
 $P_{n_y} [T] = 56.3945$  Carga axial nominal con efecto flexional en y [2-2 y 3]  
 $\omega_{\text{req}} = 2$  (ASD),  $\phi = 0.75$  (LRFD)  
 $P_{u_x} [T] = 40.3416$  Carga Axial de Diseño en x [Sección 18]  
 $P_{u_y} [T] = 42.2687$  Carga Axial de Diseño en y [Sección 18]  
 $P_{a_x} [T] = 26.8944$  Carga Axial Admisible en x [Sección 18]  
 $P_{a_y} [T] = 28.1925$  Carga Axial Admisible en y [Sección 18]  
 $P_{\text{pl}} [T] = 63.7479$  Fuerza Axial de Plasticación [2-4]

**TIPO DE SECCIÓN**  
Miembro, no compacto

**CONDICIONES DE PANDEO LOCAL AISC 360-16**

Sección Rectangular RCFT		Sección Circular CCFT	
lambdas:	70 [b1] Tabla	lambdas:	0c/1 Tabla [11-19]
lambdas:	85.2502 3.00(E <sub>eff</sub> /y) Factor de esbeltez AISC 360-16 Tabla [11-1a]	lambdas:	0.19'E <sub>eff</sub> /y Tabla [11-1b]
lambdas:	64.2218 2.26(E <sub>eff</sub> /y) Factor de Esbeltez AISC 360-16 Tabla [11-1a]	lambdas:	0.15'E <sub>eff</sub> /y Tabla [11-1b]
bed(cm):	11.3421 Ancho efectivo del perfil en x		
bey(cm):	12.7441 Ancho efectivo del perfil en y		

OK

FUENTE: Quishpe, E. CFT\_RECT. Quito, 2016

## RESULTADOS COLUMNA 100X150 SIN ATIESADOR

FIGURA 60 RESULTADOS COLUMNA 100X150X2 SIN ATIESADOR



FUENTE: Quishpe,E. CFT\_RECT. Quito, 2016.

## RESULTADOS DE LA COLUMNA 100X200 CON ATIESADOR

FIGURA 61 RESULTADOS COLUMNA 100X200X2 CON ATIESADOR



FUENTE: Quishpe,E. CFT\_RECT. Quito, 2016.



## RESULTADOS DE LA COLUMNA 120X160 CON ATIESADOR

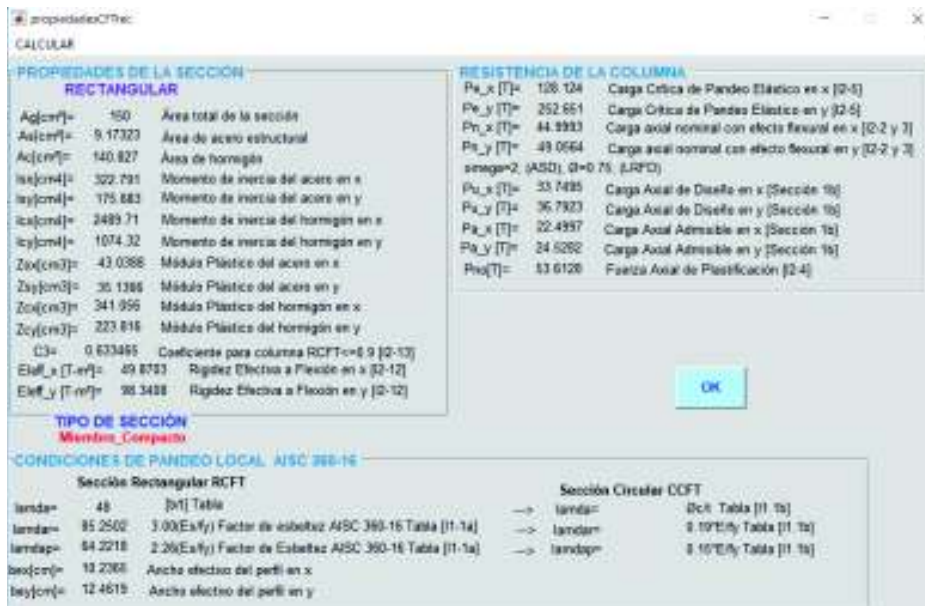
FIGURA 62 RESULTADOS COLUMNA 120X160X2 CON ATIESADOR



FUENTE: Quishpe,E. CFT\_RECT. Quito, 2016.

## RESULTADOS DE LA COLUMNA 100X150 CON ATIESADOR

FIGURA 63 RESULTADOS COLUMNA 100X150X2 CON ATIESADOR



FUENTE: Quishpe,E. CFT\_RECT. Quito, 2016.

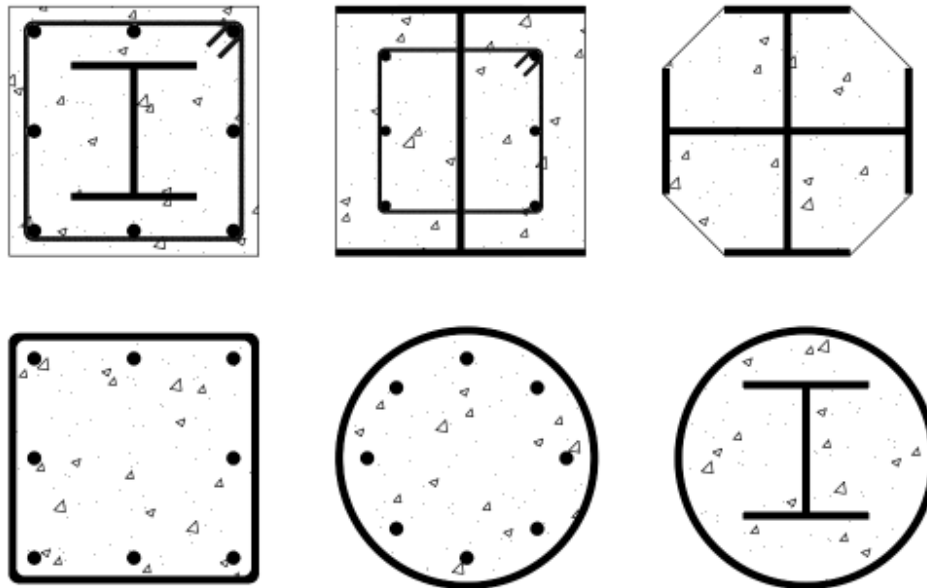
### 3.8. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE COLUMNAS COMPUESTAS SEGÚN EL EUROCÓDIGO 4

#### 3.8.1. INTRODUCCIÓN

Los Eurocódigos estructurales son un conjunto de normas europeas encargadas por la Comisión Europea al Comité Europeo de Normalización, en las que se recogen los métodos comunes en todos los Estados Miembro de la Unión Europea para el cálculo y dimensionado de estructuras (Hernández , 2012).

El Eurocódigo 4 es el documento encargado del cálculo de estructuras mixtas de acero y de hormigón, tanto en condiciones normales como frente al fuego (Eurocode 4, 2004).

**FIGURA 64** TIPOS DE SECCIONES TRANSVERSALES CONTEMPLADAS EN EL EUROCÓDIGO 4.



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### 3.8.2. MÉTODOS DE CÁLCULO

El Eurocódigo 4 proporciona dos métodos para el cálculo de resistencia de columnas compuestas (Eurocode 4, 2004).

El Método General toma en cuenta efectos de segundo orden de manera explícita. Es aplicable a columnas de sección variable en altura, así como aquellas cuya sección transversal sería asimétrica.

Método Simplificado utiliza las Curvas Europeas de Pandeo para columnas sometidas a carga axial en el centro, y utiliza un método de amplificación de momentos para considerar los efectos de segundo orden en el caso de columnas sometidas a flexocompresión.

Las suposiciones que consideran los dos métodos son:

- 1) La completa interacción acero-hormigón hasta llegar a la falla.
- 2) Las imperfecciones geométricas y tensiones residuales se toman en cuenta en el cálculo.
- 3) Las secciones planas permanecen así mientras ocurre la deformación.

### 3.8.3. LIMITACIONES ADOPTADAS EN EL MÉTODO SIMPLIFICADO

Para la aplicación del método simplificado, las columnas compuestas deben cumplir las siguientes restricciones:

- a) La columna deberá tener doble simetría y sección uniforme en toda su longitud.
- b) La relación entre dimensiones de la sección deberá cumplir:

$$1.00 \leq \frac{D}{d} \leq 5.00 \quad (3.46)$$

Donde:

D es la máxima dimensión de la sección (b, h).

d es la mínima dimensión de la sección (b, h).

c) Propiedades mecánicas de los materiales

Límite elástico del acero  $f_y$ :  $235 \text{ MPa} \leq f_y \leq 460 \text{ MPa}$

Resistencia a compresión del hormigón:  $25 \text{ MPa} \leq f'_c \leq 50 \text{ MPa}$

d) La contribución del acero se mide por el factor  $\delta$  y debe ser:

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}} \quad (3.47)$$

Dónde:

$N_{plRd}$  = Resistencia plástica de cálculo de la sección

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd} \quad (3.48)$$

$A_c$  = Área de la sección de concreto

$A_a$  = Área de la sección de acero

$f_{yd}$  = Límite elástico del cálculo de acero

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$\gamma_s = 1.00$  (coeficiente de seguridad del acero)

$f_{cd}$  = resistencia de cálculo del hormigón

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$f_{ck}$  = resistencia del hormigón

$\gamma_c = 1.50$  Coeficiente de seguridad del hormigón



$\alpha$  = Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón y el factor de forma de la probeta. Para miembros compuestos rellenos  $\alpha = 1.00$ , en cualquier otro caso  $\alpha = 0.85$ .

Si  $\delta < 0.2$ , el pilar se diseña como si fuera de hormigón siguiendo el Eurocódigo 2 y si  $\delta > 0.9$  la acción del hormigón se desprecia y se calcula como pilar metálico según el Eurocódigo 3.

e) La máxima esbeltez relativa está limitada a 2

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{plRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00 \quad (3.49)$$

Donde:

$\lambda_{rel}$  = Esbeltez relativa

$N_{plRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$

$N_{cr}$  = Axial crítico elástico para el modo de pandeo considerado.

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2} \quad (3.50)$$

$(EI)_{eff}$  = Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c \quad (3.51)$$

L= longitud de pandeo de la columna en el eje considerado.

Ia= Inercia de la sección transversal del acero

Ic= Inercia de la sección transversal del concreto (sin fisurar)

Ea= Módulo de elasticidad del acero estructural

Ecm= Módulo secante del hormigón

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa}) \quad (3.52)$$

$k_e = 0.6$ , coeficiente de corrección

f) Pandeo Local del perfil tubular de acero

Para garantizar que no ocurra el pandeo local en el perfil tubular metálico y que toda la sección alcance su estado límite último existe la siguiente restricción:

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (3.53)$$

D = dimensión mayor de la sección (b, h)

t = espesor del tubo de acero

$f_y$  = límite elástico del acero

Se toma en cuenta que los elementos que conforman el miembro compuesto solo pueden pandearse hacia el exterior, por lo que aprovecha de mejor manera la sección de acero, por lo tanto, la sección de acero se comporta como clase 2, es decir, los esfuerzos internos se obtienen considerando un análisis estructural elástico y se compara con las resistencias plásticas de las secciones que tienen capacidad rotacional limitada y por lo que no es admisible el análisis estructural plástico (Hernández , 2012).

#### **3.8.4. PANDEO LOCAL DEL PERFIL DE ACERO**

Mediante el uso de la fórmula 3.53, se realizó la verificación a pandeo local de las secciones compuestas según el Eurocódigo 4. Para D, se considerará el ancho plano entre esquinas y atiesadores intermedios.

**TABLA 24** VERIFICACIÓN DE LAS SECCIONES A PANDEO LOCAL SEGÚN EL EUROCÓDIGO 4

Descripción	H(cm)	B(cm)	a(cm)	b(cm)	t(cm)	$\lambda_a$	$\lambda_b$	$\lambda_{max}$	Clasificación
Columna 100x200	20.00	10.00	19.00	9.00	0.20	95.00	45.00	95.00	Falla por pandeo local
Columna 100x200 atiesada	20.00	10.00	7.95	9.00	0.20	39.75	45.00	45.00	Cumple relación D/t
Columna 120x160	16.00	12.00	15.00	11.00	0.20	75.00	55.00	75.00	Falla por pandeo local
Columna 120x160 atiesada	16.00	12.00	5.95	11.00	0.20	29.75	55.00	55.00	Falla por pandeo local
Columna 100x150	15.00	10.00	14.00	9.00	0.20	70.00	45.00	70.00	Falla por pandeo local
Columna 100x150 atiesada	15.00	10.00	5.45	9.00	0.20	27.25	45.00	45.00	Cumple relación D/t

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**3.8.5. RESISTENCIA DE ELEMENTOS SOMETIDOS A CARGA AXIAL**

La resistencia plástica de la sección transversal de una columna compuesta se obtiene mediante la suma de la capacidad resistente de sus componentes:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd} \quad (3.54)$$

$A_c$  = Área de la sección de concreto

$A_a$  = Área de la sección de acero

$f_{yd}$  = Límite elástico del cálculo de acero

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$\gamma_s = 1.00$  (coeficiente de seguridad del acero)

$f_{cd}$  = resistencia de cálculo del hormigón

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$f_{ck}$  = resistencia del hormigón

$\gamma_c = 1.50$  Coeficiente de seguridad del hormigón

$\alpha$  = Factor que tiene en cuenta el cansancio del hormigón y el factor de forma de la probeta. Para miembros compuestos rellenos  $\alpha = 1.00$ , en cualquier otro caso  $\alpha = 0.85$ .

En casos de que los elementos por su longitud sean afectados por los momentos de segundo orden, la comprobación se hace según las Curvas de Pandeo Europeas.

$$N_{Ed} \leq X \cdot N_{plRd} \quad (3.55)$$

Dónde:

$N_{Ed}$  = Resistencia axial de cálculo

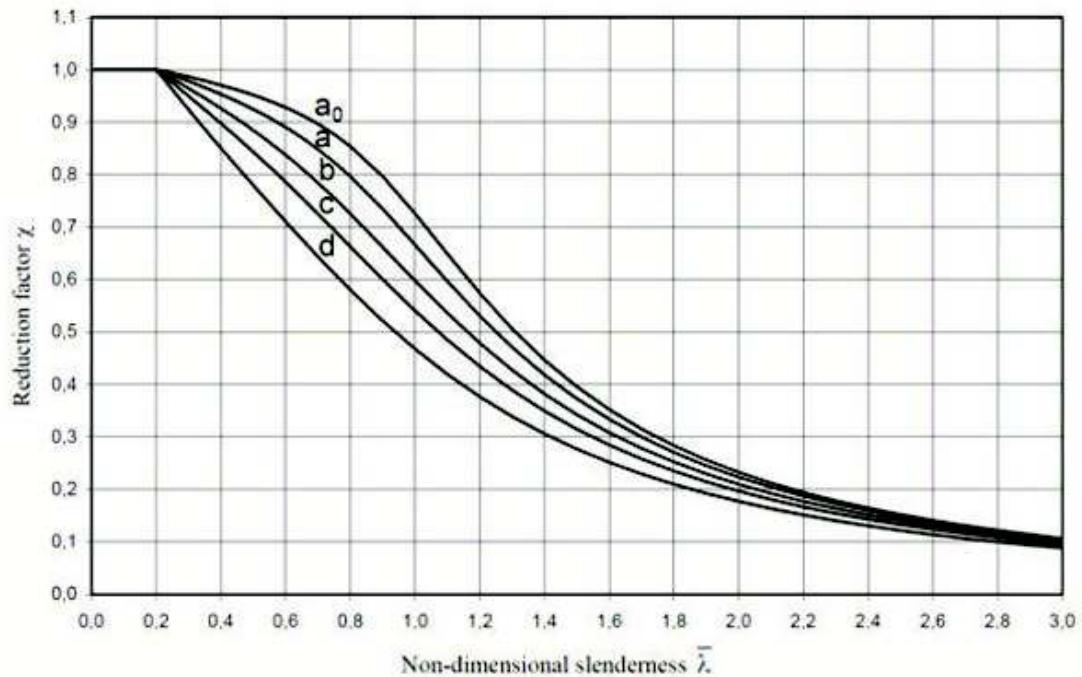
$X$  = Coeficiente de reducción para el modo de pandeo pertinente y depende de la esbeltez relativa y del tipo de columna.

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}} \quad (3.56)$$

Siendo:

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$\alpha$  = Factor de imperfecciones iniciales, es 0.21 para la curva "a", que es la curva por utilizar para un miembro compuesto rellenos.

**FIGURA 65** CURVAS EUROPEAS DE PANDEO

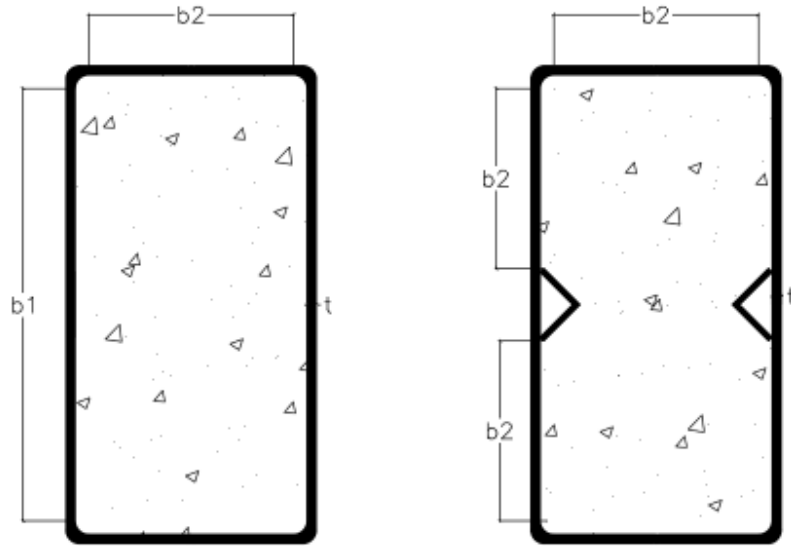
FUENTE: EUROCODE 4, 2004.

Este código no considera la disminución de la capacidad del hormigón debido al factor de forma de la probeta y cansancio del hormigón, pues supone que el perfil de acero compensa dichas reducciones, obteniendo una resistencia seccional resultado de la suma de las capacidades de cada material (Hernández , 2012).

### 3.8.6. MÉTODO DEL ANCHO EFECTIVO

Para determinar el área efectiva de la sección de acero se procedió a usar el procedimiento descrito por el Eurocódigo 4, usando como el valor de 10.6 propuesto por Bradford et al. para el coeficiente de pandeo de placas.

**FIGURA 66** CONSIDERACIÓN DE LOS ANCHOS PLANOS EN EL METODO DE ANCHO EFECTIVO



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

$$b_{eff} = \frac{b}{\lambda_b} * \left( 1 - \frac{0.22}{\lambda_b} \right) \quad (3.57)$$

$$\lambda_b = \frac{1.052 * \left( \frac{b}{t} \right) * \sqrt{\frac{F_y}{E}}}{\sqrt{K}} > 0.673 \quad (3.58)$$

Dónde:

$k_\sigma = 10.6$  coeficiente propuesto por Bradford et al.

$f_y$  = Límite elástico del acero

$E$  = Módulo de elasticidad del acero estructural

$b$  = Longitud plana del elemento

$t$  = Espesor del elemento

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 DE HORMIGÓN RELLENA SIN ATIESADORES INTERMEDIOS SEGÚN EUROCÓDIGO 4.**

**TABLA 25** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	9.61	cm <sup>2</sup>
Ac=	188.16	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	629.47	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	218.14	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	6023.63	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1445.07	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA**

Base plana (b) = 9 cm

$$\lambda_b = 0.51$$

$$b_{eff} = 9.00 \text{ cm}$$

Altura plana (h) = 19 cm

$$\lambda_h = 1.08$$

$$h_{eff} = 14.01 \text{ cm}$$

Área de la sección (A) = 9.61 cm

## CAPACIDAD A COMPRESIÓN

$$N_{Ed} = X \cdot N_{plRd}$$

$$N_{Ed} = 0.88 * 56.18 \text{ Ton}$$

$$N_{Ed} = \mathbf{49.28 \text{ Ton}}$$

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}}$$

$$X = \frac{1}{0.75 + \sqrt{(0.75^2 - 0.63^2)}}$$

$$X = 0.88$$

$$\phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$$\phi = 0.5 * [1 + 0.21 * (0.63 - 0.2) + 0.63^2]$$

$$\phi = 0.75$$

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}}$$

$$\delta = \frac{9.61 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2}{56179.29 \text{ kg}}$$

$$\delta = 0.43$$

Dónde:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{plRd} = 9.61 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 1.00 * 188.16 \text{ cm}^2 * 169.33 \text{ kg/cm}^2$$



$$N_{plRd} = 56179.29 \text{ kg}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = \frac{2530.44 \text{ kg/cm}^2}{1}$$

$$f_{yd} = 2530.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1.00$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{254 \text{ kg/cm}^2}{1.5}$$

$$f_{cd} = 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1.50$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{plRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{72.11 \text{ Ton}}{180.21 \text{ Ton}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = 0.63 \leq 2.00$$

$$N_{plRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$$

$$N_{pIRk} = 9.61 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 188.16 \text{ cm}^2 * 254.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{pIRk} = 72.11 \text{ Ton}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{701\,429\,345.60 \text{ kg} * \text{cm}^2}{(196.00 \text{ cm})^2}$$

$$N_{cr} = 180.21 \text{ Ton}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 2043000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 218.14 \text{ cm}^4 + 0.6 * 294990.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1445.07 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 701\,429\,345.60 \text{ kg} * \text{cm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa})$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{24.91}{10}\right)^{0.3}$$

$$E_{cm} = 294990.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_e = 0.6$$

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{19}{0.2} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{248.15}}$$

$$95 \leq 50.60$$

No pasa el chequeo de pandeo local

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 DE HORMIGÓN RELLENA SIN ATIESADORES INTERMEDIOS SEGÚN EUROCÓDIGO 4.**

**TABLA 26** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	9.78	cm <sup>2</sup>
Ac=	180.96	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	417.41	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	269.87	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	3669.87	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	2029.16	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA**

Base plana (b) = 11 cm

$$\lambda_b = 0.63$$

$$b_{eff} = 11.40 \text{ cm}$$

Altura plana (h) = 15 cm

$$\lambda_h = 0.85$$

$$h_{eff} = 13.05 \text{ cm}$$

Área de la sección (A) = 9.78 cm<sup>2</sup>

## CAPACIDAD A COMPRESIÓN

$$N_{Ed} = X \cdot N_{plRd}$$

$$N_{Ed} = 0.91 * 55.39 \text{ Ton}$$

$$N_{Ed} = \mathbf{50.30 \text{ Ton}}$$

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}}$$

$$X = \frac{1}{0.69 + \sqrt{(0.69^2 - 0.55^2)}}$$

$$X = 0.91$$

$$\phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$$\phi = 0.5 * [1 + 0.21 * (0.55 - 0.2) + 0.55^2]$$

$$\phi = 0.69$$

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}}$$

$$\delta = \frac{9.78 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2}{55390.26 \text{ kg}}$$

$$\delta = 0.45$$

Dónde:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{plRd} = 9.78 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 1.00 * 180.96 \text{ cm}^2 * 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRd} = 55390.26 \text{ kg}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = \frac{2530.44 \text{ kg/cm}^2}{1}$$

$$f_{yd} = 2530.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1.00$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{254 \text{ kg/cm}^2}{1.5}$$

$$f_{cd} = 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1.50$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{plRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{70.71 \text{ Ton}}{233.92 \text{ Ton}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = 0.55 \leq 2.00$$

$$N_{plRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$$

$$N_{plRk} = 9.78 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 180.96 \text{ cm}^2 * 254.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRk} = 70.71 \text{ Ton}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{910\,494\,406.01 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}{(196.00 \text{ cm})^2}$$

$$N_{cr} = 233.92 \text{ Ton}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 2043000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 269.87 \text{ cm}^4 + 0.6 * 294990.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 2029.16 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 910\,494\,406.01 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa})$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{24.91}{10}\right)^{0.3}$$

$$E_{cm} = 294990.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_e = 0.6$$

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{15}{0.2} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{248.15}}$$

$$75 \leq 50.60$$

No pasa el chequeo de pandeo local

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 DE HORMIGÓN RELLENA SIN ATIESADORES INTERMEDIOS SEGÚN EUROCÓDIGO 4.**

**TABLA 27** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	9.10	cm <sup>2</sup>
Ac=	140.16	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	315.13	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	170.12	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	2489.71	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1076.43	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA**

Base plana (b) = 9.00 cm

$$\lambda_b = 0.51$$

$$b_{eff} = 9.00$$

Altura plana (h) = 14.00 cm

$$\lambda_h = 0.80$$

$$h_{eff} = 12.73 \text{ cm}$$

Área de la sección (A) = 9.10 cm<sup>2</sup>

## CAPACIDAD A COMPRESIÓN

$$N_{Ed} = X \cdot N_{plRd}$$

$$N_{Ed} = 0.87 * 46.76 \text{ Ton}$$

$$\mathbf{N_{Ed} = 40.66 \text{ Ton}}$$

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}}$$

$$X = \frac{1}{0.76 + \sqrt{(0.76^2 - 0.65^2)}}$$

$$X = 0.87$$

$$\phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$$\phi = 0.5 * [1 + 0.21 * (0.65 - 0.2) + 0.65^2]$$

$$\phi = 0.76$$

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}}$$

$$\delta = \frac{9.10 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2}{46760.76 \text{ kg}}$$

$$\delta = 0.49$$

Dónde:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{plRd} = 9.10 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 1.00 * 140.16 \text{ cm}^2 * 169.33 \text{ kg/cm}^2$$



$$N_{plRd} = 46760.76 \text{ kg}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = \frac{2530.44 \text{ kg/cm}^2}{1}$$

$$f_{yd} = 2530.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1.00$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{254 \text{ kg/cm}^2}{1.5}$$

$$f_{cd} = 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1.50$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{plRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{58.63 \text{ Ton}}{138.24 \text{ Ton}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = 0.65 \leq 2.00$$

$$N_{plRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$$

$$N_{plRk} = 9.10 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 140.16 \text{ cm}^2 * 254.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRk} = 58.63 \text{ Ton}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{538\,077\,262.84 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}{(196.00 \text{ cm})^2}$$

$$N_{cr} = 138.24 \text{ Ton}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 2043000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 170.12 \text{ cm}^4 + 0.6 * 294990.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1076.43 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 538\,077\,262.84 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa})$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{24.91}{10}\right)^{0.3}$$

$$E_{cm} = 294990.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_e = 0.6$$

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{14}{0.2} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{248.15}}$$

$$70 \leq 50.60$$

No pasa el chequeo de pandeo local

## DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 DE HORMIGÓN RELLENA CON ATIESADORES INTERMEDIOS SEGÚN EUROCÓDIGO 4.

**TABLA 28** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	13.22	cm <sup>2</sup>
Ac=	178.27	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	630.54	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	245.18	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	6021.68	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1355.70	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA

Base plana (b) = 9 cm

$$\lambda_b = 0.51$$

$$b_{eff} = 9.00 \text{ cm}$$

Altura plana (h) < 9.0cm por el atiesador intermedio

Área de la sección (A) = 13.22 cm

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN

$$N_{Ed} = X \cdot N_{plRd}$$

$$N_{Ed} = 0.87 * 63.64 \text{ Ton}$$

$$N_{Ed} = 55.55 \text{ Ton}$$

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}}$$

$$X = \frac{1}{0.75 + \sqrt{(0.75^2 - 0.64^2)}}$$

$$X = 0.87$$

$$\phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$$\phi = 0.5 * [1 + 0.21 * (0.64 - 0.2) + 0.64^2]$$

$$\phi = 0.75$$

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}}$$

$$\delta = \frac{13.22 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2}{63639.47 \text{ kg}}$$

$$\delta = 0.53$$

Dónde:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{plRd} = 13.22 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 1.00 * 178.27 \text{ cm}^2 * 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRd} = 63639.47 \text{ kg}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = \frac{2530.44 \text{ kg/cm}^2}{1}$$

$$f_{yd} = 2530.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1.00$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{254 \text{ kg/cm}^2}{1.5}$$

$$f_{cd} = 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1.50$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{plRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{78.73 \text{ Ton}}{190.34 \text{ Ton}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = 0.64 \leq 2.00$$

$$N_{plRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$$

$$N_{plRk} = 13.22 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 178.27 \text{ cm}^2 * 254.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRk} = 78.73 \text{ Ton}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{740\,854\,074.34 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}{(196.00 \text{ cm})^2}$$

$$N_{cr} = 190.34 \text{ Ton}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 2043000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 245.18 \text{ cm}^4 + 0.6 * 294990.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1355.70 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 740\,854\,074.34 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa})$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{24.91}{10}\right)^{0.3}$$

$$E_{cm} = 294990.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_e = 0.6$$

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{9}{0.2} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{248.15}}$$

$$45 \leq 50.60$$

Pasa el chequeo de pandeo local

## DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 DE HORMIGÓN RELLENA CON ATIESADORES INTERMEDIOS SEGÚN EUROCÓDIGO 4.

**TABLA 29** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	12.18	cm <sup>2</sup>
Ac=	171.07	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	418.48	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	311.64	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	3667.92	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1893.51	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA

Base plana (b) = 11 cm

$$\lambda_b = 0.63$$

$$b_{eff} = 10.40 \text{ cm}$$

Altura plana (h) < 9.0cm por el atiesador intermedio

Área de la sección (A) = 12.18 cm

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN

$$N_{Ed} = X \cdot N_{plRd}$$

$$N_{Ed} = 0.91 * 59.79 \text{ Ton}$$

$$N_{Ed} = 54.38 \text{ Ton}$$

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}}$$

$$X = \frac{1}{0.69 + \sqrt{(0.69^2 - 0.55^2)}}$$

$$X = 0.91$$

$$\phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$$\phi = 0.5 * [1 + 0.21 * (0.55 - 0.2) + 0.55^2]$$

$$\phi = 0.69$$

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}}$$

$$\delta = \frac{12.18 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2}{59788.61 \text{ kg}}$$

$$\delta = 0.52$$

Dónde:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{plRd} = 12.18 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 1.00 * 171.07 \text{ cm}^2 * 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRd} = 59788.61 \text{ kg}$$



$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = \frac{2530.44 \text{ kg/cm}^2}{1}$$

$$f_{yd} = 2530.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1.00$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{254 \text{ kg/cm}^2}{1.5}$$

$$f_{cd} = 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1.50$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{plRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{74.27 \text{ Ton}}{249.67 \text{ Ton}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = 0.55 \leq 2.00$$

$$N_{plRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$$

$$N_{plRk} = 12.18 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 171.07 \text{ cm}^2 * 254.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRk} = 74.27 \text{ Ton}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{971\,821\,223.03 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}{(196.00 \text{ cm})^2}$$

$$N_{cr} = 249.67 \text{ Ton}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 2043000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 311.64 \text{ cm}^4 + 0.6 * 294990.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1893.51 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 971\,821\,223.03 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa})$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{24.91}{10}\right)^{0.3}$$

$$E_{cm} = 294990.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_e = 0.6$$

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{11}{0.2} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{248.15}}$$

$$55 \leq 50.60$$

No pasa el chequeo de pandeo local

## DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 DE HORMIGÓN RELLENA CON ATIESADORES INTERMEDIOS SEGÚN EUROCÓDIGO 4.

**TABLA 30** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	11.22	cm <sup>2</sup>
Ac=	130.27	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	316.20	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	197.16	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	2487.76	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	987.06	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### CÁLCULO DEL ÁREA EFECTIVA

Base plana (b) = 9.00 cm

$$\lambda_b = 0.51$$

$$b_{eff} = 9.00 \text{ cm}$$

Altura plana (h) < 9.0cm por el atiesador intermedio

Área de la sección (A) = 11.22 cm<sup>2</sup>

### RESISTENCIA A COMPRESIÓN

$$N_{Ed} = X \cdot N_{plRd}$$

$$N_{Ed} = 0.87 * 50.45 \text{ Ton}$$

$$N_{Ed} = 44.02 \text{ Ton}$$

$$X = \frac{1}{\phi + \sqrt{(\phi^2 - \lambda_{rel}^2)}}$$

$$X = \frac{1}{0.75 + \sqrt{(0.75^2 - 0.64^2)}}$$

$$X = 0.87$$

$$\phi = 0.5 * [1 + \alpha * (\lambda_{rel} - 0.2) + \lambda_{rel}^2]$$

$$\phi = 0.5 * [1 + 0.21 * (0.64 - 0.2) + 0.64^2]$$

$$\phi = 0.75$$

$$0.20 \leq \delta \leq 0.90$$

$$\delta = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{N_{plRd}}$$

$$\delta = \frac{11.22 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2}{50450.59 \text{ kg}}$$

$$\delta = 0.49$$

Dónde:

$$N_{plRd} = A_a \cdot f_{yd} + \alpha \cdot A_c \cdot f_{cd}$$

$$N_{plRd} = 11.22 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 1.00 * 130.27 \text{ cm}^2 * 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{plRd} = 50450.59 \text{ kg}$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s}$$

$$f_{yd} = \frac{2530.44 \text{ kg/cm}^2}{1}$$

$$f_{yd} = 2530.44 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_s = 1.00$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{cd} = \frac{254 \text{ kg/cm}^2}{1.5}$$

$$f_{cd} = 169.33 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_c = 1.50$$

$$\alpha = 1.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{N_{pIRk}}{N_{cr}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{61.48 \text{ Ton}}{148.37 \text{ Ton}}} \leq 2.00$$

$$\lambda_{rel} = 0.64 \leq 2.00$$

$$N_{pIRk} = A_a \cdot f_y + A_c \cdot f_{ck}$$

$$N_{pIRk} = 11.22 \text{ cm}^2 * 2530.44 \text{ kg/cm}^2 + 130.27 \text{ cm}^2 * 254.00 \text{ kg/cm}^2$$

$$N_{pIRk} = 61.48 \text{ Ton}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{577\,501\,991.59 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}{(196.00 \text{ cm})^2}$$

$$N_{cr} = 148.37 \text{ Ton}$$

$$(EI)_{eff} = E_a \cdot I_a + k_e \cdot E_{cm} \cdot I_c$$

$$(EI)_{eff} = 2043000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 197.16 \text{ cm}^4 + 0.6 * 294990.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 987.06 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 577\,501\,991.59 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{10}\right)^{0.3} \quad (f_{ck} \text{ en MPa})$$

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{24.91}{10}\right)^{0.3}$$

$$E_{cm} = 294990.70 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_e = 0.6$$

$$\frac{D}{t} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\frac{9}{0.2} \leq 52 \sqrt{\frac{235}{248.15}}$$

$$45 \leq 50.60$$

Pasa el chequeo de pandeo local

### 3.9. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE CAPACIDAD A COMPRESIÓN AXIAL DE COLUMNAS COMPUESTAS SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA SA 5100-6

#### 3.9.1. MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS DE HORMIGÓN

La norma AS5100 considera el pandeo del elemento a través de curvas de pandeo para pilares metálicos de la AS4100, diferenciando unas curvas de otras por la definición de esbeltez. (Standards Australia 5100-6, 2004)

#### 3.9.2. LIMITACIONES DEL MATERIAL

- Límite elástico del acero inferior a 450 MPa.
- Espesor mínimo de la pared del perfil tubular igual a 3 milímetros.
- Hormigón de densidad normal, entre 2100 kg/m<sup>3</sup> y 2800 kg/m<sup>3</sup>.
- La resistencia del hormigón será de 25MPa ≤ f<sub>c</sub> ≤ 65MPa.
- El tamaño máximo del árido a emplear será de 20 milímetros.

#### 3.9.3. PANDEO LOCAL EN EL PERFIL DE ACERO

Según la Standards Australia 5100-6, para el cálculo de la capacidad a compresión axial de las columnas compuestas, el perfil de acero deberá cumplir con el siguiente requerimiento mínimo de relación ancho espesor (Tao, Uy, & Han, 2008).

$$40 \leq \left(\frac{D}{t}\right) * \sqrt{\frac{f_y}{235}} \quad (3.59)$$

D = dimensión mayor de la sección (b, h)

t = espesor del tubo de acero

f<sub>y</sub> = límite elástico del acero

**TABLA 31** VERIFICACIÓN A PANDEO LOCAL SEGÚN STANDARDS AUSTRALIA 5100-6

Descripción	H(cm)	B(cm)	a(cm)	b(cm)	t(cm)	$\lambda_a$	$\lambda_b$	$\lambda_{max}$	Clasificación
Columna 100x200	20.00	10.00	19.00	9.00	0.20	44.09	20.88	44.09	Falla por pandeo local
Columna 100x200 atiesada	20.00	10.00	7.95	9.00	0.20	18.45	20.88	20.88	Cumple relación D/t
Columna 120x160	16.00	12.00	15.00	11.00	0.20	34.80	25.52	34.80	Cumple relación D/t
Columna 120x160 atiesada	16.00	12.00	5.95	11.00	0.20	13.81	25.52	25.52	Cumple relación D/t
Columna 100x150	15.00	10.00	14.00	9.00	0.20	32.48	20.88	32.48	Cumple relación D/t
Columna 100x150 atiesada	15.00	10.00	5.45	9.00	0.20	12.65	20.88	20.88	Cumple relación D/t

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### 3.9.4. PROCEDIMIENTOS DE CÁLCULO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia de la sección de columnas rectangulares es:

$$N_u = \phi \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c \quad (3.60)$$

Dónde:

$A_s$  = área del acero

$A_c$  = área del concreto

$f_y$  = Límite elástico del acero

$f_c$  = Resistencia a compresión del hormigón

$\phi = 0.9$  factor de seguridad del acero

$\phi_c = 0.6$  factor de seguridad del hormigón

La resistencia de un elemento sometido a compresión se define mediante:

$$N \leq \alpha_c N_u \quad (3.61)$$

Dónde:



$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right] \quad (3.62)$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2} \quad (3.63)$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00 \quad (3.64)$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b \quad (3.65)$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r \quad (3.66)$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}} \quad (3.67)$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050} \quad (3.68)$$

La carga crítica de Euler es:

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2} \quad (3.69)$$

$(EI)_{eff}$  = Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c) \quad (3.70)$$

L= longitud de pandeo de la columna en el eje considerado.

Para el cálculo de  $\alpha_b$ , la norma utiliza la siguiente tabla:

**TABLA 32** COEFICIENTES DE CONSTANTE SECCIONAL

Constante seccional ( $\alpha_b$ )	Descripción de la sección
-1.00	Secciones circulares y rectangulares conformadas en caliente y secciones conformadas en frío con alivio de tensiones
-0.50	Secciones conformadas en frío sin alivio de tensiones
0.00	Secciones soldadas

FUENTE: NORMA AUSTRALIANA, 2004.

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO SA 5100-6.**

**TABLA 33** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f <sub>c</sub> =	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	11.70	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	188.16	cm <sup>2</sup>
I <sub>xx s</sub> =	629.47	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	218.14	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	6023.63	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	1445.07	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

$$N = \alpha_c N_u$$

$$N = 0.885 * 55.321 \text{ Ton}$$

$$N = \mathbf{48.98 \text{ Ton}}$$

Nu: Resistencia a la compresión nominal

$$N_u = \phi_s \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c$$

$$N_u = 0.9 * 11.70 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.6 * 188.16 \text{ cm}^2 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 55.321 \text{ Ton}$$

Dónde:

$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 2.74 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{2.74 * 44.59} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 0.885$$

Siendo:

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2}$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{44.59}{90} \right)^2 + 1 + 0.101}{2 \cdot \left( \frac{44.59}{90} \right)^2}$$

$$\xi = 2.74$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (44.59 - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.101 \geq 0.00$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b$$

$$\lambda = 54.87 + 20.58 * -0.5$$

$$\lambda = 44.59$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r$$

$$\lambda_n = 90 * 0.61$$

$$\lambda_n = 54.88$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{55.32 \text{ Ton}}{148.80 \text{ Ton}}}$$

$$\lambda_r = 0.61$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050}$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (54.88 - 13.5)}{54.88^2 - 15.3 * 54.88 + 2050}$$

$$\alpha_a = 20.58$$

Carga crítica de Euler

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = 3.14^2 * \frac{579\,187\,912.97 \text{ kg.cm}^2}{(196\text{cm})^2}$$

$$N_{cr} = 148.80 \text{ Ton}$$

Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c)$$

$$(EI)_{eff} = 0.9 * 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 218.14 \text{ cm}^4 + 0.6 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1445.07 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 579\,187\,912.97 \text{ kg.cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO SA 5100-6.**

**TABLA 34** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	10.90	cm <sup>2</sup>
Ac=	180.96	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	417.41	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	269.87	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	3669.87	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	2029.16	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

$$N = \alpha_c N_u$$

$$N = 0.92 * 52.40 \text{ Ton}$$

$$N = \mathbf{48.06 \text{ Ton}}$$

Nu: Resistencia a la compresión nominal

$$N_u = \phi_s \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c$$

$$N_u = 0.9 * 10.90 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.6 * 180.96 \text{ cm}^2 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 52.45 \text{ Ton}$$

Dónde:

La resistencia de un elemento sometido a compresión se define mediante:

Dónde:

$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 3.67 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{3.67 * 37.11} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 0.92$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2}$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{37.11}{90} \right)^2 + 1 + 0.08}{2 \cdot \left( \frac{37.11}{90} \right)^2}$$

$$\xi = 3.67$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (37.11 - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.08 \geq 0.00$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b$$

$$\lambda = 47.05 + 19.88 * -0.5$$

$$\lambda = 37.11$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r$$

$$\lambda_n = 90 * 0.52$$

$$\lambda_n = 47.05$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{52.40 \text{ Ton}}{191.73 \text{ Ton}}}$$

$$\lambda_r = 0.52$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050}$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (47.05 - 13.5)}{47.05^2 - 15.3 * 47.05 + 2050}$$

$$\alpha_a = 19.88$$

Carga crítica de Euler

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = 3.14^2 * \frac{746 \ 288 \ 517.38 \text{ kg.cm}^2}{(196\text{cm})^2}$$

$$N_{cr} = 191.73 \text{ Ton}$$

Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c)$$

$$(EI)_{eff} = 0.9 * 2 \ 043 \ 000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 269.87 \text{ cm}^4 + 0.6 * 205 \ 404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 2029.16 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 746 \ 288 \ 517.38 \text{ kg.cm}^2$$

## DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 RELLENA DE HORMIGÓN SIN ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO SA 5100-6.

**TABLA 35** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	9.70	cm <sup>2</sup>
Ac=	140.16	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	315.13	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	170.12	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	2489.71	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1076.43	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

$$N = \alpha_c N_u$$

$$N = 0.88 * 43.45 \text{ Ton}$$

$$N = 38.36 \text{ Ton}$$

Nu: Resistencia a la compresión nominal

$$N_u = \phi_s \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c$$

$$N_u = 0.9 * 9.70 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.6 * 140.16 \text{ cm}^2 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 43.45 \text{ Ton}$$

Dónde:



$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 2.69 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{2.69 * 45.16} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 0.88$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2}$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{45.16}{90} \right)^2 + 1 + 0.10}{2 \cdot \left( \frac{45.16}{90} \right)^2}$$

$$\xi = 2.69$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (45.16 - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.10 \geq 0.00$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b$$

$$\lambda = 55.46 + 20.60 * -0.5$$

$$\lambda = 45.16$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r$$

$$\lambda_n = 90 * 0.62$$

$$\lambda_n = 55.46$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{43.45 \text{ Ton}}{114.45 \text{ Ton}}}$$

$$\lambda_r = 0.62$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050}$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (55.46 - 13.5)}{55.46^2 - 15.3 * 55.46 + 2050}$$

$$\alpha_a = 20.60$$

Carga crítica de Euler

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = 3.14^2 * \frac{445\,461\,460.63 \text{ kg.cm}^2}{(196\text{cm})^2}$$

$$N_{cr} = 114.45 \text{ Ton}$$

Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c)$$

$$(EI)_{eff} = 0.9 * 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 170.12\text{cm}^4 + 0.6 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1076.43\text{cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 445\,461\,460.63 \text{ kg.cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x200x2 RELLENA DE HORMIGÓN  
CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO SA 5100-6.**

**TABLA 36** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X200X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	20.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
L=	2.00	cm
t=	0.20	cm
f'c=	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
fy=	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
Ec=	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
As=	13.22	cm <sup>2</sup>
Ac=	178.27	cm <sup>2</sup>
Ixx s=	630.54	cm <sup>4</sup>
Iyy s=	245.18	cm <sup>4</sup>
Ixx c=	6021.68	cm <sup>4</sup>
Iyy c=	1355.70	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m
K=	1.00	s/u

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

$$N = \alpha_c N_u$$

$$N = 0.889 * 57.28 \text{ Ton}$$

$$N = \mathbf{50.91 \text{ Ton}}$$

Nu: Resistencia a la compresión nominal

$$N_u = \phi_s \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c$$

$$N_u = 0.9 * 13.22 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.6 * 178.27 \text{ cm}^2 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 57.28 \text{ Ton}$$

Dónde:

$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 2.82 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{2.82 * 43.79} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 0.889$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2}$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{43.79}{90} \right)^2 + 1 + 0.098}{2 \cdot \left( \frac{43.79}{90} \right)^2}$$

$$\xi = 2.82$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (43.79 - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.098 \geq 0.00$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b$$

$$\lambda = 54.06 + 20.55 * -0.5$$

$$\lambda = 43.79$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r$$

$$\lambda_n = 90 * 0.60$$

$$\lambda_n = 54.06$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{57.28 \text{ Ton}}{158.75 \text{ Ton}}}$$

$$\lambda_r = 0.60$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050}$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (54.06 - 13.5)}{54.06^2 - 15.3 * 54.06 + 2050}$$

$$\alpha_a = 20.55$$

Carga crítica de Euler

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = 3.14^2 * \frac{617\,892\,187.68 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2}{(196\text{cm})^2}$$

$$N_{cr} = 158.75 \text{ Ton}$$

Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c)$$

$$(EI)_{eff} = 0.9 * 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 245.18 \text{ cm}^4 + 0.6 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1355.70 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 617\,892\,187.68 \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$$

**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 120x160x2 RELLENA DE HORMIGÓN  
CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO SA 5100-6.**

**TABLA 37** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 120X160X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	16.00	cm
B=	12.00	cm
t=	0.20	cm
t=	0.20	cm
f <sub>c</sub> =	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	12.42	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	171.07	cm <sup>2</sup>
I <sub>xx s</sub> =	418.48	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	311.64	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	3667.92	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	1893.51	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

$$N = \alpha_c N_u$$

$$N = 0.92 * 54.36 \text{ Ton}$$

$$N = \mathbf{50.00 \text{ Ton}}$$

N<sub>u</sub>; Resistencia a la compresión nominal

$$N_u = \phi \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c$$

$$N_u = 0.9 * 12.42 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.6 * 171.07 \text{ cm}^2 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 54.36 \text{ Ton}$$

Dónde:

$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 3.81 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{3.81 * 36.24} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 0.92$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2}$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{36.24}{90} \right)^2 + 1 + 0.07}{2 \cdot \left( \frac{36.24}{90} \right)^2}$$

$$\xi = 3.81$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (36.24 - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.07 \geq 0.00$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b$$

$$\lambda = 46.10 + 19.73 * -0.5$$

$$\lambda = 36.24$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r$$

$$\lambda_n = 90 * 0.51$$

$$\lambda_n = 46.10$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{54.36 \text{ Ton}}{207.17 \text{ Ton}}}$$

$$\lambda_r = 0.51$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050}$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (46.10 - 13.5)}{46.10^2 - 15.3 * 46.10 + 2050}$$

$$\alpha_a = 19.73$$

Carga crítica de Euler

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = 3.14^2 * \frac{806\,373\,184.82 \text{ kg.cm}^2}{(196\text{cm})^2}$$

$$N_{cr} = 207.17 \text{ Ton}$$

Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c)$$

$$(EI)_{eff} = 0.9 * 2\,043\,000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 311.64 \text{ cm}^4 + 0.6 * 205\,404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1893.51 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 806\,373\,184.82 \text{ kg.cm}^2$$



**DISEÑO DE UNA COLUMNA TUBULAR 100x150x2 RELLENA DE HORMIGÓN  
CON ATIESADORES INTERMEDIOS MÉTODO SA 5100-6.**

**TABLA 38** PROPIEDADES DE LA SECCIÓN COMPUESTA 100X150X2 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Datos		
H=	15.00	cm
B=	10.00	cm
t=	0.20	cm
t=	0.20	cm
f <sub>c</sub> =	254.00	kg/cm <sup>2</sup>
f <sub>y</sub> =	2530.44	kg/cm <sup>2</sup>
E=	2043000.00	kg/cm <sup>2</sup>
E <sub>c</sub> =	205404.00	kg/cm <sup>2</sup>
A <sub>s</sub> =	11.22	cm <sup>2</sup>
A <sub>c</sub> =	130.27	cm <sup>2</sup>
I <sub>xx s</sub> =	316.20	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy s</sub> =	197.16	cm <sup>4</sup>
I <sub>xx c</sub> =	2487.76	cm <sup>4</sup>
I <sub>yy c</sub> =	987.06	cm <sup>4</sup>
L=	1.96	m

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

$$N = \alpha_c N_u$$

$$N = 0.89 * 45.41 \text{ Ton}$$

$$N = \mathbf{40.30 \text{ Ton}}$$

N<sub>u</sub>: Resistencia a la compresión nominal

$$N_u = \phi \cdot A_s \cdot f_y + \phi_c \cdot A_c \cdot f_c$$

$$N_u = 0.9 * 11.22 \text{ cm}^2 * 2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} + 0.6 * 130.27 \text{ cm}^2 * 254 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$N_u = 45.41 \text{ Ton}$$

Dónde:

$$\alpha_c = \xi \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{\xi \cdot \lambda} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 2.79 * \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{90}{2.79 * 44.10} \right)^2} \right]$$

$$\alpha_c = 0.89$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{\lambda}{90} \right)^2 + 1 + \eta}{2 \cdot \left( \frac{\lambda}{90} \right)^2}$$

$$\xi = \frac{\left( \frac{44.10}{90} \right)^2 + 1 + 0.10}{2 \cdot \left( \frac{44.10}{90} \right)^2}$$

$$\xi = 2.79$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (\lambda - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.00326 \cdot (44.10 - 13.5) \geq 0.00$$

$$\eta = 0.10 \geq 0.00$$

$$\lambda = \lambda_n + \alpha_a \cdot \alpha_b$$

$$\lambda = 54.38 + 20.56 * -0.5$$

$$\lambda = 44.10$$

$$\lambda_n = 90 \cdot \lambda_r$$

$$\lambda_n = 90 * 0.60$$

$$\lambda_n = 54.38$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{N_u}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_r = \sqrt{\frac{45.41 \text{ Ton}}{124.39 \text{ Ton}}}$$

$$\lambda_r = 0.60$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (\lambda_n - 13.5)}{\lambda_n^2 - 15.3 \lambda_n + 2050}$$

$$\alpha_a = \frac{2100 (54.38 - 13.5)}{54.38^2 - 15.3 * 54.38 + 2050}$$

$$\alpha_a = 20.56$$

Carga crítica de Euler

$$N_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{(EI)_{eff}}{L^2}$$

$$N_{cr} = 3.14^2 * \frac{484\ 165\ 735.34 \text{ kg.cm}^2}{(196\text{cm})^2}$$

$$N_{cr} = 124.39 \text{ Ton}$$

Rigidez efectiva a flexión

$$(EI)_{eff} = 0.9(E_a \cdot I_a) + 0.6 \cdot (E_c \cdot I_c)$$

$$(EI)_{eff} = 0.9 * 2\ 043\ 000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 197.16 \text{ cm}^4 + 0.6 * 205\ 404 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 987.06 \text{ cm}^4$$

$$(EI)_{eff} = 484\ 165\ 735.34 \text{ kg.cm}^2$$

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS TEÓRICOS, EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Para esta investigación, previo al ensayo de las columnas de sección compuesta se procedió a caracterizar a las propiedades mecánicas de los materiales usados para la construcción de las columnas.

Como se mencionó anteriormente, los materiales usados para la investigación fueron elegidos considerando su uso en la construcción local, disponibilidad del mercado y resistencia mínima solicitada en las especificaciones de diseño.

##### 4.1.1. HORMIGÓN

En los ensayos ASTM C39 “Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilindros de Concreto” realizados en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Mecánica de Suelos y Rocas (LEMSUR) correspondientes a la edad de 45 días se obtuvo un resultado promedio de 254 kg/cm<sup>2</sup>, y un módulo de elasticidad de 205 404 kg/cm<sup>2</sup>. Estos resultados se encuentran en los anexos 1 y 2, respectivamente. Estos valores fueron usados para determinar la capacidad teórica de las secciones compuestas a compresión axial.

##### 4.1.2. ACERO

Los resultados del ensayo ASTM A370-17 “Métodos de Pruebas Estándar para Determinación de Propiedades Mecánicas en Productos de Acero” realizados en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) permiten clasificar al acero como material ASTM A36, con un esfuerzo de fluencia  $f_y=36$  Ksi o 2530 kg/cm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad  $E= 2\ 043\ 000$  kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados del ensayo se encuentran en el Anexo 3.

## 4.2. RESULTADOS TEÓRICOS

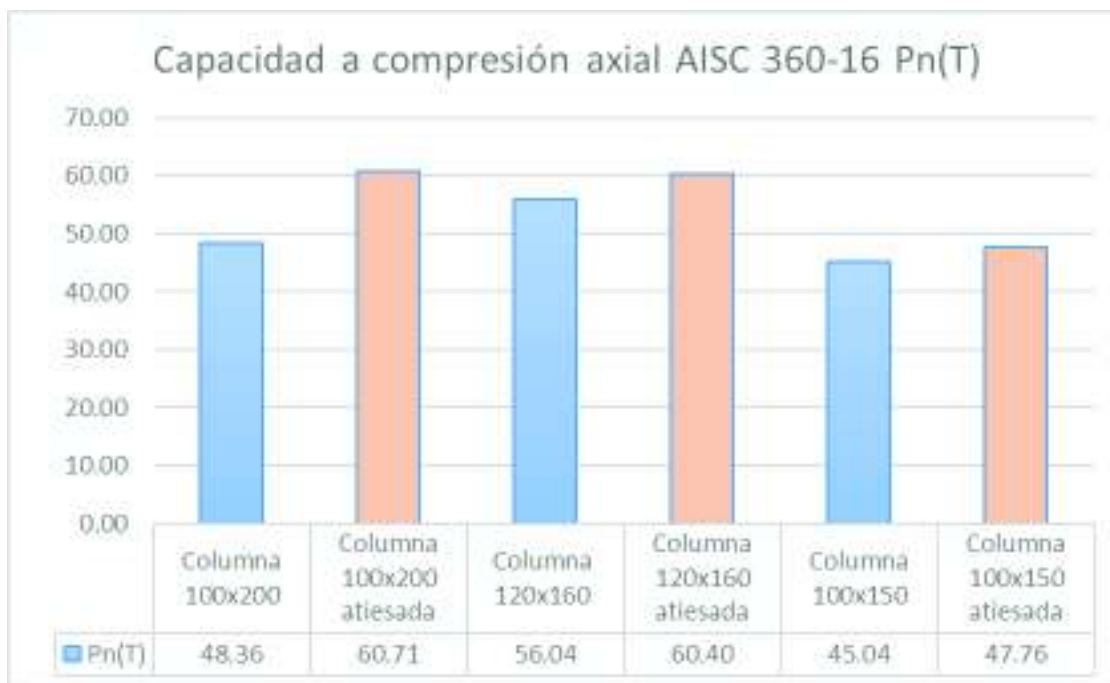
### 4.2.1. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN LA ESPECIFICACIÓN AISC 360-16

**TABLA 39** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES ESPECIFICACIÓN AISC 360-16

Descripciones	Clasificación AISC	Pn (T)
Columna 100x200	Esbelto	48.36
Columna 100x200 atiesada	Compacto	60.71
Columna 120x160	No Compacto	56.04
Columna 120x160 atiesada	Compacto	60.40
Columna 100x150	No Compacto	45.04
Columna 100x150 atiesada	Compacto	47.76

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 67** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES ESPECIFICACIÓN AISC 360-16



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**TABLA 40** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO AISC 360-16

	AISC Pn(T)	% Incremento Pn
Columna 100x200	48.36	26%
Columna 100x200 atiesada	60.71	
Columna 120x160	56.04	8%
Columna 120x160 atiesada	60.40	
Columna 100x150	45.04	6%
Columna 100x150 atiesada	47.76	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 41** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE RIGIDEZ EFECTIVA POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO AISC 360-16

DESCRIPCIÓN (AISC 360-16)	EI eff (kg.cm <sup>2</sup> )	% Incremento
Columna 100x200	631,373,304.87	9%
Columna 100x200 atiesada	690,026,536.42	
Columna 120x160	809,961,727.15	11%
Columna 120x160 atiesada	899,256,495.75	
Columna 100x150	489,999,354.27	12%
Columna 100x150 atiesada	546,740,302.88	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

La especificación AISC 360-16 propone el cálculo de la capacidad a compresión de las columnas compuestas considerando únicamente el estado límite de pandeo por flexión, basado en la esbeltez de la columna.

Para el cálculo de la capacidad, la norma propone varios métodos de cálculo de la capacidad nominal a compresión de la sección, la cual está en función de la clasificación de esbeltez de los elementos que conforman al miembro. Las columnas ensayadas en esta investigación tienen una clasificación de esbelta (100x200) y no compactas (120x160 y 100x150) según esta especificación.

Este método disminuye la capacidad a compresión de las columnas compuestas en base a la esbeltez de los elementos que la conforman, es decir que a mayor relación ancho-espesor de los elementos, la capacidad de la sección se reducirá.

Posterior a la colocación de los atiesadores intermedios, todas las columnas se clasificaron como compactas, produciendo un aumento en la capacidad a compresión teórica de las columnas. El aumento de la capacidad a compresión fue de un 26%,8% y 6% en las columnas de 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente.

Para el cálculo de la capacidad a compresión de las columnas compuestas con atiesadores intermedios se consideró la variación de la inercia de la sección en los ejes XX y YY, el aumento de área de acero debido a la colocación de los perfiles L, así como la reducción de área del hormigón.

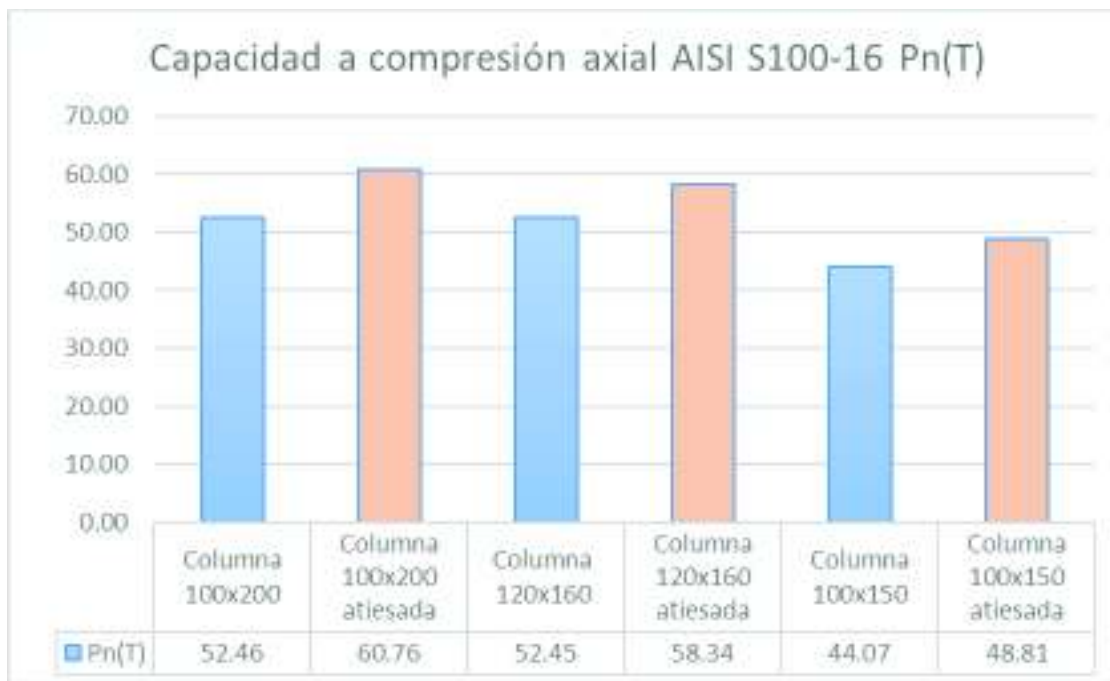
#### 4.2.2. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN LA ESPECIFICACIÓN AISI S100-16

**TABLA 42** RESULTADOS A PANDEO LOCAL ESPECIFICACIÓN AISI S100-16

Descripciones	Clasificación AISC	AISI S100-16
		Pn Pandeo Local (T)
Columna 100x200	Esbelto	52.46
Columna 100x200 atiesada	Compacto	60.76
Columna 120x160	No Compacto	52.45
Columna 120x160 atiesada	Compacto	58.34
Columna 100x150	No Compacto	44.07
Columna 100x150 atiesada	Compacto	48.81

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 68** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES ESPECIFICACIÓN AISI S100-16



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 43** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO AISI S100-16

	AISI Pn(T)	% Incremento Pn
Columna 100x200	52.46	16%
Columna 100x200 atiesada	60.76	
Columna 120x160	52.45	11%
Columna 120x160 atiesada	58.34	
Columna 100x150	44.07	11%
Columna 100x150 atiesada	48.81	

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**TABLA 44** PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE AREA SEGÚN EL MÉTODO DE ANCHO EFECTIVO AISI S100-16

	As(cm <sup>2</sup> )	As Eff.(cm <sup>2</sup> )	% Reducción As
Columna 100x200	11.70	9.93	15%
Columna 100x200 atiesada	13.22	13.22	0%
Columna 120x160	10.90	10.26	6%
Columna 120x160 atiesada	12.42	12.42	0%
Columna 100x150	9.70	9.37	3%
Columna 100x150 atiesada	11.22	11.22	0%

ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Para el cálculo de la capacidad a compresión axial de miembros de doble simetría, la especificación AISI S100-16 considera como estados límites al pandeo flexural y al pandeo local.

La especificación AISI S100-16 no menciona el cálculo de la capacidad a compresión de secciones compuestas, para lo cual esta investigación consideró únicamente la capacidad a pandeo local como estado límite de pandeo de las columnas. La capacidad de pandeo local se definió como la suma de la capacidad del perfil de acero según el método de Ancho Efectivo y la capacidad de la sección de hormigón.

Para la capacidad de la sección de hormigón se usó el coeficiente rigidez efectiva de los miembros compuesto C3 propuesto por el AISC 360-16.

Para determinar la efectividad del uso de atiesadores intermedios, este procedimiento de cálculo nos permite conocer la sección efectiva transversal de acero ante la acción de una carga axial.



En el análisis del estado límite de pandeo local, las secciones sin atiesadores intermedios presentaron una reducción de área afectiva de 15%, 6% y 3% en las secciones de 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente, mientras que con la colocación de atiesadores intermedios no hubo reducción en el área efectiva a compresión, produciendo un aumento en la capacidad teórica a compresión de los miembros compuestos. El aumento en la capacidad teórica a compresión fue de 16%, 11% y 11% en las secciones 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente.

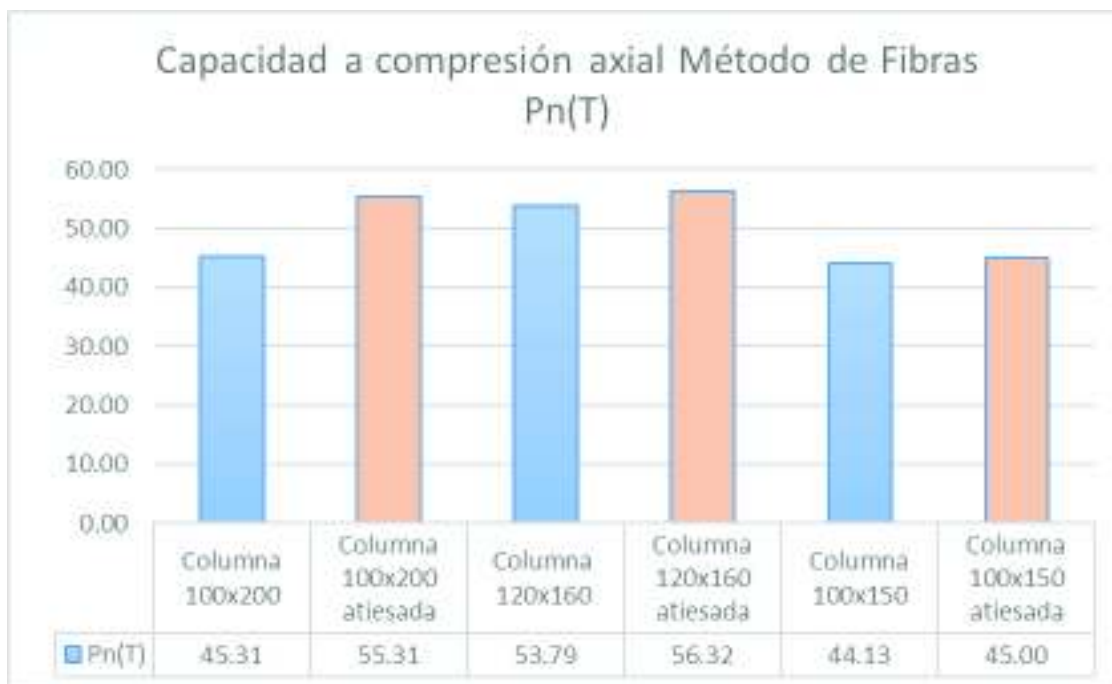
#### 4.2.3. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN EL MÉTODO DE FIBRAS

**TABLA 45** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES MÉTODO DE FIBRAS

Descripción	Capacidad Nominal Pn(T)
Columna 100x200	45.31
Columna 100x200 atiesada	55.31
Columna 120x160	53.79
Columna 120x160 atiesada	56.32
Columna 100x150	44.13
Columna 100x150 atiesada	45.00

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 69** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES MÉTODO DE FIBRAS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 46** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EL MÉTODO DE FIBRAS

	M.Fibras Pn(T)	% Incremento Pn
Columna 100x200	45.31	22%
Columna 100x200 atiesada	55.31	
Columna 120x160	53.79	5%
Columna 120x160 atiesada	56.32	
Columna 100x150	44.13	2%
Columna 100x150 atiesada	45.00	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Para el cálculo de la capacidad a compresión de las columnas compuestas según el método de Fibras se usó el software CFT\_RECT, desarrollado por el Ing. Edison Quishpe M.Sc.

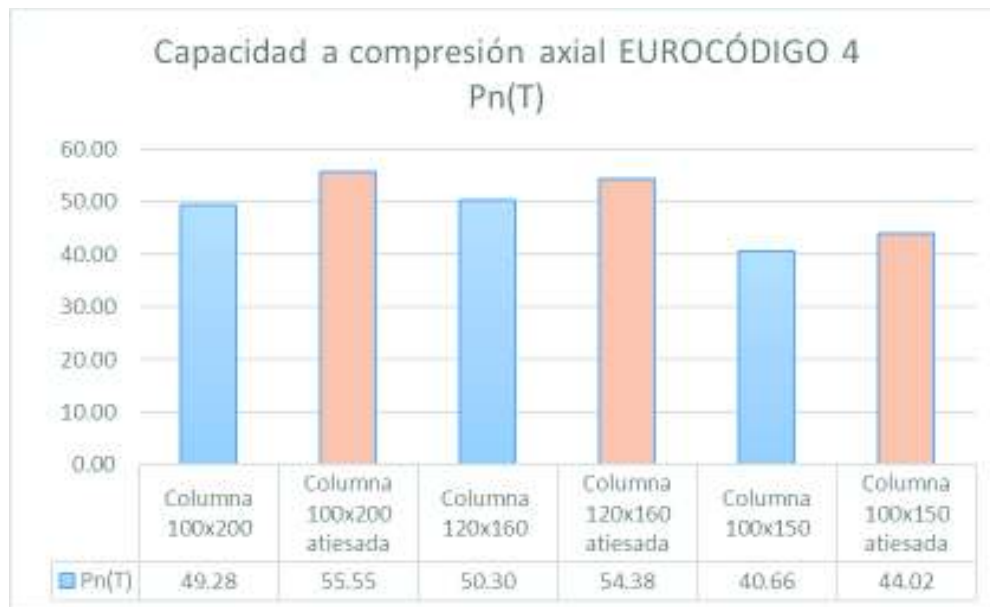
El programa CFT\_RECT se fundamenta en la especificación AISC 360-10, por lo que considera al pandeo flexural como único estado límite.

El software considera a los atiesadores como perfiles longitudinales, para lo cual se procedió a colocar dimensiones para atiesadores equivalentes a los perfiles L 20x20x2 usados en los ensayos experimentales.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos, se determinó que debido a la colocación de los atiesadores intermedios, la capacidad a compresión axial de las columnas aumentó un 22%, 5% y 2% en las secciones 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente.

#### 4.2.4. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN EUROCÓDIGO 4

**FIGURA 70** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES EUROCÓDIGO 4



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 47** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN EUROCÓDIGO 4

	EUROCODE 4 (T)	% Incremento Pn
Columna 100x200	49.28	13%
Columna 100x200 atiesada	55.55	
Columna 120x160	50.30	8%
Columna 120x160 atiesada	54.38	
Columna 100x150	40.66	8%
Columna 100x150 atiesada	44.02	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 48** PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE AREA SEGÚN EL MÉTODO DE ANCHO EFECTIVO EUROCÓDIGO 4

	As(cm <sup>2</sup> )	As Eff.(cm <sup>2</sup> )	% Reducción As
Columna 100x200	11.70	9.61	18%
Columna 100x200 atiesada	13.22	13.22	0%
Columna 120x160	10.90	9.78	10%
Columna 120x160 atiesada	12.42	12.18	2%
Columna 100x150	9.70	9.1	6%
Columna 100x150 atiesada	11.22	11.22	0%

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 49** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE RIGIDEZ EFECTIVA POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA

DESCRIPCIÓN (EUROCODE)	EI eff (kg.cm <sup>2</sup> )	% Incremento
Columna 100x200	701,429,345.60	6%
Columna 100x200 atiesada	740,854,074.34	
Columna 120x160	910,494,406.00	7%
Columna 120x160 atiesada	971,821,223.03	
Columna 100x150	538,077,262.84	7%
Columna 100x150 atiesada	577,501,991.59	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Para esta investigación se han calculado las capacidades carga axial de las secciones según el Eurocódigo 4 considerando la reducción del área efectiva de la sección debido a la esbeltez de los elementos que conforman el perfil de acero.

En el análisis del ancho efectivo de las secciones sin atiesadores intermedios se calculó una reducción en el área efectiva de 18%, 10% y 6% en las secciones de 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente. A diferencia de la especificación AISI S100-16, en la columna 120x160 con atiesadores intermedios se calculó una reducción de área efectiva de 2% con respecto al área total.

En este procedimiento de cálculo se produjo un aumento en la capacidad de carga axial de las columnas de un 13%, 8% y 8% en las secciones de 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente debido a la colocación de los atiesadores intermedios.

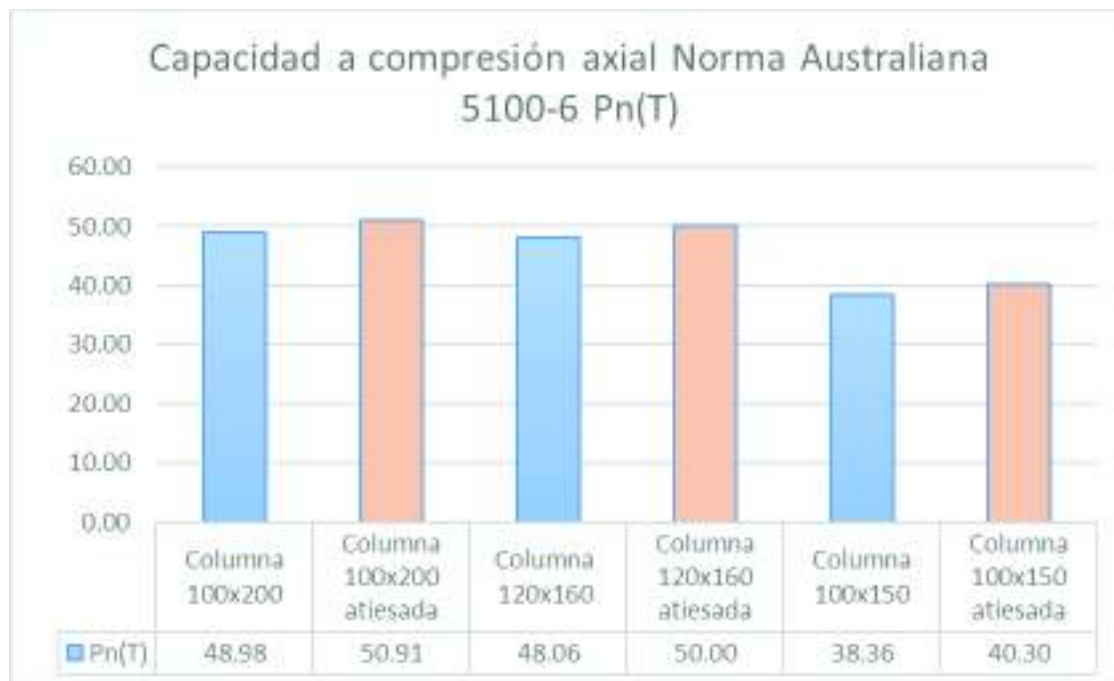
#### 4.2.5. RESULTADOS DEL CÁLCULO TEÓRICO DE LAS SECCIONES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA 5100-6

**TABLA 50** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES NORMA AUSTRALIANA 5100-6

Descripción	Capacidad Nominal Pn(T)
Columna 100x200	48.98
Columna 100x200 atiesada	50.91
Columna 120x160	48.06
Columna 120x160 atiesada	50.00
Columna 100x150	38.36
Columna 100x150 atiesada	40.30

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 71** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES NORMA AUSTRALIANA 5100-6



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 51** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA

	E.A Pn(T)	% Incremento Pn
Columna 100x200	48.98	4%
Columna 100x200 atiesada	50.91	
Columna 120x160	48.06	4%
Columna 120x160 atiesada	50.00	
Columna 100x150	38.36	5%
Columna 100x150 atiesada	40.30	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**TABLA 52** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE RIGIDEZ EFECTIVA POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA

DESCRIPCIÓN (SA 5100-6)	El eff (kg.cm <sup>2</sup> )	% Incremento
Columna 100x200	579,187,912.97	7%
Columna 100x200 atiesada	617,892,187.68	
Columna 120x160	746,288,517.38	8%
Columna 120x160 atiesada	806,373,184.82	
Columna 100x150	445,461,460.63	9%
Columna 100x150 atiesada	484,165,735.34	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de los resultados obtenidos mediante la norma australiana se puede afirmar que es la que menor variación de carga produjo debido a la colocación de los atiesadores intermedios.

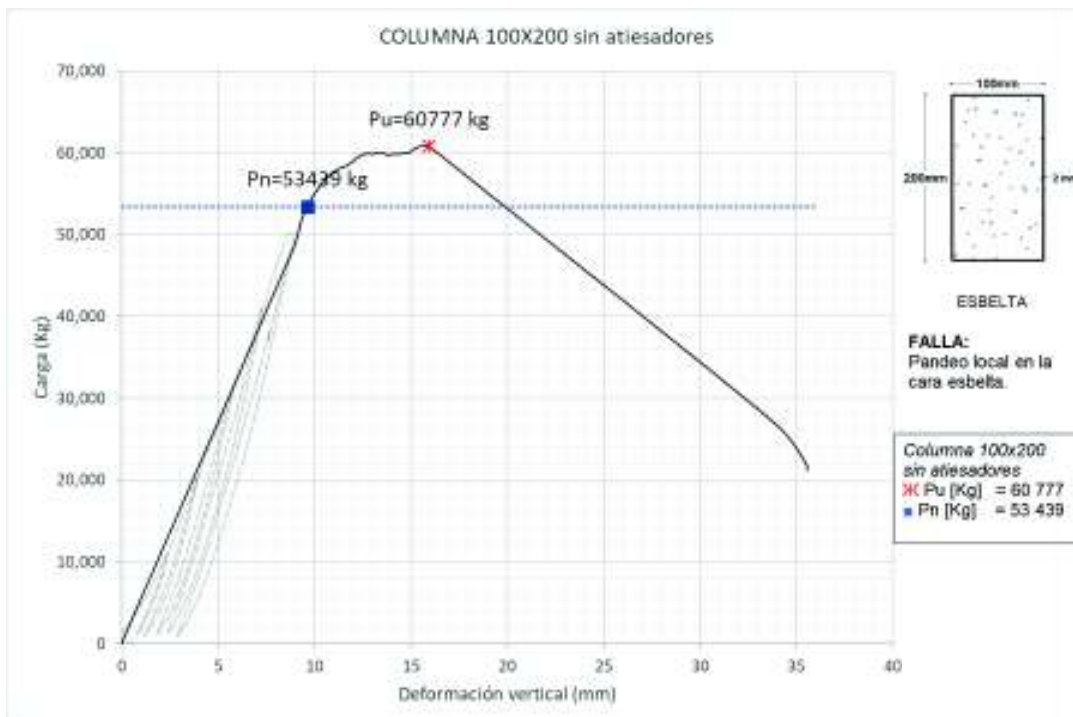
Según esta especificación, se produjo un aumento en la capacidad de carga de un 4%, 4% y %5 en las columnas 100x200, 120x160 y 100x150 respectivamente debido a la colocación de atiesadores intermedios.

### 4.3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 4.3.1. ENSAYO 1 COLUMNA 100X200 SIN ATIESADORES

Columna conformada por los perfiles 2C 200x50x2. El primer tipo de falla en aparecer fue el pandeo local, la carga máxima registrada fue de 60.70 toneladas. La fluencia se presentó inicialmente en la parte posterior de la cara no compacta, luego aumenta la excentricidad y termina saliendo del plano de acción de carga como en el pandeo flexural.

**FIGURA 72** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 73** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES

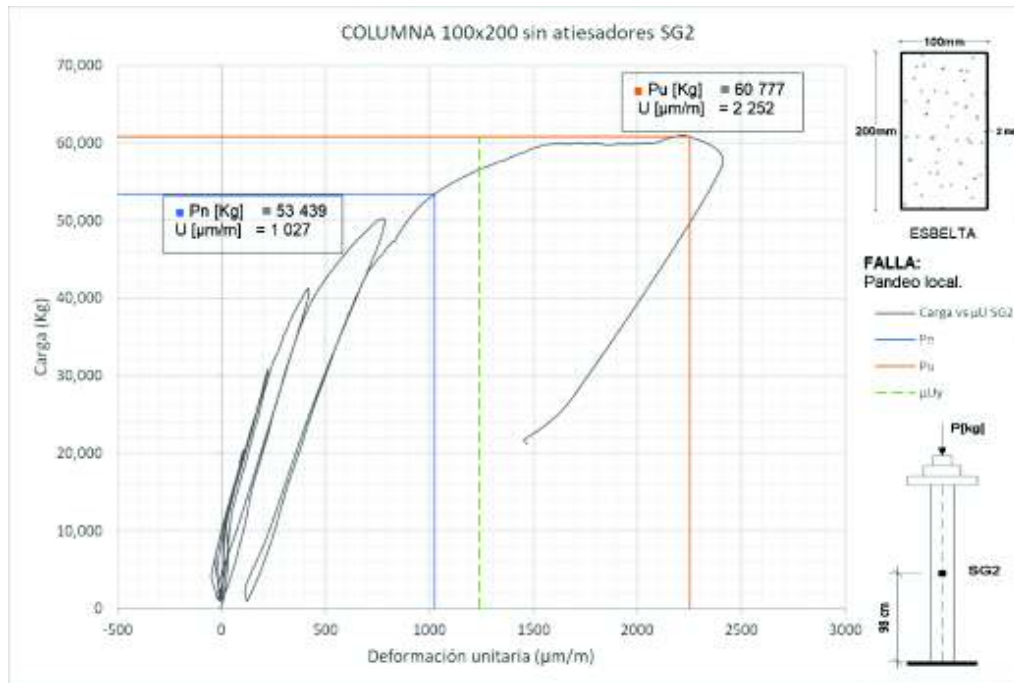
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 74** FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

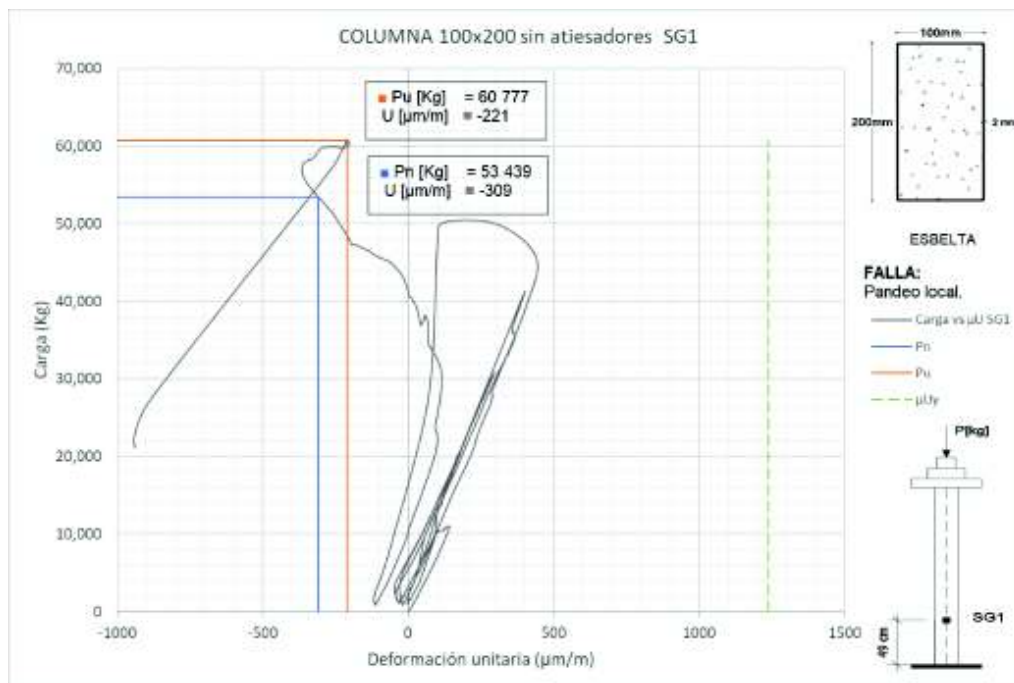


**FIGURA 75** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 76** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1  
COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

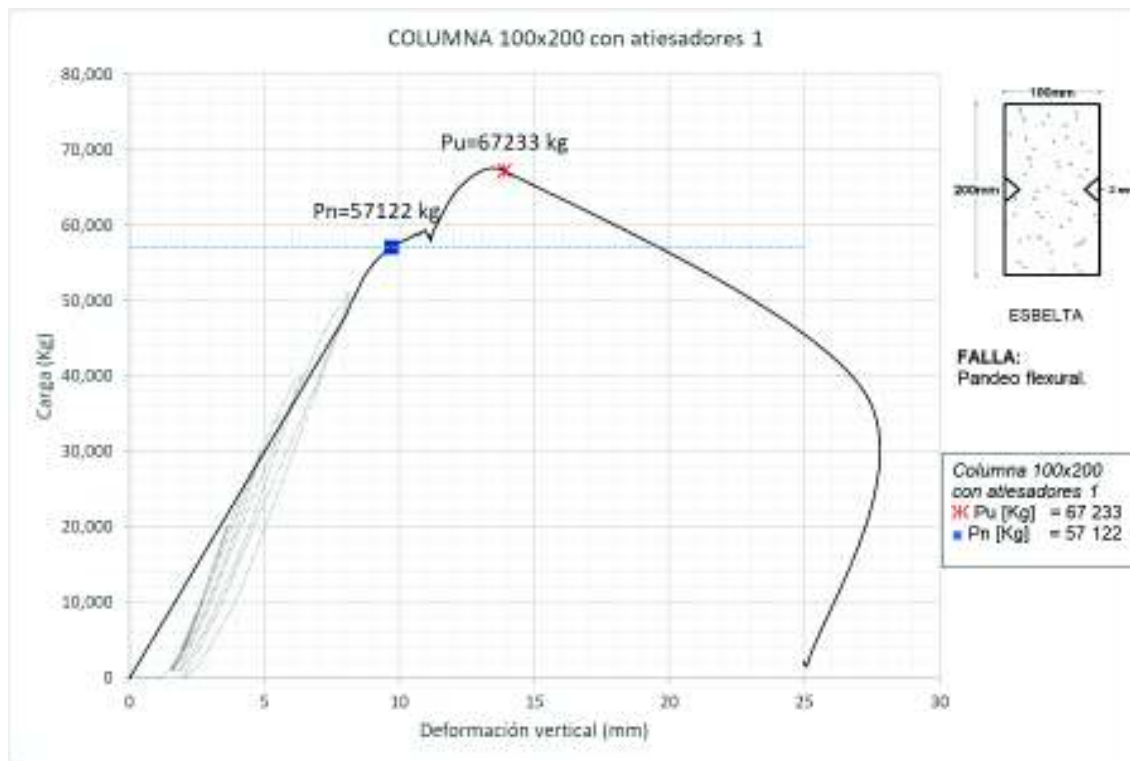


Mediante el análisis de las gráficas registradas por los Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 60 777 kg se produjo una falla por pandeo local. El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 2252.35  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 4 601.56  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sobrepasando el esfuerzo de fluencia  $f_y$ , y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de -221.27  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 431.63  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en compresión, sin llegar a la fluencia.

#### 4.3.2. ENSAYO 2 COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES 1

Esta columna está conformada por los perfiles 2C 200x50x2 y como atiesadores los perfiles 2L 20x20x2, la carga máxima registrada fue de 67.20 toneladas. El tipo de falla de esta columna fue fenómeno de pandeo flexural, siendo la zona superior de la columna el sitio donde se dio la mayor deformación. Esta sección compuesta es la de mayor capacidad experimental.

**FIGURA 77** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

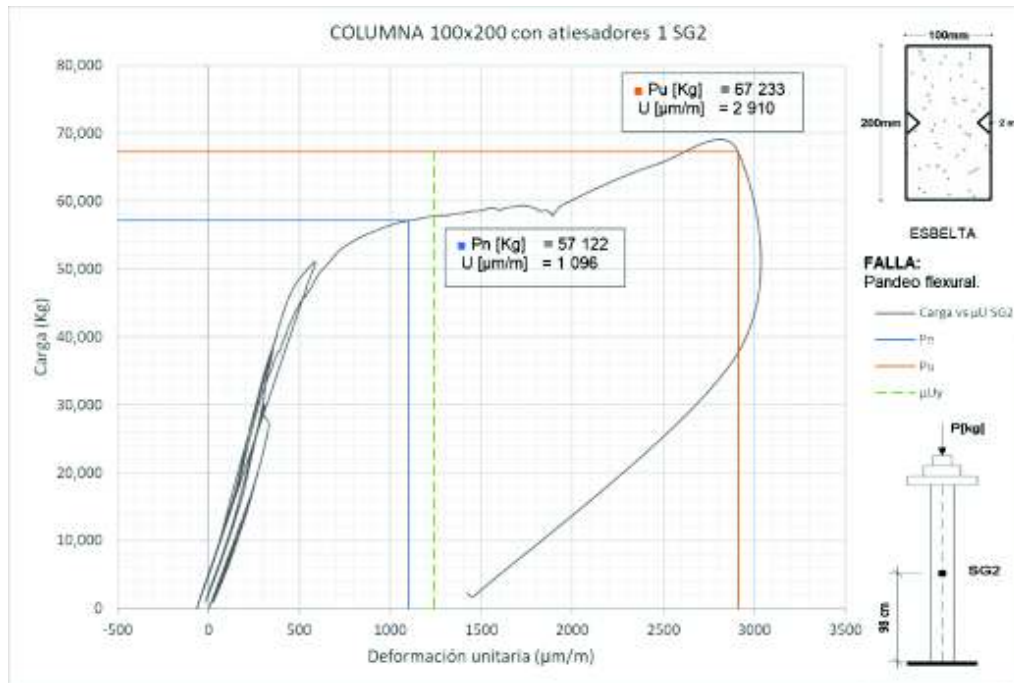
**FIGURA 78** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 79** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1

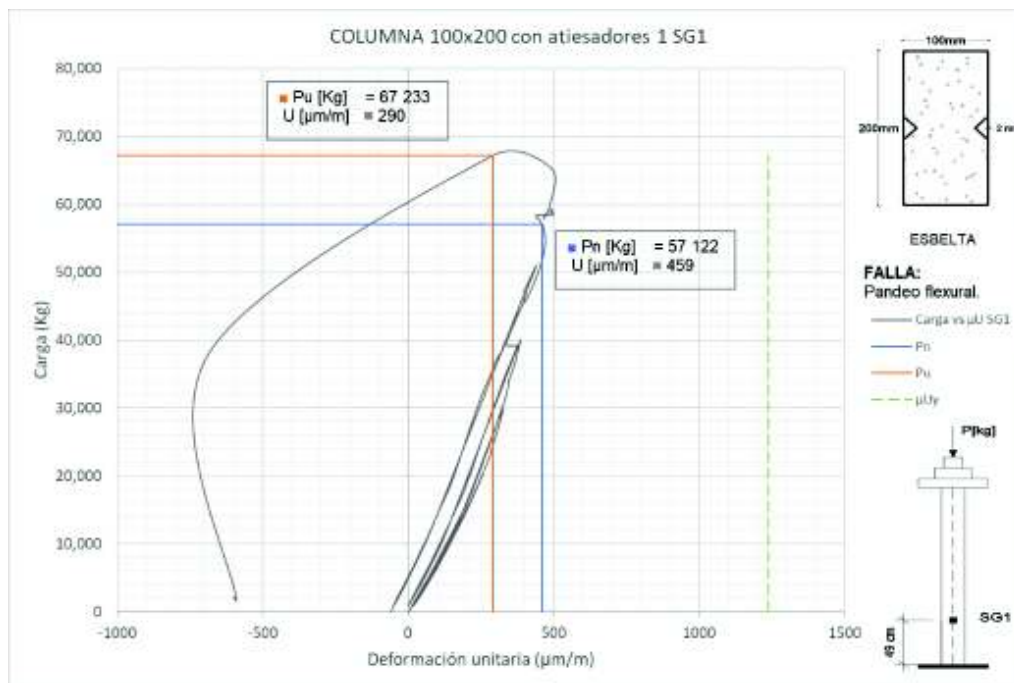
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 80** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 81** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1  
COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 1



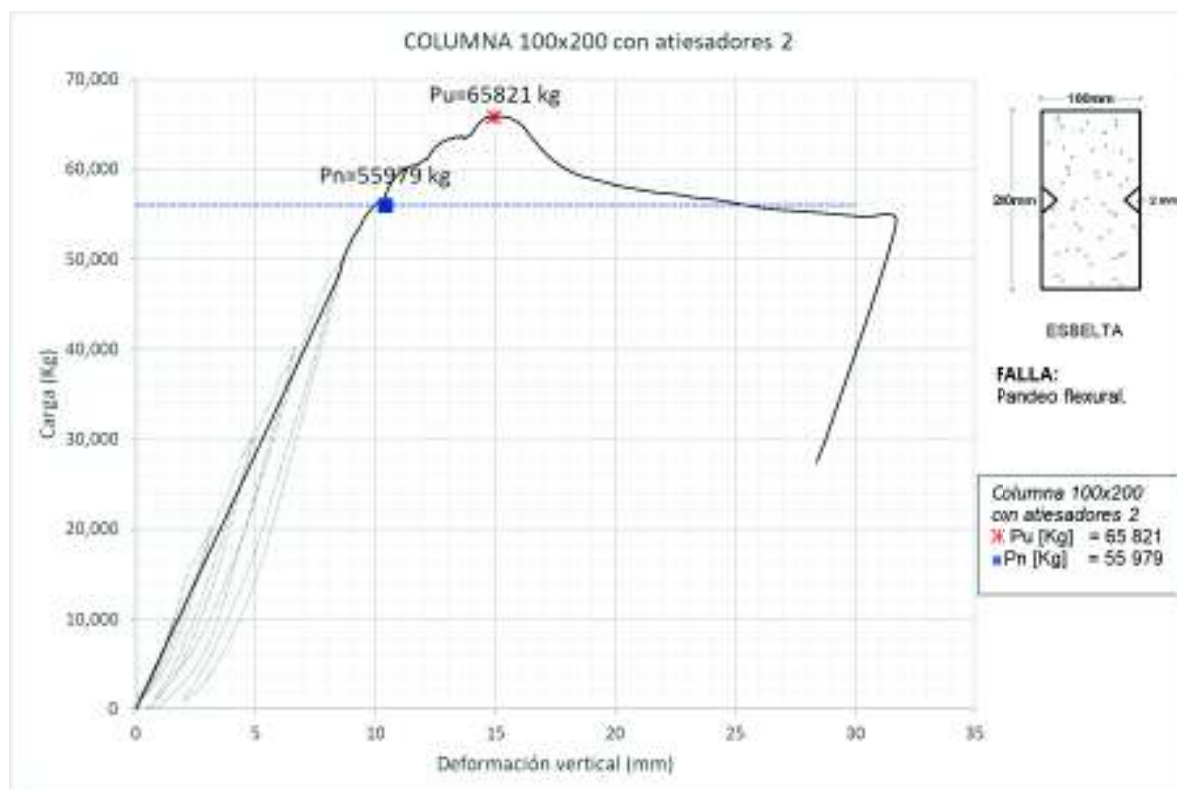
ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas registradas por los Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 67 233 kg se produjo una falla por pandeo flexural. El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 2909.97  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 5 945.08  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sobrepasando el esfuerzo de fluencia  $f_y$ , y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de 592.47  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 592.47  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sin llegar a la fluencia.

#### 4.3.3. ENSAYO 3 COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES 2

Esta columna está conformada por los perfiles 2C 200x50x2 y como atiesadores los perfiles 2L 20x20x2, la carga máxima registrada fue de 65.80 toneladas. El tipo de falla de esta columna fue fenómeno de pandeo flexural siendo la zona superior de la columna el sitio donde se dio la mayor deformación.

**FIGURA 82** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 83** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2

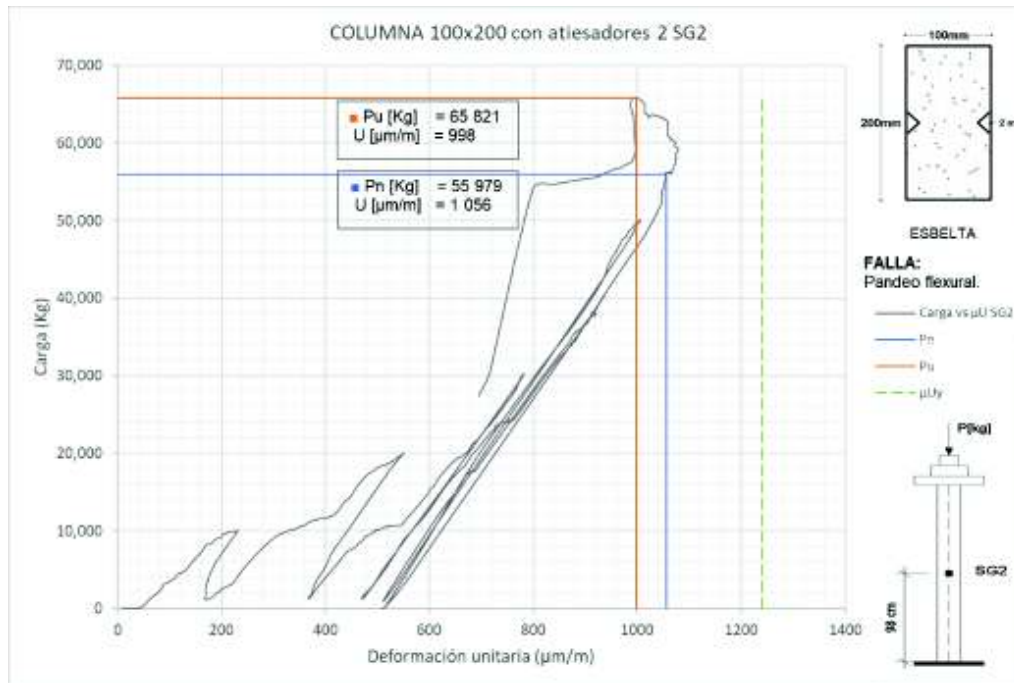
FOTOGRAFÍA: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 84** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2

FOTOGRAFÍA: Conteron-Eraza, 2017.

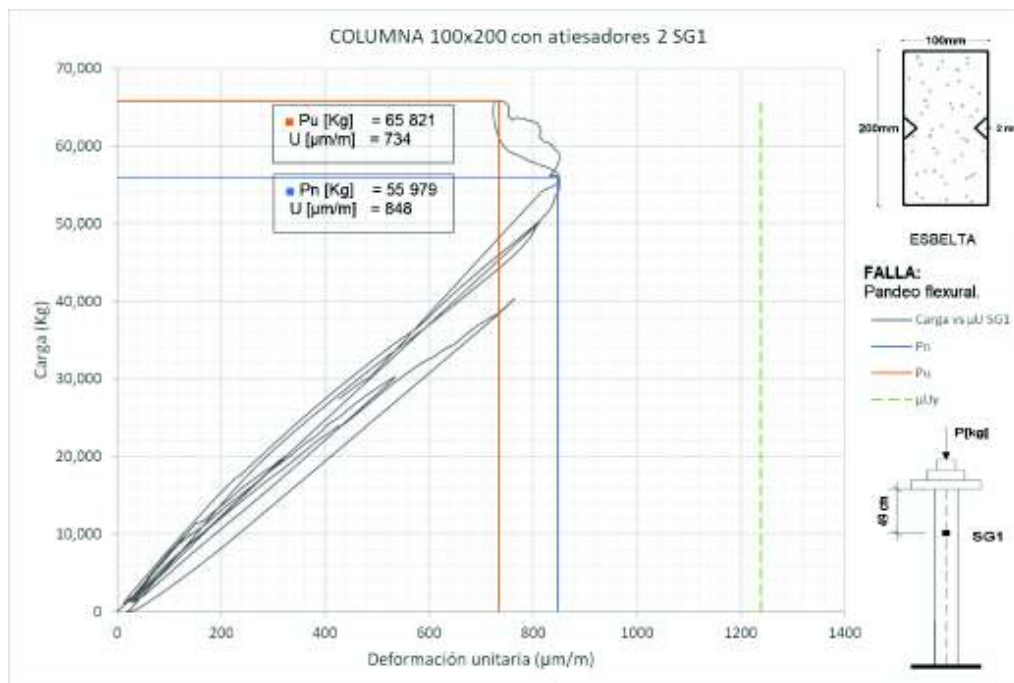


**FIGURA 85** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 86** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1  
COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES 2



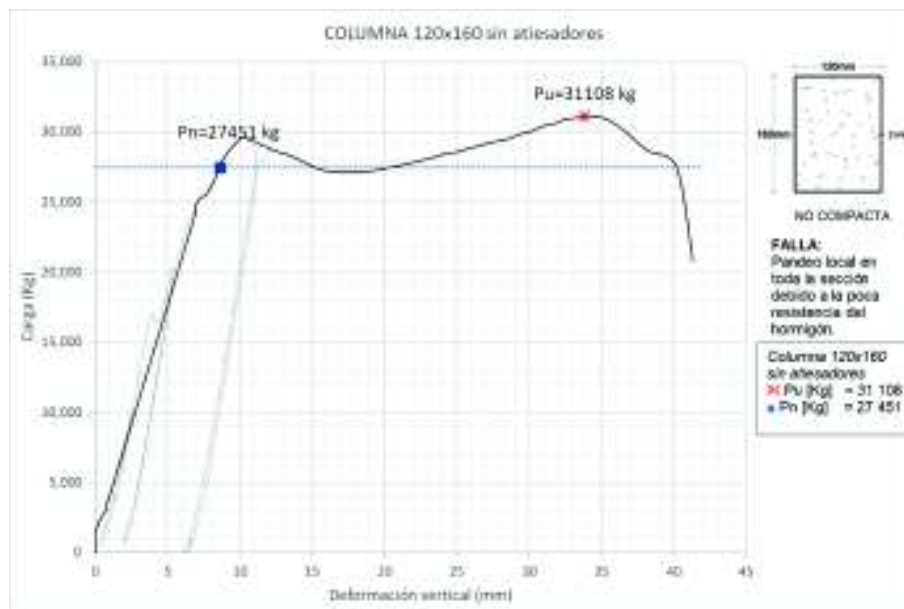
ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas registradas por los Strain Gauges 1 y 2 se puede afirmar que se produjo deformaciones en el acero antes de la aplicación de la carga de plastificación 57 198 kg, lo que provocó inicialmente una falla por pandeo local, para luego fallar por pandeo flexural. El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 998.26  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo 2 039.45  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de 734.44  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 1500.47  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sin llegar a la fluencia. El Strain Gauge 2 registro deformaciones iniciales en los primeros ciclos de carga.

#### 4.3.4. ENSAYO 4 COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES

Columna conformada por los perfiles 2C 160x60x2. Esta columna falló por presentar un alto contenido de vacíos, esto sucedió debido a que la bomba contiene agua de lavado y al empezar el vertido de hormigón este se mezcla con el agua, aumentando la relación agua cemento y disminuyendo la resistencia a compresión del hormigón, esta columna fue la primera en fundirse de manera que en la parte baja de la misma se concentró una gran cantidad de vacíos, su falla es similar a la de un perfil HSS. La carga máxima registrada fue de 29.90 toneladas.

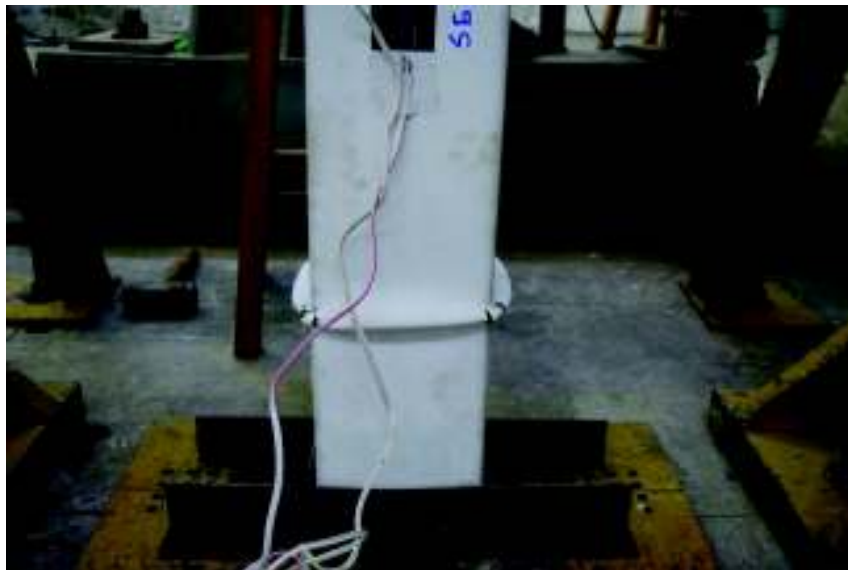
**FIGURA 87** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 88** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES

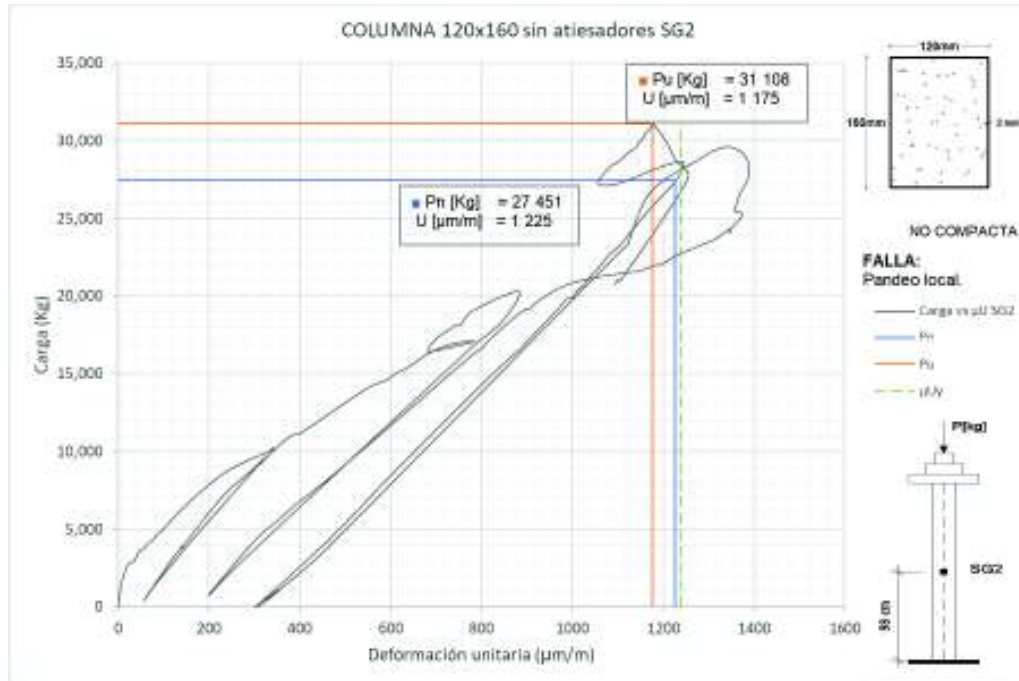
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 89** FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

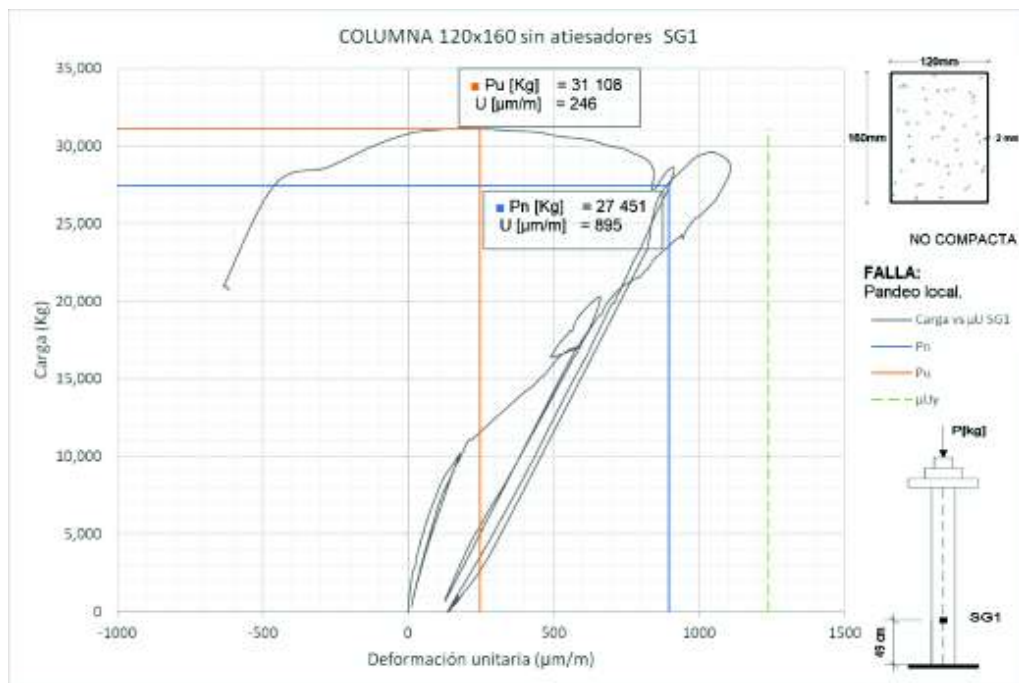


**FIGURA 90** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 91** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas registradas por los Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 31 108 kg se produjo una falla súbita por pandeo local en toda la sección de la columna.

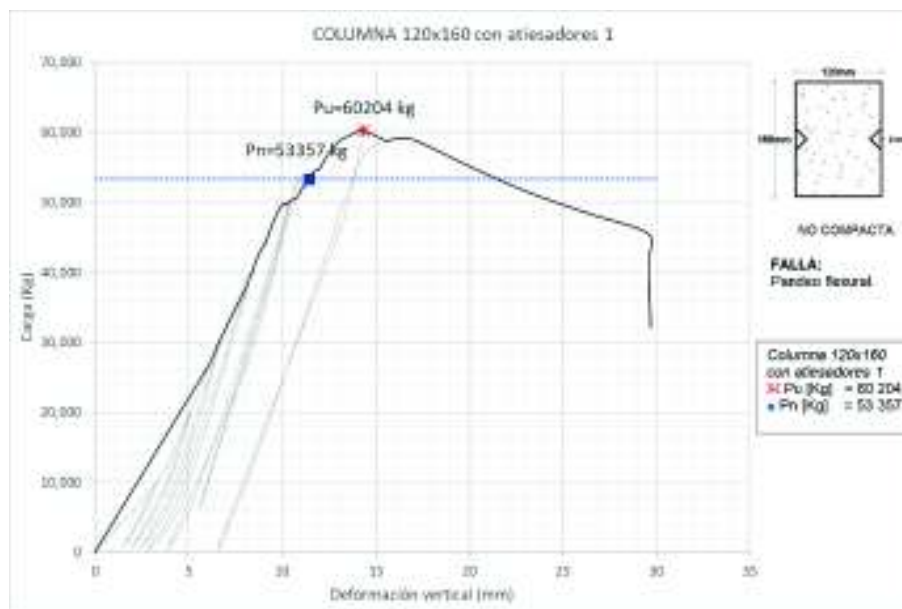
El Strain Gauge 2 registró una deformación de 1175.33  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 2401.22  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, y el Strain Gauge 1 registró 245.65  $\mu\text{m}/\text{m}$  y 501.86  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sin llegar a la fluencia.

Los Strain Gages 1 y 2 registraron deformaciones en los primeros ciclos de carga, debido a la afectación del hormigón por la variación en la relación agua cemento.

#### 4.3.5. ENSAYO 5 COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES 1

Columna conformada por los perfiles 2C 160x60x2 y como atiesadores los perfiles 2L 20x20x2, el tipo de falla de esta columna fue fenómeno de pandeo flexural siendo la zona central superior el sitio donde se dio la mayor deformación. La carga máxima registrada fue de 60.20 toneladas. Se identificó también dos zonas de pandeo local en zonas cercanas a los extremos, lo cuales aparecieron casi al mismo momento que empezó el pandeo flexural.

**FIGURA 92** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 93** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1

FOTOGRAFÍA: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 94** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1

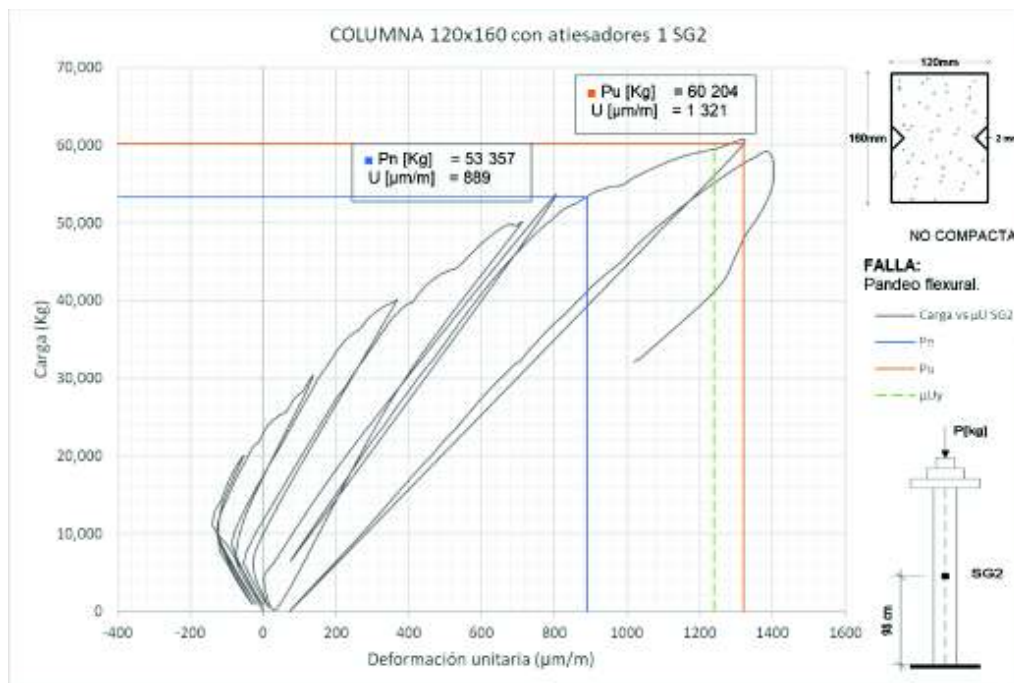
FOTOGRAFÍA: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 95** FALLA POR PANDEO FLEXURAL EN LA CARA POSTERIOR DE LA COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1



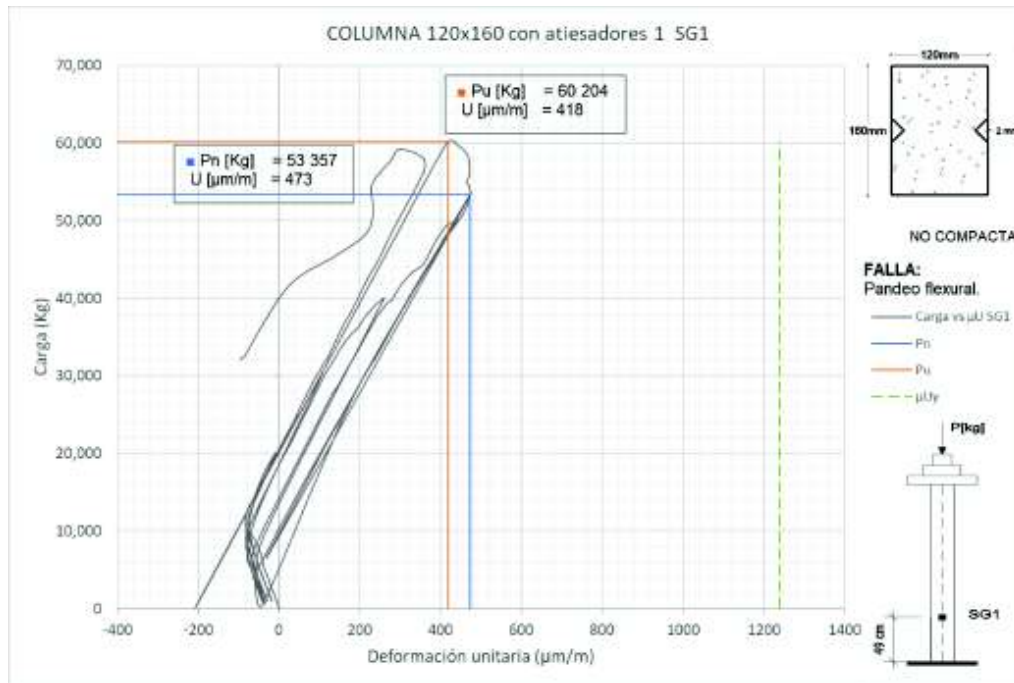
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 96** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 97** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas registradas por los Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 60 204 kg se produjo una falla por flexural.

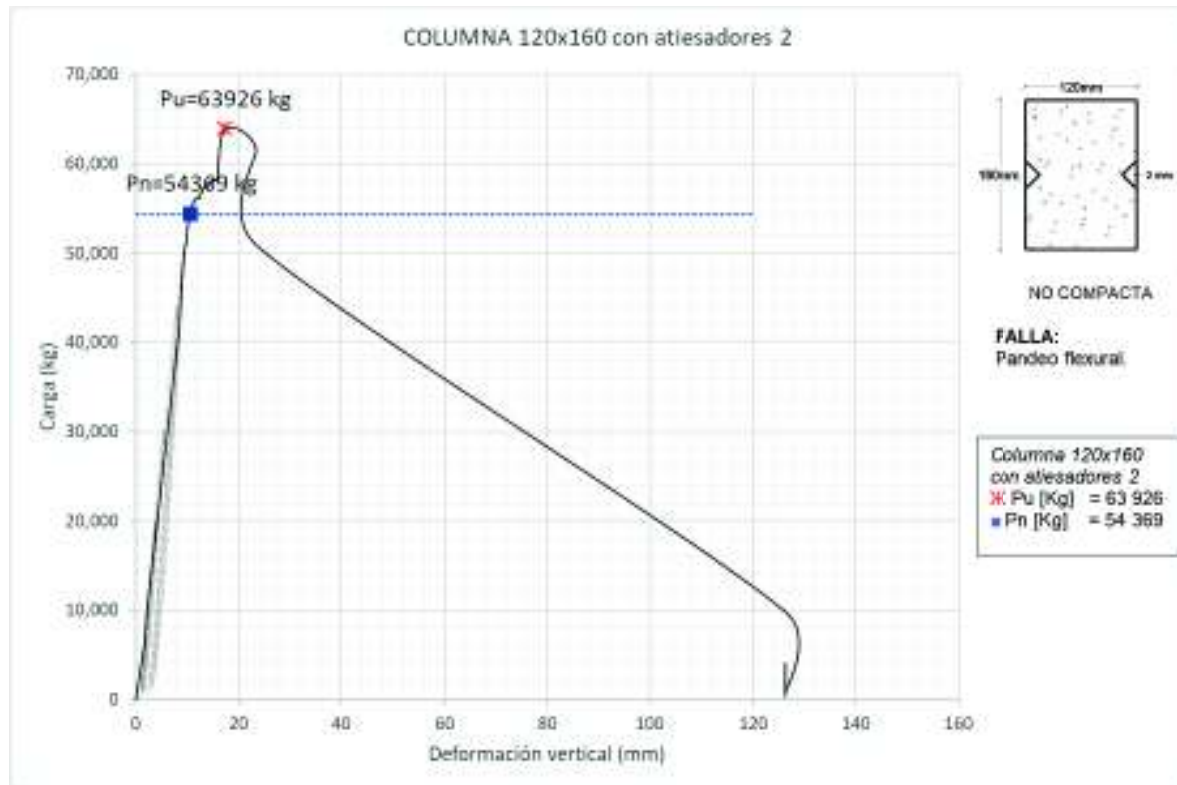
El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 1321.03  $\mu\text{m/m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 2698.86  $\text{kg/cm}^2$  en tracción, sobrepasando el esfuerzo de fluencia  $f_y$ , y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de 418.55  $\mu\text{m/m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 855.09  $\text{kg/cm}^2$  en tracción, sin llegar a la fluencia.

#### 4.3.6. ENSAYO 6 COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES 2

Columna conformada por los perfiles 2C 160x60x2 y como atiesadores los perfiles 2L 20x20x2, el tipo de falla de esta columna fue fenómeno de pandeo flexural siendo la zona superior el sitio donde se dio la mayor deformación. La carga máxima registrada fue de 63.90 toneladas. Se identificó también dos zonas de pandeo local en zonas cercanas a los extremos, lo cuales aparecieron casi al mismo momento que empezó el pandeo flexural.



**FIGURA 98** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 99** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2



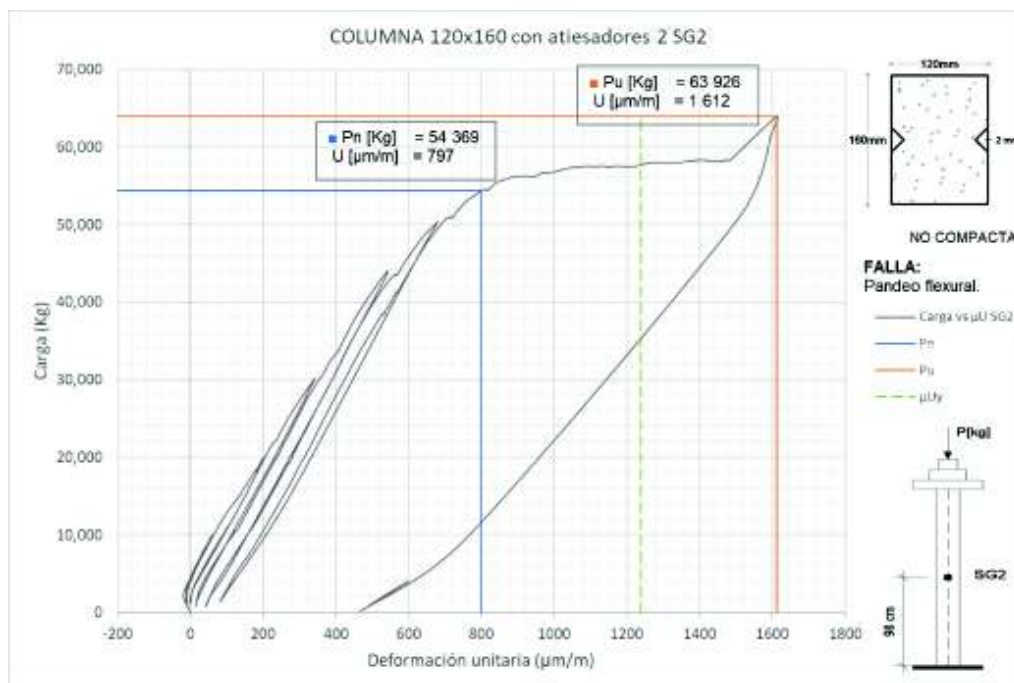
FOTOGRAFÍA: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 100** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2



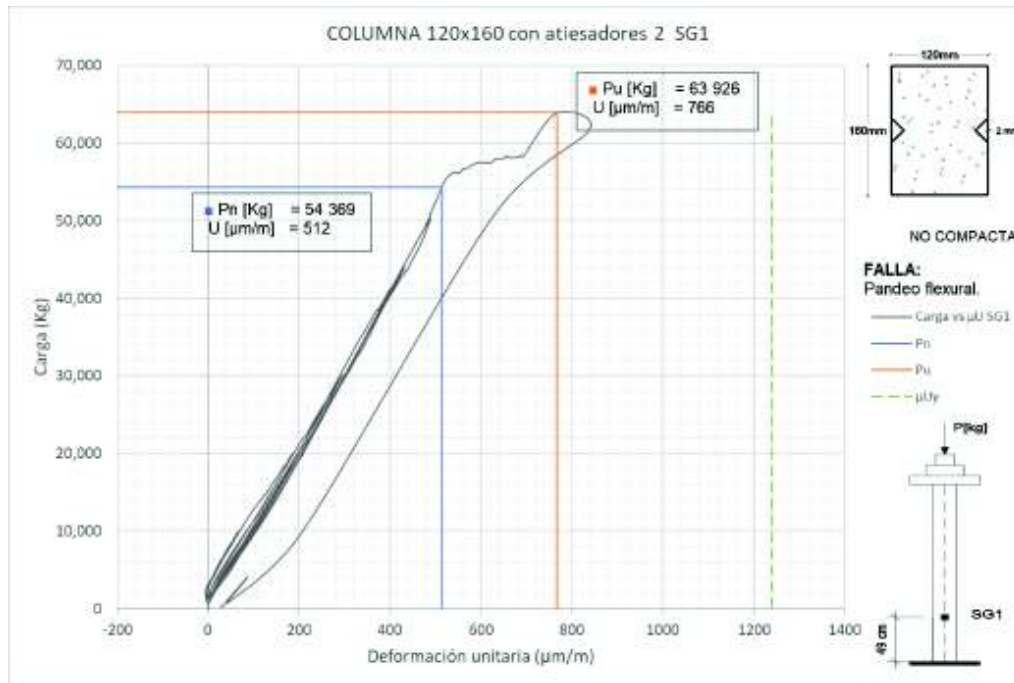
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 101** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 102** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1 COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas elaboradas con los datos registrados por los Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 63 926 kg se produjo una falla por flexural.

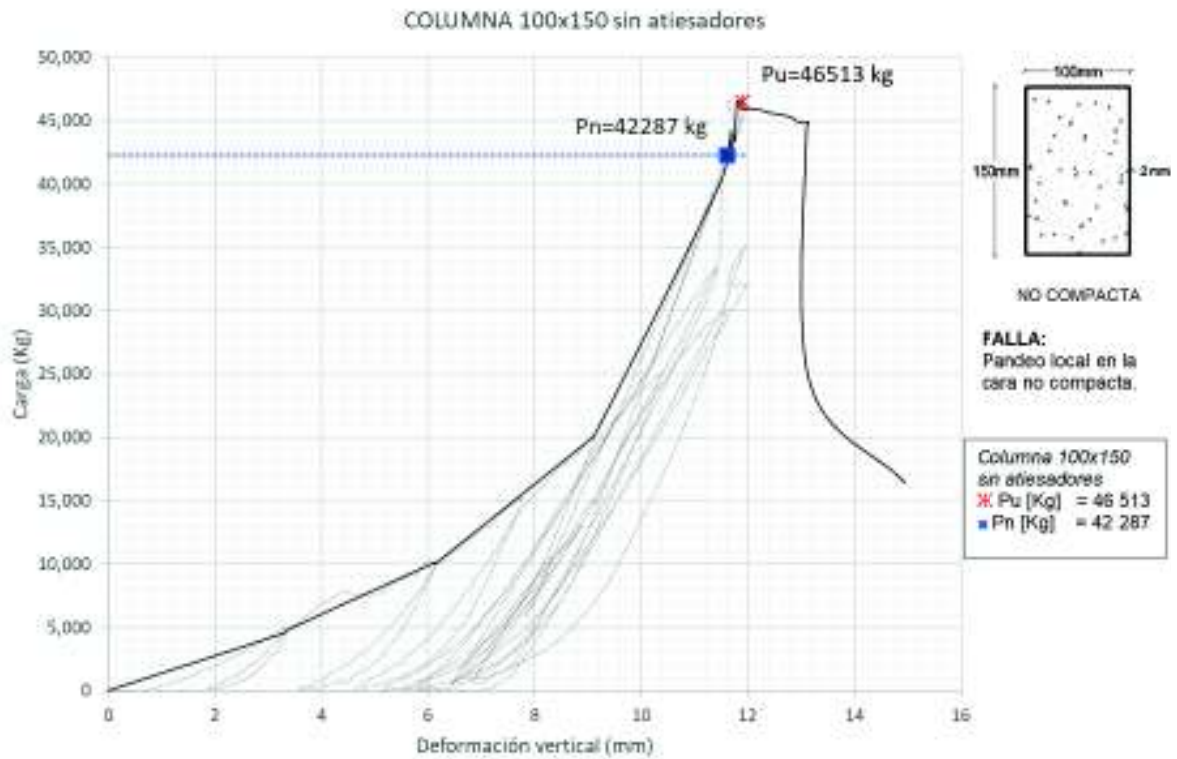
El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 1612.60  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 3294.54  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sobrepasando el esfuerzo de fluencia  $f_y$ , y el Strain Gauge 1 registró una deformación unitaria de 766.66  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 1566.29  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sin llegar a la fluencia.

#### 4.3.7. ENSAYO 7 COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES

Columna conformada por los perfiles 2C 150x50x2. La fluencia se presentó inicialmente en la parte superior en la cara no compacta, al final se identificaron 5 zonas de pandeo local, la carga máxima registrada fue de 46.50 toneladas.



**FIGURA 103** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 104** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



FOTOGRAFÍA: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 105** FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



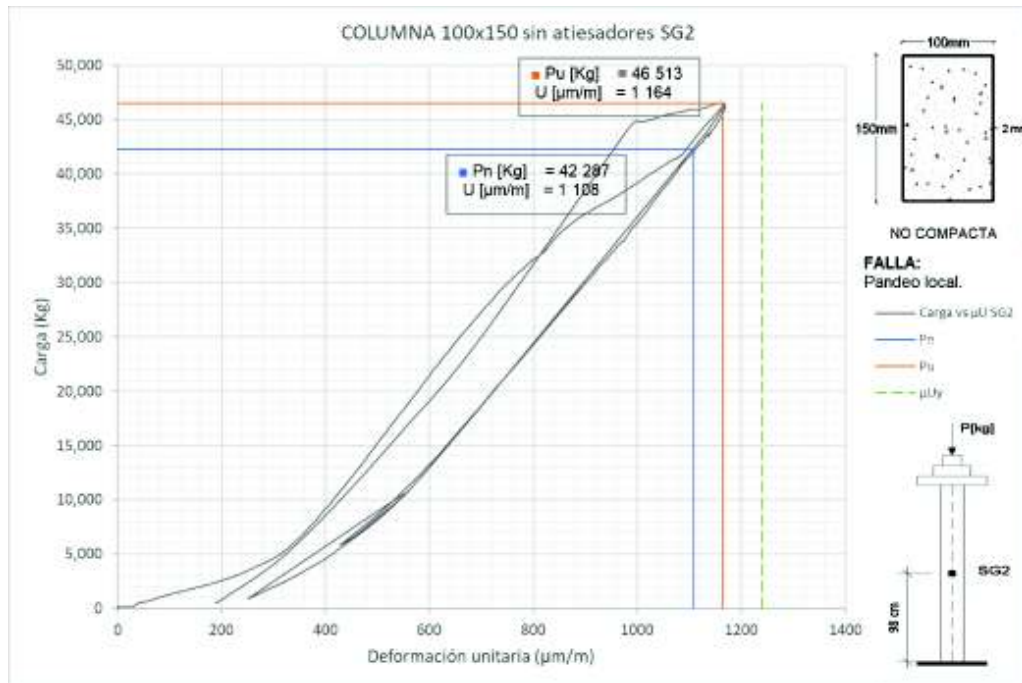
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 106** FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



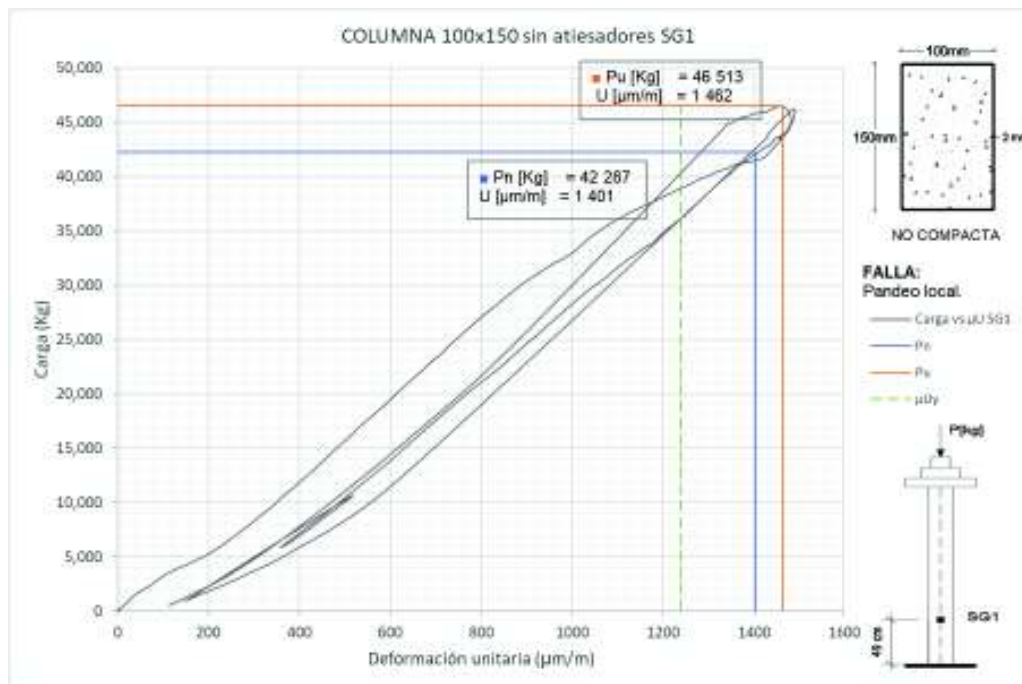
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 107** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 108** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1  
COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas elaboradas con Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 46 513 kg se produjo una falla por local en las caras no compactas de la sección compuesta.

El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 1164.00  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 2378.06  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de 1462.39  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 2 987.65  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sobrepasando el esfuerzo de fluencia  $f_y$ .

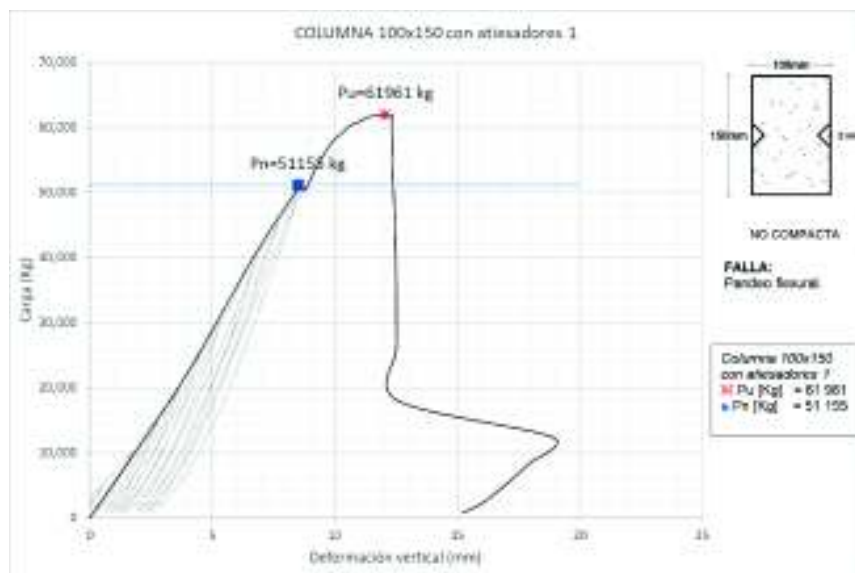
Al producirse pandeo local en la cara no compacta del perfil, el Strain Gauge 1 ubicado en la parte inferior registró mayor esfuerzo que el Strain Gauge 2.

#### 4.3.8. ENSAYO 8 COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES 1

Columna conformada por los perfiles 2C 150x50x2 y como atiesadores los perfiles 2L 20x20x2. El primer tipo de falla en aparecer fue el pandeo local en la parte inferior de la columna, posteriormente se produjo la falla por pandeo flexural.

La carga máxima registrada fue de 61.90 toneladas, se identificó pandeo flexural en la parte intermedia, y zonas de pandeo local en la parte inferior de la columna.

**FIGURA 109** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 1 CON ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 110** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1

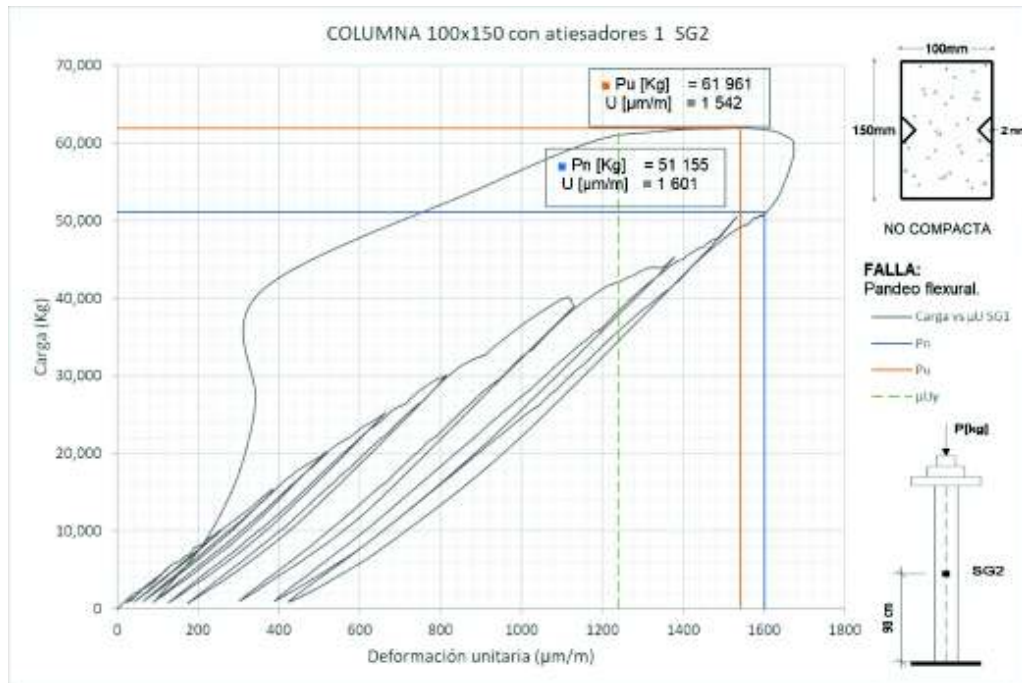
FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 111** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1

FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

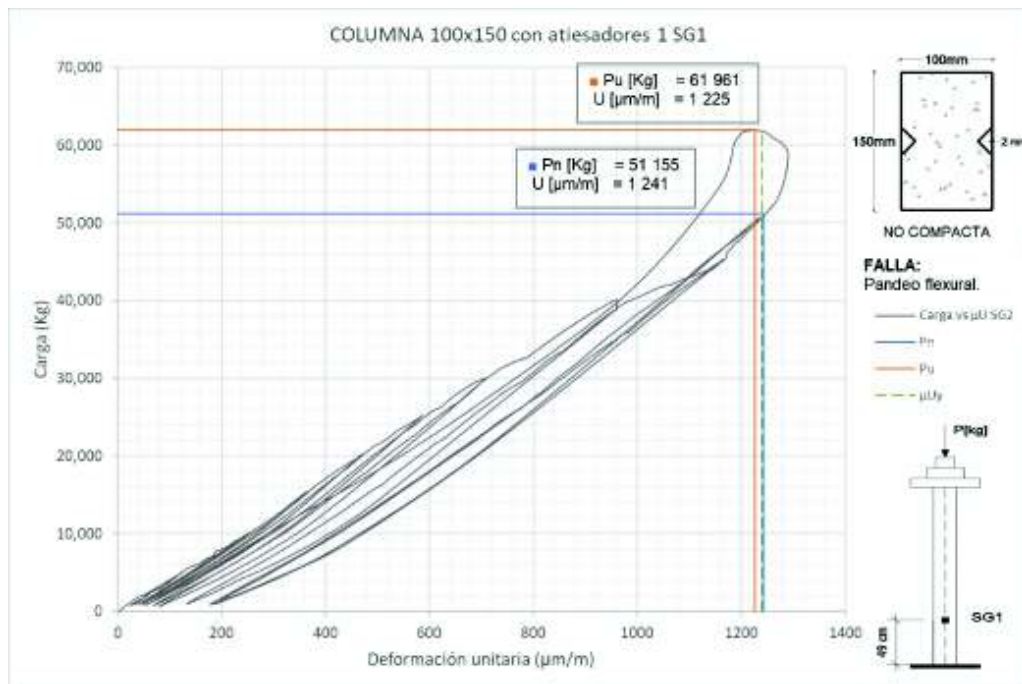


**FIGURA 112** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 113** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1  
COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 1



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

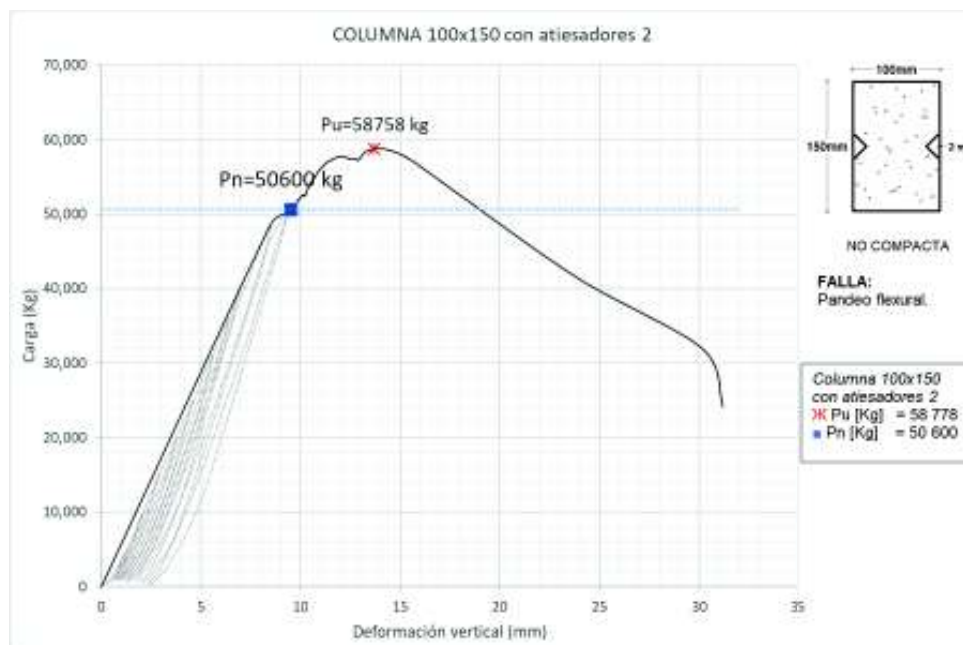
Mediante el análisis de las gráficas elaboradas con los datos registrados por los Strain Gauges 1 y 2 se puede apreciar el pandeo local al inicio de la aplicación de la carga, provocando deformaciones residuales en cada ciclo de carga.

Ante la aplicación de la carga última 61 961 kg, el Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 1542.37  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 3 151.05  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sobrepasando el esfuerzo de fluencia  $f_y$  y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de 1225.73  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 2 504.18  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, sin llegar al esfuerzo de fluencia  $f_y$ .

#### 4.3.9. ENSAYO 9 COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES 2

Columna conformada por los perfiles 2C 150x50x2 y como atiesadores los perfiles 2L 20x20x2, el tipo de falla de esta columna fue fenómeno de pandeo flexural al igual que el segundo ensayo la zona central fue donde se dio la mayor deformación. La carga máxima registrada fue de 58.70 toneladas. Se identificó también dos zonas de pandeo local en zonas cercanas a los extremos, lo cuales aparecieron casi al mismo momento que empezó el pandeo flexural.

**FIGURA 114** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 115** ENSAYO COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

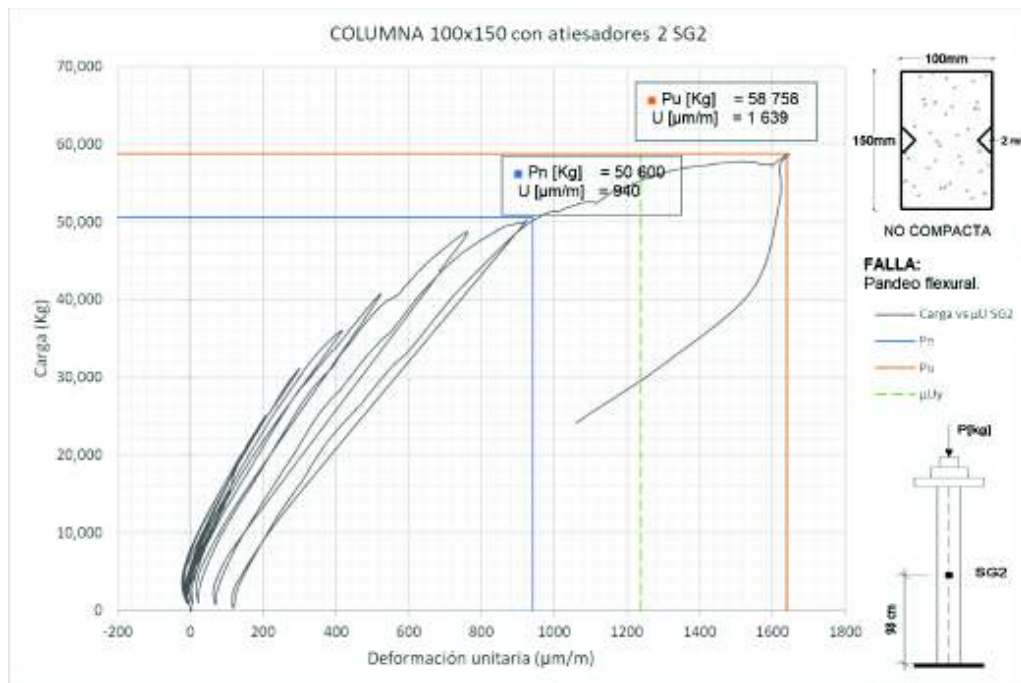
**FIGURA 116** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

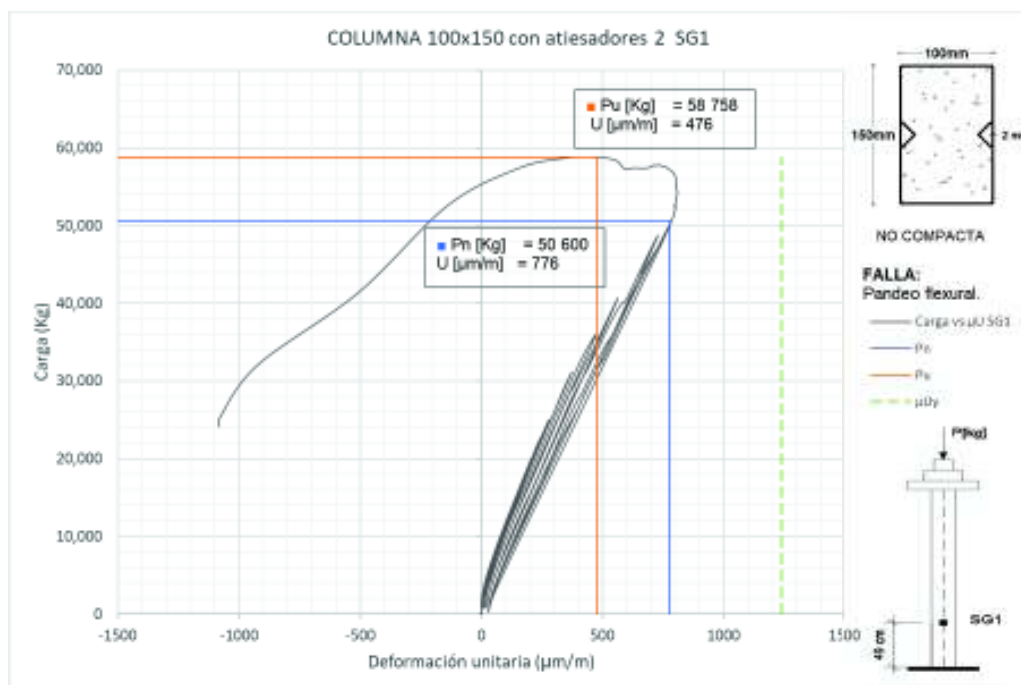


**FIGURA 117** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 2  
COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

**FIGURA 118** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN UNITARIA STRAIN GAUGE 1  
COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES 2



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Mediante el análisis de las gráficas elaboradas con los datos registrados por los Strain Gauges 1 y 2 se pudo afirmar que debido a la aplicación de la carga última de 58 758 kg se produjo una falla por pandeo flexural.

El Strain Gauge 2 registró una deformación unitaria de 1639.12  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 3 348.73  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción, superando al esfuerzo de plastificación  $f_y$  y el Strain Gauge 1 registro una deformación unitaria de 973.07  $\mu\text{m}/\text{m}$ , correspondiente a un esfuerzo de 476.29  $\text{kg}/\text{cm}^2$  en tracción.

#### 4.3.10. ANÁLISIS RESULTADOS EXPERIMENTALES

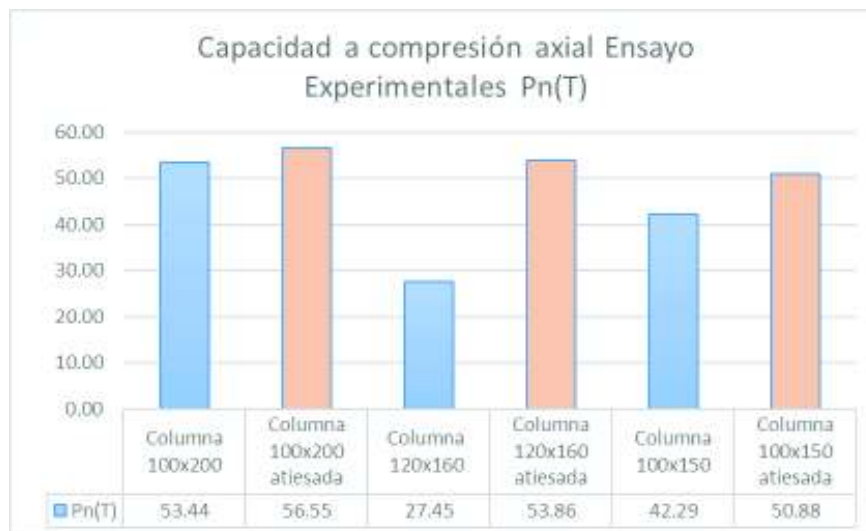
Para los resultados de las columnas compuestas con atesadores intermedios, realizó una media aritmética con los dos resultados obtenidos experimentalmente.

**TABLA 53** CAPACIDAD A CARGA AXIAL EXPERIMENTAL DE LAS COLUMNAS COMPUESTAS

Descripción	Pn(T)	Tipo de falla
Columna 100x200	53.44	Pandeo Local
Columna 100x200 atiesada	56.55	Pandeo Flexural
Columna 120x160	27.45	Pandeo Local
Columna 120x160 atiesada	53.86	Pandeo Flexural
Columna 100x150	42.29	Pandeo Local
Columna 100x150 atiesada	50.88	Pandeo Flexural

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 119** CAPACIDAD A COMPRESIÓN DE LAS SECCIONES MÉTODO EXPERIMENTAL



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Experimentalmente se puede observar que existe un aumento significativo en capacidad a compresión axial en las columnas con atiesadores intermedios.

Las columnas que no poseen atiesadores intermedios se pandean localmente como se esperaba en varias zonas especialmente en los extremos, hasta que la compresión aumenta llegan a fallar lateralmente.

Las columnas con atiesadores intermedios pandean lateralmente.

Para la determinación de la capacidad a carga axial de las columnas con atiesadores intermedios se realizó una media aritmética con los resultados obtenido en los ensayos experimentales.

**TABLA 54** PORCENTAJE DE VARIACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA AXIAL POR EL USO DE ATIESADORES SEGÚN LA NORMA AUSTRALIANA

	Exp (T)	% Incremento Pn
Columna 100x200	53.44	6%
Columna 100x200 atiesada	56.55	
Columna 120x160	27.45	96%
Columna 120x160 atiesada	53.86	
Columna 100x150	42.29	20%
Columna 100x150 atiesada	50.88	

ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Mediante el análisis de los datos se procedió a descartar la capacidad de carga de la sección 120x160 sin atiesadores intermedios, esto debido los problemas mencionado en el apartado 4.3.4

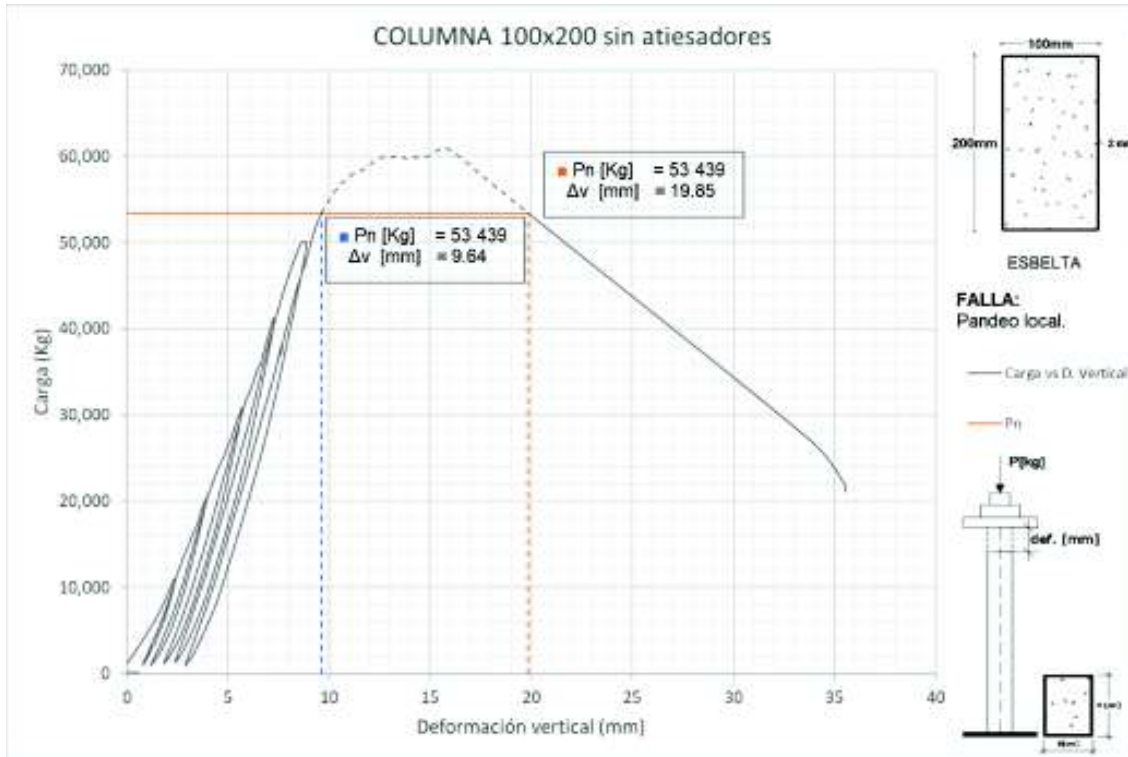
#### **4.3.11. ANÁLISIS DUCTILIDAD DE LAS COLUMNAS EN BASE A RESULTADOS EXPERIMENTALES**

El análisis de ductilidad de las columnas se realizó mediante la relación de la deformación vertical registrada por el LVDT para la carga Pn.

Para el análisis de este parámetro se consideró únicamente un ensayo experimental.

## COLUMNA 100X200 SIN ATIESADORES

**FIGURA 120** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

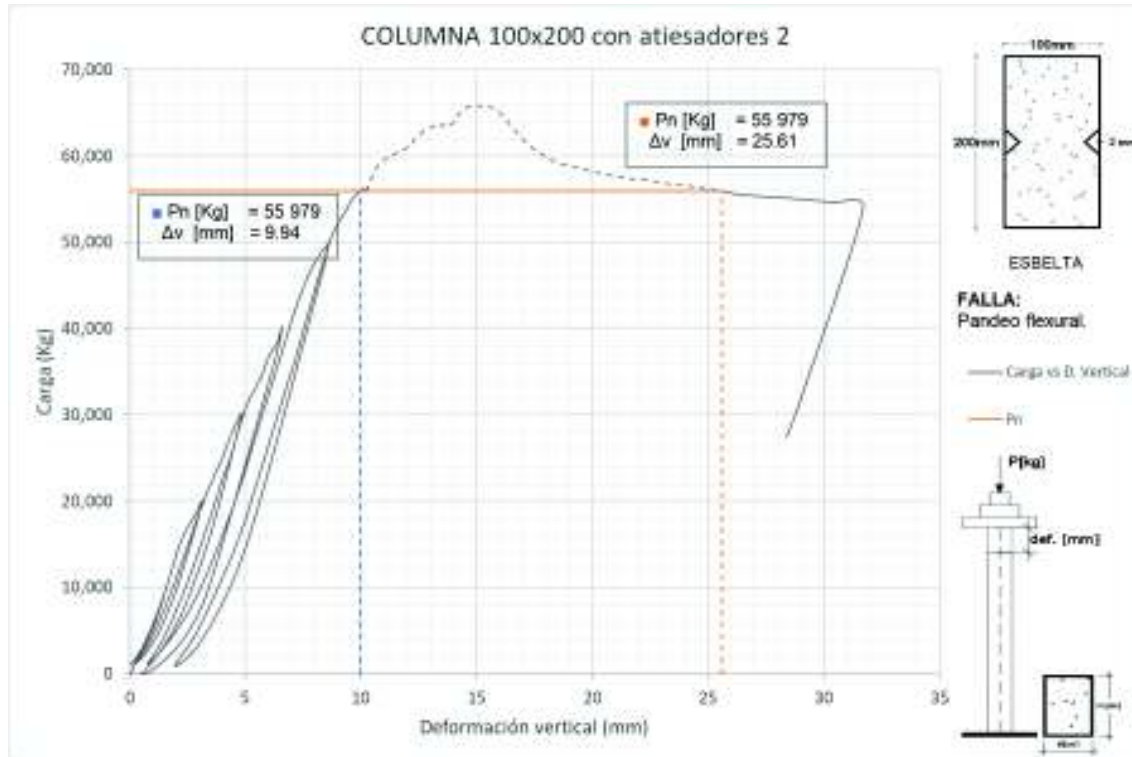
$$\delta = \frac{\Delta 2_{Pn}}{\Delta 1_{Pn}}$$

$$\delta = \frac{19.85}{9.64}$$

$$\delta = 2.06$$

## COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES

**FIGURA 121** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

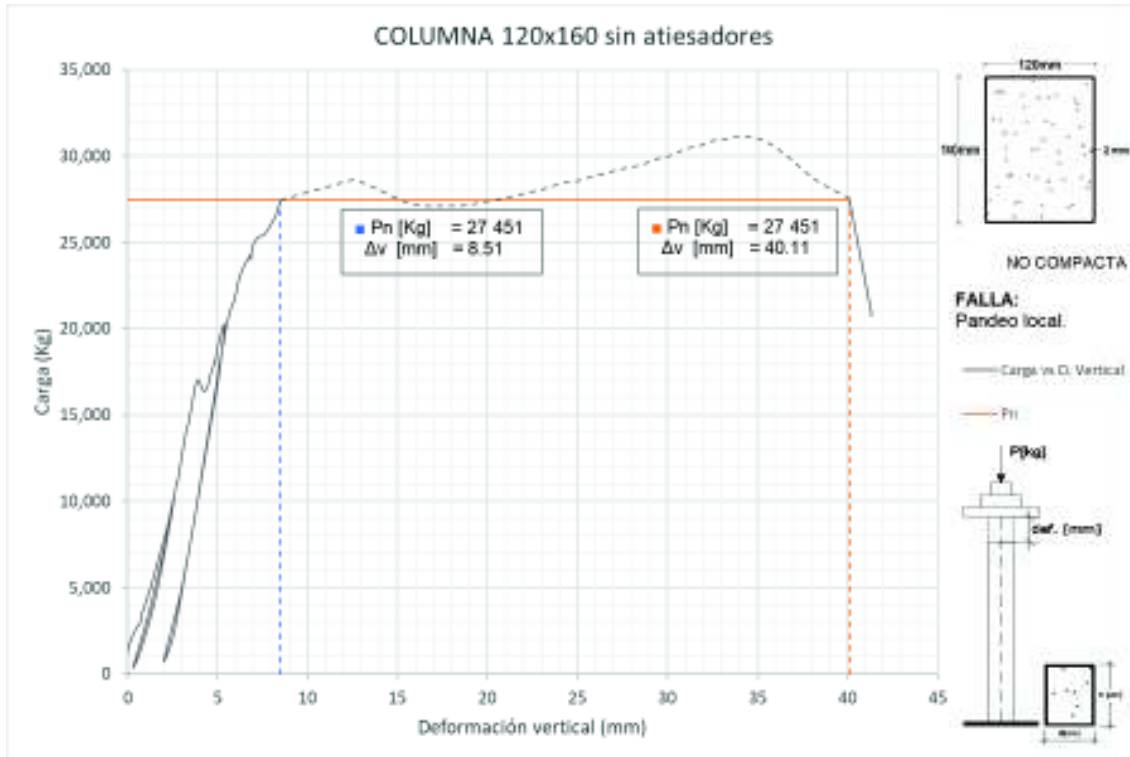
$$\delta = \frac{\Delta 2_{Pn}}{\Delta 1_{Pn}}$$

$$\delta = \frac{25.61}{9.94}$$

$$\delta = 2.58$$

## COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES

**FIGURA 122** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

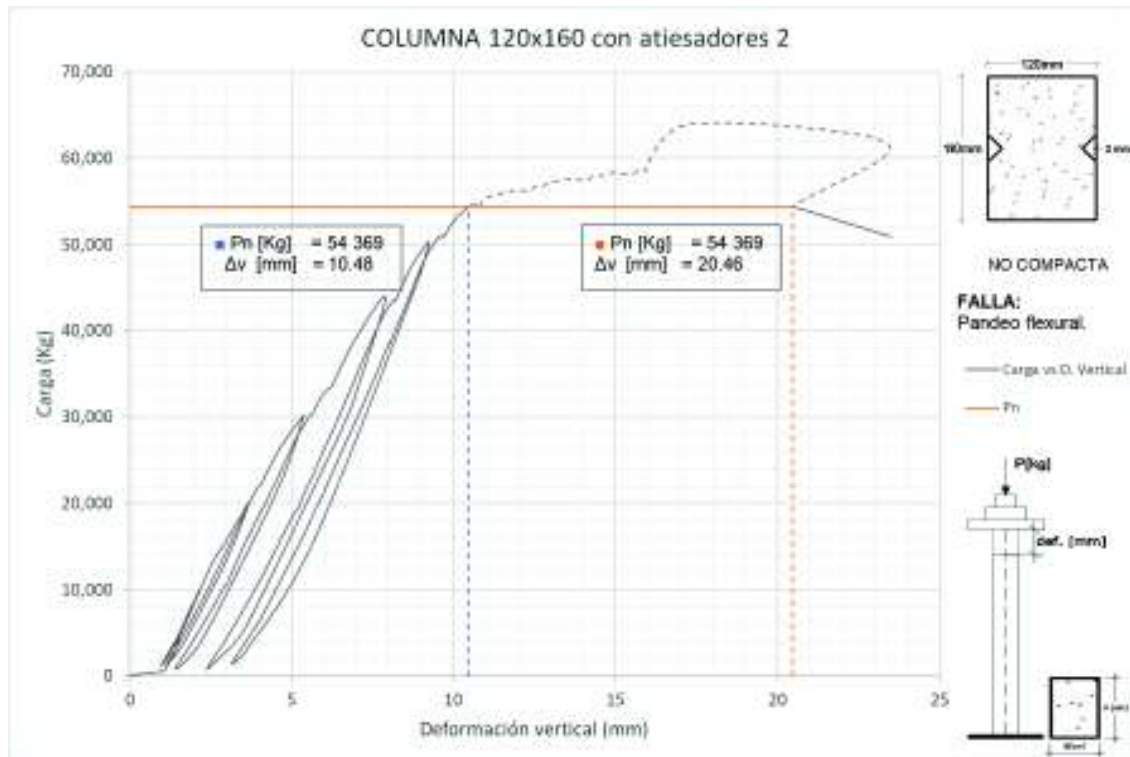
$$\delta = \frac{\Delta 2_{Pn}}{\Delta 1_{Pn}}$$

$$\delta = \frac{40.11}{8.51}$$

$$\delta = 4.72$$

## COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES

**FIGURA 123** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

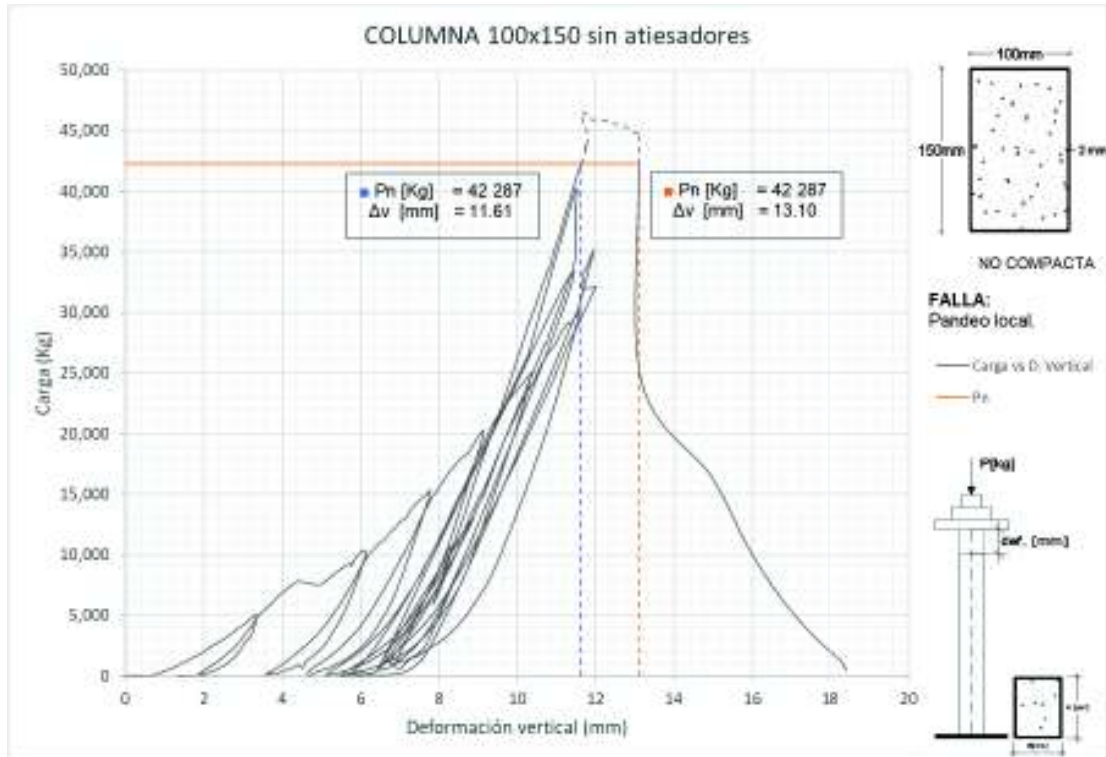
$$\delta = \frac{\Delta 2_{P_n}}{\Delta 1_{P_n}}$$

$$\delta = \frac{20.46}{10.48}$$

$$\delta = 1.95$$

## COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES

**FIGURA 124** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

$$\delta = \frac{\Delta 2_{P_n}}{\Delta 1_{P_n}}$$

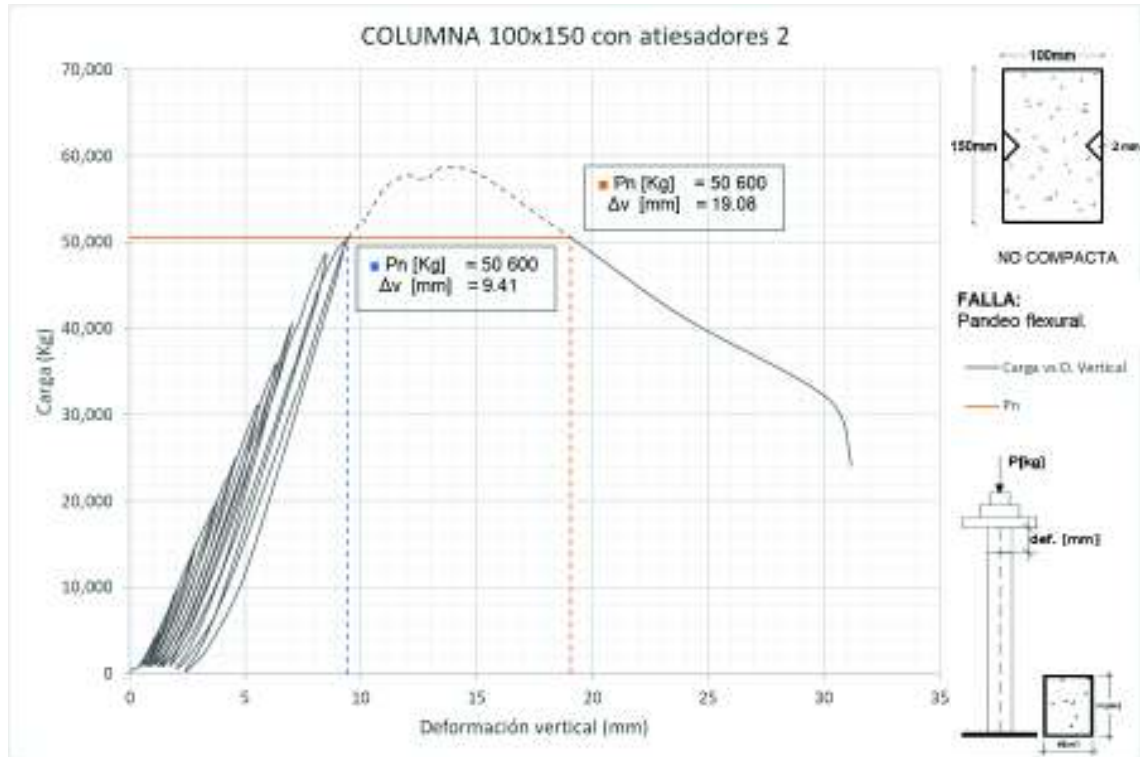
$$\delta = \frac{13.10}{11.61}$$

$$\delta = 1.13$$



## COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES

**FIGURA 125** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

$$\delta = \frac{\Delta 2_{Pn}}{\Delta 1_{Pn}}$$

$$\delta = \frac{19.08}{9.41}$$

$$\delta = 2.03$$

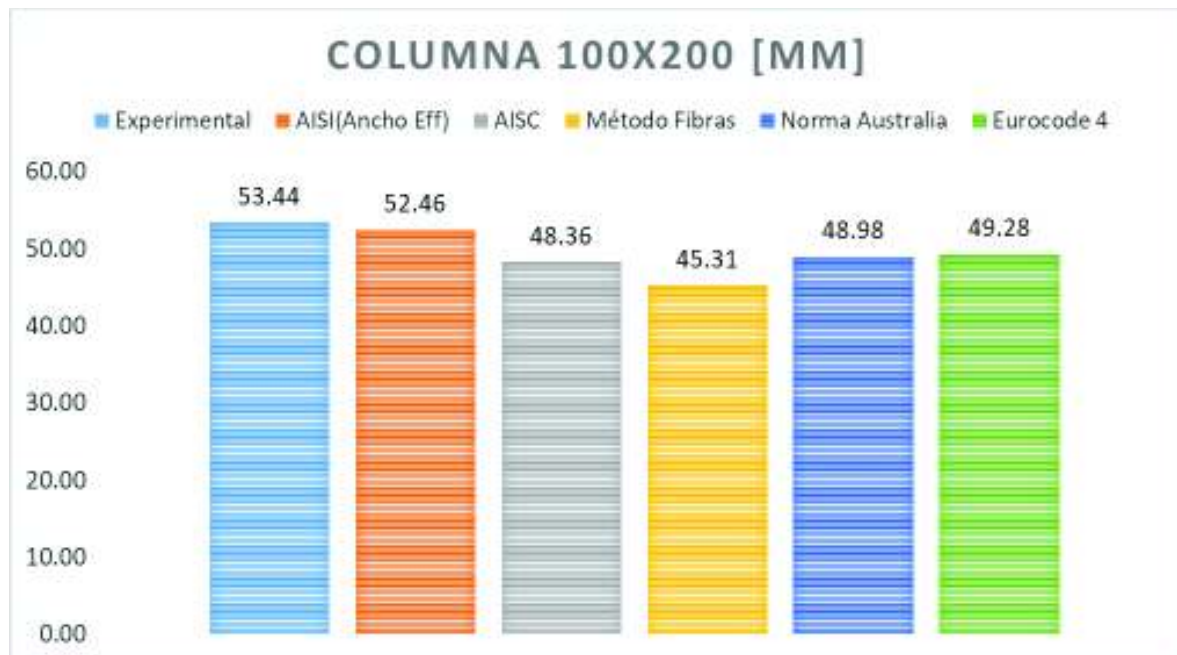
## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS

#### 5.1. COMPARACIÓN TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE RESULTADOS

##### 5.1.1. COLUMNA COMPUESTA 100X200 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

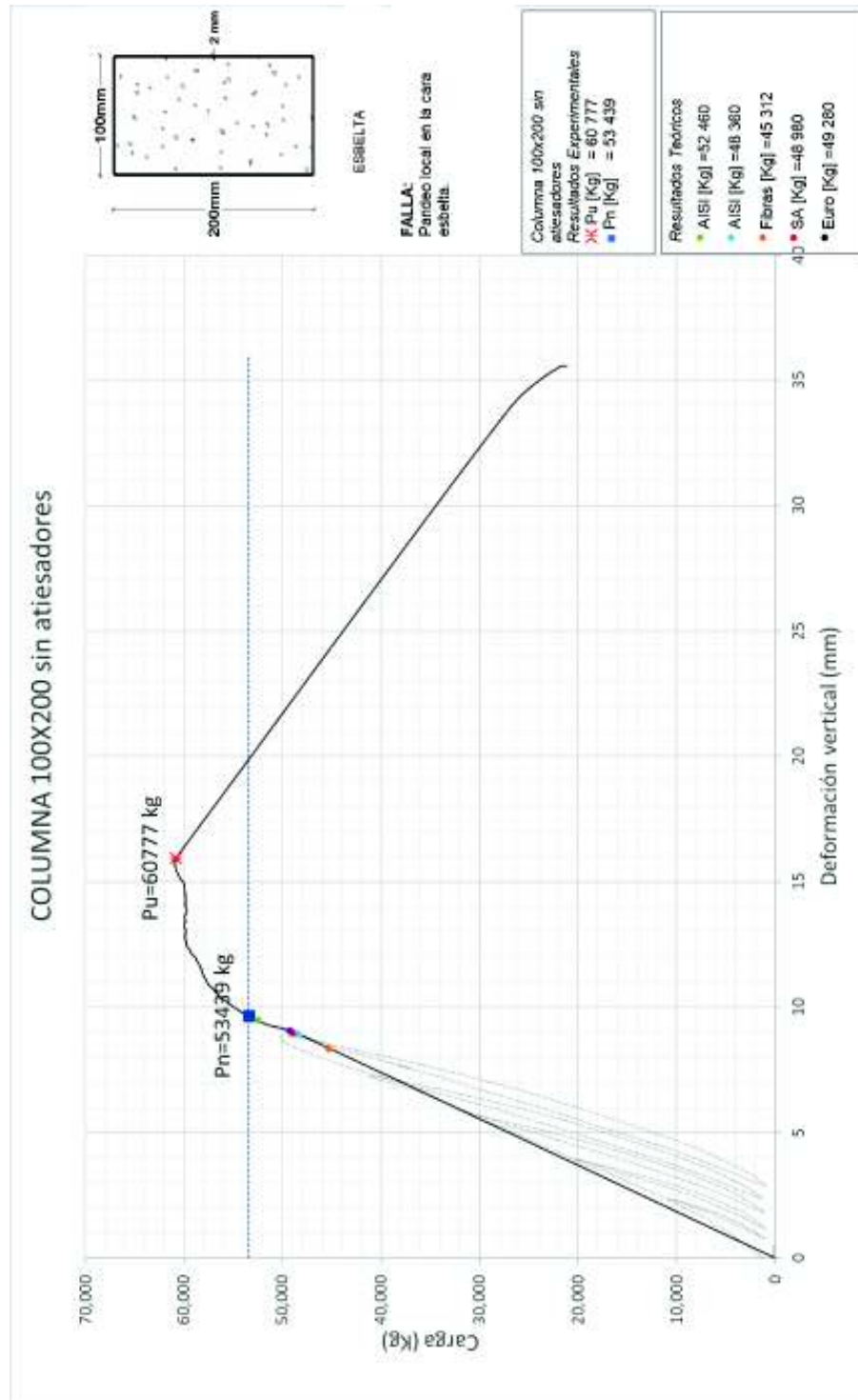
**FIGURA 126** CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X200 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Entre los valores obtenidos por los métodos AISI, AISC, Fibras, Australia y Eurocódigo existe una variación de carga con los resultados experimentales de 2%, 10%, 15%, 8% y 8% respectivamente. El resultado teórico más cercano al experimental es el Método AISI S100-16 Ancho Efectivo, presentado una variación de 0.98 toneladas

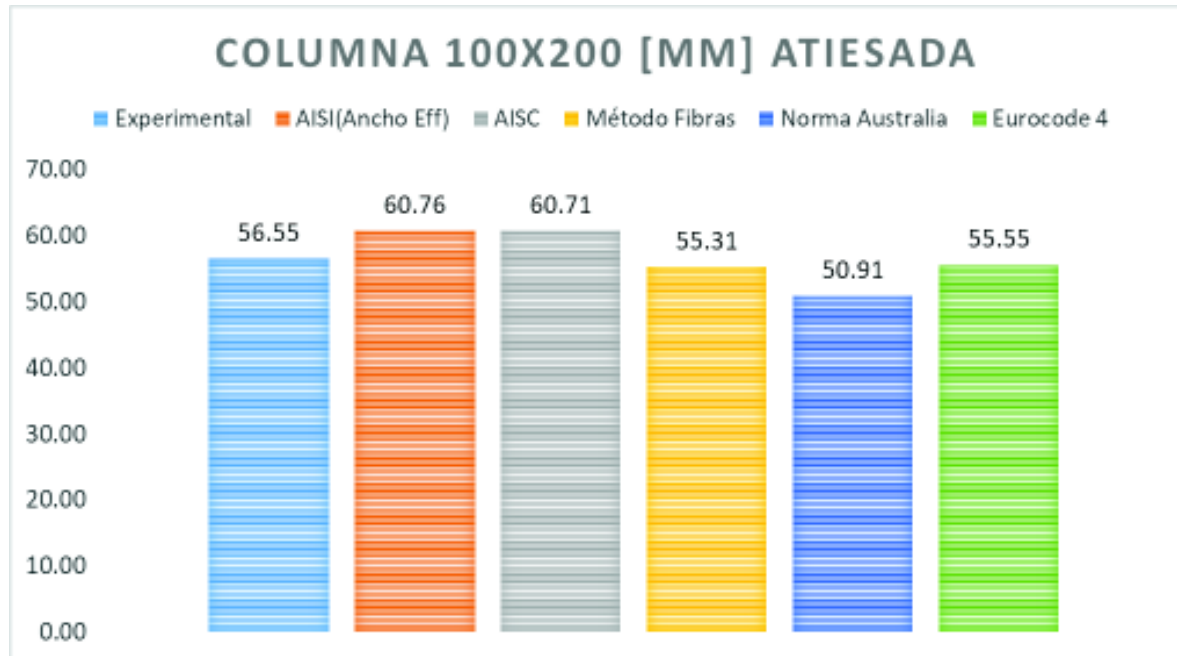
**FIGURA 127** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X200 SIN ATIESADORES CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### 5.1.2. COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

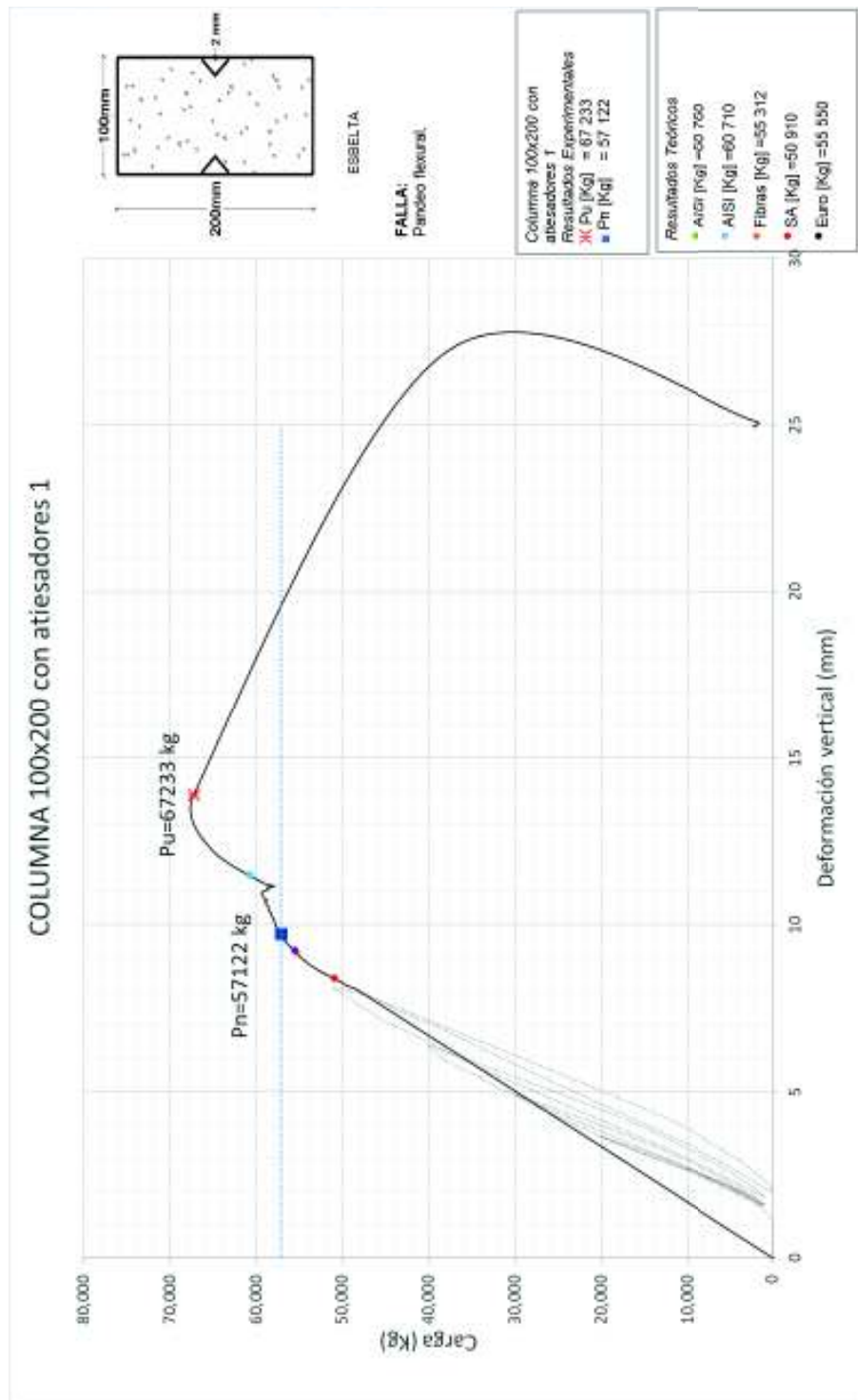
**FIGURA 128** CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

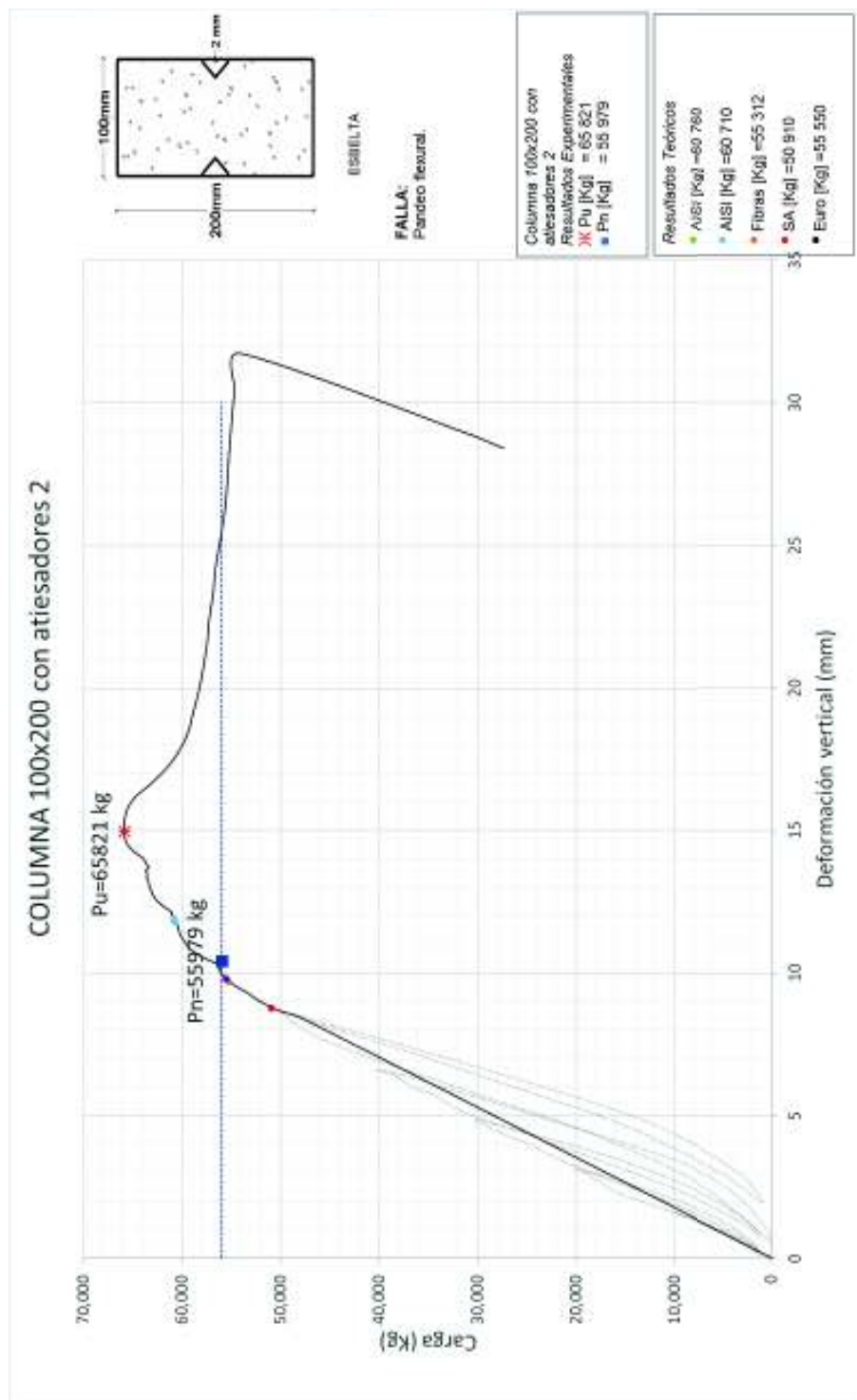
Entre los valores obtenidos por los métodos AISI, AISC, Fibras, Australia y Eurocódigo existe una variación de carga con los resultados experimentales de 7%, 7%, 2%, 10% y 2% respectivamente. Los resultados teóricos más cercanos al experimental son los métodos Fibras y Eurocódigo 4, con una variación de carga de 1.24 y 1.00 toneladas respectivamente.

**FIGURA 129** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X200 CON ATIESADORES 1 CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

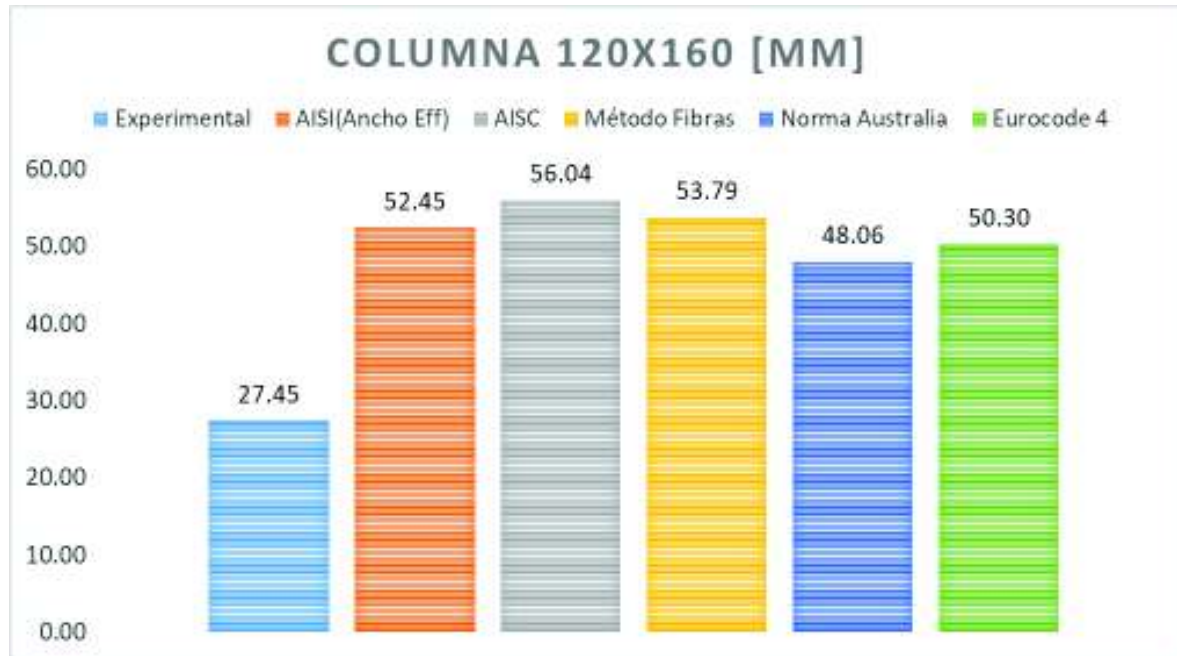
**FIGURA 130** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X200 CON ATIESADORES 2 CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### 5.1.3. COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

**FIGURA 131** CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES

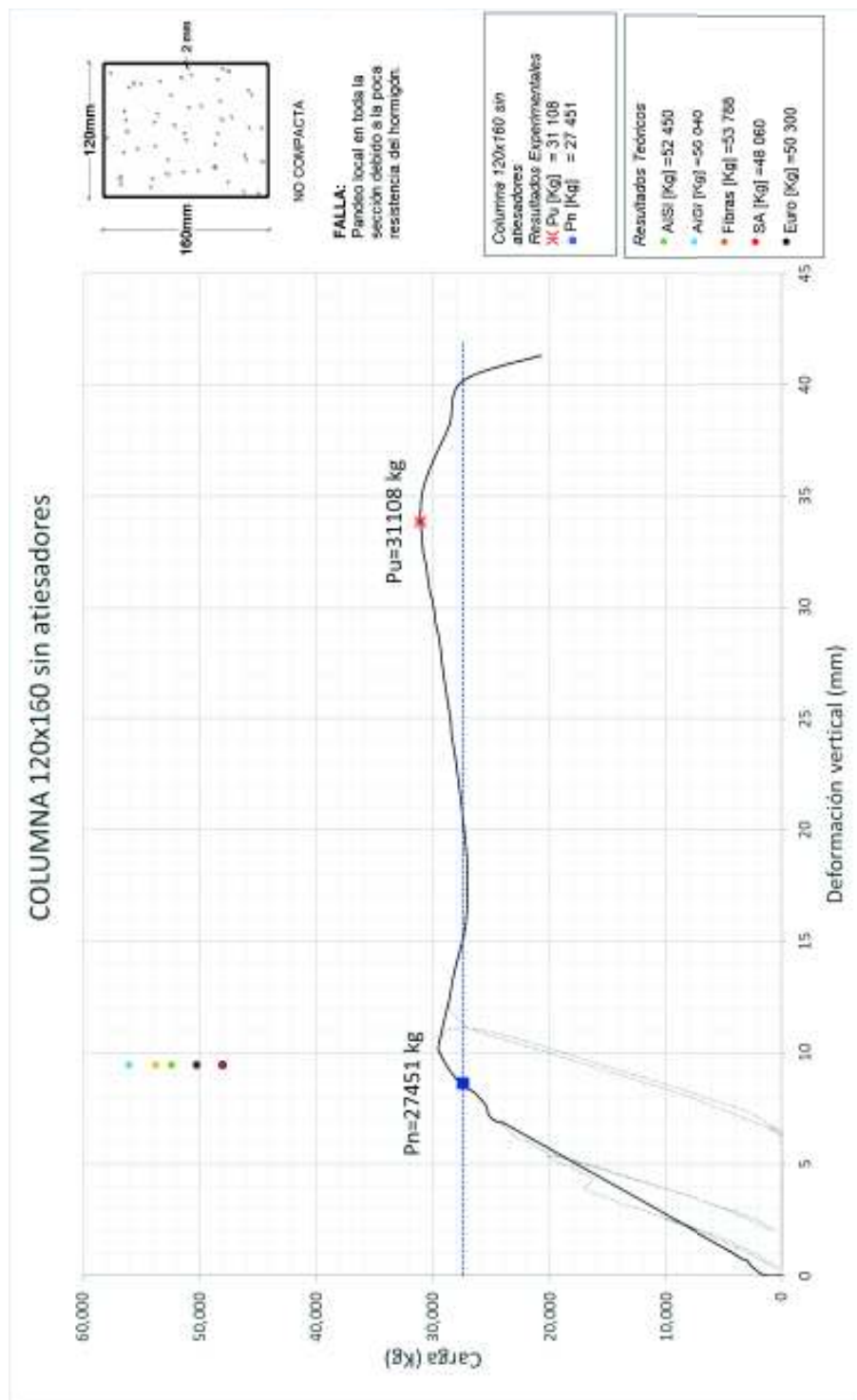


ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Para el análisis de capacidad de carga axial de la sección compuesta 120x160 se descarta el resultado obtenido de manera experimental, debido a que difiere de manera muy significativa de los resultados obtenidos teóricamente.

La capacidad experimental a compresión de la sección 120x160 sin atiesadores se justifica en el capítulo 4.3.4.

**FIGURA 132** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 120X160 SIN ATIESADORES CON RESULTADOS TEÓRICOS

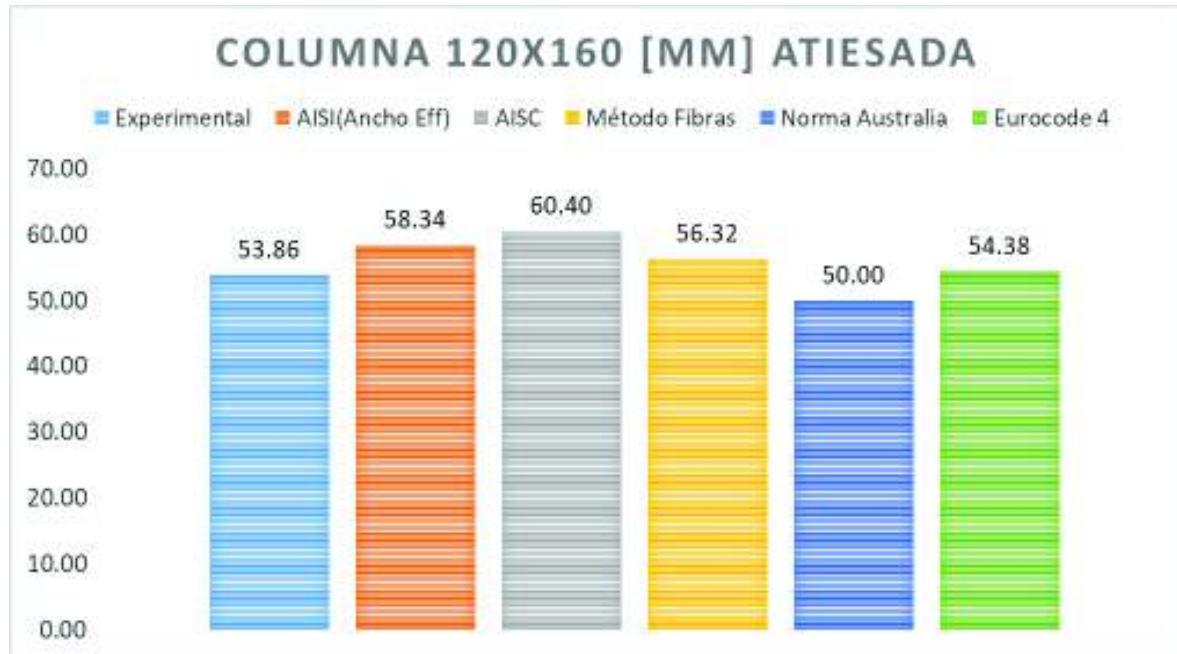


ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.



#### 5.1.4. COLUMNA COMPUESTA 120X160 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

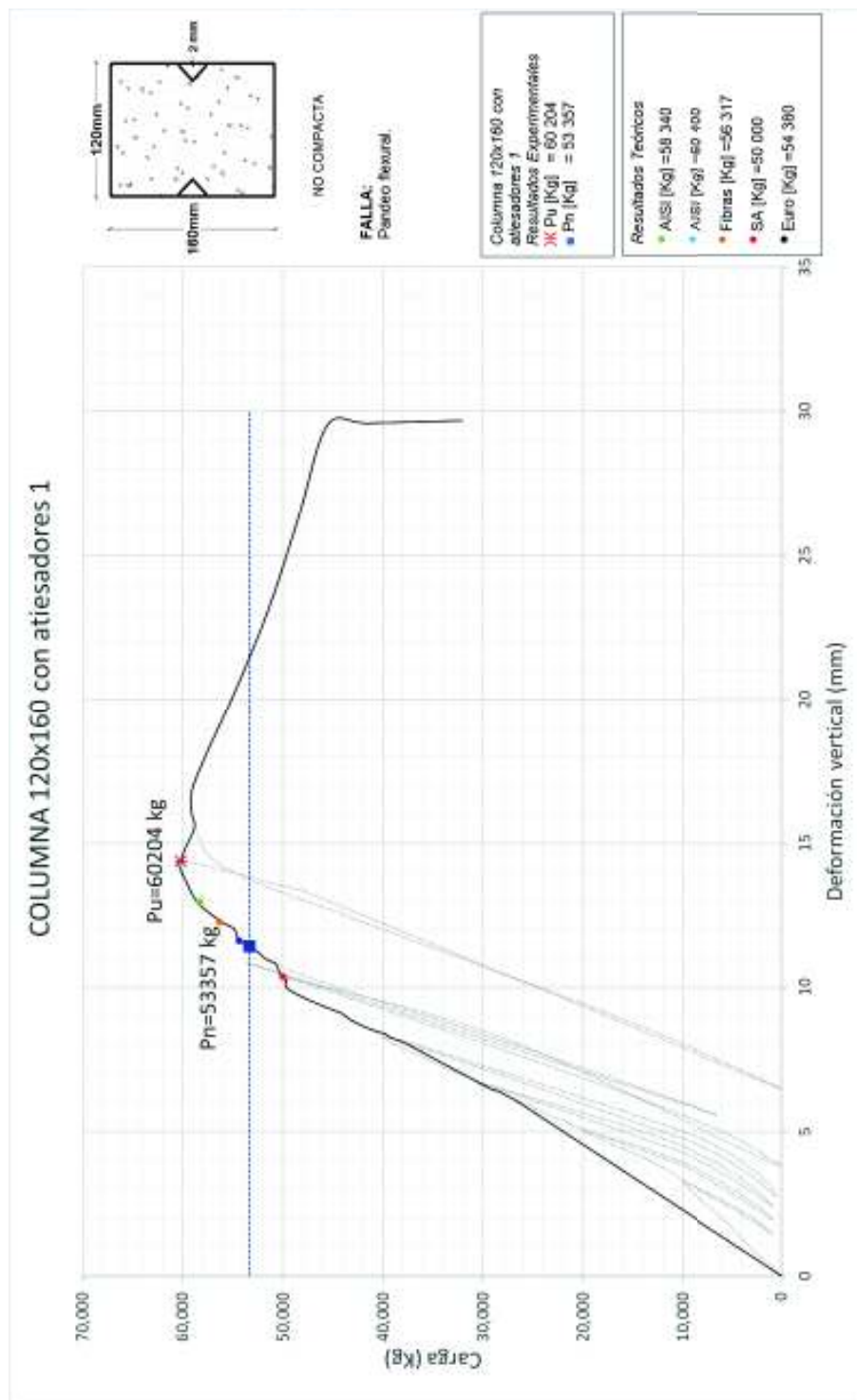
**FIGURA 133** CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 120X160 CON ATIESADORES INTERMEDIOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

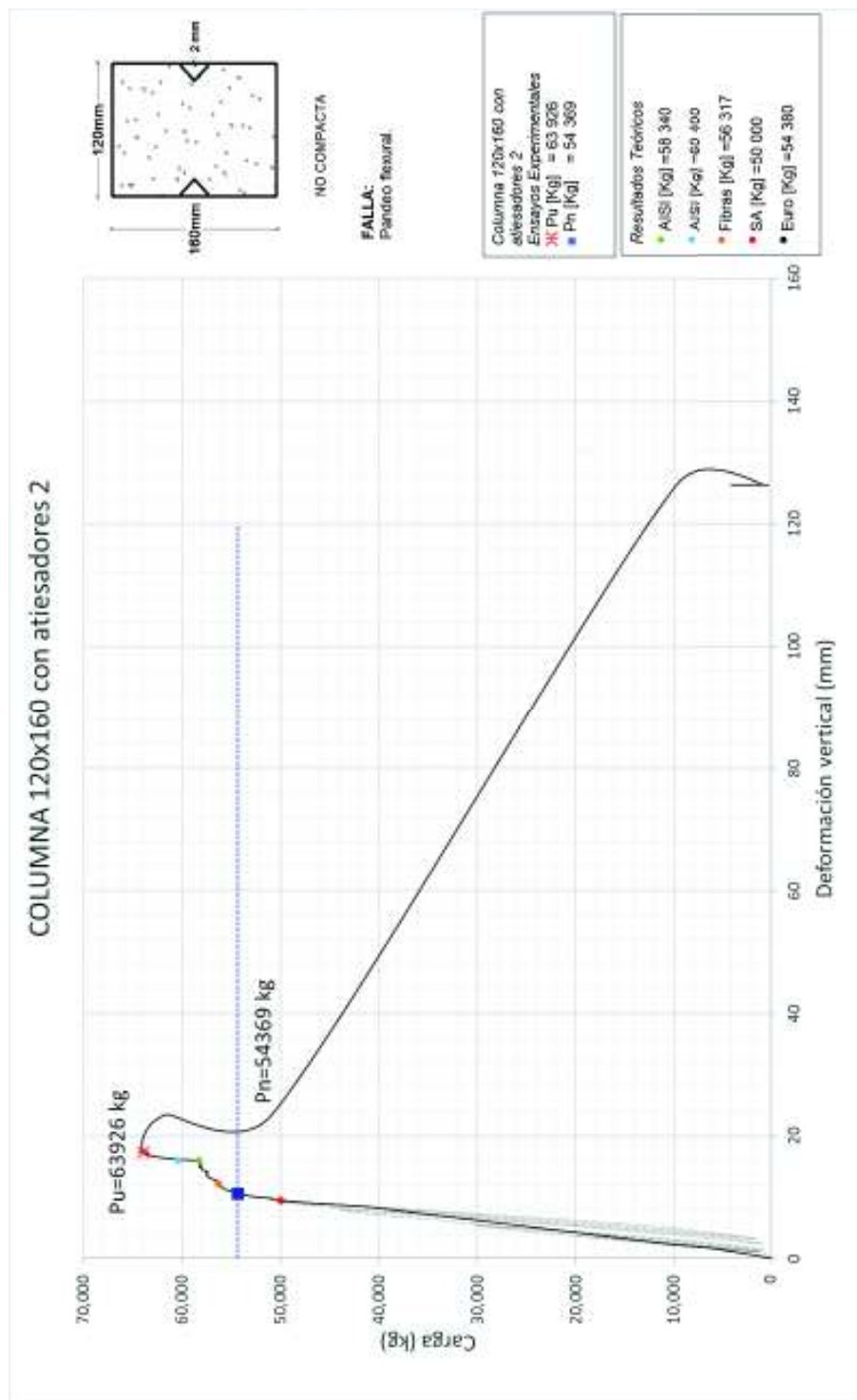
Entre los valores obtenidos por los métodos AISI, AISC, Fibras, Australia y Eurocódigo existe una variación de carga con los resultados experimentales de 8%, 12%, 5%, 7% y 1% respectivamente. El resultado teórico más cercano al experimental es el Método Eurocódigo 4, presentado una variación de 0.52 toneladas.

**FIGURA 134** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 120X160 CON ATIESADORES 1 CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

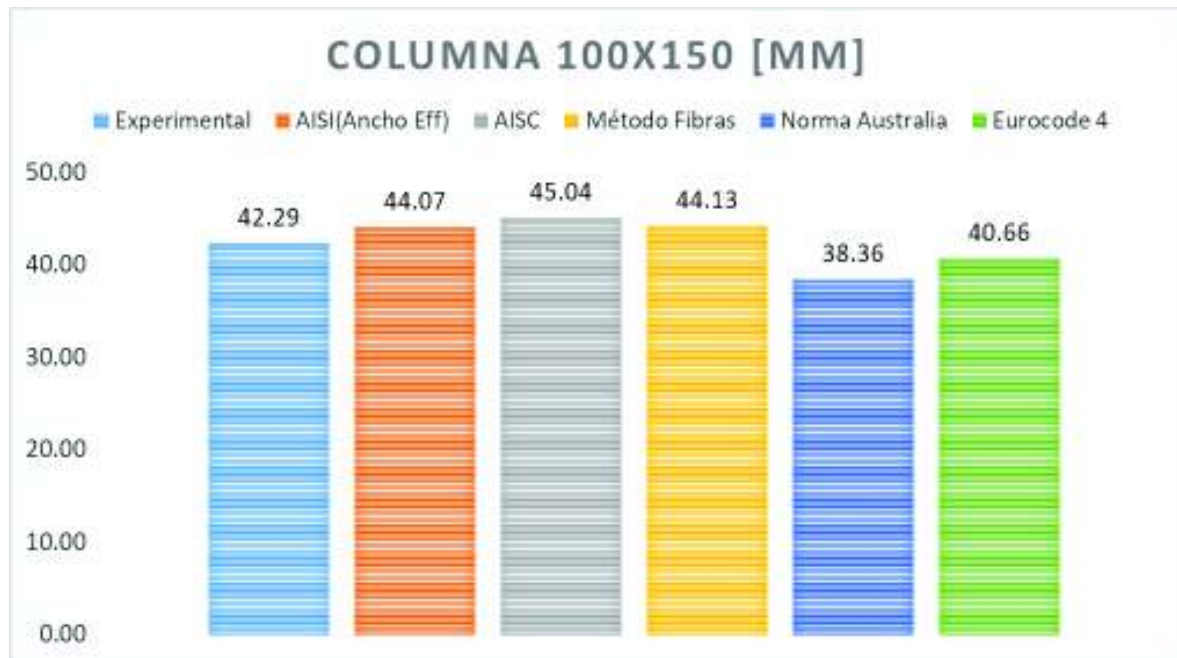
**FIGURA 135** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 120X160 CON ATIESADORES 2 CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

### 5.1.5. COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

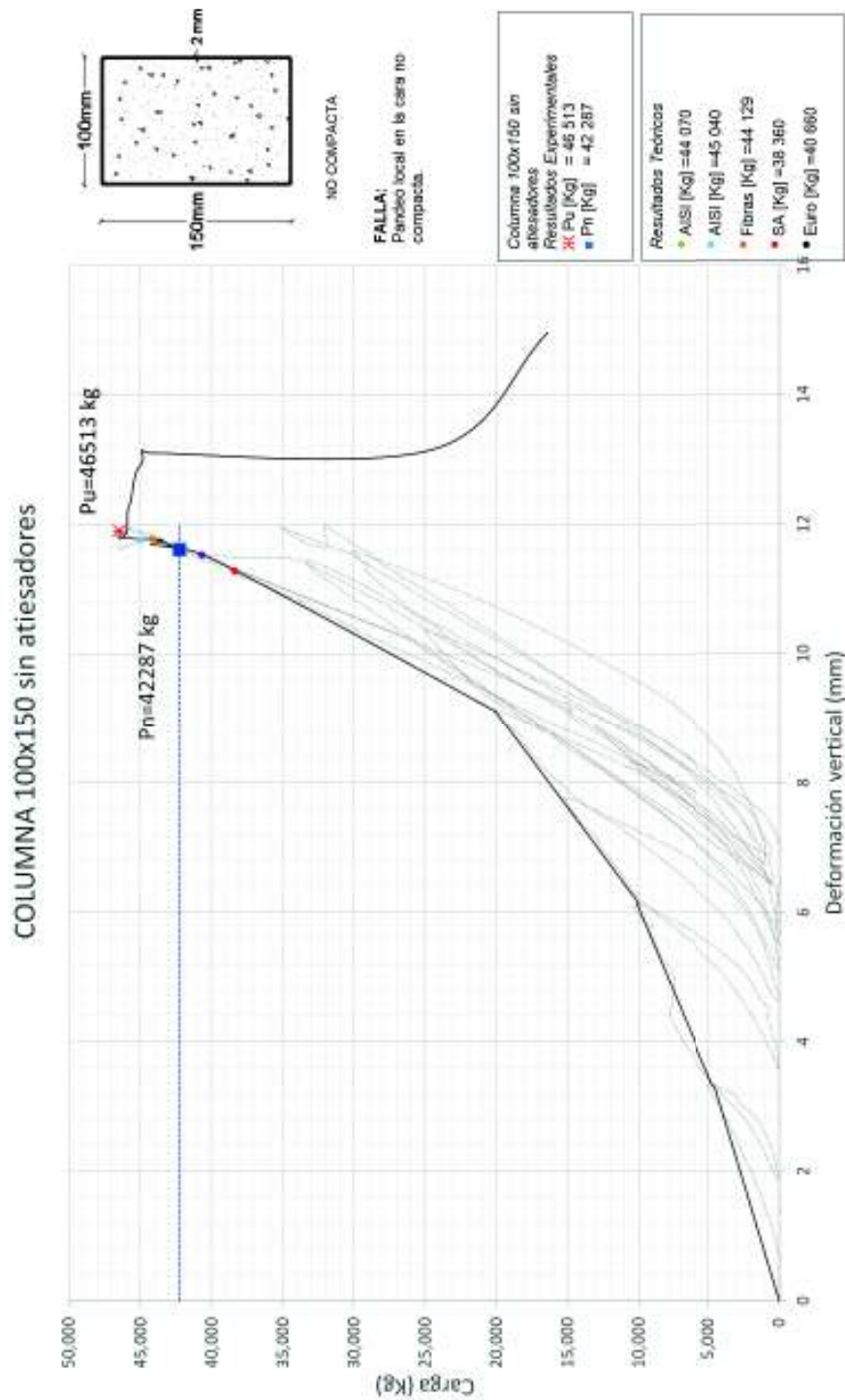
**FIGURA 136** CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Entre los valores obtenidos por los métodos AISI, AISC, Fibras, Australia y Eurocódigo existe una variación de carga con los resultados experimentales de 4%, 7%, 4%, 9% y 4% respectivamente. Los resultados teóricos más cercanos al experimental son los métodos AISI Ancho efectivo, Fibras y Eurocódigo 4, con una variación de carga de 1.78, 1.84 y 1.63 toneladas respectivamente.

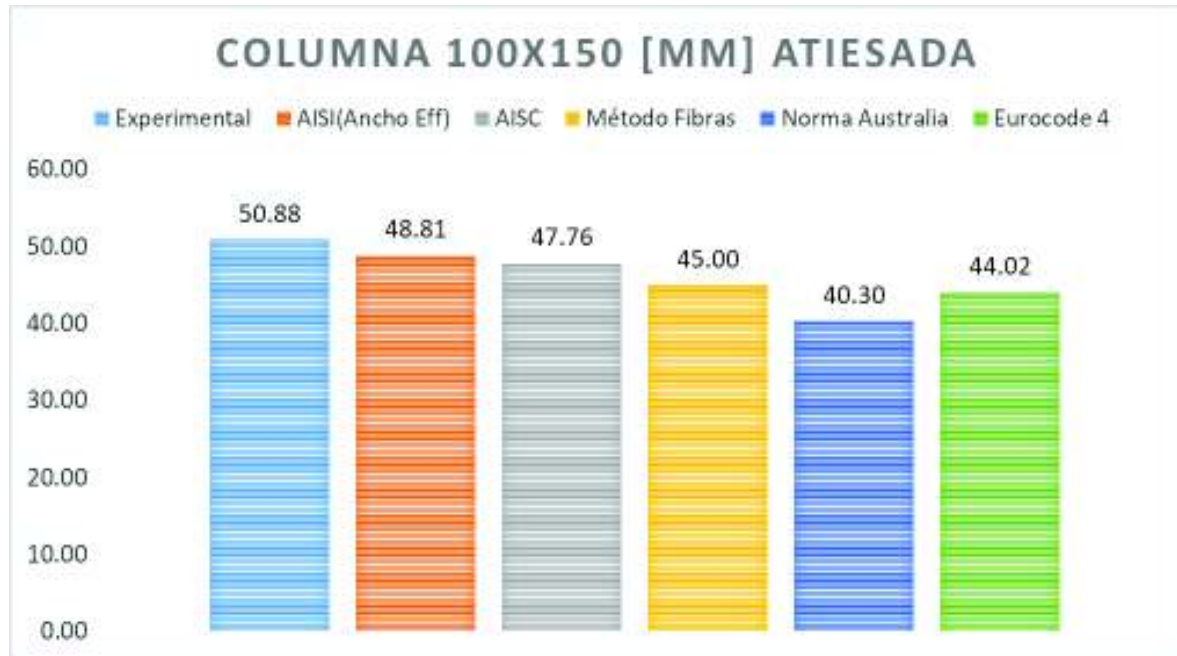
**FIGURA 137** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X150 SIN ATIESADORES CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

### 5.1.6. COLUMNA COMPUESTA 100X150 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

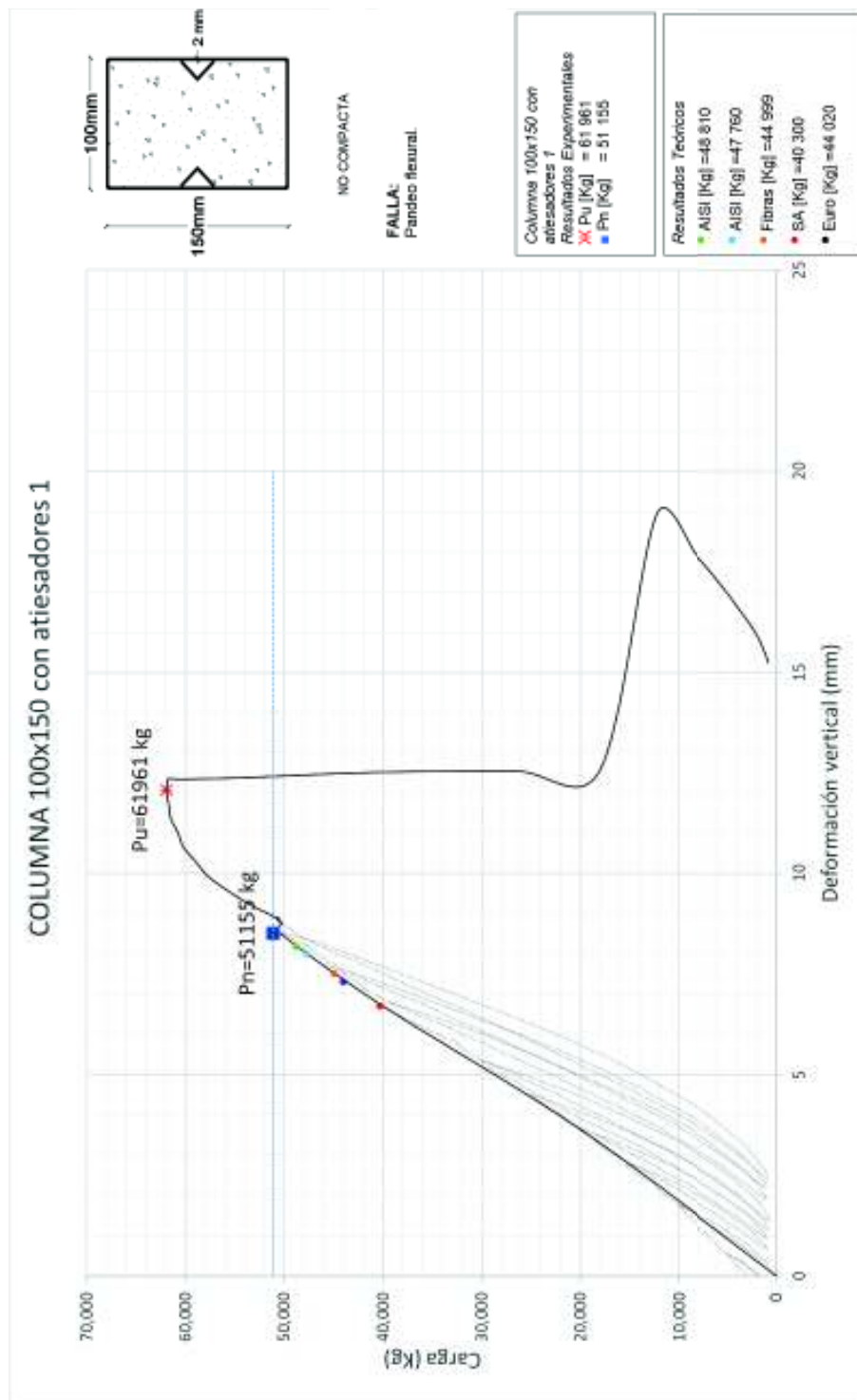
**FIGURA 138** CUADRO COMPARATIVO COLUMNA 100X150 CON ATIESADORES INTERMEDIOS



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Entre los valores obtenidos por los métodos AISI, AISC, Fibras, Australia y Eurocódigo existe una variación de carga con los resultados experimentales de 4%, 6%, 12%, 21% y 13% respectivamente. El resultado teórico más cercano al experimental es el Método AISI Ancho Efectivo, presentado una variación de 2.07 toneladas.

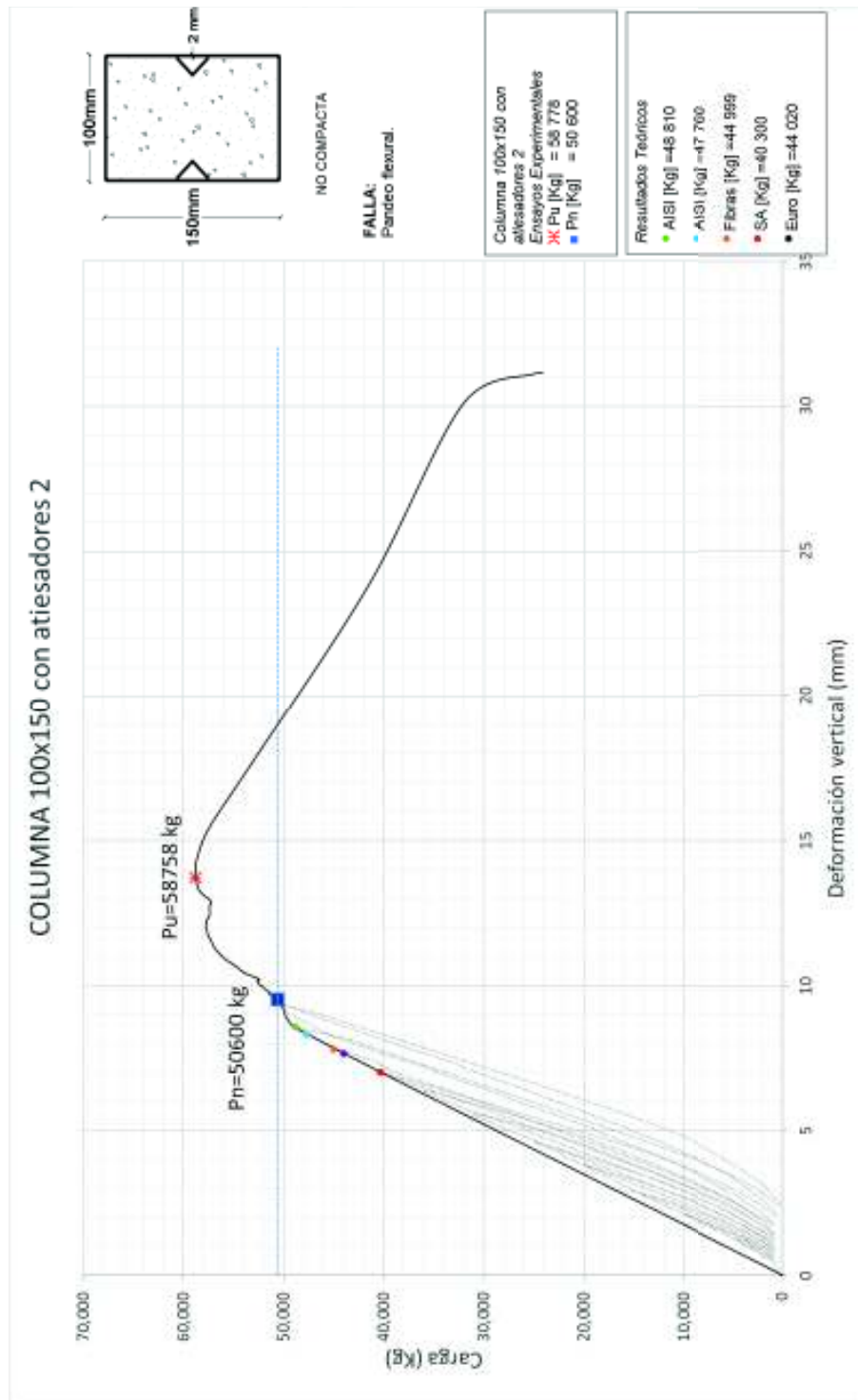
**FIGURA 139** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X150 CON ATIESADORES 1 CON RESULTADOS TEÓRICOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.



**FIGURA 140** GRÁFICO DE COMPARACIÓN ENSAYO EXPERIMENTAL COLUMNAS 100X150 CON ATIESADORES 2 CON RESULTADOS TEÓRICOS

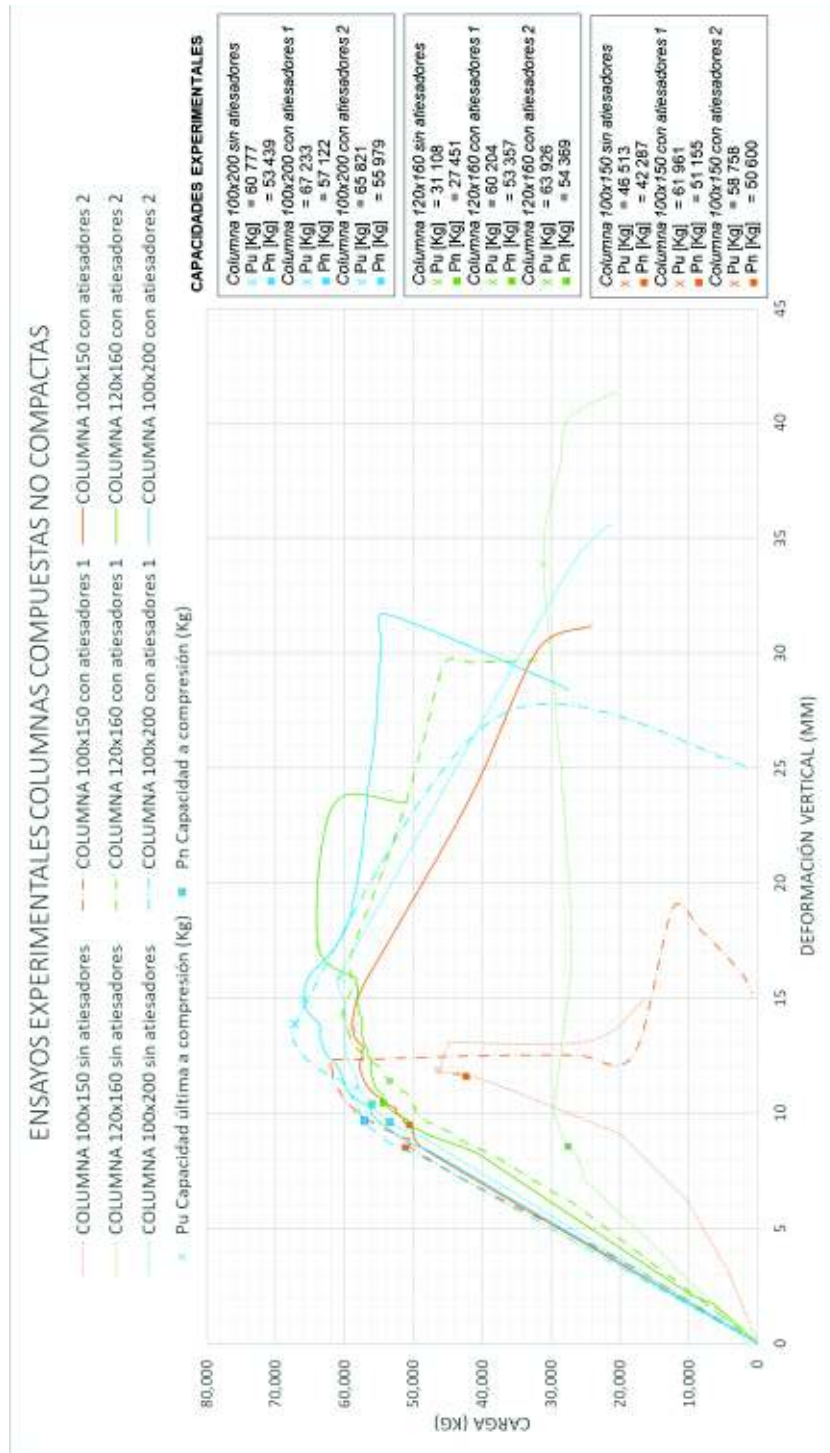


ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.



## 5.2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE COLUMNAS CON Y SIN ATIESADORES

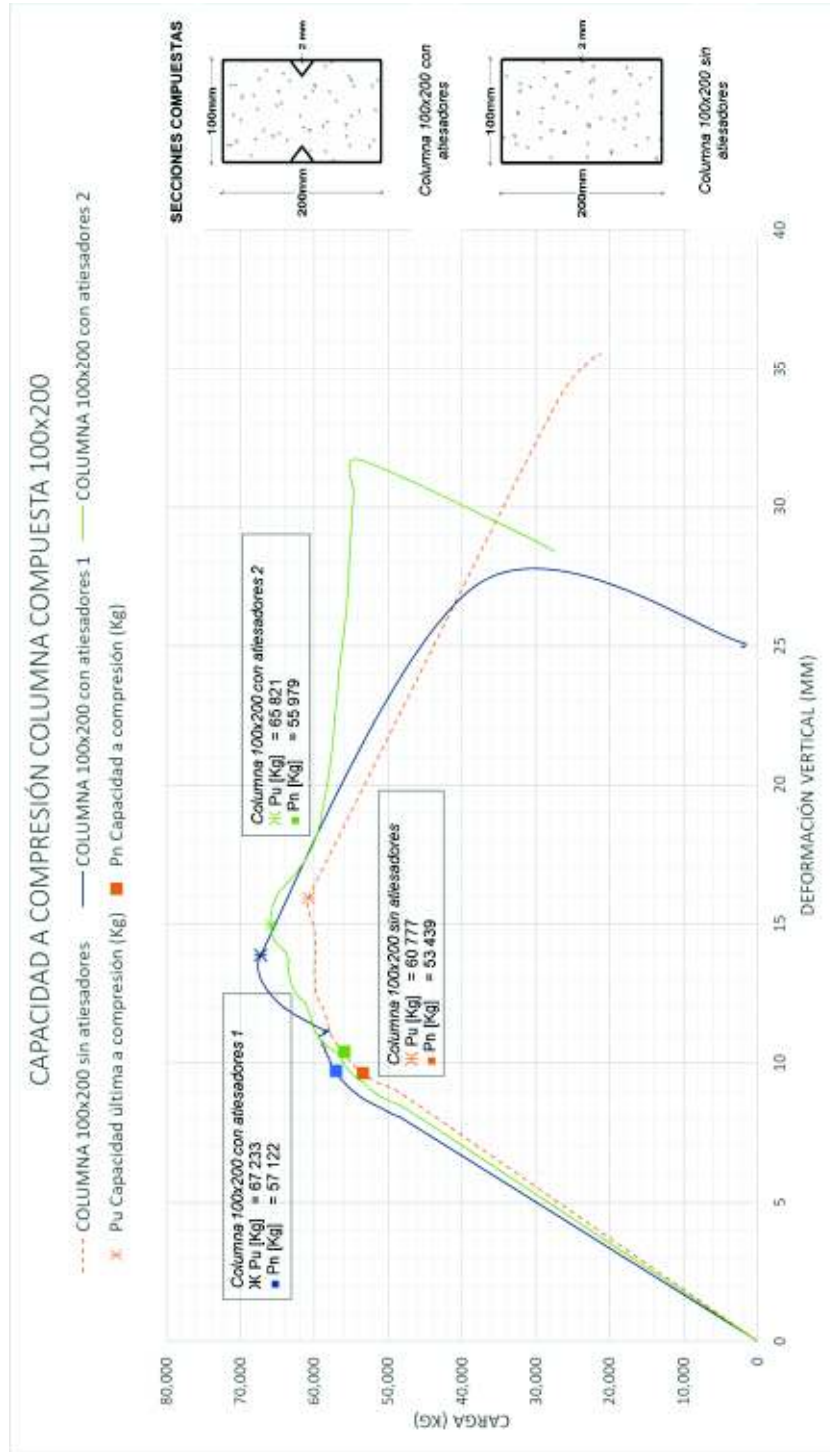
FIGURA 141 GRÁFICO RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LAS COLUMNAS COMPUESTAS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

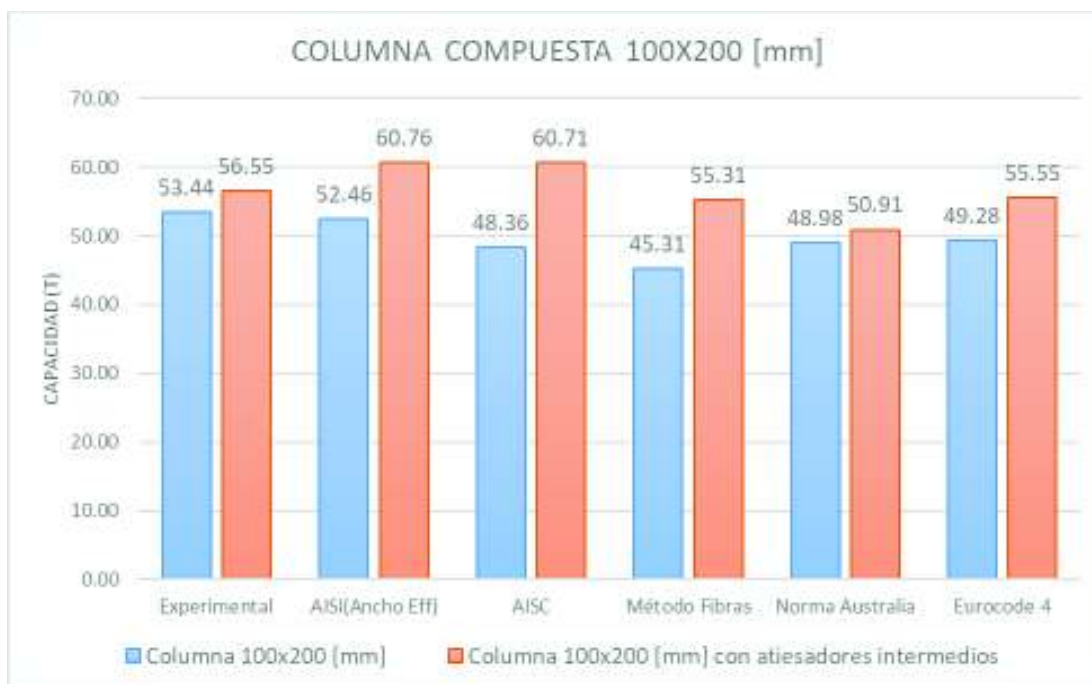
## 5.2.1. COMPARACIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X200

**FIGURA 142** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X200



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

**FIGURA 143** COMPARACIÓN CAPACIDAD A COMPRESIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X200 [mm]



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

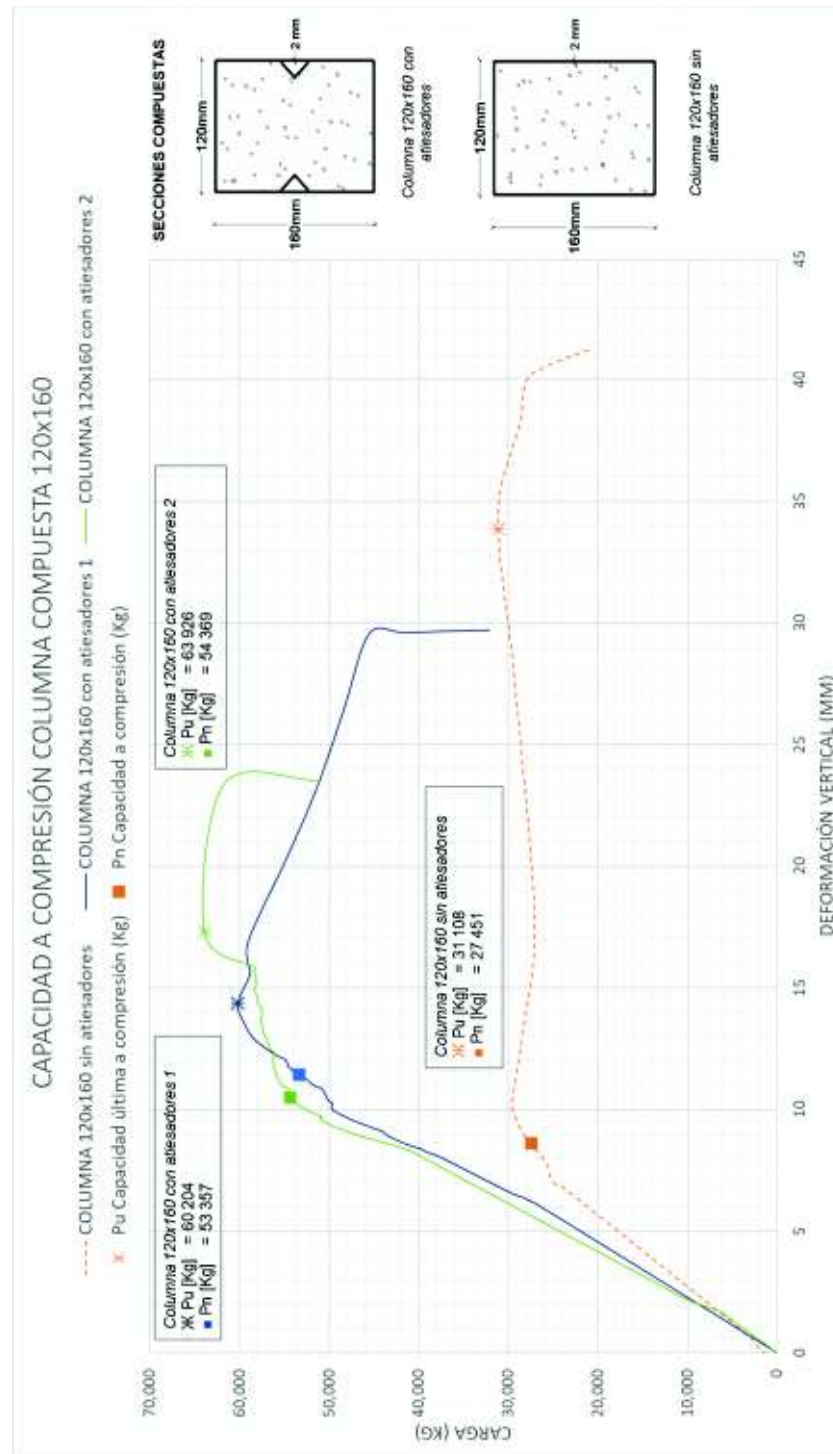
Experimentalmente hay una variación de carga de 3.11 toneladas debido a la colocación de los atiesadores intermedios, que representa el 6% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

La mayor variación de capacidad de carga axial teórica que se produce debido a la colocación de atiesadores intermedios se da en el método AISC 360-16, con una variación de 12.35 toneladas, que representa el 26% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

La menor variación de capacidad de carga axial teórica que se produce debido a la colocación de atiesadores intermedios se da en el método Norma Australiana 5100-6, con una variación de 1.93 toneladas, que representa el 4% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

## 5.2.2. COMPARACIÓN COLUMNA COMPUESTA 120X160

**FIGURA 144** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 120X160



ELABORACIÓN: Conteron-Erao, 2017.

**FIGURA 145** COMPARACIÓN CAPACIDAD A COMPRESIÓN COLUMNA COMPUESTA 120X160 [mm]



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

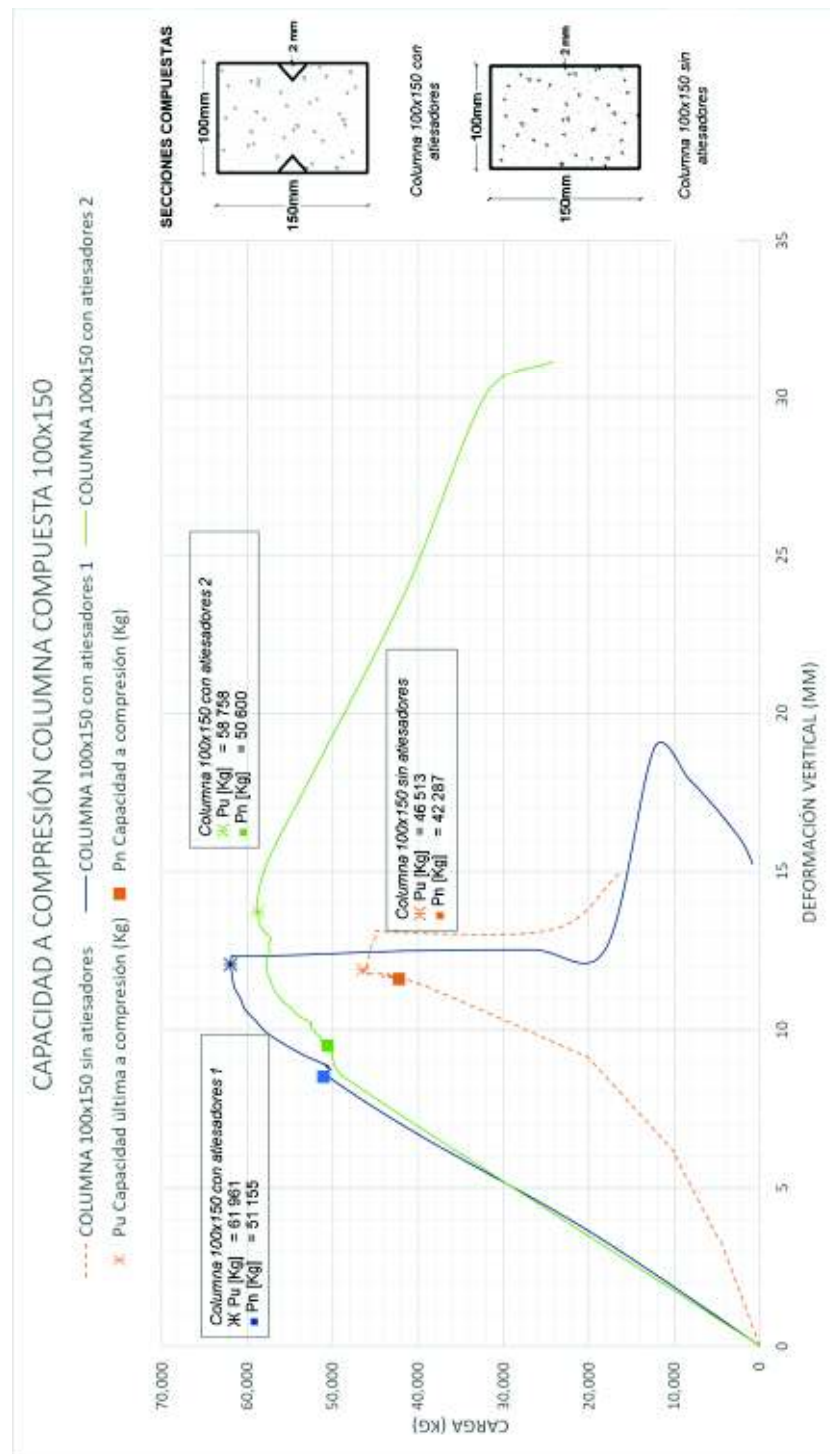
Debido a que el valor obtenido por el ensayo experimental de la columna 120x160 sin atiesadores intermedios no representa resultado cercano los valores teóricos, no se podrá realizar su análisis.

La mayor variación de capacidad de carga axial teórica que se produce debido a la colocación de atiesadores intermedios se da en el método AISC 360-16, con una variación de 5.89 toneladas, que representa el 11% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

La menor variación de capacidad de carga axial teórica que se produce debido a la colocación de atiesadores intermedios se da en el método Norma Australiana 5100-6, con una variación de 1.94 toneladas, que representa el 4% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

### 5.2.3. COMPARACIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X150

**FIGURA 146** GRÁFICA CARGA-DEFORMACIÓN VERTICAL COLUMNA COMPUESTA 100X150



ELABORACIÓN: Conteron-Erao, 2017.



**FIGURA 147** COMPARACIÓN CAPACIDAD A COMPRESIÓN COLUMNA COMPUESTA 100X150 [mm]



ELABORACIÓN: Conteron-Eraza, 2017.

Experimentalmente hay una variación de carga de 8.59 toneladas debido a la colocación de los atiesadores intermedios, que representa el 20% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

La mayor variación de capacidad de carga axial teórica que se produce debido a la colocación de atiesadores intermedios se da en el método AISI S100-16 Ancho Efectivo, con una variación de 4.74 toneladas, que representa el 11% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

La menor variación de capacidad de carga axial teórica que se produce debido a la colocación de atiesadores intermedios se da en el método Fibras, con una variación de 0.87 toneladas, que representa el 7% de la carga de la sección compuesta sin atiesadores.

### 5.3. ANÁLISIS DE ADHERENCIA

Para el análisis de la adherencia del hormigón en las secciones compuestas se procedió a cortar el perfil de acero en el lugar donde se produjo la fluencia del acero por pandeo local o global.

Para el análisis se seleccionó a las siguientes probetas: columna compuesta 100x200 con atiesadores con falla por pandeo flexural, columna 100x150 sin atiesadores con falla por pandeo global y la columna 120x160 sin atiesadores con falla por pandeo local.

#### 5.3.1. INTERACCIÓN POR ADHERENCIA DIRECTA

Sección 10x15

$$R_n = B^2 C_{in} F_{in}$$

$$R_n = 15^2 * 4 * 0.04$$

$$R_n = 0.036 T$$

Sección 12x16

$$R_n = B^2 C_{in} F_{in}$$

$$R_n = 16^2 * 4 * 0.04$$

$$R_n = 0.041 T$$

Sección 10x20

$$R_n = B^2 C_{in} F_{in}$$

$$R_n = 20^2 * 4 * 0.04$$

$$R_n = 0.064 T$$



### 5.3.2. PANDEO FLEXURAL CASO: COLUMNA COMPUESTA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS

**FIGURA 148** FALLA POR PANDEO FLEXURAL COLUMNA 100X200 CON ATIESADORES INTERMEDIOS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

En las columnas compuestas se puede apreciar la baja adherencia del hormigón con el perfil de acero, incluso con el perfil L usado como atiesador intermedio.

En el tipo de falla a pandeo flexural se pudo apreciar daños significativos en el hormigón debido a la compresión generada por la aplicación de la carga axial.

### 5.3.3. PANDEO LOCAL CASO: COLUMNA COMPUESTA 100X150 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS

**FIGURA 149** FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA 100X150 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

En las columnas sin atiesadores intermedios se puede apreciar la nula adherencia del hormigón al perfil de acero, además se observó que el hormigón no presentó ninguna fisura provocada por la aplicación de la carga axial mientras que el perfil de acero se deformó localmente a lo largo del miembro.

La poca adherencia del hormigón se pudo evidenciar en la facilidad que se pudo desprender el perfil de acero una vez que fue cortado en la zona de falla por pandeo local.

#### 5.3.4. PANDEO LOCAL CASO: COLUMNA COMPUESTA 120X160 SIN ATIESADORES

**FIGURA 150** FALLA POR PANDEO LOCAL COLUMNA 120X160 SIN ATIESADORES INTERMEDIOS



FOTOGRAFÍA: Conteron-Erazo, 2017.

Para este caso especial se procedió a cortar a través de toda la sección en el lugar del pandeo local del perfil de acero. Se pudo observar que el perfil de acero llegó a la fluencia en toda su sección transversal, además se observó la gran cantidad de vacíos en el hormigón, justificando los valores obtenidos con los resultados experimentales.

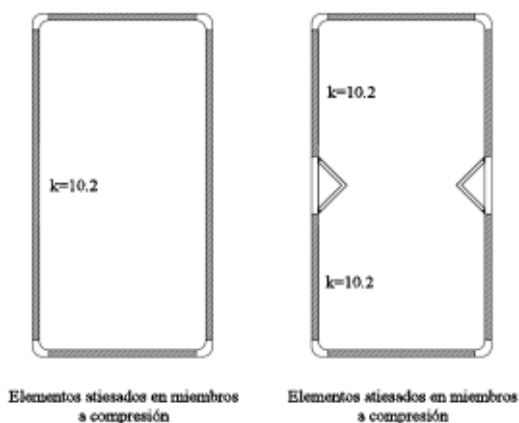
El hormigón presentó daños debido a la aplicación de la carga axial, esto debido a que en esta probeta se produjo una alteración en la relación agua-cemento disminuyendo significativamente la capacidad a compresión del hormigón.

#### 5.4. PROPUESTA DE UN VALOR DE COEFICIENTE DE PANDEO DE PLACAS K PARA ELEMENTOS COMPUESTOS RIGIDIZADOS CON ATIESADORES INTERMEDIOS

Para determinar el ancho efectivo de la sección de acero en el análisis de pandeo local propuesto por la especificación AISI S100-16 se consideró el valor  $k=10.6$  como coeficiente de pandeo de placas, propuesto por Bradford et al. (2002).

Mediante el análisis comparativo entre los resultados obtenidos con el método AISI S100-16 Ancho Efectivo y los resultados experimentales se pudo determinar que existe una pequeña variación de carga de un 4% de la capacidad experimental.

**FIGURA 151** COEFICIENTE DE PANDEO DE PLACAS PARA ELEMENTOS ATIESADOS EN MIEMBROS COMPUESTOS



ELABORACIÓN: Conteron-Erazo, 2017.

Para el análisis de elementos atiesados por rigidizadores intermedios se asumió el mismo coeficiente  $k=10.6$ , esto debido a que las dimensiones del perfil L y la ubicación del atiesador en el elemento a compresión cumplía con los requerimientos mínimos exigidos por la norma AISI S100-16 para ser considerado como atiesador intermedio.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. CONCLUSIONES

- Mediante el análisis de los ensayos experimentales se puede concluir que la colocación de atiesadores intermedios en columnas de sección compuesta disminuye los efectos de pandeo local, debido a que los miembros conformados por elementos no compactos sin atiesadores intermedios presentaron fallas por pandeo local, mientras que las columnas conformadas por elementos no compactos con atiesadores intermedios presentaron fallas por pandeo flexural.
- Al aplicar la carga última  $P_u$ , el Strain Gauge 2, ubicado en el centro longitudinal de las columnas registró deformaciones unitarias de  $2252 \mu\text{m/m}$  ( $4602 \text{ kg/cm}^2$ ),  $1175 \mu\text{m/m}$  ( $2401 \text{ kg/cm}^2$ ), y  $1164 \mu\text{m/m}$  ( $2378 \text{ kg/cm}^2$ ) para las columnas  $100 \times 200$ ,  $120 \times 160$  y  $100 \times 150$  sin atiesadores respectivamente; mientras que para las columnas con atiesadores intermedios el Strain Gauge 2 registró deformaciones unitarias de  $2909 \mu\text{m/m}$  ( $5945 \text{ kg/cm}^2$ ),  $1612 \mu\text{m/m}$  ( $3295 \text{ kg/cm}^2$ ), y  $1639 \mu\text{m/m}$  ( $3349 \text{ kg/cm}^2$ ) para las columnas  $100 \times 200(1)$ ,  $120 \times 160(2)$  y  $100 \times 150(2)$ , permitiendo así que los elementos no compactos de la sección compuesta alcancen el esfuerzo de fluencia.
- Experimentalmente, la colocación de atiesadores intermedios produce un aumento de capacidad a compresión axial entre un 4% a 20%. Esta variación depende de la geometría de la sección compuesta y de la esbeltez de los elementos que conforman el perfil de acero. Siendo la sección de  $100 \times 150$  la más efectiva en el uso de atiesadores pues aumentó en un 20% su capacidad a compresión.
- Mediante el análisis de los registros obtenido en los ensayos experimentales se puede afirmar que la colocación de los atiesadores intermedios aumenta

la ductilidad de las columnas 79% para la sección 100x150 y 25% para la sección 100x200.

- Debido al aumento de ductilidad y capacidad de carga provocada por la colocación de los atiesadores, la tenacidad de las columnas se incrementa, dándole así mayor capacidad de acumulación de energía de deformación.
- Las columnas 100x200 y 120x160 con atiesadores intermedios presentan capacidades experimentales a compresión similares; a pesar de que la sección 100x200 tiene mayor área de acero y hormigón, la capacidad de la sección se vio reducida debido a la esbeltez de sus los elementos y a la menor inercia en el eje XX.
- El método de cálculo de capacidad a compresión axial propuesto por AISI S100-16 Ancho Efectivo es el más cercano a los valores obtenidos mediante los ensayos experimentales, con una variación  $\pm 4\%$  en el cálculo de la capacidad a compresión axial para secciones con y sin atiesadores intermedios.
- Mediante la comparación de los resultados experimentales y los obtenidos con el método teórico AISI S100-16 Ancho Efectivo se puede comprobar la validez del coeficiente de pandeo de placas  $k=10.6$  propuesto por Bradford et al. en columnas compuestas no compactas sin atiesadores intermedios.
- El coeficiente de pandeo de placa  $k=10.6$  es válido para elementos no compactos atiesados por rigidizadores intermedios. El rigidizador intermedio debe cumplir con los requerimientos 1.3.8 y 1.3.9 exigidos por la especificación AISI S100-16 para que el elemento sea considerado de comportamiento rigidizado.
- El método de cálculo de capacidad a compresión axial propuesto por el Eurocódigo 4 usando el Método del Ancho presentó una variación de carga de  $\pm 6\%$  con respecto a los resultados experimentales, por lo que también puede ser considerado para el cálculo de la capacidad a compresión de secciones

compuestas con atiesadores intermedios. Los resultados obtenidos mediante esta norma, en su mayoría eran menores que los resultados experimentales.

- Los resultados obtenidos mediante la especificación AISC 360-16 para las columnas sin atiesadores intermedios son muy cercanos a los obtenidos experimentalmente, con una variación de carga de  $\pm 4$  %. Para columnas compuestas con atiesadores intermedios se presentó una variación de carga de  $\pm 8$  %, indicando que la norma reduce significativamente la capacidad de la sección compuesta debido a la esbeltez de los elementos que conforman el miembro de acero.
- La consideración de elementos compactos mediante el uso de atiesadores intermedios sobredimensiona el cálculo teórico de la capacidad axial de compresión según el método AISC 360-10. Debido que para secciones compactas el método considera que la resistencia nominal de la sección es igual a la carga de plastificación.
- Mediante el análisis de los resultados teóricos obtenidos según el método AISC 360-16 se puede concluir que existe un aumento de alrededor de un 11% en la rigidez efectiva de la sección compuesta debido a la colocación de atiesadores intermedios.
- Mediante el análisis de los resultados teóricos obtenidos según el Eurocódigo 4 se puede concluir que existe un aumento de alrededor de un 8% en la rigidez efectiva de la sección compuesta debido a la colocación de atiesadores intermedios.
- En el análisis de las áreas efectivas de la sección acero a compresión axial se observa que el método Ancho Efectivo Eurocódigo 4 es más conservador que el método propuesto por el AISI S100-16.
- Los resultados de pandeo flexural obtenidos por el Método de Fibras presentaron una variación de  $\pm 4$  % respecto a los resultados experimentales en

columnas sin atiesadores intermedios. Para columnas con atiesadores intermedios la variación fue de  $\pm 7\%$ , esto debido a el programa CFT\_REC considera a los atiesadores intermedios como platina y no como un perfil L, afectando directamente las propiedades de la sección.

- Al igual que la especificación AISC 360-16, la Norma Australiana 5100-6 determina la capacidad a compresión de los miembros compuestos en función del estado límite de pandeo flexural, motivo por el cual los resultados obtenidos para las columnas sin atiesadores intermedios son cercanos a los obtenidos experimentalmente, con una variación de carga aproximada del 6%, mientras que para columnas compuestas con atiesadores intermedios la variación de carga aumenta un promedio de 12%.
- Mediante el análisis de los resultados teóricos obtenidos según la Standards Australia 5100-6 se puede concluir que existe un aumento de alrededor de un 7% en la rigidez efectiva de la sección compuesta debido a la colocación de atiesadores intermedios.
- La Standards Australia 5100-16 calcula teóricamente los menores valores de rigidez efectiva en comparación con las especificaciones AISC 360-16 y Eurocódigo 4, esto debido a que es más conservativa al incluir factores de seguridad en el cálculo de la rigidez de la sección compuesta.
- La colocación de atiesadores intermedios incrementa alrededor de un 15% la sección de acero en las columnas compuestas, aumentando además el área efectiva de la sección de acero antes disminuida por la esbeltez de sus elementos y por ende en su capacidad a compresión.
- La colocación de atiesadores intermedios disminuye alrededor de un 6% la sección de hormigón en las columnas compuesta, provocando una disminución de la capacidad que se será compensada con el incremento de acero debido a la colocación de los atiesadores intermedios.

- El uso de columnas compuestas permite la reducción de espesores en los elementos que conforman el miembro de acero, debido a que el hormigón evita el pandeo local en la sección.
- El mecanismo de transferencia de fuerzas en columnas compuestas rellenas es mediante interacción de adherencia directa, que son fuerzas muy pequeñas con relación a la capacidad a compresión del miembro compuesto.
- Al no existir un método eficaz de transferencia de carga entre el acero y hormigón, el perfil metálico se deforma con mayor facilidad.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

- Para la elaboración del miembro de acero para las columnas compuestas se debe realizar la unión de los perfiles C con soldadura de cordón continuo, logrando así que el perfil de acero no sea considerado como un miembro armado.
- Se recomienda que el perfil de acero de las columnas compuestas y el perfil L usados como rigidizadores intermedios sean del mismo material, para evitar variaciones en el procedimiento de cálculo de las capacidades teóricas a compresión.
- Debido al reducido espesor de los perfiles C usados para la elaboración del miembro de acero, se recomienda realizar un encamisado a las columnas para la fundición, así se evitará las deformaciones en el perfil al momento de colocar el hormigón.
- Se recomienda precisión en el corte de los perfiles, debido a que las imperfecciones en las caras superior e inferior de las columnas puede generar concentraciones de esfuerzos al momento de aplicar la carga axial.



- Debido a las dimensiones de las columnas, se recomienda el uso de hormigón chispa, para evitar la segregación de agregados en la parte inferior de la columna.
- Para perfiles de lámina delgada, la colocación de los atiesadores intermedios deber ser con soldadura alternada, debido a que el calor producido por el metal fundido provoca deformaciones en la columna de acero.
- Para posteriores investigaciones se recomienda analizar el uso de conectores de corte y planchas de aplastamiento directo para la transferencia de fuerzas entre el perfil de acero y el hormigón.
- Para la verificación de la eficiencia de los atiesadores intermedios, se recomienda la investigación de columnas huecas no compactas con atiesadores intermedios de dimensiones que no sobrepasen la capacidad del cilindro de doble acción.

## REFERENCIAS

- AISC 360-16. (2016). *www.aisc.org*. Obtenido de <https://www.aisc.org/globalassets/aisc/publications/standards/a360-16-spec-and-commentary.pdf>
- AISI S100-16. (2016). *www.cfsei.org*. Obtenido de <https://cfsei.memberclicks.net/assets/docs/publications/aisi-standards/aisi>
- American Welding Society . (2015). *Código de Soldadura Estructural*. Miami: AWS.
- Benítez, H., & Lascano, G. (Septiembre de 2016). *bibdigital.epn.edu.ec*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16776>
- Carrasco Navarrete, S., Herrera, R., Beltrán , J. F., & Massone, L. (2010). *www.alacero.org*. Obtenido de [http://www.alacero.org/sites/default/files/u16/recomendaciones\\_de\\_columnas\\_mixtas\\_carrasco\\_y\\_otros.pdf](http://www.alacero.org/sites/default/files/u16/recomendaciones_de_columnas_mixtas_carrasco_y_otros.pdf)
- Crisafulli, F. J. (2014). *www.alacero.org*. Obtenido de [http://www.alacero.org/sites/default/files/u16/disenosismorresistente\\_de\\_construcciones\\_de\\_acero.pdf](http://www.alacero.org/sites/default/files/u16/disenosismorresistente_de_construcciones_de_acero.pdf)
- Curbelo, B. (2015). *Concreto Estructural* . Armenia : Editorial UN .
- Davison, B., & Owens, G. (2007). *Steel Desingners Manual*. Ascot: Blackwell Publishing.
- Escudero , E., & Carapaz, D. (Abril de 2015). <http://bibdigital.epn.edu.ec/>. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10370>
- Eurocode 4. (2004). <http://www.phd.eng.br/>. Obtenido de <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1994.1.1.2004.pdf>
- Hernández , D. (2012). *Estudio experimental del pandeo de perfiles tubulares rectangulares de acero, rellenos de hormigón de alta resistencia, bajo carga axial y diagrama de momentos variable*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

- ITEA. (2011). *www.webaero.net*. Obtenido de [http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia\\_documentacion/itea/TOMO12.pdf](http://www.webaero.net/ingenieria/estructuras/metallica/bibliografia_documentacion/itea/TOMO12.pdf)
- Marin Herrera , A. M. (Enero de 2016). *soldadurayestructuras.com*. Obtenido de <http://soldadurayestructuras.com/proceso-gmaw.html>
- McCormac, J. C., & Csernak, S. (2012). *Diseño de Estructuras de Acero*. México D.F: Alfaomega.
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega.
- NEC 15. (2015). <http://www.habitatyvivienda.gob.ec>. Obtenido de <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-AC-Estructuras-de-Acero.pdf>
- NEC. (2014). *Estructuras de Hormigón Armado*. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.
- NRMCA. (2012). *www.nrmca.org*. Obtenido de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP16es.pdf>
- Perea, T., & León, R. (Diciembre de 2010). *Análisis y diseño de columnas compuestas de acero estructural y concreto reforzado*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/260710917\\_Analisis\\_y\\_diseno\\_de\\_columnas\\_compuestas\\_de\\_acero\\_estructural\\_y\\_concreto\\_reforzado](https://www.researchgate.net/publication/260710917_Analisis_y_diseno_de_columnas_compuestas_de_acero_estructural_y_concreto_reforzado)
- Pontón, M. E., Robalino, A. F., Sánchez, T. G., Moya, F. Y., & P.C.H.Cía.Ltda. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero*. Quito: Imprenta Activa.
- Quishpe, E. J. (Agosto de 2016). *Estudio teórico experimental de columnas SRC rectangulares y circulares de hormigón reforzadas con perfil de acero tipo "I", sujetas a flexocompresión biaxial*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16903/3/CD-7329.pdf>
- Rivera López, G. A. (2001). *Concreto Simple*. Cauca: Nomos Impresores.

*Standards Australia 5100-6. (2004). www.saiglobal.com. Obtenido de <https://www.saiglobal.com/PDFTemp/Previews/OSH/as/as5000/5100/5100.6-2004.pdf>*

*Tao, Z., Uy, B., & Han, L.-H. (2008). <http://www.tandfonline.com>. Obtenido de <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13287982.2008.11464998>*

*Timoshenko, S. (2002). Resistencia de Materiales. Madrid: S.A. EDICIONES PARANINFO.*

*Timoshenko, S., & Young, D. (2007). Elementos de Resistencia de Materiales. Barcelona: Montaner y Simon, S.A.*

## **ANEXOS**

**ANEXO NO1****RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMI-  
GÓN**



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

#### COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

Fecha: 11 de julio de 2017

INT. No. 17-1576  
Hoja 1 de 11

**SOLICITA:** SR. ANDRÉS CORDERÓN Y SR. ROBIN FRUZO  
**Asoció:** \*\*\*  
**Dirigió:** \*\*\*  
**PROYECTO:** PROYECTO DE TITULACIÓN: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS COMPUESTAS NO COMPACTAS RECTANGULARES CON ATISALDOROS SOMETIDAS A CARGA AXIAL  
**CONTRATISTA:** \*\*\*  
**FISCALIZADOR:** \*\*\*  
**ELEMENTO:** COLUMNA  
**NORMA:** NEN-1773.2014, ASTM C39/C39M-14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	DIÁMETRO (mm)	ÁREA TRANSV. (mm <sup>2</sup> )	F. EMPLE.	CARGA		RESISTENCIA		TIPO DE FALLA
								MPa	Kc	(MPa)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
1	15-mar-17	07-C-01	21-mar-17	7	100	8091	2301	12171	1334	16.4	37	TIPO 2
2	15-mar-17	07-C-02	21-mar-17	7	100	8091	2312	10634	1438	13.2	30	TIPO 4
3	15-mar-17	07-C-03	21-mar-17	7	100	7933	2290	17623	1238	18.8	38	TIPO 2
4	15-mar-17	07-C-04	21-mar-17	7	100	8032	2341	10638	1434	13.3	30	TIPO 4
5	15-mar-17	11-C-01	21-mar-17	14	100	8091	2281	17147	1338	18.9	37	TIPO 2
6	15-mar-17	11-C-02	21-mar-17	14	100	8032	2281	10638	1437	13.3	30	TIPO 2
7	15-mar-17	11-C-03	21-mar-17	14	100	8171	2281	10638	1438	13.3	30	TIPO 2
8	15-mar-17	11-C-04	21-mar-17	14	100	8171	2292	10631	1432	13.3	29	TIPO 2
9	15-mar-17	24-C-01	21-mar-17	28	100	8032	2348	17138	1247	18.9	35	TIPO 4
10	15-mar-17	24-C-02	21-mar-17	28	100	7933	2347	10634	1437	13.3	29	TIPO 2
11	15-mar-17	24-C-03	21-mar-17	28	100	7933	2319	10638	1438	13.3	30	TIPO 2
12	15-mar-17	24-C-04	21-mar-17	28	100	8032	2310	10638	1438	13.3	30	TIPO 2
13	15-mar-17	24-C-05	21-mar-17	28	100	8032	2284	10632	1437	13.3	30	TIPO 4
14	15-mar-17	24-C-06	21-mar-17	28	100	8171	2281	10635	1438	13.3	28	TIPO 1



**Observación:** La procedencia y fecha de fabricación son responsabilidad del cliente

MERCEDES VELAZCO  
 JEFE DEL LABORATORIO



**ANEXO NO2****RESULTADOS DEL ENSAYO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL  
HORMIGÓN**





## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

### LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

#### COMPRESIÓN MONOAXIAL DE HORMIGÓN

INF. No. 17-0274  
01 de EL

Quito, 18 de julio de 2017

**SOLICITA:** SR. EMERSON CORTESÓN Y SR. EDISON SUAZO

**Alocación:** \*\*\*\*

**Dirección:** \*\*\*\*

**PROYECTO:** PROYECTO DE TITULACIÓN: ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS RECTANGULARES COMPUESTAS NO COMPACTAS CON AYUDADORES INTERMEDIOS SIMETRICAS A CARGA AXIAL

**CONTRATISTA:** \*\*\*

**FISCALIZADOR:** \*\*\*

**ELEMENTO:** COLUMNA

**MUESTRA:** \*\*\*

**NORMA REFERENCIA:** ASTM C449-14

**FECHA DE ENSAYO:**

CARGA (Kg)	DEF. AXIAL (mm)	ESFUERZO (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0	0,00
1000	19	12,50
2000	43	25,50
3000	88	37,74
4000	128	50,32
5000	198	62,90
0	0	0,00
1000	38	12,95
2000	88	25,56
3000	130	37,74
4000	140	50,32
5000	160	62,90
6000	225	75,49
7000	275	90,87
8000	320	100,65
9000	380	113,23
10000	430	125,81
0	0	0,00
1000	41	12,50
2000	88	25,56
3000	140	37,74
4000	198	50,32
5000	268	62,90
6000	330	75,49
7000	400	90,87
8000	490	100,65
9000	575	113,23
10000	670	125,81
11000	770	138,39
12000	890	150,97
13000	995	163,55
14000	1100	176,13
15000	1220	188,71
16000	1380	201,29

#### CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA

DIAMETRO (D) (cm):	10,16
ALTEZA (L) (cm):	30,48
VOLUMEN (cm <sup>3</sup> ):	3092,38
FRIO (N):	3884,10
FRIO UNITARIO (kg/cm <sup>2</sup> ):	2,20

#### RESUMEN DE RESULTADOS

ÁREA (cm <sup>2</sup> ):	79,69
RELACIÓN L/D:	3,00
Carga máxima (Kg):	13394,00
Módulo de Elasticidad (Kg/cm <sup>2</sup> ):	20944
Resistencia a la compresión axial (Kg/cm <sup>2</sup> ):	242,74
Resistencia a la compresión axial compuesta (Kg/cm <sup>2</sup> ):	242,74

Ing. MERCEDES YLLAOS  
 JEFE DEL LABORATORIO



Dirección: Avenida de Guayaquil 11-252 y Arboleda / Edif. Ing. Chel Mazarino, C.A. 1015 - email: laboratorio@epn.edu.ec - Teléfono: (02) 2570 300 ext. 1000

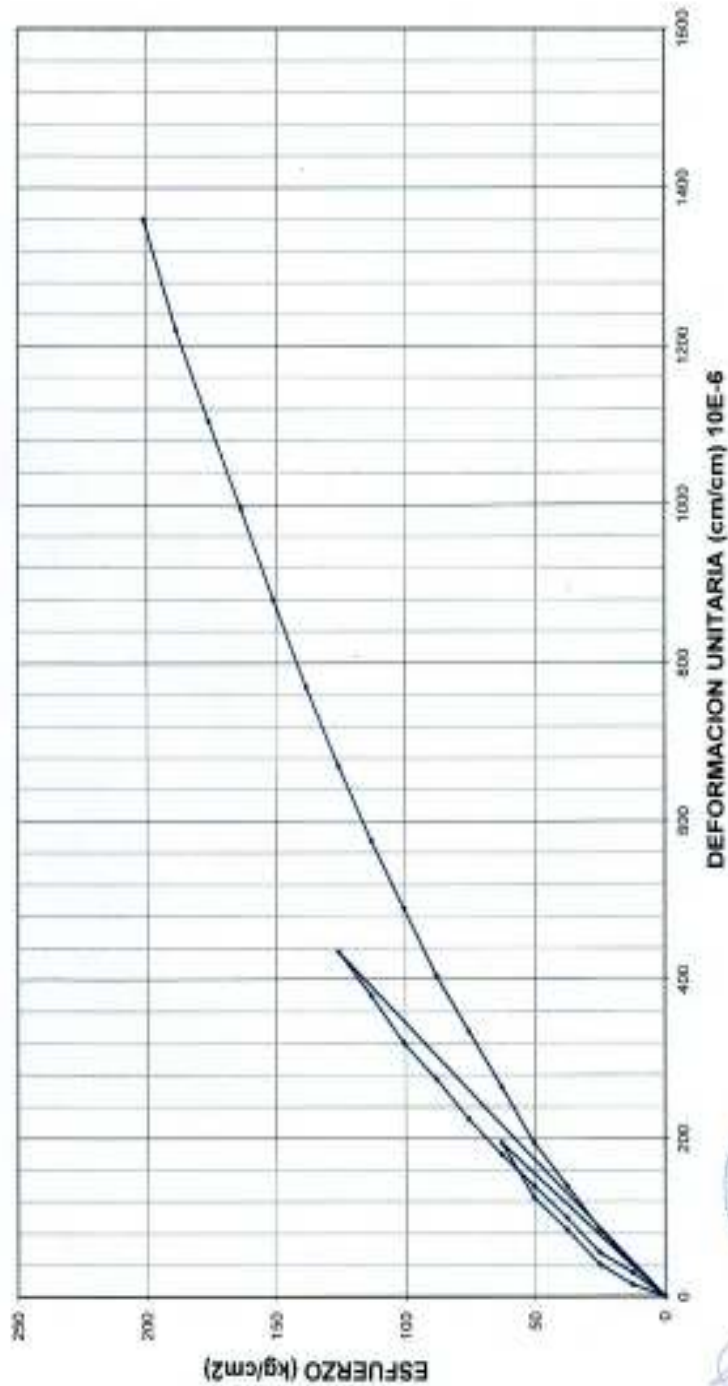
CÓMODO CILINDRO-17-089-T



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN  
ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS RECTANGULARES COMPUESTAS NO COMPACTAS  
CON ATESADORES INTERMEDIOS SOMETIDAS A CARGA AXIAL

INFN-17-0376  
02 de 02



COMMONCILINDRO-17-003-T



## **ANEXO NO3**

# **RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN DE PROBETAS DE ACERO NORMA ASTM A36**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA  
MECÁNICA



LABORATORIO DE ANÁLISIS  
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES

## INFORME TÉCNICO

LAEV-JUN.17.34.0

Quito, 3 de julio de 2017

**TRABAJO SOLICITADO POR:** ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
Ing. Christian Michael Gómez Soto

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras metálicas pertenecientes a los señores Emerson Conterón y Edison Erazo para el proyecto de titulación "ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS RECTANGULARES COMPUESTAS NO COMPACTAS CON ATIESADORES INTERMEDIOS SOMETIDAS A CARGA AXIAL". Las probetas fueron entregadas en el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional.

### RESULTADOS

**1. MUESTRAS:** Seis (6) probetas metálicas para ensayo de tracción bajo norma ASTM A36.

#### 2. ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIAL BASE

En la tabla 1 se presenta los resultados del ensayo de tracción realizado a las probetas.

Tabla 1. Resultados del ensayo de tracción

Id.	Ancho Promedio	Espesor Promedio	Carga máxima registrada		Limite de fluencia		Resistencia a la tracción		% elongación en 50 mm
	mm	mm	N	lbf	MPa	Ksi	MPa	Ksi	
T-1	12,62	5,02	25.600	5.755	289,7	42,0	404,5	58,7	37,7
T-2	12,62	5,01	26.100	5.868	311,3	45,1	412,8	59,9	37,8
T-3	12,59	5,02	25.400	5.710	311,4	45,2	402,1	58,3	37,6
T-4	12,61	5,02	26.200	5.890	310,0	45,0	414,2	60,1	38,4
T-5	12,53	5,01	25.700	5.778	312,0	45,3	409,4	59,4	38,2
T-6	12,56	5,00	25.800	5.800	307,0	44,5	410,5	59,5	38,2

Las curvas de esfuerzo vs. porcentaje de deformación se muestran en el anexo. El porcentaje de deformación que se puede observar en las curvas de las probetas T-1, T-2, y T-3, corresponde al desplazamiento del cabezal de la máquina universal de ensayos.

	ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:			
Nombre:	Ing. Patricio Fuentes	Ing. Alexis Sola	Ing. Jonathan Castro. M.Sc.
Cargo:	ASISTENTE	ESPECIALISTA	JEFE (E)

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES



## ANEXO

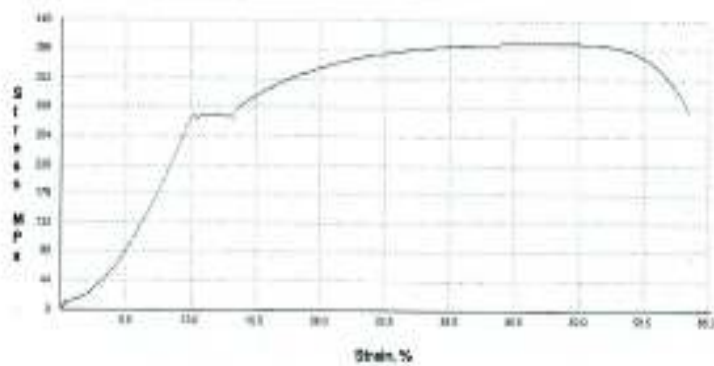


Figura 1. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta T-1.

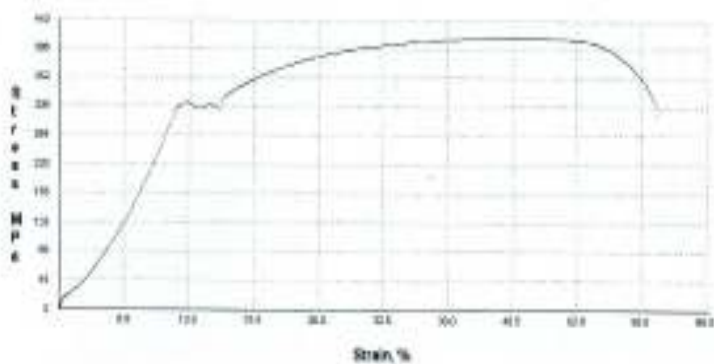


Figura 2. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta T-2.

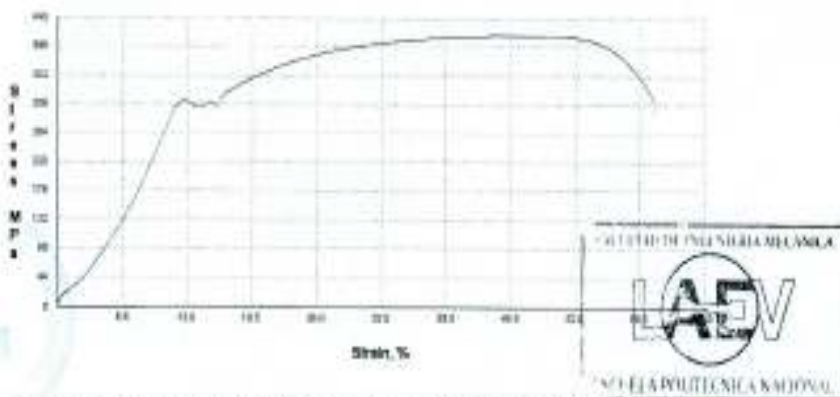


Figura 3. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta T-3.



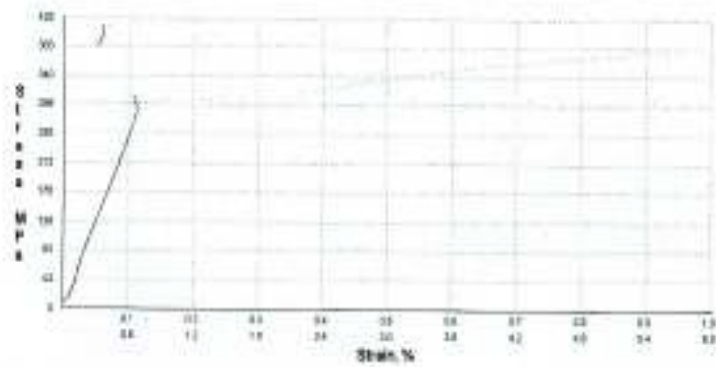


Figura 4. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta T-4.

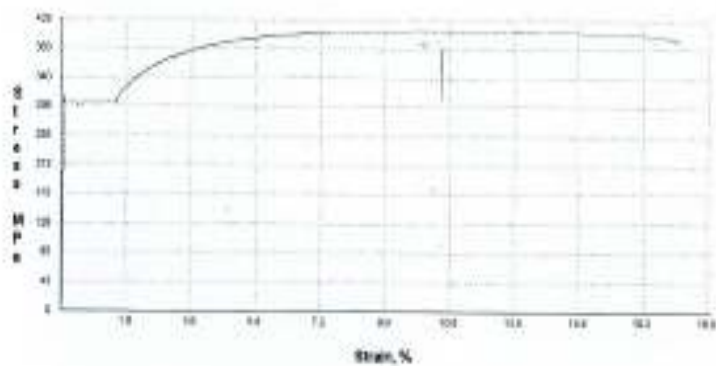


Figura 5. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta T-5.

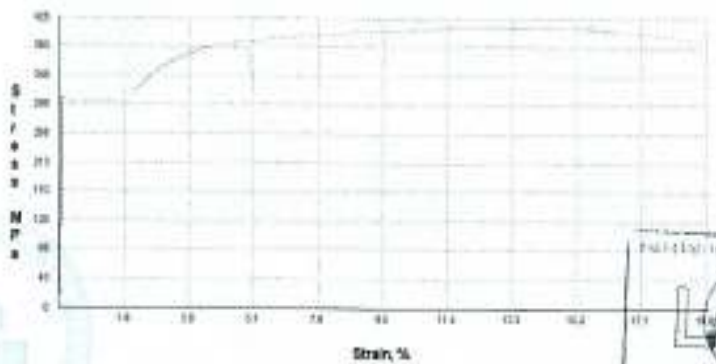


Figura 5. Curva de Esfuerzo vs porcentaje de deformación de la probeta T-6.



**ANEXO NO4**

**FICHA TÉCNICA DE LOS STRAIN GAUGES**



# TML STRAIN GAUGE TEST DATA

GAUGE TYPE : PFL-10-11

TESTED ON : SS 400

LOT NO. : A514311

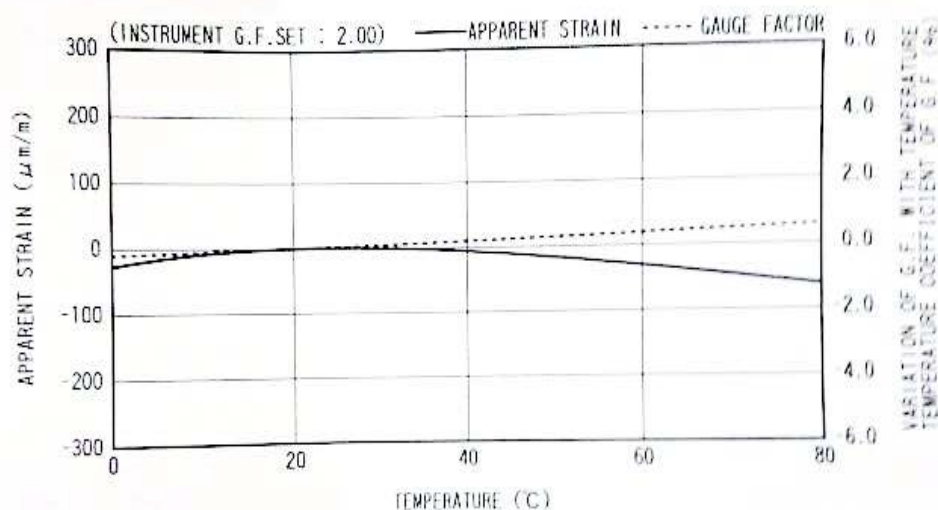
COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION : 11.8  $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ GAUGE FACTOR : 2.12  $\pm 1\%$ TEMPERATURE COEFFICIENT OF G.F. :  $+0.1 \pm 0.05 \%$ / $10^{\circ}\text{C}$ 

ADHESIVE : P-2

DATA NO. : D0098

THERMAL OUTPUT ( $\epsilon_{\text{app}}$  : APPARENT STRAIN)

$$\epsilon_{\text{app}} = -2.68 \times 10^{-1} + 2.42 \times 10^{-2} T - 6.16 \times 10^{-3} T^2 + 3.93 \times 10^{-4} T^3 - 8.68 \times 10^{-7} T^4 \quad (\mu\text{m}/\text{m})$$

TOLERANCE :  $\pm 0.85 [(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}]$ , T : TEMPERATURE

## ひずみゲージ取扱いの注意事項

- 上記の特性データは、リード線の取付けによる影響を含んでおりません。裏面記載のリード線の測定値への影響に従って補正してください。
- ゲージの使用温度は、接着剤の耐熱温度などにより変わります。
- 絶縁抵抗などの点検は、印加電圧を50V以下にしてください。
- ゲージリード線に無理な力を加えないでください。
- ゲージ裏面に接着剤を塗布して接着してください。
- ひずみゲージの裏面は脱脂洗浄してありますので、汚さないように取扱いしてください。
- ゲージの包装を開封後は、乾燥した場所で保管してください。
- ご使用に際してご不明な点などがございましたら、当社までお問い合わせください。

## CAUTIONS ON HANDLING STRAIN GAUGES

- The above characteristic data do not include influence due to lead wires. Correct the data in accordance with the influence of lead wires on measured values described overleaf.
- The service temperature of strain gauge depends on the operating temperature of adhesive, etc.
- Check of insulation resistance, etc. should be made at a voltage of less than 50V.
- Do not apply an excessive force to the gauge leads.
- Apply an adhesive to the back of a strain gauge and stick the gauge to a specimen.
- As the back of strain gauge has been degreased and washed, do not contaminate it.
- After unpacking, store strain gauges in a dry place.
- If you have any questions on strain gauges or installation, contact TML or your local agent.

Made in Japan

Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd.

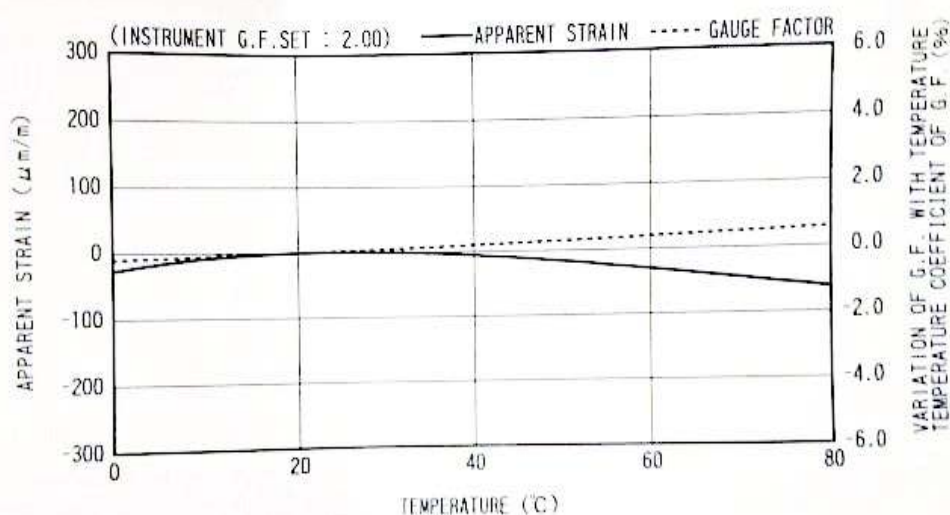
# TML STRAIN GAUGE TEST DATA

GAUGE TYPE	: PFL-10-11	TESTED ON	: SS 400
LOT NO.	: A514311	COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION	: 11.8 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
GAUGE FACTOR	: 2.12 $\pm 1\%$	TEMPERATURE COEFFICIENT OF G.F.	: $+0.1 \pm 0.05 \%$ / $10^{\circ}\text{C}$
ADHESIVE	: P-2	DATA NO.	: D0098

THERMAL OUTPUT ( $\epsilon_{app}$ : APPARENT STRAIN)

$$\epsilon_{app} = -2.68 \times 10^1 + 2.42 \times 10^1 T - 6.16 \times 10^{-2} T^2 + 3.93 \times 10^{-4} T^3 - 8.68 \times 10^{-7} T^4 \quad (\mu\text{m}/\text{m})$$

TOLERANCE:  $\pm 0.85 [(\mu\text{m}/\text{m})/^{\circ}\text{C}]$ , T: TEMPERATURE



## ひずみゲージ取扱いの注意事項

- 上記の特性データは、リード線の取付けによる影響を含んでおりません。裏面記載のリード線の測定値への影響に従って補正してください。
- ゲージの使用温度は、接着剤の耐熱温度などにより変わります。
- 絶縁抵抗などの点検は、印加電圧を50V以下にしてください。
- ゲージリード線に無理な力を加えないでください。
- ゲージ表面に接着剤を塗布して接着してください。
- ひずみゲージの裏面は脱脂洗浄してありますので、汚さないように取扱いしてください。
- ゲージの包装を開封後は、乾燥した場所で保管してください。
- ご使用に際してご不明な点などがございましたら、当社までお問い合わせください。

## CAUTIONS ON HANDLING STRAIN GAUGES

- The above characteristic data do not include influence due to lead wires. Correct the data in accordance with the influence of lead wires on measured values described overleaf.
- The service temperature of strain gauge depends on the operating temperature of adhesive, etc.
- Check of insulation resistance, etc. should be made at a voltage of less than 50V.
- Do not apply an excessive force to the gauge leads.
- Apply an adhesive to the back of a strain gauge and stick the gauge to a specimen.
- As the back of strain gauge has been degreased and washed, do not contaminate it.
- After unpacking, store strain gauges in a dry place.
- If you have any questions on strain gauges or installation, contact TML or your local agent.

Made in Japan