



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de ciencias e Ingeniería**

**Análisis de estructuras de acero construidas con perfiles doblados en frío  
“soldados entre sí” utilizando el método de análisis por elementos  
finitos.**

**Andrés Fernando Robalino Robalino**

**Telmo Andrés Sánchez Grunauer, Ph.D., Director de  
Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito  
para la obtención del título de Ingeniero Civil

Quito, abril 2015

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Análisis de estructuras de acero construidas con perfiles doblados en frío “soldados entre sí” utilizando el método de análisis por elementos finitos.**

Andrés Fernando Robalino Robalino

Telmo Sánchez, Ph.D.  
Director de la tesis

\_\_\_\_\_

Fabrizio Yépez, Ph.D.  
Miembro del Comité de Tesis

\_\_\_\_\_

Fernando Romo, MS.  
Miembro del Comité de Tesis

\_\_\_\_\_

Ximena Córdova, Ph.D.  
Decana de la Escuela de Ingeniería

\_\_\_\_\_

**Quito, abril 2015**

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: \_\_\_\_\_

Nombre: Andrés Fernando Robalino Robalino

C. I.: 160060425-8

Lugar y fecha: Quito, abril 2015

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico a mi madre, Lourdes Robalino. Quien con mucho esfuerzo y dedicación pudo guiarme por el camino correcto, inculcando en mi crecimiento buenos sentimientos y valores que han hecho que me convierta en un persona de bien. Su ejemplo de fortaleza, perseverancia y sobretodo su amor y apoyo incondicional fueron claves para culminar esta etapa de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre y a mi familia. Lourdes, Washington, Lida, Nora, Melva; quienes siempre estuvieron pendientes de mi formación como persona y profesional. Gracias a su comprensión y apoyo incondicional pude llevar a cabo esta meta. Debo agradecerle de manera especial a mi tío Washington Martínez, quien en todo momento me brindó apoyo para que pueda empezar y culminar mi carrera profesional; siendo una motivación verle como mi figura paterna.

Un especial agradecimiento a mi director de tesis, Telmo Andrés Sánchez. Quien fue mi fuente de conocimiento a lo largo de mi carrera y en el desarrollo de mi proyecto profesional.

Agradezco a Fabricio Yépez, quien logró compartir sus conocimientos desde los inicios de mi carrera de ingeniería. Su sabiduría, consejos y tutoría fueron importantes para lograr este objetivo.

## RESUMEN

En este trabajo se realizó un análisis usando el método de elementos finitos para pórticos de una, dos y tres plantas. Estos pórticos fueron sometidos a análisis estáticos y de “PUSHOVER”. Los elementos viga y columna fueron formados por dos perfiles tipo “G” 150x50x15 [mm] conformados en frío, unidos a través de una soldadura continua e intermitente, formando una sección cajón. El análisis por elementos finitos, desarrollado en el software ABAQUS CAE, fue validado y comparado con el ejemplo 3.2.1 del manual del Direct Strength Method (DSM) en el caso de los análisis de pandeo. Se realizó un estudio que muestra la influencia de los diferentes tipos de soldadura en las cargas críticas de pandeo de columnas. Finalmente, se realizó los análisis “pushover” para pórticos de una, dos y tres plantas con diferentes tipos de soldadura. Se muestra curvas de “pushover” y coeficientes de ductilidad. Con estos datos se categorizó a las estructuras desde la más segura. El principal problema de las estructuras estudiadas radica en las juntas viga-columna.

## ABSTRACT

This paper presents an analysis using the finite element method applied to frames of one, two and three stories. These frames were subjected to static and "pushover" analysis. Beams and columns were formed by two cold formed steel channels with lips 150x50x15 [mm], linked with a continuous and intermittent welding, forming a box section. The finite element analysis, developed in software ABAQUS CAE, was validated and compared with Example 3.2.1 of the Direct Strength Method (DSM) manual in the case of buckling analysis. This study showing the influence of different types of welding in critical loads buckling of columns was performed. Finally, "pushover" tests for frames of one, two and three stories with different types of welding were performed. Curves "Pushover" and ductility coefficients are shown. With these data, the studied structures were categorized from the safest. The main structural problem considered was beam to column joints.



## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLAS.....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURAS.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA.....</b>	<b>19</b>
<b>Antecedentes.....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>20</b>
Objetivo principal .....	20
Objetivos específicos .....	20
<b>Metas y actividades.....</b>	<b>20</b>
<b>Justificación del problema .....</b>	<b>22</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>24</b>
<b>Justificación de la metodología.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>25</b>
<b>Marco teórico .....</b>	<b>25</b>
Análisis de Elementos Finitos (FEA) .....	25
Método de elementos finitos (FEM) .....	26
Clasificación de elementos finitos. ....	27
Elementos lineales 1D.....	27
Elementos bidimensionales 2D.....	27
Elementos sólidos 3D.....	27
Elemento shell.....	28
ABAQUS software.....	28
General static analysis (Abaqus Software).....	28
Bucklinganalysis (Abaqus Software).....	29
Directstrengthmethod.....	29
Ventajas prácticas del DSM.....	30
CUFSM.....	30
Finite strip method.....	30
Pandeo en columnas de acero conformado en frío.....	31
Pandeo local.....	31
Pandeo distorsional.....	32
Pandeo global.....	33
Acero.....	34
Propiedades mecánicas del acero conformado en frío.....	34
Curva esfuerzo deformación, punto de fluencia, resistencia a tensión.....	34
Modulo elástico.....	36
Módulo de Cortante.....	36
Ductilidad.....	37
Resistencia a la fatiga.....	37
Tenacidad.....	37
Soldabilidad.....	37
Acero conformado en frío.....	38
Clasificación de perfiles.....	38
Ventajasdel conformado en frío.....	39
Desventajas del conformado en frío.....	40
Influencia del conformado en frío en las propiedades mecánicas del acero.....	40
Influencia del conformado en frío en pandeo de columnas.....	42

Norma ecuatoriana de la construcción NEC.....	43
Definiciones correspondientes a diseño sismo-resistente.....	43
Acelerograma.....	43
Coeficiente de importancia.....	43
Espectros de Respuesta para diseño.....	43
Cortante basal.....	44
Cortante de piso.....	44
Deriva de piso.....	44
Ductilidad global.....	44
Ductilidad local.....	44
Efectos de segundo orden.....	45
Fuerzas sísmicas de diseño.....	45
<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>45</b>
Estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas en perfiles de acero conformado en frío utilizadas en estructuras metálicas destinadas para viviendas de hasta tres pisos para el distrito metropolitano de Quito.....	45
Buckling analysis of thin-walled cold- formed steel structural members using complex finite strip method.....	47
Behavior of high-strength steel welded rectangular section beam–columns with slender webs.....	48
Experimental and finite element analysis research on cold-formed steel lipped channel beams under web crippling.....	49
Hysteretic behaviors of cold-formed steel beam-columns with hollow rectangular section: experimental and numerical simulations.....	50
Development of cold-formed steel elements for earthquake resistant moment frame buildings.....	51
Finite element modelling of cold-formed steel beams under local buckling or combined local/distortional buckling.....	52
CAPÍTULO III. VALICACIÓN DE ANÁLISIS FEM VS. MANUAL DSM.....	53
<b>Análisis de la influencia de la variación del radio de curvatura en los factores de carga de pandeo.....</b>	<b>53</b>
<b>Verificación de captura de los diferentes modos de pandeo, ejemplo 3.2.1 del manual del direct strength method DSM.....</b>	<b>56</b>
Verificación de captura de pandeo global.....	58
Resultados CUFSM para carga compresión $p_y=48.42$ kips.....	58
Resultados para abaqus con carga compresión $p_y=48.42$ kips.....	58
Resultados mediante aplicación de la formula de euler.....	60
Comparación de los resultados.....	61
Verificación de captura de pandeo local.....	62
Resultados CUFSM (manual DSM) para carga compresión $p_y=48.42$ kips.....	62
Resultados para ABAQUS con carga compresión $p_y=48.42$ kips.....	63
Comparación de los resultados.....	64
Verificación de captura de pandeo distorsional.....	65
Resultados CUFSM para carga compresión $p_y=48.42$ kip.....	65
Resultados para Abaqus con carga compresión $p_y=48.42$ kips.....	65
Comparación de resultados.....	67
<b>Verificación de captura de los diferentes modos de pandeo perfil G 150x50x15. Sección que se usará para el núcleo de esta investigación.....</b>	<b>68</b>
Verificación de captura de pandeo global.....	69
Resultados CUFSM para carga compresión $P_Y=1000$ N.....	69
Resultados para abaqus con carga compresión $p_y=1000$ N.....	70
Resultados mediante aplicación de la formula de euler.....	72
Comparación de los resultados.....	73
Verificación de captura de pandeo local.....	73
Resultados CUFSM para carga compresión $P_Y=1000$ N.....	73

Resultados de abaqus para una carga compresión PY=1000 N. ....	74
Comparación de resultados. ....	76
Verificación de captura de pandeo distorsional. ....	77
Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000 N. ....	77
Resultados de Abaqus para una carga compresión PY=1000 N. ....	77
Comparación de los resultados. ....	79
<b>Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura continua</b> .....	<b>79</b>
Verificación de captura de pandeo global. ....	81
Resultados CUFSM para una carga compresión PY=1000 N. ....	81
Resultados de Abaqus para una carga compresión PY=1000N. ....	82
Resultados mediante aplicación de la formula de euler. ....	85
Comparación de los resultados. ....	85
Verificación de captura de pandeo local. ....	86
Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000N. ....	86
Resultados para Abaqus con carga compresión PY=1000N. ....	87
Comparación de los Resultados. ....	88
Verificación de captura de pandeo distorsional. ....	89
Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000 N. ....	89
Resultados para Abaqus con carga compresión Py=1000 [N]. ....	89
Comparación de resultados. ....	90
<b><i>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DEL EFECTO DE SOLDADURA EN UNA VIGA-COLUMNA CON SECCIÓN CAJÓN FORMADA POR DOS PERFILES G 150X50X15</i></b> .....	<b>91</b>
<b>Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura intermitente, espaciamento 36cm y cordón de 5cm</b> .....	<b>91</b>
<b>Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura intermitente, espaciamento 30cm y cordón de 10cm</b> .....	<b>95</b>
<b>Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura intermitente, espaciamento 15cm y cordón de 23cm</b> .....	<b>100</b>
<b>Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura continua, esto es 0cm de espaciamento</b> .....	<b>103</b>
<b>Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 sin ningún tipo de soldadura</b> .....	<b>107</b>
<b>Influencia del espaciamento de soldadura en el comportamiento de pandeo de la columna</b> .....	<b>110</b>
<b><i>CAPÍTULO V. SIMULACIÓN PUSHOVER DE ABAQUS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS</i></b> ....	<b>112</b>
<b>Pórtico 1 planta</b> .....	<b>112</b>
Análisis estático con cargas sísmicas usando NEC 2013 .....	112
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura continua.....	115
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamento 15cm. ....	118
Pushover análisis de Abaqus para elementos con soldadura con espaciamento 30cm.....	120
Análisis y comparación de resultados. ....	123
<b>Pórtico 2 plantas</b> .....	<b>126</b>
Análisis estático con cargas sísmicas usando NEC 2013 .....	126
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura continua.....	128
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamento 15cm. ....	130
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamento 30cm. ....	133
Análisis y comparación de resultados. ....	136

<b>Pórtico 3 plantas</b> .....	<b>138</b>
Análisis estático con cargas sísmicas usando NEC 2013. ....	138
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura continua.....	140
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamento 15cm. ....	142
Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamento 30cm. ....	144
Análisis y comparación de resultados. ....	147
<b>Coefficiente de ductilidad estructural</b> .....	<b>150</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>151</b>
Limitaciones del estudio .....	154
Recomendaciones para futuros estudios.....	154
<b>Referencias</b> .....	<b>155</b>
<b>ANEXO A: GENERADOR DE NODOS PARA SECCIÓN CAJÓN. dESARROLLO EN MATLAB</b>	<b>156</b>
<b>ANEXO B: CÓDIGO INPUT PARA PÓRTICO 1 PLANTA (ANALISIS RIKS-PUSHOVER).</b>	<b>158</b>

## TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36. Fuente: ColdFormed Steel Design, Wei-WenYu, 2000 .....	36
Tabla 2. Resultados de factores de carga para validación de pandeo global ejemplo 8.1 DSM. Fuente: Elaboración propia .....	61
Tabla 3. Resultados del valor de factor de carga para pandeo local.....	64
Tabla 4. Resultados de factores de carga para pandeo distorsional. Ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia .....	67
Tabla 5. Resultados de factores de carga para perfil G 150x50x15 .....	73
Tabla 6. Resultados de factores de carga para un perfil G 150x50x15 .....	76
Tabla 7. Resultados para pandeo distorsional de un perfil G 150x50x15 .....	79
Tabla 8. Resultados de factor de carga, pandeo global, sección cajón Fuente: Elaboración propia. ....	85
Tabla 9. Resultados de factores de carga para pandeo local, sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	88
Tabla 10. Resultados de factor de carga para pandeo distorsional, sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	90
Tabla 11. Variación del factor de carga con respecto a espaciamiento de soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	110
Tabla 12. Cargas laterales obtenidas a través del método de fuerzas. Fuente: Elaboración propia .....	126
Tabla 13. Cargas laterales obtenidas a través del método de fuerzas. Fuente: Elaboración propia .....	138
Tabla 14. Coeficientes de ductilidad para porticos 1, 2 y 3 plantas con diferentes tipos de soldadura de sus elementos viga-columna.....	150

## FIGURAS

Figura 1. Coordenadas, grados de libertad, y cargas de una tira típica. Fuente: Buckling analysis of cold-formed Steel. Z. Li, B. Schafer 2010.....	31
Figura 2. Gráfico de la deformación de la sección transversal por pandeo local. Fuente: DSM Manual 2006.....	32
Figura 3. Gráfico de la deformación de la sección transversal por pandeo distorsional. Fuente: DSM Manual 2006.....	32
Figura 4. Gráfico de la deformación de la sección transversal por pandeo global debido a flexión. Fuente: DSM Manual 2006 .....	33
Figura 5. Vista isométrica de una columna deformada por pandeo global debido a flexión. Fuente: Elaboración propia .....	33
Figura 6. Curva esfuerzo-deformación del acero con curva con fluencia pronunciada. Fuente: Wei-Wen Yu, 2000 .....	35
Figura 7. Curva esfuerzo-deformación del acero con curva con fluencia gradual. Fuente: Wei-WenYu, 2000 .....	35
Figura 8. Determinación del límite de fluencia, método offset. Fuente: Wei-WenYu, 2000..	36

Figura 9. Clasificación de algunas secciones de perfiles conformados en frío. Fuente: Gomes, Estructuras Livianas de Acero .....	39
Figura 10. Efectos del conformado en frío en las propiedades mecánicas de una sección transversal. Fuente: Wei-WenYu, 2000.....	41
Figura 11. Efectos del endurecimiento y envejecimiento por deformación. Fuente: Wei-WenYu, 2000 .....	42
Figura 12. Perfil G sin modelar radio de curvatura, se observa pandeo local. Fuente: Elaboración propia.....	54
Figura 13. Curva de factor de carga Vs. Longitud de columna, carga axial 1T. Fuente: Elaboración propia.....	56
Figura 14. Curva de factor de carga Vs. Longitud de columna, momento aplicado 1Tm. Fuente: Elaboración propia .....	55
Figura 15. Sección Transversal ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia .....	56
Figura 16. Curva del factor de carga vs. Longitud de media onda, ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia.....	57
Figura 17. Resultados CUFSM para ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia.....	58
Figura 18. Vista isométrica, perfil G sujeto a pandeo global, Abaqus CAE. Fuente: Elaboración propia.....	59
Figura 19. Vista lateral, perfil G sujeto a pandeo global, Abaqus CAE. Fuente: Elaboración propia .....	60
Figura 20. Vista superior, perfil G sujeto a pandeo global, Abaqus CAE. Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 21. Resultados de CUFSM para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo local. Fuente: Elaboración propia.....	62
Figura 22. Resultados Abaqus, pandeo local, ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia .....	63
Figura 23. Vista trasera. Resultados Abaqus, pandeo local, ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia.....	64
Figura 24. Resultados de CUFSM para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo distorsional. Fuente: Elaboración propia.....	65
Figura 25. Vista isométrica. Resultados de Abaqus para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo distorsional. Fuente: Elaboración propia. ....	66
Figura 26. Vista frontal. Resultados de Abaqus para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo distorsional. Fuente: Elaboración propia. ....	67
Figura 27. Propiedades de sección del perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia .....	68
Figura 28. Curva de longitud de media onda para una sección G 150x50x15 .....	69
Figura 29. Resultado para pandeo global (CUFSM), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia.....	70
Figura 30. Vista isométrica. Resultado para pandeo global (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 31. Vista lateral. Resultado para pandeo global (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia.....	71
Figura 32. Vista superior. Resultado para pandeo global (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia.....	72
Figura 33. Resultado para pandeo local (CUFSM), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia.....	74
Figura 34. Vista isométrica. Resultado para pandeo local (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia.....	75

Figura 35. Vista superior. Resultado para pandeo local (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia .....	75
Figura 36. Vista trasera. Resultado para pandeo local (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia .....	76
Figura 37. Resultado para pandeo distorsional (CUFSM), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia .....	77
Figura 38. Vista isométrica. Resultado para pandeo distorsional (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia .....	78
Figura 39. Vista frontal. Resultado para pandeo distorsional (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia .....	78
Figura 40. Sección cajón formada por la unión de 2 perfiles G 150x50x15, espesor de 4mm. Fuente: Elaboración propia .....	80
Figura 41. Factor de carga vs. Longitud de columna, sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	81
Figura 42. Resultado para pandeo global (CUFSM), sección cajón L=2000m. Fuente: Elaboración propia .....	82
Figura 43. Ensamble de la sección cajón en Abaqus. Fuente: Elaboración propia .....	83
Figura 44. Vista isométrica. Resultado para pandeo global (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	84
Figura 45. Vista superior. Resultado para pandeo global (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	84
Figura 46. Resultado para pandeo local (CUFSM), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	86
Figura 47. Vista isométrica. Resultado para pandeo local (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	87
Figura 48. Vista superior. Resultado para pandeo local (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	88
Figura 49. Resultado para pandeo distorsional (CUFSM), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	89
Figura 50. Vista isométrica. Resultado para pandeo distorsional (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia .....	90
Figura 51. Configuración de soldadura intermitente. 36 cm espaciamiento con 5 cm de soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	92
Figura 52. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 36cm. Fuente: Elaboración propia .....	93
Figura 53. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 36cm. Fuente: Elaboración propia .....	94
Figura 54. Vista interior de columna. Labios se separan en secciones que no existe soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	95
Figura 55. Configuración de soldadura intermitente. 30 cm espaciamiento con 10 cm de soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	96
Figura 56. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 30cm. Fuente: Elaboración propia .....	97
Figura 57. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 30cm. Fuente: Elaboración propia .....	98
Figura 58. Vista interior de columna. Labios se separan en secciones que no existe soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	99

Figura 59. Segundo modo de pandeo. Columna con espaciamiento 30cm y soldadura 10cm. Fuente: Elaboración propia .....	99
Figura 60. Configuración de soldadura intermitente.15 cm espaciamiento con 23 cm de soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	100
Figura 61. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 15cm. Fuente: Elaboración propia.....	101
Figura 62. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 15cm. Fuente: Elaboración propia.....	102
Figura 63. Vista interior de columna, espaciamiento 15cm. La separación de los labios es mínima. Fuente: Elaboración propia.....	103
Figura 64. Configuración de soldadura continua. Fuente: Elaboración propia.....	104
Figura 65. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Soldadura continua. Fuente: Elaboración propia.....	105
Figura 66. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Soldadura continua. Fuente: Elaboración propia .....	106
Figura 67. Vista interior de columna, soldadura continua. Labios compactos. Fuente: Elaboración propia.....	107
Figura 68. Vista Lateral. Primer modo de pandeo. Sin soldadura. Fuente: Elaboración propia.....	108
Figura 69. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Sin soldadura. Fuente: Elaboración propia .....	109
Figura 70. Vista interior de columna, sin soldadura. Los labios se deslizan Fuente: Elaboración propia.....	110
Figura 71. % Variación del factor de carga vs. Longitud total sin soldadura. Fuente: Elaboración Propia.....	111
Figura 72. Factor de carga vs. Longitud total sin soldadura. Fuente: Elaboración propia ....	111
Figura 73. Vista isométrica. Magnitud del desplazamiento, 1 planta CARGAS NEC. Fuente: Elaboración propia.....	113
Figura 74. Esfuerzos principales. Pórtico 1 planta. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura 75. Esfuerzos principales en conexión viga columna. Pórtico 1 planta. Fuente: Elaboración propia.....	114
Figura 76. Deformación plástica equivalente en nudo. Cargas NEC. Fuente: Elaboración propia .....	115
Figura 77. Magnitud de desplazamiento. Pórtico 1 planta soldadura continua. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 78. Esfuerzos principales, 1 planta en análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	116
Figura 79. Deformación plástica equivalente, 1 planta análisis de colapso. Fuentes: Elaboración propia.....	117
Figura 80. Conexión viga-columna. Deformación plástica equivalente, 1 planta análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	117
Figura 81. Desplazamiento total, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	118
Figura 82. Esfuerzos principales, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	119
Figura 83. Deformación plástica equivalente en base de columnas, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	119
Figura 84. Deformación plástica equivalente en conexión viga columna, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	120



Figura 85. Desplazamiento lateral. 1 planta con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	121
Figura 86. Esfuerzos plano principal. 1 planta con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	121
Figura 87. Deformación plástica equivalente, bases de las columnas. 1 planta con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.....	122
Figura 88. Deformación plástica equivalente, centro de la viga. 1 planta con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	122
Figura 89. Deformación plástica equivalente, junta viga columna. 1 planta con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	123
Figura 90. Curvas de sobrecarga para cada tipo de soldadura. Factor de carga vs. Desplazamiento horizontal. Fuente: Elaboración propia.....	125
Figura 91. Desplazamiento horizontal, U1. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	128
Figura 92. Esfuerzos principales. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	129
Figura 93. Esfuerzos principales, base de columna. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	129
Figura 94. Esfuerzos principales, junta viga-columna. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	130
Figura 95. Desplazamiento total, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	131
Figura 96. Esfuerzos principales, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	131
Figura 97. Esfuerzos principales en junta viga columna, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	132
Figura 98. Esfuerzos principales en la base de la columna, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	132
Figura 99. Deformación plástica equivalente en base de columna. 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	133
Figura 100. Desplazamiento lateral. 2 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	134
Figura 101. Esfuerzos plano principal. 2 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	134
Figura 102. Esfuerzos principales, junta viga columna. 2 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	135
Figura 103. Deformación plástica equivalente, junta viga columna. 2 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	135
Figura 104. Curvas de sobrecarga para cada tipo de soldadura. Pórtico de 2 plantas. Factor de carga vs. Desplazamiento horizontal. Fuente: Elaboración propia.....	137
Figura 105. Desplazamiento horizontal, U1. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	141
Figura 106. Esfuerzos principales. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	141
Figura 107. Esfuerzos principales, junta viga-columna. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	142
Figura 108. Deformación plástica equivalente, junta viga-columna. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	142

Figura 109. Desplazamiento total, 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	143
Figura 110. Esfuerzos principales, 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	143
Figura 111. Esfuerzos principales en junta viga columna, 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	144
Figura 112. Deformación plástica equivalente en base de columna. 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	144
Figura 113. Desplazamiento lateral. 3 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	145
Figura 114. Esfuerzos plano principal. 3 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	146
Figura 115. Esfuerzos principales, junta viga columna. 3 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	146
Figura 116. Deformación plástica equivalente, junta viga columna. 3 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia. ....	147
Figura 117. Curvas de sobrecarga para cada tipo de soldadura. Pórtico de 3 plantas. Factor de carga vs. Desplazamiento horizontal. Fuente: Elaboración propia. ....	149
Figura 118. Coeficientes de ductilidad para pórticos de 1, 2 y 3 plantas. ....	150

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN AL PROBLEMA

### Antecedentes

En Ecuador, la construcción con acero es apetecida por su versatilidad y rapidez en el montaje de la estructura. Su bajo peso y el hecho de evitar el uso de encofrados es una ventaja práctica y económica que los ingenieros y arquitectos suelen aprovechar. Sin embargo, las edificaciones construidas con perfiles de acero **conformado en frío** tienen sus limitaciones debido a la reducción de las propiedades mecánicas que ocasiona el proceso de fabricación de este tipo de perfil.

En nuestro medio es común observar edificaciones de 1, 2, 3 y hasta 4 pisos (en pocos casos) con elementos estructurales de acero conformado en frío. Se observó que estos elementos son fabricados a través de la soldadura de dos perfiles tipo “G” de modo que se pueda formar una sección hueca. En ciertos casos, los constructores rellenan la sección con hormigón a fin de darle rigidez al sistema estructural. Si bien puede resultar económico utilizar perfiles conformados en frío. Sin embargo, hay que considerar que este tipo de sistema constructivo no tiene suficientes fundamentos analíticos que soporten su uso y principalmente que garanticen su desempeño en una región con alto riesgo sísmico.

Varias empresas dedicadas a la fabricación de perfiles estructurales de acero se dedican únicamente a elaborar elementos conformados en frío; mientras que los laminados en caliente suelen demorar en la fabricación o importación. Este es un limitante para el constructor. Consecuentemente, los perfiles conformados en frío han ganado popularidad en su uso frente a los laminados en caliente.

Otra preocupación es el tipo de conexión en los nudos de la estructura y el tipo de soldadura que se emplea para elaborar las secciones huecas para los elementos estructurales. A menudo se puede observar que las juntas viga columna se hace a través de

soldadura tipo filete con ángulos de refuerzo en la parte inferior. Mientras que para formar la sección cajón se usa una soldadura intermitente.

## **Objetivos**

### **Objetivo principal**

Analizar el comportamiento de elementos estructurales fabricados con perfiles doblados en frío y unidos a través de una soldadura continua e intermitente, que forman parte de un marco rígido de una edificación de 1, 2 y 3 plantas.

### **Objetivos específicos**

- ✓ Realizar una revisión de documentación científica que justifiquen los riesgos del sistema constructivo cuando se emplea en una zona de peligro sísmico elevado.
- ✓ Entender el comportamiento de los elementos finitos en la modelación de columnas con perfiles de acero conformado en frío en ABAQUS CAE.
- ✓ Realizar análisis de pandeo a través del método de elementos finitos para una columna construida a partir de 2 perfiles G 150x50x15 con diferentes tipos de soldadura.
- ✓ Analizar el comportamiento de un pórtico de 1, 2 y 3 plantas sometido ante cargas laterales, y gravitacionales, mediante un análisis estático no lineal y pushover de Abaqus.
- ✓ Establecer recomendaciones en base a análisis de resultados obtenidos.

## **Metas y actividades**

Objetivos Específicos	Metas	Actividades
1. Realizar una revisión de documentación científica que justifiquen los riesgos del sistema constructivo cuando se emplea en una zona de peligro sísmico elevado.	Obtener documentación científica de la influencia del conformado en frío en las propiedades mecánicas del acero	Investigar el efecto del conformado en frío en el esfuerzo de fluencia y esfuerzos últimos
		Investigar el efecto del conformado en frío en la ductilidad del acero
		Investigar el efecto del conformado en frío en la falla de pandeo
	Obtener documentación en cuanto a soldadura y normas de construcción para acero conformado en frío	Revisar consideraciones NEC 2013 para construcción de estructuras con perfiles conformados en frío
		Investigar falencias de soldadura en DMQ
2. Entender el comportamiento de los elementos finitos en la modelación de columnas con perfiles de acero conformado en frío en ABAQUS CAE	Comprobar que el modelado del radio de giro de doblado no influye significativamente en los resultados de los análisis de pandeo con CUFSM	Analizar un perfil tipo G 150x50x15 en CUFSM, reduciendo el radio de doblado en pasos de 10%
		Comparar las curvas de longitudes de media onda "Half-Wavelength"
	Validar que los resultados obtenidos en ABAQUS sean congruentes con lo que se obtiene en CUFSM	Realizar un generador de nodos en Matlab para input de CUFSM
		Replicar análisis del ejemplo 3.2.1 del manual del DIRECT STRENGTH METHOD en el software CUFSM y ABAQUS CAE
		Realizar análisis de pandeo para perfil tipo G 150x50x15 en CUFSM, y ABAQUS
		Comparar capturas de pandeo local, global y distorsional de ABAQUS con resultados del manual del DSM y CUFSM
		Aplicar fórmula de Euler en todos los análisis que involucre pandeo global. Interpretar datos.
3. Realizar análisis	Obtener Resultados de	Realizar Buckling Analysis de Abaqus

de pandeo a través del método de elementos finitos para una columna construida a partir de 2 perfiles G 150x50x15 con diferentes tipos de soldadura	cargas críticas de pandeo para soldadura continua	con soldadura continua
	Obtener Resultados de cargas críticas de pandeo para soldadura intermitente	Realizar Buckling Analysis de Abaqus con un espaciamiento de soldadura de penetración abierta en "v" de 30cm
		Realizar Buckling Analysis de Abaqus con un espaciamiento de soldadura de penetración abierta en "v" de 15cm
		Realizar Buckling Analysis de Abaqus con un espaciamiento de soldadura de penetración abierta en "v" de 36cm
	Analizar Resultados de Buckling Analysis de Abaqus	Comparar valores de cargas criticas cuando se varía el espaciamiento
		Establecer la influencia del espaciamiento en el comportamiento de la columna
4. Analizar el comportamiento de un pórtico de 1 , 2 y 3 plantas sometido ante cargas laterales, y gravitacionales, mediante un análisis estático no lineal y PUSHOVER de Abaqus	Analizar resultados obtenidos en un pórtico de 1, 2 y 3 plantas con luz de 4.5m. (Nonlinear Static)	Obtener fuerzas laterales sísmicas a través de NEC, capítulo de diseño sismo resistente
		Realizar análisis estático no lineal para los 3 tipos de soldaduras propuestas en este estudio
		Comparar resultados
	Analizar resultados obtenidos en un pórtico de 1, 2 y 3 plantas con luz de 4.5m. (Pushover analysis)	Aplicar carga lateral de 1t en cada piso. Referencia para Sobrecarga
		Realizar análisis Pushover no lineal para los 3 tipo de soldaduras propuestas en este estudio
		Comparar resultados
5. Establecer recomendaciones en base a análisis de resultados obtenidos	Categorizar tipos de sistema constructivo	Ordenar a los tipos de sistemas constructivos desde el más seguro a inseguro si se da el caso. Elaborar conclusiones y texto final del proyecto de grado

### Justificación del problema

La construcción de columnas formadas con soldadura intermitente de dos perfiles G conformados en frío es una práctica estándar en nuestro medio. En algunas ocasiones con la finalidad de incrementar la resistencia de los elementos, la estructura tubular formada por la unión de dos perfiles tipo G es rellenada con hormigón. Esta práctica constructiva ha encontrado aceptación entre arquitectos e ingenieros debido a que tiene ciertas ventajas.

En primer lugar, los perfiles doblados en frío están disponibles en nuestro medio a través de varios proveedores (KUBIEC, IPAC, DIPAC, NOVACERO, ADELCA). Segundo, construir una estructura de no más de 3 pisos con este tipo de perfil resulta mucho menos costoso que construir con perfiles laminados en caliente. Tercero, la disponibilidad en el mercado de estos perfiles es abundante, mientras que los laminados en caliente suelen demorar en fabricación o importación; lo cual, el uso de conformados en frío resulta cómodo y es beneficioso en cuanto al tiempo de construcción. Así mismo, la unión de los componentes estructurales con los no estructurales tales como: fachadas, mampostería, cielos falsos, entre otros; se la puede hacer con relativa facilidad.

A pesar de que el sistema constructivo tiene las ventajas antes descritas, no se ha realizado estudios que avalen la integridad estructural del mismo. Específicamente, el comportamiento ante eventos sísmicos de las secciones tubulares “soldadas entre sí” construidas a partir de perfiles doblados en frío, no ha sido verificado en el pasado. Se considera de vital importancia el análisis debido que este tipo de estructuras se construyen en un país en donde existen zonas con caracterización de peligro sísmico ALTAS y MUY ALTAS; en ciertas zonas se pueden presentar aceleraciones sísmicas mayores a 0.5g (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015), por lo tanto puede comprometer la estabilidad estructural de edificaciones con este tipo de práctica constructiva.

En este estudio se pretende hacer una investigación del comportamiento de este método constructivo para verificar y limitar el tipo de estructuras que pueden ser edificadas con este método. Para el efecto, se hace uso del método de elementos finitos FEM utilizando un programa comercial llamado ABAQUS CAE (Dassault Systemes)

### **Metodología**

Para resolver el problema propuesto, el desarrollo de esta investigación se basa en los siguientes pasos:

- ✓ Determinar la herramienta computacional a utilizar
- ✓ Determinar el tipo de elementos finitos a usar en los análisis FEMs
- ✓ Realizar una validación de los análisis FEMs con estudios realizados previamente, ej.: comparar resultados obtenidos con ejemplos del manual del Direct Strength Method
- ✓ Realizar los análisis propuestos a través del método por elementos finitos
- ✓ Analizar resultados obtenidos

### **Justificación de la metodología**

Se propone usar el método de elementos finitos para este estudio porque es la manera más versátil de modelar los elementos estructurales tales como vigas y columnas fabricadas a partir de perfiles conformados en frío, con la particularidad de las conexiones con soldadura continua e intermitente. Este es el único método que puede generar miembros estructurales con una variación de la sección transversal a lo largo del mismo. La guía de diseño “Direct Strength Method” (DSM) para elementos con perfiles conformados en frío, desarrollado por el Profesor Benjamin Schafer, publicada en el 2006



por el Instituto Americano del hierro y el acero AISI, propone su uso para diseño de este de estructuras con acero conformado en frío.

La guía DSM utiliza el método de tiras finitas (Finite Strip Method) para obtener las cargas críticas de pandeo (distorsional, global y local), junto con la curva de longitud media onda gracias al programa CUFSM, desarrollado por el mismo autor en un entorno de MatLab. El problema de este software es que no admite variación de la sección transversal a lo largo del elemento, lo que no nos permite modelar las soldaduras que unen a los perfiles, lo cual es parte de nuestro problema. Otra razón es que no se puede realizar un análisis no lineales (estáticos y dinámicos). Es por esta razón que el estudio se deriva al uso del método de análisis por elementos finitos (FEA). Se usará el programa de elementos finitos ABAQUS v6.13 desarrollado por DASSAULT SYSTEMES.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Marco teórico**

A continuación se presenta una serie de conceptos y definición de términos que se consideró importante para el desarrollo de este estudio.

#### **Análisis de Elementos Finitos (FEA).**

Es una técnica de simulación asistida por computadora que usa el método numérico de los elementos finitos (FEM) para resolver problemas complejos de ingeniería que están fuera del alcance de las soluciones analíticas.

El análisis de elementos finitos 3D (FEA) es el método más sofisticado de análisis disponible (Sánchez, 2011). Con este método de análisis, todos los componentes de la estructura se modelan explícitamente, incluyendo todos los atributos asociados con la profundidad estructural. Elementos de marcos, refuerzos transversales, placas de conexión,

etc., están incluidos en los modelos. Aunque un modelo construido con este método puede proporcionar la representación más exacta de la estructura física, tiene sus limitaciones (Sánchez 2011). El costo del software, la inclusión de diferentes escenarios de carga para el análisis de la carga viva, y el tiempo requerido para post-proceso de los resultados del análisis son algunas de las razones por las que el 3D FEA menudo ha sido reservado para el diseño de estructuras especiales (Sánchez 2011).

Por lo tanto, 3D FEA tiende a ser utilizado en los casos en los que se sospeche que los métodos aproximados descritos anteriormente no pueden representar con precisión el comportamiento estructural. Otra limitación es la capacidad del usuario para llevar a cabo este tipo de análisis. Software FE requiere que el usuario esté familiarizado con la teoría detrás del desarrollo del programa y las distintas hipótesis en las formulaciones de modelo (Sánchez 2011).

Los niveles de sofisticación en FEA son ilimitados. Dependiendo de la finalidad del análisis, un modelo lineal elástico básico podría ser suficiente para el diseño de muchas estructuras (Sánchez 2011). Más modelos avanzados incluyen los efectos de amplificación de segundo orden y comportamiento inelástico material. Además, la representación de cargas especiales, el peso de los equipos de construcción y componentes no estructurales utilizados durante la colocación de la cubierta, y los efectos de los principios del endurecimiento de hormigón son algunos de los muchos factores que pueden incluirse en el modelo 3D (Sánchez 2011). Debido al nivel de complejidad, estos análisis se utilizan principalmente para fines de investigación.

### **Método de elementos finitos (FEM).**

Según Uzcategui, el método de los elementos finitos supone que el comportamiento mecánico de un continuo conformado por un número finito de partes o elementos. Sobre

estas partes o elementos son consideradas las propiedades del material y las relaciones constitutivas, donde a su vez, estos elementos se encuentran conectados entre sí por un número discreto de puntos llamados nodos, localizados en sus contornos (2015). Forma parte de la matemática que soluciona problemas complejos de ingeniería a través de un método numérico en general.

El método por elementos finitos encuentra una solución aproximada en de un problema global, conociendo la solución exacta de los elementos finitos que lo componen. La base del método de los elementos finitos es la representación de un cuerpo por un ensamble de subdivisiones llamadas elementos, estos elementos se interconectan a través de puntos llamados nodos (Pezzotti, Antico 2007). Así se genera una manera de discretizar un cuerpo o estructura es dividirla en un sistema equivalente de cuerpos pequeños, tal que su ensamble representa el cuerpo original. El problema encuentra su solución aproximada cuando se resuelve la matriz de rigidez global ensamblada por las matrices de los elementos finitos.

### **Clasificación de elementos finitos.**

#### ***Elementos lineales 1D.***

Pueden ser elementos resorte, barras, vigas. Modelan líneas o rectas, y se usan para resolver problemas de armaduras y de elementos tipo viga (Uzcátegui, 2015).

#### ***Elementos bidimensionales 2D.***

Los conforman elementos placa y membrana. Se usan para resolver problemas de esfuerzos planos o deformaciones planas. Ejemplo: elemento Shell el software Abaqus lo denomina con las siglas S4R (Shell-4node-Reduced integration).

#### ***Elementos sólidos 3D.***

Elementos continuos sólidos, se usan para resolver problemas de esfuerzos y desplazamientos. Ejemplo elemento sólido, Abaqus lo denomina con las siglas C3D8R (8-node linear brick, reduced integration with hourglass control).

### ***Elemento shell.***

Se utilizan para estructuras de modelos en los cuales una dimensión, el espesor, es significativamente menor que las otras dimensiones. Elementos shell convencionales utilizan esta condición para discretizar un cuerpo mediante la definición de la geometría en una superficie de referencia. Posee 6 grados de libertad, 3 de desplazamiento y 3 de rotación. Para el análisis de pandeo de este estudio, se emplearán elementos tipo Shell S4R para modelar las columnas formadas por perfiles conformados en frío.

### **ABAQUS software.**

Es un software de simulación que emplea el método de elementos finitos para la resolución de problemas complejos. Desarrollado por Dassault Systemes, el programa es capaz de resolver desde análisis estáticos lineales, hasta problemas dinámicos complejos que involucren plasticidad del material y no linealidad geométrica en donde se consideran no solo efectos de primer orden. Posee una extensa librería de elementos para modelar problemas con aproximaciones 1D, 2D y 3D. En este estudio se usarán elementos Shell S4R y elementos sólidos C3D8R. El software tiene 3 motores para la solución de una simulación: un preprocesador en el cual se detallan todas las características del problema; un procesador que resuelve el sistema a través de FEMs; y finalmente un post procesador que permite visualizar los resultados.

### **General static analysis (Abaqus Software).**

De acuerdo a la documentación del software, un análisis estático de esfuerzos se usa cuando se ignora los efectos de inercia, la simulación puede ser lineal o no lineal; a su vez ignora los efectos del material dependientes del tiempo; como por ejemplo: creep, visco-elasticidad, swelling. Sin embargo, toma en cuenta el comportamiento plástico e hiperplástico de los materiales.

En este estudio se realizará un análisis estático no lineal para evaluar el desempeño de pórticos de 1, 2 y 3 plantas sometidas a cargas laterales, peso propio, cargas vivas y muertas.

#### **Buckling analysis (Abaqus Software).**

El análisis de “pandeo” o Buckling analysis es usado para estimar la carga crítica de pandeo de estructuras. Es un análisis de perturbación lineal y puede ser implementado luego que la estructura haya sido pre-cargada. El método de Lanczos es aplicado para resolver este análisis, es muy útil cuando se requiere un número grande de modos y el sistema tiene muchos grados de libertad.

#### **Direct strength method.**

El método de resistencia directa es un método totalmente nuevo para diseño de acero conformado en frío. Adoptado en 2004 como apéndice 1 a la especificación de la especificación norte americana de diseño con acero conformado en frío. Este método es un procedimiento alternativo de la especificación principal y no se basa en el ancho efectivo (effective width), ni requiere iteración, para la determinación de la resistencia de diseño miembro. Es un método más sencillo para el diseño optimizado de perfiles de acero conformado en frío. El DSM ofrece un método de diseño de formas complejas que no

requiere esfuerzo extra que para las formas comunes. En contraste, la especificación principal puede ser difícil o simplemente inaplicable.

#### ***Ventajas prácticas del DSM.***

- ✓ No hay cálculos de ancho efectivo.
- ✓ Utiliza propiedades de la sección transversal bruta.
- ✓ El análisis de pandeo elástico se realiza en computadora a través de CUFSM, integrado directamente al DSM
- ✓ Las limitaciones del método es que hasta el momento solo se pueden analizar con cargas axiales y momentos, en una sección transversal que no varíe a lo largo del perfil.

#### **CUFSM.**

Software para diseño de perfiles conformados en frío a través del DSM, desarrollado por el grupo de investigación de estructuras del profesor Benjamin Schafer. El método semi-analítico de tiras finitas es usado para la resolver los problemas de diseño. En esta investigación se usa el software CUFSM para replicar un ejemplo del manual del DSM y compararlo con los resultados obtenidos en ABAQUS. Únicamente para fines de validar las primeras simulaciones a través del método FEA

#### **Finite strip method.**

Es una variante del común método de elementos finitos, en donde una sección de lámina delgada es discretizada en una serie de tiras longitudinales. A diferencia del método de elementos finitos en el que estas tiras longitudinales deben tener otra discretización adicional, formándose los elementos finitos. En la siguiente imagen se muestra la discretización de un perfil G con el método de tiras finitas:

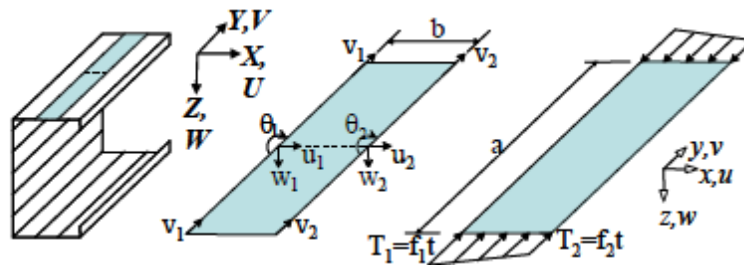


Figura 1. Coordenadas, grados de libertad, y cargas de una tira típica. Fuente: *Buckling analysis of cold-formed Steel*. Z. Li, B. Schafer 2010

### **Pandeo en columnas de acero conformado en frío.**

El pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica, que se da en elementos sujetos a esfuerzos de compresión, se produce generalmente en secciones esbeltas. El uso de materiales de lámina delgada, y el proceso de conformación de perfiles hacen que el diseño sea diferente. Esto se debe a que el perfil es muy susceptible a desarrollar fallas por pandeo debido a que el espesor de la lámina es pequeño comparado a los anchos de las secciones transversales en el caso de pandeo local, y por su esbeltez en el caso de pandeo global. Por lo tanto es uno de los criterios de diseño más importantes (Velazco 2009).

### **Pandeo local.**

Bifurcación que involucra una distorsión considerable de la sección transversal. Esta distorsión incluye únicamente rotación, más no traslación de sus esquinas (Schafer, *Buckling analysis of cold-formed steel members*, 2010). En la siguiente imagen se muestra la forma de pandeo local:

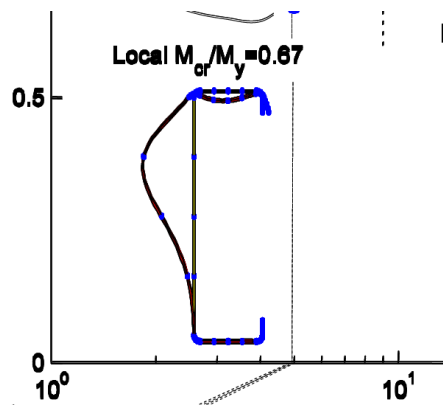


Figura 2. Gráfico de la deformación de la sección transversal por pandeo local. Fuente: DSM Manual 2006

Se puede observar claramente que no existe traslación de los nodos, únicamente existe deformación por rotación.

### Pandeo distorsional.

Pandeo de distorsión, también conocido como "pandeo de refuerzo" o "pandeo local-torsional", es un modo caracterizado por la rotación y traslación de una o más esquinas de un miembro. En los miembros con elementos de rigidización intermedia de pandeo de distorsión se caracteriza por el desplazamiento del rigidizador intermedio (Schafer, Distortional Buckling of Cold-Formed Steel Columns, 2010). En la siguiente imagen se muestra la forma de pandeo distorsional:

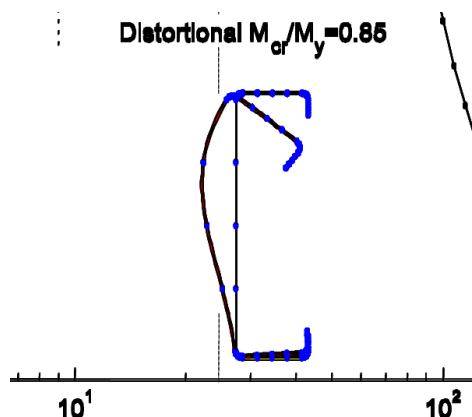


Figura 3. Gráfico de la deformación de la sección transversal por pandeo distorsional. Fuente: DSM Manual 2006



Se puede observar que la esquina superior derecha del perfil se ha trasladado, mientras que en el patín existe una deformación por rotación.

### Pandeo global.

Pandeo global no implica la distorsión de la sección transversal, en su lugar puede ocurrir traslación (flexión) y / o rotación (torsión) de la totalidad de la sección transversal. Modos globales, o modos de pandeo Euler pueden ser: flexión, torsión, torsión y flexión de columnas, pandeo lateral torsional de vigas. En las siguientes imágenes se muestra la forma de pandeo distorsional:



Figura 4. Gráfico de la deformación de la sección transversal por pandeo global debido a flexión.  
Fuente: DSM Manual 2006

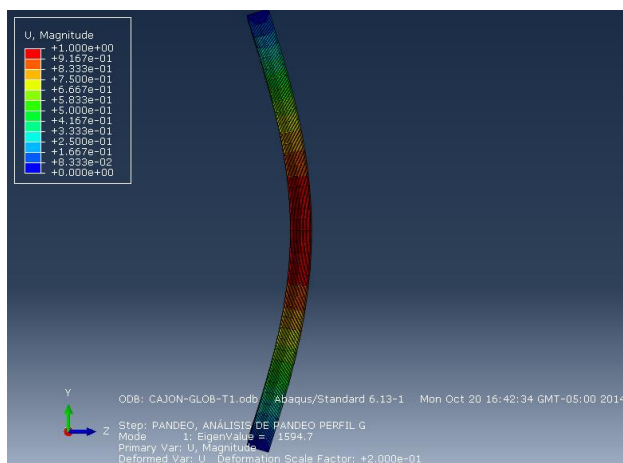


Figura 5. Vista isométrica de una columna deformada por pandeo global debido a flexión. Fuente:  
Elaboración propia

## **Acero.**

El desempeño de los elementos estructurales están basados varios factores importantes, uno de ellos son las propiedades de los materiales que los componen. A continuación se detallan las propiedades mecánicas de los aceros para la construcción. En el caso del distrito metropolitano de quito el acero ASTM A36 es el más común (Lopez, Narvaez 2013).

Desde el punto de vista estructural, las propiedades más importantes del acero son las siguientes (Wei-WenYu, 2000):

- 1 Límite de Fluencia
- 2 Resistencia a la tracción
- 3 Características esfuerzo-formación
- 4 Módulo de elasticidad, módulo tangente, y módulo de corte
- 5 Ductilidad
- 6 Soldabilidad
- 7 Resistencia a la fatiga
- 8 Tenacidad

### ***Propiedades mecánicas del acero conformado en frío.***

*Curva esfuerzo deformación, punto de fluencia, resistencia a tensión.*

Existen dos tipos generales de curvas esfuerzo-deformación. La primera es la curva con fluencia pronunciada (figura 6); la otra es de fluencia gradual (figura 7). El acero que es laminado en caliente usualmente posee curvas con fluencia pronunciada. En caso del acero conformado en frío las curvas tienen una fluencia gradual.

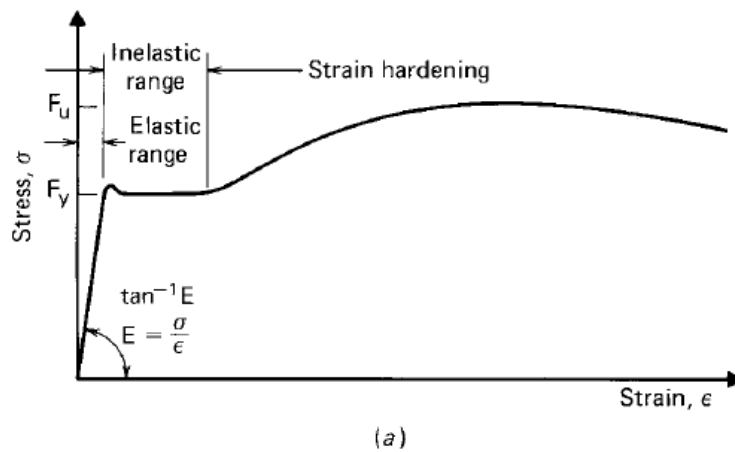


Figura 6. Curva esfuerzo-deformación del acero con curva con fluencia pronunciada. Fuente: Wei-Wen Yu, 2000

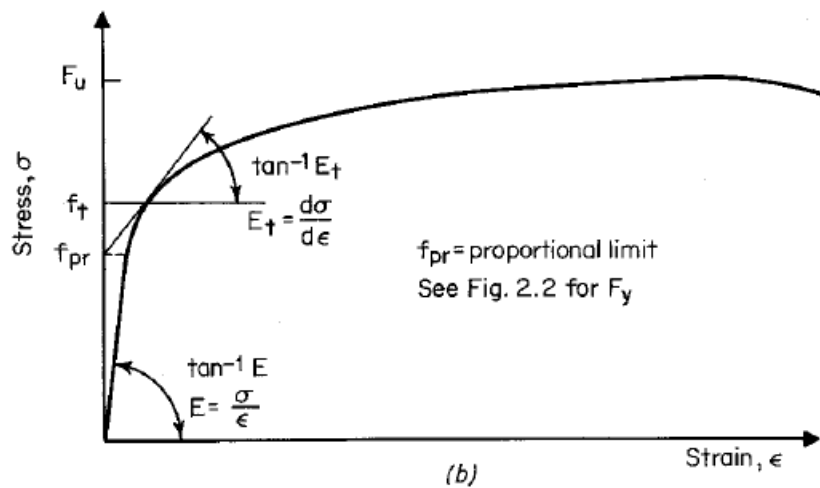


Figura 7. Curva esfuerzo-deformación del acero con curva con fluencia gradual. Fuente: Wei-Wen Yu, 2000

De acuerdo con Wei-Wen Yu, los aceros con curva esfuerzo deformación con fluencia gradual tiene un esfuerzo  $F_y$  que está ubicado alrededor del final del giro de la curva, y la resistencia a la fluencia se determina por el método “offset”:

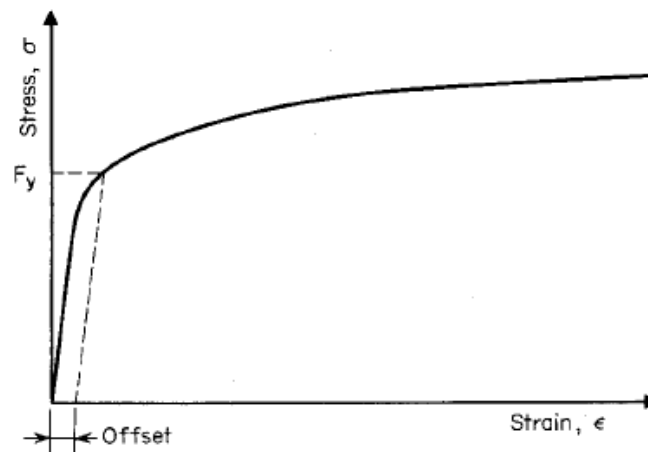


Figura 8. Determinación del límite de fluencia, método offset. Fuente: Wei-WenYu, 2000

El método consiste en trazar una línea paralela a la sección elástica usualmente con una variación del 0.2 por ciento. Siendo el límite de fluencia la intersección de la línea paralela con la curva esfuerzo-deformación (Wei-WenYu, 2000).

A continuación se muestran los datos de mínima resistencia a la tensión, mínimo esfuerzo de fluencia para el acero ASTM A36:

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero ASTM A36. Fuente: ColdFormed Steel Design, Wei-WenYu, 2000

Steel Designation	ASTM Designation	Thickness (in.)	Minimum Yield Point or Yield Strength $F_y$ (ksi)	Minimum Tensile Strength $F_u$ (ksi)	$F_u/F_y$
Carbon structural steel	A36		36	58-80	1.61

#### Modulo elástico.

El módulo de elasticidad (E) está definido por la pendiente de la porción inicial de la curva esfuerzo deformación (zona lineal).

#### Módulo de Cortante.

Por definición el módulo de cortante G, es el ratio entre el esfuerzo de cortante y la deformación por cortante. Basado en la teoría de elasticidad, el módulo de cortante se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$$

Donde E es el módulo de elasticidad del acero,  $\mu$  es el módulo de Poisson

#### *Ductilidad.*

La ductilidad se define como " un grado en el que un material puede soportar la deformación plástica sin ruptura" (Wei-WenYu, 2000).

#### *Resistencia a la fatiga.*

Resistencia a la fatiga es importante en los miembros estructurales de acero conformado en frío sometido a vibración, cargas cíclicas, o cargas repetidas. La propiedad básica es el límite de fatiga obtenido a partir del diagrama de S-N (S siendo el esfuerzo máximo y N es el número de ciclos hasta el fallo), que se determinará mediante ensayos (Wei-WenYu, 2000). En general, las proporciones de la fatiga a resistencia a la tracción de los aceros van desde 0,35 a 0.60 (Wei-WenYu, 2000). Esto es para los especímenes planos; la resistencia a la fatiga de los miembros actuales es a menudo gobernada por detalles o conexiones.

#### *Tenacidad.*

La tenacidad es la medida en que un acero absorbe la energía sin fractura. Por lo general se expresa como la energía absorbida por una muestra dentada en una prueba de impacto. Además, la dureza de un espécimen suave bajo cargas estáticas puede ser medida por el área bajo el diagrama de tensión-deformación

#### *Soldabilidad.*

Se refiere a la capacidad de un metal a ser soldado satisfactoriamente, exenta de grietas. Es básicamente determinado por la composición química del acero y los

tipos de los procesos de soldadura utilizados (Wei-WenYu, 2000). El código que rige la soldadura de perfiles conformados en frío es el AWS D 1.1 y AWS D1.3, provistos por las normas para los procesos de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding) y GMAW (Gas Metal Arc Welding)

### *Acero conformado en frío.*

En acero existen dos familias de elementos estructurales. La primera son los perfiles de acero laminados en caliente, la segunda son los perfiles conformados en frío. Estos son fabricados por métodos de doblado, trenes de laminación, plegadora, entre otros. Los espesores en hojas de acero generalmente usadas en elementos estructurales de acero conformados en frío va desde 0.4 milímetros (0.0149 in) a una medida nominal de 6.4 milímetros. Placas y barras de acero espesor hasta 25 mm (1 in) pueden ser conformados en frío satisfactoriamente perfiles estructurales

### *Clasificación de perfiles.*

En la figura 8 se indican algunas de las secciones más comunes. Debido a que la gran variedad de formas que pueden obtenerse mediante el plegado en frío de lámina delgada y dados los múltiples métodos de unión que se utilizan hoy en día, se hace imposible una enumeración exhaustiva, por tanto se muestran las secciones más populares.

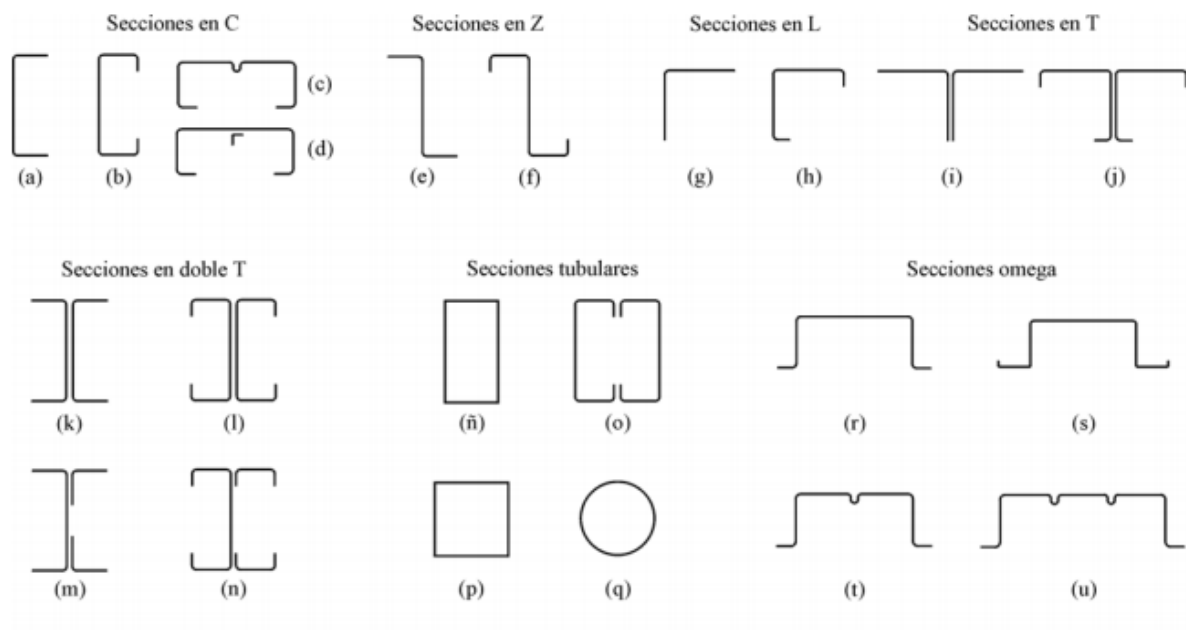


Figura 9. Clasificación de algunas secciones de perfiles conformados en frío. Fuente: Gomes, *Estructuras Livianas de Acero*

#### *Ventajas del conformado en frío.*

Al igual que los perfiles laminados en caliente de mayor espesor, pueden fabricarse perfiles livianos conformados en frío para cargas relativamente bajas y/o luces cortas. Las configuraciones de secciones inusuales pueden ser producidas económicamente por operaciones de conformado en frío y pueden obtenerse relaciones resistencia-peso favorables.

Pueden fabricarse paneles, cuyo peso permite su manipuleo, con el fin de ejecutar entrepisos, cubiertas, cerramientos. Cabe destacar que los mismos pueden estar provistos de agujeros especiales para diversas instalaciones (electricidad, desagües, aire acondicionado, etc.). Los paneles mencionados no sólo serán capaces de soportar cargas normales a su plano. Dado que poseen rigidez en su plano podrán ser usados como estructura de rigidez de las construcciones en la que sean parte.

Comparado con otros materiales, como la madera y el hormigón; los miembros estructurales de acero formados en frío poseen las siguientes cualidades:

- Bajo peso
- Alta resistencia y rigidez
- Facilidad de prefabricación y producción industrializada
- Fácil y rápido montaje
- Eliminación sustancial de retrasos debido al clima
- Encofrados innecesarios
- A prueba de plagas, como las termitas; o descomposición
- Economía en el transporte y manipuleo
- Incombustible
- Material reciclable

La combinación de las ventajas antes mencionadas puede resultar en costos, ahorro en la construcción.

#### *Desventajas del conformado en frío.*

Efectos del conformado en frío hacen que la estructura sea poco dúctil y vulnerable ante eventos sísmicos. Adicionalmente se forman tensiones residuales debido al conformado en frío

#### *Influencia del conformado en frío en las propiedades mecánicas del acero.*

Las propiedades mecánicas de los perfiles conformados en frío a veces son sustancialmente diferentes antes de ser conformados. Esto es debido a que la operación de conformado en frío aumenta el punto de fluencia y resistencia a la tracción y al mismo tiempo disminuye la ductilidad (Wei-Wen Yu, 2000). El porcentaje de aumento en la



resistencia a la tracción es mucho menor que el aumento de la resistencia a la fluencia, con una reducción consecuente en el entre punto de fluencia y resistencia a la tracción. Dado que el material en las esquinas de una sección es trabajado en frío en un grado considerablemente mayor que el material de los elementos planos, las propiedades mecánicas son diferentes en varias partes de la sección transversal. La figura 10 ilustra las variaciones de las propiedades mecánicas de las del material de matriz en los lugares específicos en una sección de canal. Por esta razón, el pandeo o deformación siempre comienza en la porción plana debido al punto de fluencia inferior del material (Wei-WenYu, 2000). Cualquier carga adicional que se aplica a la sección se extienda a las esquinas.

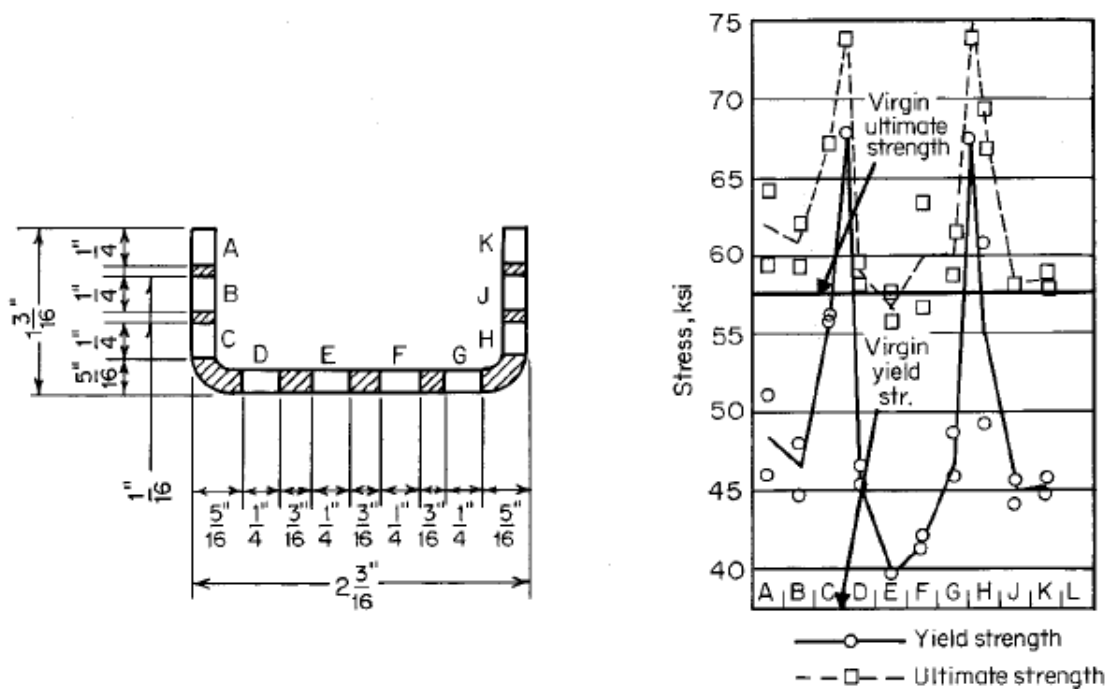


Figura 10. Efectos del conformado en frío en las propiedades mecánicas de una sección transversal. Fuente: Wei-WenYu, 2000

Los resultados de las investigaciones muestran que la influencia del conformado en frío genera cambios en las propiedades mecánicas causadas principalmente

por el endurecimiento y envejecimiento por deformación. En figura 11 la curva A representa el esfuerzo por deformación en el material virgen, la curva D se debe a la descarga en el rango de endurecimiento por deformación; la curva C representa la recarga inmediata, y la curva D representa la curva de esfuerzo deformación de la recarga después del esfuerzo por envejecimiento.

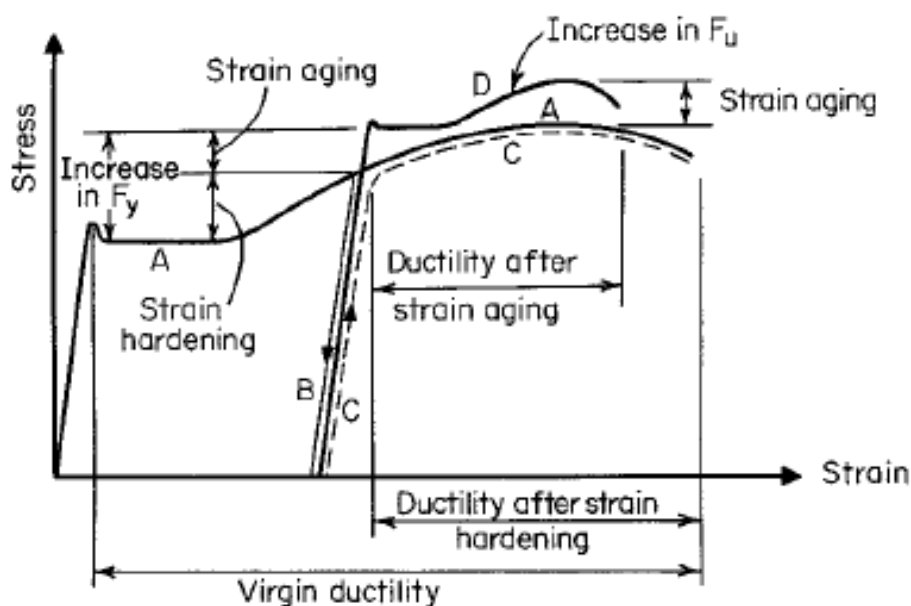


Figura 11. Efectos del endurecimiento y envejecimiento por deformación. Fuente: Wei-WenYu, 2000

Es interesante observar que los puntos de fluencia de ambas curvas C y D son más altos que el punto de fluencia del material virgen y que las ductilidades disminuyen después de endurecimiento por deformación y el envejecimiento por deformación.

#### *Influencia del conformado en frío en pandeo de columnas.*

El análisis de Pandeo se basa en la suposición de que los miembros de compresión tienen propiedades mecánicas uniformes para todo el período de sección transversal. Sin embargo, como se mostró en la sección anterior, el límite de elasticidad y

la resistencia a la tracción y la resistencia del material varían de un lugar a otro en la sección transversal debido al trabajo de conformar en frío.

### **Norma ecuatoriana de la construcción NEC.**

La construcción con perfiles conformados en frío es considerada por la Norma Ecuatoriana de la Construcción como “Sistemas Estructurales de Ductilidad limitada”, por lo que permite su uso en edificaciones de no más de 2 pisos y con luces máximas de 5 metros. La NEC recomienda usar el manual de AISI para el diseño de este tipo de estructuras. Debido a la ductilidad de este tipo de sistemas, el coeficiente de reducción de cortante basal de diseño  $R$  tiene un valor de 2.5, siendo 8 el mejor valor destinado a estructuras dúctiles y duales

### **Definiciones correspondientes a diseño sismo-resistente.**

#### ***Acelerograma.***

Serie temporal o cronológica de valores de aceleración que se han registrado durante un evento sísmico, se puede notar una aceleración máxima y la duración de la excitación sísmica.

#### ***Coefficiente de importancia.***

Coefficiente relativo a las consecuencias de un daño estructural y al tipo de ocupación

#### ***Espectros de Respuesta para diseño.***

El espectro de diseño puede representarse mediante un espectro de respuesta basado en las condiciones geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo asociadas con el sitio de emplazamiento de la estructura. Es un espectro de tipo elástico

para una fracción de amortiguamiento respecto al crítico del 5%, utilizado con fines de diseño para representar los efectos dinámicos del sismo de diseño.

***Cortante basal.***

Fuerza total de diseño por cargas laterales, aplicada en la base de la estructura, resultado de la acción del sismo de diseño con o sin reducción, de acuerdo con las especificaciones de la presente norma.

***Cortante de piso.***

Sumatoria de las fuerzas laterales de todos los pisos superiores al nivel considerado.

***Deriva de piso.***

Desplazamiento lateral relativo de un piso -en particular por la acción de una fuerza horizontal -con respecto al piso consecutivo, medido en dos puntos ubicados en la misma línea vertical de la estructura. Se calcula restando del desplazamiento del extremo superior el desplazamiento del extremo inferior del piso.

***Ductilidad global.***

Capacidad de la estructura para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica

***Ductilidad local.***

Capacidad de una sección transversal o de un elemento estructural, para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica

***Efectos de segundo orden.***

Los efectos de segundo orden en los desplazamientos horizontales y fuerzas internas de la estructura, causados por la acción de las cargas verticales de la edificación al verse desplazadas horizontalmente.

***Fuerzas sísmicas de diseño.***

Fuerzas laterales que resultan de distribuir adecuadamente el cortante basal de diseño en toda la estructura, según las especificaciones de esta norma

## **REVISIÓN DE LITERATURA**

Se consideraron los siguientes aspectos para la revisión. Los proyectos e investigaciones semejantes al tema de tesis deben tener una antigüedad máxima de 15 años. Este lineamiento de búsqueda permite investigar publicaciones científicas relacionadas con el tema de tesis. Si bien, el presente proyecto de investigación no ha sido desarrollado en un proyecto analítico previo, por lo tanto se buscó publicaciones que realicen análisis similares como por ejemplo: análisis por elementos finitos, análisis de pandeo, análisis estáticos, uso del DSM, finite strip method, diseño asistido por computadora; todo esto enmarcado para un elemento o forma estructural elaborada con acero conformado en frío.

**Estudio del comportamiento mecánico de juntas soldadas en perfiles de acero conformado en frío utilizadas en estructuras metálicas destinadas para viviendas de hasta tres pisos para el distrito metropolitano de Quito.**

El proyecto fue desarrollado por Patricio López y Felipe Narváez en el año 2003, estudiantes de la carrera de ingeniería mecánica de la Universidad de las fuerzas armadas ESPE. En este estudio los autores analizaron varias obras de estructura metálica construidas con perfiles conformados en frío, cuyo propósito fue evaluar el comportamiento mecánico de las juntas soldadas. Para ello construyeron réplicas estructurales de donde se extrajeron probetas para la realización de ensayos mecánicos destructivos y no destructivos en laboratorio.

Los autores realizaron las siguientes conclusiones. Mencionan que los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio son desfavorables, debido a que un gran número de probetas no cumplieron los requerimientos mínimos que dictan las normas. También mencionan que la única falencia que tienen los perfiles conformados en frío en el DMQ son debido parámetros geométricos, según la norma NEC 1623. La principal falencia es su forma de fabricación. En el proceso de fabricación se tiende a fallar en las dimensiones geométricas, las causas pueden ser por la tecnología de la maquinaria, antigüedad del tratamiento de las máquinas de doblado o la manipulación de los perfiles en almacenamiento y transporte.

López y Narváez afirman que los datos obtenidos de los ensayos mecánicos, ensayos de doblado y ensayos de micro ataques son desfavorables, ya que el 50%, 61%, y 72% de las probetas ensayadas fallaron respectivamente, por lo que la deficiencia de la soldadura es el foco de fallo, los efectos de una misma pueden ser por los factores fusión, grietas y socavados.

A nivel estructural, un efecto importante en las juntas de viga columna, es la falta de fusión que observaron en los ensayos de micro ataques, siendo el principal problema para que la junta falle en caso de un sismo.

Otra conclusión relevante para el presente estudio es que el 95% de los ensayos de tracción de las probetas de López y Narváez fallaron en el área de soldadura, concluyendo que existe déficit de casi toda la estructura metálica. Los autores mencionan que cuando una junta soldada es sometida a un ensayo de tracción lo esperado es que la falla ocurra en el material base, esto nos permite saber que la junta se encuentra bien ejecutada.

Los autores recomiendan elaborar una norma ecuatoriana o una guía de diseño de acero conformado en frío con base en normas internacionales (AISI), en el que estipule los materiales que pueden ser usados, así como los tipos de conexiones, juntas y procesos de soldadura aplicables todo esto considerando los peligros geográficos de nuestro entorno.

López y Narváez, debido a sus hallazgos de su proyecto, recomiendan el desarrollo de un estudio que se enfoque estrictamente en juntas conexiones soldadas aplicando cargas dinámicas, a fin de obtener resultados complementarios.

Esto último refuerza la justificación de nuestro proyecto y la necesidad de realizar análisis por elementos finitos para validar o limitar la práctica constructiva de realizar vigas columna soldados entre sí con perfiles de acero conformados en frío.

**Buckling analysis of thin-walled cold- formed steel structural members using complex finite strip method.**

Publicación realizada por H.R Naderian y A.R. Ronagh en el año 2015, en el journal “Thin-Walled Structures”. En ese trabajo los autores proponen un método de tiras finitas complejo generalizado para el análisis de pandeo de acero conformado en frío de láminas de pared delgada. Los autores afirman que la principal ventaja de este método sobre el método de tiras finitas ordinario es que puede manejar los efectos de corte debido

a la utilización de funciones complejas. Mencionan que también el pandeo distorsional, así como todos los demás modos de pandeo, como locales y globales pueden ser investigados por el método de tiras finitas complejo sugerido.

Las combinaciones de carga presentes en el modelo analítico incluyen flexión, compresión, esfuerzo cortante y fuerzas de compresión transversales. Los autores dicen que para fines de validación los resultados se compararon con los obtenidos en el análisis de la teoría de viga generalizada.

Los autores muestran que la ventaja más importante del método complejo FSM es el manejo de fuerzas de corte y la inclusión de condiciones generales de carga en el análisis. Las comparaciones de la carga de pandeo crítico tienen una excelente aproximación y rápida convergencia. Según los autores este método puede ser usado para predecir todos los modos de pandeo de una estructura conformado en frío.

#### **Behavior of high-strength steel welded rectangular section beam–columns with slender webs.**

Proyecto desarrollado por Hong-Sia-Shen en el año 2015 y publicado en la revista “Thin-Walled Structures” en donde el autor trabajó desarrollando un modelo no lineal doble de elementos finitos que tome en cuenta las imperfecciones geométricas y materiales. Verificó el modelo numérico del comportamiento y la capacidad de carga máxima de columnas de sección rectangular delgada cargados excéntricamente soldadas de acero de alta resistencia.

Con un límite elástico nominal de 460MPa se volvió a realizar: la influencia de la relación de esbeltez, de la relación de espesor/longitud. Mientras que en el patín, fueron investigados la relación entre anchura y espesor, y la excentricidad relativa/capacidad de carga máxima. Sobre la base de estos, proponen las fórmulas de cálculo simples, que



utilizan las propiedades brutas de sección transversal para predecir la fuerza máxima en el plano de acero de alta resistencia de vigas y columnas con grandes relaciones de profundidad-espesor.

Hong-sia mostró que el modelo de elementos finitos desarrollado puede simular la interacción de pandeo local en el comportamiento general de los miembros de compresión cargados excéntricamente.

Este estudio presenta las siguientes conclusiones: el desarrollo de un modelo de elementos finitos puede señalar la intervención local total incluyendo comportamientos de pandeo de las cargas excéntricas de las secciones cajón soldadas en compresión.

#### **Experimental and finite element analysis research on cold-formed steel lipped channel beams under web crippling.**

Este artículo presenta los resultados de una investigación sobre el comportamiento de inestabilidad del alma de vigas de acero conformado en frío. Se probaron un total de 48 vigas de acero de tipo canal con labios (perfil "G") conformados en frío con diferentes condiciones de contorno, condiciones de carga, longitudes de rodamiento, y sección de alturas (Chen, et al, 2015). El esquema experimental, modos de falla, las curvas de deformación se presentan en el artículo. También se estudió el efecto de la condición de frontera, estado de carga, la duración del rodamiento, altura de la sección en la inestabilidad del alma, capacidad última y la ductilidad. Los resultados de estas pruebas muestran que teniendo longitudes de 50, 100 y 150 mm, la capacidad última de la inestabilidad del alma con esbeltez del alma = 78 alcanza su pico (Chen, et al, 2015). La mitad del alma entra en la zona de la rótula plástica y forma plástica. Los valores de la capacidad última de aplastamiento del alma en condiciones de carga interior son más grandes que los de las condiciones de carga de final del patín (Chen, et al, 2015).

Finalmente Chen concluye que los análisis de elementos finitos pueden simular modo de fallo experimental y capacidad última de aplastamiento del alma. Las ecuaciones de cálculo de la capacidad última de aplastamiento del alma expuestas en el artículo pueden predecir con exactitud el valor experimental.

**Hysteretic behaviors of cold-formed steel beam-columns with hollow rectangular section: experimental and numerical simulations.**

Este artículo presenta una investigación experimental y numérica completa sobre la respuesta cíclica de columnas de acero conformado en frío con secciones rectangulares huecas (Yang, 2014). Este estudio examinó las columnas, su post-resistencia a la rotura y la degradación de rigidez, modos de deformación y de fallo, ductilidad y capacidad de disipación de energía. Los miembros de acero conformado en frío exhibieron un rendimiento de histéresis estable hasta el punto de pandeo local con una degradación considerable en la resistencia y ductilidad. Se identificaron los mecanismos de disipación de energía del comportamiento plástico en el plano y fuera del plano de la deformación de pandeo elástico (Yang, 2014). La influencia de la relación de altura a anchura y axial-compresión en disipación de energía y modo de fallo también fue investigado (Yang, 2014).

El método de la fuerza directa (DSM) ha sido adoptado por la NAS (2004) y AS / NZS 4600 (2005) para el diseño de elementos de acero conformado en frío. El método puede ser aplicado con éxito para el diseño de secciones soldadas, laminación en caliente (Bong 2014). Este artículo revisa el desarrollo del DSM para elementos estructurales de acero soldados. Las fórmulas de resistencia de diseño para columnas de sección soldadas y vigas para el DSM se proporcionan en base a las pruebas realizadas en una sección H

soldada, columnas de perfiles tubulares circulares y rectangulares fabricadas a partir de placas de acero cuyo rendimiento nominal en tensión es de 235 MPa o 315 MPa (Bong 2014). Se proporciona la comparación entre la resistencia de diseño de secciones soldadas predichos por el DSM y la estimada por las especificaciones existentes. En este trabajo se comprueba que el DSM que adopta la resistencia nominal axial y resistencia a la flexión en la AISC (2010) o EC3 (2004) puede predecir adecuadamente la resistencia a la rotura de la sección de columnas y vigas soldadas (Bong 2014).

### **Development of cold-formed steel elements for earthquake resistant moment frame buildings.**

El desarrollo de secciones de lámina delgada de acero conformado en frío, como elementos disipadores de energía sísmica para edificios con estructura de varios pisos resistentes a momento, es presentado a través del análisis FE y por un trabajo experimental. Se llevaron a cabo estudios en diferentes niveles estructurales. A nivel de elemento, aumentando el número de curvas del patín, a modo de mejorar, tanto el comportamiento elástico e inelástico; y vigas con un número infinito de curvas (con patines curvadas). En el nivel de conexión, diferentes configuraciones de conexiones SFC viga-a-columna a través de placas son investigados numéricamente y verificadas experimentalmente (Sabbagh, et al, 2012).

En conexiones de alma atornilladas sin refuerzos fuera del plano, los resultados de pandeo del alma presentan pérdida temprana de fuerza. Un mínimo de dos pares de refuerzos verticales se identifican como esenciales en la región de conexión para retrasar el pandeo del patín y el alma y producir una resistencia relativamente alta momento y ductilidad experimentalmente (Sabbagh, et al, 2012). Esta investigación se validó mediante pruebas de conexión viga-columna con diferentes tipos de refuerzos fuera del plano en la

zona de conexión. Los resultados muestran que la envolvente de las curvas de histéresis obtenidas en las pruebas de las conexiones de CFS puede ser predicha por el análisis FE (Sabbagh, et al, 2012). El uso de refuerzos fuera de plano puede aumentar la capacidad de disipación de la energía sísmica hasta en un 90%, la resistencia momento hasta en un 35% y la ductilidad hasta en un 75% cuando se compara con conexiones sin refuerzos (Sabbagh, et al, 2012).

Correspondientemente el uso de los dos pares mínimos de los refuerzos verticales puede aumentar la capacidad de disipación de la energía sísmica en un 30%, la fuerza de momento a 28% y la ductilidad por 50%.

#### **Finite element modeling of cold-formed steel beams under local buckling or combined local/distortional buckling.**

Los autores Reza y Nethercot mencionan que el método de elementos finitos (FE) es capaz de resolver el complejo pandeo interactivo de vigas de acero conformado en frío permitido para todas las características de gobierno importantes, tales como imperfecciones geométricas, no linealidad del material, y análisis posterior al pandeo, etc. . (2011). En este trabajo, se han desarrollado dos series de modelos de elementos finitos para comportamiento de pandeo de vigas de acero de sección Z conformados en frío lateralmente restringidos. Se hace especial referencia a los materiales y no linealidades geométricas, para permitir la posibilidad de combinación de pandeo local / distorsional y para permitir la pandeo local (Reza, Nethercot, 2011). Ensayos de flexión en cuatro puntos realizados por investigadores anteriores se han utilizado para verificar los modelos FE. Una configuración simplificada de de la prueba ha sido modelada en ABAQUS. Otros papeles explotarán los modelos FE desarrollados para investigar las diferentes formas de pandeo que se producen en lateralmente restringidos vigas de acero conformado en frío, es

decir, locales, distorsión y combinados local / distorsión (Reza, Nethercot, 2011). Para el análisis por elementos finitos se usaron elementos S4R (4-noded quadrilateral Shell elements with reduced integration)

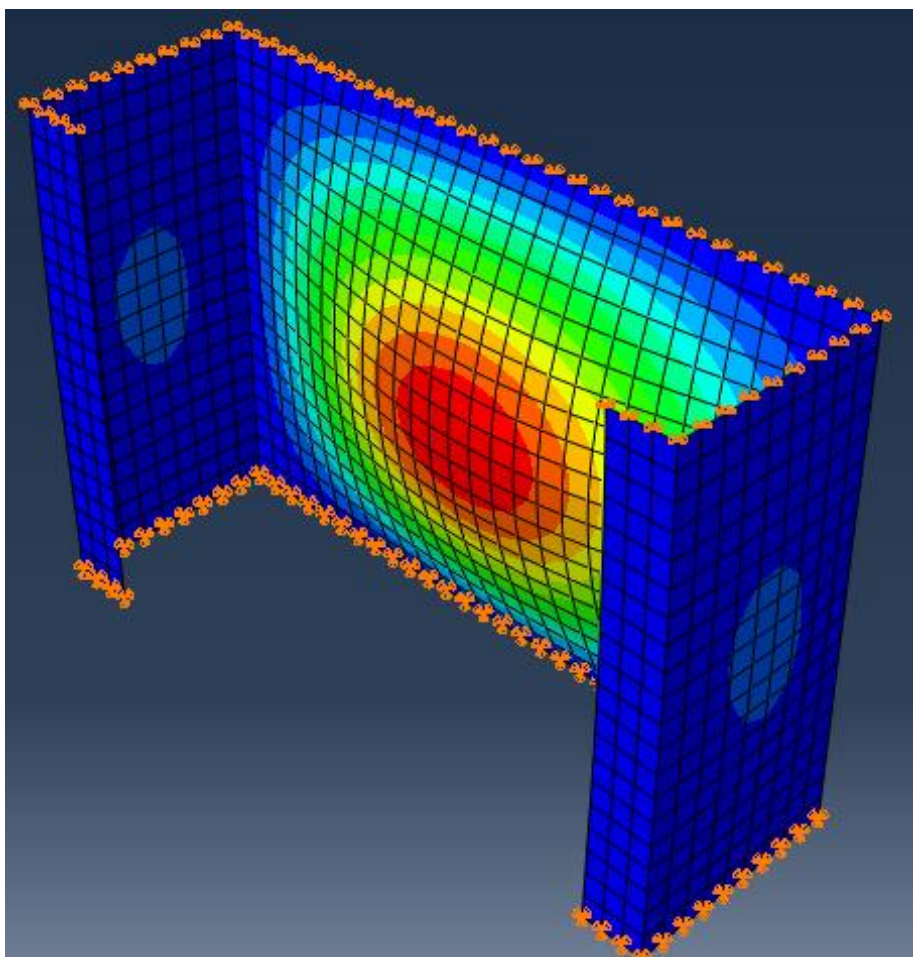
### **CAPÍTULO III. VALICACIÓN DE ANÁLISIS FEM VS. MANUAL DSM**

El núcleo de esta investigación es modelar y analizar pórticos con viga-columnas formadas por dos perfiles G 150x50x15x4mm. Como no se tiene un soporte experimental que sustente los resultados del análisis por elementos finitos, se procedió a comprobar la captura de los FEM utilizando el programa CUFSM. CUFSM es un software que usa el método de tiras finitas para encontrar la solución de los diferentes modos de pandeo de una sección transversal cualquiera; esta no debe cambiar a lo largo de la viga-columna. La validación sirvió para demostrar que los resultados de Abaqus son coherentes (en cuanto a análisis de pandeo). Los resultados de CUFSM se considerarán “correctos”, puesto que se usan como base en el método de diseño directo DSM de la norma AISI para perfiles conformados en frío. La idea general es considerar que si tenemos resultados de Abaqus y CUFSM coherentes, podemos aceptar los resultados de Abaqus para el caso de pandeo y para otros tipos de análisis; como estáticos no lineales o pushover. De igual manera esto nos servirá para aceptar que el modelo de elementos finitos va a capturar de forma adecuada los análisis de los pórticos de 1, 2 y 3 plantas.

#### **Análisis de la influencia de la variación del radio de curvatura en los factores de carga de pandeo**

En la figura 4 podemos observar que las esquinas de un perfil G tiene un radio de curvatura ocasionado por la máquina de doblado. De acuerdo con el catálogo de KUBIEC-CONDUIT, el radio de giro interior para perfiles G es igual a  $1.5e$  para espesores menores a 6mm; mientras que para espesores mayores a 6mm el radio de giro interior es  $2e$ . Donde

“e” es el espesor del perfil. En CUFSM modelar las esquinas es un proceso sencillo. Sin embargo en Abaqus se vuelve complicado debido a la gran cantidad de esquinas que hay que formar para que se pueda modelar el radio de curvatura. Esto implica generar miles de elementos finitos para formar una; lo cual es computacionalmente ineficiente. Es por esta razón que analizaremos cual es el impacto de NO modelar las esquinas del perfil con un radio de curvatura, de modo que en los futuros análisis podamos modelar viga-columnas simplificadas sin esta característica. En la siguiente figura se puede observar cómo queda un perfil G sin modelar el radio de curvatura en ABAQUS CAE:



*Figura 12. Perfil G sin modelar radio de curvatura, se observa pandeo local. Fuente: Elaboración propia*

Se realizó la comparación cuando se aplica una carga axial y un momento en el extremo superior de la viga columna. Los resultados se muestran en las siguientes figuras:

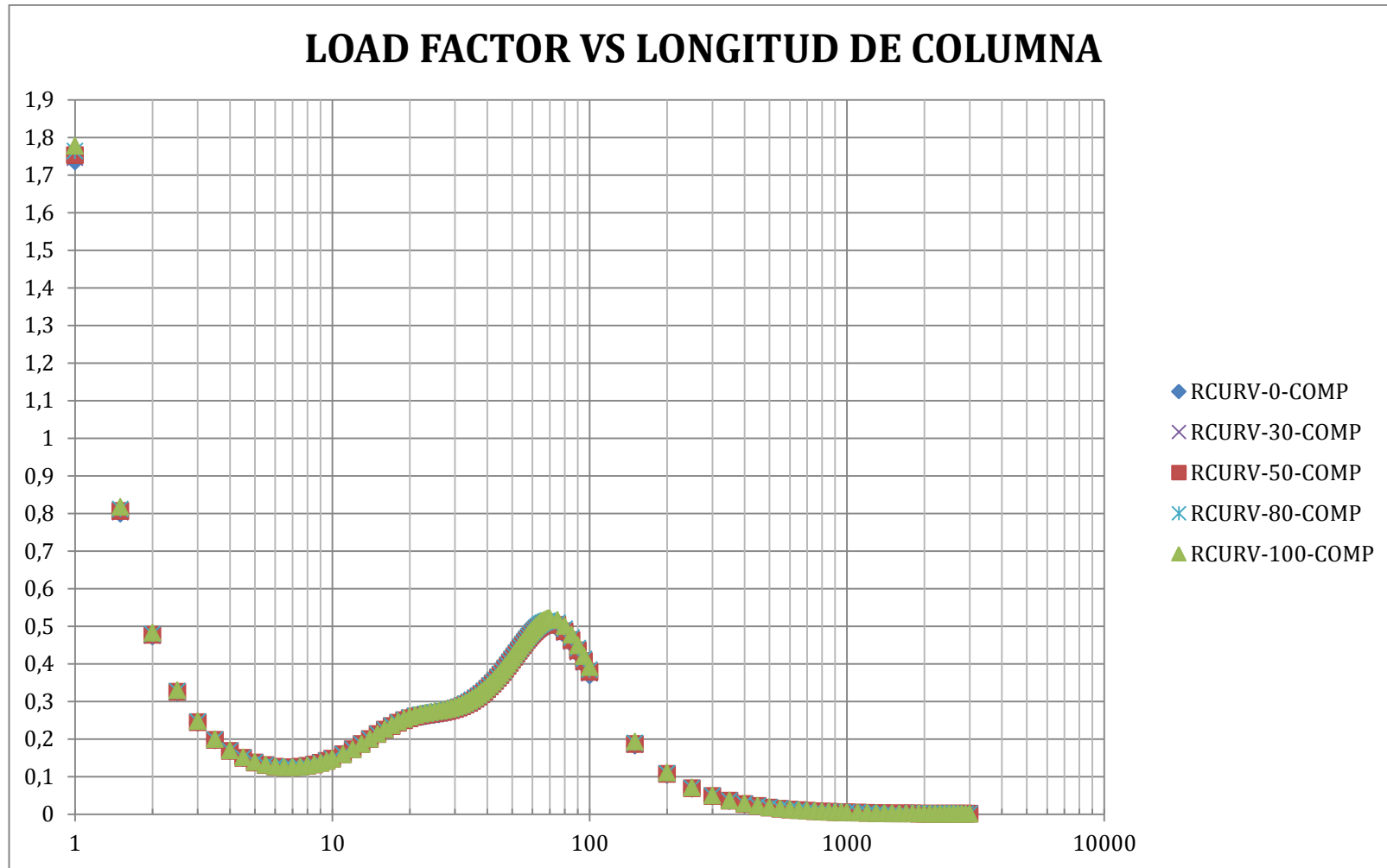


Figura 13. Curva de factor de carga Vs. Longitud de columna, carga axial 1T. Fuente: Elaboración propia



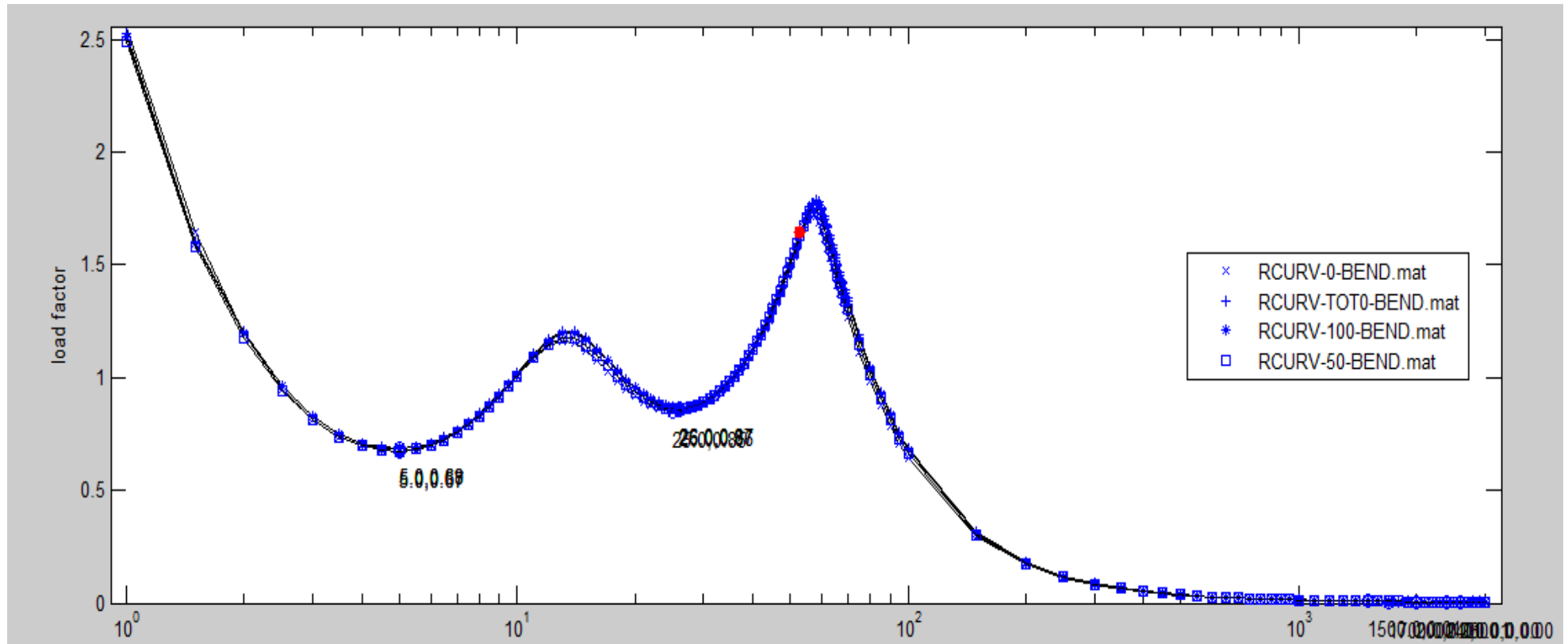


Figura 14. Curva de factor de carga Vs. Longitud de columna, momento aplicado 1Tm. Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 y 14 se muestran los resultados de las curvas de longitud de media onda. Esto es, la variación del factor de carga crítica de pandeo versus la altura de la columna. En las gráficas es casi imperceptible el cambio. Existen 5 curvas en la figura 14, cada una cuando se varía 0%, 30% 50% 80% y 100% el radio de giro. La variación promedio entre tener una columna con radio de curvatura 0 y con un radio  $R=1.5e$  es de 3.58% y 3.4% para la columna sujeta a compresión y a flexión respectivamente. La diferencia es relativamente baja por lo tanto, en Abaqus no se modeló el radio de giro.

### Verificación de captura de los diferentes modos de pandeo, ejemplo 3.2.1 del manual del direct strength method DSM

En la presente sección se muestra que el análisis por elementos finitos (AEF) captura correctamente el mecanismo de pandeo global, local y distorsional. Se usó el manual del Direct Strength Method (DSM) para extraer un ejemplo, de tal forma que se pueda comparar con un perfil que ya haya sido estudiado.

Se comparó los resultados obtenidos de ABAQUS con los resultados extraídos del ejemplo 3.2.1 del manual Direct Strength Method (DSM), el cual usa el programa CUFSM v4.05. Para el caso de pandeo global, también se verifica usando la fórmula de Euler.

La geometría del Ejemplo corresponde a un perfil 9CS2.5x059 con  $F_y = 55$  ksi. La siguiente figura muestra un corte del perfil a estudiar:

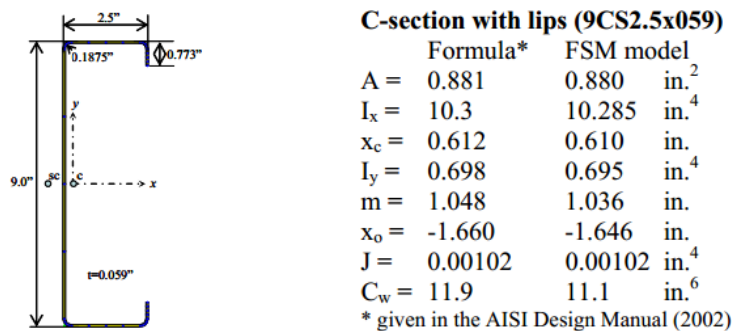


Figura 15. Sección Transversal ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se muestra el resultado de la curva del factor de carga vs longitud de columna de acuerdo al manual del DSM y cuando se aplica una carga de compresión  $P_y$ . Al visualizar esta gráfica, podemos concluir que el modo de pandeo global es el dominante cuando la altura de columna es de 200 in. De igual manera, con una altura de 40 in domina pandeo distorsional. Finalmente para una columna de 7 in domina el modo de pandeo local.

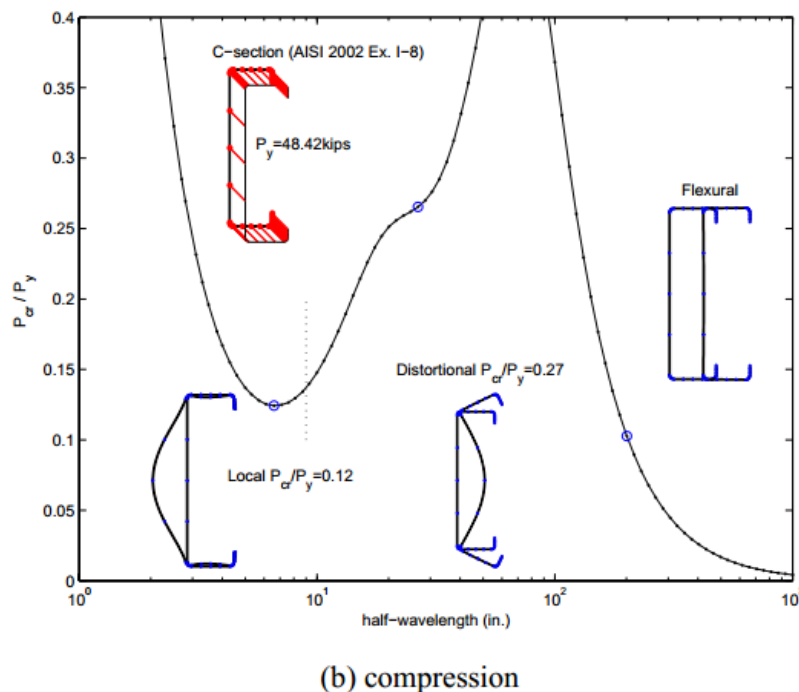


Figura 16. Curva del factor de carga vs. Longitud de media onda, ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto para la presente validación se usó longitudes de columnas de 200, 40 y 7 [in] respectivamente. Es importante mencionar que en este estudio se considera un radio de curvatura igual cero para las esquinas del perfil. **En la sección anterior se demostró que realizar el análisis con una variación del radio de curvatura no influye de manera**

considerable (variación menor que 4%) en los resultados de los factores de carga de pandeo.

### Verificación de captura de pandeo global.

#### *Resultados CUFSM para carga compresión $p_y=48.42\text{kips}$ .*

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 0.11039$  para una columna de longitud  $L = 200$  [in].

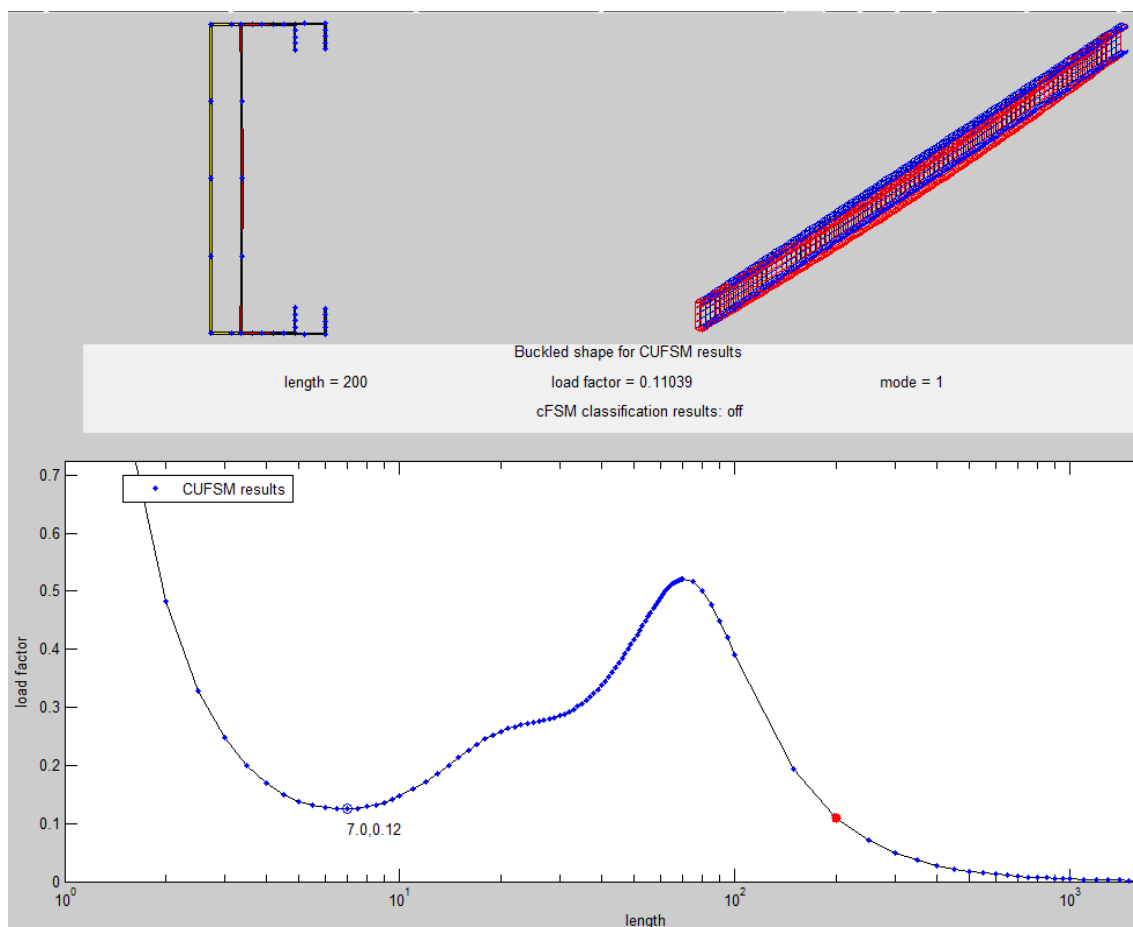


Figura 17. Resultados CUFSM para ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia

#### *Resultados para abaqus con carga compresión $p_y=48.42\text{kips}$ .*

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF), con un total de: 4303 nodos, 4224 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 0.11057$  para una columna de longitud  $L = 200$  in.

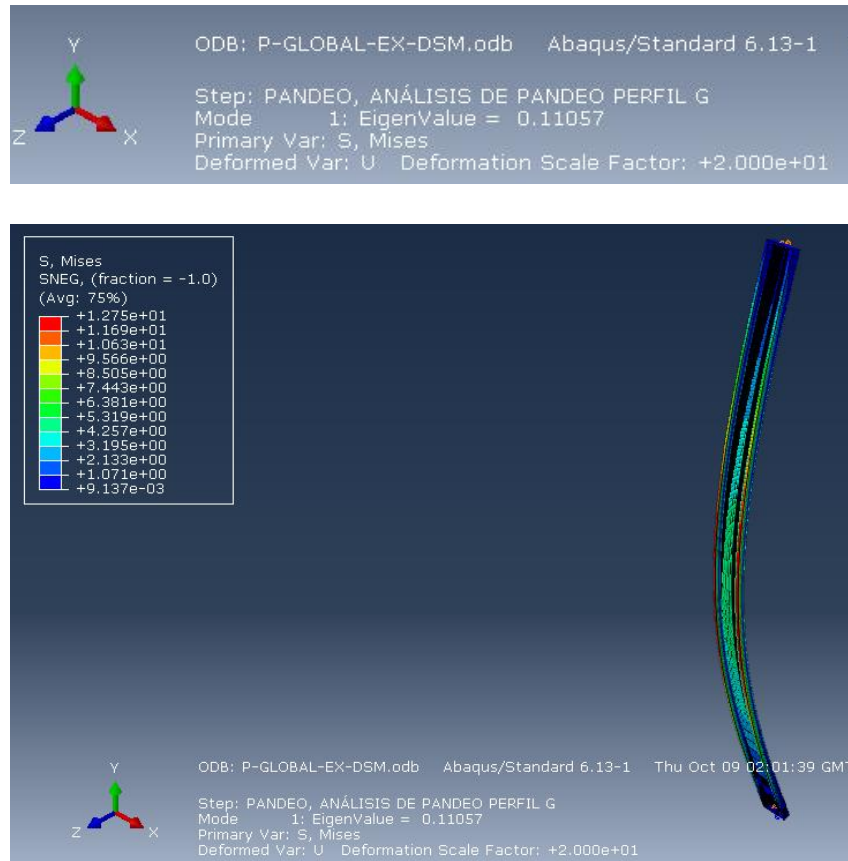


Figura 18. Vista isométrica, perfil G sujeto a pandeo global, Abaqus CAE. Fuente: Elaboración propia

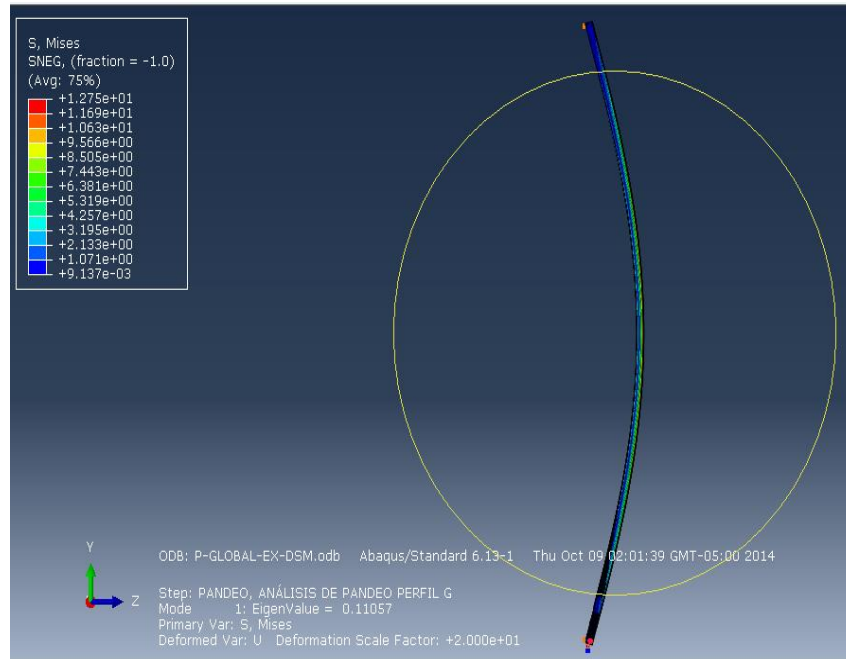


Figura 19. Vista lateral, perfil G sujeto a pandeo global, Abaqus CAE. Fuente: Elaboración propia

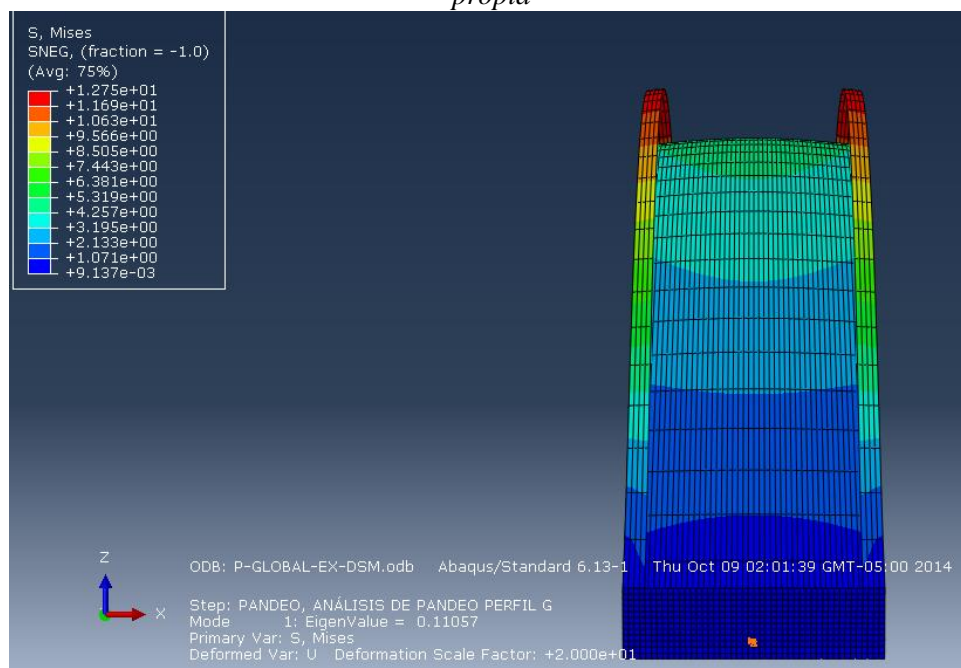


Figura 20. Vista superior, perfil G sujeto a pandeo global, Abaqus CAE. Fuente: Elaboración propia

### **Resultados mediante aplicación de la formula de euler.**

Se aplica la formula de Euler:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (1)$$

Donde:

$P_e$  = Carga de pandeo de Euler

$E$  = modulo de elasticidad del material

$I$  = momento de inercia

$L$  = Longitud de columna

$K$  = Factor de columna efectiva

A continuación se reemplazan los valores para el perfil a validar:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 29500 \times 0.74}{(1 \times 200)^2} = 5.386 \text{ kips}$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_e}{P_y} = \frac{5.386}{48.42} = 0.1112$$

### ***Comparación de los resultados.***

La tabla 2 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE y con la formula teórica de Euler.

*Tabla 2. Resultados de factores de carga para validación de pandeo global ejemplo 8.1 DSM.  
Fuente: Elaboración propia*

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	0.11039
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	0.11057
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de fórmula de Euler	0.1112

La variación entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 0.16% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo. Es importante mencionar que el resultado de Abaqus es más confiable debido que el análisis por elementos finitos es más preciso con respecto al análisis por tiras finitas.

### Verificación de captura de pandeo local.

#### *Resultados CUFSM (manual DSM) para carga compresión $p_y=48.42\text{kips}$ .*

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 0.1247$  para una columna de longitud  $L = 7$  in.

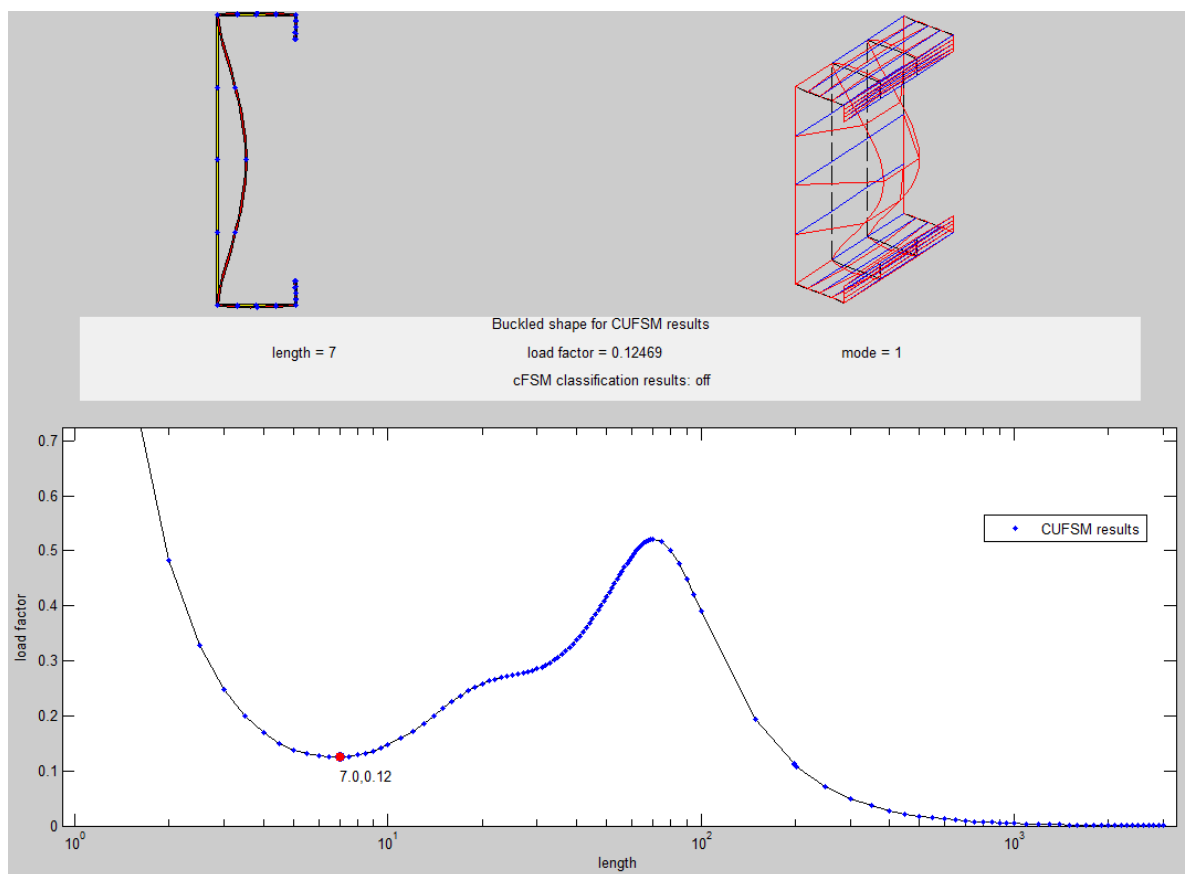


Figura 21. Resultados de CUFSM para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo local. Fuente: Elaboración propia



**Resultados para ABAQUS con carga compresión  $p_y=48.42\text{kips}$ .**

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF), con un total de: 337 numero de nodos, 316 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 0.1254$  para una columna de longitud  $L = 7$  in.

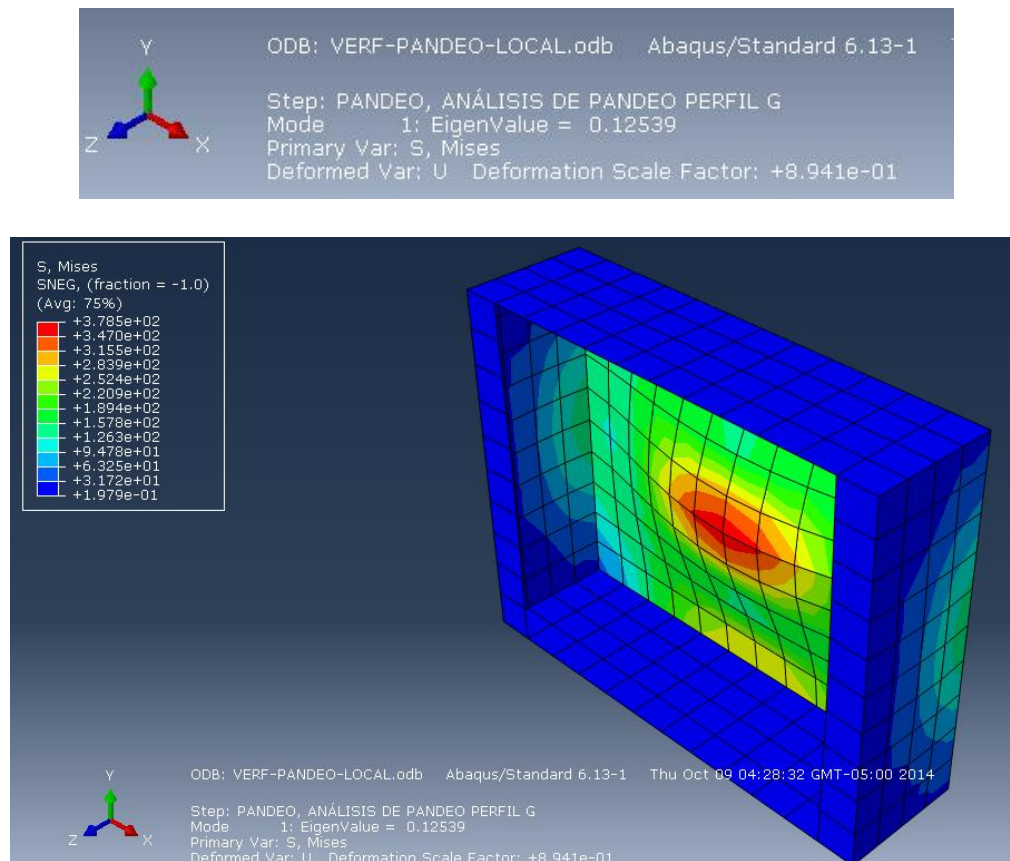


Figura 22. Resultados Abaqus, pandeo local, ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia

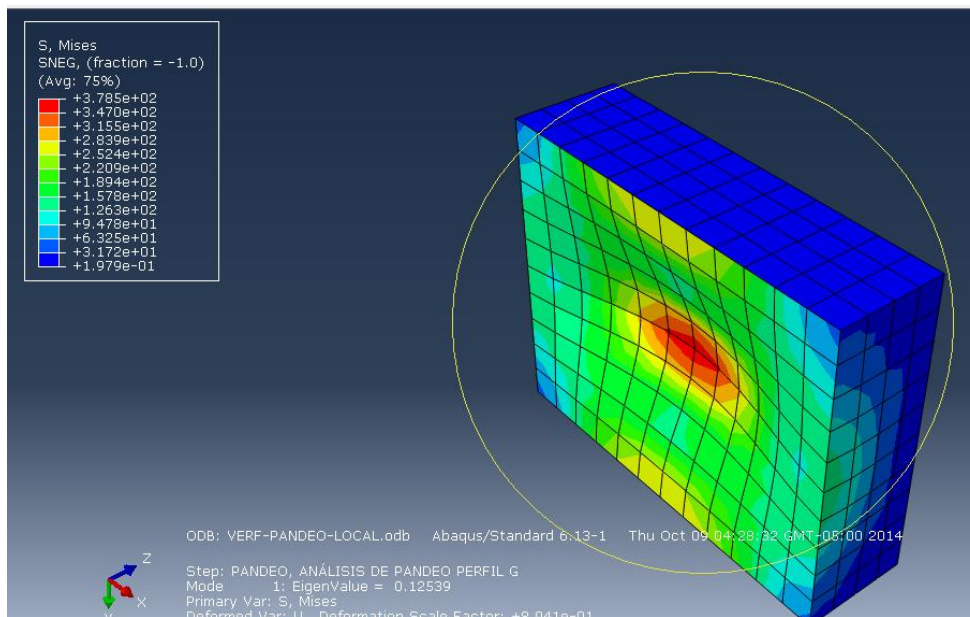


Figura 23. Vista trasera. Resultados Abaqus, pandeo local, ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia

### Comparación de los resultados.

La tabla 3 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE.

Tabla 3. Resultados del valor de factor de carga para pandeo local.

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	0.12469
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	0.12539

La variación entre el valor obtenido entre CUFSM y ABAQUS es de 0.56% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo.

### Verificación de captura de pandeo distorsional.

#### *Resultados CUFSM para carga compresión $p_y=48.42kip$ .*

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 0.3375$  para una columna de longitud  $L = 40$

in.

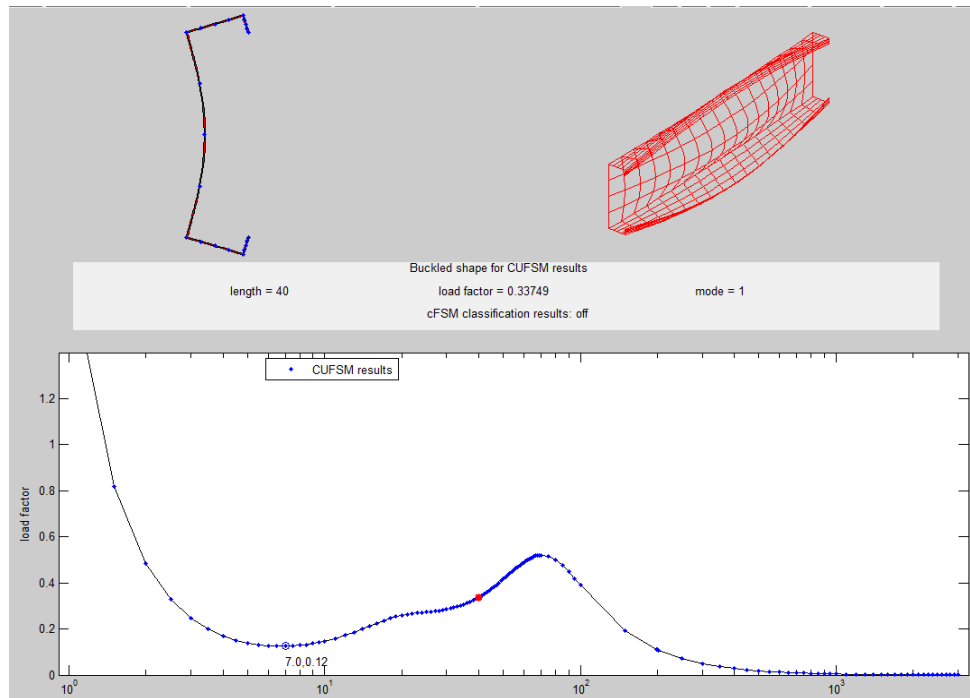
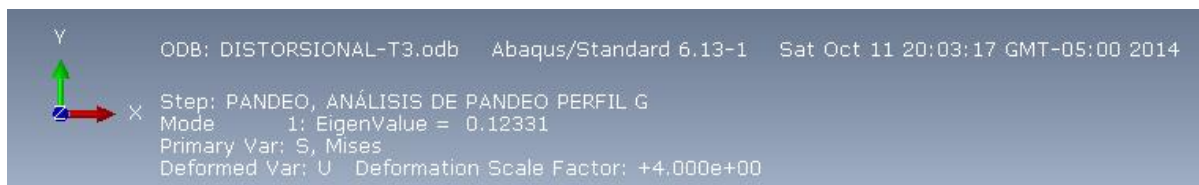
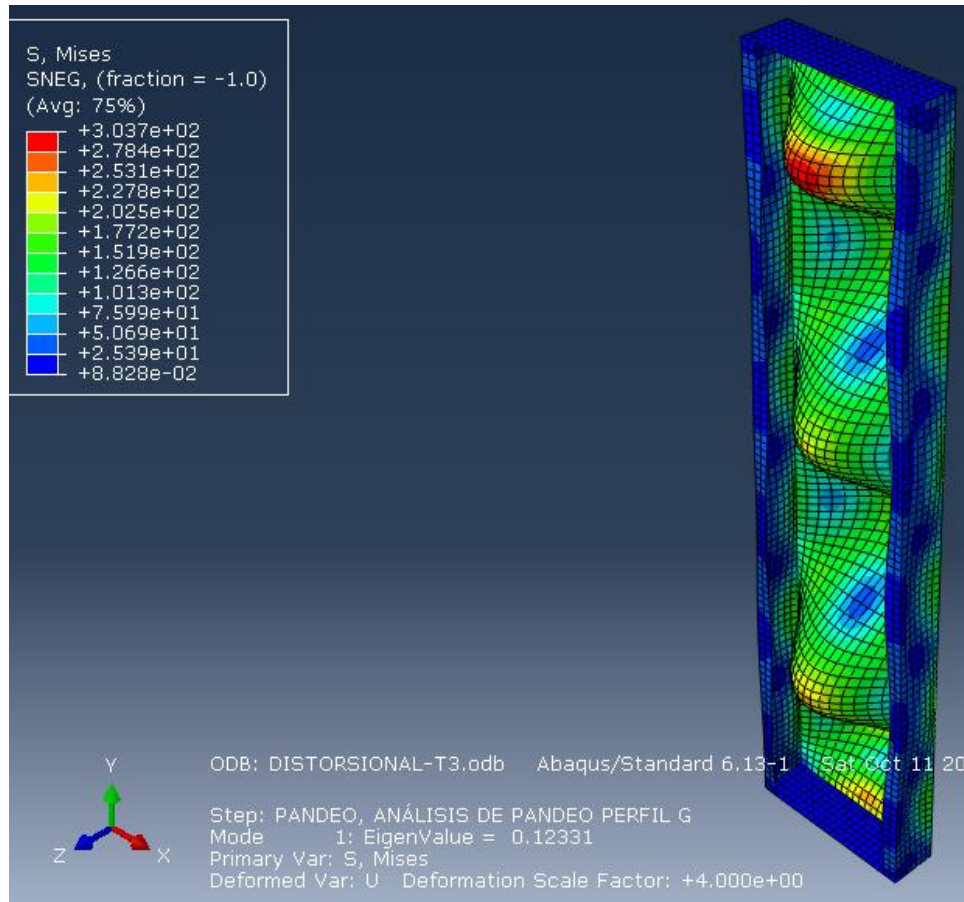


Figura 24. Resultados de CUFSM para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo distorsional. Fuente: Elaboración propia

#### *Resultados para Abaqus con carga compresión $p_y=48.42kips$*

Se realizó el analisis por elementos finitos (AEF, con un total de: 4427 numero de nodos, 4308 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 0.1231$  para una columna de longitud  $L = 40$  in.





*Figura 25. Vista isométrica. Resultados de Abaqus para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo distorsional.  
Fuente: Elaboración propia.*

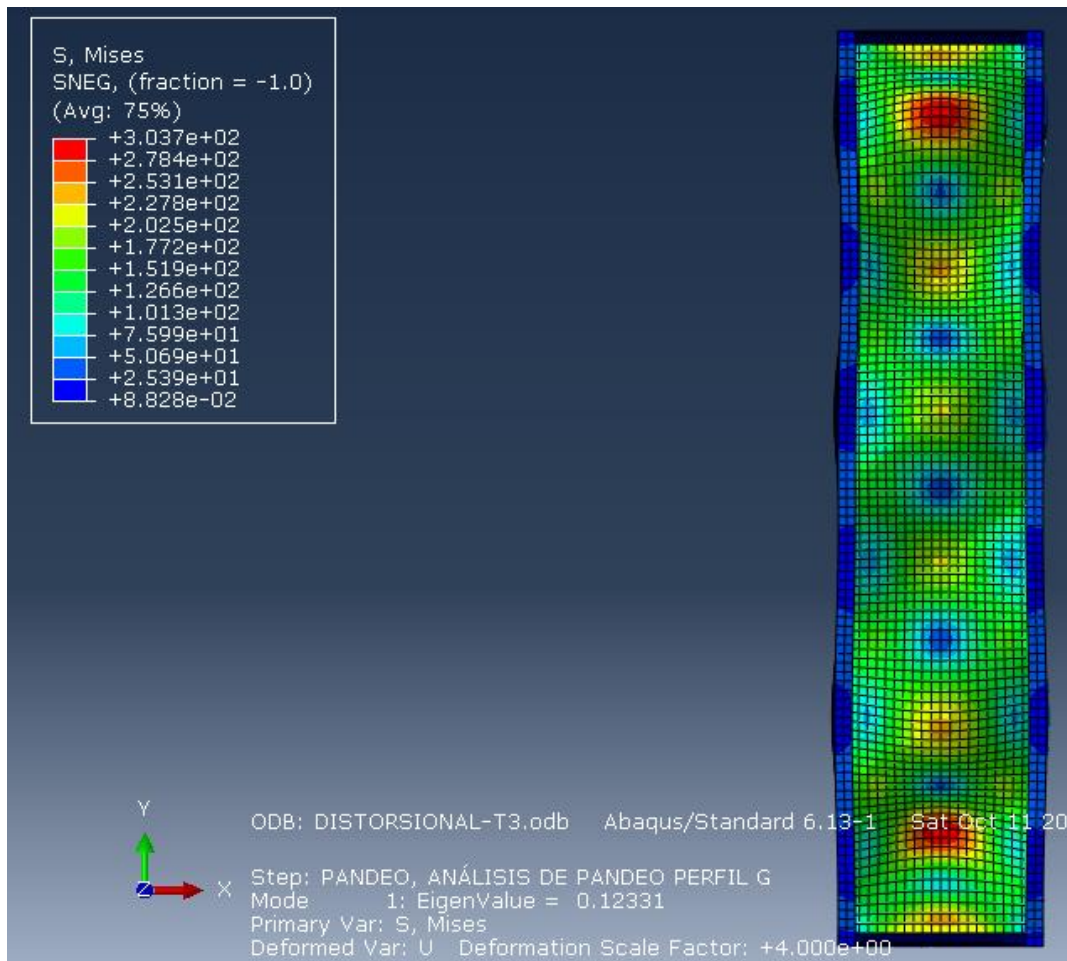


Figura 26. Vista frontal. Resultados de Abaqus para ejemplo 3.2.1 DSM, Pandeo distorsional.  
Fuente: Elaboración propia.

### Comparación de resultados.

La tabla 4 muestra los resultados de los factores de carga para pandeo distorsional.

Tabla 4. Resultados de factores de carga para pandeo distorsional. Ejemplo 3.2.1 DSM. Fuente: Elaboración propia

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	0.3375
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	0.1233

Podemos observar que hay una variación en el 50% del factor de carga. Esto no quiere decir que el análisis no sea válido; sino que Abaqus CAE encontró una inestabilidad de sección diferente a pandeo distorsional para esa longitud de columna.

### Verificación de captura de los diferentes modos de pandeo perfil G 150x50x15. Sección que se usará para el núcleo de esta investigación

En la presente sección se pretende mostrar que el análisis por elementos finitos (AEF) captura correctamente el mecanismo de pandeo global, local y distorsional. Debido a que ya se validó el ejemplo 3.2.1 del manual del Direct Strength Method; es hora de pasar a validar la captura de los modos de pandeo para el perfil G. Es importante realizar la validación puesto que este tipo de perfil es un componente de la sección cajón de los elementos viga columna que formaran parte de los pórticos de 1, 2, y 3 plantas.

Se comparó los resultados obtenidos de ABAQUS con los resultados del programa CUFSM v4.05. Para el caso de pandeo global, también se verifica usando la fórmula de Euler. La geometría corresponde a un perfil G 150x50x15. La siguiente figura muestra un corte del perfil a estudiar:

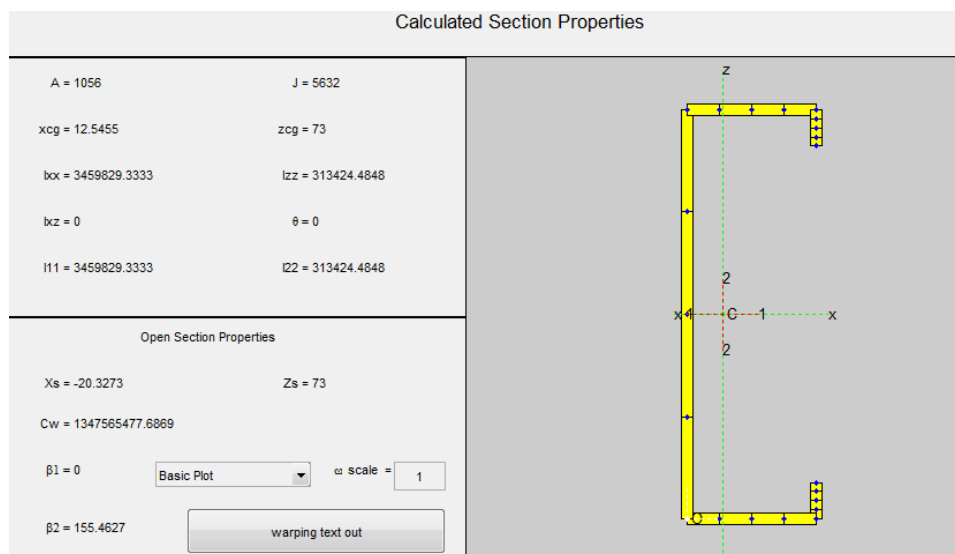


Figura 27. Propiedades de sección del perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra el resultado de la curva del factor de carga vs longitud de columna de acuerdo al programa CUFSM y cuando se aplica una carga de compresión  $P_Y=1000N$ . Al visualizar esta gráfica, podemos concluir que el modo de pandeo global es el dominante cuando la altura de columna es de 2000mm. De igual manera, con una altura

de 400mm domina pandeo distorsional. Para una columna de 100 mm domina el modo de pandeo global.

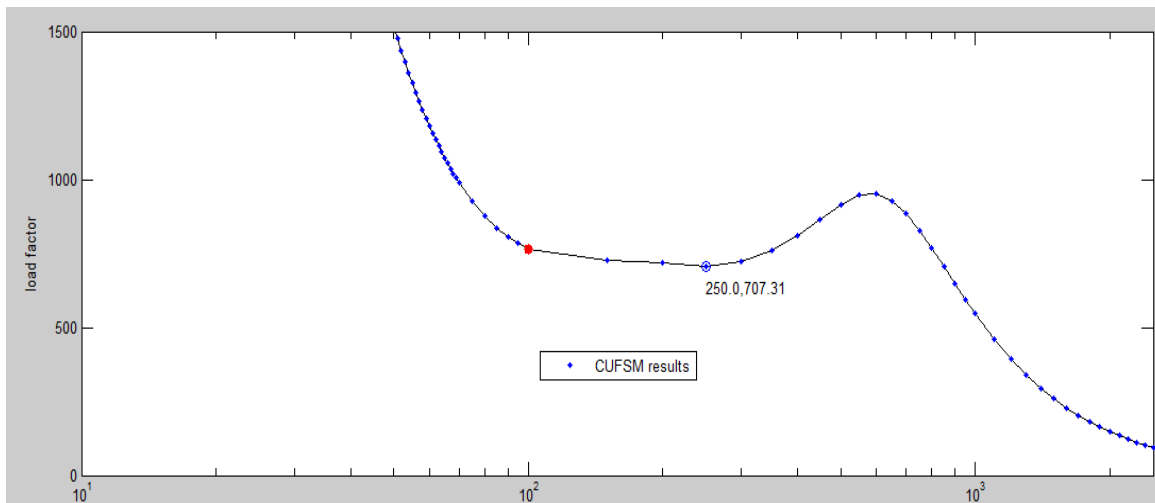


Figura 28. Curva de longitud de media onda para una sección G 150x50x15

Por lo tanto para la validación se usan longitudes de columnas de 2000, 400 y 100 mm respectivamente. Es importante mencionar que en este estudio se considera un radio de curvatura igual cero para las esquinas del perfil. **En una sección anterior se demostró que realizar el análisis con una variación del radio de curvatura no influye** de manera considerable (menor que 4%) en los resultados de los factores de carga de pandeo.

### Verificación de captura de pandeo global.

#### *Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000 N.*

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 147.6524$  para una columna de

longitud  $L = 2000$  mm.

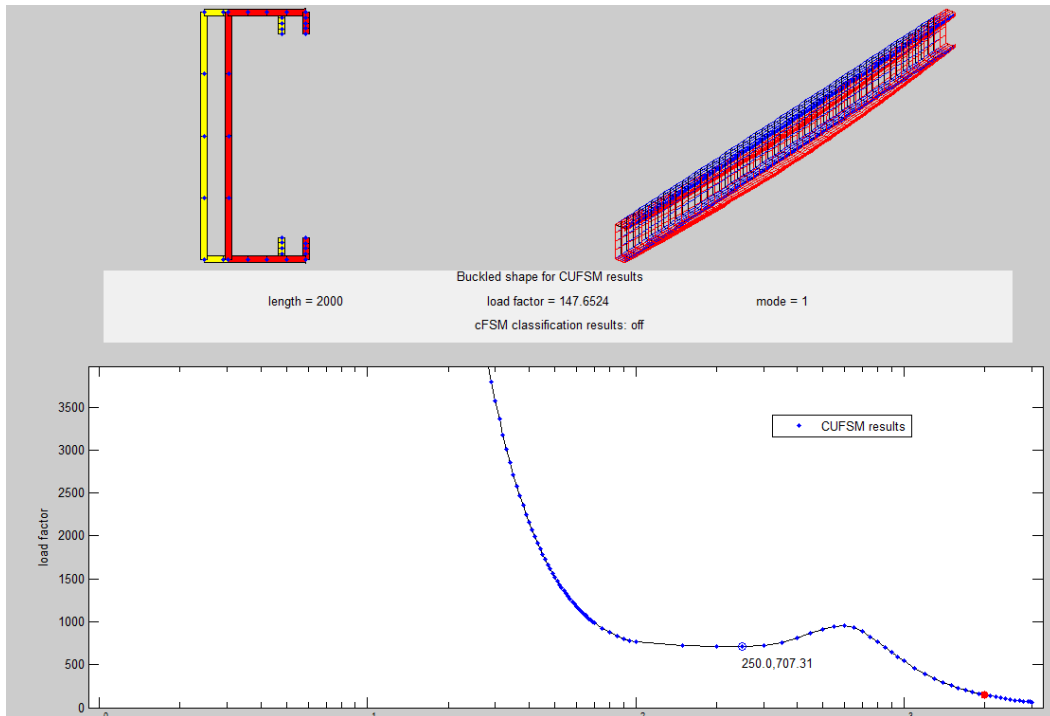
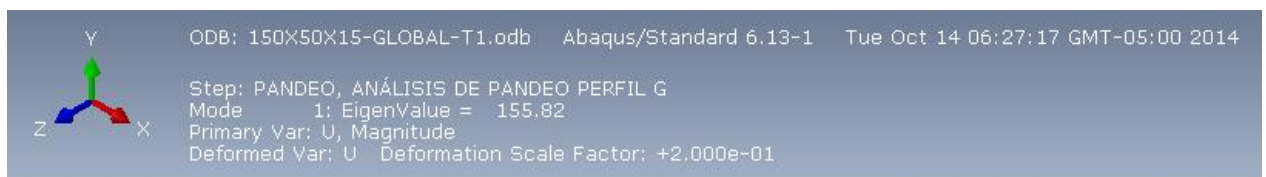


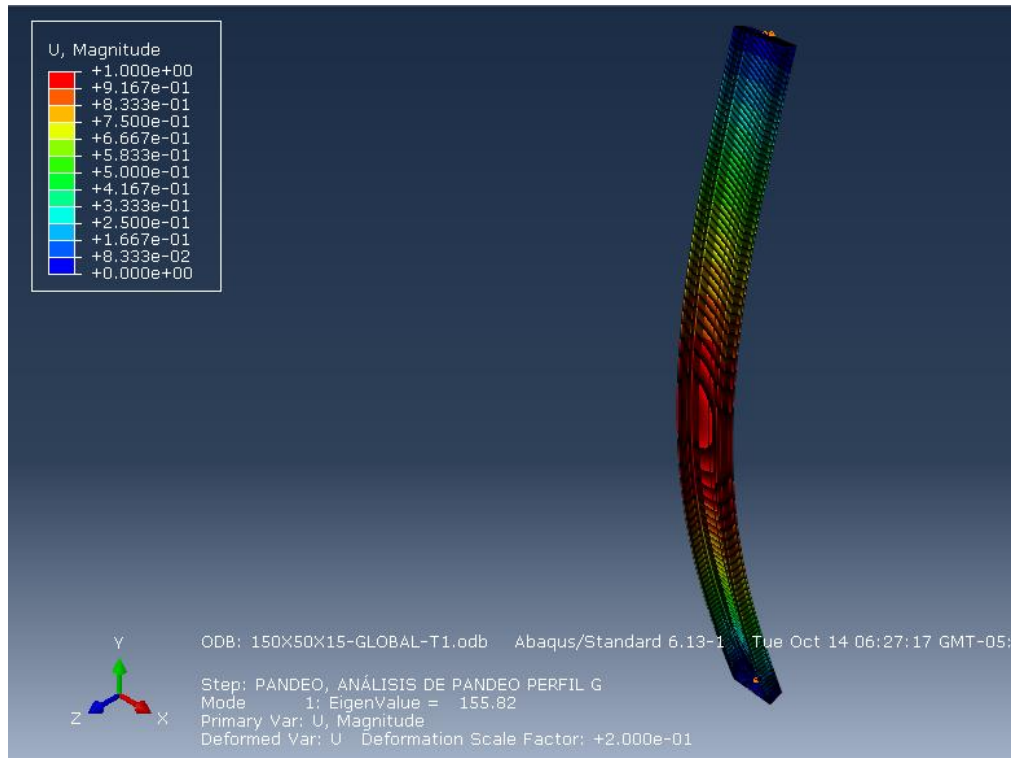
Figura 29. Resultado para pandeo global (CUFSM), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

### Resultados para abaqus con carga compresión $p_y=1000$ N.

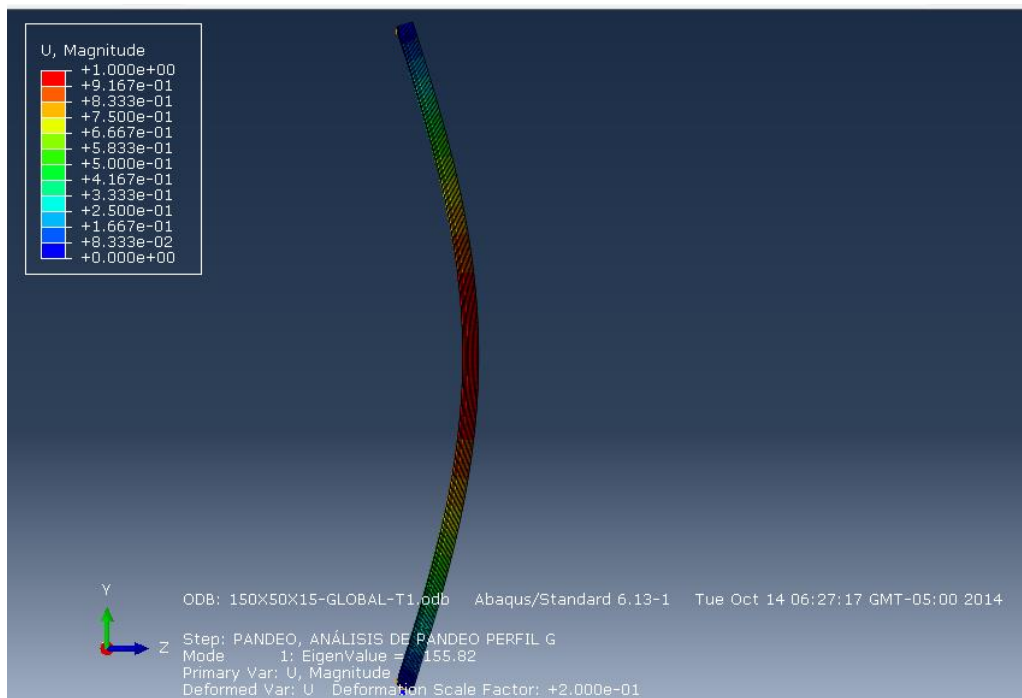
Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF), con un total de: 6325 numero de nodos, 6200 elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 155.82$  para una columna de longitud  $L = 2000$  mm.







*Figura 30. Vista isométrica. Resultado para pandeo global (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia*



*Figura 31. Vista lateral. Resultado para pandeo global (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia*

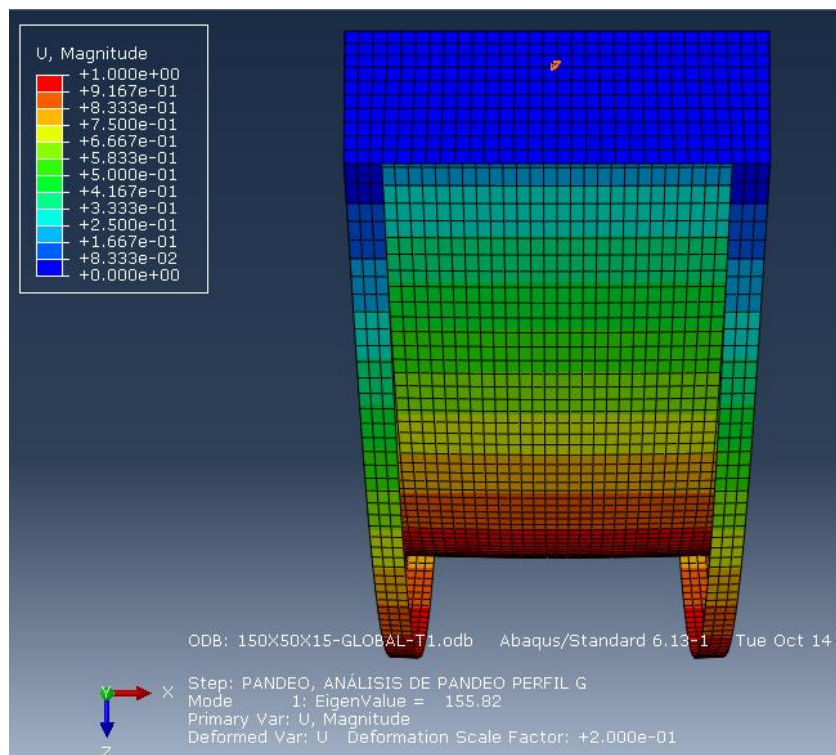


Figura 32. Vista superior. Resultado para pandeo global (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

### ***Resultados mediante aplicación de la formula de euler.***

Se aplica la formula de Euler:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (1)$$

Donde:

$P_e$  = Carga de pandeo de Euler

$E$  = modulo de elasticidad del material

$I$  = momento de inercia

$L$  = Longitud de columna

$K$  = Factor de columna efectiva

A continuación se reemplazan los valores para el perfil a validar:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 203000 \times 313424.48}{(1 \times 2000)^2} = 156988.8 \text{ N}$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_e}{P_y} = \frac{156998.8}{1000} = 156.98$$

### ***Comparación de los resultados.***

La tabla 5 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE y con la fórmula teórica de Euler.

*Tabla 5. Resultados de factores de carga para perfil G 150x50x15*

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	147.65
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	155.82
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de fórmula de Euler	156.98

La variación entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 5.2% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo.

### **Verificación de captura de pandeo local.**

#### ***Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000 N.***

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 765.96$  para una columna de longitud  $L = 100 \text{ mm}$ . La figura 33 muestra la deformada y el resultado de la curva de media onda.

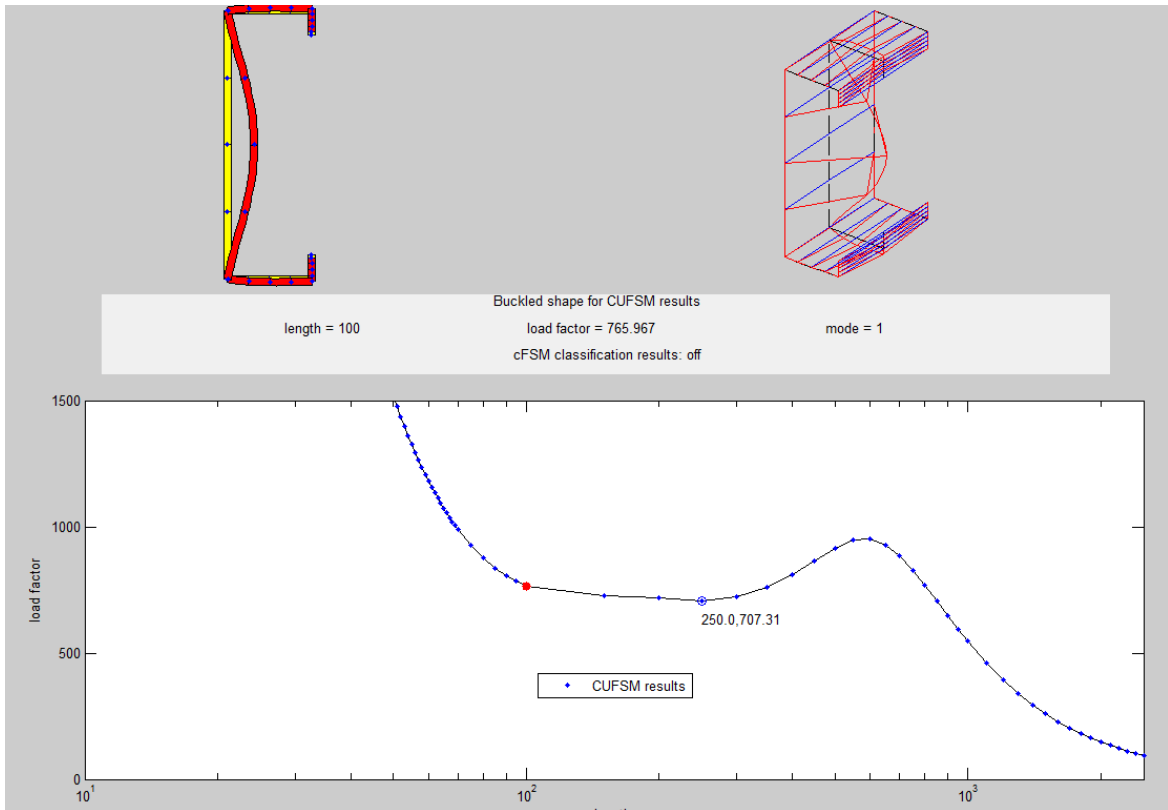
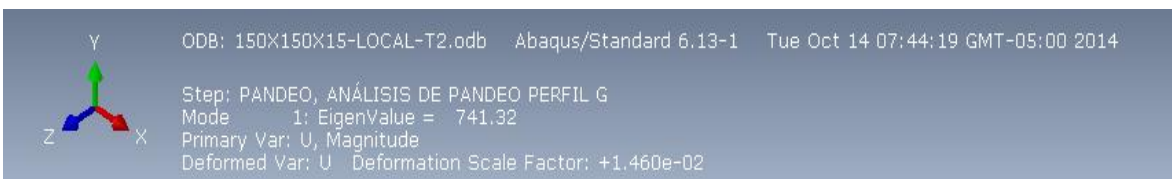


Figura 33. Resultado para pandeo local (CUFSM), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

### **Resultados de abaqus para una carga compresión $P_Y=1000$ N.**

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF) para el perfil anteriormente mencionado, con un total de: 1134 numero de nodos, 1060 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 741.32$  para una columna de longitud  $L = 100\text{mm}$ .



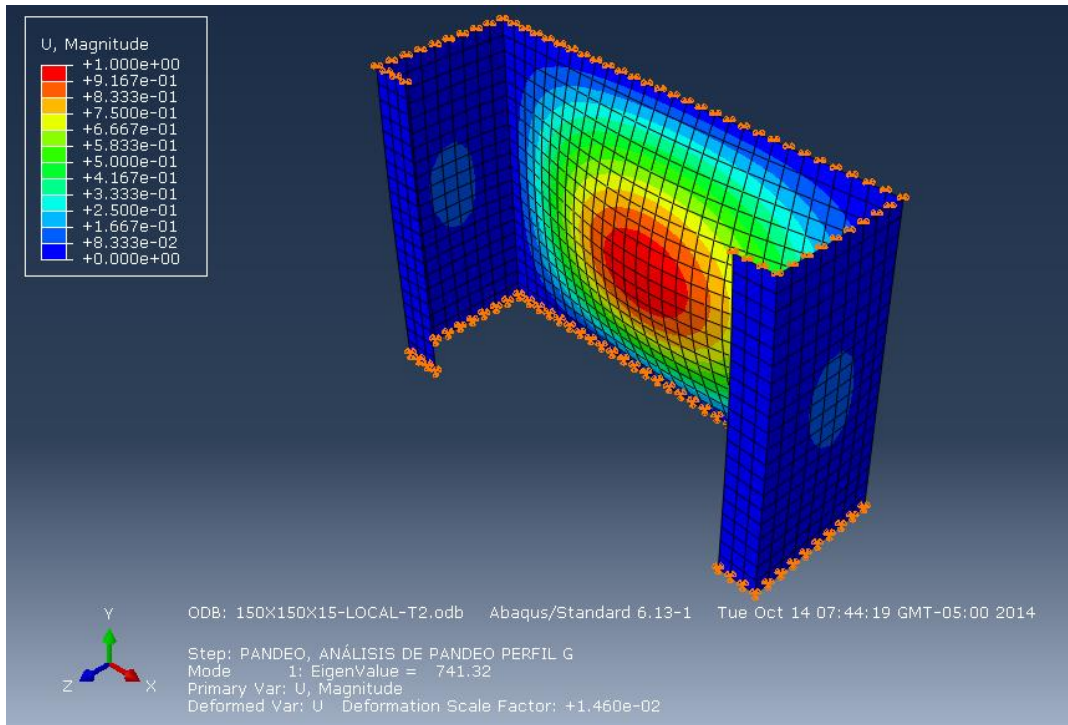


Figura 34. Vista isométrica. Resultado para pandeo local (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

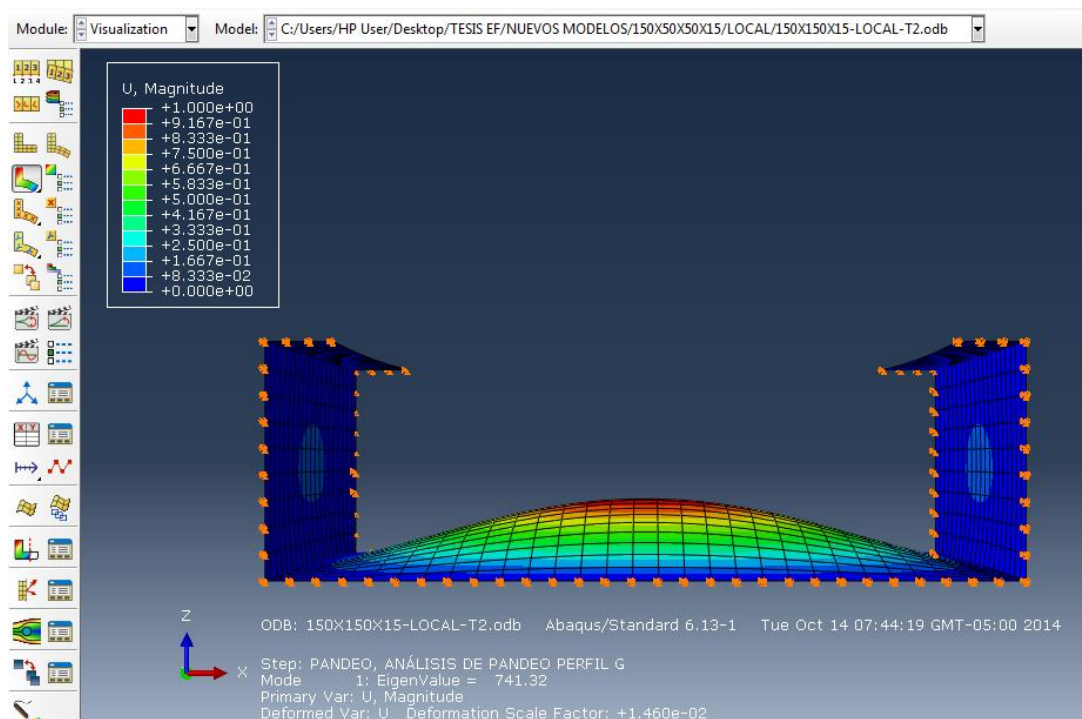


Figura 35. Vista superior. Resultado para pandeo local (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

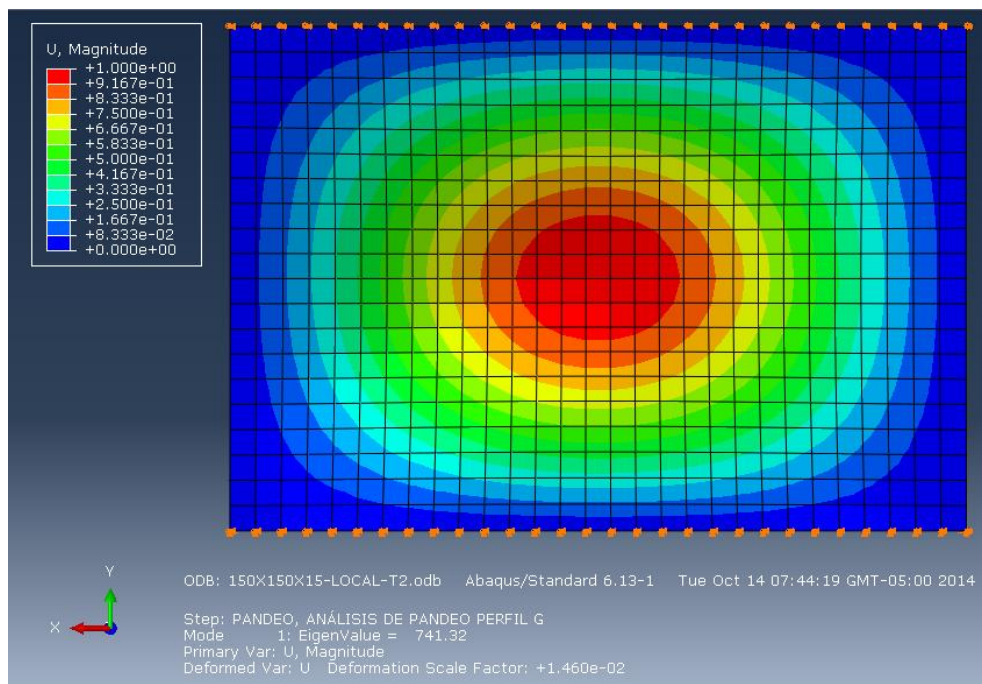


Figura 36. Vista trasera. Resultado para pandeo local (Abaqus), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

### Comparación de resultados.

La tabla 6 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE.

Tabla 6. Resultados de factores de carga para un perfil G 150x50x15

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	765.96
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	741.32

La variación entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 3.2% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo.

### Verificación de captura de pandeo distorsional.

#### *Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000 N.*

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 809.48$  para una columna de longitud  $L = 400$  mm.

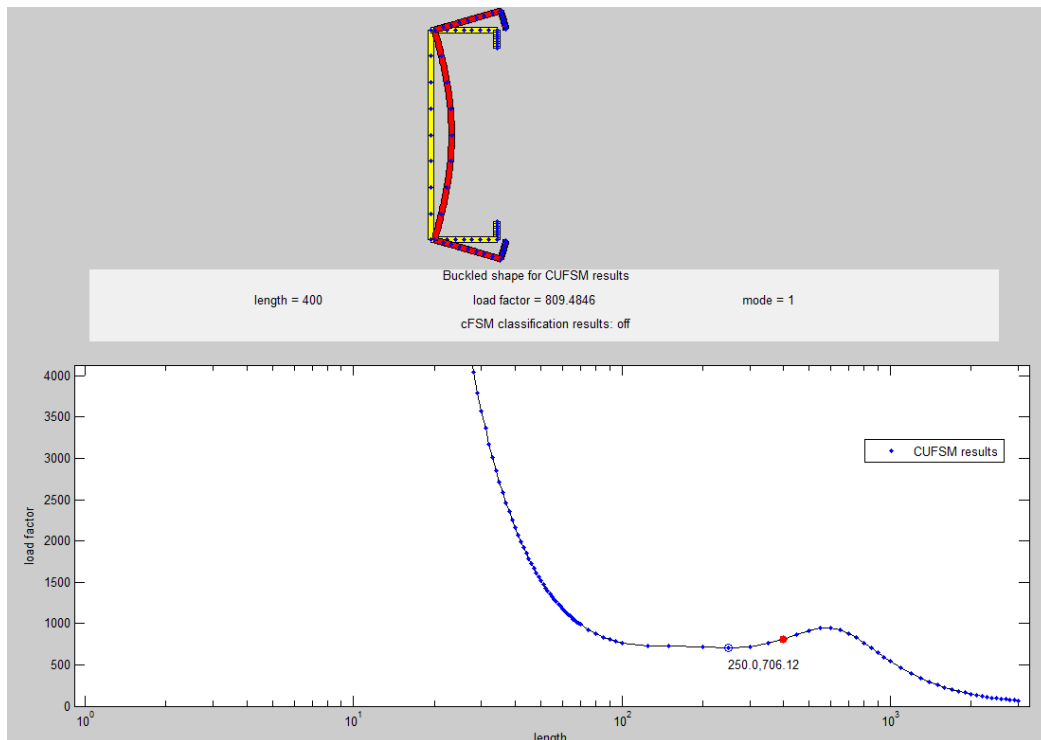
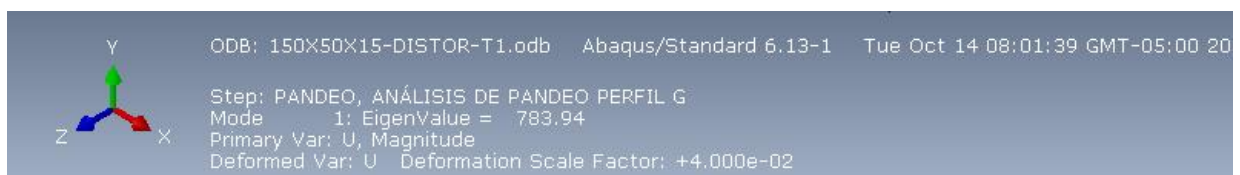


Figura 37. Resultado para pandeo distorsional (CUFSM), perfil G150x50x15. Fuente: Elaboración propia

#### *Resultados de Abaqus para una carga compresión PY=1000 N.*

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF) para el perfil anteriormente mencionado, con un total de: 4427 numero de nodos, 4308 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 783.94$  para una columna de longitud  $L = 400$  mm.





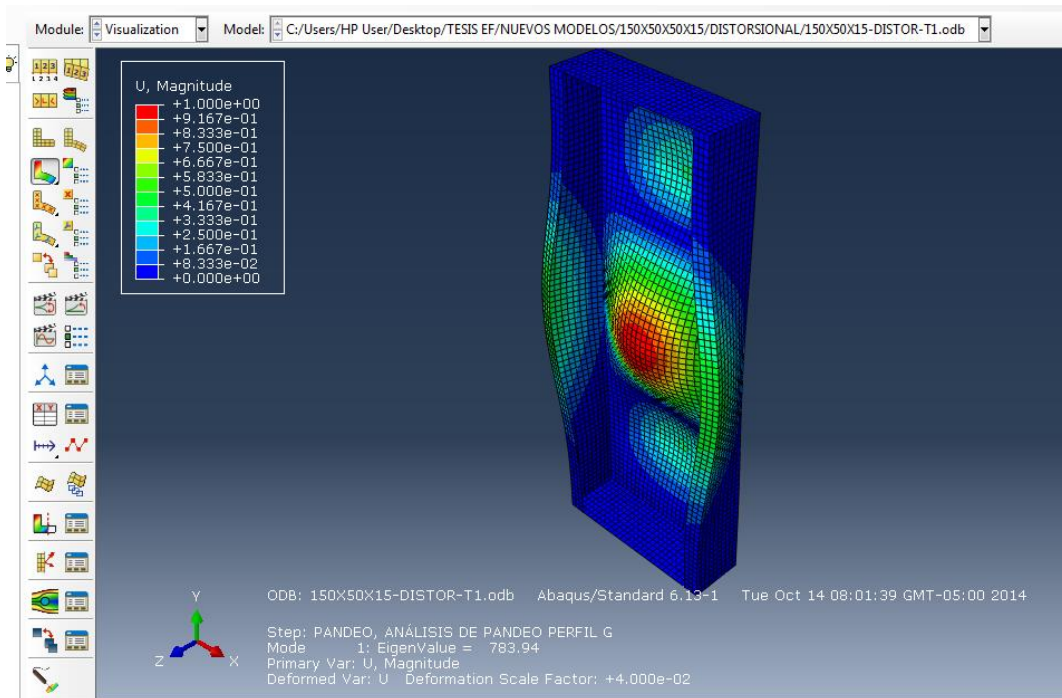


Figura 38. Vista isométrica. Resultado para pandeo distorsional (Abaqus), perfil G150x50x15.  
Fuente: Elaboración propia

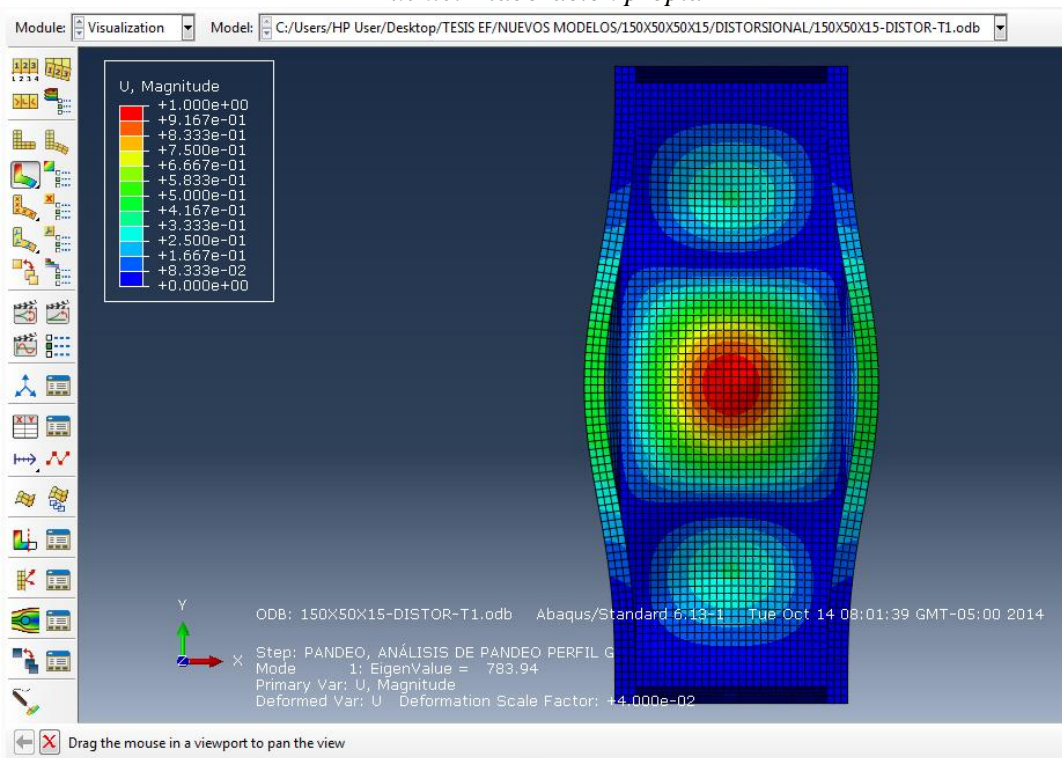


Figura 39. Vista frontal. Resultado para pandeo distorsional (Abaqus), perfil G150x50x15.  
Fuente: Elaboración propia.



### ***Comparación de los resultados.***

La tabla 7 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE.

*Tabla 7. Resultados para pandeo distorsional de un perfil G 150x50x15*

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	809.48
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	783.94

La variación entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 3.15% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo.

### **Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura continua**

En la presente sección se pretende mostrar que el análisis por elementos finitos (AEF) captura correctamente el mecanismo de pandeo global, local y distorsional. Finalmente es hora de validar la captura de los modos de pandeo de la sección cajón compuesta por dos perfiles G 150x50x15 para un espesor de 4mm. Esta configuración de sección transversal se usará para los elementos viga-columna que van a ser usados estudiar los pórticos de 1, 2 y 3 pisos frente a una carga lateral creciente.

Se comparó los resultados obtenidos de ABAQUS con los resultados del programa CUFSM v4.05. Para el caso de pandeo global, también se verifica usando la fórmula de Euler. La geometría del Ejemplo corresponde a dos perfiles G 150x50x15. La siguiente figura muestra un corte de la sección a estudiar:

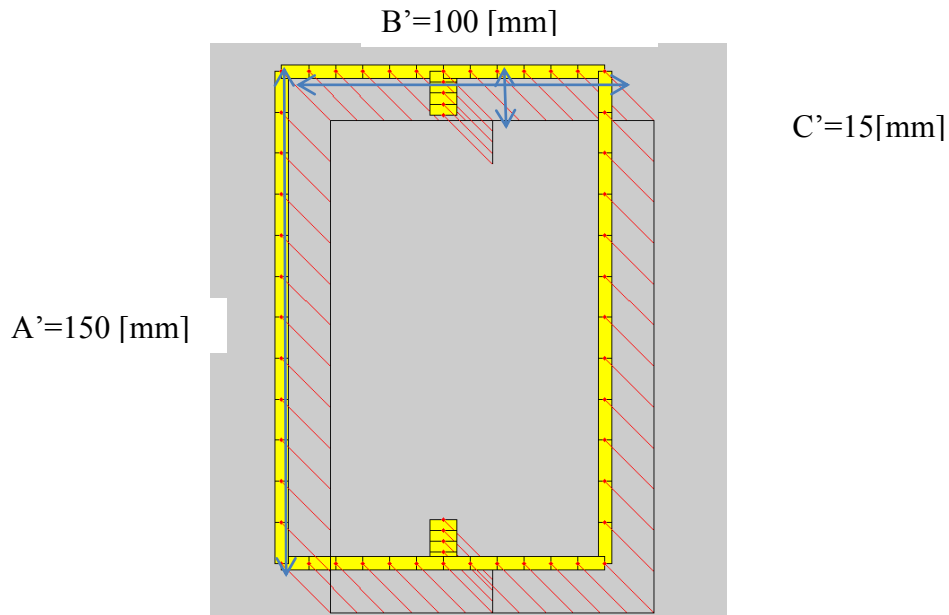


Figura 40. Sección cajón formada por la unión de 2 perfiles G 150x50x15, espesor de 4mm.  
Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura se muestra el factor de carga vs longitud de columna de acuerdo al programa CUFSM cuando se aplica una carga de compresión  $P_Y=1000\text{N}$ . Al visualizar esta gráfica, podemos concluir que el modo de pandeo global es el dominante cuando la altura de columna es de 2000mm. De igual manera, con una altura de 500mm domina pandeo distorsional. Para una columna de 100 mm domina el modo de pandeo local.

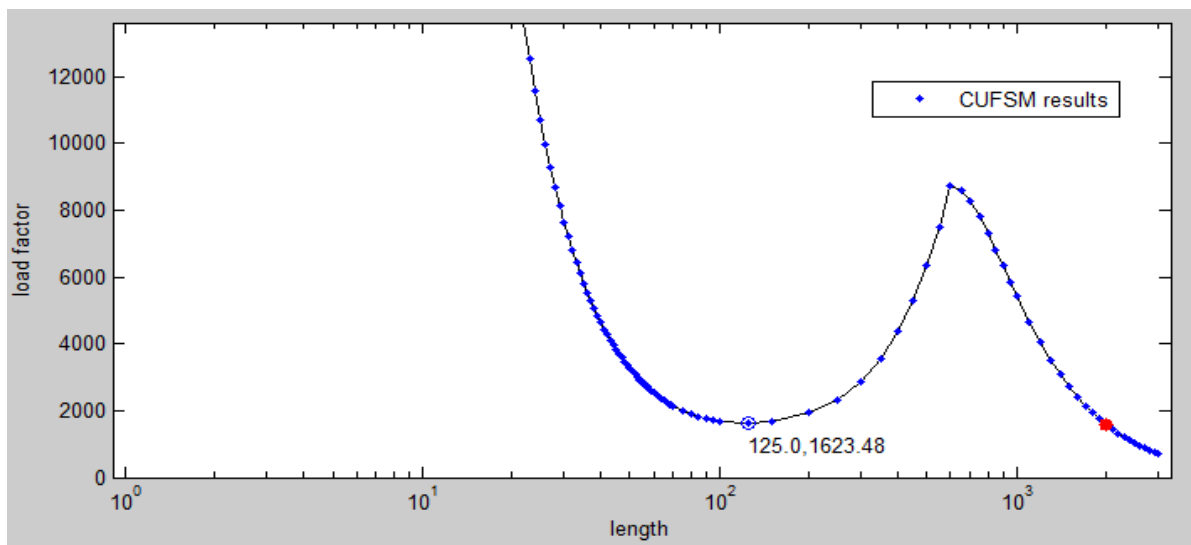


Figura 41. Factor de carga vs. Longitud de columna, sección cajón. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto para la presente validación se usan longitudes de columnas de 2000, 500 y 100 [mm] respectivamente. Es importante mencionar que en este estudio se considera un radio de curvatura igual cero para las esquinas la sección cajón. **En una sección anterior se demostró que realizar el análisis con una variación del radio de curvatura no influye** de manera considerable (menor que 4%) en los resultados de los factores de carga de pandeo.

#### **Verificación de captura de pandeo global.**

##### **Resultados CUFSM para una carga compresión $P_Y=1000$ N.**

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 1582.58$  para una columna de longitud  $L = 2000$  mm.

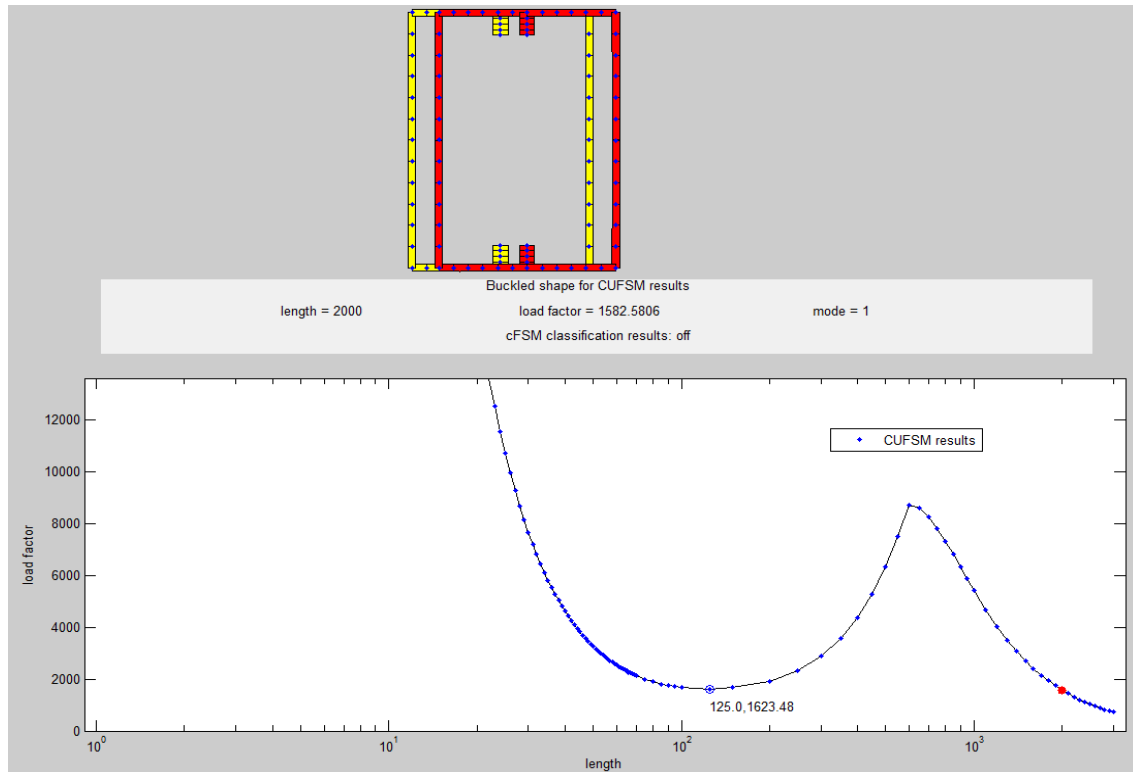


Figura 42. Resultado para pandeo global (CUFSM), sección cajón  $L=2000\text{m}$ . Fuente: Elaboración propia

### **Resultados de Abaqus para una carga compresión $P_Y=1000\text{N}$ .**

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF), con un total de: 5436 número de nodos, 5436 número de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 1594.7$  para una columna de longitud  $L = 2000 \text{ mm}$ .

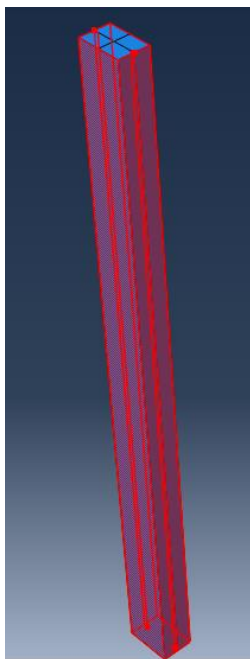
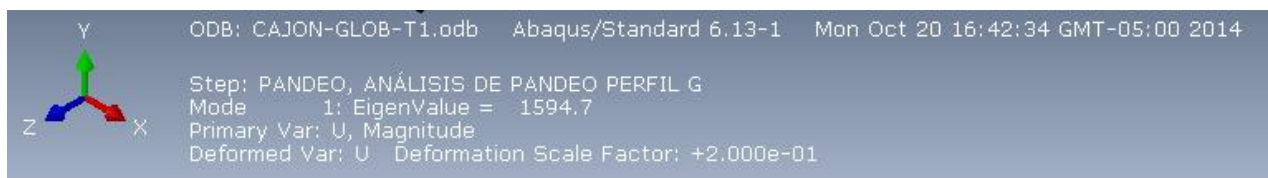


Figura 43. Ensamble de la sección cajón en Abaqus. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 44 se muestra la deformada de este modo de pandeo en varias vistas.



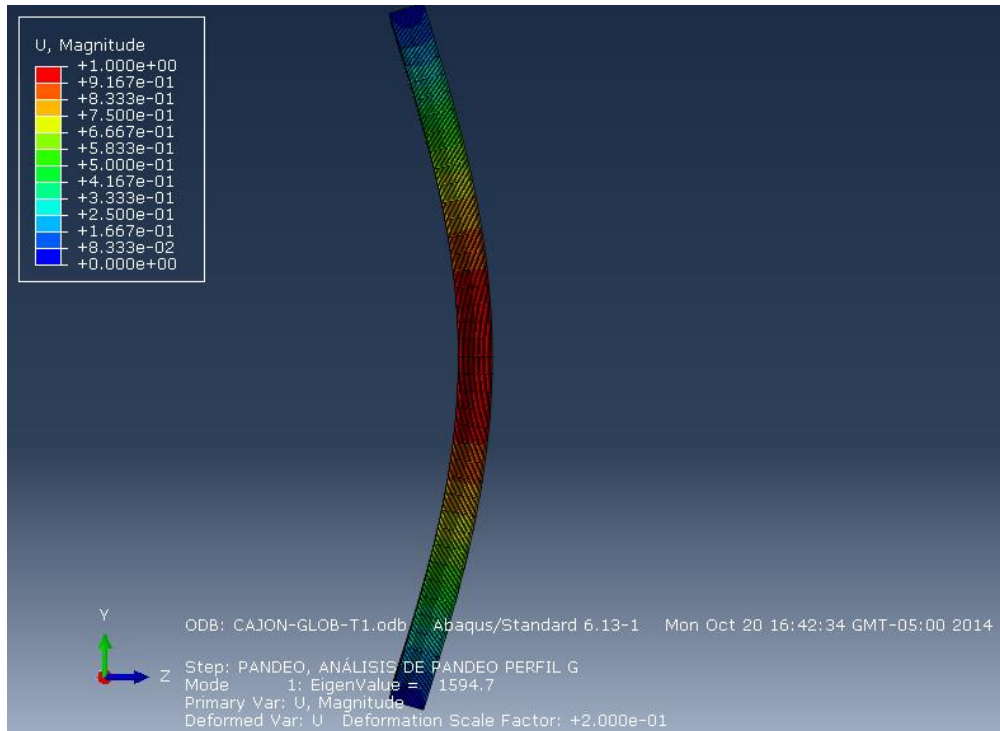


Figura 44. Vista isométrica. Resultado para pandeo global (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia

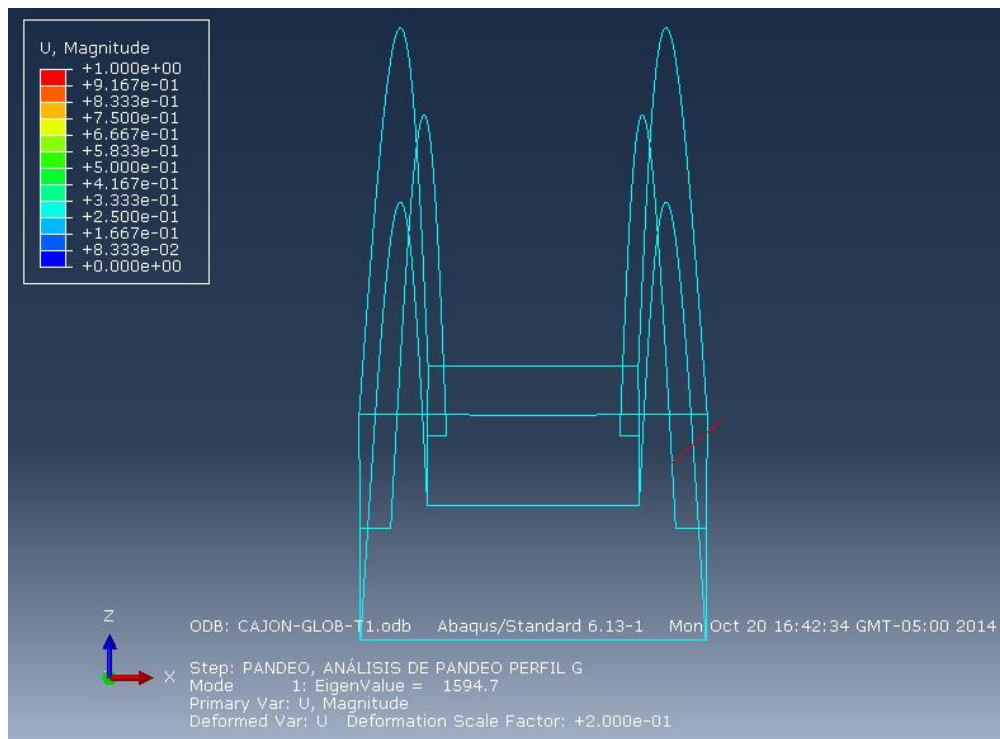


Figura 45. Vista superior. Resultado para pandeo global (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia

**Resultados mediante aplicación de la fórmula de Euler.**

Se aplica la fórmula de Euler:

$$P_e = \frac{\pi^2 EI}{(KL)^2} \quad (1)$$

Donde:

Pe = Carga de pandeo de Euler

E = módulo de elasticidad del material

I = momento de inercia

L = Longitud de columna

K = Factor de columna efectiva

A continuación se reemplazan los valores para el perfil a validar:

$$P_e = \frac{\pi^2 \times 203000 \times 3286464}{(1 \times 2000)^2} = 1646132.05 \text{ N}$$

Por lo tanto:

$$\frac{P_e}{P_y} = \frac{1646132.05}{1000} = 1646.13$$

**Comparación de los resultados.**

La tabla 8 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE y con la fórmula teórica de Euler.

Tabla 8. Resultados de factor de carga, pandeo global, sección cajón Fuente: Elaboración propia.

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	1582.58
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	1594.7
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido con solución analítica (	1646.13

fórmula de pandeo global de Euler)	
------------------------------------	--

La diferencia entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 0.75% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo.

### Verificación de captura de pandeo local.

#### *Resultados CUFSM para carga compresión PY=1000N.*

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 1672.72$  para una columna de longitud  $L = 100$  [mm].

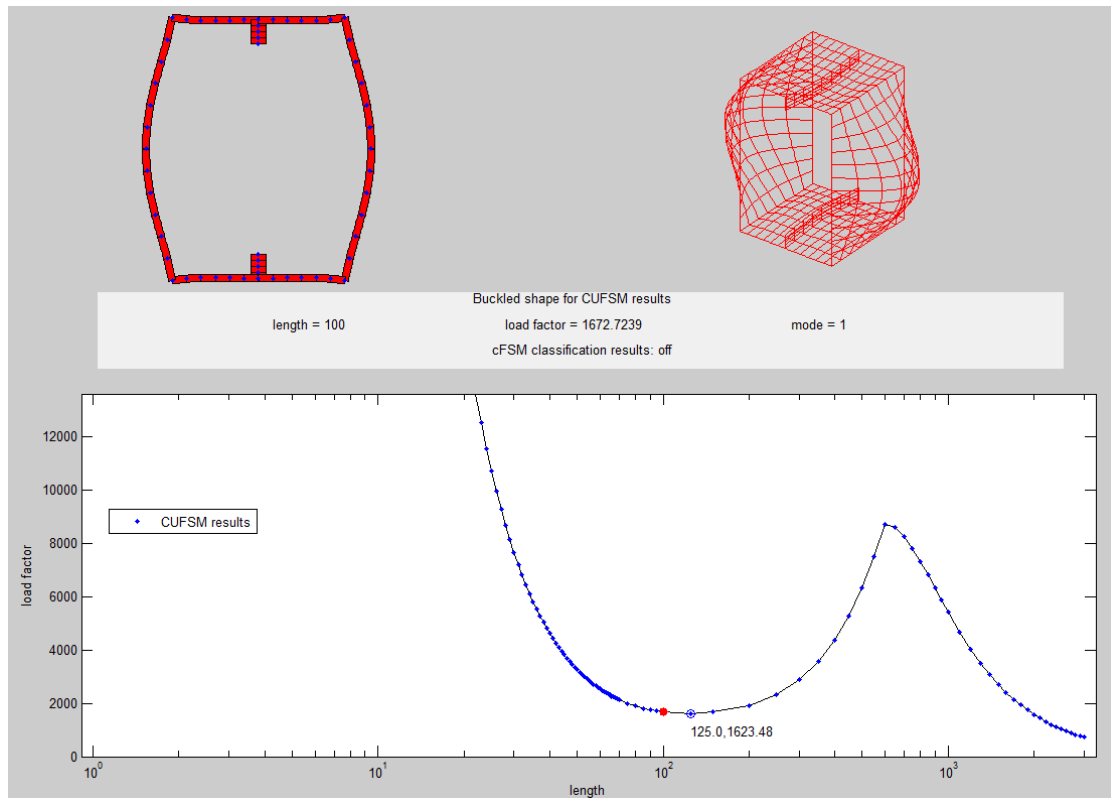
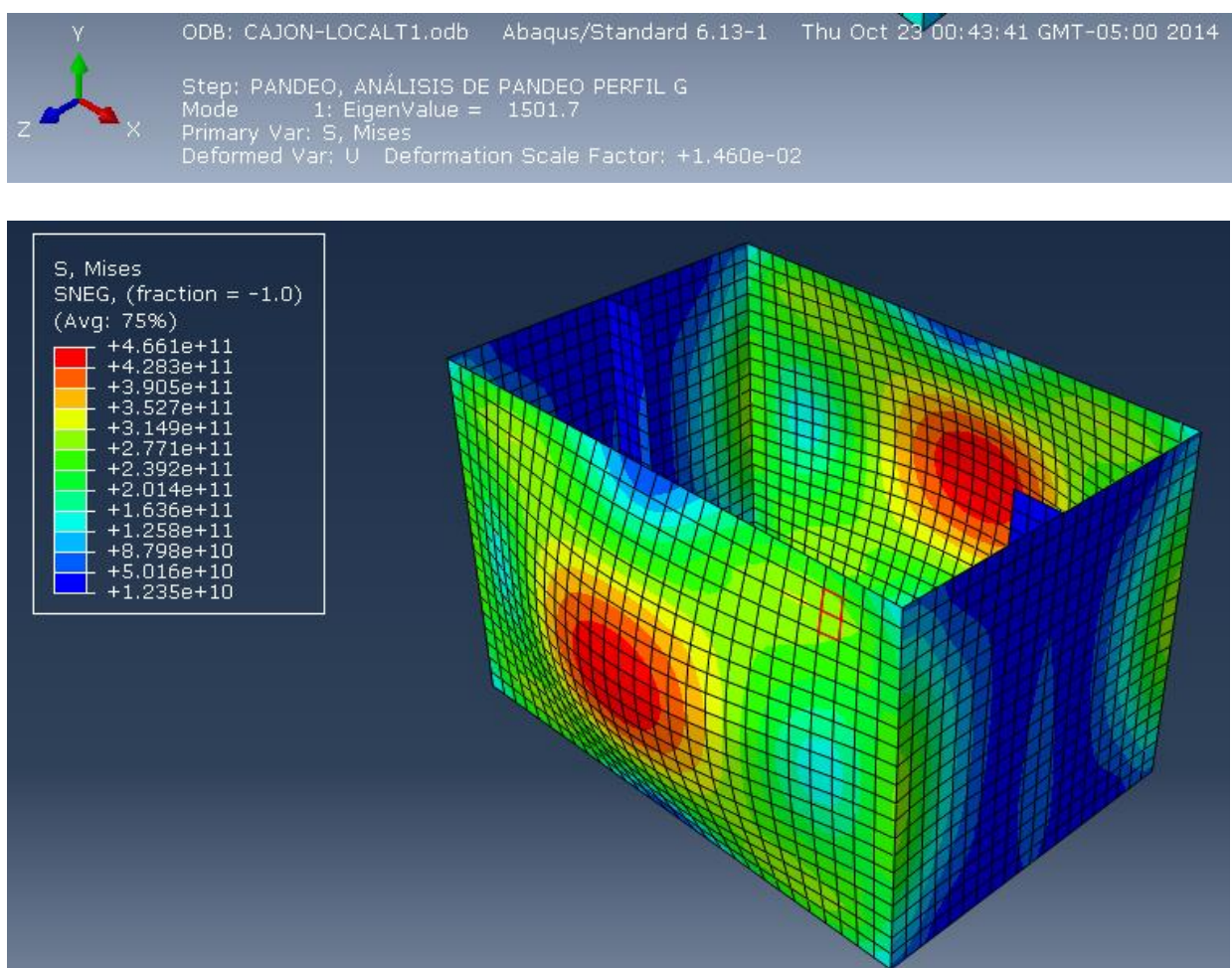


Figura 46. Resultado para pandeo local (CUFSM), sección cajón. Fuente: Elaboración propia



**Resultados para Abaqus con carga compresión  $P_Y=1000N$ .**

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF) para el perfil anteriormente mencionado, con un total de: 2184 numero de nodos, 2080 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 1501.7$  para una columna de longitud  $L = 100[\text{mm}]$



*Figura 47. Vista isométrica. Resultado para pandeo local (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia*

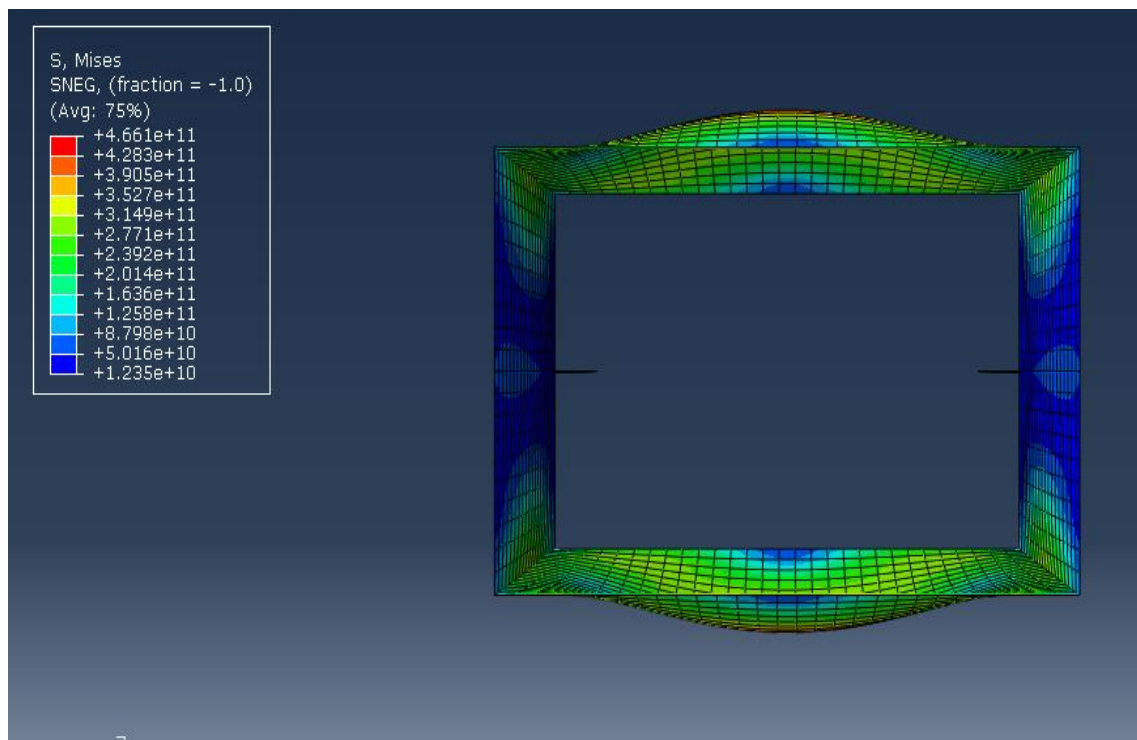


Figura 48. Vista superior. Resultado para pandeo local (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia

### Comparación de los Resultados.

La tabla 9 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE.

Tabla 9. Resultados de factores de carga para pandeo local, sección cajón. Fuente: Elaboración propia

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	1672.72
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	1501.7

La diferencia entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 10.22% por lo tanto, el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo.

## Verificación de captura de pandeo distorsional

### Resultados CUFSM para carga compresión $P_Y=1000$ N.

De Acuerdo a CUFSM el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 6341.53$  para una columna de

longitud  $L = 500$  [mm].

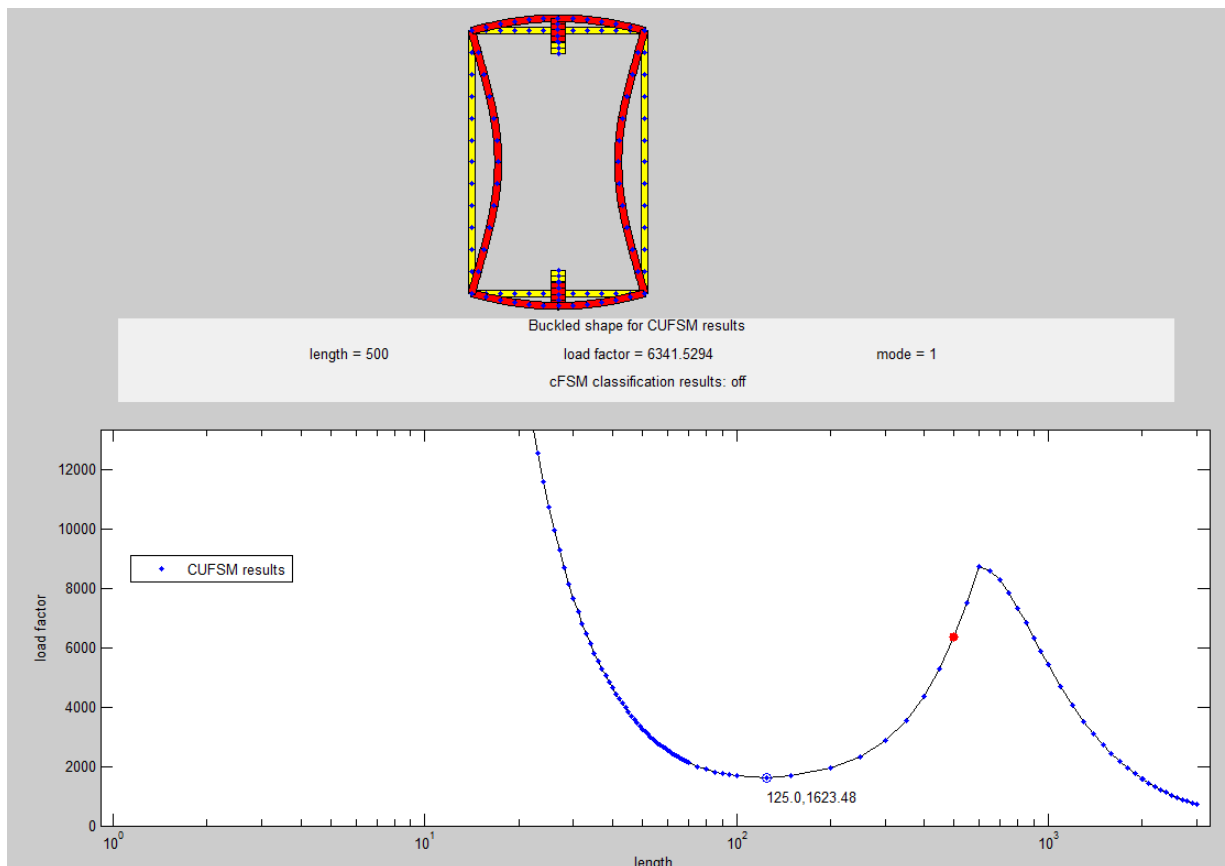


Figura 49. Resultado para pandeo distorsional (CUFSM), sección cajón. Fuente: Elaboración propia

### Resultados para Abaqus con carga compresión $P_y=1000$ [N].

Se realizó el análisis por elementos finitos (AEF), con un total de: 5304 numero de nodos, 5200 numero de elementos del tipo S4R (Shell). Los resultados de ABAQUS muestran que el factor de carga  $\frac{P_e}{P_y} = 1567.4$  para una columna de longitud  $L = 500$  [mm].

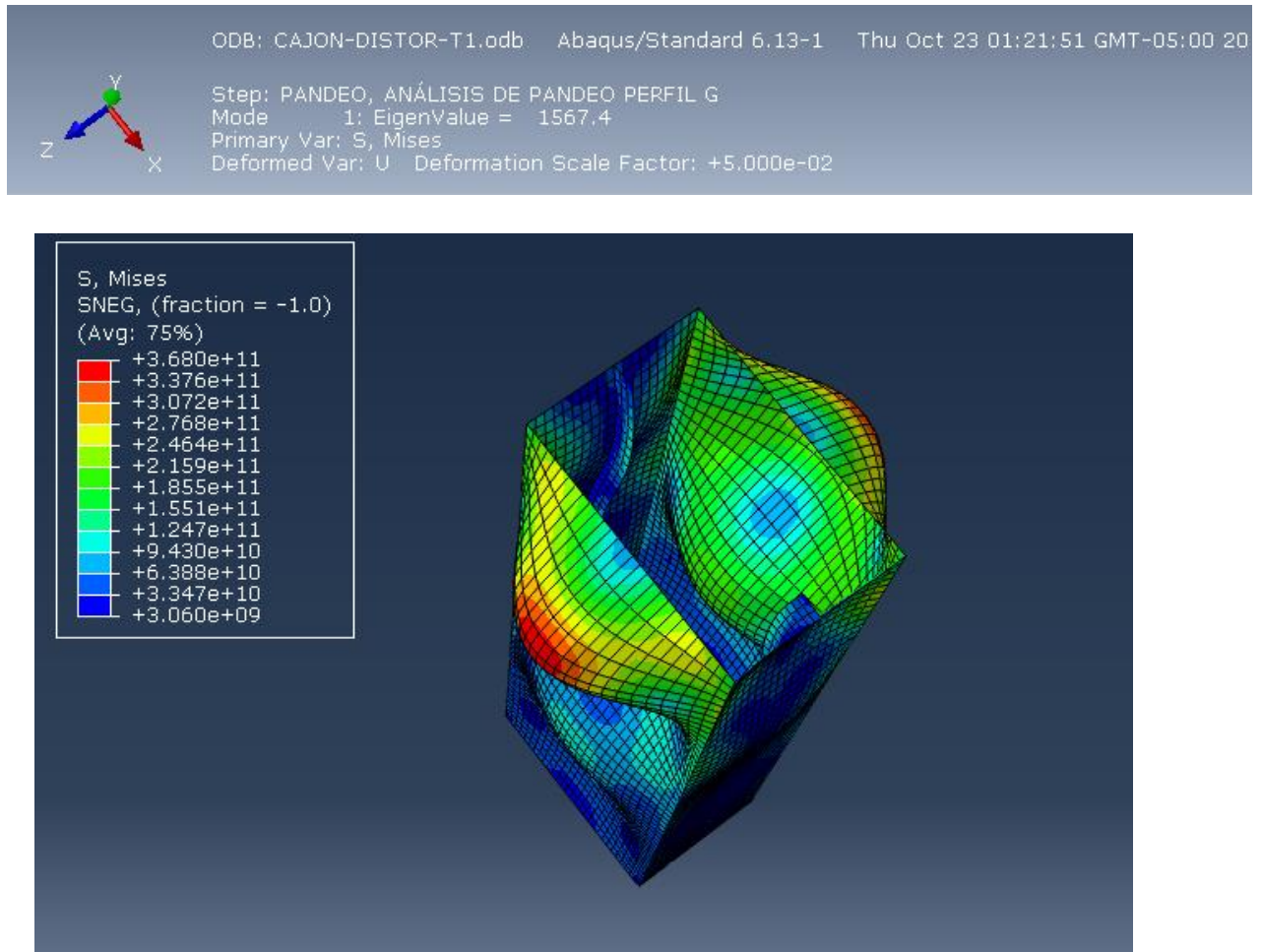


Figura 50. Vista isométrica. Resultado para pandeo distorsional (Abaqus), sección cajón. Fuente: Elaboración propia

### Comparación de resultados.

La tabla 10 muestra los valores del factor de carga obtenidos a través de CUFSM, Abaqus CAE.

Tabla 10. Resultados de factor de carga para pandeo distorsional, sección cajón. Fuente: Elaboración propia

$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido CUFSM	6341.53
$\frac{P_e}{P_y}$ obtenido de ABAQUS	1567.4

La diferencia entre el valor obtenido entre CUFSM y Abaqus CAE es de 300% se asumirá que el programa de elementos finitos capturó de manera correcta el modelo. Al tener un factor de carga menor a CUFSM quiere decir que Abaqus encontró un modo de pandeo susceptible previo a distorsional, por lo tanto el resultado es conservador. Es importante mencionar que el resultado de Abaqus es más confiable debido que el análisis por elementos finitos es más preciso con respecto al análisis por tiras finitas.

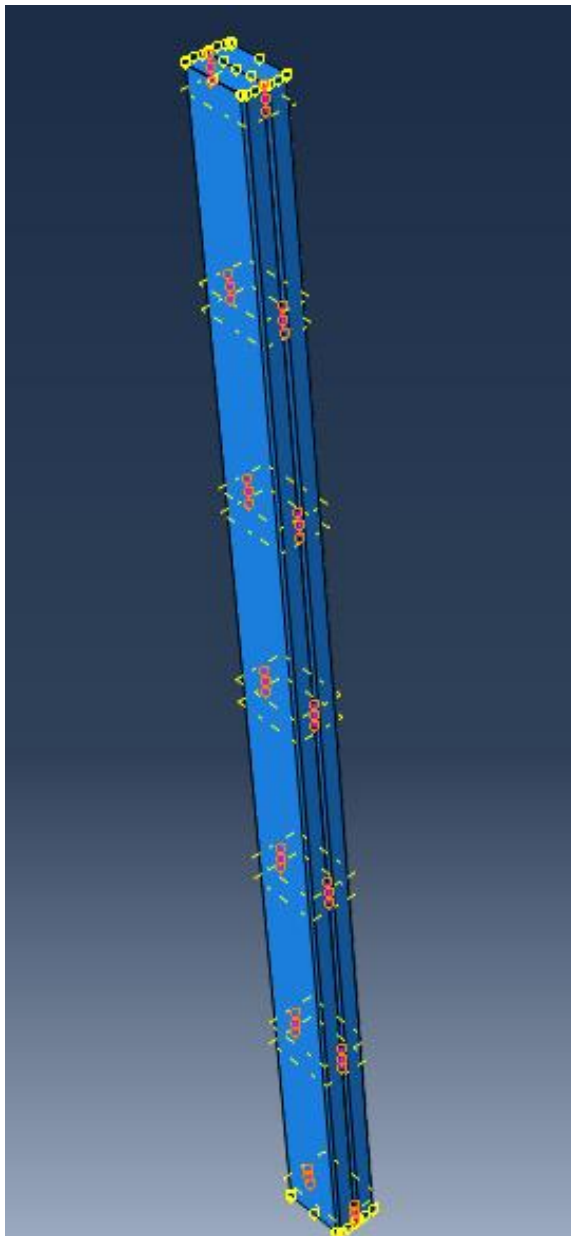
#### **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DEL EFECTO DE SOLDADURA EN UNA VIGA-COLUMNA CON SECCIÓN CAJÓN FORMADA POR DOS PERFILES G 150X50X15**

En este capítulo se documentará los resultados de los modelos de elementos finitos de vigas-columnas sometidas a la acción de una carga axial unitaria. Se empleará un buckling analysis para saber cuál es el factor de carga crítico para una viga-columna: con soldadura continua; con una soldadura de 5 cm y 36 de espaciamiento; con una soldadura de 10cm y 30cm de espaciamiento; con una soldadura de 23cm y 15cm de espaciamiento; y finalmente un análisis con los 2 perfiles sin conexión alguna. Se comparará los efectos de la cantidad de longitud soldada a lo largo de la viga-columna analizando la variación del factor de carga crítico de pandeo para cada caso. Esto nos servirá para tener una idea del funcionamiento e influencia de este tipo de sistema constructivo dentro de un elemento estructural. Todas las columnas a analizar tienen una longitud de 250cm y se aplica restricciones del tipo articulado-articulado en los extremos de las columnas.

##### **Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura intermitente, espaciamiento 36cm y cordón de 5cm**

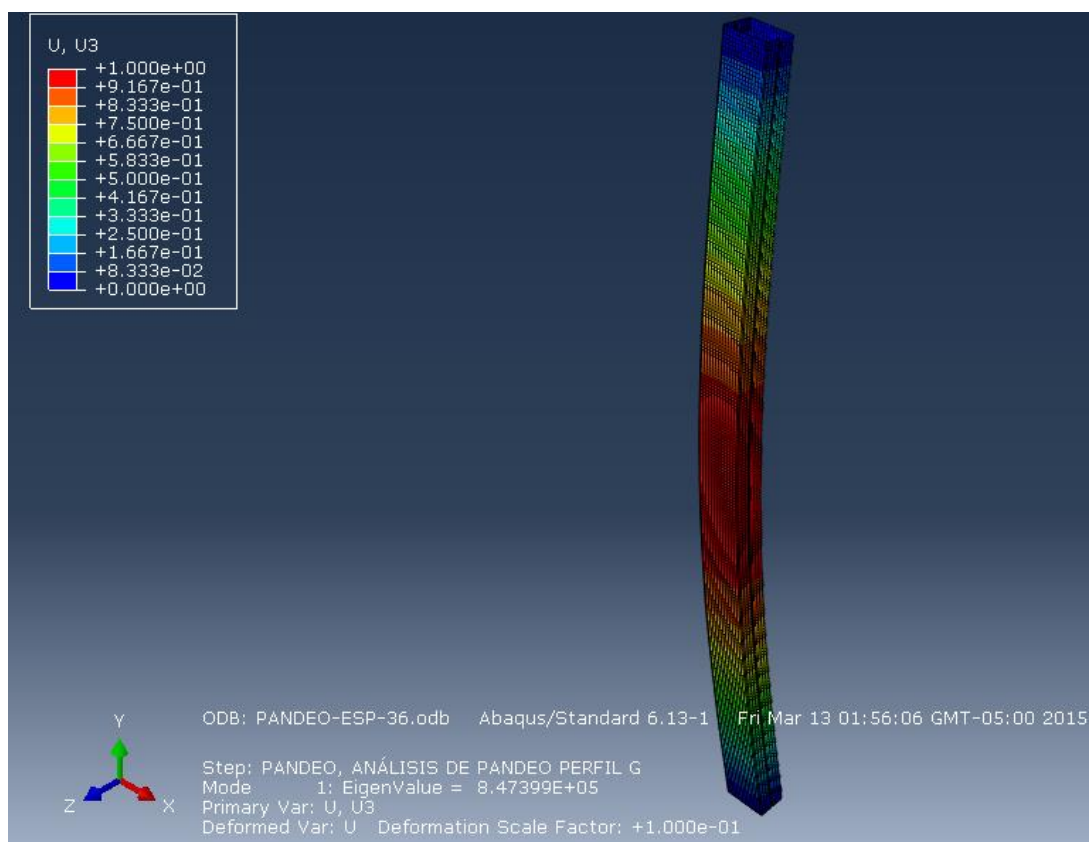
Se ensambló una columna con 14828 elementos Shell S4R, lo que da un total de 15468 nodos cada uno con 6 grados de libertad. Se consideró el radio de curvatura de los

perfiles G. El espesor de la columna es de 4 mm. En la siguiente figura se muestra la configuración de este sistema de soldadura, las circunferencias de color tomate representan la conexión:



*Figura 51. Configuración de soldadura intermitente. 36 cm espaciamiento con 5 cm de soldadura.  
Fuente: Elaboración propia*

En la siguiente figura se muestra una vista isométrica de la deformada del análisis de pandeo y su correspondiente factor de carga.

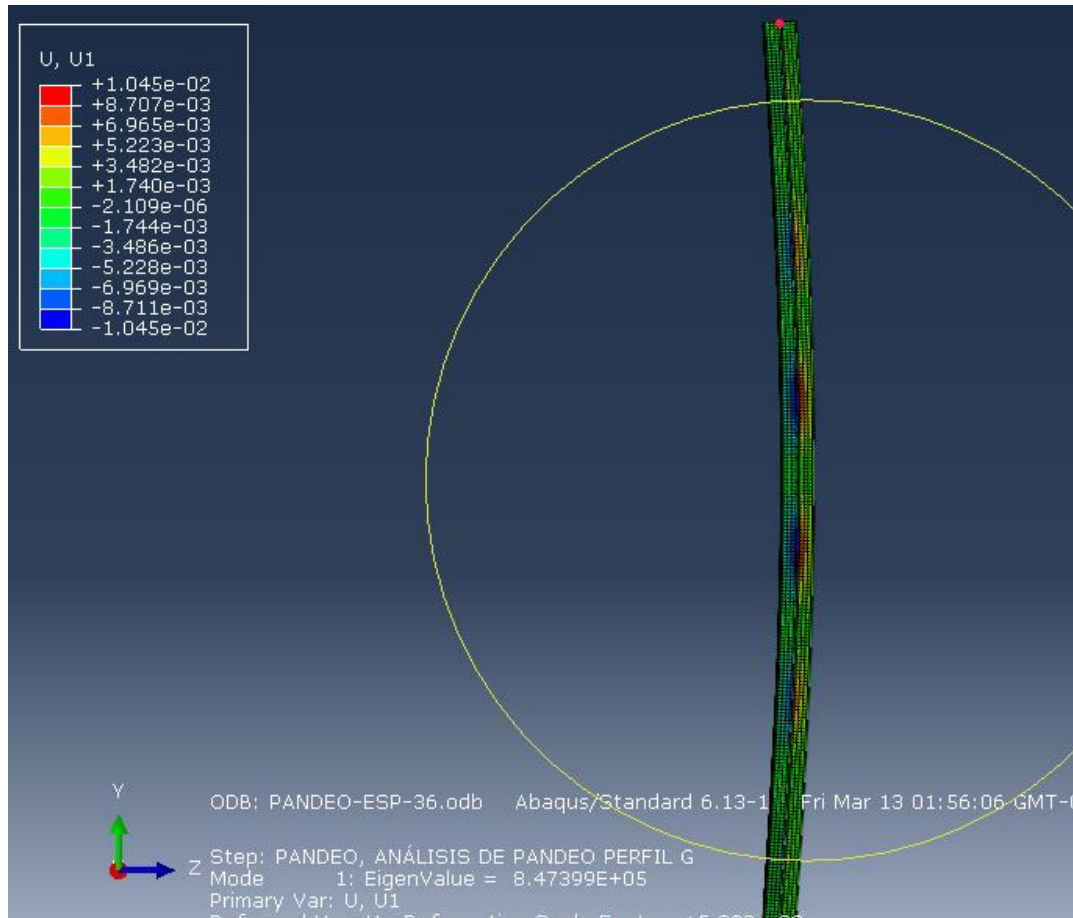


*Figura 52. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 36cm. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 52 se puede observar que el modo de pandeo dominante es global, o pandeo flexionante. El factor de carga crítico es de  $8.47399E+5$ . La exageración de la imagen deformada está a una escala de 0.1: 1.

En la siguiente imagen podemos observar como las deformaciones en el eje X (U1) se concentran principalmente en los puntos de la columna que no poseen soldadura. Este fenómeno ocasiona que la rigidez de la columna en el plano XZ no sea constante a lo largo de la misma.

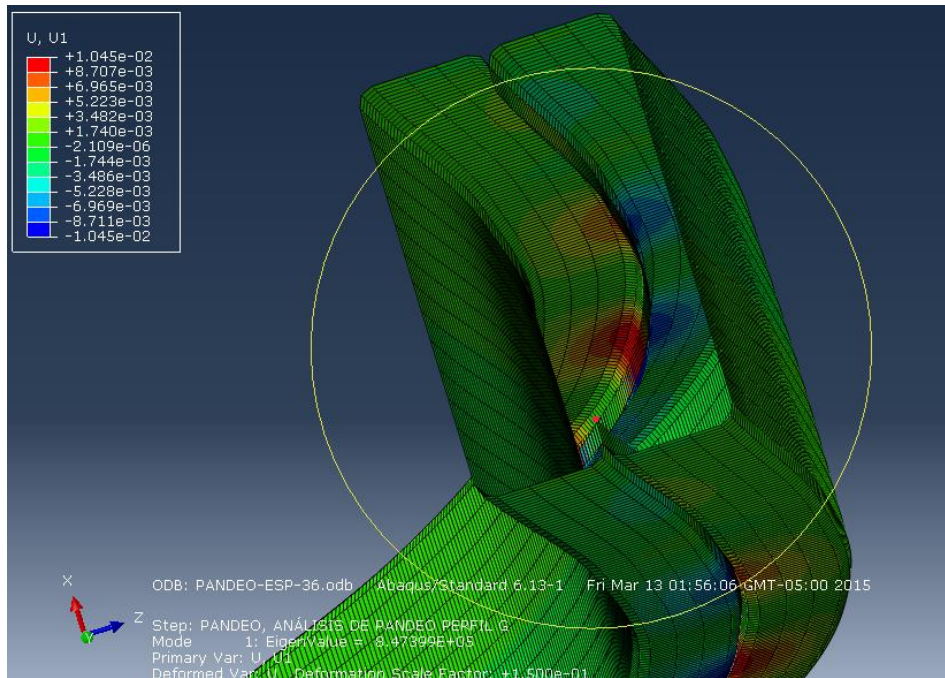




*Figura 53. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 36cm. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 54 se puede observar la parte interior de la columna. Es fácil notar que en las partes donde no existe soldadura se generan desplazamientos en el eje X. Se puede observar que los labios de los perfiles G ligeramente se separan.

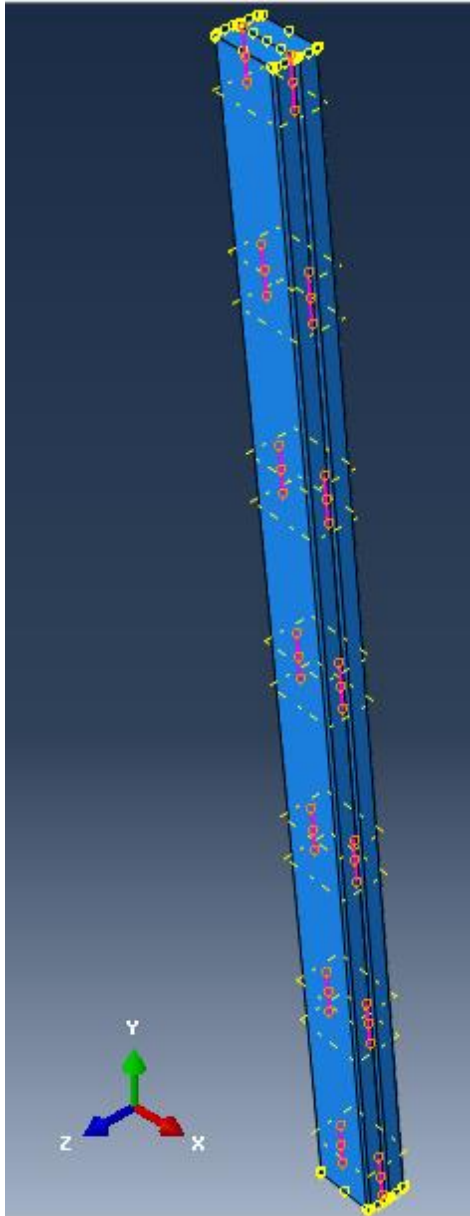




*Figura 54. Vista interior de columna. Labios se separan en secciones que no existe soldadura.  
Fuente: Elaboración propia*

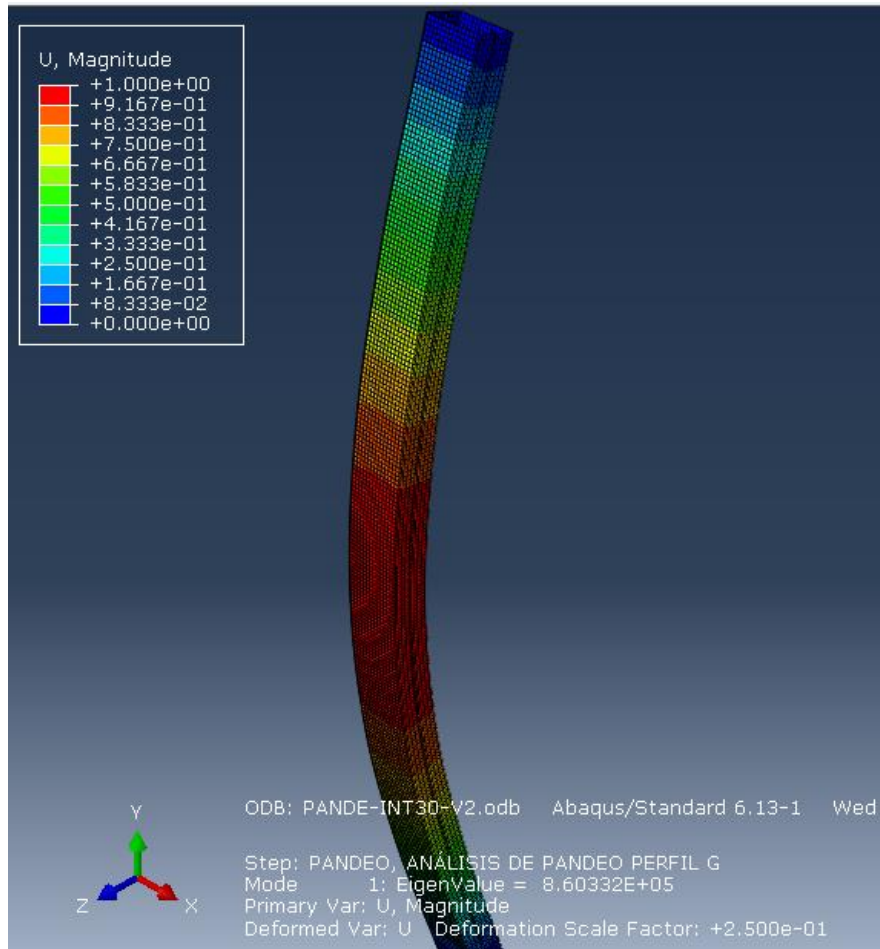
### **Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura intermitente, espaciamento 30cm y cordón de 10cm**

Se ensambló una columna con 14828 elementos Shell S4R, lo que da un total de 15468 nodos cada uno con 6 grados de libertad. Se consideró el radio de curvatura de los perfiles G. El espesor de la columna es de 4 [mm]. En la siguiente figura se muestra la configuración de este sistema de soldadura, las circunferencias de color tomate representan la conexión:



*Figura 55. Configuración de soldadura intermitente. 30 cm espaciamento con 10 cm de soldadura. Fuente: Elaboración propia*

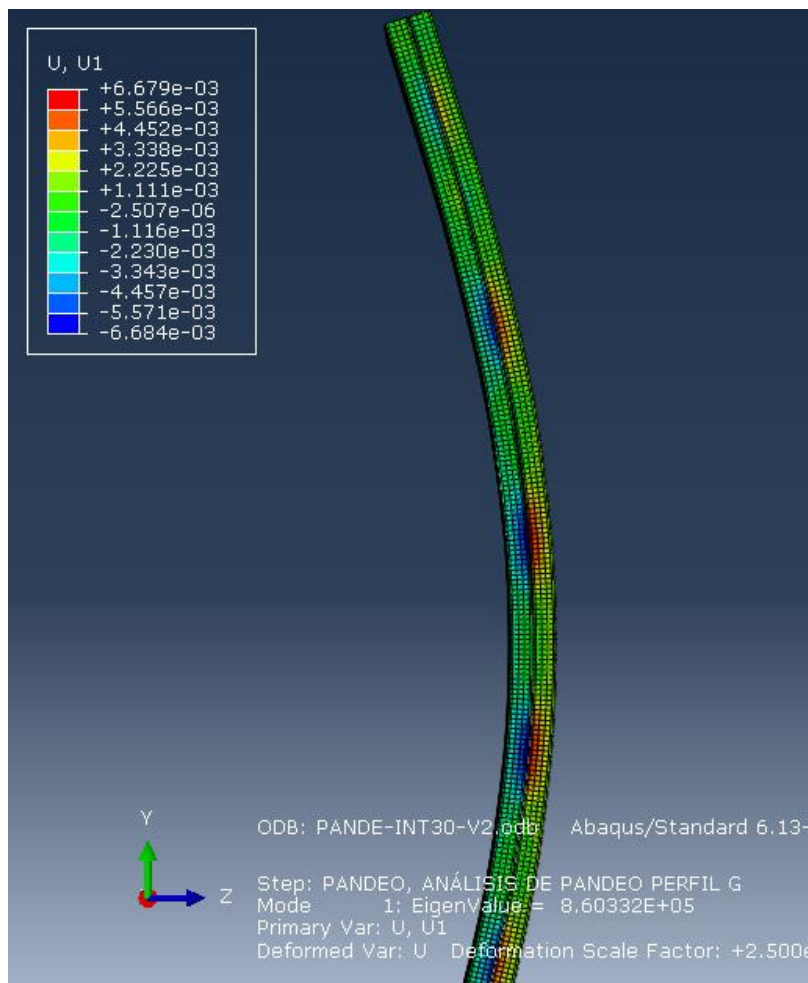
En la siguiente figura se muestra una vista isométrica de la deformada del análisis de pandeo y su correspondiente factor de carga.



*Figura 56. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 30cm. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 56 se puede observar que el modo de pandeo dominante es global, o pandeo flexionante. El factor de carga crítico es de  $8.60332E+5$ . La exageración de la imagen deformada está a una escala de 0.25: 1.

En la siguiente imagen podemos observar como las deformaciones en el eje X (U1) se concentran principalmente en los puntos de la columna que no poseen soldadura. Este fenómeno ocasiona que la rigidez de la columna en el plano XZ no sea constante a lo largo de la misma.



*Figura 57. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 30cm. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 58 se puede observar la parte interior de la columna. Es fácil notar que en las partes donde no existe soldadura se generan desplazamientos en el eje X. Se puede observar que los labios de los perfiles G ligeramente se separan.

Para fines de observación se muestra el segundo modo de pandeo en la figura 59. Para que se pueda observar como los perfiles se separan en un punto en particular donde no existe soldadura debido al espaciamiento.

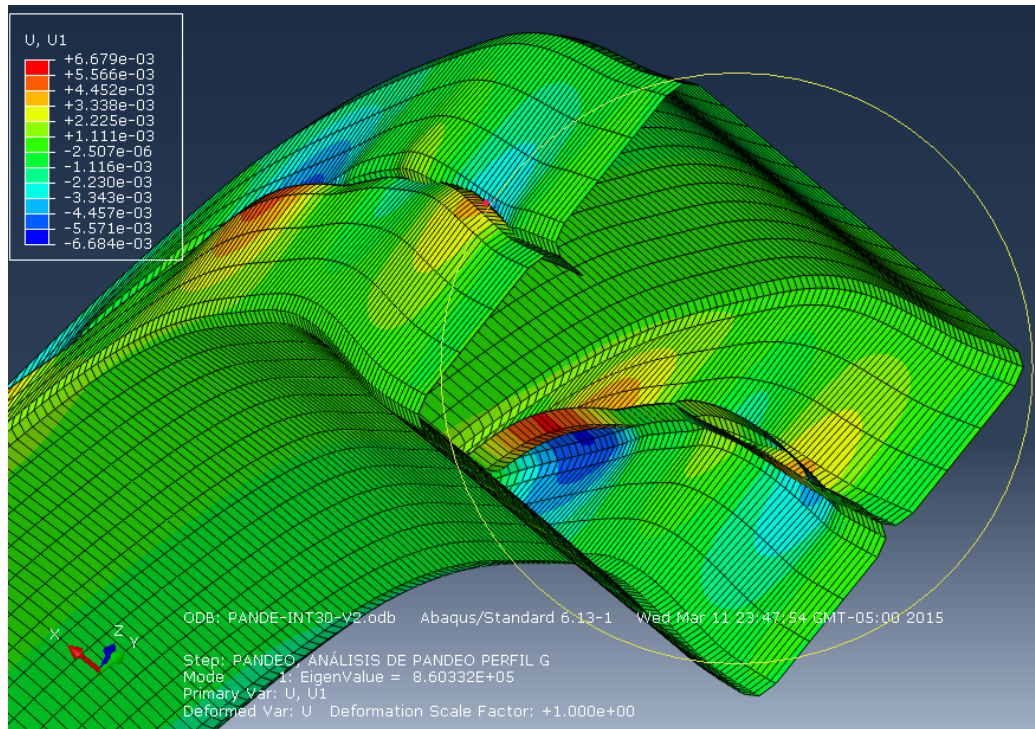


Figura 58. Vista interior de columna. Labios se separan en secciones que no existe soldadura.  
Fuente: Elaboración propia

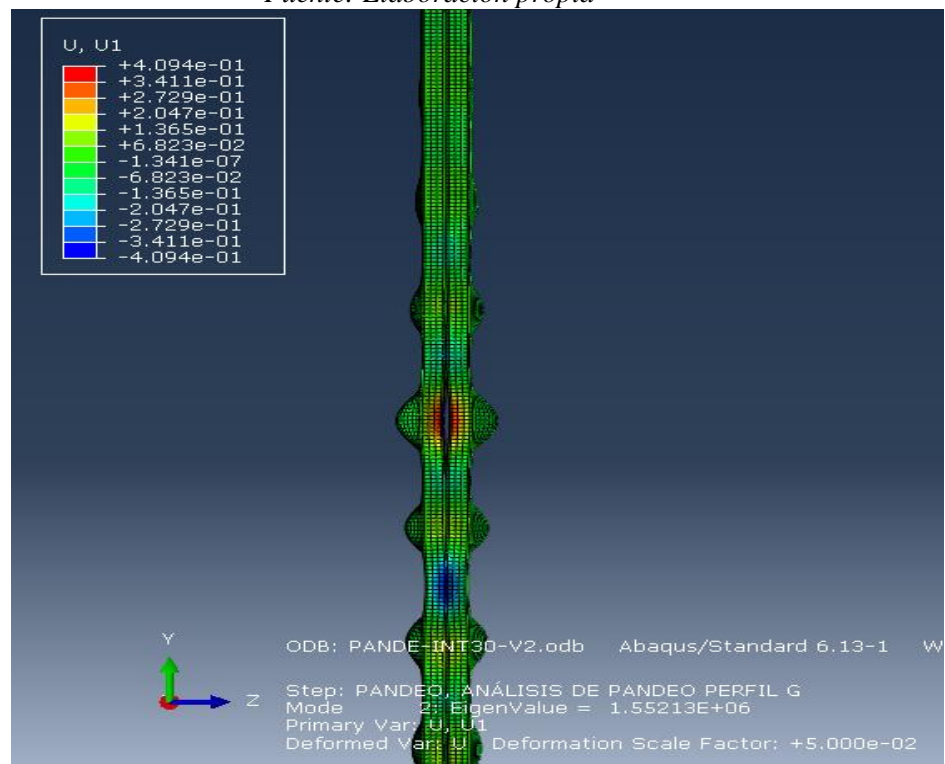
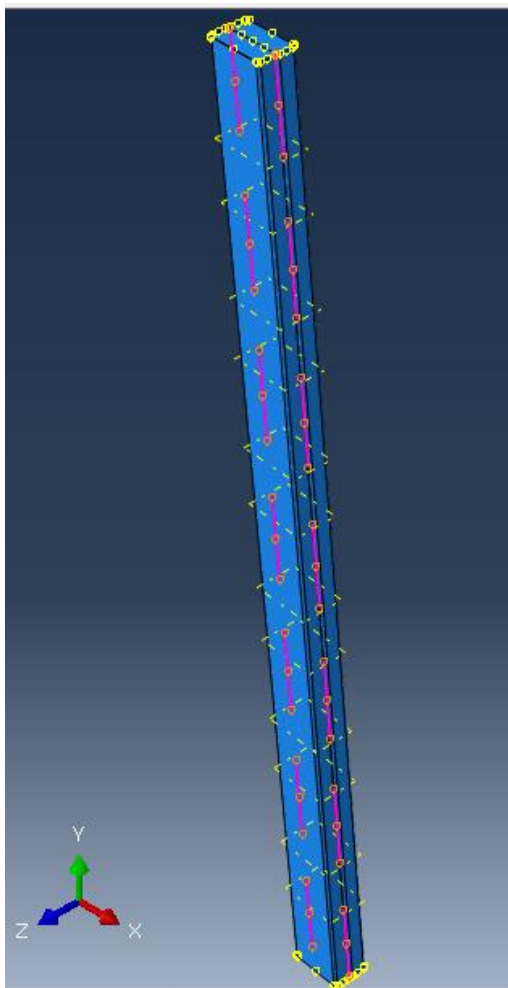


Figura 59. Segundo modo de pandeo. Columna con espaciamento 30cm y soldadura 10cm.  
Fuente: Elaboración propia

### **Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura intermitente, espaciamiento 15cm y cordón de 23cm**

Se ensambló una columna con 14828 elementos Shell S4R, lo que da un total de 15468 nodos cada uno con 6 grados de libertad. Se consideró el radio de curvatura de los perfiles G. El espesor de la columna es de 4 [mm]. En la siguiente figura se muestra la configuración de este sistema de soldadura, las circunferencias de color tomate representan la conexión:

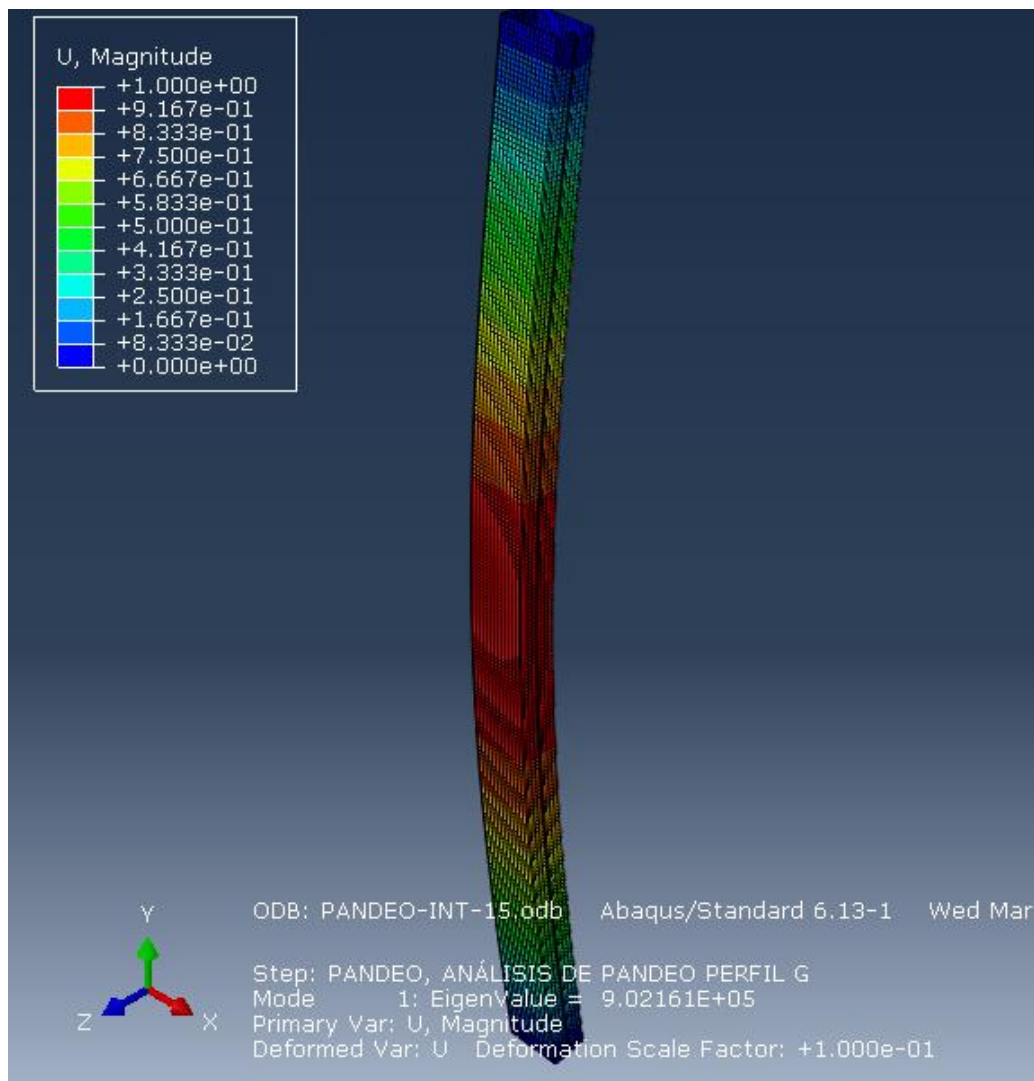


*Figura 60. Configuración de soldadura intermitente. 15 cm espaciamiento con 23 cm de soldadura.*

*Fuente: Elaboración propia*

En la siguiente figura se muestra una vista isométrica de la deformada del análisis de pandeo y su correspondiente factor de carga.



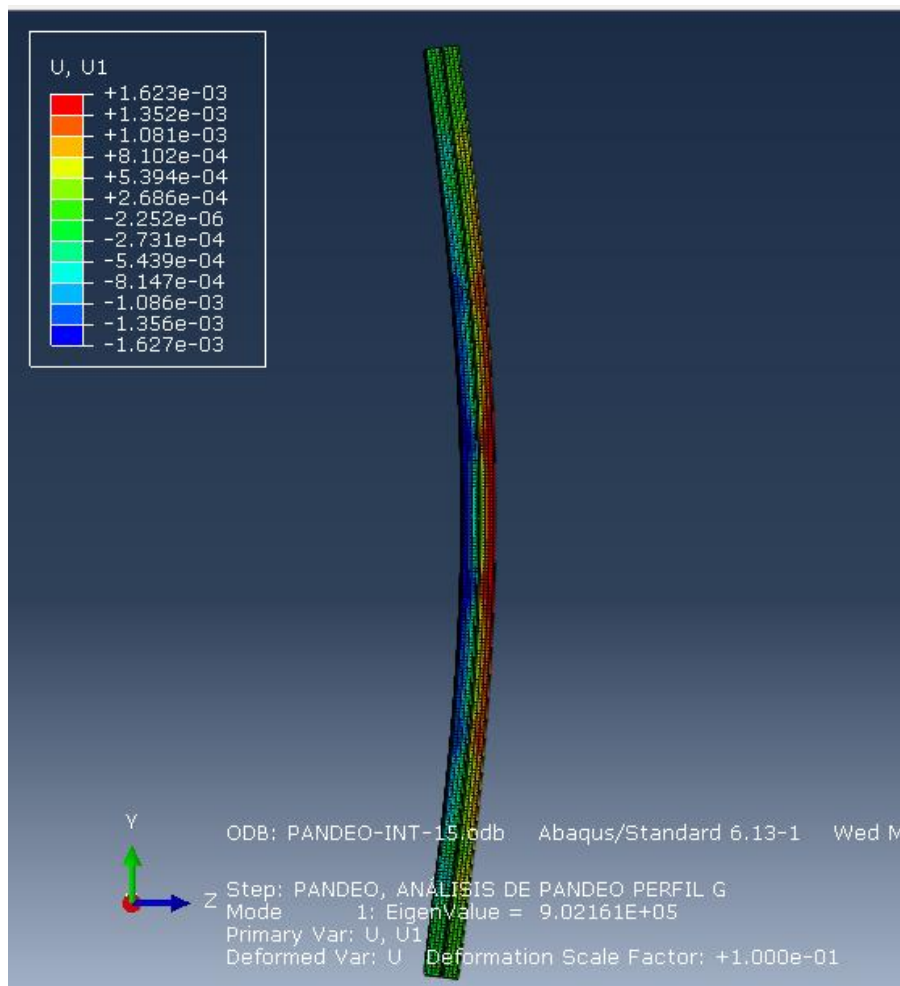


*Figura 61. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 15cm. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 61 se puede observar que el modo de pandeo dominante es global, o pandeo flexionante. El factor de carga crítica es de  $9.0216E+5$ . La exageración de la imagen deformada está a una escala de 0.1: 1.

En la siguiente imagen podemos observar como las deformaciones en el eje X (U1) se concentran principalmente en los puntos de la columna que no poseen soldadura. Sin embargo, se puede observar que los desplazamientos se distribuyen con mayor suavidad que en los casos anteriores. Los casos de columnas con espaciamentos de 36 y 30 [cm]

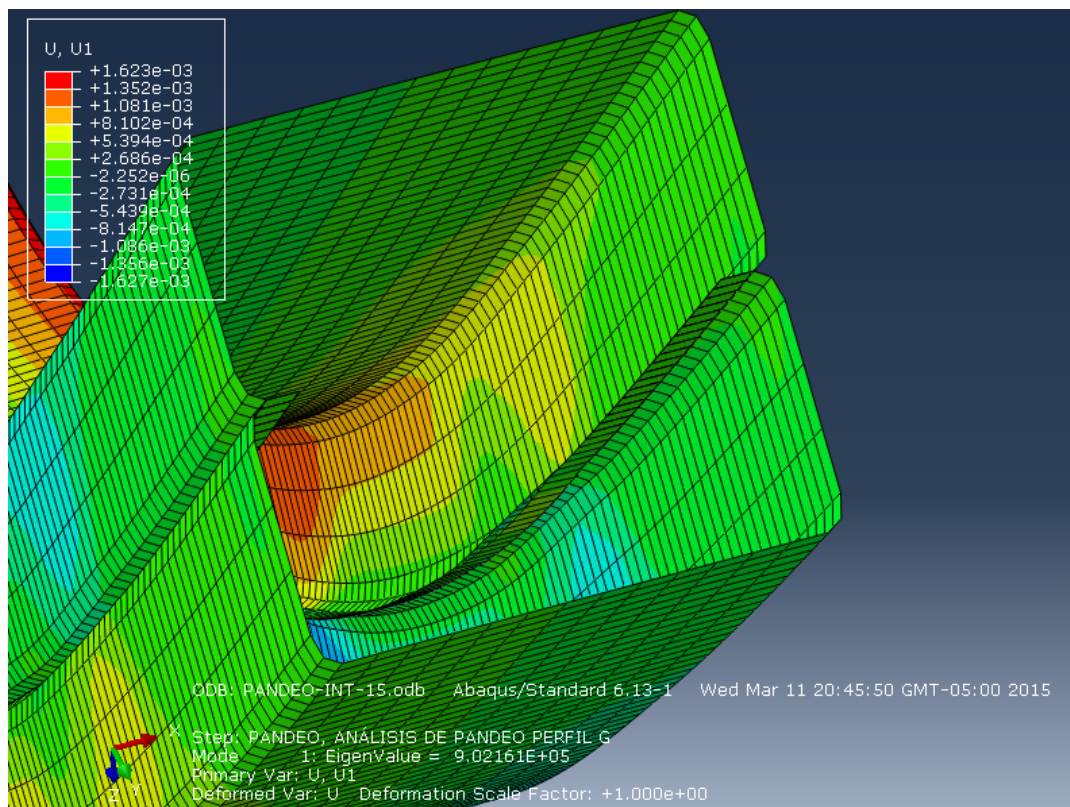
muestran concentraciones de desplazamientos más pronunciadas en estas regiones. Estos últimos son menores en casi un sexto, comparado con la columna con espaciamiento de 30cm



*Figura 62. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Espaciamiento 15cm. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 63 se puede observar la parte interior de la columna. A diferencia de los casos anteriores, esta columna tiene una separación de labios mucho menor lo cual es favorable, debido a que la rigidez a lo largo del elemento no varía significativamente. Esto aporta a que se rigidice adecuadamente al elemento frente a fallas locales en los patines.

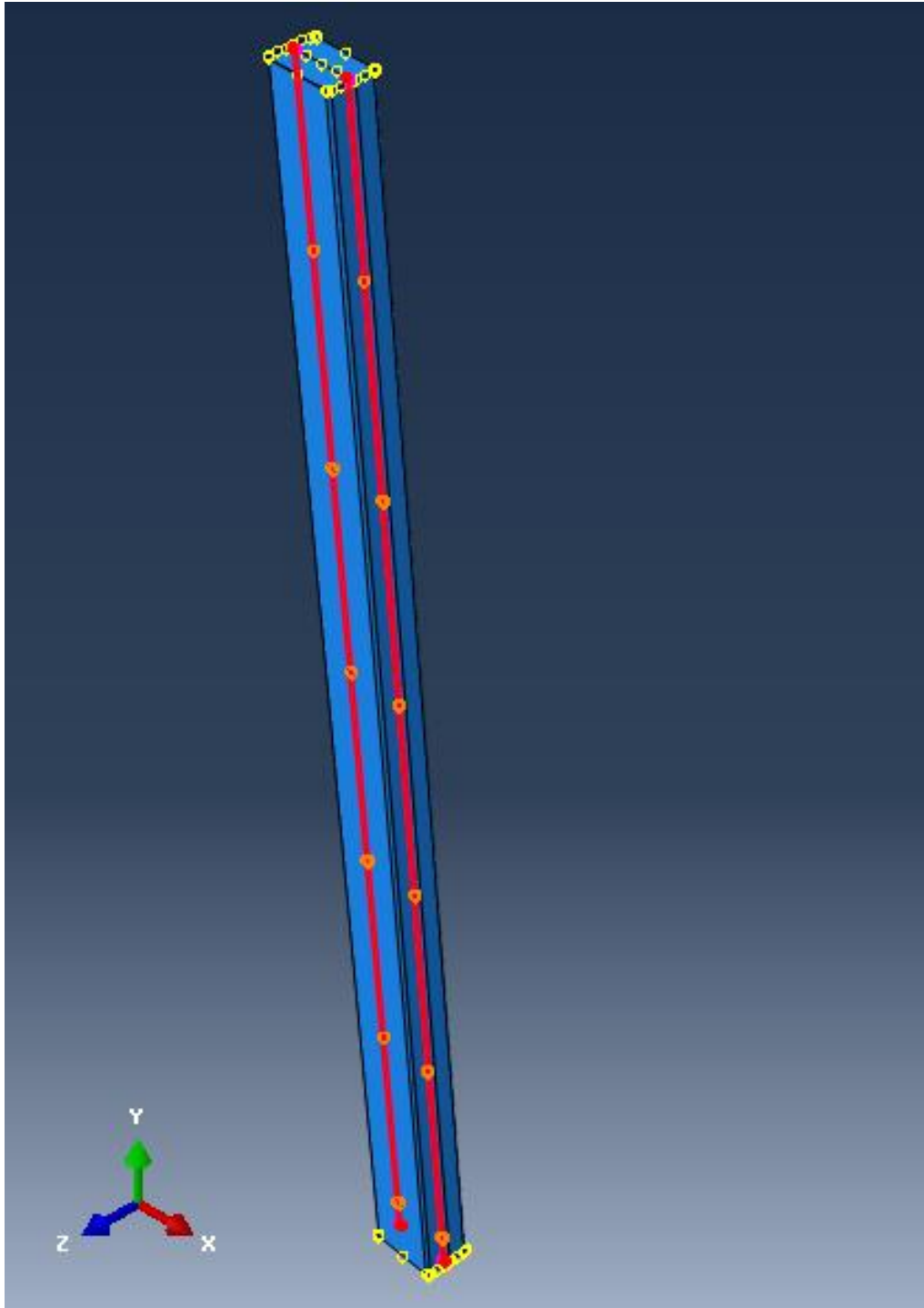




*Figura 63. Vista interior de columna, espaciamento 15cm. La separación de los labios es mínima.  
Fuente: Elaboración propia*

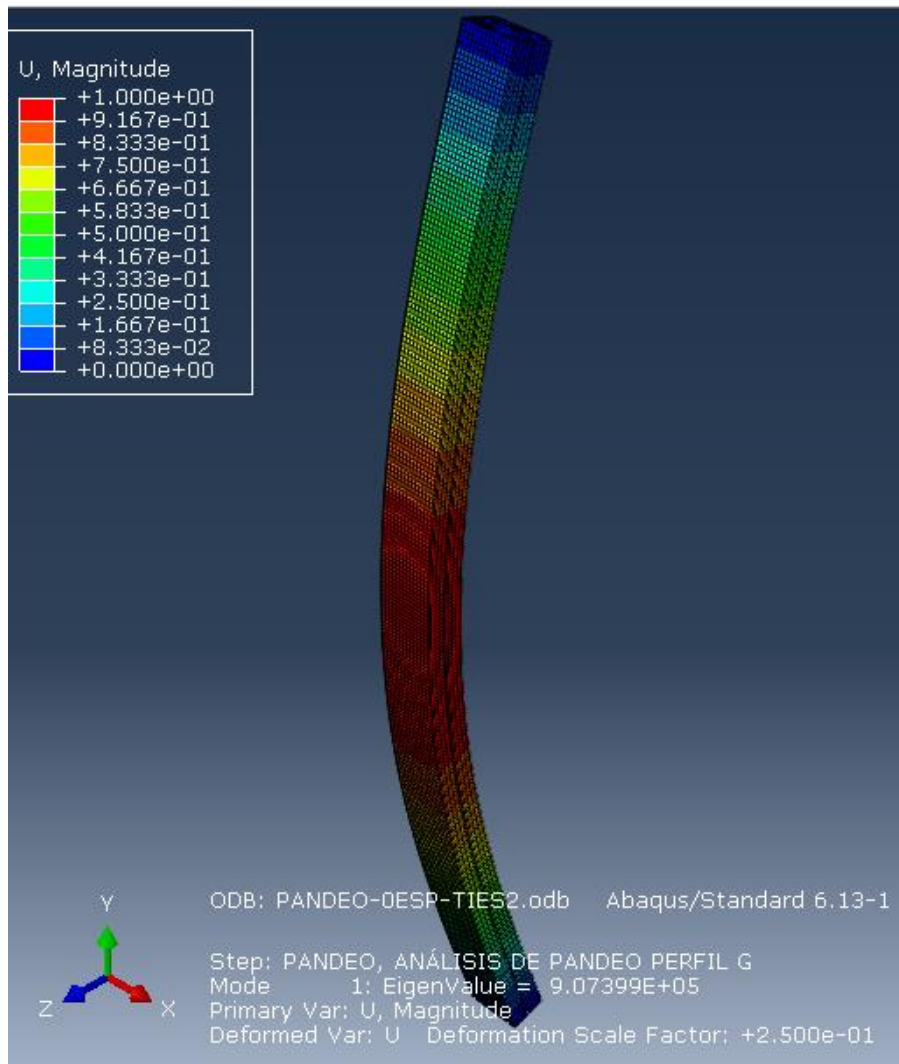
### **Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 con soldadura continua, esto es 0cm de espaciamento**

Se ensambló una columna con 14828 elementos Shell S4R, lo que da un total de 15468 nodos cada uno con 6 grados de libertad. Se consideró el radio de curvatura de los perfiles G. El espesor de la columna es de 4 [mm]. En la siguiente figura se muestra la configuración de este sistema de soldadura, las líneas de color rojo representan la conexión:



*Figura 64. Configuración de soldadura continua. Fuente: Elaboración propia*

En la siguiente figura se muestra una vista isométrica de la deformada del análisis de pandeo y su correspondiente factor de carga.



*Figura 65. Vista isométrica. Primer modo de pandeo. Soldadura continua. Fuente: Elaboración propia*

En la figura 65 se puede observar que el modo de pandeo dominante es global, o pandeo flexionante. El factor de carga crítica es de  $9.07399E+5$ . La exageración de la imagen deformada está a una escala de 0.25: 1. Es la columna con mayor carga crítica de pandeo, esto es coherente puesto que la soldadura continua brinda la mayor rigidez que el resto de sistemas.

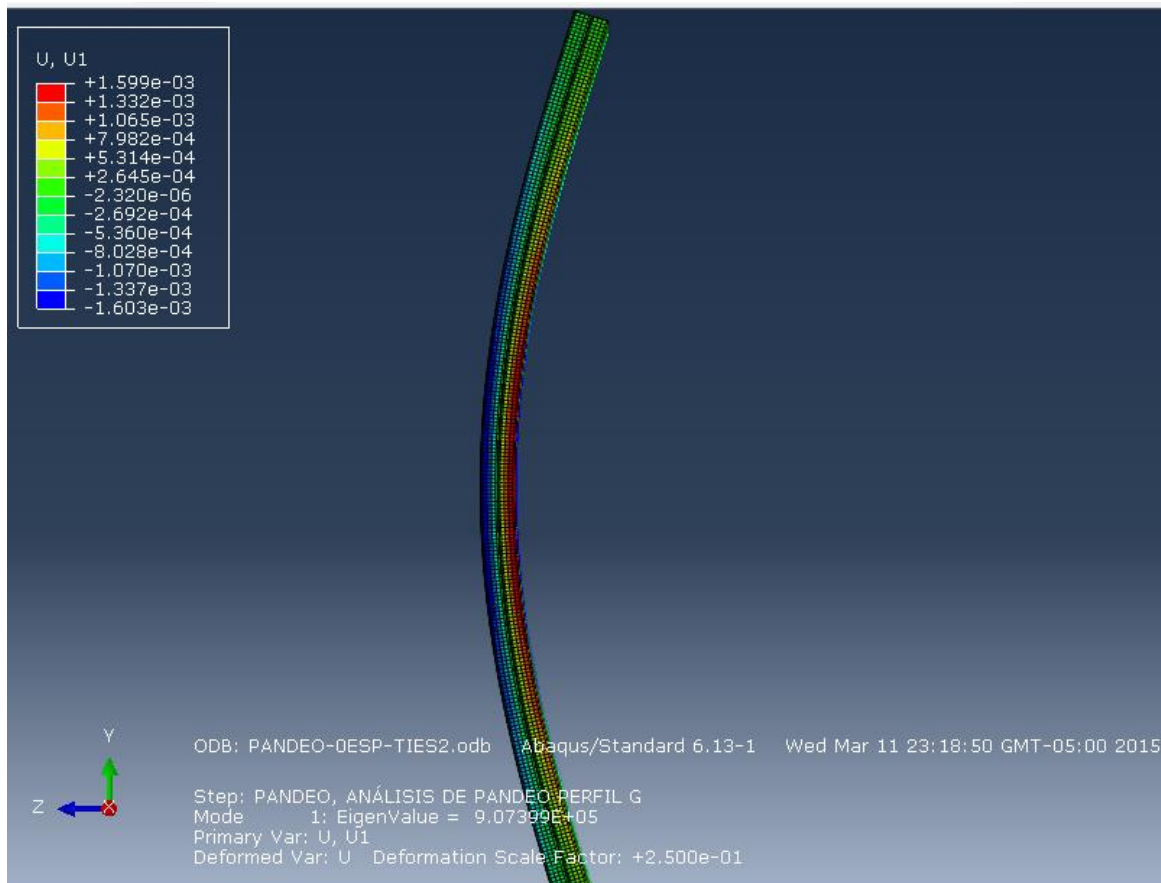
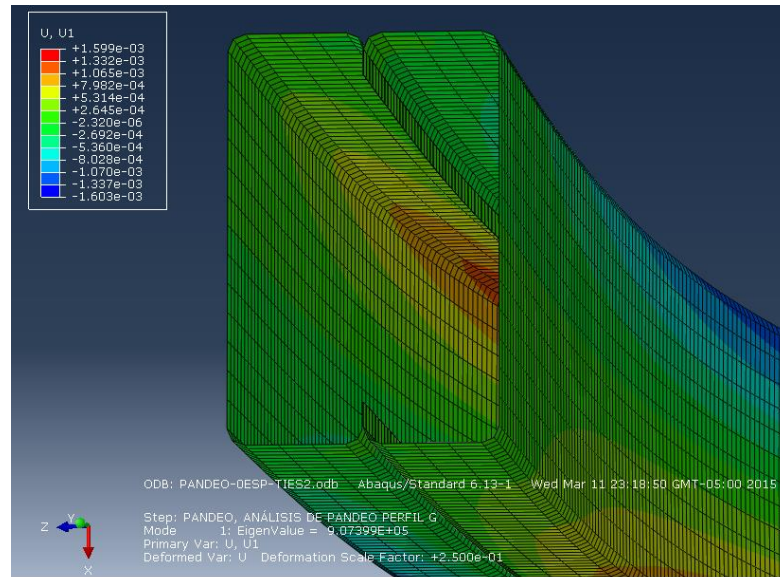


Figura 66. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Soldadura continua. Fuente: Elaboración propia

En la figura 66 se muestra una vista lateral de la columna. Los efectos de las concentraciones de desplazamientos alrededor de las zonas sin soldadura de los casos anteriores desaparecen. La deformación se muestra uniforme.

La figura 67 muestra el interior del perfil, los labios de los perfiles G están totalmente pegados. No existe separación entre ellos a lo largo de la columna; esto colabora a la estabilidad de la columna.



*Figura 67. Vista interior de columna, soldadura continua. Labios compactos. Fuente: Elaboración propia*

### **Análisis de pandeo de la sección cajón proveniente de dos perfiles 150x50x15 sin ningún tipo de soldadura**

Se ensambló una columna con 14828 elementos Shell S4R, lo que da un total de 15468 nodos cada uno con 6 grados de libertad. Se consideró el radio de curvatura de los perfiles G. El espesor de la columna es de 4 [mm]. En la siguiente figura se muestra una vista lateral de la deformada del análisis de pandeo y su correspondiente factor de carga.

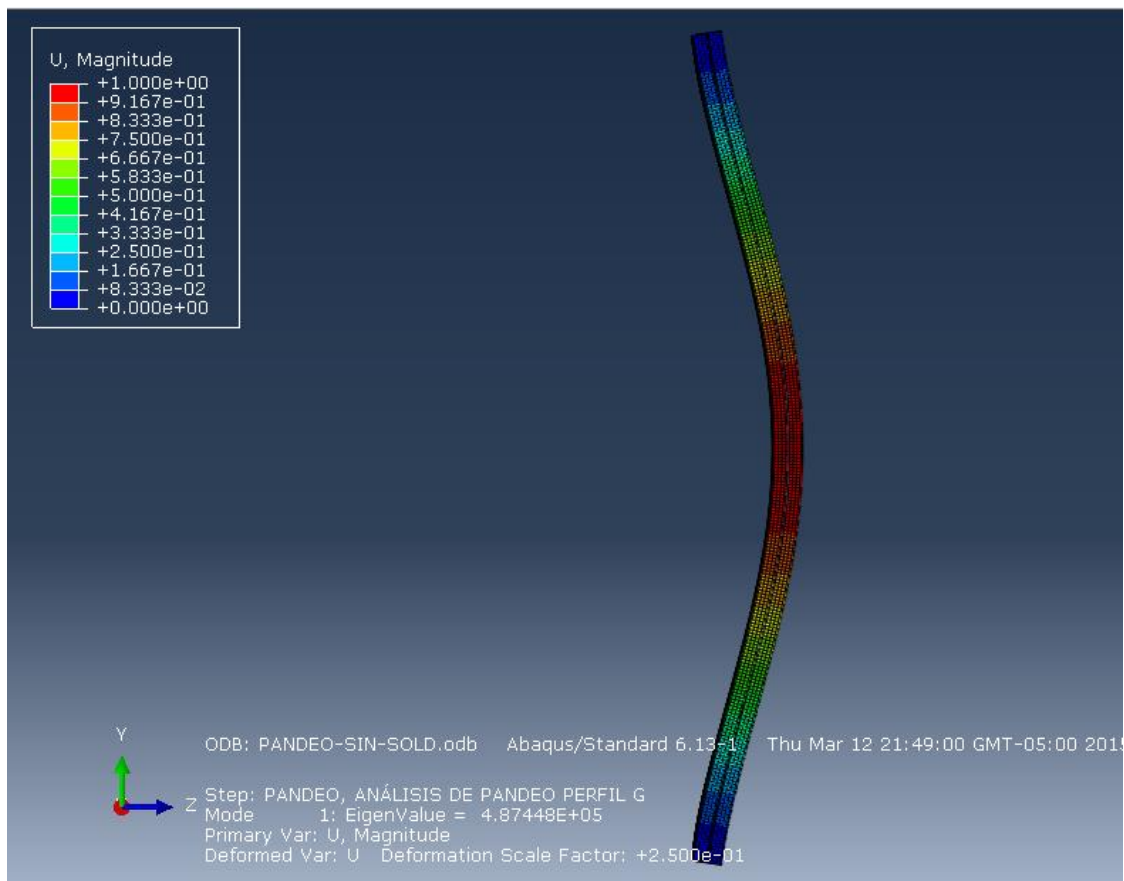


Figura 68. Vista Lateral. Primer modo de pandeo. Sin soldadura. Fuente: Elaboración propia

En la figura 68 se puede observar que el modo de pandeo dominante es global, o pandeo flexionante. El factor de carga crítico es de  $4.87448 \times 10^5$ . La exageración de la imagen deformada está a una escala de 0.25: 1. Se pudo notar que la forma de pandeo no se asemeja a la clásica curva definida por Euler (primer armónico), el valor de  $P_{cr}/P$  es menor casi a la mitad del valor con soldadura completa.

En la siguiente imagen podemos observar como las deformaciones en el eje X ( $U_1$ ) se concentran en el centro de la viga; esto es justo en la junta de los 2 perfiles. Debido a que no existe soldadura alguna, los labios de los perfiles intentan resbalar el uno sobre el otro.

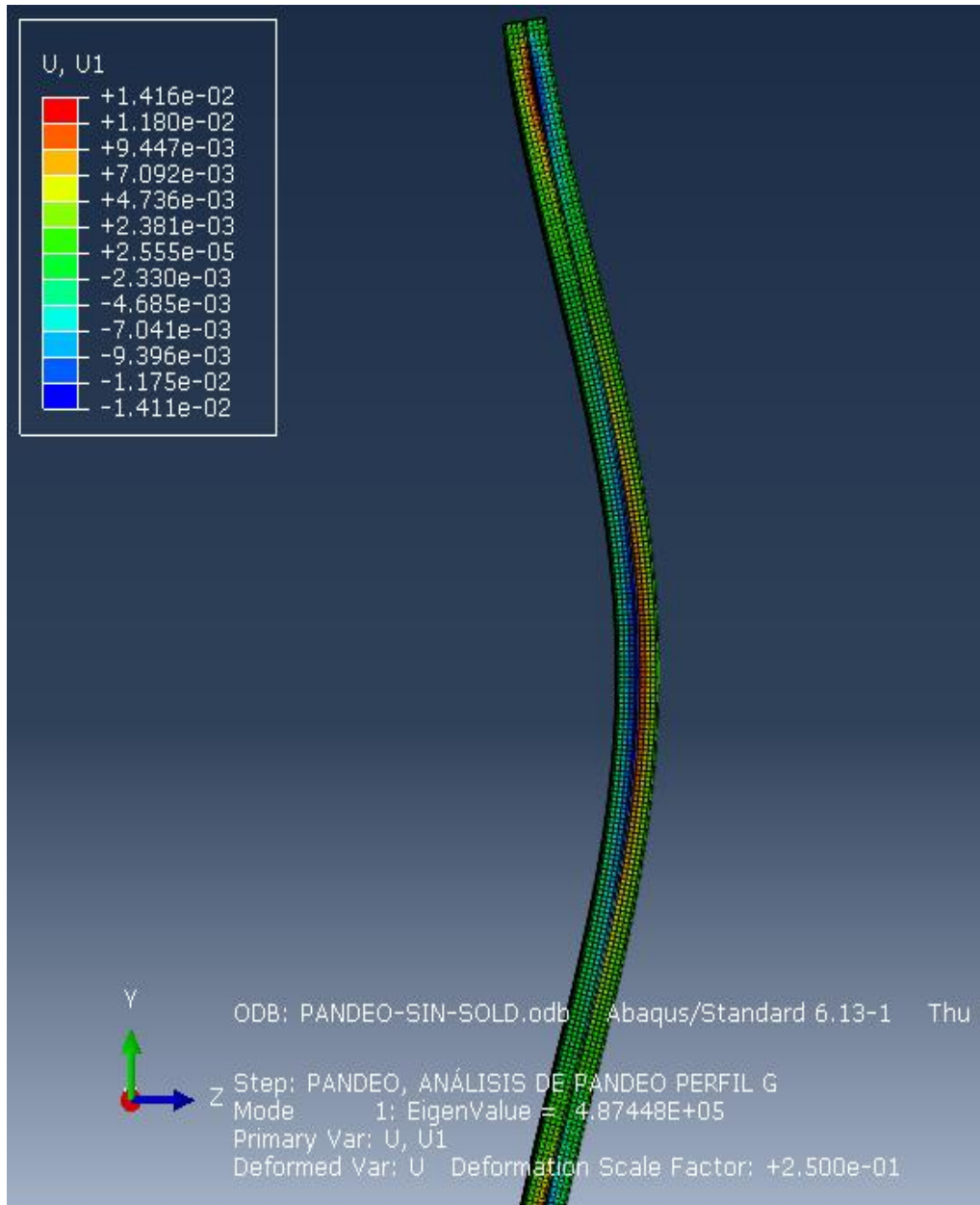


Figura 69. Vista lateral. Primer modo de pandeo. Sin soldadura. Fuente: Elaboración propia

En la figura 70 se puede observar la parte interior de la columna. Claramente se puede observar como los labios de los perfiles se deslizan el uno con el otro.



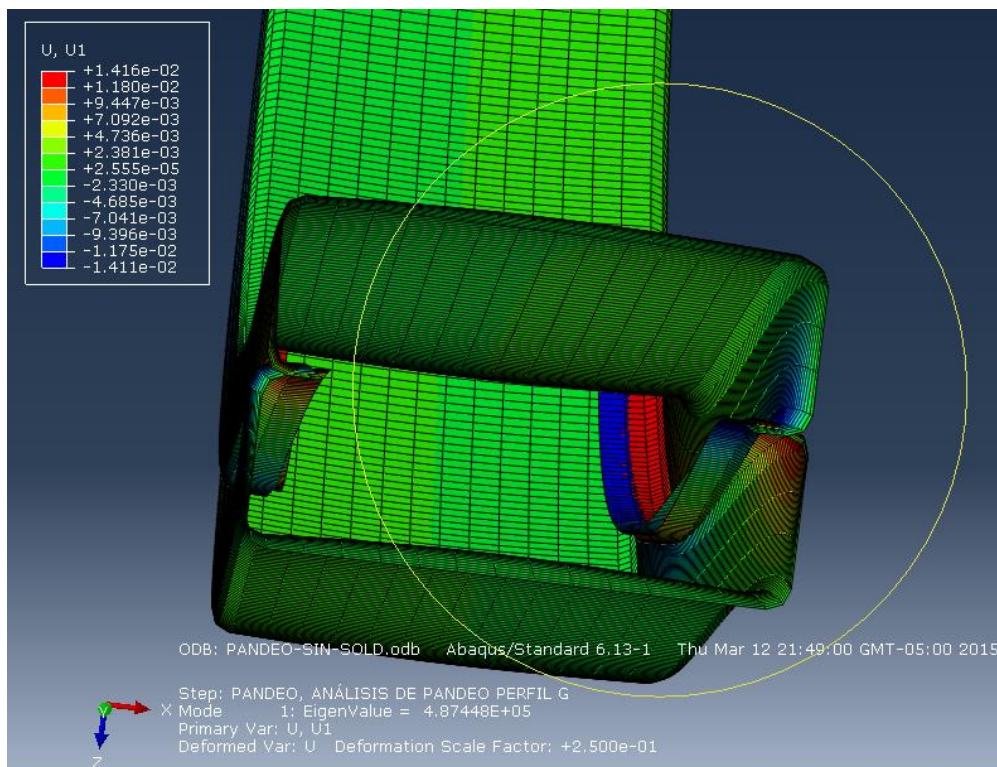


Figura 70. Vista interior de columna, sin soldadura. Los labios se deslizan Fuente: Elaboración propia

### Influencia del espaciamiento de soldadura en el comportamiento de pandeo de la columna

La tabla 11 agrupa los valores de la variación en porcentaje del factor de carga con respecto a la columna de soldadura continua (La mejor sección cajón del estudio) versus el espaciamiento de soldadura. Primero, el factor de carga de la columna sin soldar varía en un 86.15%. Segundo, la columna con un espaciamiento de 36cm varía en un 7.08%. Tercero, la columna con un espaciamiento de 30cm varía en un 5.47%. Mientras que la columna con un espaciamiento de 15cm muestra una variación del 0.58%. Esta **última se acerca rápidamente al comportamiento de la columna de soldadura continua**. Para mayor claridad, ver figura 71 y 72.

Tabla 11. Variación del factor de carga con respecto a espaciamiento de soldadura. Fuente: Elaboración propia



Longitud total sin soldadura	Espaciamiento de soldadura	Factor de Carga	Variación con respecto a soldadura continua	
250	250	4,87E+05	86,15	%
216	36	8,47E+05	7,08	%
180	30	8,60E+05	5,47	%
90	15	9,02E+05	0,58	%
0	0	9,07E+05	0,00	%

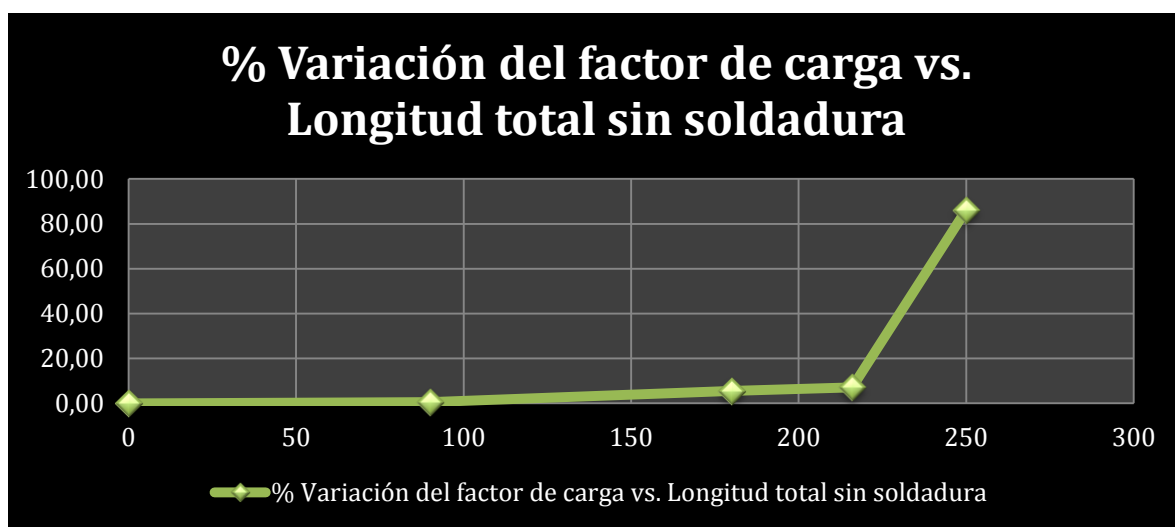


Figura 71. % Variación del factor de carga vs. Longitud total sin soldadura. Fuente: Elaboración Propia

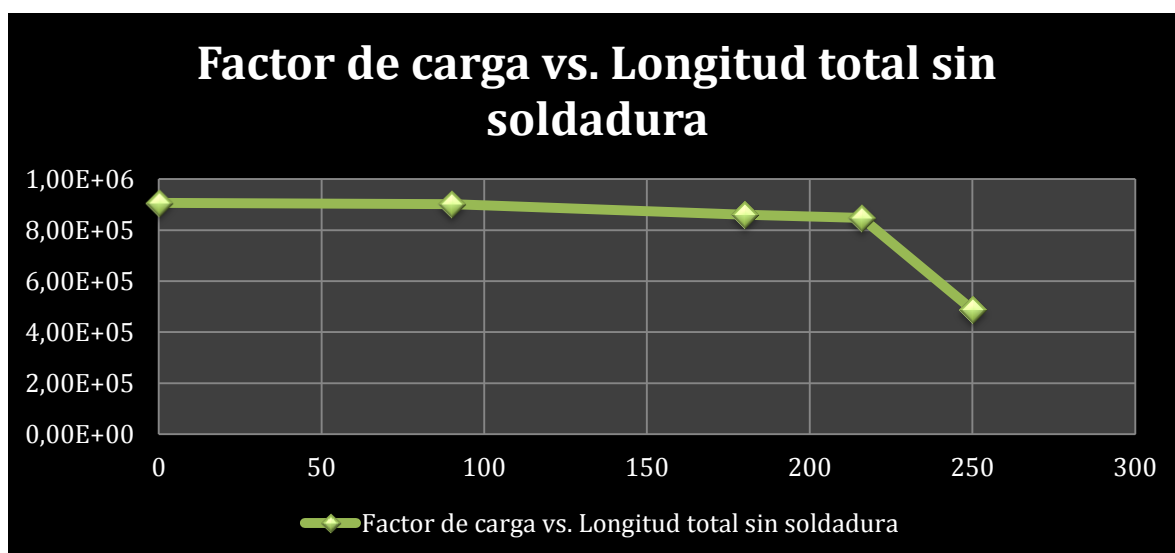


Figura 72. Factor de carga vs. Longitud total sin soldadura. Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V. SIMULACIÓN PUSHOVER DE ABAQUS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se modelarán pórticos de 1, 2 y 3 plantas, con una altura de entrepiso de 2.6m y 4.5m de luz. Las secciones de columnas y vigas son formadas por la unión de 2 perfiles G150x50x15, de esta manera se genera una sección cajón. Las soldaduras a aplicar son de 3 tipos, con espaciamiento de 30cm, 15cm y soldadura continua.

### Pórtico 1 planta

#### Análisis estático con cargas sísmicas usando NEC 2013

Se aplicó la norma ecuatoriana de la construcción NEC versión 2013 para obtener las cargas laterales por el método de diseño por fuerzas. Esto no es lo pertinente en el análisis pushover (Sobrecarga) pero se consideró importante para verificar en qué condiciones está el diseño de la norma.

Primero se calculó el periodo de vibración aproximado de la estructura:

$$T = C_T h_n^\alpha$$

Donde  $C_T$  es una constante que indica que el tipo de estructura. En nuestro caso es una estructura metálica con perfiles conformados en frío; por lo que el valor es de 0.072.

$h_n$  es la altura total del edificio, mientras que  $\alpha$  es una constante que en nuestro caso indica que se trata de un pórtico sin arrostros, el valor es de 0.8.

$$T = 0.072 \times 2.6^{0.8} = 0.155 \text{ [s]}$$

Luego se procede a calcular el cortante basal V:

$$V = \frac{I_x S a}{R \phi_e \phi_l} W$$

Dónde:

I es el factor de importancia ==1;

$S_a(0.155) = 1.19g$  es la aceleración de espectro de diseño

$R =$  coeficiente de reducción  $= 2.5$

$$\phi_e = \phi_l = 1$$

Ahora,  $W =$  Carga muerta  $+ 0.25 \times$  Carga Viva  $= D + 0.25L$

Para el cálculo de  $W$  se considera el volumen colaborante de la losa  $4.5 \times 4.5 \times 0.08$ , el peso propio de los perfiles de acero. Y para el cálculo de la carga viva se consideró una distribución de carga de  $0.2 \text{ T/m}^2$

Por lo tanto

$$V = \frac{1 \times 1.19 \times 9.8}{2.5 \times 1 \times 1} (4000 + 0.25 \times 4000) = 23324 [N] = 2.38 [T]$$

Como es 1 sola planta, se debe aplicar  $2.38T$  en la parte superior del pórtico.

En la figura 73 se puede visualizar la deformada del pórtico usando las cargas de la norma ecuatoriana de la construcción. A este punto de cargas la estructura se mantiene estable.

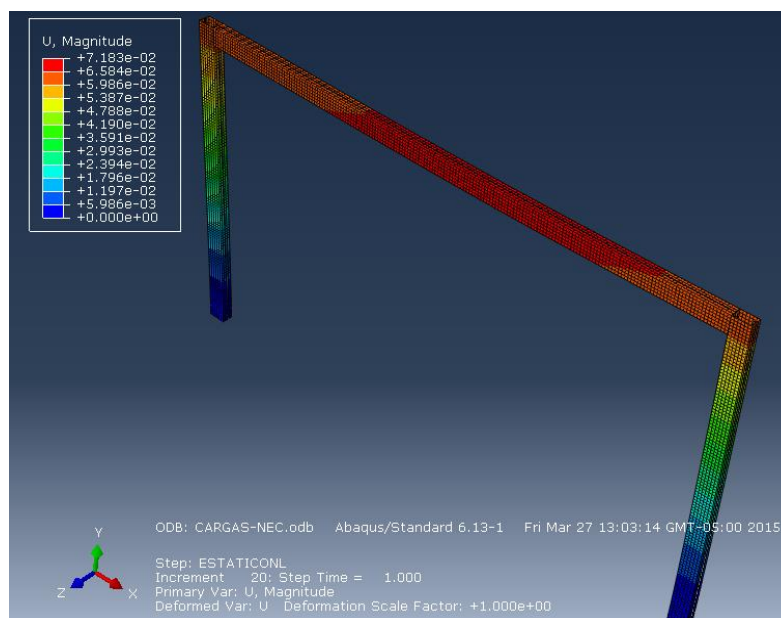


Figura 73. Vista isométrica. Magnitud del desplazamiento, 1 planta CARGAS NEC. Fuente: Elaboración propia.

En la figura 74 se muestra una vista isométrica del pórtico con los esfuerzos en el plano principal. Se observó que existen puntos en la junta viga columna donde el esfuerzo es de 298MPa.

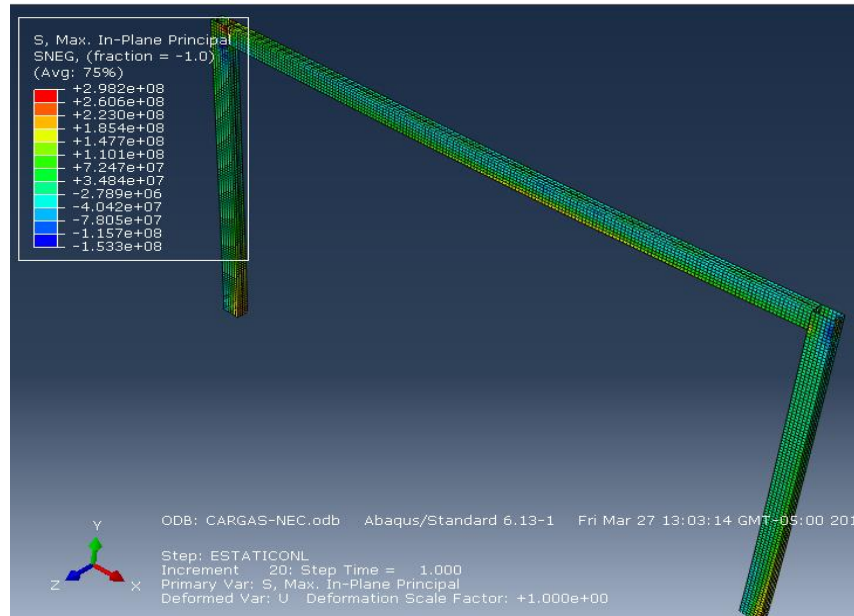


Figura 74. Esfuerzos principales. Pórtico 1 planta. Fuente: Elaboración propia

En la figura 75 se muestra los esfuerzos principales en la junta viga columna del pórtico, se observa que existen esfuerzos de hasta 298MPa. Sobrepasa la fluencia de

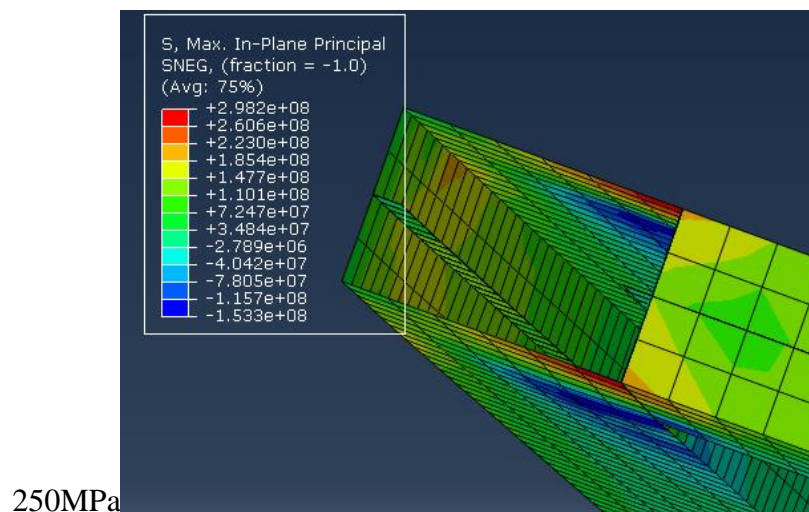


Figura 75. Esfuerzos principales en conexión viga columna. Pórtico 1 planta. Fuente: Elaboración propia

En la figura 76 se muestra la deformación plástica equivalente PEEQ:

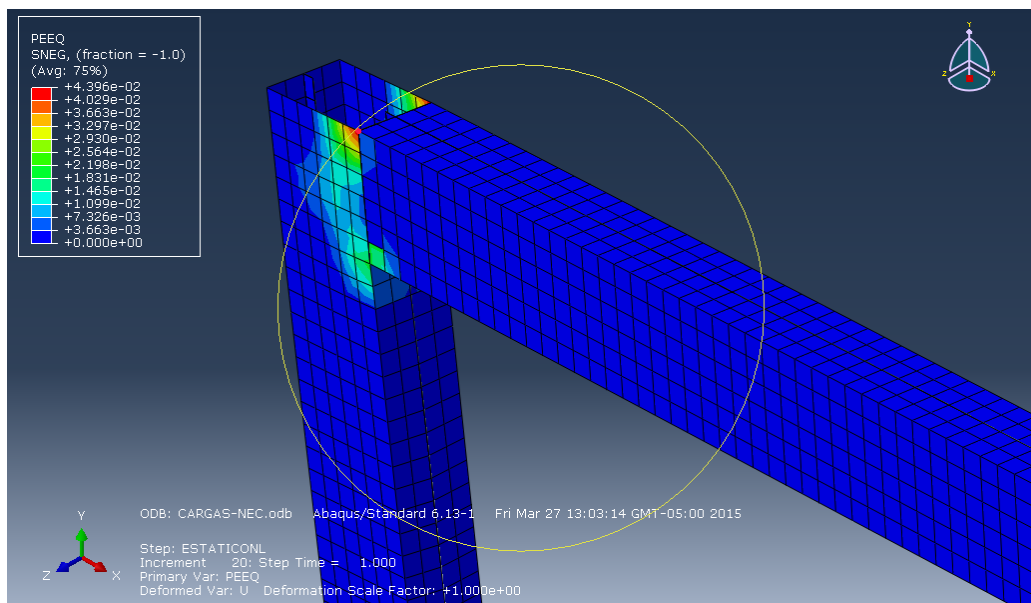


Figura 76. Deformación plástica equivalente en nudo. Cargas NEC. Fuente: Elaboración propia

### **Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura continua.**

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja al último piso del pórtico. El software comienza aplicando fraccionada hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia de 1 tonelada.

En la figura 77 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 1.37 metros. Hay que recordar que la altura de entrepiso es de 2.6m con una luz de 4.5m. Se pudo notar que las fallas principales son: primero en la base de las columnas y segundo, en las juntas viga columna. Son fallas de carácter local.

En la figura 78 se puede observar una vista isométrica del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 462 MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna y en la base de las columnas.

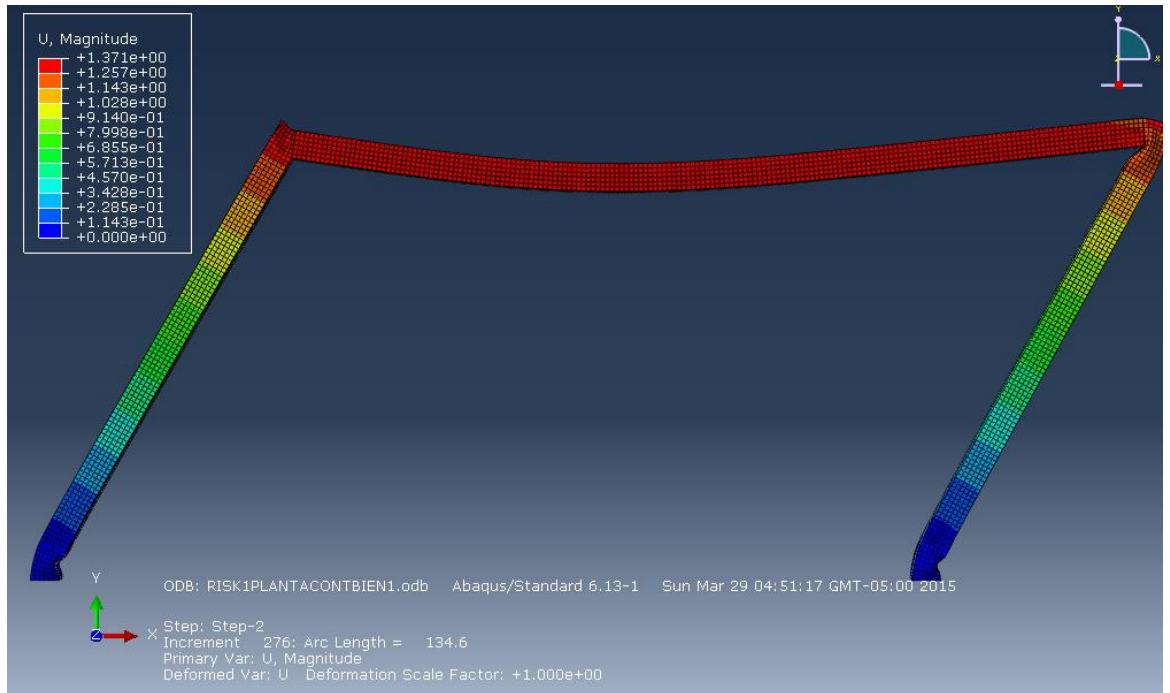


Figura 77. Magnitud de desplazamiento. Pórtico 1 planta soldadura continua. Fuente: Elaboración propia.

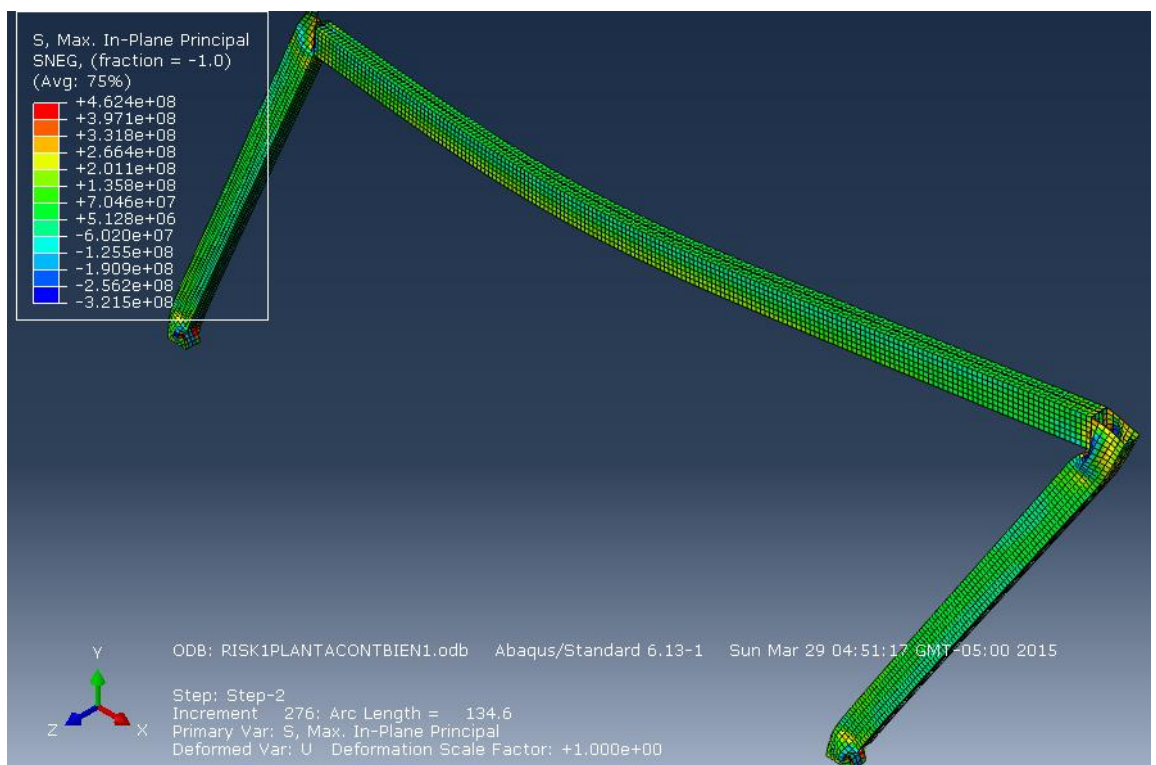


Figura 78. Esfuerzos principales, 1 planta en análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 79 y 80 se puede observar la deformación plástica equivalente en la parte baja de la columna y en la junta viga columna. Se observan valores máximos de 0.3466 m/m

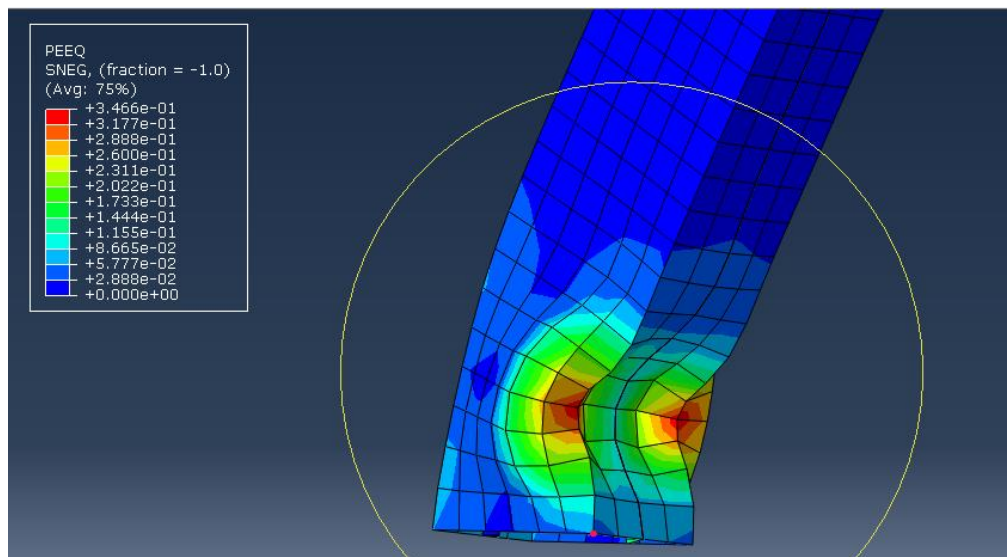


Figura 79. Deformación plástica equivalente, 1 planta análisis de colapso. Fuentes: Elaboración propia.

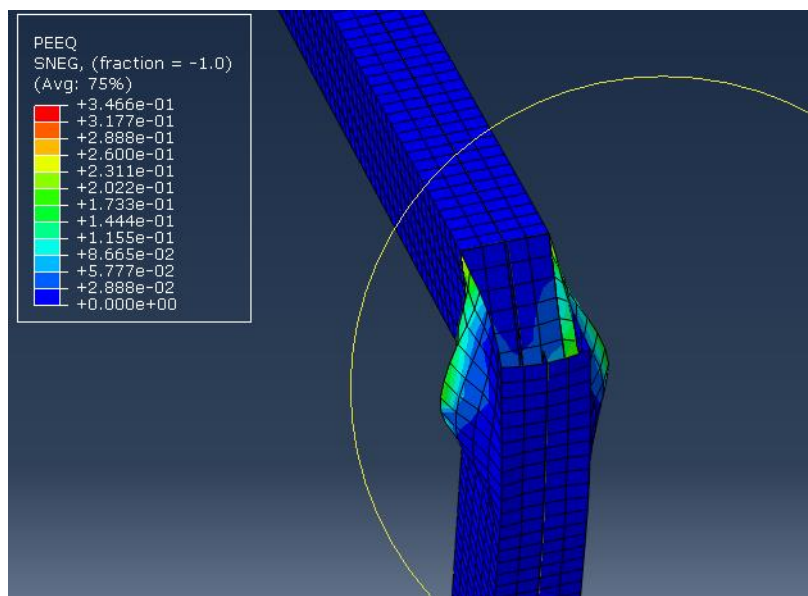


Figura 80. Conexión viga-columna. Deformación plástica equivalente, 1 planta análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.



### Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamiento 15cm.

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja al último piso del pórtico. El software comienza aplicando fraccionada hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia de 1 tonelada.

En la figura 81 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 1.68 metros. Hay que recordar que la altura de entrepiso es de 2.6m con una luz de 4.5m. Se pudo notar que las fallas principales son: primero en la base de las columnas y segundo, en las juntas viga columna. Son fallas de carácter local.

En la figura 82 se puede observar una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 468MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna y en la base de las columnas.

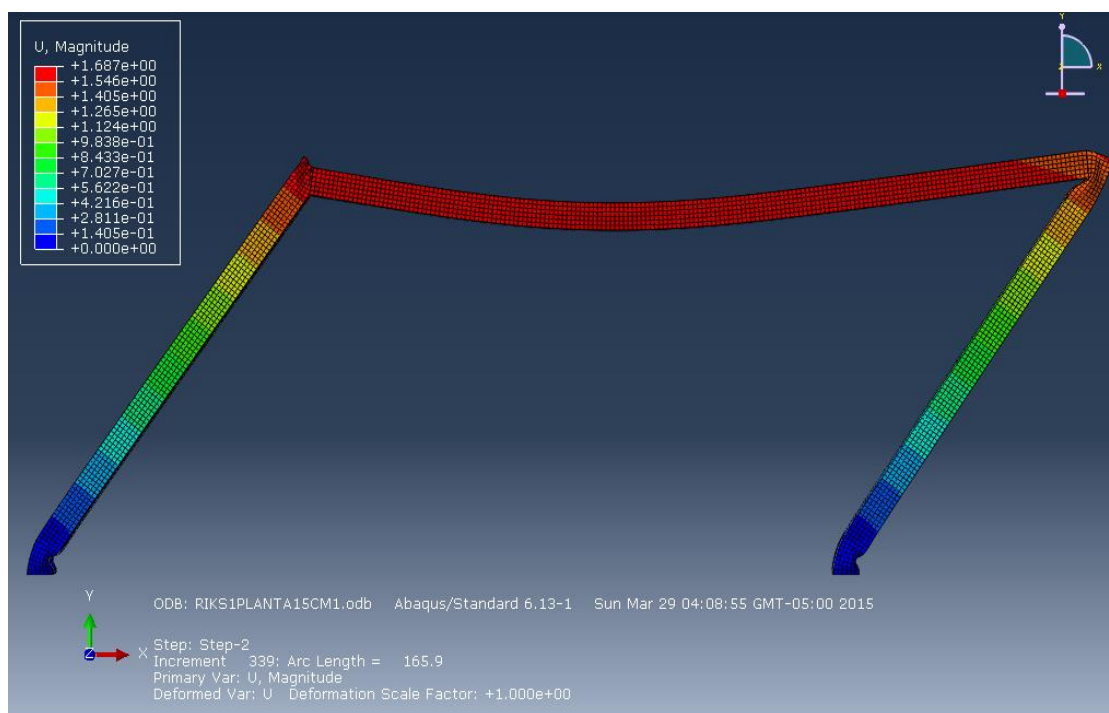


Figura 81. Desplazamiento total, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso.  
Fuente: Elaboración propia.



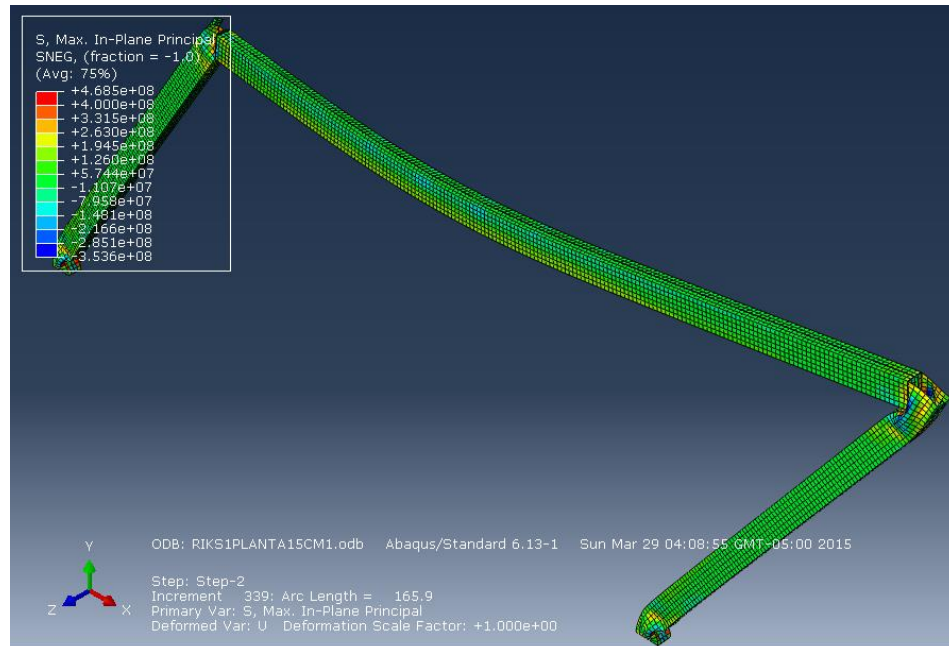


Figura 82. Esfuerzos principales, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 83 y 84 se puede observar la deformación plástica equivalente en la parte baja de la columna y en la junta viga columna. Se observan valores máximos de 0.412 m/m

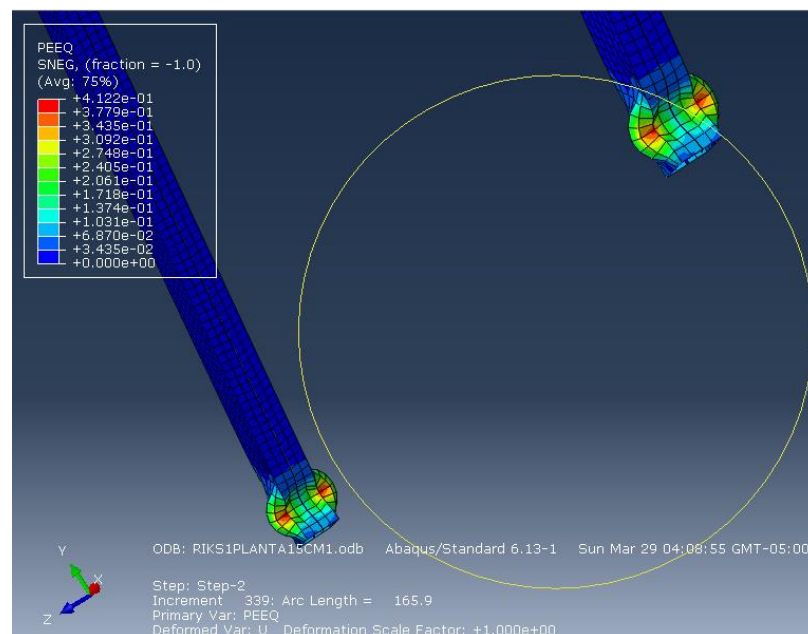


Figura 83. Deformación plástica equivalente en base de columnas, 1 planta con soldadura espaciamiento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

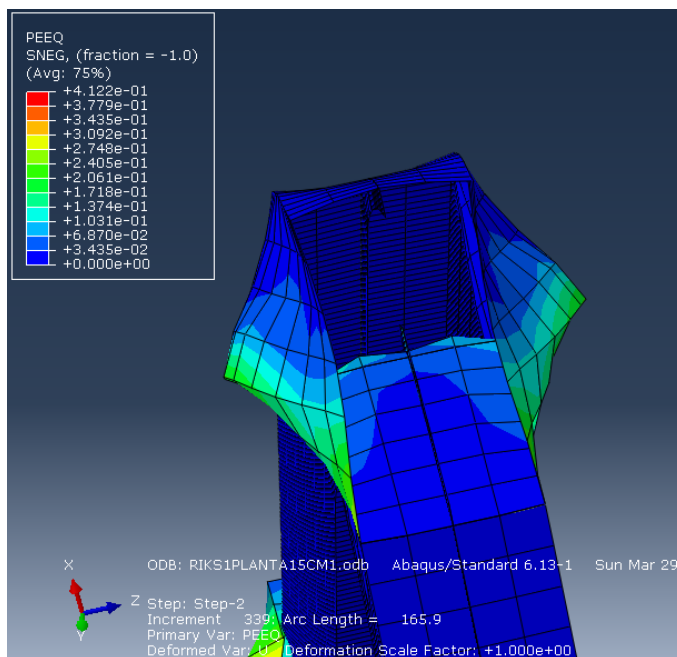


Figura 84. Deformación plástica equivalente en conexión viga columna, 1 planta con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

### **Pushover análisis de Abaqus para elementos con soldadura con espaciamento 30cm.**

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja al último piso del pórtico. El software comienza aplicando una carga fraccionada hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia de 1 tonelada.

En la figura 85 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento lateral es de 1.306 metros. Hay que recordar que la altura de entrepiso es de 2.6m con una luz de 4.5m. Se pudo notar que las fallas principales son: primero en la base de las columnas; segundo, en las juntas viga columna; y finalmente se observa en la mitad de la viga como se abre la sección debido a que tiene 30 cm de espaciamento. Son fallas de carácter local.

En la figura 86 se puede observar una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 440 MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna, en la base de las columnas y en el centro de la viga.

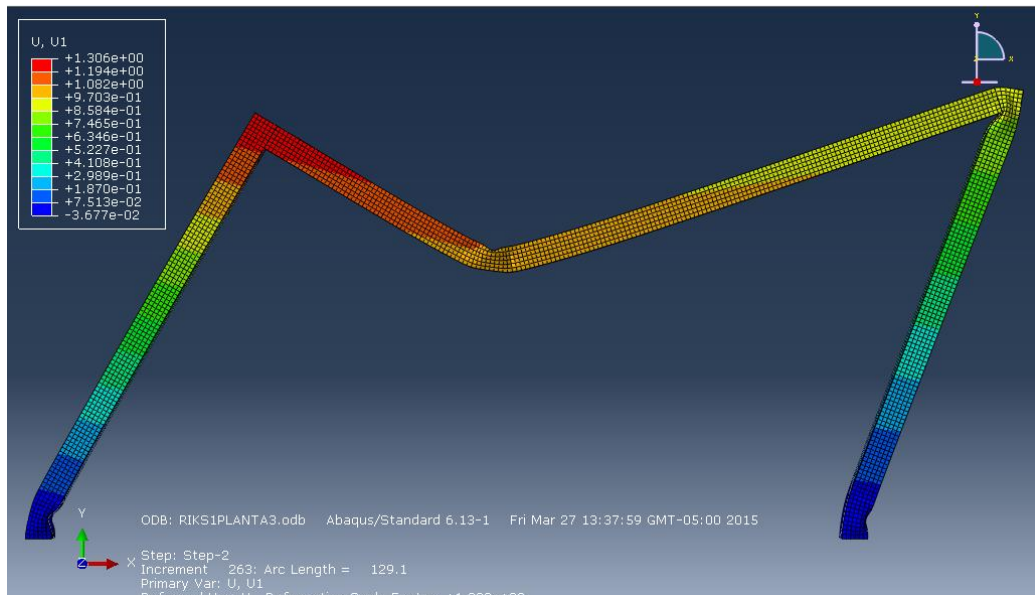


Figura 85. Desplazamiento lateral. 1 planta con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

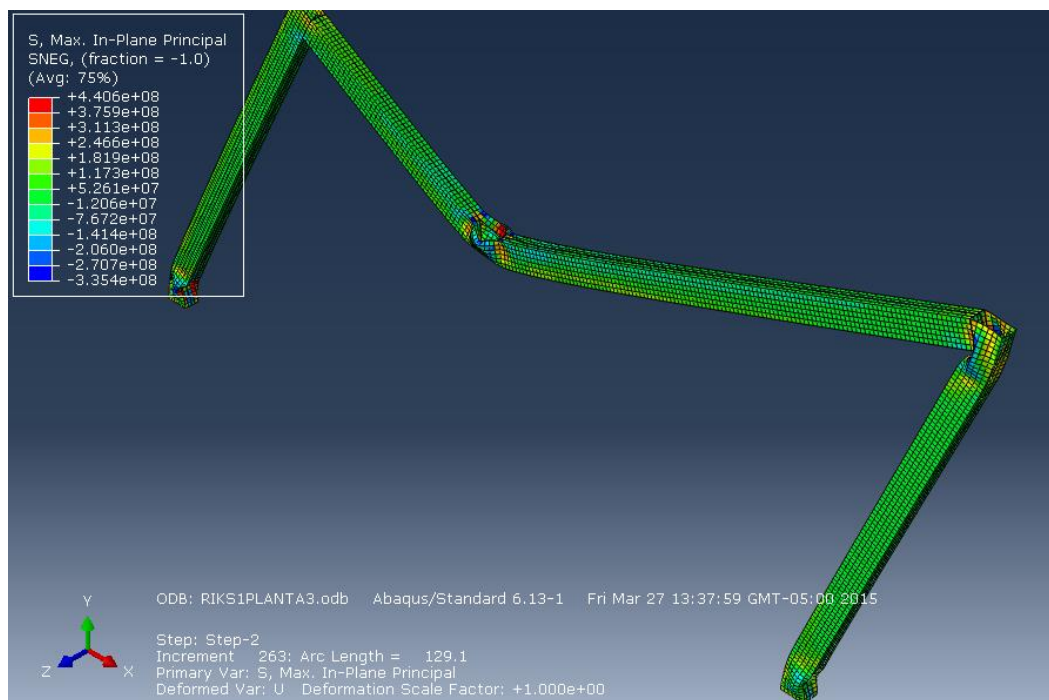


Figura 86. Esfuerzos plano principal. 1 planta con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 87, 88 y 89 se puede observar la deformación plástica equivalente en la parte baja de la columna y en la junta viga columna. Se observan valores máximos de 0.35 m/m

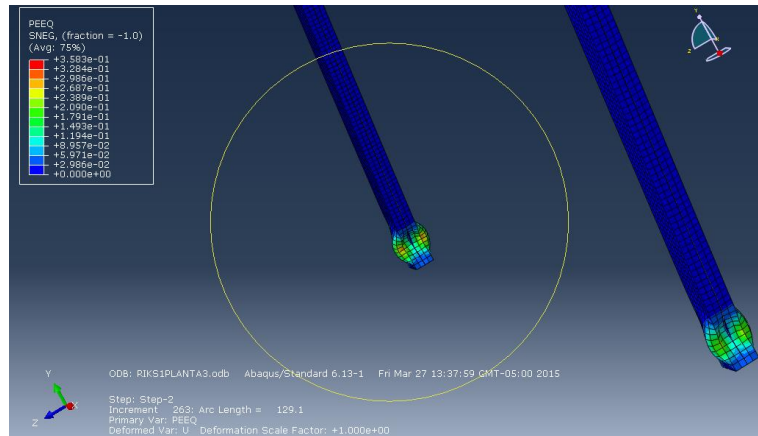


Figura 87. Deformación plástica equivalente, bases de las columnas. 1 planta con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

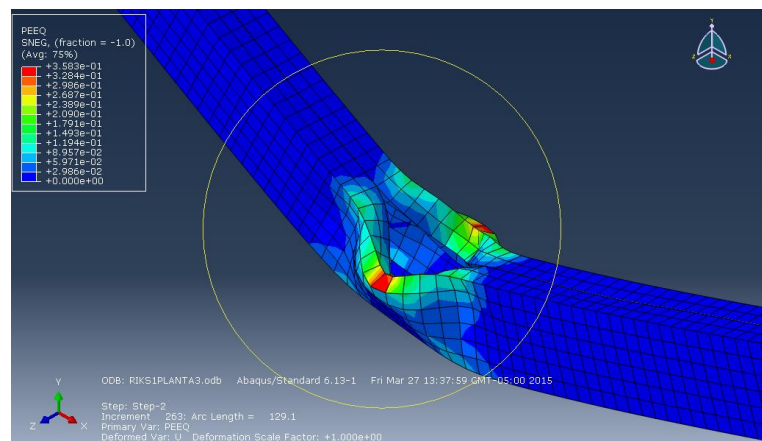


Figura 88. Deformación plástica equivalente, centro de la viga. 1 planta con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

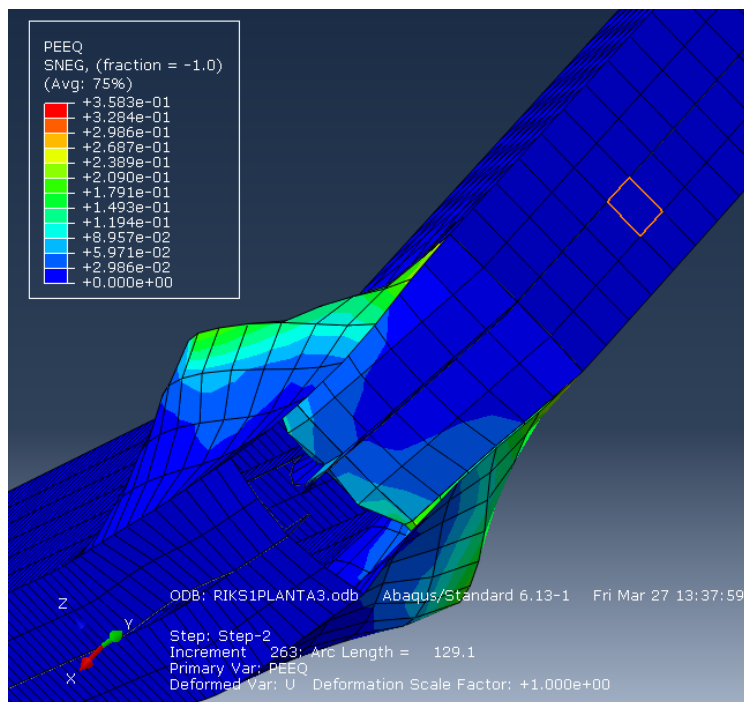


Figura 89. Deformación plástica equivalente, junta viga columna. 1 planta con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

### Análisis y comparación de resultados.

Se obtuvo las curvas del análisis Pushover de Abaqus en donde se graficó el factor de carga versus el desplazamiento horizontal del último piso. Las 3 curvas muestran un comportamiento coherente de colapso. El punto máximo para el pórtico con soldadura continua tiene un LPF de 2.788 con 0.217m. El punto máximo para el pórtico con soldadura con espaciamento de 15cm tiene un LPF de 2.787 con 0.208m. El punto máximo para el pórtico con soldadura con espaciamento de 30cm tiene un LPF de 2.75 con 0.19m. Para calcular el cortante total aplicado simplemente se debe multiplicar el factor de carga por 1 T que fue la carga de referencia aplicada en el último piso del pórtico.

De acuerdo a estos resultados, la estructura con mayor desempeño es el pórtico con soldadura continua, seguido del pórtico con soldadura de espaciamento 15 cm y por último pórtico con soldadura de espaciamento 30 cm. En la figura 90 se puede observar las gráficas.

Otra falla local, pero no menos importante, el pórtico generó un comportamiento particular a diferencia del resto de las estructuras analizadas; se formó una separación en la parte media de la viga a causa del espaciamiento de 30cm a un factor de carga de 2.38 considerando que el máximo fue de 2.78

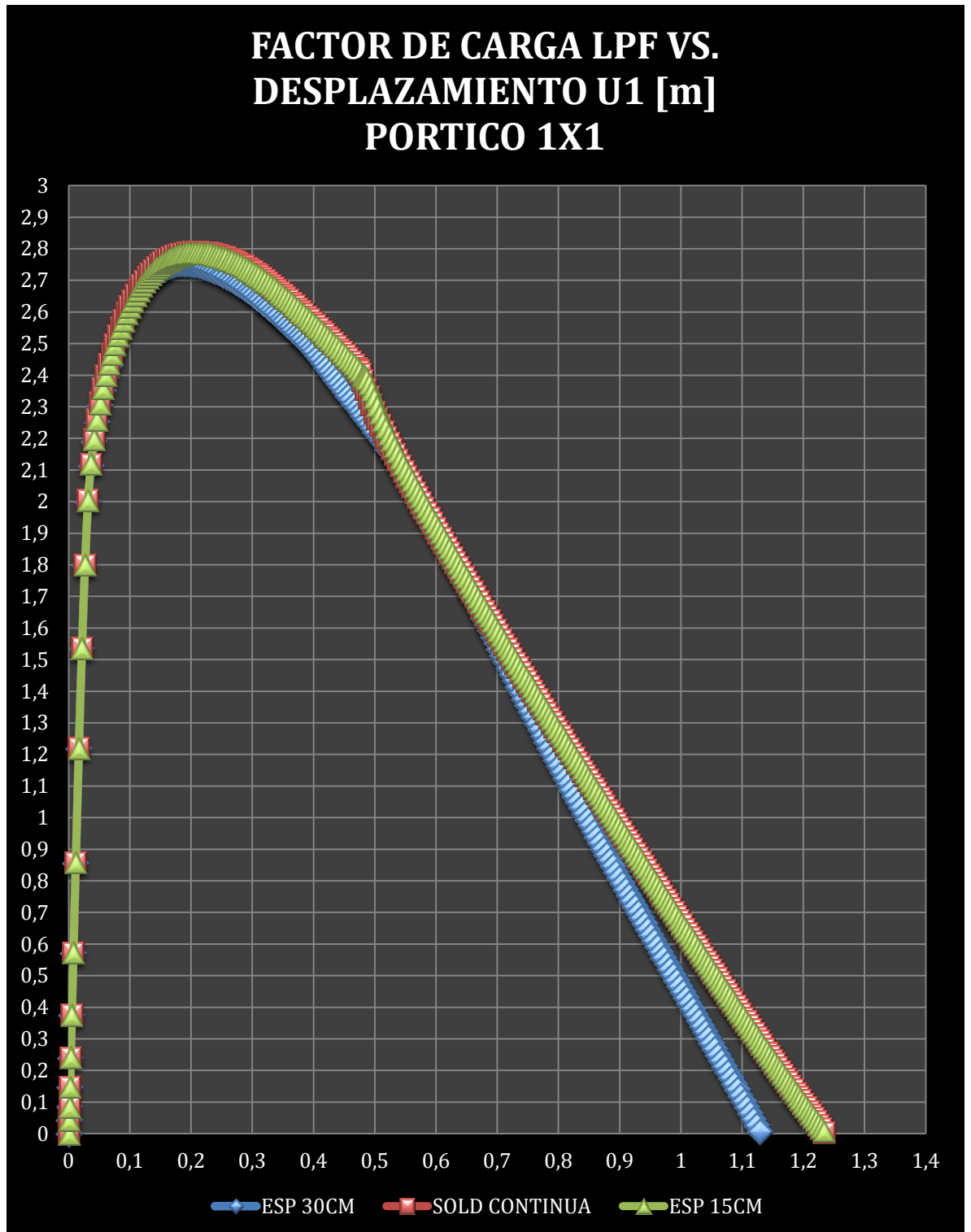


Figura 90. Curvas de sobrecarga para cada tipo de soldadura. Factor de carga vs. Desplazamiento horizontal. Fuente: Elaboración propia

## Pórtico 2 plantas

Se realizará los análisis correspondientes para cargas estáticas provenientes de la NEC y también se hará un análisis pushover aplicando una carga de referencia de 1T en el primer piso y 1T en el segundo. La altura de entre piso es de 2.6m con luces de 4.5m

### Análisis estático con cargas sísmicas usando NEC 2013

De acuerdo a los parámetros establecidos en la sección anterior se procede a calcular el cortante basal.

$$T = 0.072 \times 5.2^{0.8} = 0.269 \text{ [s]}$$

$$V = \frac{1 \times 1.19 \times 9.8}{2.5 \times 1 \times 1} (16000 + 0.25 \times 16000) = 93269 \text{ [N]} = 9.52 \text{ [T]}$$

De acuerdo al método de fuerzas, estas son las cargas laterales correspondientes:

Tabla 12. Cargas laterales obtenidas a través del método de fuerzas. Fuente: Elaboración propia

	hi	wi					
PISO	H-piso	Cortante B.	hixwi	Fi	N	Area	Presión (Pa)
2	5,2	9,52	49,504	<b>6,34666667</b>	62197,33	0,01343	4630534,05
1	2,6	9,52	24,752	<b>3,17333333</b>	31098,67	0,01343	2315267,02
			74,256	9,52			

En la tabla 12 se puede observar que a la planta 1 hay que cargarle 3.17T mientras que a la última planta 6.34T. En la tabla se muestra la transformación a presión que se va a aplicar en las columnas en Abaqus. En las siguientes líneas se despliega una sección del código input en donde se define estas fuerzas:

```
** STEP: ESTATICONL
**
*Step, name=ESTATICONL, nlgeom=YES
*Static
0.05, 1., 1e-05, 0.05
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: EMPOTRAMIENTO Type: Displacement/Rotation
```



```

*Boundary
Set-23, 1, 1
Set-23, 2, 2
Set-23, 3, 3
Set-23, 4, 4
Set-23, 5, 5
Set-23, 6, 6
**
** LOADS
**
** Name: DEAD LOAD   Type: Pressure
*Dload
Surf-5, P, -94685.
** Name: LATERAL   Type: Pressure
*Dload
Surf-4, P, -2.31527e+06
** Name: LATERAL2   Type: Pressure
*Dload
Surf-6, P, -4.63053e+06
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=0
**
** FIELD OUTPUT: F-Output-1
**
*Output, field, variable=PRESELECT
**
** HISTORY OUTPUT: H-Output-1
**
*Output, history
*Element Output
IRA1, IRA2, IRA3, IRAR1, IRAR2, IRAR3, IRF1, IRF2, IRF3, IRM1,
IRM2, IRM3
*Energy Output
*EndStep

```

Lamentablemente el análisis aborta debido a que las cargas aplicadas sobrepasan a las cargas máximas que permite la estabilidad del pórtico. Se tiene un cortante basal de 9.52T, cuando veamos el análisis de colapso en la siguiente sección observaremos que el cortante basal máximo es de alrededor 4T. Es decir, las cargas provenientes del diseño NEC sobrepasan el rendimiento máximo del pórtico. El software muestra el siguiente error “**The strain increment has exceeded fifty times the strain to cause first yield at 503 points**”.

### Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura continua.

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja primer y último piso del pórtico. El software comienza aplicando fraccionadamente hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia es de 1 tonelada.

En la figura 91 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 1.259 metros. Se pudo notar que las fallas principales son: primero en la base de las columnas y segundo, en las juntas viga columna. Son fallas de carácter local.

En la figura 92 se puede observar una vista isométrica del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 414 MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna y en la base de las columnas.

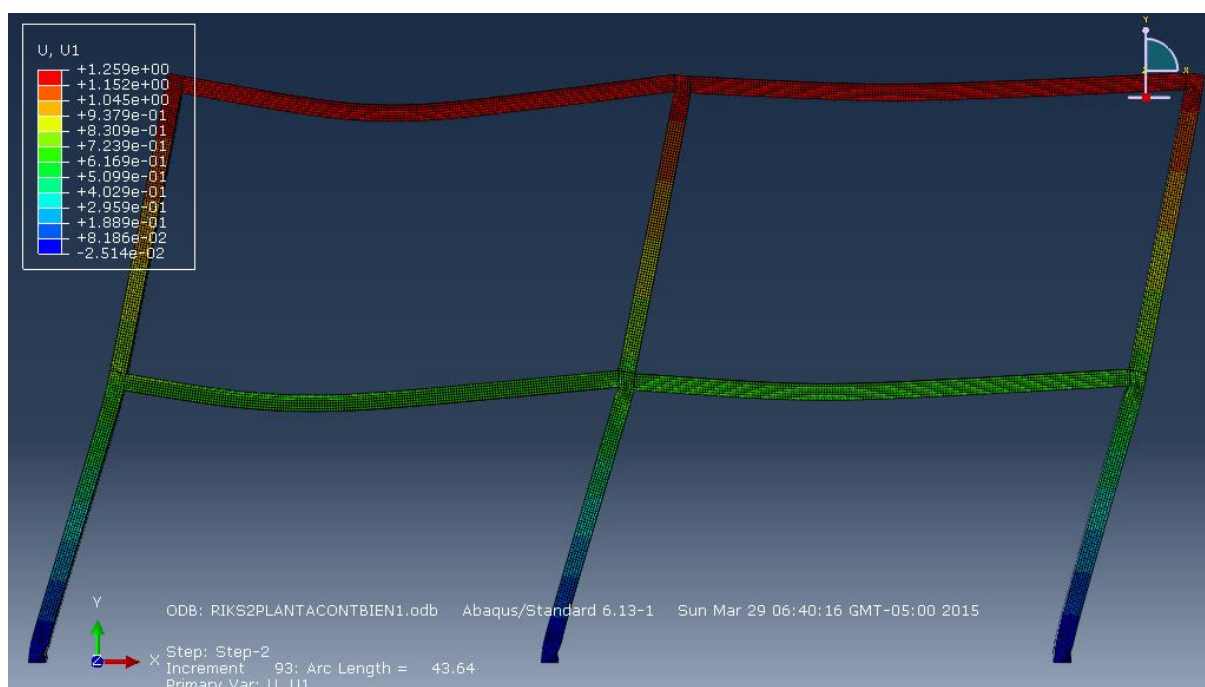


Figura 91. Desplazamiento horizontal, U1. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso.  
Fuente: Elaboración propia.

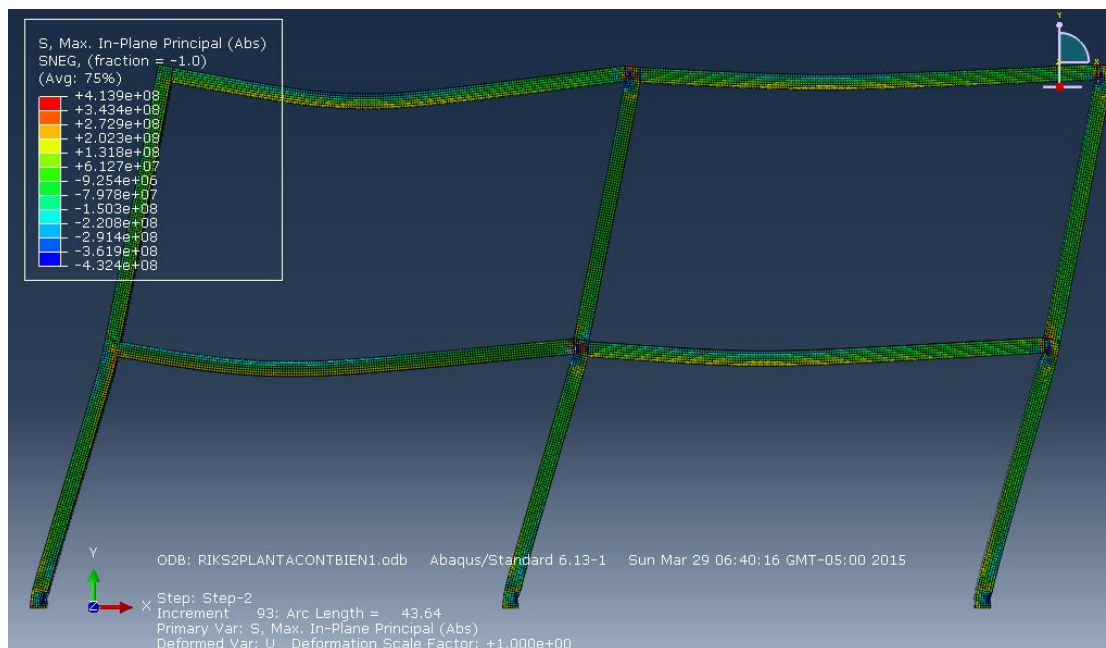


Figura 92. Esfuerzos principales. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 93 y 94 se puede observar los esfuerzos principales en la base de la columna y en la junta viga columna. Para mejorar la visualización y poder observar dentro de la junta se eliminó de forma visual al perfil G superior. Se observan valores máximos de 413Mpa

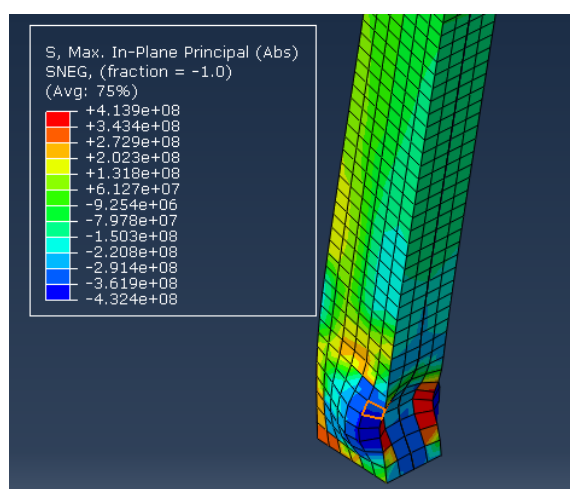


Figura 93. Esfuerzos principales, base de columna. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

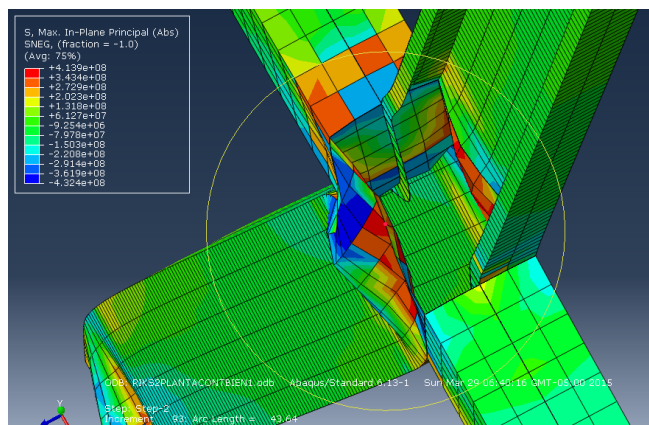


Figura 94. Esfuerzos principales, junta viga-columna. 2 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

### Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamiento 15cm.

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja primer y último piso del pórtico. El software comienza aplicando fraccionadamente hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia es de 1 tonelada.

En la figura 95 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 1.57 metros. Se pudo notar que las fallas principales son: primero en la base de las columnas y segundo, en las juntas viga columna. Son fallas de carácter local.

En la figura 96 se puede observar una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 464MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna y en la base de las columnas.

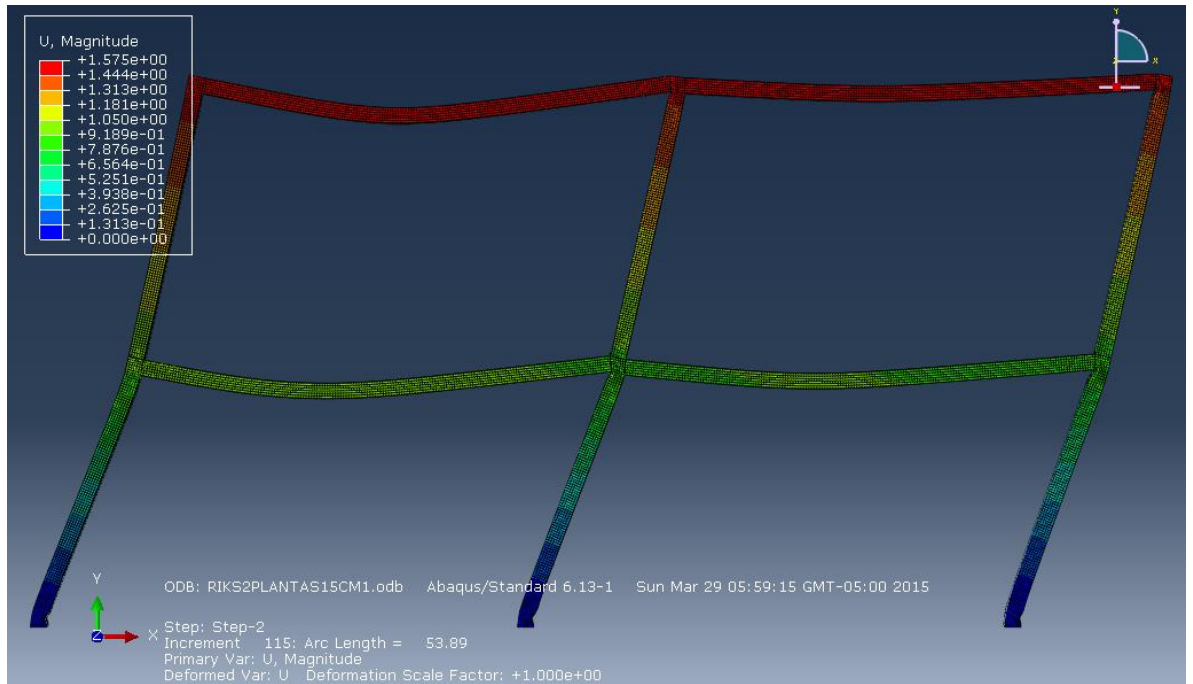


Figura 95. Desplazamiento total, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

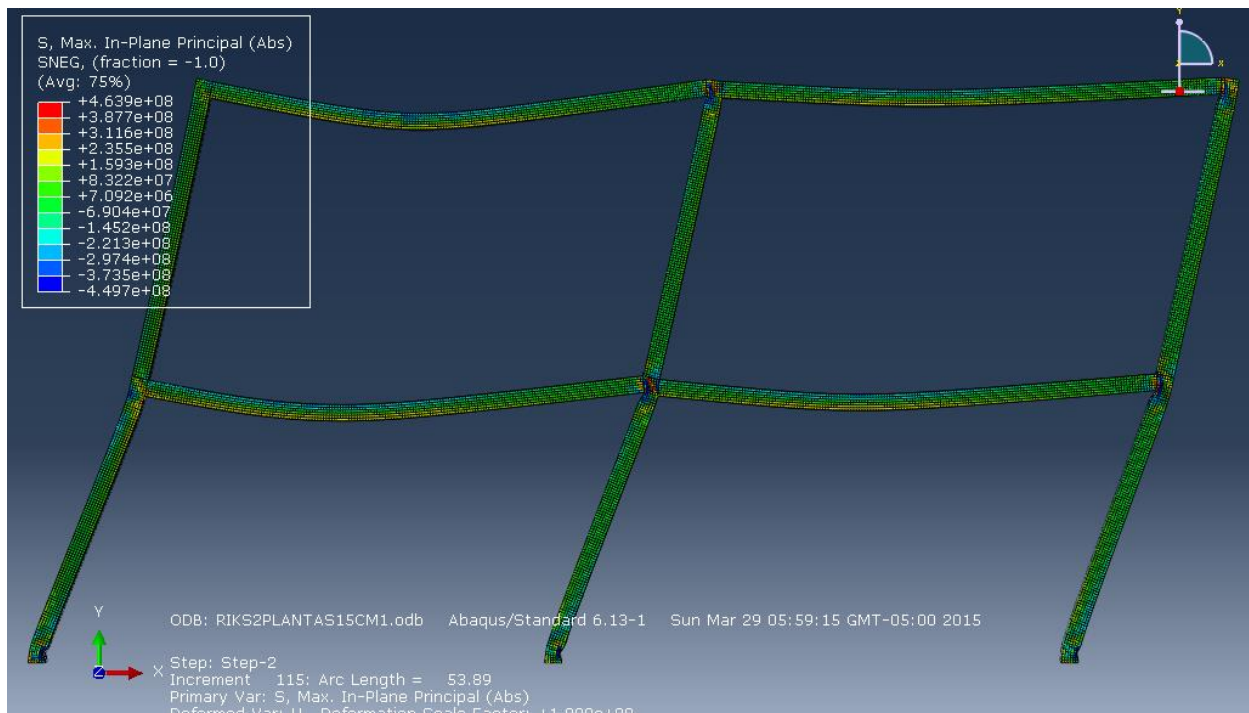


Figura 96. Esfuerzos principales, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 97 y 98 se muestran los esfuerzos principales en los puntos de falla. Para el primer caso es en la junta viga-columna y en el segundo caso en la base de la columna.

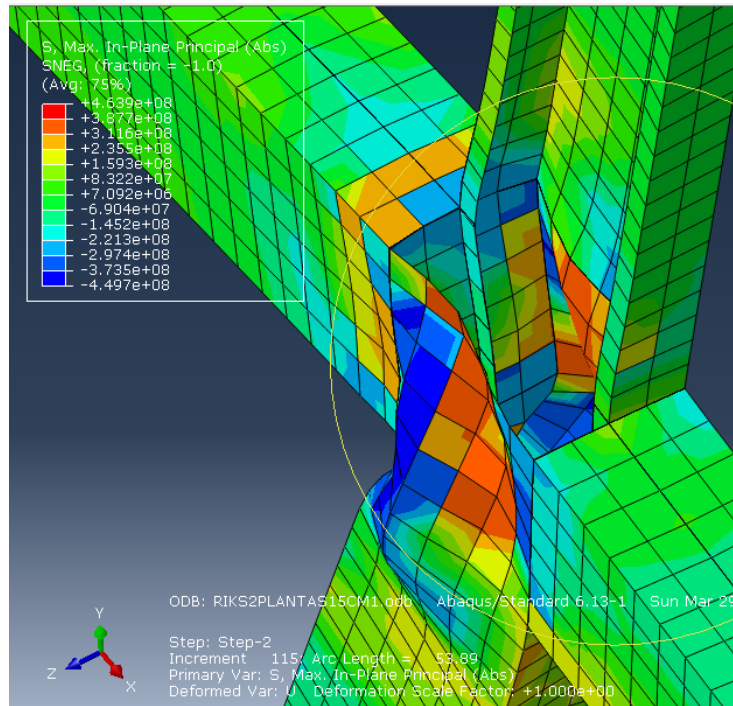


Figura 97. Esfuerzos principales en junta viga columna, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

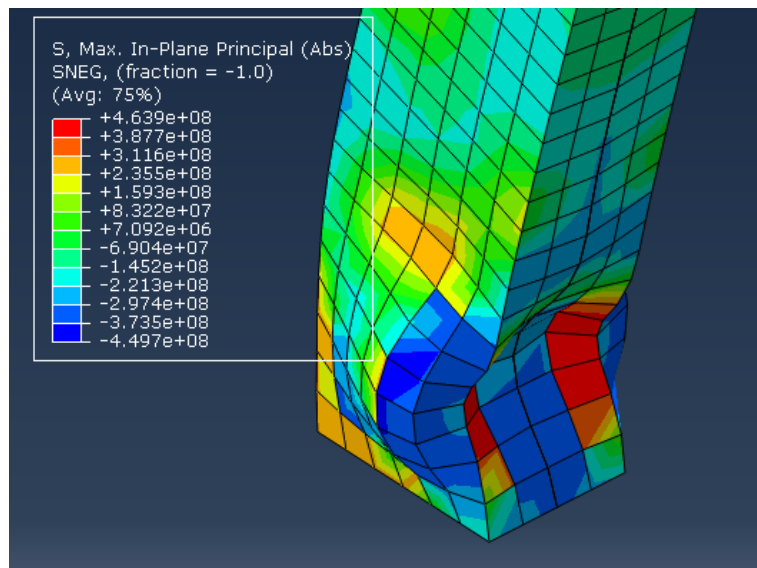
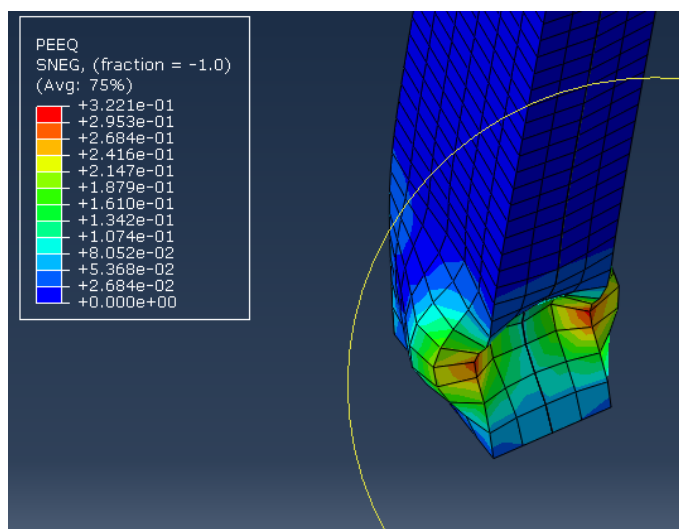


Figura 98. Esfuerzos principales en la base de la columna, 2 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 99 se puede observar la deformación plástica equivalente en la parte baja de la columna. Se observan valores máximos de 0.322 m/m con esfuerzos plásticos de alrededor 410MPa.



*Figura 99. Deformación plástica equivalente en base de columna. 2 plantas con soldadura espaciado 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.*

### **Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciado 30cm.**

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja primer y último piso del pórtico. El software comienza aplicando fraccionadamente hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia es de 1 tonelada. En la figura 100 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 41.5 centímetros. Se pudo notar que la falla se da en la junta viga columna. La ductilidad se reduce considerablemente cuando se simula este tipo de soldadura, se reduce de 1.57m a 41.5 cm (74%) en desplazamiento último.

En la figura 101 se puede observar una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 342MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna y en la base de las columnas.



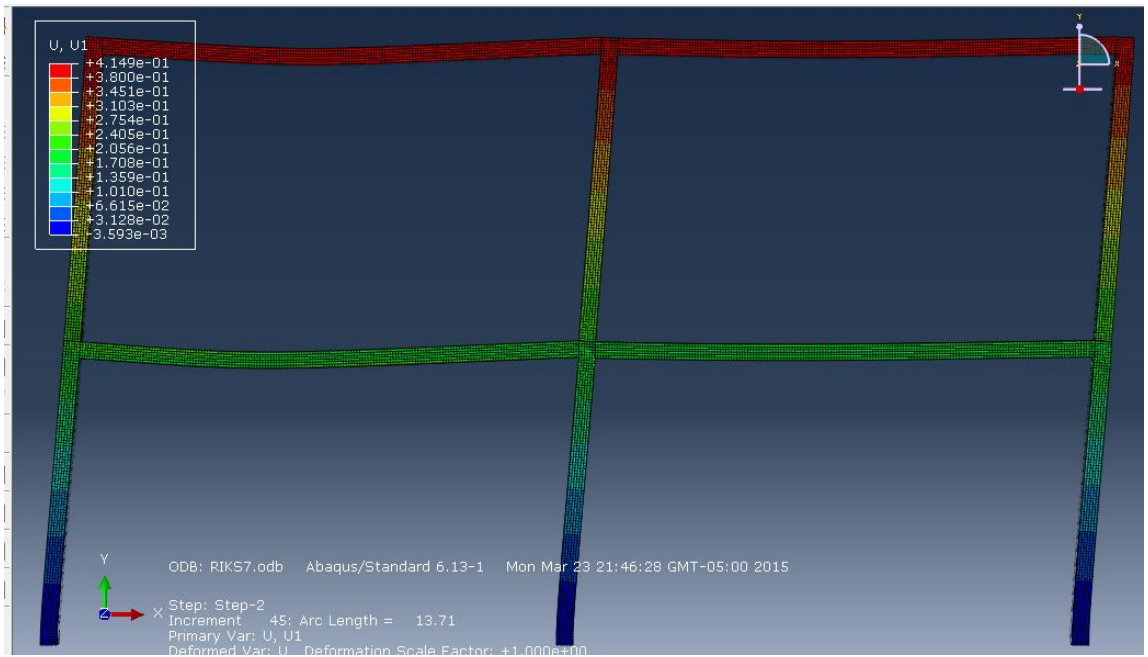


Figura 100. Desplazamiento lateral. 2 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

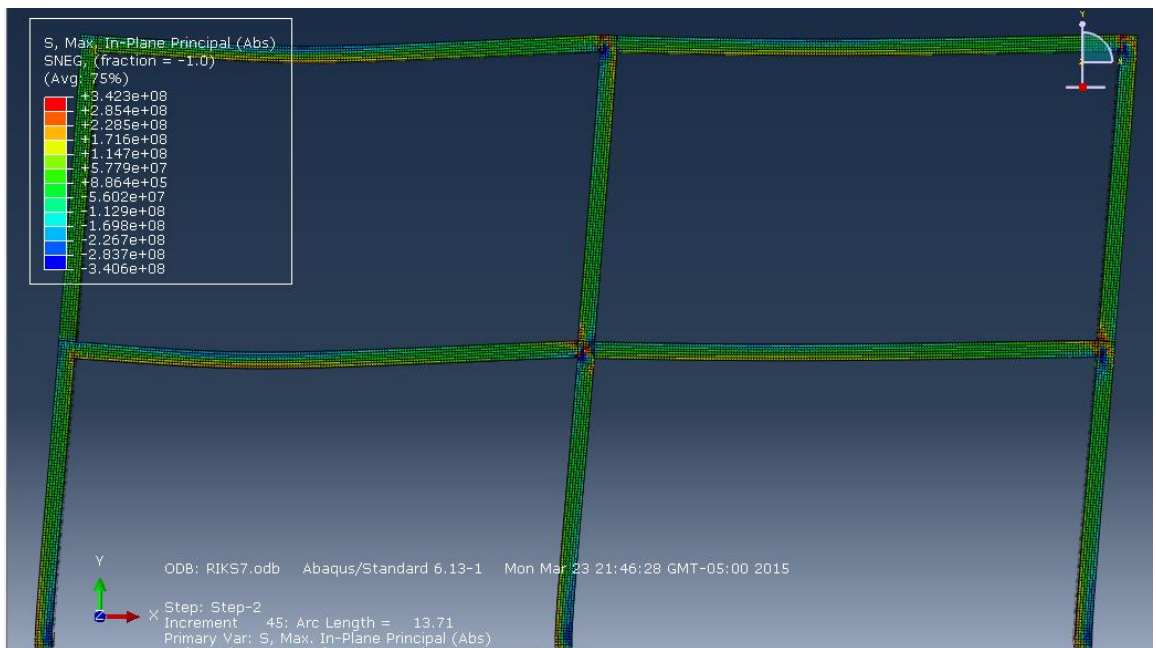


Figura 101. Esfuerzos plano principal. 2 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.



En las figuras 102 y 101 se puede observar los esfuerzos principales y la deformación plástica equivalente en la junta viga columna. Se observan valores máximos de 0.094 m/m (PEEQ)

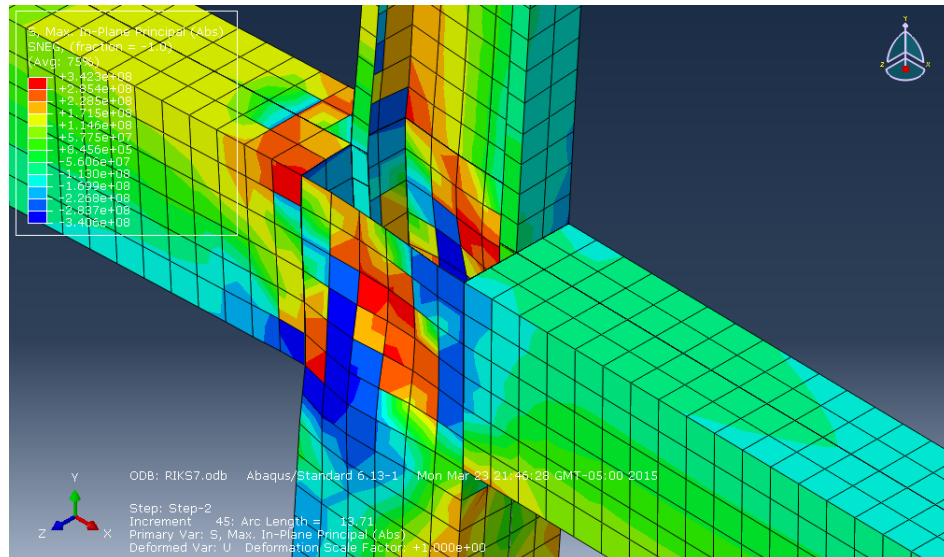


Figura 102. Esfuerzos principales, junta viga columna. 2 plantas con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

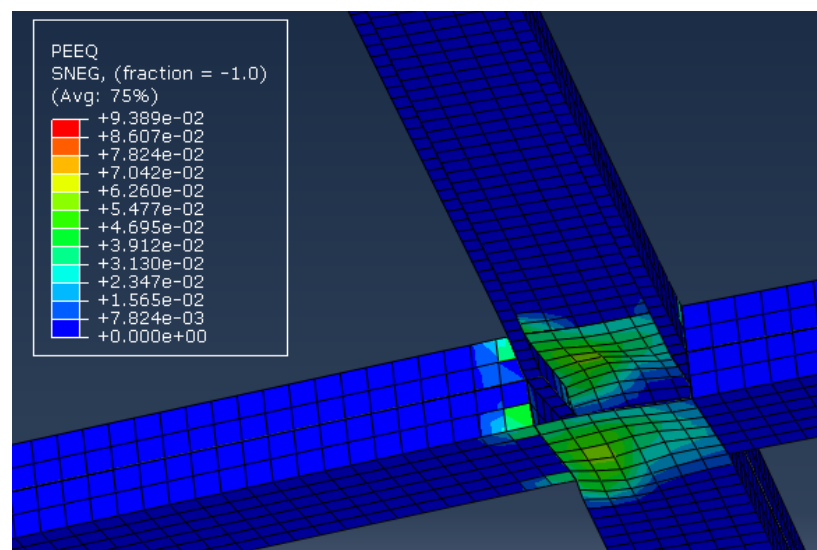


Figura 103. Deformación plástica equivalente, junta viga columna. 2 plantas con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

### **Análisis y comparación de resultados.**

Se obtuvo las curvas del análisis Pushover de Abaqus en donde en el eje y consta el factor de carga y en eje x el desplazamiento horizontal del último piso. Las 2 curvas muestran un comportamiento coherente de colapso, las mismas que pertenecen al pórtico con soldadura continua y al pórtico con soldadura de 15cm; curvas roja verde respectivamente. La curva de color azul, perteneciente al pórtico con soldadura de espaciamiento igual a 30cm sufre una caída de ductilidad fuerte, el desplazamiento horizontal máximo se reduce en un 70% comparado a los pórticos con otras soldaduras. El punto máximo para el pórtico con soldadura continua tiene un LPF de 1.76515 con 25.68cm de desplazamiento. El punto máximo para el pórtico con soldadura con espaciamiento de 15cm tiene un LPF de 1.76468 con 24.94cm de desplazamiento. El punto máximo para el pórtico con soldadura con espaciamiento de 30cm tiene un LPF de 1.7393 con 24.09 cm en desplazamiento lateral. Para calcular el cortante total aplicado simplemente se debe multiplicar el factor de carga por 1 T y por 2 pisos.

A pesar que el pórtico con soldadura de 30 cm no logra tener un gran desplazamiento lateral, el pico máximo de la carga es similar al de los pórticos con otros tipos de soldaduras. Es importante mencionar que el cortante basal obtenido a través del método aproximado de NEC es extremadamente elevado frente al valor de 3.47 T que se obtuvo en este estudio.

De acuerdo a estos resultados, la estructura con mayor desempeño es el pórtico con soldadura continua, seguido del pórtico con soldadura de espaciamiento 15 cm y por último pórtico con soldadura de espaciamiento 30 cm. En la figura 104 se puede observar las gráficas.

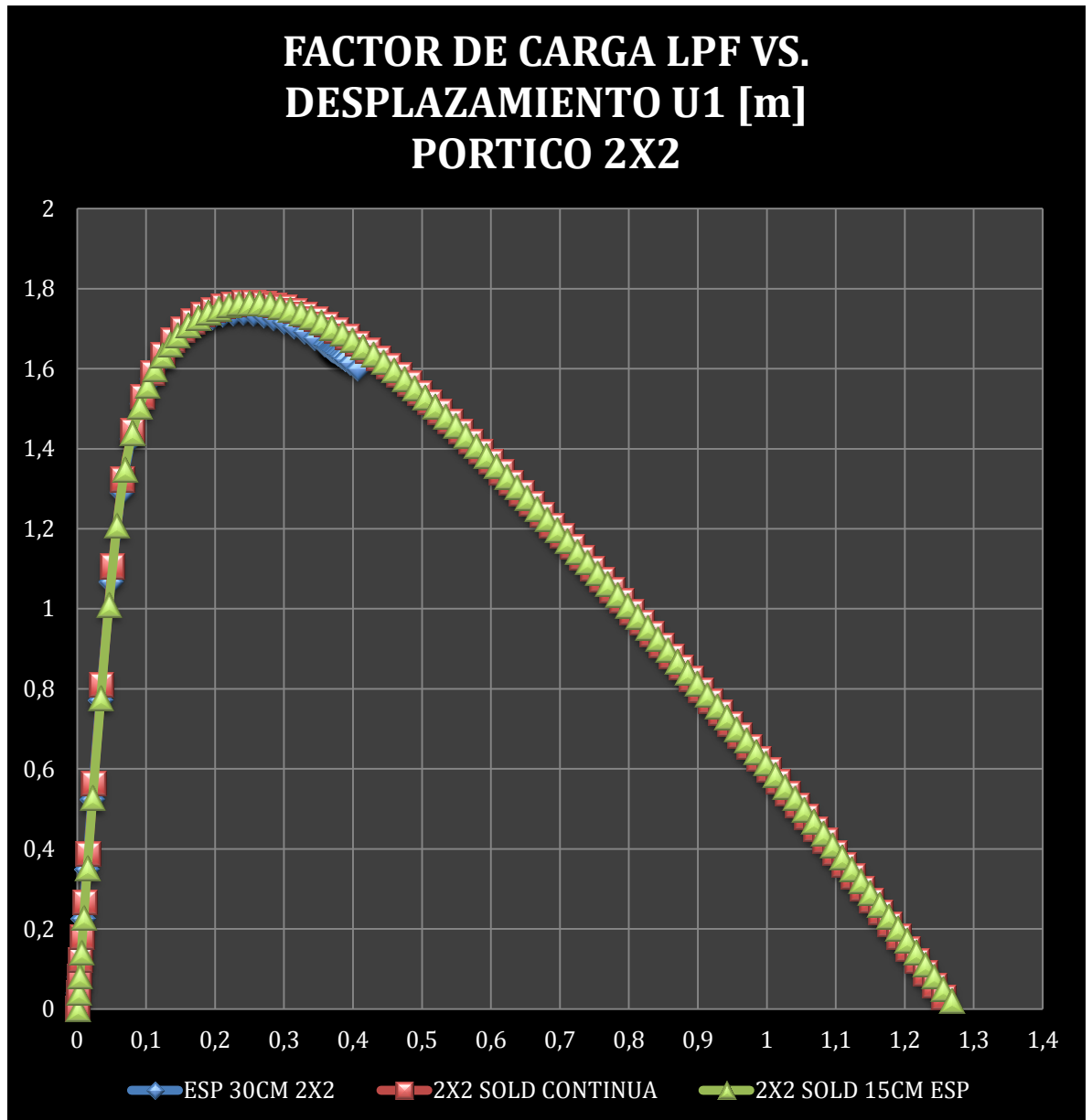


Figura 104. Curvas de sobrecarga para cada tipo de soldadura. Pórtico de 2 plantas. Factor de carga vs. Desplazamiento horizontal. Fuente: Elaboración propia

### Pórtico 3 plantas

Se realizará los análisis correspondientes para cargas estáticas provenientes de la NEC y también se hará un análisis pushover aplicando una carga de referencia de 1T en el primer piso, 1T en el segundo y 1T en el tercero. La altura de entre piso es de 2.6m con luces de 4.5m. La carga muerta fue calculada en una sección previa.

#### Análisis estático con cargas sísmicas usando NEC 2013.

De acuerdo a los parámetros establecidos en la sección anterior se procede a calcular el cortante basal.

$$T = 0.072 \times 7.8^{0.8} = 0.37 \text{ [s]}$$

$$V = \frac{1 \times 1.19 \times 9.8}{2.5 \times 1 \times 1} (45000) = 209916 \text{ [N]} = 21.42 \text{ [T]}$$

De acuerdo al método de fuerzas, estas son las cargas laterales correspondientes:

Tabla 13. Cargas laterales obtenidas a través del método de fuerzas. Fuente: Elaboración propia

	Hi	Wi					
PISO	Hpiso	cargarec	hixwi	Fi	N	Area	Preassure (Pa)
3	7,8	21,42	167,076	<b>10,71</b>	104958	0,013432	7814026,21
2	5,2	21,42	111,384	<b>7,14</b>	69972	0,013432	5209350,8
1	2,6	21,42	55,692	<b>3,57</b>	34986	0,013432	2604675,4
			334,152	21,42			

En la tabla 13 se puede observar que a la planta 1 hay que cargarle 3.57T mientras que a la segunda planta 7.14T. En la última planta se debe cargar 10.71T. En la tabla se muestra la transformación a presión que se va a aplicar en las columnas en Abaqus. En las siguientes líneas se despliega una sección del código input en donde se define estas fuerzas:

```
** STEP: ESTATICONL
**
```

```

*Step, name=ESTATICONL, nlgeom=YES
*Static
0.05, 1., 1e-05, 0.05
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: EMPOTRAMIENTO Type: Displacement/Rotation
*Boundary
Set-55, 1, 1
Set-55, 2, 2
Set-55, 3, 3
Set-55, 4, 4
Set-55, 5, 5
Set-55, 6, 6
**
** LOADS
**
** Name: DEAD LOAD   Type: Pressure
*Dload
Surf-7, P, -91000.
** Name: lat1   Type: Pressure
*Dload
Surf-13, P, -2.60468e+06           //CARGA PLANTA 1
** Name: lat2   Type: Pressure
*Dload
Surf-12, P, -5.20935e+06           //CARGA PLANTA 2
** Name: lat3   Type: Pressure
*Dload
Surf-14, P, -7.81403e+06           //CARGA PLANTA 3
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=0
**
** FIELD OUTPUT: F-Output-1
**
*Output, field, variable=PRESELECT
**
** HISTORY OUTPUT: H-Output-1
**
*Output, history
*Element Output
IRA1, IRA2, IRA3, IRAR1, IRAR2, IRAR3, IRF1, IRF2, IRF3, IRM1,
IRM2, IRM3
*Energy Output
ALLAE, ALLCD, ALLDMD, ALLEE, ALLFD, ALLIE, ALLJD, ALLKE, ALLKL,
ALLPD, ALLQB, ALLSD, ALLSE, ALLVD, ALLWK, ETOTAL
*EndStep

```

Lamentablemente el análisis aborta debido a que las cargas aplicadas sobrepasan a las cargas máximas que permite la estabilidad del pórtico. Se tiene un cortante basal de

21.42T, cuando veamos el análisis de colapso en la siguiente sección observaremos que el cortante basal máximo es de alrededor 4T. Es decir, las cargas provenientes del diseño NEC sobrepasan el rendimiento máximo del pórtico. El software muestra el siguiente error “**The strain increment has exceeded fifty times the plastic strain to cause first yield at 2503 points**”.

### **Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura continua.**

Se aplicó una carga monótona creciente que empuja el primer, segundo y último piso del pórtico. El software comienza aplicando fraccionadamente hasta llegar al colapso de la estructura. El valor de referencia es de 1 tonelada.

En la figura 105 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 22.9centímetros. La falla se genera en la junta viga columna

En la figura 106 se puede observar una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 281MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna.

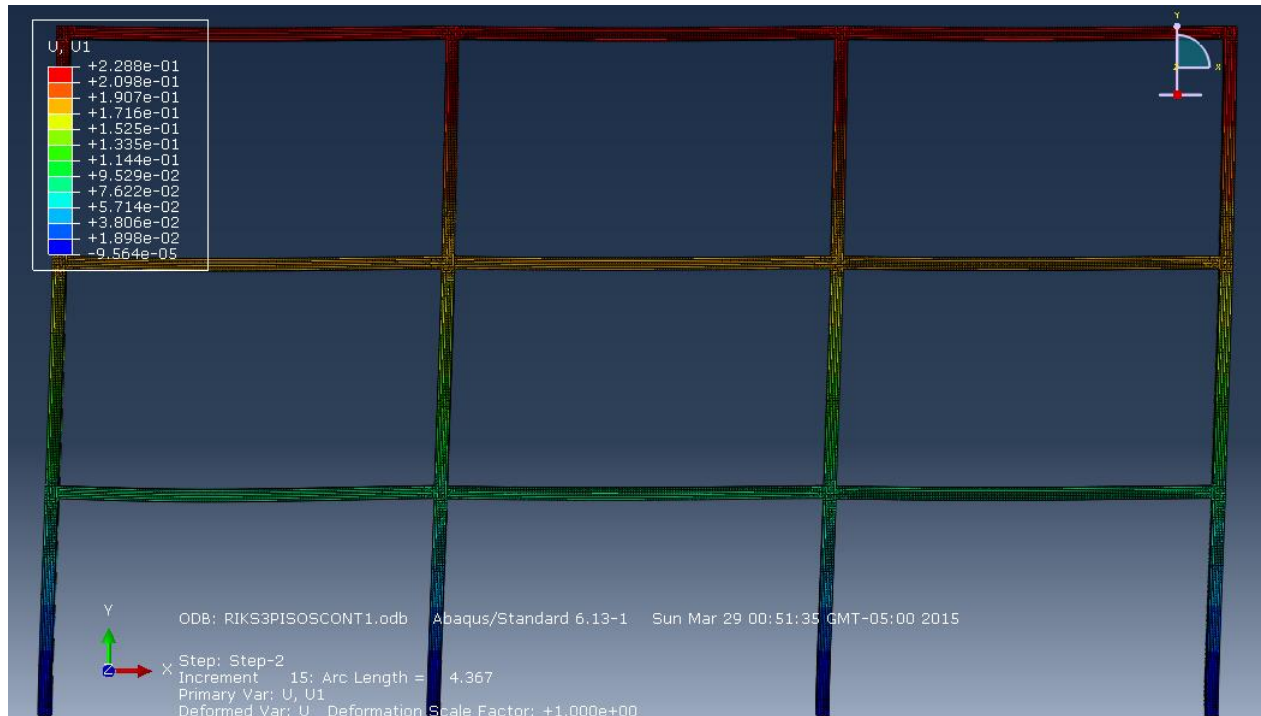


Figura 105. Desplazamiento horizontal, U1. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

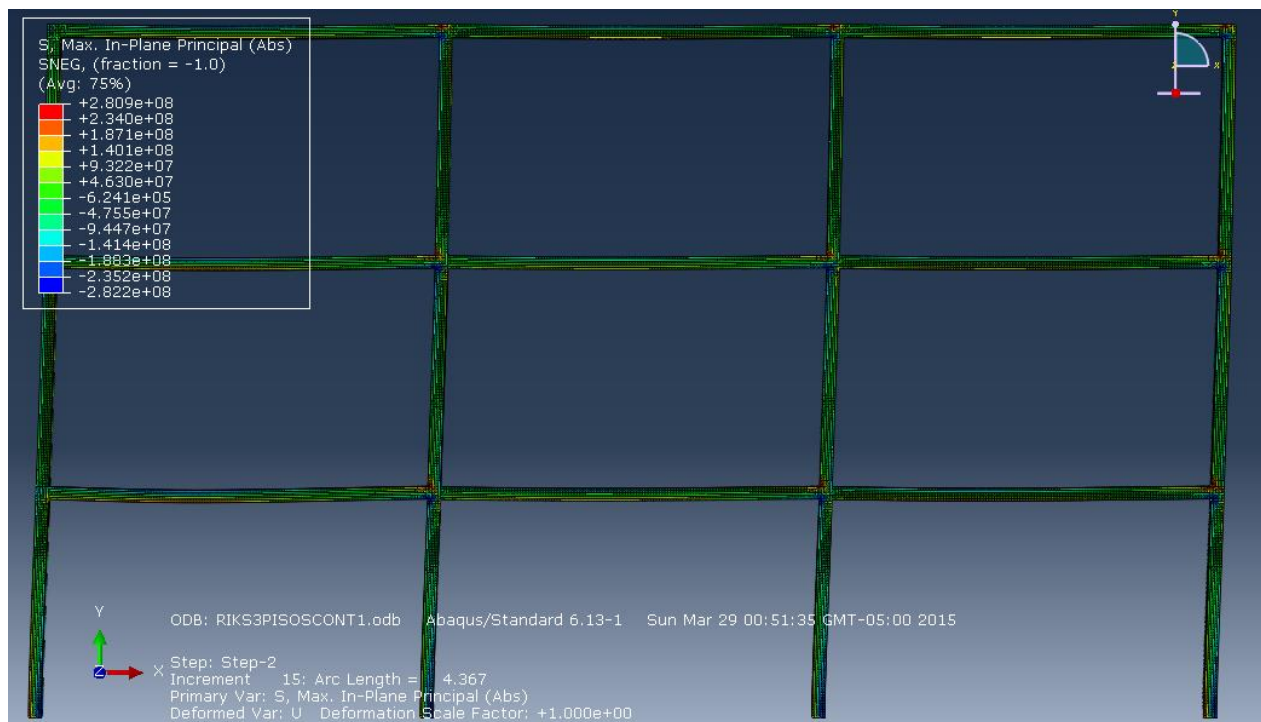


Figura 106. Esfuerzos principales. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 107 y 108 se puede observar los esfuerzos principales la junta viga columna. Se observan valor maximo de 280 Mpa

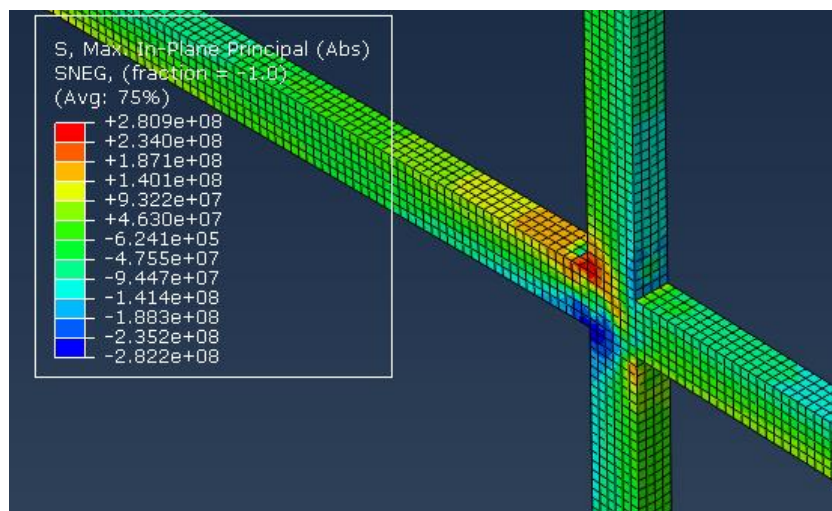


Figura 107. Esfuerzos principales, junta viga-columna. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

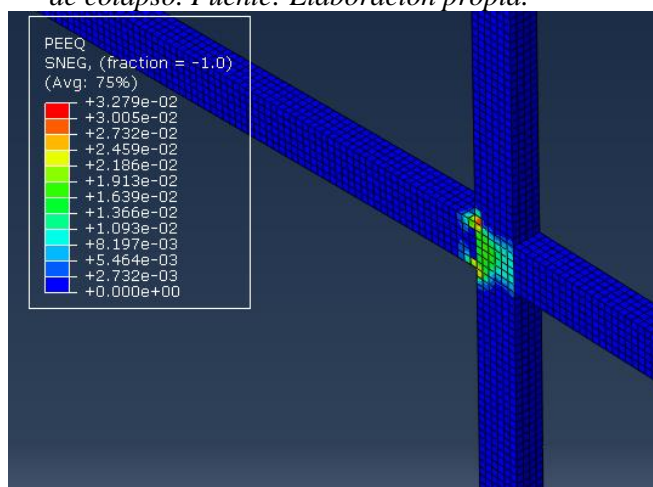


Figura 108. Deformación plástica equivalente, junta viga-columna. 3 plantas con soldadura continua. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

### Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamiento 15cm.

En la figura 109 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 15.75 centímetros. En la figura 110 se puede observar una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 275MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna.



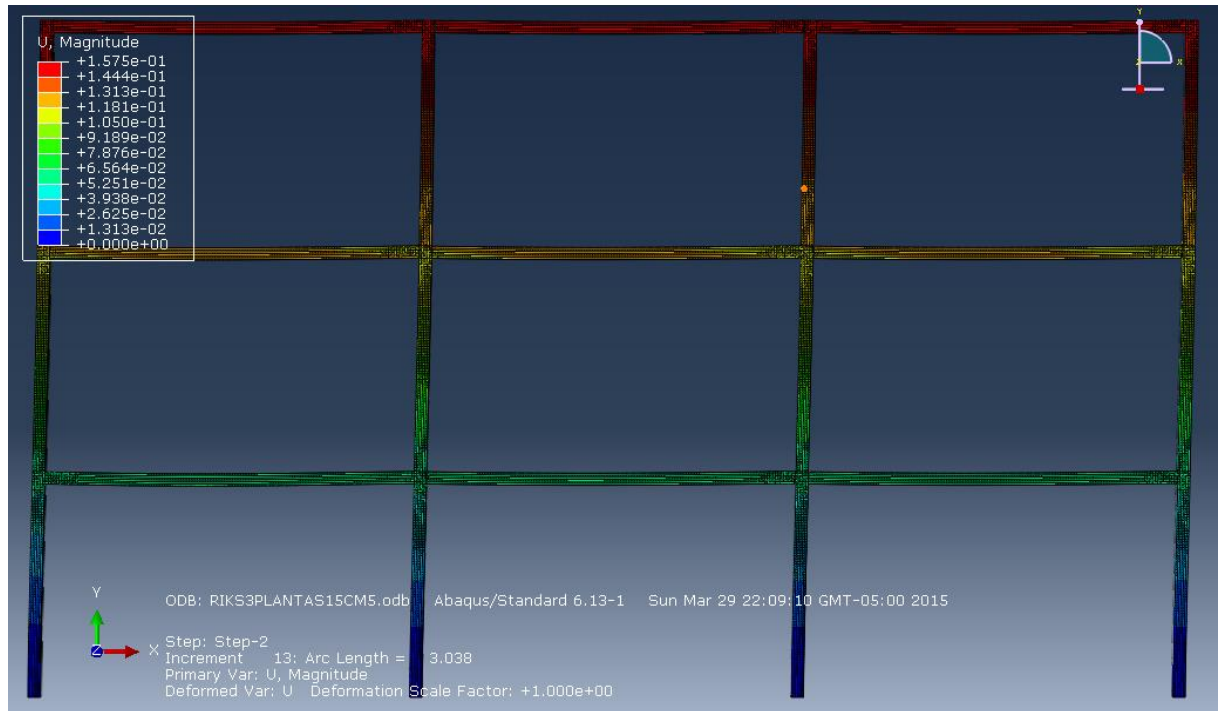


Figura 109. Desplazamiento total, 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

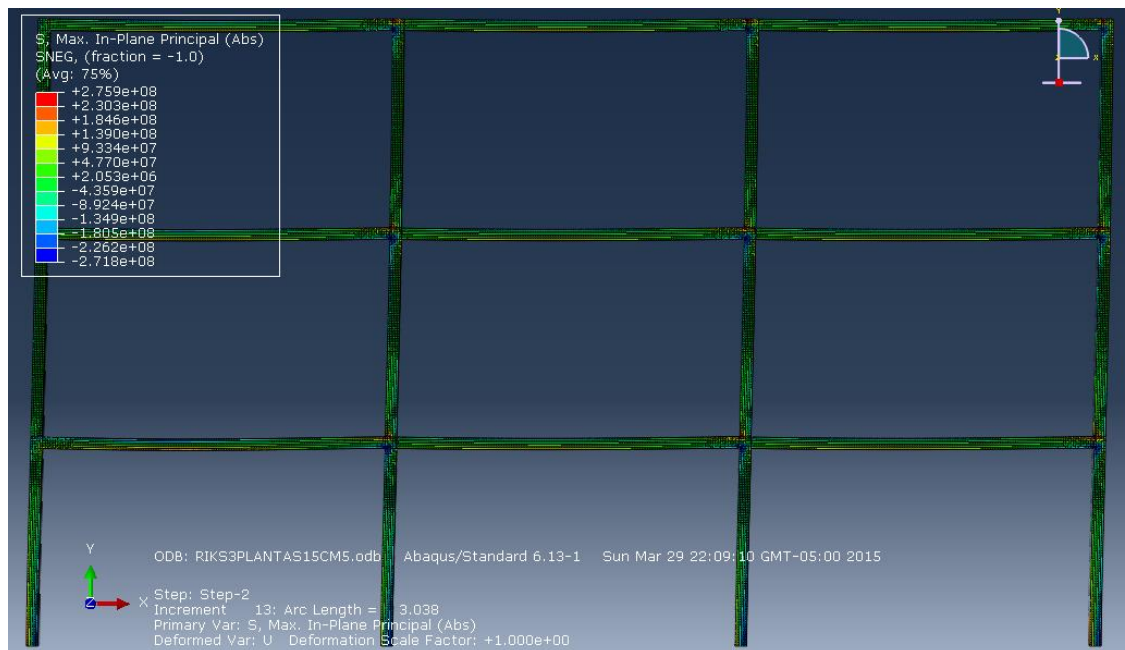


Figura 110. Esfuerzos principales, 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figura 111 se muestra los esfuerzos esfuerzos principales en la junta viga-columna. En las figura 112 se puede observar la deformación plastica equivalente con un valor maximo 0.0242.

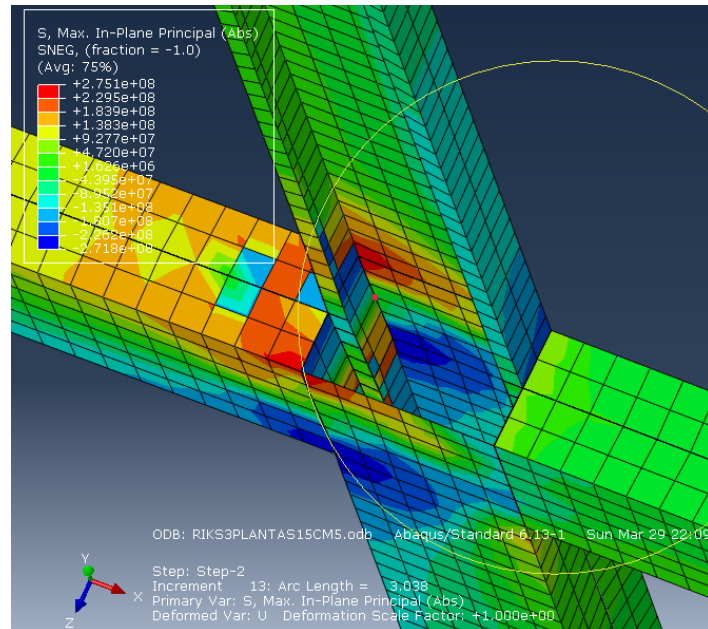


Figura 111. Esfuerzos principales en junta viga columna, 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

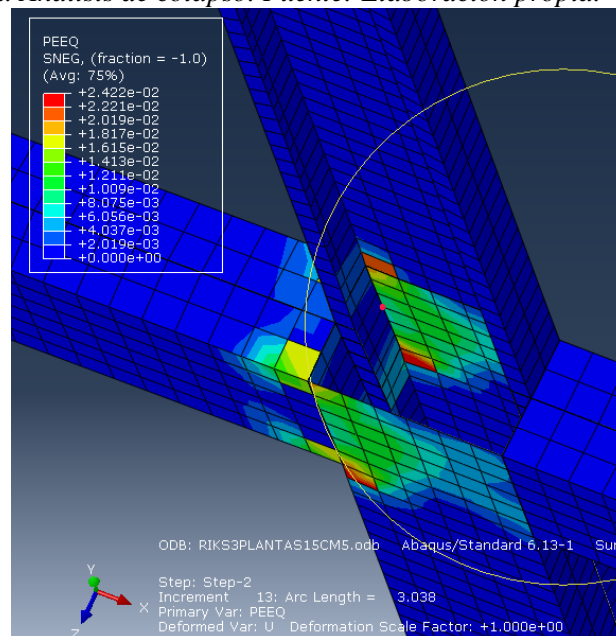


Figura 112. Deformación plástica equivalente en base de columna. 3 plantas con soldadura espaciamento 15cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

**Pushover análisis de Abaqus para elementos soldadura espaciamento 30cm.**

En la figura 113 se puede observar la deformada en el punto de colapso. La magnitud del desplazamiento es de 8.97 centímetros.

La figura 114 muestra una vista lateral del pórtico con los esfuerzos principales. El máximo esfuerzo alcanza 256MPa y las concentraciones máximas se observan en las juntas viga columna.

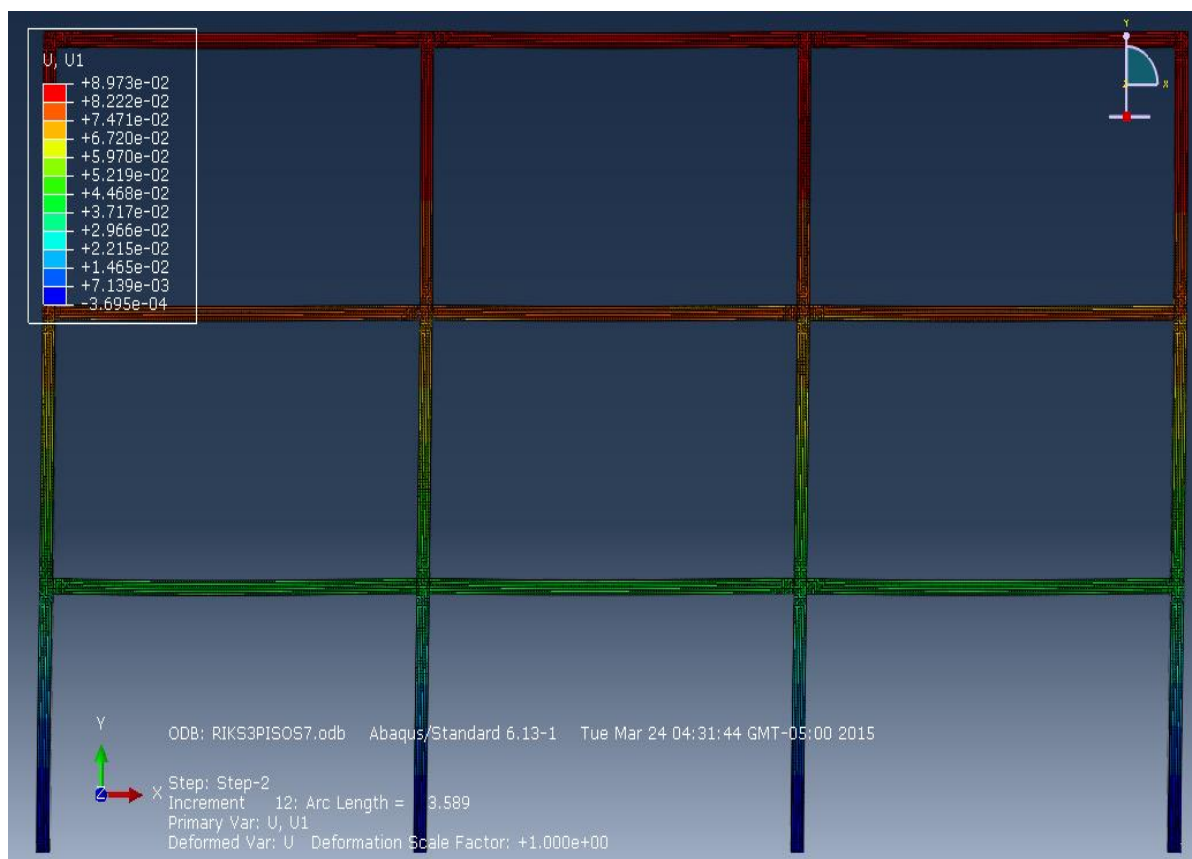


Figura 113. Desplazamiento lateral. 3 plantas con soldadura espaciado 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

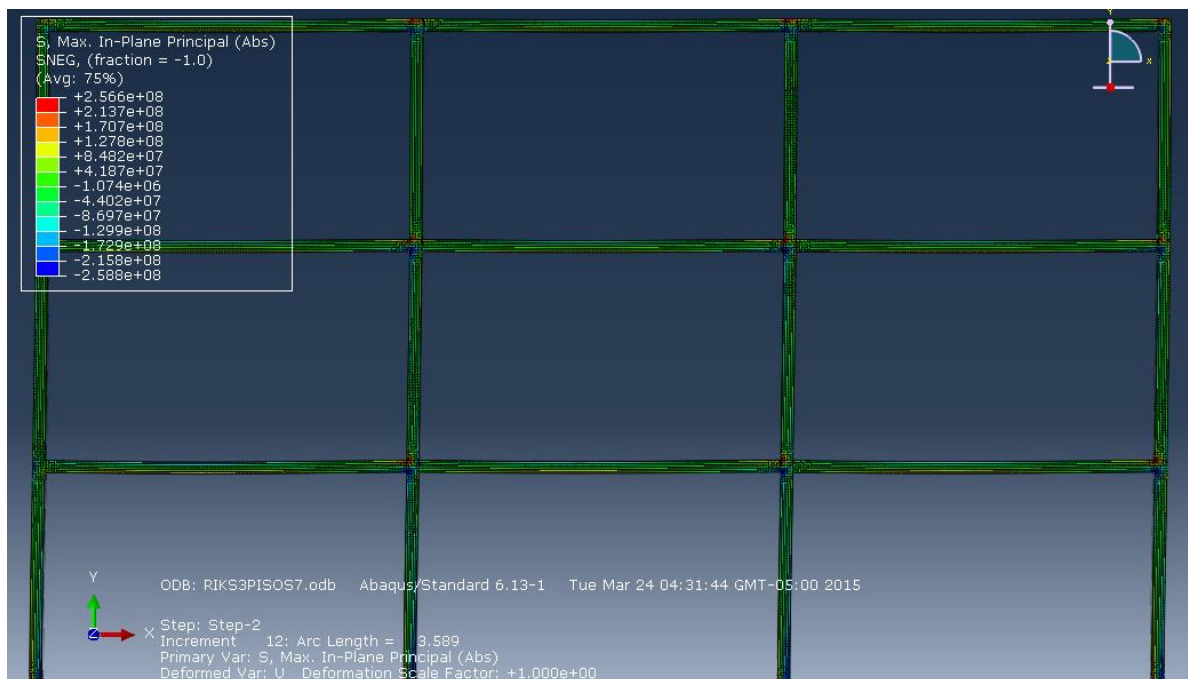


Figura 114. Esfuerzos plano principal. 3 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 115 y 116 se puede observar los esfuerzos principales y la deformación plástica equivalente en la junta viga columna. Se observan valores máximos de 0.0255 m/m (PEEQ)

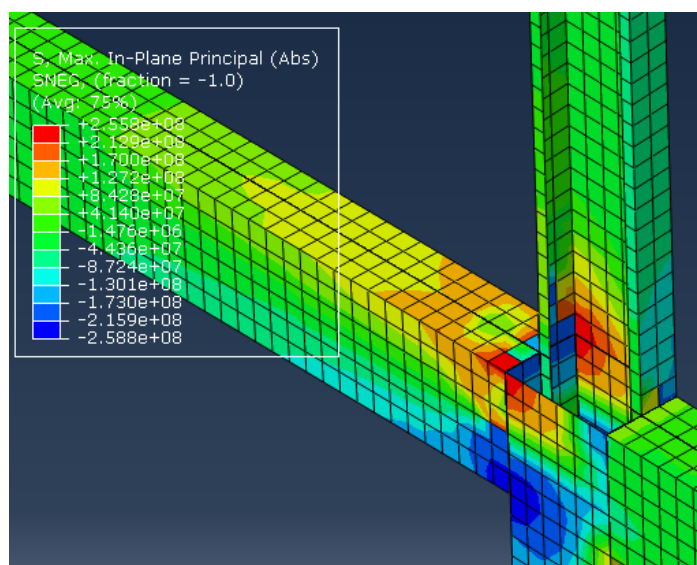


Figura 115. Esfuerzos principales, junta viga columna. 3 plantas con soldadura espaciamento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia.

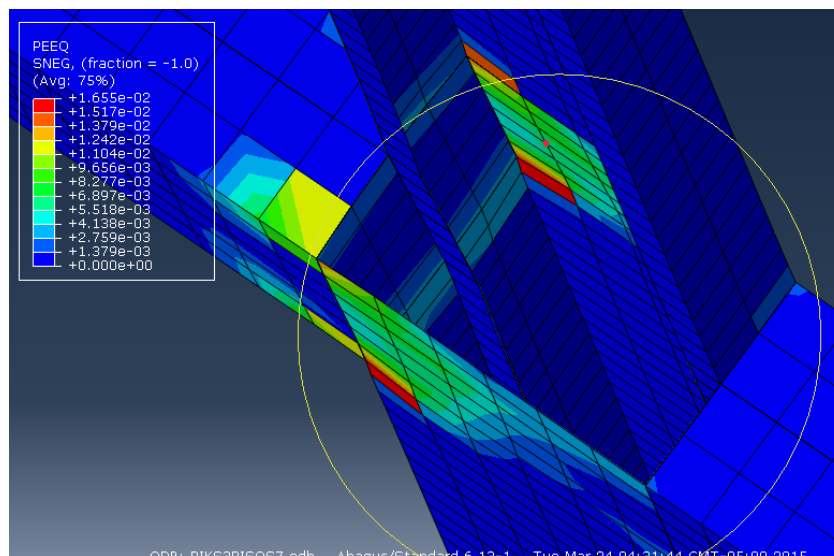


Figura 116. Deformación plástica equivalente, junta viga columna. 3 plantas con soldadura espaciamiento 30 cm. Análisis de colapso. Fuente: Elaboración propia

### **Análisis y comparación de resultados.**

Se obtuvo las curvas del análisis Pushover de Abaqus en donde en el eje y consta el factor de carga y en el eje x el desplazamiento horizontal del último piso. El punto máximo para el pórtico con soldadura continua tiene un LPF de 1.29 con 22.8cm de desplazamiento. El punto máximo para el pórtico con soldadura con espaciamiento de 15cm tiene un LPF de 1.22 con 15.6 cm de desplazamiento. El punto máximo para el pórtico con soldadura con espaciamiento de 30cm tiene un LPF de 1.05 con 10 cm en desplazamiento lateral.

La curva del pórtico con soldadura continua alcanza su forma no lineal y se puede observar que está cerca de su máximo. La ductilidad de este sistema es muy baja, frente a la vista de los pórticos de 2x2 y 1x1 donde pueden alcanzar hasta 1m de desplazamiento lateral; excepto en el caso del pórtico de 2x2 con soldadura con espaciamiento de 30cm.

La curva del pórtico con elementos soldados con 15cm de espaciamiento alcanza su forma no lineal y su máximo es menor que la del pórtico con elementos con soldadura

continúa. Por otro lado, la curva del pórtico con elementos soldados con 30cm de espaciamiento no alcanza su forma no lineal y su máximo es menor que la del pórtico con elementos con soldadura de 15cm de espaciamiento. La ductilidad de este sistema es la menor, frente a los otros pórticos analizados. Las estructuras no alcanzan esfuerzos plásticos significantes (Max 280MPa); los mismos que se encuentran en las zonas de las juntas viga-columna.

De acuerdo a estos resultados, la estructura con mayor desempeño es el pórtico con soldadura continua, seguido del pórtico con soldadura de espaciamiento 15 cm y por último pórtico con soldadura de espaciamiento 30 cm. En la figura 117 se puede observar las gráficas.

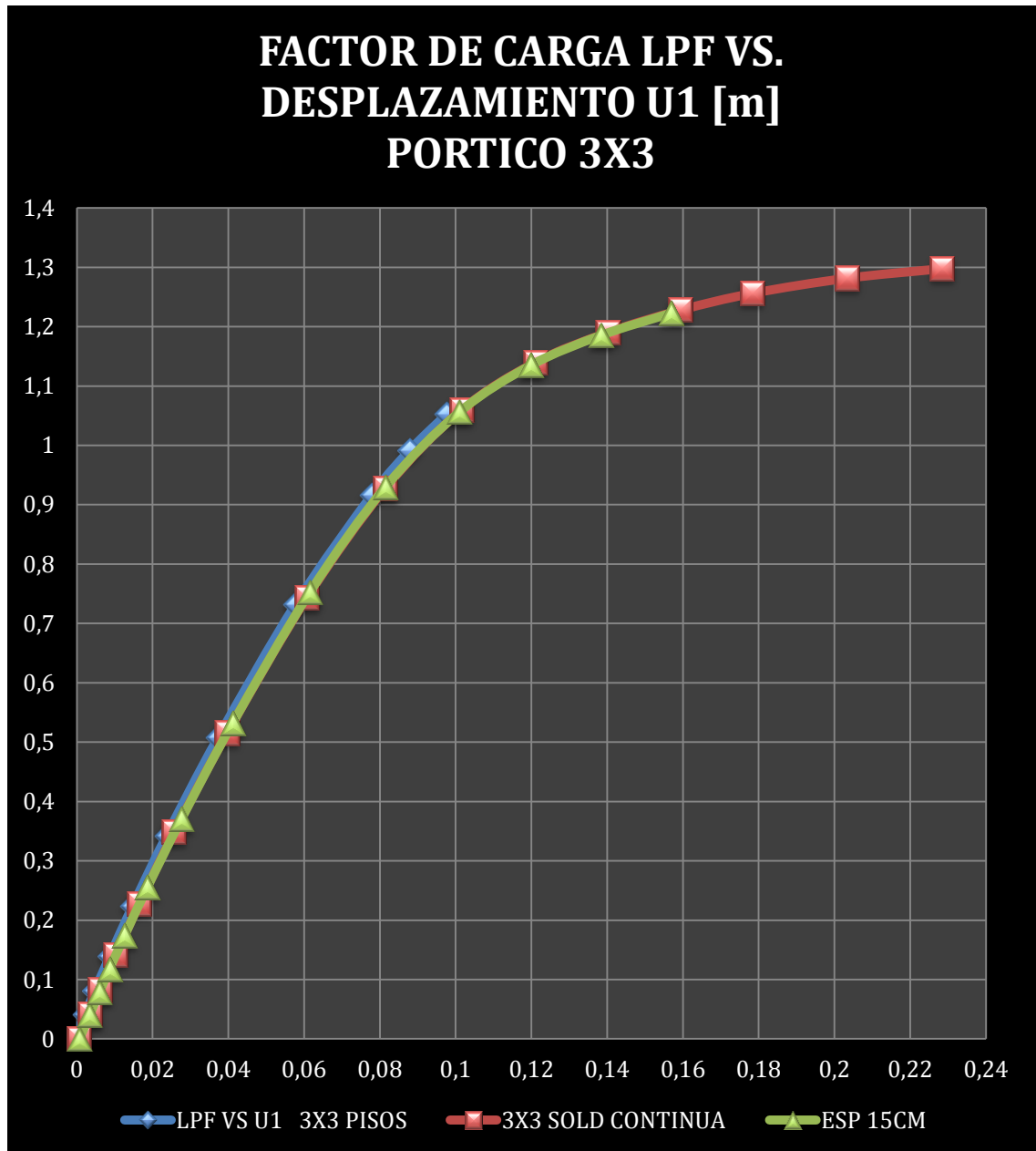


Figura 117. Curvas de sobrecarga para cada tipo de soldadura. Pórtico de 3 plantas. Factor de carga vs. Desplazamiento horizontal. Fuente: Elaboración propia

### Coefficiente de ductilidad estructural

Para cada pórtico y para cada tipo de soldadura se calculó el coeficiente de ductilidad estructural. El mismo se calcula a partir de los valores del desplazamiento de plastificación normalizado  $\Delta y/H$ , y del desplazamiento último normalizado  $\Delta u/H$ , siendo H la altura del último nivel del edificio.

$$U = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Tabla 14. Coeficientes de ductilidad para pórticos 1, 2 y 3 plantas con diferentes tipos de soldadura de sus elementos viga-columna

	1 PLANTA	2 PLANTAS	3 PLANTAS
SOLD CONTINUA	24,8	12,8	2,2
SOLD ESP 15 CM	24,4	12,68	1,56
SOLD ESP 30 CM	22,4	3,9	1,125

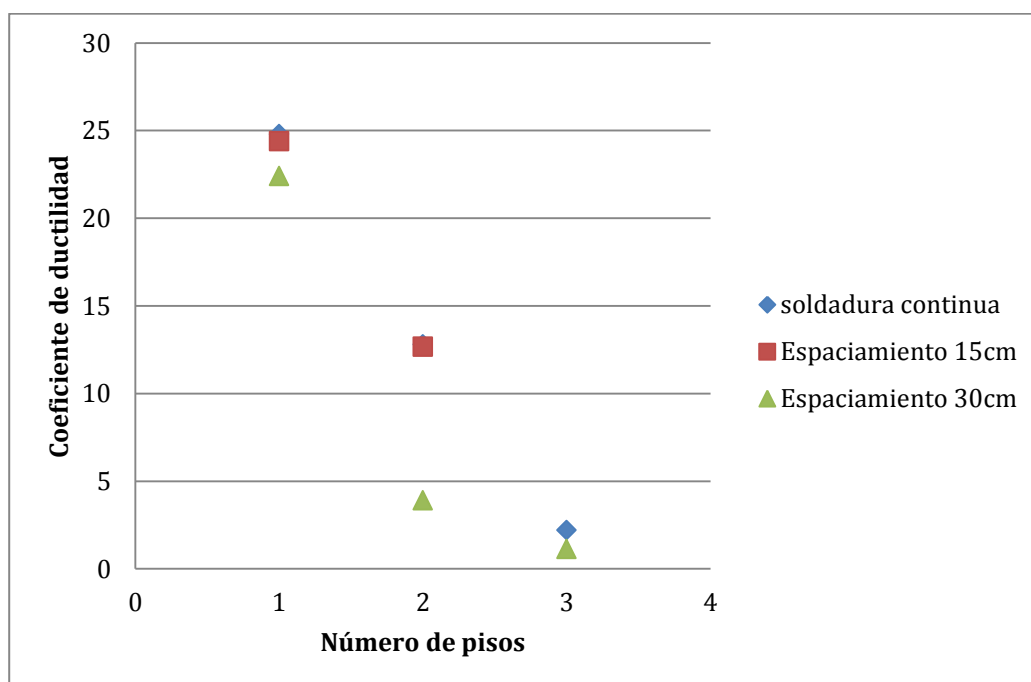


Figura 118. Coeficientes de ductilidad para pórticos de 1, 2 y 3 plantas

En la figura 118 podemos observar que los coeficientes más bajos pertenecen a los pórticos de 2 y 3 plantas, en especial para elementos formados con espaciamiento de



soldadura de 30 y 15 [cm]. En el caso del pórtico de 2 pisos, se observó un comportamiento especial; cuando se aplica la simulación con un espaciamiento de 30cm, la ductilidad sufre un bajón del 66%. En el caso del pórtico de 3 pisos la ductilidad baja en un 25 y 50% aproximadamente, comparado con el valor de soldadura continua.

## CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue entender y analizar el comportamiento de estructuras de acero con perfiles conformados en frío formados con elementos estructurales cajón a partir de dos perfiles G unidos con soldadura continua y dos tipos de soldadura intermitente. Se realizaron análisis de validación para las simulaciones, un análisis de la influencia de los tipos de soldaduras para el comportamiento de pandeo de columnas y finalmente análisis estáticos y pushover para pórticos no arriostrados de 1, 2 y 3 plantas. Los resultados de estos estudios nos permiten realizar las siguientes conclusiones:

El análisis con elementos finitos usando el software Abaqus fue validado con el software de tiras finitas CUFSM para la simulación de pandeo de columnas, los resultados fueron favorables puesto que los valores de cargas críticas de un software a otro no variaron más de un 10% excepto en 2 casos puntuales de pandeo distorsional. A pesar de ello, en estos dos casos el software Abaqus extrajo resultados “conservadores” por lo que a toda la validación se considera satisfactoria.

Modelar el radio de curvatura del perfil G150x50x15 causa una variación de máximo 5% en los valores de carga crítica de pandeo. Lo cual se consideró aceptable frente al coste computacional que pudo causar si se lo consideraba.

En cuando a la variación del rendimiento de columnas con distintos tipos de soldadura se puede concluir que la columna más eficiente fue la que tiene un

espaciamiento de 15cm. Pues el factor de carga crítico varía un 0.58%. Cuando se trata de columnas con espaciamientos de 30[cm] y 36 [cm] la variación salta a 5.4% y 7% respectivamente. Por lo que, en cuanto a rendimiento por pandeo recomienda usar un espaciamiento de soldadura de 15cm o menor, lo que significa tener un cordón de soldadura mayor a 23 cm.

Para el pórtico de 1 planta con 1 vano se concluye que el rendimiento es adecuado puesto que el máximo de la curva de sobrecarga es superior al cortante basal de diseño propuesto por la norma ecuatoriana de la construcción.

En cuanto al análisis Pushover del pórtico de una planta, se concluye que la variación del máximo de la curva de sobrecarga es poco considerable cuando se alteran las soldaduras. Puesto que existe un cambio de 0.03% cuando se cambia de soldadura continua a una con espaciamiento de 15cm. Por otro lado, que existe un cambio de 1.36% cuando se cambia de soldadura continua a una con espaciamiento de 30cm. En otras palabras, los pórticos van a resistir una fuerza máxima de cortante basal similar

El principal problema del pórtico de una planta con un vano es la falla que existe en las juntas viga-columna y en la base de la columna. Este último provoca que la estructura colapse. Otra falla local, pero no menos importante, el pórtico generó un comportamiento particular a diferencia del resto de las estructuras analizadas; se formó una separación en la parte media de la viga a causa del espaciamiento de 30cm a un factor de carga de 2.38 considerando que el máximo fue de 2.78

En el caso del pórtico de 2 plantas con 2 vanos, se puede concluir que la estructura simulada no es suficiente para satisfacer los requerimientos de la norma ecuatoriana de la construcción. Su resistencia máxima es de un cortante basal de 3.5T mientras que con la NEC, a través del método por fuerzas se calculó que se necesita un cortante basal de 9T

Con respecto al análisis Pushover del pórtico de 2 plantas con 2 vanos, se concluye que la variación del máximo de la curva de sobrecarga es poco considerable cuando se alteran las soldaduras. Puesto que existe un cambio de 0.02% cuando se cambia de soldadura continua a una con espaciamiento de 15cm. Por otro lado, existe un cambio de 1.46% cuando se cambia de soldadura continua a una con espaciamiento de 30cm. En otras palabras, los pórticos van a resistir una fuerza máxima de cortante basal similar.

El principal problema del pórtico de 2x2 es la falla que existe en las juntas viga-columna y en la base de la columna. Este último provoca que la simulación no tenga convergencia y la estructura colapse.

Para el pórtico de 3 plantas con 3 vanos, se puede concluir que la estructura simulada no es suficiente para satisfacer los requerimientos de la norma ecuatoriana de la construcción. Su resistencia máxima es de un cortante basal de 3.87T mientras que con la NEC, a través del método por fuerzas se calculó que se necesita un cortante basal de 21T

Con respecto al análisis Pushover del pórtico de 3 plantas con 3 vanos, se concluye que la variación del máximo de la curva de sobrecarga influye cuando se alteran las soldaduras. Puesto que existe un cambio de 5.42% cuando se varía de soldadura continua a una con espaciamiento de 15cm. Por otro lado, existe un cambio del 18.61% cuando se varía de soldadura continua a una con espaciamiento de 30cm. En este caso ya existe un cambio considerable en la resistencia máxima de cortante basal

Se concluye que el pórtico 3x3 no llega a desarrollar esfuerzos plásticos considerables, con un máximo de 258Mpa desperdiciando el rendimiento del material que puede desarrollar esfuerzos de mayor valor.

El principal problema del pórtico de 3x3 es la falla que existe en las juntas viga-columna esto provoca que la simulación no tenga convergencia y la estructura colapse.

### **Limitaciones del estudio**

Primero, no se pudo considerar la variación de la curva esfuerzo deformación en las secciones del perfil G que tienen concentración de esfuerzos debido al trabajo de doblado en frío.

Segundo, hay una desventaja práctica cuando se trabaja con un análisis por elementos finitos. El coste computacional, cuando se desea realizar un cambio, así sea el más mínimo como por ejemplo un cambio en el valor de una carga; el análisis se debe volver a realizar siendo realmente demorado para el número de elementos finitos con que se trabajan para estas simulaciones.

Tercero, no se pudo realizar ensayos experimentales de carácter destructivos para los modelos simulados.

### **Recomendaciones para futuros estudios**

Realizar análisis con otros tipos de perfil, como por ejemplo con perfil G200x50x15.

Realizar análisis con refuerzos en las juntas viga columna. Para esto se recomienda usar elementos sólidos C3D8R por practicidad en el momento del ensamble de la estructura.

Realizar ensayos destructivos que soporten adecuadamente los análisis teóricos.

## REFERENCIAS

- Wei-Wen Yu, P. P. (2000). *Cold-Formed Steel Design*. Ney York: John Wiley & Sons, Inc.
- Documentation, A. B. A. Q. U. S. (2013). Version 6.13. *Dassault Systèmes*.
- Sanchez, T.A. (2011). “Influence of Bracing Systems on the Behavior of Steel Curved and/or Skewed I-Girder Bridges during Construction,” Ph.D. dissertation, School of Civil and Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción (2013). Peligro sísmico y requisitos de diseño sísmico resistente.
- Naderian, H. R., & Ronagh, H. R. (2015). Buckling analysis of thin-walled cold-formed steel structural members using complex finite strip method. *Thin-Walled Structures*, 90, 74-83.
- Shen, H. X. (2015). Behavior of high-strength steel welded rectangular section beam-columns with slender webs. *Thin-Walled Structures*, 88, 16-27.
- Chen, Y., Chen, X., & Wang, C. (2015). Experimental and finite element analysis research on cold-formed steel lipped channel beams under web crippling. *Thin-Walled Structures*, 87, 41-52.
- Yang, N., & Zhang, H. (2014). Hysteretic behaviors of cold-formed steel beam-columns with hollow rectangular section: Experimental and numerical simulations. *Thin-Walled Structures*, 80, 217-230.
- Kwon, Y. B. (2014). The development of the direct strength method for welded steel members with buckling interactions. *Thin-Walled Structures*, 81, 121-131.
- Sabbagh, A. B., Petkovski, M., Pilakoutas, K., & Mirghaderi, R. (2012). Development of cold-formed steel elements for earthquake resistant moment frame buildings. *Thin-Walled Structures*, 53, 99-108.
- Haidarali, M. R., & Nethercot, D. A. (2011). Finite element modelling of cold-formed steel beams under local buckling or combined local/distortional buckling. *Thin-Walled Structures*, 49(12), 1554-1562.

## ANEXO A: GENERADOR DE NODOS PARA SECCIÓN CAJÓN. DESARROLLO EN MATLAB

El siguiente código genera los nodos para el input file de una sección cajón compuesta de los perfiles G. Se usará para el programa CUFISM

```

% function [sal1,sal2]=PERFILG(ent1,ent2)
%cuando es una salida no se necesita corchetes en el primer vector
function y=SECCOMP(h,bf,d2,t,p, nalma, npatin, nlabio)
numnodos=2*nalma+4*npatin+2*nlabio;
A(numnodos,8)=0;
area=2*t*(h+2*bf+2*d2)
stress=p/area;
for j=1:1:numnodos
    A(j,1)=j;
    A(j,2)=0;
    A(j,3)=0;
    A(j,4)=1;
    A(j,5)=1;
    A(j,6)=1;
    A(j,7)=1;
    A(j,8)=stress;

end
for k=1:1:nlabio+1
nincrem=d2/nlabio;
    A(k,2)=bf;
    A(k,3)=d2-(k-1)*nincrem;
end
for l=nlabio+2:1:nlabio+1+npatin
nincrem=bf/npatin;
    A(l,2)=bf-(l-(nlabio+1))*nincrem;
A(l,3)=0;
end
for i=nlabio+1+npatin+1:1:nlabio+1+npatin+nalma
nincrem=h/nalma;
    A(i,2)=0;
    A(i,3)=nincrem*(i-(nlabio+1+npatin+1)+1);
end
for m=nlabio+1+npatin+nalma+1:1:nlabio+1+npatin+nalma+npatin
nincrem=bf/npatin;

```

```

    A(m,2)=(m-(nlabio+1+npatin+nalma+1)+1)*nincrem;
    A(m,3)=h;
end
for m=nlabio+1+npatin+nalma+npatin+1:1:nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio
    nincrem=d2/nlabio;
    A(m,2)=bf;
    A(m,3)=h-(m-(nlabio+1+npatin+nalma+npatin+1)+1)*nincrem;
end
%comienza codigo de regflejo
for
a=nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+1:1:nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+np
atin
    nincrem=bf/npatin;
    A(a,2)=bf+(a-(nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+1)+1)*nincrem;
    A(a,3)=h;
end
for
b=nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+npatin+1:1:nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nla
bio+npatin+nalma
    nincrem=h/nalma;
    A(b,2)=2*bf;
    A(b,3)=h-nincrem*(b-(nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+npatin+1)+1);
end
for
c=nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+npatin+nalma+1:1:nlabio+1+npatin+nalma+np
atin+nlabio+npatin+nalma+npatin-1
    nincrem=bf/npatin;
    A(c,2)=2*bf-(c-
(nlabio+1+npatin+nalma+npatin+nlabio+npatin+nalma+1)+1)*nincrem;
    A(c,3)=0;
%mostrar
end
A
B(numnodos,5)=0;

for n=1:1:2*nalma+4*npatin+2*nlabio
    B(n,1)=n;
    B(n,2)=n;
    B(n,3)=n+1;
    B(n,4)=t;
    B(n,5)=100;
end

for o=nalma+2*npatin+2*nlabio+1:1:2*nalma+4*npatin+2*nlabio
    B(o,1)=o;
    B(o,2)=o;
    B(o,3)=o+1;

```

```

    B(o,4)=t;
    B(o,5)=100;
end
B(nalma+2*npatin+2*nlabio+1,2)=nalma+2*npatin+2*nlabio-nlabio+1;
B(2*nalma+4*npatin+2*nlabio,3)=nlabio+1;
for q=1:1:nlabio

    B(q,4)=2*t;
end
for q=nlabio+nalma+npatin*2+1:1:2*nlabio+nalma+npatin*2

    B(q,4)=2*t;

end

B

plot(A(:,2),A(:,3),'-r','linewidth',2)

axis([-10,2*bf+10,-10,h+10])

daspect([1 1 1])

end

```

## ANEXO B: CÓDIGO INPUT PARA PÓRTICO 1 PLANTA (ANÁLISIS RIKS-PUSHOVER)

Se muestra el código input para el análisis pushover del pórtico de 1 planta con un vano formado por elementos soldados con espaciamiento de 30cm. Semuestra la generación de nodos y elementos para la primera columna. Por cuestiones de espacio se omite el desarrollo de la viga y columna #2.

```

*Heading
** Job name: RIKS1PLANTA3 Model name: Model-1
** Generated by: Abaqus/CAE 6.13-1
*Preprint, echo=NO, model=NO, history=NO, contact=NO
**
** PARTS
**
*Part, name=COLUMNNA260LIBRE

```



```

*End Part
**
*Part, name=VIGA450LIBRE
*End Part
**
**
** ASSEMBLY
**
*Assembly, name=Assembly
**
*Instance, name=COLUMNNA260LIBRE-1, part=COLUMNNA260LIBRE
    4.82266,      0.092,      0.092
    4.82266,      0.092,      0.092,      3.82266,
0.092,          0.092,          90.
*Node
    1,          0.,          0.,          2.5999999
    2,  0.145999998,          0.,          2.5999999
    3,  0.145999998,          0.,          2.74600005
    4,          0.,          0.,          2.74600005
    5,          0.,  0.0460000001,          2.5999999
    6,          0.,  0.0460000001,          2.64599991
    7,          0.,  0.0460000001,          2.74600005
    8,  0.145999998,  0.0460000001,          2.5999999
    9,  0.145999998,  0.0460000001,          2.64599991
   10,  0.145999998,  0.0460000001,          2.74600005
   11,  0.130999997,  0.0460000001,          2.5999999
   12,  0.130999997,  0.0460000001,          2.64599991
   13,  0.0149999997,  0.0460000001,          2.5999999
   14,  0.0149999997,  0.0460000001,          2.64599991
   15,  0.145999998,  0.0460000001,  0.0960000008
   16,  0.130999997,  0.0460000001,  0.0960000008
   17,  0.130999997,  0.0460000001,          0.246000007
   18,  0.145999998,  0.0460000001,          0.246000007
   19,  0.0149999997,  0.0460000001,  0.0960000008
   20,          0.,  0.0460000001,  0.0960000008
   21,          0.,  0.0460000001,          0.246000007
   22,  0.0149999997,  0.0460000001,          0.246000007
   23,  0.130999997,  0.0460000001,          0.345999986
   24,  0.145999998,  0.0460000001,          0.345999986
   25,          0.,  0.0460000001,          0.345999986
   26,  0.0149999997,  0.0460000001,          0.345999986
   27,  0.130999997,  0.0460000001,          0.646000028
   28,  0.145999998,  0.0460000001,          0.646000028
   29,          0.,  0.0460000001,          0.646000028
   30,  0.0149999997,  0.0460000001,          0.646000028
   31,  0.130999997,  0.0460000001,          0.745999992
   32,  0.145999998,  0.0460000001,          0.745999992
   33,          0.,  0.0460000001,          0.745999992

```

34,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.745999992
35,	0.130999997,	0.0460000001,	1.046
36,	0.145999998,	0.0460000001,	1.046
37,	0.,	0.0460000001,	1.046
38,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.046
39,	0.130999997,	0.0460000001,	1.14600003
40,	0.145999998,	0.0460000001,	1.14600003
41,	0.,	0.0460000001,	1.14600003
42,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.14600003
43,	0.130999997,	0.0460000001,	1.44599998
44,	0.145999998,	0.0460000001,	1.44599998
45,	0.,	0.0460000001,	1.44599998
46,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.44599998
47,	0.130999997,	0.0460000001,	1.546
48,	0.145999998,	0.0460000001,	1.546
49,	0.,	0.0460000001,	1.546
50,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.546
51,	0.130999997,	0.0460000001,	1.84599996
52,	0.145999998,	0.0460000001,	1.84599996
53,	0.,	0.0460000001,	1.84599996
54,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.84599996
55,	0.130999997,	0.0460000001,	1.94599998
56,	0.145999998,	0.0460000001,	1.94599998
57,	0.,	0.0460000001,	1.94599998
58,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.94599998
59,	0.130999997,	0.0460000001,	2.24600005
60,	0.145999998,	0.0460000001,	2.24600005
61,	0.,	0.0460000001,	2.24600005
62,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.24600005
63,	0.130999997,	0.0460000001,	2.34599996
64,	0.145999998,	0.0460000001,	2.34599996
65,	0.,	0.0460000001,	2.34599996
66,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.34599996
67,	0.130999997,	0.0460000001,	2.74600005
68,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.74600005
69,	0.145999998,	0.0460000001,	0.
70,	0.130999997,	0.0460000001,	0.
71,	0.145999998,	0.,	0.
72,	0.,	0.,	0.
73,	0.,	0.0460000001,	0.
74,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.
75,	0.0243333336,	0.,	2.5999999
76,	0.0486666672,	0.,	2.5999999
77,	0.0729999989,	0.,	2.5999999
78,	0.0973333344,	0.,	2.5999999
79,	0.121666667,	0.,	2.5999999
80,	0.145999998,	0.,	2.62433338
81,	0.145999998,	0.,	2.64866662

82,	0.145999998,	0.,	2.6730001
83,	0.145999998,	0.,	2.69733334
84,	0.145999998,	0.,	2.72166657
85,	0.12166667,	0.,	2.74600005
86,	0.0973333344,	0.,	2.74600005
87,	0.0729999989,	0.,	2.74600005
88,	0.0486666672,	0.,	2.74600005
89,	0.0243333336,	0.,	2.74600005
90,	0.,	0.,	2.72166657
91,	0.,	0.,	2.69733334
92,	0.,	0.,	2.6730001
93,	0.,	0.,	2.64866662
94,	0.,	0.,	2.62433338
95,	0.,	0.023,	2.5999999
96,	0.,	0.023,	2.74600005
97,	0.,	0.0460000001,	2.62299991
98,	0.,	0.0460000001,	2.72099996
99,	0.,	0.0460000001,	2.6960001
100,	0.,	0.0460000001,	2.671
101,	0.145999998,	0.023,	2.5999999
102,	0.145999998,	0.0460000001,	2.62299991
103,	0.145999998,	0.0460000001,	2.671
104,	0.145999998,	0.0460000001,	2.6960001
105,	0.145999998,	0.0460000001,	2.72099996
106,	0.145999998,	0.023,	2.74600005
107,	0.130999997,	0.0460000001,	2.62299991
108,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.62299991
109,	0.130999997,	0.0460000001,	0.120999999
110,	0.130999997,	0.0460000001,	0.145999998
111,	0.130999997,	0.0460000001,	0.171000004
112,	0.130999997,	0.0460000001,	0.195999995
113,	0.130999997,	0.0460000001,	0.221000001
114,	0.145999998,	0.0460000001,	0.221000001
115,	0.145999998,	0.0460000001,	0.195999995
116,	0.145999998,	0.0460000001,	0.171000004
117,	0.145999998,	0.0460000001,	0.145999998
118,	0.145999998,	0.0460000001,	0.120999999
119,	0.,	0.0460000001,	0.120999999
120,	0.,	0.0460000001,	0.145999998
121,	0.,	0.0460000001,	0.171000004
122,	0.,	0.0460000001,	0.195999995
123,	0.,	0.0460000001,	0.221000001
124,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.221000001
125,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.195999995
126,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.171000004
127,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.145999998
128,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.120999999
129,	0.130999997,	0.0460000001,	0.270999998

130,	0.130999997,	0.0460000001,	0.296000004
131,	0.130999997,	0.0460000001,	0.32100001
132,	0.145999998,	0.0460000001,	0.32100001
133,	0.145999998,	0.0460000001,	0.296000004
134,	0.145999998,	0.0460000001,	0.270999998
135,	0.,	0.0460000001,	0.270999998
136,	0.,	0.0460000001,	0.296000004
137,	0.,	0.0460000001,	0.32100001
138,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.32100001
139,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.296000004
140,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.270999998
141,	0.130999997,	0.0460000001,	0.370999992
142,	0.130999997,	0.0460000001,	0.395999998
143,	0.130999997,	0.0460000001,	0.421000004
144,	0.130999997,	0.0460000001,	0.44600001
145,	0.130999997,	0.0460000001,	0.470999986
146,	0.130999997,	0.0460000001,	0.495999992
147,	0.130999997,	0.0460000001,	0.521000028
148,	0.130999997,	0.0460000001,	0.546000004
149,	0.130999997,	0.0460000001,	0.570999998
150,	0.130999997,	0.0460000001,	0.596000016
151,	0.130999997,	0.0460000001,	0.620999992
152,	0.145999998,	0.0460000001,	0.620999992
153,	0.145999998,	0.0460000001,	0.596000016
154,	0.145999998,	0.0460000001,	0.570999998
155,	0.145999998,	0.0460000001,	0.546000004
156,	0.145999998,	0.0460000001,	0.521000028
157,	0.145999998,	0.0460000001,	0.495999992
158,	0.145999998,	0.0460000001,	0.470999986
159,	0.145999998,	0.0460000001,	0.44600001
160,	0.145999998,	0.0460000001,	0.421000004
161,	0.145999998,	0.0460000001,	0.395999998
162,	0.145999998,	0.0460000001,	0.370999992
163,	0.,	0.0460000001,	0.370999992
164,	0.,	0.0460000001,	0.395999998
165,	0.,	0.0460000001,	0.421000004
166,	0.,	0.0460000001,	0.44600001
167,	0.,	0.0460000001,	0.470999986
168,	0.,	0.0460000001,	0.495999992
169,	0.,	0.0460000001,	0.521000028
170,	0.,	0.0460000001,	0.546000004
171,	0.,	0.0460000001,	0.570999998
172,	0.,	0.0460000001,	0.596000016
173,	0.,	0.0460000001,	0.620999992
174,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.620999992
175,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.596000016
176,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.570999998
177,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.546000004

178,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.521000028
179,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.495999992
180,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.470999986
181,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.44600001
182,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.421000004
183,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.395999998
184,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.370999992
185,	0.130999997,	0.0460000001,	0.671000004
186,	0.130999997,	0.0460000001,	0.69599998
187,	0.130999997,	0.0460000001,	0.721000016
188,	0.145999998,	0.0460000001,	0.721000016
189,	0.145999998,	0.0460000001,	0.69599998
190,	0.145999998,	0.0460000001,	0.671000004
191,	0.,	0.0460000001,	0.671000004
192,	0.,	0.0460000001,	0.69599998
193,	0.,	0.0460000001,	0.721000016
194,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.721000016
195,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.69599998
196,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.671000004
197,	0.130999997,	0.0460000001,	0.771000028
198,	0.130999997,	0.0460000001,	0.796000004
199,	0.130999997,	0.0460000001,	0.82099998
200,	0.130999997,	0.0460000001,	0.846000016
201,	0.130999997,	0.0460000001,	0.870999992
202,	0.130999997,	0.0460000001,	0.896000028
203,	0.130999997,	0.0460000001,	0.921000004
204,	0.130999997,	0.0460000001,	0.94599998
205,	0.130999997,	0.0460000001,	0.971000016
206,	0.130999997,	0.0460000001,	0.995999992
207,	0.130999997,	0.0460000001,	1.02100003
208,	0.145999998,	0.0460000001,	1.02100003
209,	0.145999998,	0.0460000001,	0.995999992
210,	0.145999998,	0.0460000001,	0.971000016
211,	0.145999998,	0.0460000001,	0.94599998
212,	0.145999998,	0.0460000001,	0.921000004
213,	0.145999998,	0.0460000001,	0.896000028
214,	0.145999998,	0.0460000001,	0.870999992
215,	0.145999998,	0.0460000001,	0.846000016
216,	0.145999998,	0.0460000001,	0.82099998
217,	0.145999998,	0.0460000001,	0.796000004
218,	0.145999998,	0.0460000001,	0.771000028
219,	0.,	0.0460000001,	0.771000028
220,	0.,	0.0460000001,	0.796000004
221,	0.,	0.0460000001,	0.82099998
222,	0.,	0.0460000001,	0.846000016
223,	0.,	0.0460000001,	0.870999992
224,	0.,	0.0460000001,	0.896000028
225,	0.,	0.0460000001,	0.921000004

226,	0.,	0.0460000001,	0.94599998
227,	0.,	0.0460000001,	0.971000016
228,	0.,	0.0460000001,	0.995999992
229,	0.,	0.0460000001,	1.02100003
230,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.02100003
231,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.995999992
232,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.971000016
233,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.94599998
234,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.921000004
235,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.896000028
236,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.870999992
237,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.846000016
238,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.82099998
239,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.796000004
240,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.771000028
241,	0.130999997,	0.0460000001,	1.07099998
242,	0.130999997,	0.0460000001,	1.09599996
243,	0.130999997,	0.0460000001,	1.12100005
244,	0.145999998,	0.0460000001,	1.12100005
245,	0.145999998,	0.0460000001,	1.09599996
246,	0.145999998,	0.0460000001,	1.07099998
247,	0.,	0.0460000001,	1.07099998
248,	0.,	0.0460000001,	1.09599996
249,	0.,	0.0460000001,	1.12100005
250,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.12100005
251,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.09599996
252,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.07099998
253,	0.130999997,	0.0460000001,	1.171
254,	0.130999997,	0.0460000001,	1.19599998
255,	0.130999997,	0.0460000001,	1.22099996
256,	0.130999997,	0.0460000001,	1.24600005
257,	0.130999997,	0.0460000001,	1.27100003
258,	0.130999997,	0.0460000001,	1.296
259,	0.130999997,	0.0460000001,	1.32099998
260,	0.130999997,	0.0460000001,	1.34599996
261,	0.130999997,	0.0460000001,	1.37100005
262,	0.130999997,	0.0460000001,	1.39600003
263,	0.130999997,	0.0460000001,	1.421
264,	0.145999998,	0.0460000001,	1.421
265,	0.145999998,	0.0460000001,	1.39600003
266,	0.145999998,	0.0460000001,	1.37100005
267,	0.145999998,	0.0460000001,	1.34599996
268,	0.145999998,	0.0460000001,	1.32099998
269,	0.145999998,	0.0460000001,	1.296
270,	0.145999998,	0.0460000001,	1.27100003
271,	0.145999998,	0.0460000001,	1.24600005
272,	0.145999998,	0.0460000001,	1.22099996
273,	0.145999998,	0.0460000001,	1.19599998

274,	0.145999998,	0.0460000001,	1.171
275,	0.,	0.0460000001,	1.171
276,	0.,	0.0460000001,	1.19599998
277,	0.,	0.0460000001,	1.22099996
278,	0.,	0.0460000001,	1.24600005
279,	0.,	0.0460000001,	1.27100003
280,	0.,	0.0460000001,	1.296
281,	0.,	0.0460000001,	1.32099998
282,	0.,	0.0460000001,	1.34599996
283,	0.,	0.0460000001,	1.37100005
284,	0.,	0.0460000001,	1.39600003
285,	0.,	0.0460000001,	1.421
286,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.421
287,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.39600003
288,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.37100005
289,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.34599996
290,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.32099998
291,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.296
292,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.27100003
293,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.24600005
294,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.22099996
295,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.19599998
296,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.171
297,	0.130999997,	0.0460000001,	1.47099996
298,	0.130999997,	0.0460000001,	1.49600005
299,	0.130999997,	0.0460000001,	1.52100003
300,	0.145999998,	0.0460000001,	1.52100003
301,	0.145999998,	0.0460000001,	1.49600005
302,	0.145999998,	0.0460000001,	1.47099996
303,	0.,	0.0460000001,	1.47099996
304,	0.,	0.0460000001,	1.49600005
305,	0.,	0.0460000001,	1.52100003
306,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.52100003
307,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.49600005
308,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.47099996
309,	0.130999997,	0.0460000001,	1.57099998
310,	0.130999997,	0.0460000001,	1.59599996
311,	0.130999997,	0.0460000001,	1.62100005
312,	0.130999997,	0.0460000001,	1.64600003
313,	0.130999997,	0.0460000001,	1.671
314,	0.130999997,	0.0460000001,	1.69599998
315,	0.130999997,	0.0460000001,	1.72099996
316,	0.130999997,	0.0460000001,	1.74600005
317,	0.130999997,	0.0460000001,	1.77100003
318,	0.130999997,	0.0460000001,	1.796
319,	0.130999997,	0.0460000001,	1.82099998
320,	0.145999998,	0.0460000001,	1.82099998
321,	0.145999998,	0.0460000001,	1.796

322,	0.145999998,	0.0460000001,	1.77100003
323,	0.145999998,	0.0460000001,	1.74600005
324,	0.145999998,	0.0460000001,	1.72099996
325,	0.145999998,	0.0460000001,	1.69599998
326,	0.145999998,	0.0460000001,	1.671
327,	0.145999998,	0.0460000001,	1.64600003
328,	0.145999998,	0.0460000001,	1.62100005
329,	0.145999998,	0.0460000001,	1.59599996
330,	0.145999998,	0.0460000001,	1.57099998
331,	0.,	0.0460000001,	1.57099998
332,	0.,	0.0460000001,	1.59599996
333,	0.,	0.0460000001,	1.62100005
334,	0.,	0.0460000001,	1.64600003
335,	0.,	0.0460000001,	1.671
336,	0.,	0.0460000001,	1.69599998
337,	0.,	0.0460000001,	1.72099996
338,	0.,	0.0460000001,	1.74600005
339,	0.,	0.0460000001,	1.77100003
340,	0.,	0.0460000001,	1.796
341,	0.,	0.0460000001,	1.82099998
342,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.82099998
343,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.796
344,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.77100003
345,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.74600005
346,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.72099996
347,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.69599998
348,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.671
349,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.64600003
350,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.62100005
351,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.59599996
352,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.57099998
353,	0.130999997,	0.0460000001,	1.87100005
354,	0.130999997,	0.0460000001,	1.89600003
355,	0.130999997,	0.0460000001,	1.921
356,	0.145999998,	0.0460000001,	1.921
357,	0.145999998,	0.0460000001,	1.89600003
358,	0.145999998,	0.0460000001,	1.87100005
359,	0.,	0.0460000001,	1.87100005
360,	0.,	0.0460000001,	1.89600003
361,	0.,	0.0460000001,	1.921
362,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.921
363,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.89600003
364,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.87100005
365,	0.130999997,	0.0460000001,	1.97099996
366,	0.130999997,	0.0460000001,	1.99600005
367,	0.130999997,	0.0460000001,	2.02099991
368,	0.130999997,	0.0460000001,	2.046
369,	0.130999997,	0.0460000001,	2.0710001



370,	0.130999997,	0.0460000001,	2.09599996
371,	0.130999997,	0.0460000001,	2.12100005
372,	0.130999997,	0.0460000001,	2.14599991
373,	0.130999997,	0.0460000001,	2.171
374,	0.130999997,	0.0460000001,	2.1960001
375,	0.130999997,	0.0460000001,	2.22099996
376,	0.145999998,	0.0460000001,	2.22099996
377,	0.145999998,	0.0460000001,	2.1960001
378,	0.145999998,	0.0460000001,	2.171
379,	0.145999998,	0.0460000001,	2.14599991
380,	0.145999998,	0.0460000001,	2.12100005
381,	0.145999998,	0.0460000001,	2.09599996
382,	0.145999998,	0.0460000001,	2.0710001
383,	0.145999998,	0.0460000001,	2.046
384,	0.145999998,	0.0460000001,	2.02099991
385,	0.145999998,	0.0460000001,	1.99600005
386,	0.145999998,	0.0460000001,	1.97099996
387,	0.,	0.0460000001,	1.97099996
388,	0.,	0.0460000001,	1.99600005
389,	0.,	0.0460000001,	2.02099991
390,	0.,	0.0460000001,	2.046
391,	0.,	0.0460000001,	2.0710001
392,	0.,	0.0460000001,	2.09599996
393,	0.,	0.0460000001,	2.12100005
394,	0.,	0.0460000001,	2.14599991
395,	0.,	0.0460000001,	2.171
396,	0.,	0.0460000001,	2.1960001
397,	0.,	0.0460000001,	2.22099996
398,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.22099996
399,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.1960001
400,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.171
401,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.14599991
402,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.12100005
403,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.09599996
404,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.0710001
405,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.046
406,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.02099991
407,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.99600005
408,	0.0149999997,	0.0460000001,	1.97099996
409,	0.130999997,	0.0460000001,	2.27099991
410,	0.130999997,	0.0460000001,	2.296
411,	0.130999997,	0.0460000001,	2.3210001
412,	0.145999998,	0.0460000001,	2.3210001
413,	0.145999998,	0.0460000001,	2.296
414,	0.145999998,	0.0460000001,	2.27099991
415,	0.,	0.0460000001,	2.27099991
416,	0.,	0.0460000001,	2.296
417,	0.,	0.0460000001,	2.3210001

418,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.3210001
419,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.296
420,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.27099991
421,	0.145999998,	0.0460000001,	2.57459998
422,	0.145999998,	0.0460000001,	2.54920006
423,	0.145999998,	0.0460000001,	2.5237999
424,	0.145999998,	0.0460000001,	2.49839997
425,	0.145999998,	0.0460000001,	2.47300005
426,	0.145999998,	0.0460000001,	2.44759989
427,	0.145999998,	0.0460000001,	2.42219996
428,	0.145999998,	0.0460000001,	2.39680004
429,	0.145999998,	0.0460000001,	2.37140012
430,	0.130999997,	0.0460000001,	2.37140012
431,	0.130999997,	0.0460000001,	2.39680004
432,	0.130999997,	0.0460000001,	2.42219996
433,	0.130999997,	0.0460000001,	2.44759989
434,	0.130999997,	0.0460000001,	2.47300005
435,	0.130999997,	0.0460000001,	2.49839997
436,	0.130999997,	0.0460000001,	2.5237999
437,	0.130999997,	0.0460000001,	2.54920006
438,	0.130999997,	0.0460000001,	2.57459998
439,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.57459998
440,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.54920006
441,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.5237999
442,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.49839997
443,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.47300005
444,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.44759989
445,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.42219996
446,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.39680004
447,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.37140012
448,	0.,	0.0460000001,	2.37140012
449,	0.,	0.0460000001,	2.39680004
450,	0.,	0.0460000001,	2.42219996
451,	0.,	0.0460000001,	2.44759989
452,	0.,	0.0460000001,	2.47300005
453,	0.,	0.0460000001,	2.49839997
454,	0.,	0.0460000001,	2.5237999
455,	0.,	0.0460000001,	2.54920006
456,	0.,	0.0460000001,	2.57459998
457,	0.130999997,	0.0460000001,	2.671
458,	0.130999997,	0.0460000001,	2.6960001
459,	0.130999997,	0.0460000001,	2.72099996
460,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.72099996
461,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.6960001
462,	0.0149999997,	0.0460000001,	2.671
463,	0.145999998,	0.0460000001,	0.0719999969
464,	0.145999998,	0.0460000001,	0.0480000004
465,	0.145999998,	0.0460000001,	0.0240000002

466,	0.130999997,	0.0460000001,	0.0240000002
467,	0.130999997,	0.0460000001,	0.0480000004
468,	0.130999997,	0.0460000001,	0.0719999969
469,	0.145999998,	0.,	2.57500005
470,	0.145999998,	0.,	2.54999995
471,	0.145999998,	0.,	2.52500001
472,	0.145999998,	0.,	2.5
473,	0.145999998,	0.,	2.4749999
474,	0.145999998,	0.,	2.45000005
475,	0.145999998,	0.,	2.42499995
476,	0.145999998,	0.,	2.40000001
477,	0.145999998,	0.,	2.375
478,	0.145999998,	0.,	2.3499999
479,	0.145999998,	0.,	2.32500005
480,	0.145999998,	0.,	2.29999995
481,	0.145999998,	0.,	2.27500001
482,	0.145999998,	0.,	2.25
483,	0.145999998,	0.,	2.2249999
484,	0.145999998,	0.,	2.20000005
485,	0.145999998,	0.,	2.17499995
486,	0.145999998,	0.,	2.15000001
487,	0.145999998,	0.,	2.125
488,	0.145999998,	0.,	2.0999999
489,	0.145999998,	0.,	2.07500005
490,	0.145999998,	0.,	2.04999995
491,	0.145999998,	0.,	2.02500001
492,	0.145999998,	0.,	2.
493,	0.145999998,	0.,	1.97500002
494,	0.145999998,	0.,	1.95000005
495,	0.145999998,	0.,	1.92499995
496,	0.145999998,	0.,	1.89999998
497,	0.145999998,	0.,	1.875
498,	0.145999998,	0.,	1.85000002
499,	0.145999998,	0.,	1.82500005
500,	0.145999998,	0.,	1.79999995
501,	0.145999998,	0.,	1.77499998
502,	0.145999998,	0.,	1.75
503,	0.145999998,	0.,	1.72500002
504,	0.145999998,	0.,	1.70000005
505,	0.145999998,	0.,	1.67499995
506,	0.145999998,	0.,	1.64999998
507,	0.145999998,	0.,	1.625
508,	0.145999998,	0.,	1.60000002
509,	0.145999998,	0.,	1.57500005
510,	0.145999998,	0.,	1.54999995
511,	0.145999998,	0.,	1.52499998
512,	0.145999998,	0.,	1.5
513,	0.145999998,	0.,	1.47500002

514,	0.145999998,	0.,	1.45000005
515,	0.145999998,	0.,	1.42499995
516,	0.145999998,	0.,	1.39999998
517,	0.145999998,	0.,	1.375
518,	0.145999998,	0.,	1.35000002
519,	0.145999998,	0.,	1.32500005
520,	0.145999998,	0.,	1.29999995
521,	0.145999998,	0.,	1.27499998
522,	0.145999998,	0.,	1.25
523,	0.145999998,	0.,	1.22500002
524,	0.145999998,	0.,	1.20000005
525,	0.145999998,	0.,	1.17499995
526,	0.145999998,	0.,	1.14999998
527,	0.145999998,	0.,	1.125
528,	0.145999998,	0.,	1.10000002
529,	0.145999998,	0.,	1.07500005
530,	0.145999998,	0.,	1.04999995
531,	0.145999998,	0.,	1.02499998
532,	0.145999998,	0.,	1.
533,	0.145999998,	0.,	0.975000024
534,	0.145999998,	0.,	0.949999988
535,	0.145999998,	0.,	0.925000012
536,	0.145999998,	0.,	0.899999976
537,	0.145999998,	0.,	0.875
538,	0.145999998,	0.,	0.850000024
539,	0.145999998,	0.,	0.824999988
540,	0.145999998,	0.,	0.800000012
541,	0.145999998,	0.,	0.774999976
542,	0.145999998,	0.,	0.75
543,	0.145999998,	0.,	0.725000024
544,	0.145999998,	0.,	0.699999988
545,	0.145999998,	0.,	0.675000012
546,	0.145999998,	0.,	0.649999976
547,	0.145999998,	0.,	0.625
548,	0.145999998,	0.,	0.600000024
549,	0.145999998,	0.,	0.574999988
550,	0.145999998,	0.,	0.550000012
551,	0.145999998,	0.,	0.524999976
552,	0.145999998,	0.,	0.5
553,	0.145999998,	0.,	0.474999994
554,	0.145999998,	0.,	0.449999988
555,	0.145999998,	0.,	0.425000012
556,	0.145999998,	0.,	0.400000006
557,	0.145999998,	0.,	0.375
558,	0.145999998,	0.,	0.349999994
559,	0.145999998,	0.,	0.324999988
560,	0.145999998,	0.,	0.300000012
561,	0.145999998,	0.,	0.275000006

562,	0.145999998,	0.,	0.25
563,	0.145999998,	0.,	0.224999994
564,	0.145999998,	0.,	0.200000003
565,	0.145999998,	0.,	0.174999997
566,	0.145999998,	0.,	0.150000006
567,	0.145999998,	0.,	0.125
568,	0.145999998,	0.,	0.100000001
569,	0.145999998,	0.,	0.075000003
570,	0.145999998,	0.,	0.050000007
571,	0.145999998,	0.,	0.0250000004
572,	0.145999998,	0.023,	0.
573,	0.,	0.,	2.57500005
574,	0.,	0.,	2.54999995
575,	0.,	0.,	2.5250001
576,	0.,	0.,	2.5
577,	0.,	0.,	2.4749999
578,	0.,	0.,	2.45000005
579,	0.,	0.,	2.42499995
580,	0.,	0.,	2.4000001
581,	0.,	0.,	2.375
582,	0.,	0.,	2.3499999
583,	0.,	0.,	2.32500005
584,	0.,	0.,	2.29999995
585,	0.,	0.,	2.2750001
586,	0.,	0.,	2.25
587,	0.,	0.,	2.2249999
588,	0.,	0.,	2.20000005
589,	0.,	0.,	2.17499995
590,	0.,	0.,	2.1500001
591,	0.,	0.,	2.125
592,	0.,	0.,	2.0999999
593,	0.,	0.,	2.07500005
594,	0.,	0.,	2.04999995
595,	0.,	0.,	2.0250001
596,	0.,	0.,	2.
597,	0.,	0.,	1.97500002
598,	0.,	0.,	1.95000005
599,	0.,	0.,	1.92499995
600,	0.,	0.,	1.89999998
601,	0.,	0.,	1.875
602,	0.,	0.,	1.85000002
603,	0.,	0.,	1.82500005
604,	0.,	0.,	1.79999995
605,	0.,	0.,	1.77499998
606,	0.,	0.,	1.75
607,	0.,	0.,	1.72500002
608,	0.,	0.,	1.70000005
609,	0.,	0.,	1.67499995

610,	0.,	0.,	1.64999998
611,	0.,	0.,	1.625
612,	0.,	0.,	1.60000002
613,	0.,	0.,	1.57500005
614,	0.,	0.,	1.54999995
615,	0.,	0.,	1.52499998
616,	0.,	0.,	1.5
617,	0.,	0.,	1.47500002
618,	0.,	0.,	1.45000005
619,	0.,	0.,	1.42499995
620,	0.,	0.,	1.39999998
621,	0.,	0.,	1.375
622,	0.,	0.,	1.35000002
623,	0.,	0.,	1.32500005
624,	0.,	0.,	1.29999995
625,	0.,	0.,	1.27499998
626,	0.,	0.,	1.25
627,	0.,	0.,	1.22500002
628,	0.,	0.,	1.20000005
629,	0.,	0.,	1.17499995
630,	0.,	0.,	1.14999998
631,	0.,	0.,	1.125
632,	0.,	0.,	1.10000002
633,	0.,	0.,	1.07500005
634,	0.,	0.,	1.04999995
635,	0.,	0.,	1.02499998
636,	0.,	0.,	1.
637,	0.,	0.,	0.975000024
638,	0.,	0.,	0.949999988
639,	0.,	0.,	0.925000012
640,	0.,	0.,	0.899999976
641,	0.,	0.,	0.875
642,	0.,	0.,	0.850000024
643,	0.,	0.,	0.824999988
644,	0.,	0.,	0.800000012
645,	0.,	0.,	0.774999976
646,	0.,	0.,	0.75
647,	0.,	0.,	0.725000024
648,	0.,	0.,	0.699999988
649,	0.,	0.,	0.675000012
650,	0.,	0.,	0.649999976
651,	0.,	0.,	0.625
652,	0.,	0.,	0.600000024
653,	0.,	0.,	0.574999988
654,	0.,	0.,	0.550000012
655,	0.,	0.,	0.524999976
656,	0.,	0.,	0.5
657,	0.,	0.,	0.474999994

658,	0.,	0.,	0.449999988
659,	0.,	0.,	0.425000012
660,	0.,	0.,	0.400000006
661,	0.,	0.,	0.375
662,	0.,	0.,	0.349999994
663,	0.,	0.,	0.324999988
664,	0.,	0.,	0.300000012
665,	0.,	0.,	0.275000006
666,	0.,	0.,	0.25
667,	0.,	0.,	0.224999994
668,	0.,	0.,	0.200000003
669,	0.,	0.,	0.174999997
670,	0.,	0.,	0.150000006
671,	0.,	0.,	0.125
672,	0.,	0.,	0.100000001
673,	0.,	0.,	0.075000003
674,	0.,	0.,	0.050000007
675,	0.,	0.,	0.025000004
676,	0.0243333336,	0.,	0.
677,	0.0486666672,	0.,	0.
678,	0.0729999989,	0.,	0.
679,	0.0973333344,	0.,	0.
680,	0.12166667,	0.,	0.
681,	0.,	0.0460000001,	0.0719999969
682,	0.,	0.0460000001,	0.0480000004
683,	0.,	0.0460000001,	0.0240000002
684,	0.,	0.023,	0.
685,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.0719999969
686,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.0480000004
687,	0.0149999997,	0.0460000001,	0.0240000002
688,	0.0243333336,	0.,	2.62433338
689,	0.0486666672,	0.,	2.62433338
690,	0.0729999989,	0.,	2.62433338
691,	0.0973333344,	0.,	2.62433338
692,	0.12166667,	0.,	2.62433338
693,	0.0243333336,	0.,	2.64866662
694,	0.0486666672,	0.,	2.64866662
695,	0.0729999989,	0.,	2.64866662
696,	0.0973333344,	0.,	2.64866662
697,	0.12166667,	0.,	2.64866662
698,	0.0243333336,	0.,	2.6730001
699,	0.0486666672,	0.,	2.6730001
700,	0.0729999989,	0.,	2.6730001
701,	0.0973333344,	0.,	2.6730001
702,	0.12166667,	0.,	2.6730001
703,	0.0243333336,	0.,	2.69733334
704,	0.0486666672,	0.,	2.69733334
705,	0.0729999989,	0.,	2.69733334

706,	0.0973333344,	0.,	2.69733334
707,	0.12166667,	0.,	2.69733334
708,	0.0243333336,	0.,	2.72166657
709,	0.0486666672,	0.,	2.72166657
710,	0.0729999989,	0.,	2.72166657
711,	0.0973333344,	0.,	2.72166657
712,	0.12166667,	0.,	2.72166657
713,	0.,	0.023,	2.62366676
714,	0.,	0.023,	2.64733338
715,	0.,	0.023,	2.67199993
716,	0.,	0.023,	2.69666672
717,	0.,	0.023,	2.72133327
718,	0.145999998,	0.023,	2.62366676
719,	0.145999998,	0.023,	2.64733338
720,	0.145999998,	0.023,	2.67199993
721,	0.145999998,	0.023,	2.69666672
722,	0.145999998,	0.023,	2.72133327
723,	0.145999998,	0.023,	2.57480001
724,	0.145999998,	0.023,	2.54959989
725,	0.145999998,	0.023,	2.5244
726,	0.145999998,	0.023,	2.49920011
727,	0.145999998,	0.023,	2.47399998
728,	0.145999998,	0.023,	2.44880009
729,	0.145999998,	0.023,	2.42359996
730,	0.145999998,	0.023,	2.39840007
731,	0.145999998,	0.023,	2.37319994
732,	0.145999998,	0.023,	2.34800005
733,	0.145999998,	0.023,	2.32299995
734,	0.145999998,	0.023,	2.29800001
735,	0.145999998,	0.023,	2.273
736,	0.145999998,	0.023,	2.24799991
737,	0.145999998,	0.023,	2.22300005
738,	0.145999998,	0.023,	2.19799995
739,	0.145999998,	0.023,	2.17300001
740,	0.145999998,	0.023,	2.148
741,	0.145999998,	0.023,	2.12299991
742,	0.145999998,	0.023,	2.09800005
743,	0.145999998,	0.023,	2.07299995
744,	0.145999998,	0.023,	2.04800001
745,	0.145999998,	0.023,	2.023
746,	0.145999998,	0.023,	1.99800003
747,	0.145999998,	0.023,	1.97300005
748,	0.145999998,	0.023,	1.94799995
749,	0.145999998,	0.023,	1.92299998
750,	0.145999998,	0.023,	1.898
751,	0.145999998,	0.023,	1.87300003
752,	0.145999998,	0.023,	1.84800005
753,	0.145999998,	0.023,	1.82299995



754,	0.145999998,	0.023,	1.79799998
755,	0.145999998,	0.023,	1.773
756,	0.145999998,	0.023,	1.74800003
757,	0.145999998,	0.023,	1.72300005
758,	0.145999998,	0.023,	1.69799995
759,	0.145999998,	0.023,	1.67299998
760,	0.145999998,	0.023,	1.648
761,	0.145999998,	0.023,	1.62300003
762,	0.145999998,	0.023,	1.59800005
763,	0.145999998,	0.023,	1.57299995
764,	0.145999998,	0.023,	1.54799998
765,	0.145999998,	0.023,	1.523
766,	0.145999998,	0.023,	1.49800003
767,	0.145999998,	0.023,	1.47300005
768,	0.145999998,	0.023,	1.44799995
769,	0.145999998,	0.023,	1.42299998
770,	0.145999998,	0.023,	1.398
771,	0.145999998,	0.023,	1.37300003
772,	0.145999998,	0.023,	1.34800005
773,	0.145999998,	0.023,	1.32299995
774,	0.145999998,	0.023,	1.29799998
775,	0.145999998,	0.023,	1.273
776,	0.145999998,	0.023,	1.24800003
777,	0.145999998,	0.023,	1.22300005
778,	0.145999998,	0.023,	1.19799995
779,	0.145999998,	0.023,	1.17299998
780,	0.145999998,	0.023,	1.148
781,	0.145999998,	0.023,	1.12300003
782,	0.145999998,	0.023,	1.09800005
783,	0.145999998,	0.023,	1.07299995
784,	0.145999998,	0.023,	1.04799998
785,	0.145999998,	0.023,	1.023
786,	0.145999998,	0.023,	0.998000026
787,	0.145999998,	0.023,	0.97299999
788,	0.145999998,	0.023,	0.948000014
789,	0.145999998,	0.023,	0.922999978
790,	0.145999998,	0.023,	0.898000002
791,	0.145999998,	0.023,	0.873000026
792,	0.145999998,	0.023,	0.84799999
793,	0.145999998,	0.023,	0.823000014
794,	0.145999998,	0.023,	0.797999978
795,	0.145999998,	0.023,	0.773000002
796,	0.145999998,	0.023,	0.748000026
797,	0.145999998,	0.023,	0.72299999
798,	0.145999998,	0.023,	0.698000014
799,	0.145999998,	0.023,	0.672999978
800,	0.145999998,	0.023,	0.648000002
801,	0.145999998,	0.023,	0.623000026

802,	0.145999998,	0.023,	0.59799999
803,	0.145999998,	0.023,	0.573000014
804,	0.145999998,	0.023,	0.547999978
805,	0.145999998,	0.023,	0.523000002
806,	0.145999998,	0.023,	0.497999996
807,	0.145999998,	0.023,	0.47299999
808,	0.145999998,	0.023,	0.448000014
809,	0.145999998,	0.023,	0.423000008
810,	0.145999998,	0.023,	0.398000002
811,	0.145999998,	0.023,	0.372999996
812,	0.145999998,	0.023,	0.34799999
813,	0.145999998,	0.023,	0.323000014
814,	0.145999998,	0.023,	0.298000008
815,	0.145999998,	0.023,	0.273000002
816,	0.145999998,	0.023,	0.247999996
817,	0.145999998,	0.023,	0.223000005
818,	0.145999998,	0.023,	0.197999999
819,	0.145999998,	0.023,	0.172999993
820,	0.145999998,	0.023,	0.148000002
821,	0.145999998,	0.023,	0.123000003
822,	0.145999998,	0.023,	0.0979999974
823,	0.145999998,	0.023,	0.0734999999
824,	0.145999998,	0.023,	0.0489999987
825,	0.145999998,	0.023,	0.0244999994
826,	0.12166667,	0.,	2.57500005
827,	0.0973333344,	0.,	2.57500005
828,	0.0729999989,	0.,	2.57500005
829,	0.0486666672,	0.,	2.57500005
830,	0.0243333336,	0.,	2.57500005
831,	0.12166667,	0.,	2.54999995
832,	0.0973333344,	0.,	2.54999995
833,	0.0729999989,	0.,	2.54999995
834,	0.0486666672,	0.,	2.54999995
835,	0.0243333336,	0.,	2.54999995
836,	0.12166667,	0.,	2.5250001
837,	0.0973333344,	0.,	2.5250001
838,	0.0729999989,	0.,	2.5250001
839,	0.0486666672,	0.,	2.5250001
840,	0.0243333336,	0.,	2.5250001
841,	0.12166667,	0.,	2.5
842,	0.0973333344,	0.,	2.5
843,	0.0729999989,	0.,	2.5
844,	0.0486666672,	0.,	2.5
845,	0.0243333336,	0.,	2.5
846,	0.12166667,	0.,	2.4749999
847,	0.0973333344,	0.,	2.4749999
848,	0.0729999989,	0.,	2.4749999
849,	0.0486666672,	0.,	2.4749999

850,	0.0243333336,	0.,	2.4749999
851,	0.12166667,	0.,	2.45000005
852,	0.0973333344,	0.,	2.45000005
853,	0.0729999989,	0.,	2.45000005
854,	0.0486666672,	0.,	2.45000005
855,	0.0243333336,	0.,	2.45000005
856,	0.12166667,	0.,	2.42499995
857,	0.0973333344,	0.,	2.42499995
858,	0.0729999989,	0.,	2.42499995
859,	0.0486666672,	0.,	2.42499995
860,	0.0243333336,	0.,	2.42499995
861,	0.12166667,	0.,	2.4000001
862,	0.0973333344,	0.,	2.4000001
863,	0.0729999989,	0.,	2.4000001
864,	0.0486666672,	0.,	2.4000001
865,	0.0243333336,	0.,	2.4000001
866,	0.12166667,	0.,	2.375
867,	0.0973333344,	0.,	2.375
868,	0.0729999989,	0.,	2.375
869,	0.0486666672,	0.,	2.375
870,	0.0243333336,	0.,	2.375
871,	0.12166667,	0.,	2.3499999
872,	0.0973333344,	0.,	2.3499999
873,	0.0729999989,	0.,	2.3499999
874,	0.0486666672,	0.,	2.3499999
875,	0.0243333336,	0.,	2.3499999
876,	0.12166667,	0.,	2.32500005
877,	0.0973333344,	0.,	2.32500005
878,	0.0729999989,	0.,	2.32500005
879,	0.0486666672,	0.,	2.32500005
880,	0.0243333336,	0.,	2.32500005
881,	0.12166667,	0.,	2.29999995
882,	0.0973333344,	0.,	2.29999995
883,	0.0729999989,	0.,	2.29999995
884,	0.0486666672,	0.,	2.29999995
885,	0.0243333336,	0.,	2.29999995
886,	0.12166667,	0.,	2.2750001
887,	0.0973333344,	0.,	2.2750001
888,	0.0729999989,	0.,	2.2750001
889,	0.0486666672,	0.,	2.2750001
890,	0.0243333336,	0.,	2.2750001
891,	0.12166667,	0.,	2.25
892,	0.0973333344,	0.,	2.25
893,	0.0729999989,	0.,	2.25
894,	0.0486666672,	0.,	2.25
895,	0.0243333336,	0.,	2.25
896,	0.12166667,	0.,	2.2249999
897,	0.0973333344,	0.,	2.2249999

898,	0.0729999989,	0.,	2.2249999
899,	0.0486666672,	0.,	2.2249999
900,	0.0243333336,	0.,	2.2249999
901,	0.12166667,	0.,	2.20000005
902,	0.0973333344,	0.,	2.20000005
903,	0.0729999989,	0.,	2.20000005
904,	0.0486666672,	0.,	2.20000005
905,	0.0243333336,	0.,	2.20000005
906,	0.12166667,	0.,	2.17499995
907,	0.0973333344,	0.,	2.17499995
908,	0.0729999989,	0.,	2.17499995
909,	0.0486666672,	0.,	2.17499995
910,	0.0243333336,	0.,	2.17499995
911,	0.12166667,	0.,	2.1500001
912,	0.0973333344,	0.,	2.1500001
913,	0.0729999989,	0.,	2.1500001
914,	0.0486666672,	0.,	2.1500001
915,	0.0243333336,	0.,	2.1500001
916,	0.12166667,	0.,	2.125
917,	0.0973333344,	0.,	2.125
918,	0.0729999989,	0.,	2.125
919,	0.0486666672,	0.,	2.125
920,	0.0243333336,	0.,	2.125
921,	0.12166667,	0.,	2.0999999
922,	0.0973333344,	0.,	2.0999999
923,	0.0729999989,	0.,	2.0999999
924,	0.0486666672,	0.,	2.0999999
925,	0.0243333336,	0.,	2.0999999
926,	0.12166667,	0.,	2.07500005
927,	0.0973333344,	0.,	2.07500005
928,	0.0729999989,	0.,	2.07500005
929,	0.0486666672,	0.,	2.07500005
930,	0.0243333336,	0.,	2.07500005
931,	0.12166667,	0.,	2.04999995
932,	0.0973333344,	0.,	2.04999995
933,	0.0729999989,	0.,	2.04999995
934,	0.0486666672,	0.,	2.04999995
935,	0.0243333336,	0.,	2.04999995
936,	0.12166667,	0.,	2.0250001
937,	0.0973333344,	0.,	2.0250001
938,	0.0729999989,	0.,	2.0250001
939,	0.0486666672,	0.,	2.0250001
940,	0.0243333336,	0.,	2.0250001
941,	0.12166667,	0.,	2.
942,	0.0973333344,	0.,	2.
943,	0.0729999989,	0.,	2.
944,	0.0486666672,	0.,	2.
945,	0.0243333336,	0.,	2.

946,	0.12166667,	0.,	1.97500002
947,	0.0973333344,	0.,	1.97500002
948,	0.0729999989,	0.,	1.97500002
949,	0.0486666672,	0.,	1.97500002
950,	0.0243333336,	0.,	1.97500002
951,	0.12166667,	0.,	1.95000005
952,	0.0973333344,	0.,	1.95000005
953,	0.0729999989,	0.,	1.95000005
954,	0.0486666672,	0.,	1.95000005
955,	0.0243333336,	0.,	1.95000005
956,	0.12166667,	0.,	1.92499995
957,	0.0973333344,	0.,	1.92499995
958,	0.0729999989,	0.,	1.92499995
959,	0.0486666672,	0.,	1.92499995
960,	0.0243333336,	0.,	1.92499995
961,	0.12166667,	0.,	1.89999998
962,	0.0973333344,	0.,	1.89999998
963,	0.0729999989,	0.,	1.89999998
964,	0.0486666672,	0.,	1.89999998
965,	0.0243333336,	0.,	1.89999998
966,	0.12166667,	0.,	1.875
967,	0.0973333344,	0.,	1.875
968,	0.0729999989,	0.,	1.875
969,	0.0486666672,	0.,	1.875
970,	0.0243333336,	0.,	1.875
971,	0.12166667,	0.,	1.85000002
972,	0.0973333344,	0.,	1.85000002
973,	0.0729999989,	0.,	1.85000002
974,	0.0486666672,	0.,	1.85000002
975,	0.0243333336,	0.,	1.85000002
976,	0.12166667,	0.,	1.82500005
977,	0.0973333344,	0.,	1.82500005
978,	0.0729999989,	0.,	1.82500005
979,	0.0486666672,	0.,	1.82500005
980,	0.0243333336,	0.,	1.82500005
981,	0.12166667,	0.,	1.79999995
982,	0.0973333344,	0.,	1.79999995
983,	0.0729999989,	0.,	1.79999995
984,	0.0486666672,	0.,	1.79999995
985,	0.0243333336,	0.,	1.79999995
986,	0.12166667,	0.,	1.77499998
987,	0.0973333344,	0.,	1.77499998
988,	0.0729999989,	0.,	1.77499998
989,	0.0486666672,	0.,	1.77499998
990,	0.0243333336,	0.,	1.77499998
991,	0.12166667,	0.,	1.75
992,	0.0973333344,	0.,	1.75
993,	0.0729999989,	0.,	1.75

994,	0.0486666672,	0.,	1.75
995,	0.0243333336,	0.,	1.75
996,	0.12166667,	0.,	1.72500002
997,	0.0973333344,	0.,	1.72500002
998,	0.0729999989,	0.,	1.72500002
999,	0.0486666672,	0.,	1.72500002
1000,	0.0243333336,	0.,	1.72500002
1001,	0.12166667,	0.,	1.70000005
1002,	0.0973333344,	0.,	1.70000005
1003,	0.0729999989,	0.,	1.70000005
1004,	0.0486666672,	0.,	1.70000005
1005,	0.0243333336,	0.,	1.70000005
1006,	0.12166667,	0.,	1.67499995
1007,	0.0973333344,	0.,	1.67499995
1008,	0.0729999989,	0.,	1.67499995
1009,	0.0486666672,	0.,	1.67499995
1010,	0.0243333336,	0.,	1.67499995
1011,	0.12166667,	0.,	1.64999998
1012,	0.0973333344,	0.,	1.64999998
1013,	0.0729999989,	0.,	1.64999998
1014,	0.0486666672,	0.,	1.64999998
1015,	0.0243333336,	0.,	1.64999998
1016,	0.12166667,	0.,	1.625
1017,	0.0973333344,	0.,	1.625
1018,	0.0729999989,	0.,	1.625
1019,	0.0486666672,	0.,	1.625
1020,	0.0243333336,	0.,	1.625
1021,	0.12166667,	0.,	1.60000002
1022,	0.0973333344,	0.,	1.60000002
1023,	0.0729999989,	0.,	1.60000002
1024,	0.0486666672,	0.,	1.60000002
1025,	0.0243333336,	0.,	1.60000002
1026,	0.12166667,	0.,	1.57500005
1027,	0.0973333344,	0.,	1.57500005
1028,	0.0729999989,	0.,	1.57500005
1029,	0.0486666672,	0.,	1.57500005
1030,	0.0243333336,	0.,	1.57500005
1031,	0.12166667,	0.,	1.54999995
1032,	0.0973333344,	0.,	1.54999995
1033,	0.0729999989,	0.,	1.54999995
1034,	0.0486666672,	0.,	1.54999995
1035,	0.0243333336,	0.,	1.54999995
1036,	0.12166667,	0.,	1.52499998
1037,	0.0973333344,	0.,	1.52499998
1038,	0.0729999989,	0.,	1.52499998
1039,	0.0486666672,	0.,	1.52499998
1040,	0.0243333336,	0.,	1.52499998
1041,	0.12166667,	0.,	1.5

1042,	0.0973333344,	0.,	1.5
1043,	0.0729999989,	0.,	1.5
1044,	0.0486666672,	0.,	1.5
1045,	0.0243333336,	0.,	1.5
1046,	0.121666667,	0.,	1.47500002
1047,	0.0973333344,	0.,	1.47500002
1048,	0.0729999989,	0.,	1.47500002
1049,	0.0486666672,	0.,	1.47500002
1050,	0.0243333336,	0.,	1.47500002
1051,	0.121666667,	0.,	1.45000005
1052,	0.0973333344,	0.,	1.45000005
1053,	0.0729999989,	0.,	1.45000005
1054,	0.0486666672,	0.,	1.45000005
1055,	0.0243333336,	0.,	1.45000005
1056,	0.121666667,	0.,	1.42499995
1057,	0.0973333344,	0.,	1.42499995
1058,	0.0729999989,	0.,	1.42499995
1059,	0.0486666672,	0.,	1.42499995
1060,	0.0243333336,	0.,	1.42499995
1061,	0.121666667,	0.,	1.39999998
1062,	0.0973333344,	0.,	1.39999998
1063,	0.0729999989,	0.,	1.39999998
1064,	0.0486666672,	0.,	1.39999998
1065,	0.0243333336,	0.,	1.39999998
1066,	0.121666667,	0.,	1.375
1067,	0.0973333344,	0.,	1.375
1068,	0.0729999989,	0.,	1.375
1069,	0.0486666672,	0.,	1.375
1070,	0.0243333336,	0.,	1.375
1071,	0.121666667,	0.,	1.35000002
1072,	0.0973333344,	0.,	1.35000002
1073,	0.0729999989,	0.,	1.35000002
1074,	0.0486666672,	0.,	1.35000002
1075,	0.0243333336,	0.,	1.35000002
1076,	0.121666667,	0.,	1.32500005
1077,	0.0973333344,	0.,	1.32500005
1078,	0.0729999989,	0.,	1.32500005
1079,	0.0486666672,	0.,	1.32500005
1080,	0.0243333336,	0.,	1.32500005
1081,	0.121666667,	0.,	1.29999995
1082,	0.0973333344,	0.,	1.29999995
1083,	0.0729999989,	0.,	1.29999995
1084,	0.0486666672,	0.,	1.29999995
1085,	0.0243333336,	0.,	1.29999995
1086,	0.121666667,	0.,	1.27499998
1087,	0.0973333344,	0.,	1.27499998
1088,	0.0729999989,	0.,	1.27499998
1089,	0.0486666672,	0.,	1.27499998

1090,	0.0243333336,	0.,	1.27499998
1091,	0.12166667,	0.,	1.25
1092,	0.0973333344,	0.,	1.25
1093,	0.0729999989,	0.,	1.25
1094,	0.0486666672,	0.,	1.25
1095,	0.0243333336,	0.,	1.25
1096,	0.12166667,	0.,	1.22500002
1097,	0.0973333344,	0.,	1.22500002
1098,	0.0729999989,	0.,	1.22500002
1099,	0.0486666672,	0.,	1.22500002
1100,	0.0243333336,	0.,	1.22500002
1101,	0.12166667,	0.,	1.20000005
1102,	0.0973333344,	0.,	1.20000005
1103,	0.0729999989,	0.,	1.20000005
1104,	0.0486666672,	0.,	1.20000005
1105,	0.0243333336,	0.,	1.20000005
1106,	0.12166667,	0.,	1.17499995
1107,	0.0973333344,	0.,	1.17499995
1108,	0.0729999989,	0.,	1.17499995
1109,	0.0486666672,	0.,	1.17499995
1110,	0.0243333336,	0.,	1.17499995
1111,	0.12166667,	0.,	1.14999998
1112,	0.0973333344,	0.,	1.14999998
1113,	0.0729999989,	0.,	1.14999998
1114,	0.0486666672,	0.,	1.14999998
1115,	0.0243333336,	0.,	1.14999998
1116,	0.12166667,	0.,	1.125
1117,	0.0973333344,	0.,	1.125
1118,	0.0729999989,	0.,	1.125
1119,	0.0486666672,	0.,	1.125
1120,	0.0243333336,	0.,	1.125
1121,	0.12166667,	0.,	1.10000002
1122,	0.0973333344,	0.,	1.10000002
1123,	0.0729999989,	0.,	1.10000002
1124,	0.0486666672,	0.,	1.10000002
1125,	0.0243333336,	0.,	1.10000002
1126,	0.12166667,	0.,	1.07500005
1127,	0.0973333344,	0.,	1.07500005
1128,	0.0729999989,	0.,	1.07500005
1129,	0.0486666672,	0.,	1.07500005
1130,	0.0243333336,	0.,	1.07500005
1131,	0.12166667,	0.,	1.04999995
1132,	0.0973333344,	0.,	1.04999995
1133,	0.0729999989,	0.,	1.04999995
1134,	0.0486666672,	0.,	1.04999995
1135,	0.0243333336,	0.,	1.04999995
1136,	0.12166667,	0.,	1.02499998
1137,	0.0973333344,	0.,	1.02499998



1138,	0.0729999989,	0.,	1.02499998
1139,	0.0486666672,	0.,	1.02499998
1140,	0.0243333336,	0.,	1.02499998
1141,	0.12166667,	0.,	1.
1142,	0.0973333344,	0.,	1.
1143,	0.0729999989,	0.,	1.
1144,	0.0486666672,	0.,	1.
1145,	0.0243333336,	0.,	1.
1146,	0.12166667,	0.,	0.975000024
1147,	0.0973333344,	0.,	0.975000024
1148,	0.0729999989,	0.,	0.975000024
1149,	0.0486666672,	0.,	0.975000024
1150,	0.0243333336,	0.,	0.975000024
1151,	0.12166667,	0.,	0.949999988
1152,	0.0973333344,	0.,	0.949999988
1153,	0.0729999989,	0.,	0.949999988
1154,	0.0486666672,	0.,	0.949999988
1155,	0.0243333336,	0.,	0.949999988
1156,	0.12166667,	0.,	0.925000012
1157,	0.0973333344,	0.,	0.925000012
1158,	0.0729999989,	0.,	0.925000012
1159,	0.0486666672,	0.,	0.925000012
1160,	0.0243333336,	0.,	0.925000012
1161,	0.12166667,	0.,	0.899999976
1162,	0.0973333344,	0.,	0.899999976
1163,	0.0729999989,	0.,	0.899999976
1164,	0.0486666672,	0.,	0.899999976
1165,	0.0243333336,	0.,	0.899999976
1166,	0.12166667,	0.,	0.875
1167,	0.0973333344,	0.,	0.875
1168,	0.0729999989,	0.,	0.875
1169,	0.0486666672,	0.,	0.875
1170,	0.0243333336,	0.,	0.875
1171,	0.12166667,	0.,	0.850000024
1172,	0.0973333344,	0.,	0.850000024
1173,	0.0729999989,	0.,	0.850000024
1174,	0.0486666672,	0.,	0.850000024
1175,	0.0243333336,	0.,	0.850000024
1176,	0.12166667,	0.,	0.824999988
1177,	0.0973333344,	0.,	0.824999988
1178,	0.0729999989,	0.,	0.824999988
1179,	0.0486666672,	0.,	0.824999988
1180,	0.0243333336,	0.,	0.824999988
1181,	0.12166667,	0.,	0.800000012
1182,	0.0973333344,	0.,	0.800000012
1183,	0.0729999989,	0.,	0.800000012
1184,	0.0486666672,	0.,	0.800000012
1185,	0.0243333336,	0.,	0.800000012

1186,	0.12166667,	0.,	0.774999976
1187,	0.0973333344,	0.,	0.774999976
1188,	0.0729999989,	0.,	0.774999976
1189,	0.0486666672,	0.,	0.774999976
1190,	0.0243333336,	0.,	0.774999976
1191,	0.12166667,	0.,	0.75
1192,	0.0973333344,	0.,	0.75
1193,	0.0729999989,	0.,	0.75
1194,	0.0486666672,	0.,	0.75
1195,	0.0243333336,	0.,	0.75
1196,	0.12166667,	0.,	0.725000024
1197,	0.0973333344,	0.,	0.725000024
1198,	0.0729999989,	0.,	0.725000024
1199,	0.0486666672,	0.,	0.725000024
1200,	0.0243333336,	0.,	0.725000024
1201,	0.12166667,	0.,	0.699999988
1202,	0.0973333344,	0.,	0.699999988
1203,	0.0729999989,	0.,	0.699999988
1204,	0.0486666672,	0.,	0.699999988
1205,	0.0243333336,	0.,	0.699999988
1206,	0.12166667,	0.,	0.675000012
1207,	0.0973333344,	0.,	0.675000012
1208,	0.0729999989,	0.,	0.675000012
1209,	0.0486666672,	0.,	0.675000012
1210,	0.0243333336,	0.,	0.675000012
1211,	0.12166667,	0.,	0.649999976
1212,	0.0973333344,	0.,	0.649999976
1213,	0.0729999989,	0.,	0.649999976
1214,	0.0486666672,	0.,	0.649999976
1215,	0.0243333336,	0.,	0.649999976
1216,	0.12166667,	0.,	0.625
1217,	0.0973333344,	0.,	0.625
1218,	0.0729999989,	0.,	0.625
1219,	0.0486666672,	0.,	0.625
1220,	0.0243333336,	0.,	0.625
1221,	0.12166667,	0.,	0.600000024
1222,	0.0973333344,	0.,	0.600000024
1223,	0.0729999989,	0.,	0.600000024
1224,	0.0486666672,	0.,	0.600000024
1225,	0.0243333336,	0.,	0.600000024
1226,	0.12166667,	0.,	0.574999988
1227,	0.0973333344,	0.,	0.574999988
1228,	0.0729999989,	0.,	0.574999988
1229,	0.0486666672,	0.,	0.574999988
1230,	0.0243333336,	0.,	0.574999988
1231,	0.12166667,	0.,	0.550000012
1232,	0.0973333344,	0.,	0.550000012
1233,	0.0729999989,	0.,	0.550000012

1234,	0.0486666672,	0.,	0.550000012
1235,	0.0243333336,	0.,	0.550000012
1236,	0.121666667,	0.,	0.524999976
1237,	0.0973333344,	0.,	0.524999976
1238,	0.0729999989,	0.,	0.524999976
1239,	0.0486666672,	0.,	0.524999976
1240,	0.0243333336,	0.,	0.524999976
1241,	0.121666667,	0.,	0.5
1242,	0.0973333344,	0.,	0.5
1243,	0.0729999989,	0.,	0.5
1244,	0.0486666672,	0.,	0.5
1245,	0.0243333336,	0.,	0.5
1246,	0.121666667,	0.,	0.474999994
1247,	0.0973333344,	0.,	0.474999994
1248,	0.0729999989,	0.,	0.474999994
1249,	0.0486666672,	0.,	0.474999994
1250,	0.0243333336,	0.,	0.474999994
1251,	0.121666667,	0.,	0.449999988
1252,	0.0973333344,	0.,	0.449999988
1253,	0.0729999989,	0.,	0.449999988
1254,	0.0486666672,	0.,	0.449999988
1255,	0.0243333336,	0.,	0.449999988
1256,	0.121666667,	0.,	0.425000012
1257,	0.0973333344,	0.,	0.425000012
1258,	0.0729999989,	0.,	0.425000012
1259,	0.0486666672,	0.,	0.425000012
1260,	0.0243333336,	0.,	0.425000012
1261,	0.121666667,	0.,	0.400000006
1262,	0.0973333344,	0.,	0.400000006
1263,	0.0729999989,	0.,	0.400000006
1264,	0.0486666672,	0.,	0.400000006
1265,	0.0243333336,	0.,	0.400000006
1266,	0.121666667,	0.,	0.375
1267,	0.0973333344,	0.,	0.375
1268,	0.0729999989,	0.,	0.375
1269,	0.0486666672,	0.,	0.375
1270,	0.0243333336,	0.,	0.375
1271,	0.121666667,	0.,	0.349999994
1272,	0.0973333344,	0.,	0.349999994
1273,	0.0729999989,	0.,	0.349999994
1274,	0.0486666672,	0.,	0.349999994
1275,	0.0243333336,	0.,	0.349999994
1276,	0.121666667,	0.,	0.324999988
1277,	0.0973333344,	0.,	0.324999988
1278,	0.0729999989,	0.,	0.324999988
1279,	0.0486666672,	0.,	0.324999988
1280,	0.0243333336,	0.,	0.324999988
1281,	0.121666667,	0.,	0.300000012

1282,	0.0973333344,	0.,	0.300000012
1283,	0.0729999989,	0.,	0.300000012
1284,	0.0486666672,	0.,	0.300000012
1285,	0.0243333336,	0.,	0.300000012
1286,	0.121666667,	0.,	0.275000006
1287,	0.0973333344,	0.,	0.275000006
1288,	0.0729999989,	0.,	0.275000006
1289,	0.0486666672,	0.,	0.275000006
1290,	0.0243333336,	0.,	0.275000006
1291,	0.121666667,	0.,	0.25
1292,	0.0973333344,	0.,	0.25
1293,	0.0729999989,	0.,	0.25
1294,	0.0486666672,	0.,	0.25
1295,	0.0243333336,	0.,	0.25
1296,	0.121666667,	0.,	0.224999994
1297,	0.0973333344,	0.,	0.224999994
1298,	0.0729999989,	0.,	0.224999994
1299,	0.0486666672,	0.,	0.224999994
1300,	0.0243333336,	0.,	0.224999994
1301,	0.121666667,	0.,	0.200000003
1302,	0.0973333344,	0.,	0.200000003
1303,	0.0729999989,	0.,	0.200000003
1304,	0.0486666672,	0.,	0.200000003
1305,	0.0243333336,	0.,	0.200000003
1306,	0.121666667,	0.,	0.174999997
1307,	0.0973333344,	0.,	0.174999997
1308,	0.0729999989,	0.,	0.174999997
1309,	0.0486666672,	0.,	0.174999997
1310,	0.0243333336,	0.,	0.174999997
1311,	0.121666667,	0.,	0.150000006
1312,	0.0973333344,	0.,	0.150000006
1313,	0.0729999989,	0.,	0.150000006
1314,	0.0486666672,	0.,	0.150000006
1315,	0.0243333336,	0.,	0.150000006
1316,	0.121666667,	0.,	0.125
1317,	0.0973333344,	0.,	0.125
1318,	0.0729999989,	0.,	0.125
1319,	0.0486666672,	0.,	0.125
1320,	0.0243333336,	0.,	0.125
1321,	0.121666667,	0.,	0.100000001
1322,	0.0973333344,	0.,	0.100000001
1323,	0.0729999989,	0.,	0.100000001
1324,	0.0486666672,	0.,	0.100000001
1325,	0.0243333336,	0.,	0.100000001
1326,	0.121666667,	0.,	0.075000003
1327,	0.0973333344,	0.,	0.075000003
1328,	0.0729999989,	0.,	0.075000003
1329,	0.0486666672,	0.,	0.075000003

1330,	0.0243333336,	0.,	0.075000003
1331,	0.12166667,	0.,	0.050000007
1332,	0.0973333344,	0.,	0.050000007
1333,	0.0729999989,	0.,	0.050000007
1334,	0.0486666672,	0.,	0.050000007
1335,	0.0243333336,	0.,	0.050000007
1336,	0.12166667,	0.,	0.025000004
1337,	0.0973333344,	0.,	0.025000004
1338,	0.0729999989,	0.,	0.025000004
1339,	0.0486666672,	0.,	0.025000004
1340,	0.0243333336,	0.,	0.025000004
1341,	0.,	0.023,	2.57480001
1342,	0.,	0.023,	2.54959989
1343,	0.,	0.023,	2.5244
1344,	0.,	0.023,	2.49920011
1345,	0.,	0.023,	2.47399998
1346,	0.,	0.023,	2.44880009
1347,	0.,	0.023,	2.42359996
1348,	0.,	0.023,	2.39840007
1349,	0.,	0.023,	2.37319994
1350,	0.,	0.023,	2.34800005
1351,	0.,	0.023,	2.32299995
1352,	0.,	0.023,	2.2980001
1353,	0.,	0.023,	2.273
1354,	0.,	0.023,	2.24799991
1355,	0.,	0.023,	2.22300005
1356,	0.,	0.023,	2.19799995
1357,	0.,	0.023,	2.1730001
1358,	0.,	0.023,	2.148
1359,	0.,	0.023,	2.12299991
1360,	0.,	0.023,	2.09800005
1361,	0.,	0.023,	2.07299995
1362,	0.,	0.023,	2.0480001
1363,	0.,	0.023,	2.023
1364,	0.,	0.023,	1.99800003
1365,	0.,	0.023,	1.97300005
1366,	0.,	0.023,	1.94799995
1367,	0.,	0.023,	1.92299998
1368,	0.,	0.023,	1.898
1369,	0.,	0.023,	1.87300003
1370,	0.,	0.023,	1.84800005
1371,	0.,	0.023,	1.82299995
1372,	0.,	0.023,	1.79799998
1373,	0.,	0.023,	1.773
1374,	0.,	0.023,	1.74800003
1375,	0.,	0.023,	1.72300005
1376,	0.,	0.023,	1.69799995
1377,	0.,	0.023,	1.67299998

1378,	0.,	0.023,	1.648
1379,	0.,	0.023,	1.62300003
1380,	0.,	0.023,	1.59800005
1381,	0.,	0.023,	1.57299995
1382,	0.,	0.023,	1.54799998
1383,	0.,	0.023,	1.523
1384,	0.,	0.023,	1.49800003
1385,	0.,	0.023,	1.47300005
1386,	0.,	0.023,	1.44799995
1387,	0.,	0.023,	1.42299998
1388,	0.,	0.023,	1.398
1389,	0.,	0.023,	1.37300003
1390,	0.,	0.023,	1.34800005
1391,	0.,	0.023,	1.32299995
1392,	0.,	0.023,	1.29799998
1393,	0.,	0.023,	1.273
1394,	0.,	0.023,	1.24800003
1395,	0.,	0.023,	1.22300005
1396,	0.,	0.023,	1.19799995
1397,	0.,	0.023,	1.17299998
1398,	0.,	0.023,	1.148
1399,	0.,	0.023,	1.12300003
1400,	0.,	0.023,	1.09800005
1401,	0.,	0.023,	1.07299995
1402,	0.,	0.023,	1.04799998
1403,	0.,	0.023,	1.023
1404,	0.,	0.023,	0.998000026
1405,	0.,	0.023,	0.97299999
1406,	0.,	0.023,	0.948000014
1407,	0.,	0.023,	0.922999978
1408,	0.,	0.023,	0.898000002
1409,	0.,	0.023,	0.873000026
1410,	0.,	0.023,	0.84799999
1411,	0.,	0.023,	0.823000014
1412,	0.,	0.023,	0.797999978
1413,	0.,	0.023,	0.773000002
1414,	0.,	0.023,	0.748000026
1415,	0.,	0.023,	0.72299999
1416,	0.,	0.023,	0.698000014
1417,	0.,	0.023,	0.672999978
1418,	0.,	0.023,	0.648000002
1419,	0.,	0.023,	0.623000026
1420,	0.,	0.023,	0.59799999
1421,	0.,	0.023,	0.573000014
1422,	0.,	0.023,	0.547999978
1423,	0.,	0.023,	0.523000002
1424,	0.,	0.023,	0.497999996
1425,	0.,	0.023,	0.47299999

1426,	0.,	0.023,	0.448000014
1427,	0.,	0.023,	0.423000008
1428,	0.,	0.023,	0.398000002
1429,	0.,	0.023,	0.372999996
1430,	0.,	0.023,	0.34799999
1431,	0.,	0.023,	0.323000014
1432,	0.,	0.023,	0.298000008
1433,	0.,	0.023,	0.273000002
1434,	0.,	0.023,	0.247999996
1435,	0.,	0.023,	0.223000005
1436,	0.,	0.023,	0.197999999
1437,	0.,	0.023,	0.172999993
1438,	0.,	0.023,	0.148000002
1439,	0.,	0.023,	0.123000003
1440,	0.,	0.023,	0.0979999974
1441,	0.,	0.023,	0.0734999999
1442,	0.,	0.023,	0.0489999987
1443,	0.,	0.023,	0.0244999994

\*Element, type=S4R

1,	1,	75,	688,	94
2,	75,	76,	689,	688
3,	76,	77,	690,	689
4,	77,	78,	691,	690
5,	78,	79,	692,	691
6,	79,	2,	80,	692
7,	94,	688,	693,	93
8,	688,	689,	694,	693
9,	689,	690,	695,	694
10,	690,	691,	696,	695
11,	691,	692,	697,	696
12,	692,	80,	81,	697
13,	93,	693,	698,	92
14,	693,	694,	699,	698
15,	694,	695,	700,	699
16,	695,	696,	701,	700
17,	696,	697,	702,	701
18,	697,	81,	82,	702
19,	92,	698,	703,	91
20,	698,	699,	704,	703
21,	699,	700,	705,	704
22,	700,	701,	706,	705
23,	701,	702,	707,	706
24,	702,	82,	83,	707
25,	91,	703,	708,	90
26,	703,	704,	709,	708
27,	704,	705,	710,	709
28,	705,	706,	711,	710
29,	706,	707,	712,	711

30, 707, 83, 84, 712  
31, 90, 708, 89, 4  
32, 708, 709, 88, 89  
33, 709, 710, 87, 88  
34, 710, 711, 86, 87  
35, 711, 712, 85, 86  
36, 712, 84, 3, 85  
37, 5, 95, 713, 97  
38, 95, 1, 94, 713  
39, 97, 713, 714, 6  
40, 713, 94, 93, 714  
41, 6, 714, 715, 100  
42, 714, 93, 92, 715  
43, 100, 715, 716, 99  
44, 715, 92, 91, 716  
45, 99, 716, 717, 98  
46, 716, 91, 90, 717  
47, 98, 717, 96, 7  
48, 717, 90, 4, 96  
49, 2, 101, 718, 80  
50, 101, 8, 102, 718  
51, 80, 718, 719, 81  
52, 718, 102, 9, 719  
53, 81, 719, 720, 82  
54, 719, 9, 103, 720  
55, 82, 720, 721, 83  
56, 720, 103, 104, 721  
57, 83, 721, 722, 84  
58, 721, 104, 105, 722  
59, 84, 722, 106, 3  
60, 722, 105, 10, 106  
61, 8, 11, 107, 102  
62, 102, 107, 12, 9  
63, 13, 5, 97, 108  
64, 108, 97, 6, 14  
65, 15, 16, 109, 118  
66, 118, 109, 110, 117  
67, 117, 110, 111, 116  
68, 116, 111, 112, 115  
69, 115, 112, 113, 114  
70, 114, 113, 17, 18  
71, 19, 20, 119, 128  
72, 128, 119, 120, 127  
73, 127, 120, 121, 126  
74, 126, 121, 122, 125  
75, 125, 122, 123, 124  
76, 124, 123, 21, 22  
77, 18, 17, 129, 134



78, 134, 129, 130, 133  
79, 133, 130, 131, 132  
80, 132, 131, 23, 24  
81, 22, 21, 135, 140  
82, 140, 135, 136, 139  
83, 139, 136, 137, 138  
84, 138, 137, 25, 26  
85, 24, 23, 141, 162  
86, 162, 141, 142, 161  
87, 161, 142, 143, 160  
88, 160, 143, 144, 159  
89, 159, 144, 145, 158  
90, 158, 145, 146, 157  
91, 157, 146, 147, 156  
92, 156, 147, 148, 155  
93, 155, 148, 149, 154  
94, 154, 149, 150, 153  
95, 153, 150, 151, 152  
96, 152, 151, 27, 28  
97, 26, 25, 163, 184  
98, 184, 163, 164, 183  
99, 183, 164, 165, 182  
100, 182, 165, 166, 181  
101, 181, 166, 167, 180  
102, 180, 167, 168, 179  
103, 179, 168, 169, 178  
104, 178, 169, 170, 177  
105, 177, 170, 171, 176  
106, 176, 171, 172, 175  
107, 175, 172, 173, 174  
108, 174, 173, 29, 30  
109, 28, 27, 185, 190  
110, 190, 185, 186, 189  
111, 189, 186, 187, 188  
112, 188, 187, 31, 32  
113, 30, 29, 191, 196  
114, 196, 191, 192, 195  
115, 195, 192, 193, 194  
116, 194, 193, 33, 34  
117, 32, 31, 197, 218  
118, 218, 197, 198, 217  
119, 217, 198, 199, 216  
120, 216, 199, 200, 215  
121, 215, 200, 201, 214  
122, 214, 201, 202, 213  
123, 213, 202, 203, 212  
124, 212, 203, 204, 211  
125, 211, 204, 205, 210

126, 210, 205, 206, 209  
127, 209, 206, 207, 208  
128, 208, 207, 35, 36  
129, 34, 33, 219, 240  
130, 240, 219, 220, 239  
131, 239, 220, 221, 238  
132, 238, 221, 222, 237  
133, 237, 222, 223, 236  
134, 236, 223, 224, 235  
135, 235, 224, 225, 234  
136, 234, 225, 226, 233  
137, 233, 226, 227, 232  
138, 232, 227, 228, 231  
139, 231, 228, 229, 230  
140, 230, 229, 37, 38  
141, 36, 35, 241, 246  
142, 246, 241, 242, 245  
143, 245, 242, 243, 244  
144, 244, 243, 39, 40  
145, 38, 37, 247, 252  
146, 252, 247, 248, 251  
147, 251, 248, 249, 250  
148, 250, 249, 41, 42  
149, 40, 39, 253, 274  
150, 274, 253, 254, 273  
151, 273, 254, 255, 272  
152, 272, 255, 256, 271  
153, 271, 256, 257, 270  
154, 270, 257, 258, 269  
155, 269, 258, 259, 268  
156, 268, 259, 260, 267  
157, 267, 260, 261, 266  
158, 266, 261, 262, 265  
159, 265, 262, 263, 264  
160, 264, 263, 43, 44  
161, 42, 41, 275, 296  
162, 296, 275, 276, 295  
163, 295, 276, 277, 294  
164, 294, 277, 278, 293  
165, 293, 278, 279, 292  
166, 292, 279, 280, 291  
167, 291, 280, 281, 290  
168, 290, 281, 282, 289  
169, 289, 282, 283, 288  
170, 288, 283, 284, 287  
171, 287, 284, 285, 286  
172, 286, 285, 45, 46  
173, 44, 43, 297, 302

174, 302, 297, 298, 301  
175, 301, 298, 299, 300  
176, 300, 299, 47, 48  
177, 46, 45, 303, 308  
178, 308, 303, 304, 307  
179, 307, 304, 305, 306  
180, 306, 305, 49, 50  
181, 48, 47, 309, 330  
182, 330, 309, 310, 329  
183, 329, 310, 311, 328  
184, 328, 311, 312, 327  
185, 327, 312, 313, 326  
186, 326, 313, 314, 325  
187, 325, 314, 315, 324  
188, 324, 315, 316, 323  
189, 323, 316, 317, 322  
190, 322, 317, 318, 321  
191, 321, 318, 319, 320  
192, 320, 319, 51, 52  
193, 50, 49, 331, 352  
194, 352, 331, 332, 351  
195, 351, 332, 333, 350  
196, 350, 333, 334, 349  
197, 349, 334, 335, 348  
198, 348, 335, 336, 347  
199, 347, 336, 337, 346  
200, 346, 337, 338, 345  
201, 345, 338, 339, 344  
202, 344, 339, 340, 343  
203, 343, 340, 341, 342  
204, 342, 341, 53, 54  
205, 52, 51, 353, 358  
206, 358, 353, 354, 357  
207, 357, 354, 355, 356  
208, 356, 355, 55, 56  
209, 54, 53, 359, 364  
210, 364, 359, 360, 363  
211, 363, 360, 361, 362  
212, 362, 361, 57, 58  
213, 56, 55, 365, 386  
214, 386, 365, 366, 385  
215, 385, 366, 367, 384  
216, 384, 367, 368, 383  
217, 383, 368, 369, 382  
218, 382, 369, 370, 381  
219, 381, 370, 371, 380  
220, 380, 371, 372, 379  
221, 379, 372, 373, 378

222, 378, 373, 374, 377  
223, 377, 374, 375, 376  
224, 376, 375, 59, 60  
225, 58, 57, 387, 408  
226, 408, 387, 388, 407  
227, 407, 388, 389, 406  
228, 406, 389, 390, 405  
229, 405, 390, 391, 404  
230, 404, 391, 392, 403  
231, 403, 392, 393, 402  
232, 402, 393, 394, 401  
233, 401, 394, 395, 400  
234, 400, 395, 396, 399  
235, 399, 396, 397, 398  
236, 398, 397, 61, 62  
237, 60, 59, 409, 414  
238, 414, 409, 410, 413  
239, 413, 410, 411, 412  
240, 412, 411, 63, 64  
241, 62, 61, 415, 420  
242, 420, 415, 416, 419  
243, 419, 416, 417, 418  
244, 418, 417, 65, 66  
245, 11, 8, 421, 438  
246, 438, 421, 422, 437  
247, 437, 422, 423, 436  
248, 436, 423, 424, 435  
249, 435, 424, 425, 434  
250, 434, 425, 426, 433  
251, 433, 426, 427, 432  
252, 432, 427, 428, 431  
253, 431, 428, 429, 430  
254, 430, 429, 64, 63  
255, 5, 13, 439, 456  
256, 456, 439, 440, 455  
257, 455, 440, 441, 454  
258, 454, 441, 442, 453  
259, 453, 442, 443, 452  
260, 452, 443, 444, 451  
261, 451, 444, 445, 450  
262, 450, 445, 446, 449  
263, 449, 446, 447, 448  
264, 448, 447, 66, 65  
265, 9, 12, 457, 103  
266, 103, 457, 458, 104  
267, 104, 458, 459, 105  
268, 105, 459, 67, 10  
269, 14, 6, 100, 462

270, 462, 100, 99, 461  
271, 461, 99, 98, 460  
272, 460, 98, 7, 68  
273, 16, 15, 463, 468  
274, 468, 463, 464, 467  
275, 467, 464, 465, 466  
276, 466, 465, 69, 70  
277, 8, 101, 723, 421  
278, 101, 2, 469, 723  
279, 421, 723, 724, 422  
280, 723, 469, 470, 724  
281, 422, 724, 725, 423  
282, 724, 470, 471, 725  
283, 423, 725, 726, 424  
284, 725, 471, 472, 726  
285, 424, 726, 727, 425  
286, 726, 472, 473, 727  
287, 425, 727, 728, 426  
288, 727, 473, 474, 728  
289, 426, 728, 729, 427  
290, 728, 474, 475, 729  
291, 427, 729, 730, 428  
292, 729, 475, 476, 730  
293, 428, 730, 731, 429  
294, 730, 476, 477, 731  
295, 429, 731, 732, 64  
296, 731, 477, 478, 732  
297, 64, 732, 733, 412  
298, 732, 478, 479, 733  
299, 412, 733, 734, 413  
300, 733, 479, 480, 734  
301, 413, 734, 735, 414  
302, 734, 480, 481, 735  
303, 414, 735, 736, 60  
304, 735, 481, 482, 736  
305, 60, 736, 737, 376  
306, 736, 482, 483, 737  
307, 376, 737, 738, 377  
308, 737, 483, 484, 738  
309, 377, 738, 739, 378  
310, 738, 484, 485, 739  
311, 378, 739, 740, 379  
312, 739, 485, 486, 740  
313, 379, 740, 741, 380  
314, 740, 486, 487, 741  
315, 380, 741, 742, 381  
316, 741, 487, 488, 742  
317, 381, 742, 743, 382

318, 742, 488, 489, 743  
319, 382, 743, 744, 383  
320, 743, 489, 490, 744  
321, 383, 744, 745, 384  
322, 744, 490, 491, 745  
323, 384, 745, 746, 385  
324, 745, 491, 492, 746  
325, 385, 746, 747, 386  
326, 746, 492, 493, 747  
327, 386, 747, 748, 56  
328, 747, 493, 494, 748  
329, 56, 748, 749, 356  
330, 748, 494, 495, 749  
331, 356, 749, 750, 357  
332, 749, 495, 496, 750  
333, 357, 750, 751, 358  
334, 750, 496, 497, 751  
335, 358, 751, 752, 52  
336, 751, 497, 498, 752  
337, 52, 752, 753, 320  
338, 752, 498, 499, 753  
339, 320, 753, 754, 321  
340, 753, 499, 500, 754  
341, 321, 754, 755, 322  
342, 754, 500, 501, 755  
343, 322, 755, 756, 323  
344, 755, 501, 502, 756  
345, 323, 756, 757, 324  
346, 756, 502, 503, 757  
347, 324, 757, 758, 325  
348, 757, 503, 504, 758  
349, 325, 758, 759, 326  
350, 758, 504, 505, 759  
351, 326, 759, 760, 327  
352, 759, 505, 506, 760  
353, 327, 760, 761, 328  
354, 760, 506, 507, 761  
355, 328, 761, 762, 329  
356, 761, 507, 508, 762  
357, 329, 762, 763, 330  
358, 762, 508, 509, 763  
359, 330, 763, 764, 48  
360, 763, 509, 510, 764  
361, 48, 764, 765, 300  
362, 764, 510, 511, 765  
363, 300, 765, 766, 301  
364, 765, 511, 512, 766  
365, 301, 766, 767, 302

366, 766, 512, 513, 767  
367, 302, 767, 768, 44  
368, 767, 513, 514, 768  
369, 44, 768, 769, 264  
370, 768, 514, 515, 769  
371, 264, 769, 770, 265  
372, 769, 515, 516, 770  
373, 265, 770, 771, 266  
374, 770, 516, 517, 771  
375, 266, 771, 772, 267  
376, 771, 517, 518, 772  
377, 267, 772, 773, 268  
378, 772, 518, 519, 773  
379, 268, 773, 774, 269  
380, 773, 519, 520, 774  
381, 269, 774, 775, 270  
382, 774, 520, 521, 775  
383, 270, 775, 776, 271  
384, 775, 521, 522, 776  
385, 271, 776, 777, 272  
386, 776, 522, 523, 777  
387, 272, 777, 778, 273  
388, 777, 523, 524, 778  
389, 273, 778, 779, 274  
390, 778, 524, 525, 779  
391, 274, 779, 780, 40  
392, 779, 525, 526, 780  
393, 40, 780, 781, 244  
394, 780, 526, 527, 781  
395, 244, 781, 782, 245  
396, 781, 527, 528, 782  
397, 245, 782, 783, 246  
398, 782, 528, 529, 783  
399, 246, 783, 784, 36  
400, 783, 529, 530, 784  
401, 36, 784, 785, 208  
402, 784, 530, 531, 785  
403, 208, 785, 786, 209  
404, 785, 531, 532, 786  
405, 209, 786, 787, 210  
406, 786, 532, 533, 787  
407, 210, 787, 788, 211  
408, 787, 533, 534, 788  
409, 211, 788, 789, 212  
410, 788, 534, 535, 789  
411, 212, 789, 790, 213  
412, 789, 535, 536, 790  
413, 213, 790, 791, 214

414, 790, 536, 537, 791  
415, 214, 791, 792, 215  
416, 791, 537, 538, 792  
417, 215, 792, 793, 216  
418, 792, 538, 539, 793  
419, 216, 793, 794, 217  
420, 793, 539, 540, 794  
421, 217, 794, 795, 218  
422, 794, 540, 541, 795  
423, 218, 795, 796, 32  
424, 795, 541, 542, 796  
425, 32, 796, 797, 188  
426, 796, 542, 543, 797  
427, 188, 797, 798, 189  
428, 797, 543, 544, 798  
429, 189, 798, 799, 190  
430, 798, 544, 545, 799  
431, 190, 799, 800, 28  
432, 799, 545, 546, 800  
433, 28, 800, 801, 152  
434, 800, 546, 547, 801  
435, 152, 801, 802, 153  
436, 801, 547, 548, 802  
437, 153, 802, 803, 154  
438, 802, 548, 549, 803  
439, 154, 803, 804, 155  
440, 803, 549, 550, 804  
441, 155, 804, 805, 156  
442, 804, 550, 551, 805  
443, 156, 805, 806, 157  
444, 805, 551, 552, 806  
445, 157, 806, 807, 158  
446, 806, 552, 553, 807  
447, 158, 807, 808, 159  
448, 807, 553, 554, 808  
449, 159, 808, 809, 160  
450, 808, 554, 555, 809  
451, 160, 809, 810, 161  
452, 809, 555, 556, 810  
453, 161, 810, 811, 162  
454, 810, 556, 557, 811  
455, 162, 811, 812, 24  
456, 811, 557, 558, 812  
457, 24, 812, 813, 132  
458, 812, 558, 559, 813  
459, 132, 813, 814, 133  
460, 813, 559, 560, 814  
461, 133, 814, 815, 134



462, 814, 560, 561, 815  
463, 134, 815, 816, 18  
464, 815, 561, 562, 816  
465, 18, 816, 817, 114  
466, 816, 562, 563, 817  
467, 114, 817, 818, 115  
468, 817, 563, 564, 818  
469, 115, 818, 819, 116  
470, 818, 564, 565, 819  
471, 116, 819, 820, 117  
472, 819, 565, 566, 820  
473, 117, 820, 821, 118  
474, 820, 566, 567, 821  
475, 118, 821, 822, 15  
476, 821, 567, 568, 822  
477, 15, 822, 823, 463  
478, 822, 568, 569, 823  
479, 463, 823, 824, 464  
480, 823, 569, 570, 824  
481, 464, 824, 825, 465  
482, 824, 570, 571, 825  
483, 465, 825, 572, 69  
484, 825, 571, 71, 572  
485, 2, 79, 826, 469  
486, 79, 78, 827, 826  
487, 78, 77, 828, 827  
488, 77, 76, 829, 828  
489, 76, 75, 830, 829  
490, 75, 1, 573, 830  
491, 469, 826, 831, 470  
492, 826, 827, 832, 831  
493, 827, 828, 833, 832  
494, 828, 829, 834, 833  
495, 829, 830, 835, 834  
496, 830, 573, 574, 835  
497, 470, 831, 836, 471  
498, 831, 832, 837, 836  
499, 832, 833, 838, 837  
500, 833, 834, 839, 838  
501, 834, 835, 840, 839  
502, 835, 574, 575, 840  
503, 471, 836, 841, 472  
504, 836, 837, 842, 841  
505, 837, 838, 843, 842  
506, 838, 839, 844, 843  
507, 839, 840, 845, 844  
508, 840, 575, 576, 845  
509, 472, 841, 846, 473

510,	841,	842,	847,	846
511,	842,	843,	848,	847
512,	843,	844,	849,	848
513,	844,	845,	850,	849
514,	845,	576,	577,	850
515,	473,	846,	851,	474
516,	846,	847,	852,	851
517,	847,	848,	853,	852
518,	848,	849,	854,	853
519,	849,	850,	855,	854
520,	850,	577,	578,	855
521,	474,	851,	856,	475
522,	851,	852,	857,	856
523,	852,	853,	858,	857
524,	853,	854,	859,	858
525,	854,	855,	860,	859
526,	855,	578,	579,	860
527,	475,	856,	861,	476
528,	856,	857,	862,	861
529,	857,	858,	863,	862
530,	858,	859,	864,	863
531,	859,	860,	865,	864
532,	860,	579,	580,	865
533,	476,	861,	866,	477
534,	861,	862,	867,	866
535,	862,	863,	868,	867
536,	863,	864,	869,	868
537,	864,	865,	870,	869
538,	865,	580,	581,	870
539,	477,	866,	871,	478
540,	866,	867,	872,	871
541,	867,	868,	873,	872
542,	868,	869,	874,	873
543,	869,	870,	875,	874
544,	870,	581,	582,	875
545,	478,	871,	876,	479
546,	871,	872,	877,	876
547,	872,	873,	878,	877
548,	873,	874,	879,	878
549,	874,	875,	880,	879
550,	875,	582,	583,	880
551,	479,	876,	881,	480
552,	876,	877,	882,	881
553,	877,	878,	883,	882
554,	878,	879,	884,	883
555,	879,	880,	885,	884
556,	880,	583,	584,	885
557,	480,	881,	886,	481

558, 881, 882, 887, 886  
559, 882, 883, 888, 887  
560, 883, 884, 889, 888  
561, 884, 885, 890, 889  
562, 885, 584, 585, 890  
563, 481, 886, 891, 482  
564, 886, 887, 892, 891  
565, 887, 888, 893, 892  
566, 888, 889, 894, 893  
567, 889, 890, 895, 894  
568, 890, 585, 586, 895  
569, 482, 891, 896, 483  
570, 891, 892, 897, 896  
571, 892, 893, 898, 897  
572, 893, 894, 899, 898  
573, 894, 895, 900, 899  
574, 895, 586, 587, 900  
575, 483, 896, 901, 484  
576, 896, 897, 902, 901  
577, 897, 898, 903, 902  
578, 898, 899, 904, 903  
579, 899, 900, 905, 904  
580, 900, 587, 588, 905  
581, 484, 901, 906, 485  
582, 901, 902, 907, 906  
583, 902, 903, 908, 907  
584, 903, 904, 909, 908  
585, 904, 905, 910, 909  
586, 905, 588, 589, 910  
587, 485, 906, 911, 486  
588, 906, 907, 912, 911  
589, 907, 908, 913, 912  
590, 908, 909, 914, 913  
591, 909, 910, 915, 914  
592, 910, 589, 590, 915  
593, 486, 911, 916, 487  
594, 911, 912, 917, 916  
595, 912, 913, 918, 917  
596, 913, 914, 919, 918  
597, 914, 915, 920, 919  
598, 915, 590, 591, 920  
599, 487, 916, 921, 488  
600, 916, 917, 922, 921  
601, 917, 918, 923, 922  
602, 918, 919, 924, 923  
603, 919, 920, 925, 924  
604, 920, 591, 592, 925  
605, 488, 921, 926, 489

606,	921,	922,	927,	926
607,	922,	923,	928,	927
608,	923,	924,	929,	928
609,	924,	925,	930,	929
610,	925,	592,	593,	930
611,	489,	926,	931,	490
612,	926,	927,	932,	931
613,	927,	928,	933,	932
614,	928,	929,	934,	933
615,	929,	930,	935,	934
616,	930,	593,	594,	935
617,	490,	931,	936,	491
618,	931,	932,	937,	936
619,	932,	933,	938,	937
620,	933,	934,	939,	938
621,	934,	935,	940,	939
622,	935,	594,	595,	940
623,	491,	936,	941,	492
624,	936,	937,	942,	941
625,	937,	938,	943,	942
626,	938,	939,	944,	943
627,	939,	940,	945,	944
628,	940,	595,	596,	945
629,	492,	941,	946,	493
630,	941,	942,	947,	946
631,	942,	943,	948,	947
632,	943,	944,	949,	948
633,	944,	945,	950,	949
634,	945,	596,	597,	950
635,	493,	946,	951,	494
636,	946,	947,	952,	951
637,	947,	948,	953,	952
638,	948,	949,	954,	953
639,	949,	950,	955,	954
640,	950,	597,	598,	955
641,	494,	951,	956,	495
642,	951,	952,	957,	956
643,	952,	953,	958,	957
644,	953,	954,	959,	958
645,	954,	955,	960,	959
646,	955,	598,	599,	960
647,	495,	956,	961,	496
648,	956,	957,	962,	961
649,	957,	958,	963,	962
650,	958,	959,	964,	963
651,	959,	960,	965,	964
652,	960,	599,	600,	965
653,	496,	961,	966,	497

654, 961, 962, 967, 966  
655, 962, 963, 968, 967  
656, 963, 964, 969, 968  
657, 964, 965, 970, 969  
658, 965, 600, 601, 970  
659, 497, 966, 971, 498  
660, 966, 967, 972, 971  
661, 967, 968, 973, 972  
662, 968, 969, 974, 973  
663, 969, 970, 975, 974  
664, 970, 601, 602, 975  
665, 498, 971, 976, 499  
666, 971, 972, 977, 976  
667, 972, 973, 978, 977  
668, 973, 974, 979, 978  
669, 974, 975, 980, 979  
670, 975, 602, 603, 980  
671, 499, 976, 981, 500  
672, 976, 977, 982, 981  
673, 977, 978, 983, 982  
674, 978, 979, 984, 983  
675, 979, 980, 985, 984  
676, 980, 603, 604, 985  
677, 500, 981, 986, 501  
678, 981, 982, 987, 986  
679, 982, 983, 988, 987  
680, 983, 984, 989, 988  
681, 984, 985, 990, 989  
682, 985, 604, 605, 990  
683, 501, 986, 991, 502  
684, 986, 987, 992, 991  
685, 987, 988, 993, 992  
686, 988, 989, 994, 993  
687, 989, 990, 995, 994  
688, 990, 605, 606, 995  
689, 502, 991, 996, 503  
690, 991, 992, 997, 996  
691, 992, 993, 998, 997  
692, 993, 994, 999, 998  
693, 994, 995, 1000, 999  
694, 995, 606, 607, 1000  
695, 503, 996, 1001, 504  
696, 996, 997, 1002, 1001  
697, 997, 998, 1003, 1002  
698, 998, 999, 1004, 1003  
699, 999, 1000, 1005, 1004  
700, 1000, 607, 608, 1005  
701, 504, 1001, 1006, 505

702, 1001, 1002, 1007, 1006  
703, 1002, 1003, 1008, 1007  
704, 1003, 1004, 1009, 1008  
705, 1004, 1005, 1010, 1009  
706, 1005, 608, 609, 1010  
707, 505, 1006, 1011, 506  
708, 1006, 1007, 1012, 1011  
709, 1007, 1008, 1013, 1012  
710, 1008, 1009, 1014, 1013  
711, 1009, 1010, 1015, 1014  
712, 1010, 609, 610, 1015  
713, 506, 1011, 1016, 507  
714, 1011, 1012, 1017, 1016  
715, 1012, 1013, 1018, 1017  
716, 1013, 1014, 1019, 1018  
717, 1014, 1015, 1020, 1019  
718, 1015, 610, 611, 1020  
719, 507, 1016, 1021, 508  
720, 1016, 1017, 1022, 1021  
721, 1017, 1018, 1023, 1022  
722, 1018, 1019, 1024, 1023  
723, 1019, 1020, 1025, 1024  
724, 1020, 611, 612, 1025  
725, 508, 1021, 1026, 509  
726, 1021, 1022, 1027, 1026  
727, 1022, 1023, 1028, 1027  
728, 1023, 1024, 1029, 1028  
729, 1024, 1025, 1030, 1029  
730, 1025, 612, 613, 1030  
731, 509, 1026, 1031, 510  
732, 1026, 1027, 1032, 1031  
733, 1027, 1028, 1033, 1032  
734, 1028, 1029, 1034, 1033  
735, 1029, 1030, 1035, 1034  
736, 1030, 613, 614, 1035  
737, 510, 1031, 1036, 511  
738, 1031, 1032, 1037, 1036  
739, 1032, 1033, 1038, 1037  
740, 1033, 1034, 1039, 1038  
741, 1034, 1035, 1040, 1039  
742, 1035, 614, 615, 1040  
743, 511, 1036, 1041, 512  
744, 1036, 1037, 1042, 1041  
745, 1037, 1038, 1043, 1042  
746, 1038, 1039, 1044, 1043  
747, 1039, 1040, 1045, 1044  
748, 1040, 615, 616, 1045  
749, 512, 1041, 1046, 513

750, 1041, 1042, 1047, 1046  
751, 1042, 1043, 1048, 1047  
752, 1043, 1044, 1049, 1048  
753, 1044, 1045, 1050, 1049  
754, 1045, 616, 617, 1050  
755, 513, 1046, 1051, 514  
756, 1046, 1047, 1052, 1051  
757, 1047, 1048, 1053, 1052  
758, 1048, 1049, 1054, 1053  
759, 1049, 1050, 1055, 1054  
760, 1050, 617, 618, 1055  
761, 514, 1051, 1056, 515  
762, 1051, 1052, 1057, 1056  
763, 1052, 1053, 1058, 1057  
764, 1053, 1054, 1059, 1058  
765, 1054, 1055, 1060, 1059  
766, 1055, 618, 619, 1060  
767, 515, 1056, 1061, 516  
768, 1056, 1057, 1062, 1061  
769, 1057, 1058, 1063, 1062  
770, 1058, 1059, 1064, 1063  
771, 1059, 1060, 1065, 1064  
772, 1060, 619, 620, 1065  
773, 516, 1061, 1066, 517  
774, 1061, 1062, 1067, 1066  
775, 1062, 1063, 1068, 1067  
776, 1063, 1064, 1069, 1068  
777, 1064, 1065, 1070, 1069  
778, 1065, 620, 621, 1070  
779, 517, 1066, 1071, 518  
780, 1066, 1067, 1072, 1071  
781, 1067, 1068, 1073, 1072  
782, 1068, 1069, 1074, 1073  
783, 1069, 1070, 1075, 1074  
784, 1070, 621, 622, 1075  
785, 518, 1071, 1076, 519  
786, 1071, 1072, 1077, 1076  
787, 1072, 1073, 1078, 1077  
788, 1073, 1074, 1079, 1078  
789, 1074, 1075, 1080, 1079  
790, 1075, 622, 623, 1080  
791, 519, 1076, 1081, 520  
792, 1076, 1077, 1082, 1081  
793, 1077, 1078, 1083, 1082  
794, 1078, 1079, 1084, 1083  
795, 1079, 1080, 1085, 1084  
796, 1080, 623, 624, 1085  
797, 520, 1081, 1086, 521

798, 1081, 1082, 1087, 1086  
799, 1082, 1083, 1088, 1087  
800, 1083, 1084, 1089, 1088  
801, 1084, 1085, 1090, 1089  
802, 1085, 624, 625, 1090  
803, 521, 1086, 1091, 522  
804, 1086, 1087, 1092, 1091  
805, 1087, 1088, 1093, 1092  
806, 1088, 1089, 1094, 1093  
807, 1089, 1090, 1095, 1094  
808, 1090, 625, 626, 1095  
809, 522, 1091, 1096, 523  
810, 1091, 1092, 1097, 1096  
811, 1092, 1093, 1098, 1097  
812, 1093, 1094, 1099, 1098  
813, 1094, 1095, 1100, 1099  
814, 1095, 626, 627, 1100  
815, 523, 1096, 1101, 524  
816, 1096, 1097, 1102, 1101  
817, 1097, 1098, 1103, 1102  
818, 1098, 1099, 1104, 1103  
819, 1099, 1100, 1105, 1104  
820, 1100, 627, 628, 1105  
821, 524, 1101, 1106, 525  
822, 1101, 1102, 1107, 1106  
823, 1102, 1103, 1108, 1107  
824, 1103, 1104, 1109, 1108  
825, 1104, 1105, 1110, 1109  
826, 1105, 628, 629, 1110  
827, 525, 1106, 1111, 526  
828, 1106, 1107, 1112, 1111  
829, 1107, 1108, 1113, 1112  
830, 1108, 1109, 1114, 1113  
831, 1109, 1110, 1115, 1114  
832, 1110, 629, 630, 1115  
833, 526, 1111, 1116, 527  
834, 1111, 1112, 1117, 1116  
835, 1112, 1113, 1118, 1117  
836, 1113, 1114, 1119, 1118  
837, 1114, 1115, 1120, 1119  
838, 1115, 630, 631, 1120  
839, 527, 1116, 1121, 528  
840, 1116, 1117, 1122, 1121  
841, 1117, 1118, 1123, 1122  
842, 1118, 1119, 1124, 1123  
843, 1119, 1120, 1125, 1124  
844, 1120, 631, 632, 1125  
845, 528, 1121, 1126, 529



846, 1121, 1122, 1127, 1126  
847, 1122, 1123, 1128, 1127  
848, 1123, 1124, 1129, 1128  
849, 1124, 1125, 1130, 1129  
850, 1125, 632, 633, 1130  
851, 529, 1126, 1131, 530  
852, 1126, 1127, 1132, 1131  
853, 1127, 1128, 1133, 1132  
854, 1128, 1129, 1134, 1133  
855, 1129, 1130, 1135, 1134  
856, 1130, 633, 634, 1135  
857, 530, 1131, 1136, 531  
858, 1131, 1132, 1137, 1136  
859, 1132, 1133, 1138, 1137  
860, 1133, 1134, 1139, 1138  
861, 1134, 1135, 1140, 1139  
862, 1135, 634, 635, 1140  
863, 531, 1136, 1141, 532  
864, 1136, 1137, 1142, 1141  
865, 1137, 1138, 1143, 1142  
866, 1138, 1139, 1144, 1143  
867, 1139, 1140, 1145, 1144  
868, 1140, 635, 636, 1145  
869, 532, 1141, 1146, 533  
870, 1141, 1142, 1147, 1146  
871, 1142, 1143, 1148, 1147  
872, 1143, 1144, 1149, 1148  
873, 1144, 1145, 1150, 1149  
874, 1145, 636, 637, 1150  
875, 533, 1146, 1151, 534  
876, 1146, 1147, 1152, 1151  
877, 1147, 1148, 1153, 1152  
878, 1148, 1149, 1154, 1153  
879, 1149, 1150, 1155, 1154  
880, 1150, 637, 638, 1155  
881, 534, 1151, 1156, 535  
882, 1151, 1152, 1157, 1156  
883, 1152, 1153, 1158, 1157  
884, 1153, 1154, 1159, 1158  
885, 1154, 1155, 1160, 1159  
886, 1155, 638, 639, 1160  
887, 535, 1156, 1161, 536  
888, 1156, 1157, 1162, 1161  
889, 1157, 1158, 1163, 1162  
890, 1158, 1159, 1164, 1163  
891, 1159, 1160, 1165, 1164  
892, 1160, 639, 640, 1165  
893, 536, 1161, 1166, 537

894, 1161, 1162, 1167, 1166  
895, 1162, 1163, 1168, 1167  
896, 1163, 1164, 1169, 1168  
897, 1164, 1165, 1170, 1169  
898, 1165, 640, 641, 1170  
899, 537, 1166, 1171, 538  
900, 1166, 1167, 1172, 1171  
901, 1167, 1168, 1173, 1172  
902, 1168, 1169, 1174, 1173  
903, 1169, 1170, 1175, 1174  
904, 1170, 641, 642, 1175  
905, 538, 1171, 1176, 539  
906, 1171, 1172, 1177, 1176  
907, 1172, 1173, 1178, 1177  
908, 1173, 1174, 1179, 1178  
909, 1174, 1175, 1180, 1179  
910, 1175, 642, 643, 1180  
911, 539, 1176, 1181, 540  
912, 1176, 1177, 1182, 1181  
913, 1177, 1178, 1183, 1182  
914, 1178, 1179, 1184, 1183  
915, 1179, 1180, 1185, 1184  
916, 1180, 643, 644, 1185  
917, 540, 1181, 1186, 541  
918, 1181, 1182, 1187, 1186  
919, 1182, 1183, 1188, 1187  
920, 1183, 1184, 1189, 1188  
921, 1184, 1185, 1190, 1189  
922, 1185, 644, 645, 1190  
923, 541, 1186, 1191, 542  
924, 1186, 1187, 1192, 1191  
925, 1187, 1188, 1193, 1192  
926, 1188, 1189, 1194, 1193  
927, 1189, 1190, 1195, 1194  
928, 1190, 645, 646, 1195  
929, 542, 1191, 1196, 543  
930, 1191, 1192, 1197, 1196  
931, 1192, 1193, 1198, 1197  
932, 1193, 1194, 1199, 1198  
933, 1194, 1195, 1200, 1199  
934, 1195, 646, 647, 1200  
935, 543, 1196, 1201, 544  
936, 1196, 1197, 1202, 1201  
937, 1197, 1198, 1203, 1202  
938, 1198, 1199, 1204, 1203  
939, 1199, 1200, 1205, 1204  
940, 1200, 647, 648, 1205  
941, 544, 1201, 1206, 545

942, 1201, 1202, 1207, 1206  
943, 1202, 1203, 1208, 1207  
944, 1203, 1204, 1209, 1208  
945, 1204, 1205, 1210, 1209  
946, 1205, 648, 649, 1210  
947, 545, 1206, 1211, 546  
948, 1206, 1207, 1212, 1211  
949, 1207, 1208, 1213, 1212  
950, 1208, 1209, 1214, 1213  
951, 1209, 1210, 1215, 1214  
952, 1210, 649, 650, 1215  
953, 546, 1211, 1216, 547  
954, 1211, 1212, 1217, 1216  
955, 1212, 1213, 1218, 1217  
956, 1213, 1214, 1219, 1218  
957, 1214, 1215, 1220, 1219  
958, 1215, 650, 651, 1220  
959, 547, 1216, 1221, 548  
960, 1216, 1217, 1222, 1221  
961, 1217, 1218, 1223, 1222  
962, 1218, 1219, 1224, 1223  
963, 1219, 1220, 1225, 1224  
964, 1220, 651, 652, 1225  
965, 548, 1221, 1226, 549  
966, 1221, 1222, 1227, 1226  
967, 1222, 1223, 1228, 1227  
968, 1223, 1224, 1229, 1228  
969, 1224, 1225, 1230, 1229  
970, 1225, 652, 653, 1230  
971, 549, 1226, 1231, 550  
972, 1226, 1227, 1232, 1231  
973, 1227, 1228, 1233, 1232  
974, 1228, 1229, 1234, 1233  
975, 1229, 1230, 1235, 1234  
976, 1230, 653, 654, 1235  
977, 550, 1231, 1236, 551  
978, 1231, 1232, 1237, 1236  
979, 1232, 1233, 1238, 1237  
980, 1233, 1234, 1239, 1238  
981, 1234, 1235, 1240, 1239  
982, 1235, 654, 655, 1240  
983, 551, 1236, 1241, 552  
984, 1236, 1237, 1242, 1241  
985, 1237, 1238, 1243, 1242  
986, 1238, 1239, 1244, 1243  
987, 1239, 1240, 1245, 1244  
988, 1240, 655, 656, 1245  
989, 552, 1241, 1246, 553

990, 1241, 1242, 1247, 1246  
991, 1242, 1243, 1248, 1247  
992, 1243, 1244, 1249, 1248  
993, 1244, 1245, 1250, 1249  
994, 1245, 656, 657, 1250  
995, 553, 1246, 1251, 554  
996, 1246, 1247, 1252, 1251  
997, 1247, 1248, 1253, 1252  
998, 1248, 1249, 1254, 1253  
999, 1249, 1250, 1255, 1254  
1000, 1250, 657, 658, 1255  
1001, 554, 1251, 1256, 555  
1002, 1251, 1252, 1257, 1256  
1003, 1252, 1253, 1258, 1257  
1004, 1253, 1254, 1259, 1258  
1005, 1254, 1255, 1260, 1259  
1006, 1255, 658, 659, 1260  
1007, 555, 1256, 1261, 556  
1008, 1256, 1257, 1262, 1261  
1009, 1257, 1258, 1263, 1262  
1010, 1258, 1259, 1264, 1263  
1011, 1259, 1260, 1265, 1264  
1012, 1260, 659, 660, 1265  
1013, 556, 1261, 1266, 557  
1014, 1261, 1262, 1267, 1266  
1015, 1262, 1263, 1268, 1267  
1016, 1263, 1264, 1269, 1268  
1017, 1264, 1265, 1270, 1269  
1018, 1265, 660, 661, 1270  
1019, 557, 1266, 1271, 558  
1020, 1266, 1267, 1272, 1271  
1021, 1267, 1268, 1273, 1272  
1022, 1268, 1269, 1274, 1273  
1023, 1269, 1270, 1275, 1274  
1024, 1270, 661, 662, 1275  
1025, 558, 1271, 1276, 559  
1026, 1271, 1272, 1277, 1276  
1027, 1272, 1273, 1278, 1277  
1028, 1273, 1274, 1279, 1278  
1029, 1274, 1275, 1280, 1279  
1030, 1275, 662, 663, 1280  
1031, 559, 1276, 1281, 560  
1032, 1276, 1277, 1282, 1281  
1033, 1277, 1278, 1283, 1282  
1034, 1278, 1279, 1284, 1283  
1035, 1279, 1280, 1285, 1284  
1036, 1280, 663, 664, 1285  
1037, 560, 1281, 1286, 561

1038, 1281, 1282, 1287, 1286  
1039, 1282, 1283, 1288, 1287  
1040, 1283, 1284, 1289, 1288  
1041, 1284, 1285, 1290, 1289  
1042, 1285, 664, 665, 1290  
1043, 561, 1286, 1291, 562  
1044, 1286, 1287, 1292, 1291  
1045, 1287, 1288, 1293, 1292  
1046, 1288, 1289, 1294, 1293  
1047, 1289, 1290, 1295, 1294  
1048, 1290, 665, 666, 1295  
1049, 562, 1291, 1296, 563  
1050, 1291, 1292, 1297, 1296  
1051, 1292, 1293, 1298, 1297  
1052, 1293, 1294, 1299, 1298  
1053, 1294, 1295, 1300, 1299  
1054, 1295, 666, 667, 1300  
1055, 563, 1296, 1301, 564  
1056, 1296, 1297, 1302, 1301  
1057, 1297, 1298, 1303, 1302  
1058, 1298, 1299, 1304, 1303  
1059, 1299, 1300, 1305, 1304  
1060, 1300, 667, 668, 1305  
1061, 564, 1301, 1306, 565  
1062, 1301, 1302, 1307, 1306  
1063, 1302, 1303, 1308, 1307  
1064, 1303, 1304, 1309, 1308  
1065, 1304, 1305, 1310, 1309  
1066, 1305, 668, 669, 1310  
1067, 565, 1306, 1311, 566  
1068, 1306, 1307, 1312, 1311  
1069, 1307, 1308, 1313, 1312  
1070, 1308, 1309, 1314, 1313  
1071, 1309, 1310, 1315, 1314  
1072, 1310, 669, 670, 1315  
1073, 566, 1311, 1316, 567  
1074, 1311, 1312, 1317, 1316  
1075, 1312, 1313, 1318, 1317  
1076, 1313, 1314, 1319, 1318  
1077, 1314, 1315, 1320, 1319  
1078, 1315, 670, 671, 1320  
1079, 567, 1316, 1321, 568  
1080, 1316, 1317, 1322, 1321  
1081, 1317, 1318, 1323, 1322  
1082, 1318, 1319, 1324, 1323  
1083, 1319, 1320, 1325, 1324  
1084, 1320, 671, 672, 1325  
1085, 568, 1321, 1326, 569

1086, 1321, 1322, 1327, 1326  
1087, 1322, 1323, 1328, 1327  
1088, 1323, 1324, 1329, 1328  
1089, 1324, 1325, 1330, 1329  
1090, 1325, 672, 673, 1330  
1091, 569, 1326, 1331, 570  
1092, 1326, 1327, 1332, 1331  
1093, 1327, 1328, 1333, 1332  
1094, 1328, 1329, 1334, 1333  
1095, 1329, 1330, 1335, 1334  
1096, 1330, 673, 674, 1335  
1097, 570, 1331, 1336, 571  
1098, 1331, 1332, 1337, 1336  
1099, 1332, 1333, 1338, 1337  
1100, 1333, 1334, 1339, 1338  
1101, 1334, 1335, 1340, 1339  
1102, 1335, 674, 675, 1340  
1103, 571, 1336, 680, 71  
1104, 1336, 1337, 679, 680  
1105, 1337, 1338, 678, 679  
1106, 1338, 1339, 677, 678  
1107, 1339, 1340, 676, 677  
1108, 1340, 675, 72, 676  
1109, 1, 95, 1341, 573  
1110, 95, 5, 456, 1341  
1111, 573, 1341, 1342, 574  
1112, 1341, 456, 455, 1342  
1113, 574, 1342, 1343, 575  
1114, 1342, 455, 454, 1343  
1115, 575, 1343, 1344, 576  
1116, 1343, 454, 453, 1344  
1117, 576, 1344, 1345, 577  
1118, 1344, 453, 452, 1345  
1119, 577, 1345, 1346, 578  
1120, 1345, 452, 451, 1346  
1121, 578, 1346, 1347, 579  
1122, 1346, 451, 450, 1347  
1123, 579, 1347, 1348, 580  
1124, 1347, 450, 449, 1348  
1125, 580, 1348, 1349, 581  
1126, 1348, 449, 448, 1349  
1127, 581, 1349, 1350, 582  
1128, 1349, 448, 65, 1350  
1129, 582, 1350, 1351, 583  
1130, 1350, 65, 417, 1351  
1131, 583, 1351, 1352, 584  
1132, 1351, 417, 416, 1352  
1133, 584, 1352, 1353, 585

1134, 1352, 416, 415, 1353  
1135, 585, 1353, 1354, 586  
1136, 1353, 415, 61, 1354  
1137, 586, 1354, 1355, 587  
1138, 1354, 61, 397, 1355  
1139, 587, 1355, 1356, 588  
1140, 1355, 397, 396, 1356  
1141, 588, 1356, 1357, 589  
1142, 1356, 396, 395, 1357  
1143, 589, 1357, 1358, 590  
1144, 1357, 395, 394, 1358  
1145, 590, 1358, 1359, 591  
1146, 1358, 394, 393, 1359  
1147, 591, 1359, 1360, 592  
1148, 1359, 393, 392, 1360  
1149, 592, 1360, 1361, 593  
1150, 1360, 392, 391, 1361  
1151, 593, 1361, 1362, 594  
1152, 1361, 391, 390, 1362  
1153, 594, 1362, 1363, 595  
1154, 1362, 390, 389, 1363  
1155, 595, 1363, 1364, 596  
1156, 1363, 389, 388, 1364  
1157, 596, 1364, 1365, 597  
1158, 1364, 388, 387, 1365  
1159, 597, 1365, 1366, 598  
1160, 1365, 387, 57, 1366  
1161, 598, 1366, 1367, 599  
1162, 1366, 57, 361, 1367  
1163, 599, 1367, 1368, 600  
1164, 1367, 361, 360, 1368  
1165, 600, 1368, 1369, 601  
1166, 1368, 360, 359, 1369  
1167, 601, 1369, 1370, 602  
1168, 1369, 359, 53, 1370  
1169, 602, 1370, 1371, 603  
1170, 1370, 53, 341, 1371  
1171, 603, 1371, 1372, 604  
1172, 1371, 341, 340, 1372  
1173, 604, 1372, 1373, 605  
1174, 1372, 340, 339, 1373  
1175, 605, 1373, 1374, 606  
1176, 1373, 339, 338, 1374  
1177, 606, 1374, 1375, 607  
1178, 1374, 338, 337, 1375  
1179, 607, 1375, 1376, 608  
1180, 1375, 337, 336, 1376  
1181, 608, 1376, 1377, 609

1182, 1376, 336, 335, 1377  
1183, 609, 1377, 1378, 610  
1184, 1377, 335, 334, 1378  
1185, 610, 1378, 1379, 611  
1186, 1378, 334, 333, 1379  
1187, 611, 1379, 1380, 612  
1188, 1379, 333, 332, 1380  
1189, 612, 1380, 1381, 613  
1190, 1380, 332, 331, 1381  
1191, 613, 1381, 1382, 614  
1192, 1381, 331, 49, 1382  
1193, 614, 1382, 1383, 615  
1194, 1382, 49, 305, 1383  
1195, 615, 1383, 1384, 616  
1196, 1383, 305, 304, 1384  
1197, 616, 1384, 1385, 617  
1198, 1384, 304, 303, 1385  
1199, 617, 1385, 1386, 618  
1200, 1385, 303, 45, 1386  
1201, 618, 1386, 1387, 619  
1202, 1386, 45, 285, 1387  
1203, 619, 1387, 1388, 620  
1204, 1387, 285, 284, 1388  
1205, 620, 1388, 1389, 621  
1206, 1388, 284, 283, 1389  
1207, 621, 1389, 1390, 622  
1208, 1389, 283, 282, 1390  
1209, 622, 1390, 1391, 623  
1210, 1390, 282, 281, 1391  
1211, 623, 1391, 1392, 624  
1212, 1391, 281, 280, 1392  
1213, 624, 1392, 1393, 625  
1214, 1392, 280, 279, 1393  
1215, 625, 1393, 1394, 626  
1216, 1393, 279, 278, 1394  
1217, 626, 1394, 1395, 627  
1218, 1394, 278, 277, 1395  
1219, 627, 1395, 1396, 628  
1220, 1395, 277, 276, 1396  
1221, 628, 1396, 1397, 629  
1222, 1396, 276, 275, 1397  
1223, 629, 1397, 1398, 630  
1224, 1397, 275, 41, 1398  
1225, 630, 1398, 1399, 631  
1226, 1398, 41, 249, 1399  
1227, 631, 1399, 1400, 632  
1228, 1399, 249, 248, 1400  
1229, 632, 1400, 1401, 633



1230, 1400, 248, 247, 1401  
1231, 633, 1401, 1402, 634  
1232, 1401, 247, 37, 1402  
1233, 634, 1402, 1403, 635  
1234, 1402, 37, 229, 1403  
1235, 635, 1403, 1404, 636  
1236, 1403, 229, 228, 1404  
1237, 636, 1404, 1405, 637  
1238, 1404, 228, 227, 1405  
1239, 637, 1405, 1406, 638  
1240, 1405, 227, 226, 1406  
1241, 638, 1406, 1407, 639  
1242, 1406, 226, 225, 1407  
1243, 639, 1407, 1408, 640  
1244, 1407, 225, 224, 1408  
1245, 640, 1408, 1409, 641  
1246, 1408, 224, 223, 1409  
1247, 641, 1409, 1410, 642  
1248, 1409, 223, 222, 1410  
1249, 642, 1410, 1411, 643  
1250, 1410, 222, 221, 1411  
1251, 643, 1411, 1412, 644  
1252, 1411, 221, 220, 1412  
1253, 644, 1412, 1413, 645  
1254, 1412, 220, 219, 1413  
1255, 645, 1413, 1414, 646  
1256, 1413, 219, 33, 1414  
1257, 646, 1414, 1415, 647  
1258, 1414, 33, 193, 1415  
1259, 647, 1415, 1416, 648  
1260, 1415, 193, 192, 1416  
1261, 648, 1416, 1417, 649  
1262, 1416, 192, 191, 1417  
1263, 649, 1417, 1418, 650  
1264, 1417, 191, 29, 1418  
1265, 650, 1418, 1419, 651  
1266, 1418, 29, 173, 1419  
1267, 651, 1419, 1420, 652  
1268, 1419, 173, 172, 1420  
1269, 652, 1420, 1421, 653  
1270, 1420, 172, 171, 1421  
1271, 653, 1421, 1422, 654  
1272, 1421, 171, 170, 1422  
1273, 654, 1422, 1423, 655  
1274, 1422, 170, 169, 1423  
1275, 655, 1423, 1424, 656  
1276, 1423, 169, 168, 1424  
1277, 656, 1424, 1425, 657

1278, 1424, 168, 167, 1425  
1279, 657, 1425, 1426, 658  
1280, 1425, 167, 166, 1426  
1281, 658, 1426, 1427, 659  
1282, 1426, 166, 165, 1427  
1283, 659, 1427, 1428, 660  
1284, 1427, 165, 164, 1428  
1285, 660, 1428, 1429, 661  
1286, 1428, 164, 163, 1429  
1287, 661, 1429, 1430, 662  
1288, 1429, 163, 25, 1430  
1289, 662, 1430, 1431, 663  
1290, 1430, 25, 137, 1431  
1291, 663, 1431, 1432, 664  
1292, 1431, 137, 136, 1432  
1293, 664, 1432, 1433, 665  
1294, 1432, 136, 135, 1433  
1295, 665, 1433, 1434, 666  
1296, 1433, 135, 21, 1434  
1297, 666, 1434, 1435, 667  
1298, 1434, 21, 123, 1435  
1299, 667, 1435, 1436, 668  
1300, 1435, 123, 122, 1436  
1301, 668, 1436, 1437, 669  
1302, 1436, 122, 121, 1437  
1303, 669, 1437, 1438, 670  
1304, 1437, 121, 120, 1438  
1305, 670, 1438, 1439, 671  
1306, 1438, 120, 119, 1439  
1307, 671, 1439, 1440, 672  
1308, 1439, 119, 20, 1440  
1309, 672, 1440, 1441, 673  
1310, 1440, 20, 681, 1441  
1311, 673, 1441, 1442, 674  
1312, 1441, 681, 682, 1442  
1313, 674, 1442, 1443, 675  
1314, 1442, 682, 683, 1443  
1315, 675, 1443, 684, 72  
1316, 1443, 683, 73, 684  
1317, 20, 19, 685, 681  
1318, 681, 685, 686, 682  
1319, 682, 686, 687, 683  
1320, 683, 687, 74, 73  
\*Nset, nset=COLUMNNA, generate  
1, 1443, 1  
\*Elset, elset=COLUMNNA, generate  
1, 1320, 1  
\*\* Section: ESPESOR-4MM

```

*Shell Section, elset=COLUMNNA, material=ACERO
0.004, 5
*End Instance
**
*Nset, nset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-1
 69, 71, 72, 73, 572, 676, 677, 678, 679, 680, 684
*Nset, nset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-2
 69, 71, 72, 73, 572, 676, 677, 678, 679, 680, 684
*Nset, nset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-4
 69, 70, 71, 72, 73, 74, 572, 676, 677, 678, 679, 680,
684
*Nset, nset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-3
 69, 70, 71, 72, 73, 74, 572, 676, 677, 678, 679, 680,
684
*Elset, elset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-1
 483, 484, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1315, 1316
*Elset, elset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-2
 483, 484, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1315, 1316
*Elset, elset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-4
 276, 483, 484, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1315,
1316, 1320
*Elset, elset=EMPOT, instance=COLUMNNA260LIBRE-3
 276, 483, 484, 1103, 1104, 1105, 1106, 1107, 1108, 1315,
1316, 1320
*Nset, nset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-1
 1, 4, 5, 7, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96
*Nset, nset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-2
 2, 3, 8, 10, 80, 81, 82, 83, 84, 101, 106
*Nset, nset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-4
 2, 3, 8, 10, 80, 81, 82, 83, 84, 101, 106
*Nset, nset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-3
 1, 4, 5, 7, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96
*Elset, elset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-1
 1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 38, 40, 42,
44, 46, 47, 48, 1109, 1110
*Elset, elset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-2
 6, 12, 18, 24, 30, 36, 49, 50, 51, 53, 55, 57,
59, 60, 277, 278
*Elset, elset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-4
 6, 12, 18, 24, 30, 36, 49, 50, 51, 53, 55, 57,
59, 60, 277, 278
*Elset, elset=JUNSLAVCOL, instance=COLUMNNA260LIBRE-3
1, 7, 13, 19, 25, 31, 37, 38, 40, 42,
44, 46, 47, 48, 1109, 1110
*Nset, nset=JUNTAMASVIGA, instance=VIGA450LIBRE-1
 90, 91, 93, 95, 96, 97, 98, 99, 723, 903,
904, 905, 906, 907, 908, 1088
1089, 1090, 1091, 1092, 1093, 1097

```

```

*Nset, nset=JUNTAMASVIGA, instance=VIGA450LIBRE-2
  90,  91,  93,  95,  96,  97,  98,  99, 723, 903,
904, 905, 906, 907, 908, 1088
 1089, 1090, 1091, 1092, 1093, 1097
*Elset, elset=JUNTAMASVIGA, instance=VIGA450LIBRE-1
  357, 358, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722,
1791, 1792, 1793, 1794, 1795, 1796
 1797, 1798, 2155, 2156
*Elset, elset=JUNTAMASVIGA, instance=VIGA450LIBRE-2
357, 358, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722,
1791, 1792, 1793, 1794, 1795, 1796
 1797, 1798, 2155, 2156
*Nset, nset=MASTER, instance=COLUMNA260LIBRE-1
  6,  7,  9, 10, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 28, 29,
32, 33, 36, 37
 40, 41, 44, 45, 48, 49, 52, 53, 56, 57, 60, 61,
64, 65, 69, 73
 98, 99, 100, 103, 104, 105, 132, 133, 134, 135, 136, 137,
188, 189, 190, 191
 192, 193, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 300, 301, 302, 303,
304, 305, 356, 357
 358, 359, 360, 361, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 463, 464,
465, 681, 682, 683
*Nset, nset=MASTER, instance=COLUMNA260LIBRE-2
  6,  7,  9, 10, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 28, 29,
32, 33, 36, 37
 40, 41, 44, 45, 48, 49, 52, 53, 56, 57, 60, 61,
64, 65, 69, 73
 98, 99, 100, 103, 104, 105, 132, 133, 134, 135, 136, 137,
188, 189, 190, 191
 192, 193, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 300, 301, 302, 303,
304, 305, 356, 357
 358, 359, 360, 361, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 463, 464,
465, 681, 682, 683
*Nset, nset=MASTER, instance=VIGA450LIBRE-1
  1,  4,  6,  7, 10, 11, 14, 15, 18, 19,
22, 23, 26, 27, 30, 31
 34, 35, 38, 39, 42, 43, 46, 47, 50, 51,
54, 55, 58, 59, 62, 63
 65, 68, 70, 71, 74, 75, 78, 79, 82, 83,
86, 87, 90, 91, 93, 99
 148, 149, 150, 151, 152, 153, 204, 205, 206, 207,
208, 209, 260, 261, 262, 263
 264, 265, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 372, 373,
374, 375, 376, 377, 428, 429
 430, 431, 432, 433, 484, 485, 486, 487, 488, 489,
537, 538, 539, 546, 547, 548

```

596, 597, 598, 599, 600, 601, 652, 653, 654, 655,  
 656, 657, 708, 709, 710, 711  
 712, 713, 717, 718, 719, 1094, 1095, 1096  
 \*Elset, elset=MASTER, instance=COLUMNA260LIBRE-1  
 41, 43, 45, 47, 54, 56, 58, 60, 77, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84  
 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 141, 142,  
 143, 144, 145, 146, 147, 148  
 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 205, 206,  
 207, 208, 209, 210, 211, 212  
 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 265, 266,  
 267, 268, 269, 270, 271, 272  
 273, 274, 275, 276, 297, 299, 301, 303, 329, 331,  
 333, 335, 361, 363, 365, 367  
 393, 395, 397, 399, 425, 427, 429, 431, 457, 459,  
 461, 463, 477, 479, 481, 483  
 1130, 1132, 1134, 1136, 1162, 1164, 1166, 1168, 1194, 1196,  
 1198, 1200, 1226, 1228, 1230, 1232  
 1258, 1260, 1262, 1264, 1290, 1292, 1294, 1296, 1310, 1312,  
 1314, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320  
 \*Elset, elset=MASTER, instance=COLUMNA260LIBRE-2  
 41, 43, 45, 47, 54, 56, 58, 60, 77, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84  
 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 141, 142,  
 143, 144, 145, 146, 147, 148  
 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 205, 206,  
 207, 208, 209, 210, 211, 212  
 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 265, 266,  
 267, 268, 269, 270, 271, 272  
 273, 274, 275, 276, 297, 299, 301, 303, 329, 331,  
 333, 335, 361, 363, 365, 367  
 393, 395, 397, 399, 425, 427, 429, 431, 457, 459,  
 461, 463, 477, 479, 481, 483  
 1130, 1132, 1134, 1136, 1162, 1164, 1166, 1168, 1194, 1196,  
 1198, 1200, 1226, 1228, 1230, 1232  
 1258, 1260, 1262, 1264, 1290, 1292, 1294, 1296, 1310, 1312,  
 1314, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320  
 \*Elset, elset=MASTER, instance=VIGA450LIBRE-1  
 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 57, 58,  
 59, 60, 61, 62, 63, 64  
 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 121, 122,  
 123, 124, 125, 126, 127, 128  
 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 185, 186,  
 187, 188, 189, 190, 191, 192  
 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 249, 250,  
 251, 252, 253, 254, 255, 256  
 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 313, 314,  
 315, 316, 317, 318, 319, 320

345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354,  
 355, 356, 357, 359, 361, 363  
 389, 391, 393, 395, 421, 423, 425, 427, 453, 455,  
 457, 459, 485, 487, 489, 491  
 517, 519, 521, 523, 549, 551, 553, 555, 581, 583,  
 585, 587, 613, 615, 617, 619  
 645, 647, 649, 651, 677, 679, 681, 683, 709, 711,  
 713, 715, 1798, 1800, 1802, 1804  
 1830, 1832, 1834, 1836, 1862, 1864, 1866, 1868, 1894, 1896,  
 1898, 1900, 1926, 1928, 1930, 1932  
 1958, 1960, 1962, 1964, 1990, 1992, 1994, 1996, 2022, 2024,  
 2026, 2028, 2054, 2056, 2058, 2060  
 2086, 2088, 2090, 2092, 2118, 2120, 2122, 2124, 2150, 2152,  
 2154, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160  
 \*Nset, nset=SLAVE, instance=COLUMNA260LIBRE-3  
 6, 7, 9, 10, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 28, 29,  
 32, 33, 36, 37  
 40, 41, 44, 45, 48, 49, 52, 53, 56, 57, 60, 61,  
 64, 65, 69, 73  
 98, 99, 100, 103, 104, 105, 132, 133, 134, 135, 136, 137,  
 188, 189, 190, 191  
 192, 193, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 300, 301, 302, 303,  
 304, 305, 356, 357  
 358, 359, 360, 361, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 463, 464,  
 465, 681, 682, 683  
 \*Nset, nset=SLAVE, instance=COLUMNA260LIBRE-4  
 6, 7, 9, 10, 15, 18, 20, 21, 24, 25, 28, 29,  
 32, 33, 36, 37  
 40, 41, 44, 45, 48, 49, 52, 53, 56, 57, 60, 61,  
 64, 65, 69, 73  
 98, 99, 100, 103, 104, 105, 132, 133, 134, 135, 136, 137,  
 188, 189, 190, 191  
 192, 193, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 300, 301, 302, 303,  
 304, 305, 356, 357  
 358, 359, 360, 361, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 463, 464,  
 465, 681, 682, 683  
 \*Nset, nset=SLAVE, instance=VIGA450LIBRE-2  
 1, 4, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 18, 19,  
 22, 23, 26, 27, 30, 31  
 34, 35, 38, 39, 42, 43, 46, 47, 50, 51,  
 54, 55, 58, 59, 62, 63  
 65, 68, 70, 71, 74, 75, 78, 79, 82, 83,  
 86, 87, 90, 91, 93, 99  
 148, 149, 150, 151, 152, 153, 204, 205, 206, 207,  
 208, 209, 260, 261, 262, 263  
 264, 265, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 372, 373,  
 374, 375, 376, 377, 428, 429

430, 431, 432, 433, 484, 485, 486, 487, 488, 489,  
 537, 538, 539, 546, 547, 548  
 596, 597, 598, 599, 600, 601, 652, 653, 654, 655,  
 656, 657, 708, 709, 710, 711  
 712, 713, 717, 718, 719, 1094, 1095, 1096  
 \*Elset, elset=SLAVE, instance=COLUMNA260LIBRE-3  
 41, 43, 45, 47, 54, 56, 58, 60, 77, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84  
 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 141, 142,  
 143, 144, 145, 146, 147, 148  
 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 205, 206,  
 207, 208, 209, 210, 211, 212  
 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 265, 266,  
 267, 268, 269, 270, 271, 272  
 273, 274, 275, 276, 297, 299, 301, 303, 329, 331,  
 333, 335, 361, 363, 365, 367  
 393, 395, 397, 399, 425, 427, 429, 431, 457, 459,  
 461, 463, 477, 479, 481, 483  
 1130, 1132, 1134, 1136, 1162, 1164, 1166, 1168, 1194, 1196,  
 1198, 1200, 1226, 1228, 1230, 1232  
 1258, 1260, 1262, 1264, 1290, 1292, 1294, 1296, 1310, 1312,  
 1314, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320  
 \*Elset, elset=SLAVE, instance=COLUMNA260LIBRE-4  
 41, 43, 45, 47, 54, 56, 58, 60, 77, 78,  
 79, 80, 81, 82, 83, 84  
 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 141, 142,  
 143, 144, 145, 146, 147, 148  
 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 205, 206,  
 207, 208, 209, 210, 211, 212  
 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 265, 266,  
 267, 268, 269, 270, 271, 272  
 273, 274, 275, 276, 297, 299, 301, 303, 329, 331,  
 333, 335, 361, 363, 365, 367  
 393, 395, 397, 399, 425, 427, 429, 431, 457, 459,  
 461, 463, 477, 479, 481, 483  
 1130, 1132, 1134, 1136, 1162, 1164, 1166, 1168, 1194, 1196,  
 1198, 1200, 1226, 1228, 1230, 1232  
 1258, 1260, 1262, 1264, 1290, 1292, 1294, 1296, 1310, 1312,  
 1314, 1316, 1317, 1318, 1319, 1320  
 \*Elset, elset=SLAVE, instance=VIGA450LIBRE-2  
 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 57, 58,  
 59, 60, 61, 62, 63, 64  
 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 121, 122,  
 123, 124, 125, 126, 127, 128  
 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 185, 186,  
 187, 188, 189, 190, 191, 192  
 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 249, 250,  
 251, 252, 253, 254, 255, 256

```

281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 313, 314,
315, 316, 317, 318, 319, 320
345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354,
355, 356, 357, 359, 361, 363
389, 391, 393, 395, 421, 423, 425, 427, 453, 455,
457, 459, 485, 487, 489, 491
517, 519, 521, 523, 549, 551, 553, 555, 581, 583,
585, 587, 613, 615, 617, 619
645, 647, 649, 651, 677, 679, 681, 683, 709, 711,
713, 715, 1798, 1800, 1802, 1804
1830, 1832, 1834, 1836, 1862, 1864, 1866, 1868, 1894, 1896,
1898, 1900, 1926, 1928, 1930, 1932
1958, 1960, 1962, 1964, 1990, 1992, 1994, 1996, 2022, 2024,
2026, 2028, 2054, 2056, 2058, 2060
2086, 2088, 2090, 2092, 2118, 2120, 2122, 2124, 2150, 2152,
2154, 2156, 2157, 2158, 2159, 2160
*Nset, nset=Set-5, instance=VIGA450LIBRE-2
46,
*Nset, nset=Set-7, instance=COLUMNA260LIBRE-4
7,
*Elset, elset=_DEADLOAD_SNEG, internal,
instance=VIGA450LIBRE-1, generate
1797, 2156, 1
*Elset, elset=_DEADLOAD_SNEG, internal,
instance=VIGA450LIBRE-2, generate
357, 716, 1
*Surface, type=ELEMENT, name=DEADLOAD
_DEADLOAD_SNEG, SNEG
*Elset, elset=_LATERAL_SNEG, internal,
instance=COLUMNA260LIBRE-1, generate
49, 60, 1
*Elset, elset=_LATERAL_SNEG, internal,
instance=COLUMNA260LIBRE-4, generate
37, 48, 1
*Surface, type=ELEMENT, name=LATERAL
_LATERAL_SNEG, SNEG
*Surface, type=NODE, name=MASTER_CNS_, internal
MASTER, 1.
*Surface, type=NODE, name=SLAVE_CNS_, internal
SLAVE, 1.
*Surface, type=NODE, name=JUNTAMASVIGA_CNS_, internal
JUNTAMASVIGA, 1.
*Surface, type=NODE, name=JUNSLAVCOL_CNS_, internal
JUNSLAVCOL, 1.
** Constraint: SOLDADURACAJON
*Tie, name=SOLDADURACAJON, adjust=yes
SLAVE_CNS_, MASTER_CNS_
** Constraint: VIGATOCOLUMNA

```



```
*Tie, name=VIGATOCOLUMNA, adjust=yes
JUNSLAVCOL_CNS_, JUNTAMASVIGA_CNS_
*End Assembly
```

```
**
```

```
** MATERIALS
```

```
**
```

```
*Material, name=ACERO
```

```
*Elastic
```

```
2.1e+11, 0.3
```

```
*Plastic
```

```
1.7e+08, 0.
```

```
1.8e+08, 0.00172059
```

```
1.9e+08, 0.00382968
```

```
2e+08, 0.00638979
```

```
2.1e+08, 0.00946948
```

```
2.2e+08, 0.0131437
```

```
2.3e+08, 0.0174938
```

```
2.4e+08, 0.0226081
```

```
2.5e+08, 0.0285818
```

```
2.6e+08, 0.0355176
```

```
2.7e+08, 0.0435253
```

```
2.8e+08, 0.0527227
```

```
2.9e+08, 0.0632354
```

```
3e+08, 0.0751973
```

```
3.1e+08, 0.0887505
```

```
3.2e+08, 0.104046
```

```
3.3e+08, 0.121243
```

```
3.4e+08, 0.140511
```

```
3.5e+08, 0.162026
```

```
3.6e+08, 0.185978
```

```
3.7e+08, 0.212562
```

```
3.8e+08, 0.241986
```

```
3.9e+08, 0.274466
```

```
4e+08, 0.31023
```

```
4.1e+08, 0.349516
```

```
4.2e+08, 0.392572
```

```
4.3e+08, 0.439658
```

```
4.4e+08, 0.491043
```

```
4.5e+08, 0.547011
```

```
4.6e+08, 0.607854
```

```
4.7e+08, 0.673878
```

```
4.8e+08, 0.745398
```

```
4.9e+08, 0.822746
```

```
5e+08, 0.906261
```

```
5.1e+08, 0.996298
```

```
**
```

```
-----
```

```
**
```

```

** STEP: ESTATICONL
**
*Step, name=ESTATICONL, nlgeom=YES
*Static
0.05, 1., 1e-05, 0.05
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: EMPOTRAMIENTO Type: Displacement/Rotation
*Boundary
EMPOT, 1, 1
EMPOT, 2, 2
EMPOT, 3, 3
EMPOT, 4, 4
EMPOT, 5, 5
EMPOT, 6, 6
**
** LOADS
**
** Name: DEAD LOAD Type: Pressure
*Dload
DEADLOAD, P, -94685.
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=0
**
** FIELD OUTPUT: F-Output-1
**
*Output, field, variable=PRESELECT
**
** HISTORY OUTPUT: H-Output-1
**
*Output, history
*Element Output
IRA1, IRA2, IRA3, IRAR1, IRAR2, IRAR3, IRF1, IRF2, IRF3,
IRM1, IRM2, IRM3
*Energy Output
ALLAE, ALLCD, ALLDMD, ALLEE, ALLFD, ALLIE, ALLJD, ALLKE,
ALLKL, ALLPD, ALLQB, ALLSD, ALLSE, ALLVD, ALLWK, ETOTAL
*End Step
** -----
-----
**
** STEP: Step-2
**
*Step, name=Step-2, nlgeom=YES, inc=1000
*Static, riks

```

```
0.05, 1., 1e-05, 0.5, , Set-7, 1, 1.
**
** BOUNDARY CONDITIONS
**
** Name: EMPOTRAMIENTO Type: Displacement/Rotation
*Boundary
**
** LOADS
**
** Name: LATERAL Type: Pressure
*Dload
LATERAL, P, 729600.
**
** OUTPUT REQUESTS
**
*Restart, write, frequency=0
**
** FIELD OUTPUT: F-Output-1
**
*Output, field, variable=PRESELECT
**
** HISTORY OUTPUT: H-Output-1
**
*Output, history
*Element Output
IRA1, IRA2, IRA3, IRAR1, IRAR2, IRAR3, IRF1, IRF2, IRF3,
IRM1, IRM2, IRM3
*Energy Output
ALLAE, ALLCD, ALLDMD, ALLEE, ALLFD, ALLIE, ALLJD, ALLKE,
ALLKL, ALLPD, ALLQB, ALLSD, ALLSE, ALLVD, ALLWK, ETOTAL
*End Step
```