

# **“PROPUESTA DE CONEXIÓN PARA PILOTES HINCADOS”**

**JHON FREDY PEDRAZA GARCÍA**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS**

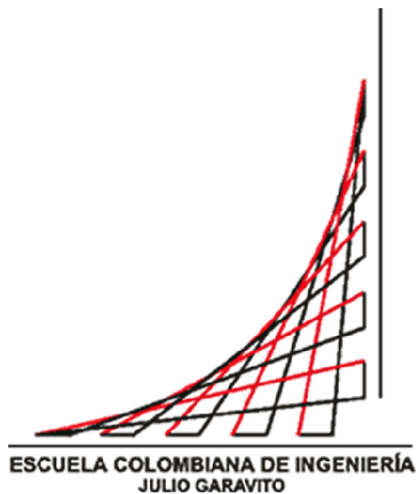
**CENTRO DE ESTUDIOS DE ESTRUCTURAS, MATERIALES Y  
CONSTRUCCIÓN**

**BOGOTÁ D.C.**

**2014**

# **“PROPUESTA DE CONEXIÓN PARA PILOTES HINCADOS”**

**Ing. JHON FREDY PEDRAZA GARCÍA**



**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS**

**CENTRO DE ESTUDIOS DE ESTRUCTURAS, MATERIALES Y  
CONSTRUCCIÓN**

**BOGOTÁ D.C.**

**2014**

**“PROPUESTA DE CONEXIÓN PARA PILOTES HINCADOS”**

**JHON FREDY PEDRAZA GARCÍA**

**Proyecto final para optar al título de  
Especialista en Estructuras**

**Director:**

**NANCY TORRES CASTELLANOS**

**Ingeniero Civil, M.Sc.**

**Asesores:**

**JAIME ERASMO GARZÓN ROMERO  
Ingeniero Civil**

**PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA**

**Ingeniero Civil, M.Sc., Ph.D.**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROGRAMA DE ESPECIALIZACIÓN EN ESTRUCTURAS**

**BOGOTÁ D.C.**

**2014**

Bogotá, Junio 16 de 2014

Ingeniero

PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA

Director

Programa de Especialización de Estructuras

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

La Ciudad

Respetado Ingeniero:

Por medio del siguiente documento, me permito presentar el informe del proyecto final de especialización denominado “Propuesta de conexión para pilotes hincados”, que fue realizado por el aspirante a título de Especialista Jhon Fredy Pedraza García con c.c. 80.029.543 de Bogotá, y dirigido por la Ingeniera Nancy Torrez Castellanos.

Cordialmente,

---

Ing. Jhon Fredy Pedraza García

Aspirante al título

---

Ing. Nancy Torres Castellanos

Director del Proyecto

## **NOTA DE ACEPTACIÓN:**

El proyecto de grado denominado  
“Propuesta de conexión para pilotes  
hincados” presentado para optar al Título  
de Especialista en Estructuras otorgado  
por la Escuela Colombiana de Ingeniería,  
cumple con los requisitos establecidos y  
recibe nota aprobatoria.

---

Ing. Nancy Torrez Castellanos

Director del Proyecto

Bogotá, 16 de Junio de 2014

*(Dedicatoria o lema)*

*A toda mi familia que siempre me ha apoyado en todos los caminos que he transitado. A mis padres que han sobrepasado todas las adversidades que el destino les ha puesto para ver a sus hijos y sus nietos convertirse en personas de bien que ayudaran a hacer de este un país próspero y en paz.*

## **Agradecimientos**

A la ingeniera Nancy Torres Castellanos, por el apoyo y colaboración que brindo para el desarrollo de este proyecto, ofreciéndome su amistad y conocimiento.

Al Ingeniero Jaime Erasmo Garzón Romero, por su ayuda incondicional en todo momento, su gran paciencia y amor por transmitir los conocimientos fundamentales de la ingeniería estructural.

# Tabla de Contenido

<b>Introducción</b> .....	<b>16</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>18</b>
<b>1. Marco Teórico</b> .....	<b>19</b>
1.1 Pilotes prefabricados de concreto armado .....	19
1.1.1 Pilotes prefabricados empalmables tipo Herkules.....	23
1.1.2 Pilotes prefabricados empalmables tipo Terratest.....	24
<b>2. Programa experimental</b> .....	<b>27</b>
2.1 Elección de la conexión .....	27
2.1.1 Diseño experimental conexión No. 1 .....	27
2.1.2 Diseño experimental conexión No. 2.....	32
2.1.3 Diseño experimental conexión No. 3.....	38
2.1.4 Selección de conexión definitiva.....	43
<b>3. Resultado experimental</b> .....	<b>44</b>
3.1 Ensayo a tensión .....	44
3.1.1 Modelo número 1 para ensayo a tensión .....	44
• Análisis de la falla modelo número 1 .....	58
3.1.2 Modelo número 2 para ensayo a tensión .....	60
• Análisis de la falla modelo número 2 .....	81
3.1.3 Modelo número 3 para ensayo a tensión .....	81
• Análisis de la falla modelo número 3 .....	99
3.1.4 Modelo número 4 para ensayo a tensión .....	101
• Análisis de la falla modelo número 4 .....	116
3.2 Ensayo a corte .....	117
3.2.1 Modelo número 1 para ensayo a corte .....	118
• Análisis de la falla modelo número 1 corte .....	131
3.3 Ensayo a flexión .....	132
3.3.1 Modelo número 1 para ensayo a flexión .....	134
• Desarrollo ensayo modelo número 1 flexión.....	149
• Resultado ensayo modelo número 1 flexión.....	150
• Análisis de la falla modelo número 1 flexión .....	155
<b>4. Modelación Matemática</b> .....	<b>156</b>
4.1 Modelación matemática del ensayo 1 a tensión .....	156
4.1.1 Descripción del modelo matemático 1 a tensión .....	156
4.1.2 Montaje del modelo matemático 1 a tensión.....	158
4.1.3 Resultados del modelo matemático 1 a tensión .....	159
4.1.4 Análisis de resultados del modelo matemático 1 a tensión.....	160
4.2 Modelación matemática del ensayo 2 a tensión .....	161
4.2.1 Descripción del modelo matemático 2 a tensión .....	161
4.2.2 Montaje del modelo matemático 2 a tensión.....	162
4.2.3 Resultados del modelo matemático 2 a tensión .....	163



4.2.4	Análisis de resultados del modelo matemático 2 a tensión .....	164
4.3	Modelación matemática del ensayo 3 a tensión .....	165
4.3.1	Descripción del modelo matemático 3 a tensión .....	165
4.3.2	Resultados del modelo matemático 3 a tensión .....	167
4.3.3	Análisis de resultados del modelo matemático 3 a tensión .....	168
4.4	Modelación matemática del ensayo 4 a tensión .....	169
4.4.1	Descripción del modelo matemático 4 a tensión .....	169
4.4.2	Resultados del modelo matemático 4 a tensión .....	170
4.4.3	Análisis de resultados del modelo matemático 4 a tensión .....	172
4.5	Modelación matemática del ensayo 1 a corte .....	172
4.5.1	Descripción del modelo matemático 1 a corte.....	172
4.5.2	Montaje del modelo matemático 1 a corte.....	173
4.5.3	Resultados del modelo matemático 1 a corte .....	174
4.5.4	Análisis de resultados del modelo matemático 1 a corte.....	176
4.6	Modelación matemática del ensayo 1 a flexión .....	176
4.6.1	Descripción del modelo matemático 1 a flexión.....	176
4.6.2	Montaje del modelo matemático 1 a flexión.....	177
4.6.3	Resultados del modelo matemático 1 a flexión .....	178
4.6.4	Análisis de resultados del modelo matemático 1 a flexión.....	182
<b>5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>183</b>
	<b>Bibliografía.....</b>	<b>186</b>
	<b>Anexo: Ensayo de flexión UNE-EN 12794:2006+A1 .....</b>	<b>187</b>
<b>A.</b>	<b>Anexo: Simbolización de soldaduras.....</b>	<b>190</b>

## Lista de figuras

Figura 1-1. Secciones de pilotes de concreto armado.....	19
Figura 1-2. Pilote longitud fija. ....	20
Figura 1-3. Pilote longitud variable.....	21
Figura 1-4. Distintos tipos de juntas entre pilotes empalmables. ....	22
Figura 1-5. Punta tipo Oslo.....	23
Figura 1-6. Conexión tipo Terratest. ....	26
Figura 2-1. Geometría de la conexión No 1.....	28
Figura 2-2. Cálculo área bruta y neta conexión No 1. ....	29
Figura 2-3. Detalle orificio del perno .....	30
Figura 2-4. Calculo áreas en el bloque de cortante conexión No 1. ....	31
Figura 2-5. Geometría de la conexión No 2. ....	34
Figura 2-6. Calculo área bruta y neta conexión No 2. ....	35
Figura 2-7. Calculo áreas en el bloque de cortante conexión No 2. ....	36
Figura 2-8. Geometría de la conexión superior No 3.....	39
Figura 2-9. Geometría de la conexión inferior No 3.....	39
Figura 2-10. Calculo área bruta y neta conexión No 3. ....	40
Figura 2-11. Calculo áreas en el bloque de cortante conexión No 3. ....	41
Figura 3-1. Detalle despiece pieza No.1 modelo 1 tensión. ....	44
Figura 3-2. Detalle despiece pieza No.2 modelo 1 tensión. ....	45
Figura 3-3. Detalle despiece pieza No.3 modelo 1 tensión. ....	46
Figura 3-4. Detalle despiece pieza No.4 modelo 1 tensión. ....	47
Figura 3-5. Detalle despiece pieza No.5 modelo 1 tensión. ....	48
Figura 3-6. Detalle despiece pieza No.6 modelo 1 tensión. ....	49
Figura 3-7. Detalle despiece pieza No.7 modelo 1 tensión. ....	50
Figura 3-8. Detalle despiece pieza No.8 modelo 1 tensión. ....	50
Figura 3-9. Detalle perno, pieza No.9 modelo 1 tensión.....	51
Figura 3-10. Detalle despiece conexión inferior modelo No.1. ....	53
Figura 3-11. Detalle despiece conexión superior modelo No.1. ....	54
Figura 3-12. Detalle conexión completa modelo No.1. ....	55
Figura 3-13. Detalle despiece pieza No.1 modelo 2 tensión.....	61
Figura 3-14. Detalle despiece pieza No.2 modelo 2 tensión.....	62
Figura 3-15. Detalle despiece pieza No.3 modelo 2 tensión.....	63
Figura 3-16. Detalle despiece pieza No.4 modelo 2 tensión.....	64
Figura 3-17. Detalle despiece pieza No.5 modelo 2 tensión.....	65
Figura 3-18. Detalle despiece pieza No.6 modelo 2 tensión.....	66
Figura 3-19. Detalle despiece pieza No.7 modelo 2 tensión.....	67
Figura 3-20. Detalle despiece pieza No.8 modelo 2 tensión.....	68
Figura 3-21. Detalle despiece pieza No.9 modelo 2 tensión.....	69
Figura 3-22. Detalle despiece pieza No.10 modelo 2 tensión.....	70
Figura 3-23. Detalle despiece pieza No.11 modelo 2 tensión.....	70

Figura 3-24. Detalle perno, pieza No.12 modelo 1 tensión.....	71
Figura 3-25. Detalle despiece piezas de armado de la conexión inferior modelo No 2. .....	73
Figura 3-26. Detalle despiece de los elementos netos de la conexión No 2.....	74
Figura 3-27. Detalle despiece conexión superior modelo No 2. ....	75
Figura 3-28. Detalle conexión completa modelo No 2.....	76
Figura 3-29. Detalle despiece pieza No.1 modelo 3 tensión. ....	81
Figura 3-30. Detalle despiece pieza No.2 modelo 3 tensión. ....	82
Figura 3-31. Detalle despiece pieza No.3 modelo 3 tensión. ....	83
Figura 3-32. Detalle despiece pieza No.4 modelo 3 tensión. ....	84
Figura 3-33. Detalle despiece pieza No.5 modelo 3 tensión. ....	85
Figura 3-34. Detalle despiece pieza No.6 modelo 3 tensión. ....	86
Figura 3-35. Detalle despiece pieza No.7 modelo 3 tensión. ....	87
Figura 3-36. Detalle despiece pieza No.8 modelo 3 tensión. ....	88
Figura 3-37. Detalle despiece pieza No.9 modelo 3 tensión. ....	89
Figura 3-38. Detalle despiece pieza No.10 modelo 3 tensión.....	90
Figura 3-39. Detalle despiece pieza No.11 modelo 3 tensión.....	91
Figura 3-40. Detalle despiece pieza No.12 modelo 3 tensión.....	91
Figura 3-41. Detalle despiece pieza No.13 modelo 3 tensión.....	92
Figura 3-42. Detalle despiece piezas de armado de la conexión inferior modelo No 3. .....	93
Figura 3-43. Detalle despiece de los elementos netos de la conexión No 3.....	94
Figura 3-44. Detalle despiece conexión superior modelo No 3. ....	95
Figura 3-45. Detalle conexión completa modelo No 3.....	96
Figura 3-46. Detalle despiece pieza No.1 modelo 4 tensión. ....	101
Figura 3-47. Detalle despiece pieza No.2 modelo 4 tensión. ....	102
Figura 3-48. Detalle despiece pieza No.3 modelo 4 tensión. ....	103
Figura 3-49. Detalle despiece pieza No.4 modelo 4 tensión. ....	104
Figura 3-50. Detalle despiece pieza No.5 modelo 4 tensión. ....	105
Figura 3-51. Detalle despiece pieza No.6 modelo 4 tensión. ....	106
Figura 3-52. Detalle despiece pieza No.7 modelo 4 tensión. ....	107
Figura 3-53. Detalle despiece pieza No.8 modelo 4 tensión. ....	107
Figura 3-54. Detalle despiece pieza No.9 modelo 4 tensión. ....	108
Figura 3-55. Detalle despiece pieza No.10 modelo 4 tensión.....	109
Figura 3-56. Detalle despiece pieza No.11 modelo 4 tensión.....	109
Figura 3-57. Detalle despiece pieza No.12 modelo 4 tensión.....	110
Figura 3-58. Detalle despiece pieza No.13 modelo 4 tensión.....	110
Figura 3-59. Detalle despiece piezas de armado de la conexión inferior modelo No 4. .....	111
Figura 3-60. Detalle despiece de los elementos netos de la conexión No 4.....	112
Figura 3-61. Detalle despiece conexión superior modelo No 4. ....	113
Figura 3-62. Detalle conexión completa modelo No 4.....	114

Figura 3-63. Diagrama modelo ensayo a corte No 1.....	117
Figura 3-64. Detalle despiece pieza No.1 modelo 1 corte.....	118
Figura 3-65. Detalle despiece pieza No.2 modelo 1 corte.....	119
Figura 3-66. Detalle despiece pieza No.3 modelo 1 corte.....	120
Figura 3-67. Detalle despiece pieza No.4 modelo 1 corte.....	121
Figura 3-68. Detalle despiece pieza No.5 modelo 1 corte.....	122
Figura 3-69. Detalle despiece pieza No.6 modelo 1 corte.....	122
Figura 3-70. Detalle despiece pieza No.7 modelo 1 corte.....	123
Figura 3-71. Detalle despiece pieza No.8 modelo 1 corte.....	124
Figura 3-72. Detalle despiece conexión inferior modelo No.1 corte.....	125
Figura 3-73. Detalle despiece conexión superior modelo No.1 corte.....	126
Figura 3-74. Detalle conexión completa modelo No.1 corte.....	127
Figura 3-75. Medición de la separación $v_0$ entre las dos mitades de la junta sin carga externa.....	132
Figura 3-76. Disposición del ensayo a flexión UNE-EN 12794:2006+A1.....	133
Figura 3-77. Detalle despiece pieza No.1 modelo 1 flexión.....	134
Figura 3-78. Detalle despiece pieza No.2 modelo 1 flexión.....	135
Figura 3-79. Detalle despiece pieza No.3 modelo 1 flexión.....	136
Figura 3-80. Detalle despiece pieza No.4 modelo 1 flexión.....	137
Figura 3-81. Detalle despiece pieza No.5 modelo 1 flexión.....	138
Figura 3-82. Detalle despiece pieza No.6 modelo 1 flexión.....	138
Figura 3-83. Detalle despiece pieza No.7 modelo 1 flexión.....	139
Figura 3-84. Detalle despiece pieza No.8 modelo 1 flexión.....	140
Figura 3-85. Detalle despiece conexión inferior modelo No.1 flexión.....	141
Figura 3-86. Detalle despiece conexión superior modelo No.1 flexión.....	142
Figura 3-87. Detalle conexión completa modelo No.1 flexión.....	143
Figura 3-88. Diagrama ubicación de los deformímetros.....	151
Figura 3-89. Registro de los datos del ensayo.....	152
Figura 3-90. Grafica de carga contra deformación.....	153
Figura 4-1. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 tensión.....	157
Figura 4-2. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 tensión.....	158
Figura 4-3. Valores de la deformación modelo No 1 tensión.....	159
Figura 4-4. Valores del esfuerzo modelo No 1 tensión.....	160
Figura 4-5. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No.2 tensión.....	162
Figura 4-6. Valores de la deformación modelo No 1 tensión.....	163
Figura 4-7. Valores del esfuerzo modelo No 2 tensión.....	164
Figura 4-8. Detalle despiece conexión completa modelo No 3.....	166
Figura 4-9. Valores de la deformación modelo No 1 tensión.....	167
Figura 4-10. Valores del esfuerzo modelo No 3 tensión.....	168

Figura 4-11. Detalle despiece conexión completa modelo No 4.....	169
Figura 4-12. Valores de la deformación modelo No 4 tensión.....	170
Figura 4-13. Valores del esfuerzo modelo No 4 tensión.....	171
Figura 4-14. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 corte. ....	173
Figura 4-15. Detalle despiece conexión completa modelo No 1 corte. ....	173
Figura 4-16. Valores de la deformación modelo No 1 corte. ....	175
Figura 4-17. Valores del esfuerzo modelo No 1 corte. ....	176
Figura 4-18. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 flexión. ....	177
Figura 4-19. Detalle despiece conexión completa modelo No 1 flexión.....	178
Figura 4-20. Valores de la deformación modelo No 1 flexión. ....	179
Figura 4-21. Valores del esfuerzo modelo No 1 flexión. ....	180
Figura 4-22. Valores gráfico para el incremento de carga en el tiempo.....	181
Figura 4-23. Valores gráfico deformación en el tiempo. ....	181
Figura 4-24. Valores gráfico esfuerzo en el tiempo. ....	182

## Lista de imágenes

Imagen 2-1 Junta experimenta No 1.....	28
Imagen 2-2 Junta experimenta No 1.....	33
Imagen 2-3 Junta experimenta No 1.....	38
Imagen 3-1. Modelo real No.1.....	57
Imagen 3-2. Falla del modelo real No.1.....	58
Imagen 3-3. Modelo real No 2.....	77
Imagen 3-4. Falla del modelo real No 2.....	79
Imagen 3-5. Modelo real No 3.....	97
Imagen 3-6. Falla modelo real No 3.....	98
Imagen 3-7. Modelo real No 4.....	115
Imagen 3-8. Falla modelo real No 4.....	116
Imagen 3-9. Modelo real No 1 corte.....	128
Imagen 3-10. Falla modelo real No 1 corte.....	129
Imagen 3-11. Detalle de la fabricación de modelo 1 para el ensayo a flexión.....	145
Imagen 3-12. Modelo real No 1 flexión.....	146
Imagen 3-13. Falla modelo real No 1 flexión.....	147

# Lista de Símbolos y abreviaturas

## Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI
$A$	Altura de la pestaña	mm
$A_e$	Área neta efectiva	mm <sup>2</sup>
$A_g$	Área bruta de una sección compuesta	mm <sup>2</sup>
$A_{gv}$	Área bruta sometida a cortante	mm <sup>2</sup>
$A_n$	Área neta de un miembro	mm <sup>2</sup>
$A_{nt}$	Área neta sometida a tensión	mm <sup>2</sup>
$A_p$	Área del perno	mm <sup>2</sup>
$F_u$	Resistencia a tensión mínima especificada	MPa
$F_y$	Esfuerzo de fluencia mínimo especificado	MPa
$L$	Longitud de la cara de la pestaña	mm
$L_c$	Dis. libre, en la dirección de la fuerza, entre el borde de la perforación adyacente o el borde del material	mm
$t$	Espesor pestaña de la lámina	m
$V_p$	Resistencia al corte de los pernos	kN
$\phi A$	Diámetro del agujero	mm
$\phi p$	Diámetro del perno	mm
$\#A$	Número de agujeros	Un
$\#L$	Número láminas	Un

# Introducción

En el campo de la ingeniería estructural las cimentaciones son la base fundamental para que el desarrollo del proyecto llegue a una finalización adecuada. Los pilotes hincados son una de las soluciones que se utilizan para soportar estructuras que solicitaran la cimentación, pero teniendo en cuenta la naturaleza arcillosa de los suelos de muchas zonas del país en particular Bogotá en muchas construcciones es necesario llegar hasta estratos portantes que están a una gran distancia de la superficie del terreno y por esto para los pilotes hincados se deben instalar por secciones unidos por conexiones que deben transferir las cargas a las piezas de las que se compone la cimentación, contrario a los pilotes preexcavados que no necesitan este tipo de uniones ya que su sistema constructivo requiere otro tipo de fases para ser ejecutado.

En la actualidad existen en el mercado diversos tipos de juntas para conexiones de pilotes que ya están patentadas por compañías que se dedican a este tipo de trabajos, pero con la investigación y uso de la tecnología actual es posible mejorar el diseño de estas piezas en varios campos: como lo es el costo, la facilidad constructiva y el comportamiento ante las diferentes fuerzas que afectan la transferencia entre las secciones, por consiguiente si mejoramos los procedimientos en estos tres campos estaríamos viendo un nuevo tipo de conexión más eficiente en todos los niveles a las que ya conocemos.

Materializando la investigación en este campo se pretende mediante la ejecución de ensayos de laboratorio soportar técnicamente un diseño de una nueva conexión que tendrá un comportamiento más eficiente en cuanto a su resistencia a ciertos tipos de sollicitaciones que sus similares ya registradas.

Se pretende lograr un diseño eficiente de una nueva junta que compita en los campos anteriormente mencionados con empresas que trabajan con este tipo de uniones tratando en base a la experiencia y un trabajo académico muy bien estructurado llegar



a un nivel de desarrollo de los modelos que sea capaz de cumplir con los estándares de las normas existentes en el país.

Al mejorar el comportamiento de las conexiones para pilotes hincados se está garantizando la continuidad de estas cimentaciones lo que inicialmente representa más eficacia cuando se trabaja con este tipo de sistema constructivo, adicionalmente se tiene la disminución en tiempo al instalar cada pieza lo cual acelera el proceso de instalación y con esto hace al sistema más eficiente en términos de rendimiento y por último se tiene una geometría muy simple que ayuda a que el proceso de construcción de cada conexión sea bastante sencillo generando que la formaleta y trabajo de máquinas y personal técnico involucrado en el dimensionamiento, corte, soldado y montaje de cada pieza sea mínimo en tiempo con una calidad de producto terminado muy buena lo cual genera una reducción en costos si tenemos en cuenta otros tipos de conexiones.

Lo que se pretende generar es un producto original que pueda competir y mejorar la ejecución de este tipo de cimentaciones basado en un análisis ingenieril totalmente eficiente en el que se harán todas la pruebas necesarias que demuestren su eficiencia para mejorar los sistemas constructivos que se usan actualmente.

## **Objetivos**

- Plantear y diseñar un nuevo tipo de conexión para pilotes hincados de concreto reforzado.

## **Objetivos específicos**

- Desarrollar un diseño preliminar de la conexión con un buen comportamiento en el ensayo a tensión.
- Realizar ensayos bajo las sollicitaciones de corte, flexión, verificar su comportamiento y resultados ante dichas cargas.

# 1.Marco Teórico

## 1.1 Pilotes prefabricados de concreto armado

Según García (2003: 471) Los pilotes prefabricados de concreto armado son normalmente de sección cuadrada de 30 a 50 cm de lado aunque, en ocasiones, también se fabrican hexagonales u octogonales (figura 1-1).

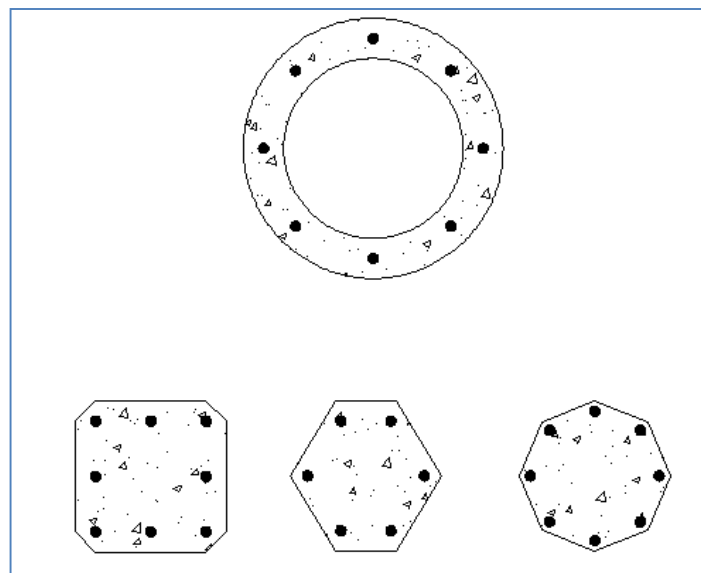


Figura 1-1. Secciones de pilotes de concreto armado.

Pueden ser fabricados en la propia obra o en plantas de prefabricación.

De acuerdo con las técnicas de funcionamiento y puesta en obra se clasifican en dos grupos:

- 1- Pilotes de longitud fija
- 2- Pilotes de longitud variables

Los pilotes fabricados en obra suelen ser de longitud fija, sin posibilidad de empalme (figura 1-2). Pueden recrearse después de la hincada con dificultad y con la exigencia del correspondiente plazo de fraguado y endurecimiento del concreto del recredido. Los pilotes de longitud variable se fabrican en tramos empalmarles cuyas juntas suelen ser objeto de patentes tienen secciones que varían entre  $400\text{cm}^2$  y  $1300\text{cm}^2$  (figura 1-3).

Se utiliza concreto con resistencia igual o superior a  $40\text{ N/mm}^2$  a compresión. El recubrimiento de armaduras debe ser suficiente y controlado y deben utilizarse cementos especiales para resistir los agentes agresivos externos. Se suele admitir que en este tipo de pilotes, una vez hincados, el concreto trabaje a  $12.5\text{ N/mm}^2$  mientras que en los pilotes hormigonados “in situ” se considera una resistencia de cálculo del orden de la tercera parte de la resistencia característica.

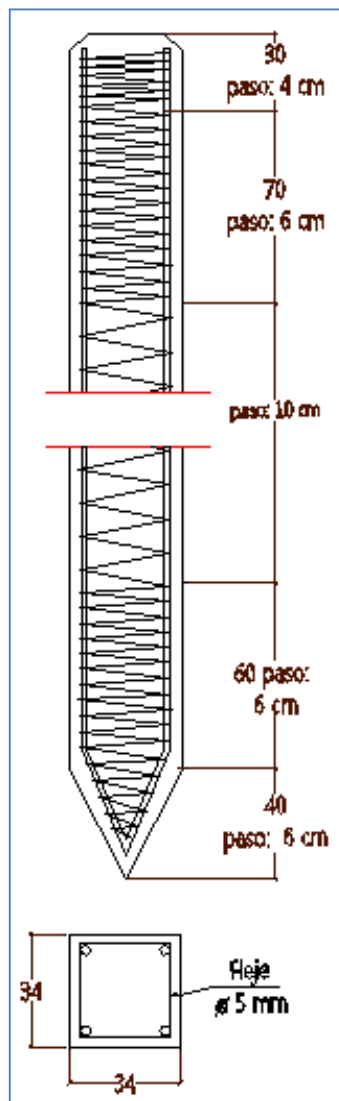


Figura 1-2. Pilote longitud fija.

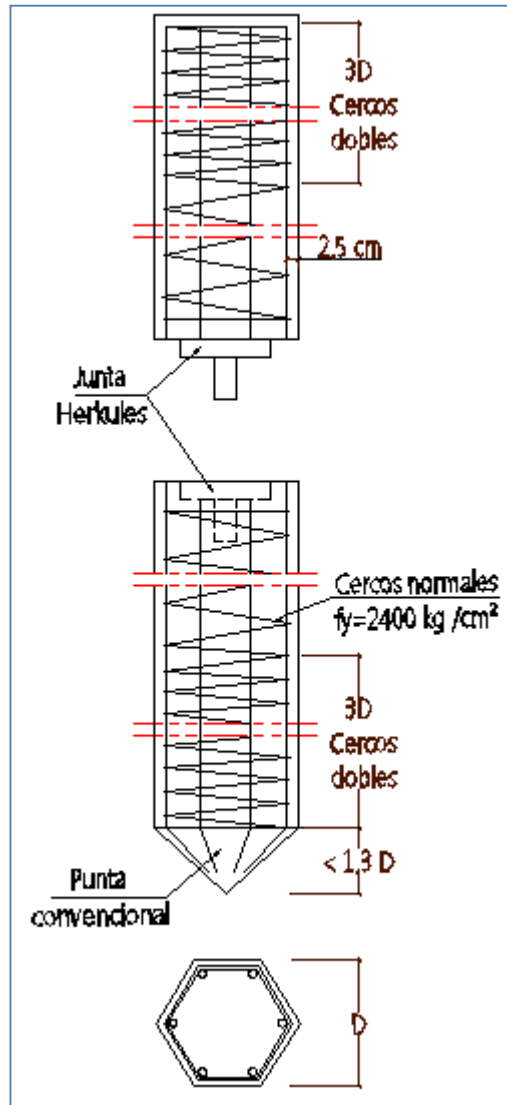


Figura 1-3. Pilote longitudinally variable.

Las juntas de empalme, que se suelen disponer cada 12m, tienen mayor resistencia que la sección típica del pilote. El hecho de disponer las juntas a tales intervalos, se debe fundamentalmente a que se hace posible el transporte de las piezas en camiones sin necesidad de obtener permisos especiales.

En muchas partes del mundo se dispone actualmente de tres tipos de juntas: Johnson, West y A.B.B. Las dos últimas permiten la instalación de un tubo de registro a lo largo del eje, para controlar la verticalidad y la inclinación de los pilotes de gran longitud.

En el extremo inferior, los pilotes están dotados de un extremo plano o en punta cuando se trabaja en terrenos normales. Cuando se prevé que el pilote alcanzará un estrato rocoso se dispone una punta especial, conocido como "punta de Oslo", de acero de alta resistencia

(figura 1-5). La hincia se completa cuando se alcanza la capa resistente prevista, o en los pilotes flotantes en función del rechazo definido.

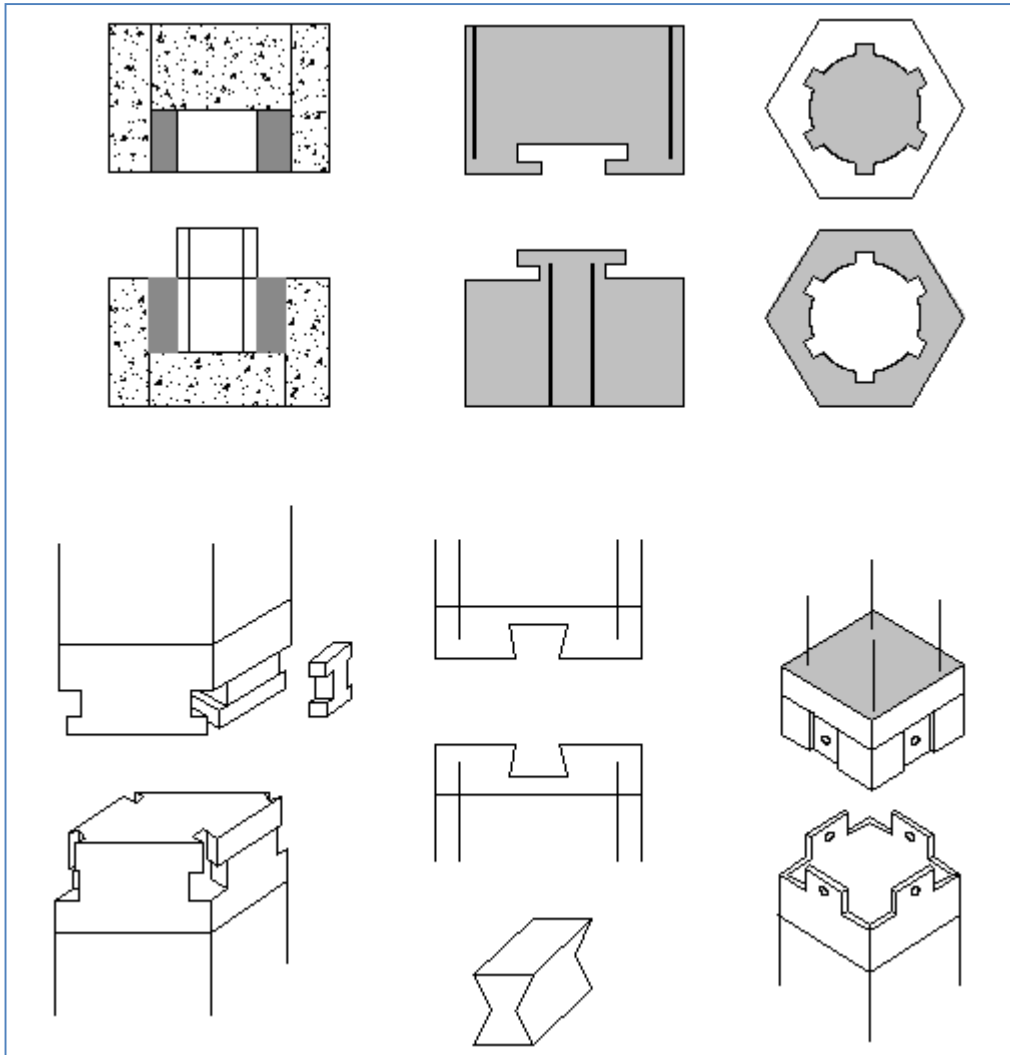


Figura 1-4. Distintos tipos de juntas entre pilotes empalmables.

En términos generales, en la actualidad, los aspectos en los que se están produciendo mayores avances son los siguientes:

- Empleo de materiales de alta resistencia concreto de  $f'_c \geq 40\text{N/mm}^2$  y acero de  $f_y = 400\text{ N/mm}^2$
- Mejoras en los procesos de fabricación y curado.
- Empleo de equipos automáticos de hincia, que permiten garantizar la altura de caída y la cadencia de la hincia, con aprovechamiento casi total de la energía.
- Empleo de equipos electrónicos analizadores de proceso, combinados con fórmulas dinámicas.

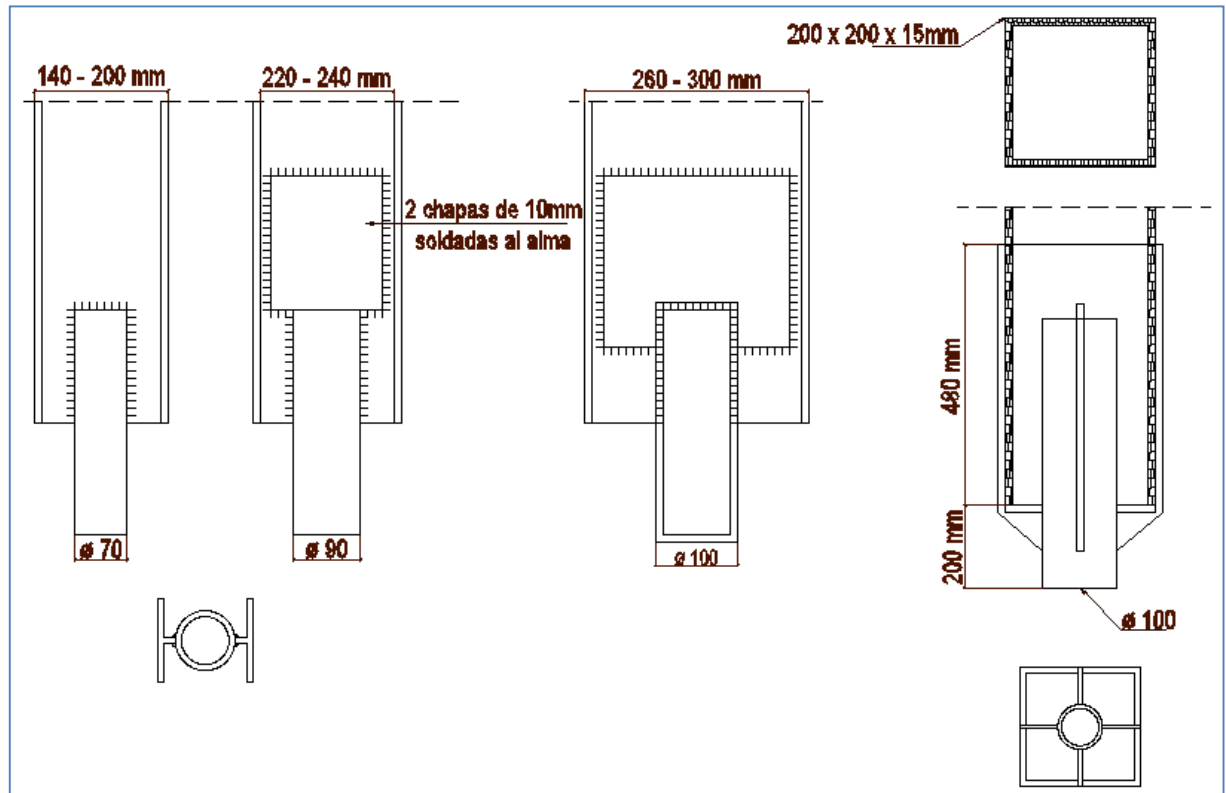


Figura 1-5. Punta tipo Oslo.

### 1.1.1 Pilotes prefabricados empalmables tipo Herkules.

Las características de este tipo de pilotes se exponen en la (figura 1-3). Estos datos son útiles para la confección del anteproyecto. Los parámetros pueden variarse en función de las características del terreno o del tipo de solicitación. La sección hexagonal del pilote resiste a flexión un 10% más que una sección cuadrada de igual superficie.

Las armaduras longitudinales son de acero de límite elástico =  $400 \text{ N/mm}^2$  y el concreto utilizado tiene una resistencia característica  $f'_c = 50 \text{ N/mm}^2$ . La instrucción EHE limita la resistencia del acero para elementos que trabajan a compresión ( $f_y > 400 \text{ N/mm}^2$ ).

El pilote normal cuenta con una punta de hormigón. Para terrenos duros o con obstáculos se utiliza una punta de tipo Oslo (figura 1-5).

Hasta los 12m de longitud no se necesitan juntas. Se puede alcanzar cualquier profundidad utilizando la junta patentada tipo Herkules.

Se puede hincar con una inclinación hasta 1:4 en cualquier dirección en obras normales. En cimentaciones con pilotes flotantes la capacidad portante de los mismos debe ser objeto de estudio específico para cada caso.

La hincada se realiza con grúas de tipo medio provistas de martinets y guideras. Se utilizan equipos autónomos por lo que no son necesarias prestaciones por parte del cliente; lo que les proporciona gran versatilidad.

### **1.1.2 Pilotes prefabricados empalmables tipo Terratest.**

Terratest S.A. España fabrica en sus instalaciones pilotes empalmables con las siguientes características:

- Secciones cuadradas de 235 x 235 cm; 270 x 270 cm y 300 x 300 cm.
- Concreto fabricado con cemento resistente a los sulfatos – CEM III / B.42.5 / SR. Con resistencia característica  $f_c = 45 \text{ N/mm}^2$ .
- Acero en armaduras con límite elástico  $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$ , excepcionalmente  $f_y = 600 \text{ N/mm}^2$ .
- La armadura longitudinal está formada por 4 u 8 barras dependiendo de la sección y las exigencias.
- La armadura transversal está formada por una espiral de directriz cuadrada de 16cm de separación, que se reduce a 8cm en los extremos.
- Se puede hincar con inclinación de 1:3 aunque se recomienda no pasar de 1:4 (aproximadamente) 15° con la vertical).
- La resistencia a flexión entre 15 y 80 kN·m, según el tipo de pilote y la carga vertical. Los esfuerzos de flexión deben reducirse al mínimo. Si los momentos son mayores se debe utilizar dos o varios pilotes o resistirlos usando vigas centradoras.
- Las distancias mínimas recomendables entre pilotes son las siguientes:

T.235: 0.70 m

T.270: 0.90 m

T.300: 1.10 m

Estas distancias deben considerarse tanto en dados comunes como entre pilotes próximos de diferentes pilares.



- Para pilotes de longitud variable se utiliza la junta ABB, uniendo piezas de hasta 12m.
- La hinca se realiza mediante máquinas dotadas con martillo diésel o maza de caída libre de 30 a 40 kN con altura de caída de 0.5 a 1.0 m.

Los equipos de hinca están montados sobre excavadoras de tipo medio que permiten un fácil manejo en obra. No se necesitan servicios auxiliares de agua, electricidad, ni retirado de lodos.

Durante la hinca se puede comprobar el comportamiento del pilote con un “analizador electrónico de hinca”. Se determina la “resistencia final”, midiendo la penetración con una serie de 10 golpes. Esta debe ser igual o menor al índice de “rechazo” obtenido mediante la fórmula dinámica de hinca utilizada en el cálculo, que debe figurar en el pliego de prescripciones técnicas.

A modo de conclusión puede decirse que los pilotes prefabricados de concreto armado presentan las siguientes características:

- 1- En el proceso de hinca algunos se rompen, siendo difícil la reparación o el empalme.
- 2- Cuando los pilotes de longitud fija no alcanzan el estrato resistente (no se produce rechazo) el recrecido es complicado.
- 3- En ocasiones se producen rechazos porque aparece un obstáculo con una longitud pequeña de hinca.
- 4- Durante la hinca se producen ruidos y vibraciones que pueden afectar a edificios contiguos, lo que hace prácticamente imposible su utilización dentro de núcleos urbanos.
- 5- No pueden hincarse pilotes de secciones grandes. Raras veces se superan los 1600 cm<sup>2</sup>.
- 6- Los pilotes de una pieza no suelen sobrepasar la longitud de 17 m.
- 7- Al fabricarse todos los pilotes con la misma longitud, ocurre a menudo que se alcanza el rechazo sin completar la hinca, por lo que se debe romper la longitud excedida suponiendo un aumento de coste de fabricación y demolición de la parte sobrante.

- 8- Los armados de secciones obedecen en muchas ocasiones a los esfuerzos de izado, transporte y manipulación. La sección y armado para resistir estos esfuerzos es mayor y distinta que la necesaria para la carga de trabajo la (figura 1-6) nos muestra la geometría ambas uniones para una conexión tipo terratest.

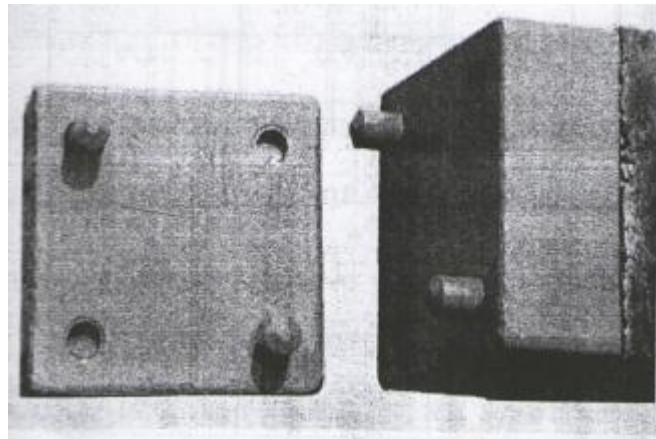


Figura 1-6. Conexión tipo Terratest.

Ya que las juntas mocionadas anteriormente poseen patentes internacionales el costo de construir cimentaciones con este tipo de conexiones es un poco más elevado si la comparáramos con una junta que fuera diseñada y fabricada en un 100% en el país, adicionalmente la construcción de los pilotes se tiene que hacer obligatoriamente con las empresas que tienen el uso exclusivo en la nación de este tipo uniones por tanto hay que contratar los servicios casi completos para toda la cimentación a estas constructoras.

## **2. Programa experimental**

### **2.1 Elección de la conexión**

Con base en la geometría y en un diseño óptimo inicialmente en este trabajo, se plantearon tres tipos de conexiones diferentes para las cuales se modelaron inicialmente en maquetas a escala real en cartón paja y adicionalmente se efectuaron cálculos de la resistencia a diferentes tipos de fallas a las pudiera verse sometida la pieza. Luego se hizo un desglose de cada configuración de conexión analizada y los cálculos respectivos y deficiencias que se observaron en ellas.

#### **2.1.1 Diseño experimental conexión No. 1**

La primera geometría que se probó para una conexión de pilote de 300x300 mm es una pieza superior con forma romboide que sobresalía y no se cerraba en punta sino que se remató con los cuatro bordes frontales con caras de 50 mm de largo por 60 mm de altura cada una de las cuatro caras llevaba un agujero  $\varnothing 15.9$  mm esta pieza se soldó a una caja de 300 x 300 mm por una altura de 60mm todo en lámina de 6.4 mm de ancho. La pieza inferior fue una caja también tenía forma de romboide pero no sobresalía si no que se insertaba en una caja de 300 x 300 mm con una altura de 60 mm en el centro de las caras exteriores llevaba un agujero de  $\varnothing 15.9$  mm a una altura 30 mm del borde de la pieza.



Imagen 2-1 Junta experimenta No 1.

A continuación se presentan los cálculos efectuados para la conexión 1 en cada una de las condiciones.

Acero A-36 propiedades.

$F_u = 400 \text{ MPa.}$

$F_y = 280 \text{ MPa.}$

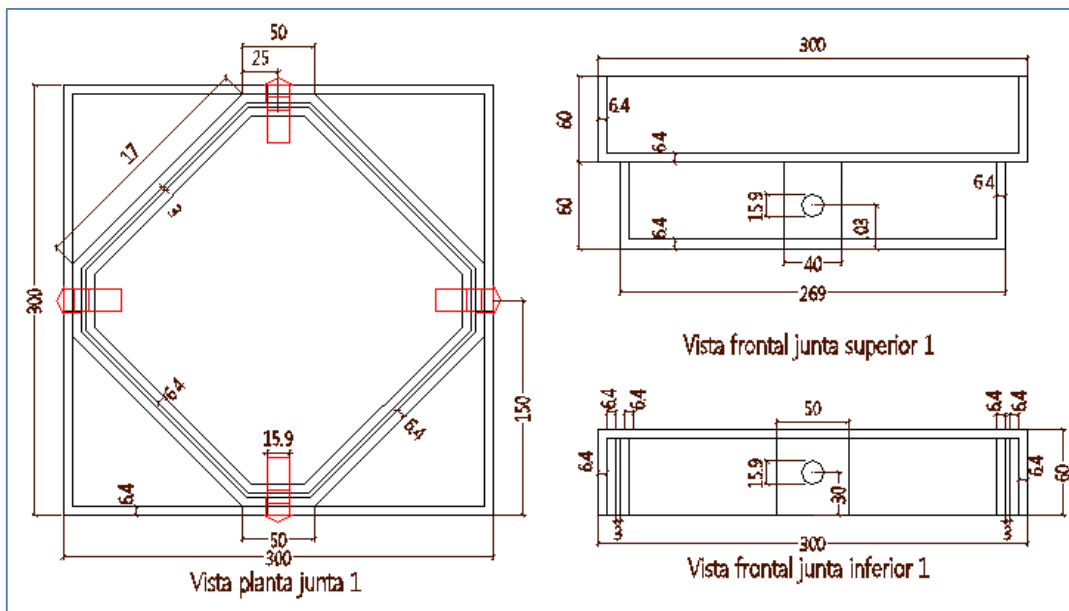


Figura 2-1. Geometría de la conexión No 1.

**Dimensiones de la conexión.**

	Lámina
Ancho (t) =	6.4 mm
Alto (A) =	60 mm
Largo (L) =	50 mm

**Diámetro agujero.**

$\phi A =$	15,9	mm	Diámetro perforación
#A =	1		Número perforaciones
#L =	3		Número láminas

**Cálculo áreas.**

$$A_n = A_g - \phi A \cdot t$$

$$A_g = 317.5 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 216.6 \text{ mm}^2$$

$$U = 1.00$$

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 216.6 \text{ mm}^2$$

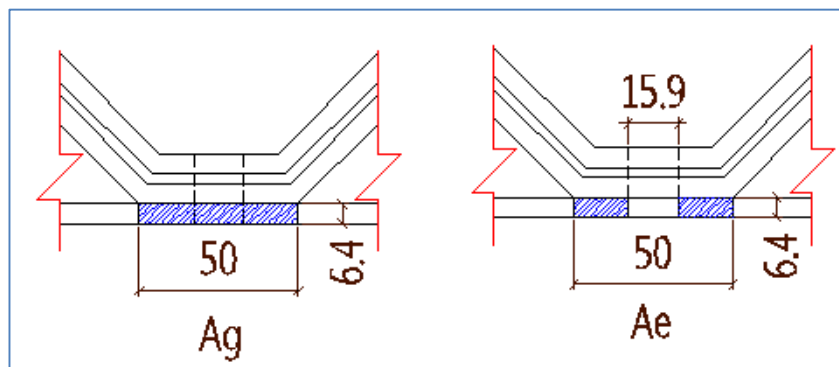


Figura 2-2. Cálculo área bruta y neta conexión No 1.

Según (NSR-10, F.2.4)

### Resistencia de diseño a tensión.

La resistencia de diseño para miembros solicitados por tensión  $\phi_t P_n$ , se tomó como el menor valor entre los obtenidos para los estados límites de fluencia por tensión sobre el área bruta y rotura por tensión sobre el área neta.

### Fluencia en el área bruta.

$$P_n = \phi_t \cdot \#L \cdot A_g \cdot F_y$$

$$\begin{aligned} \phi_t &= 0.9 \\ P_n &= 240.0 \text{ kN} \\ P_n &= 24.5 \text{ t} \end{aligned}$$

### Fractura en la sección efectiva.

$$P_u = \phi_t \cdot \#L \cdot A_e \cdot F_u$$

$$\begin{aligned} \phi_t &= 0.75 \\ P_u &= 195.0 \text{ kN} \\ P_u &= 19.9 \text{ t} \end{aligned}$$

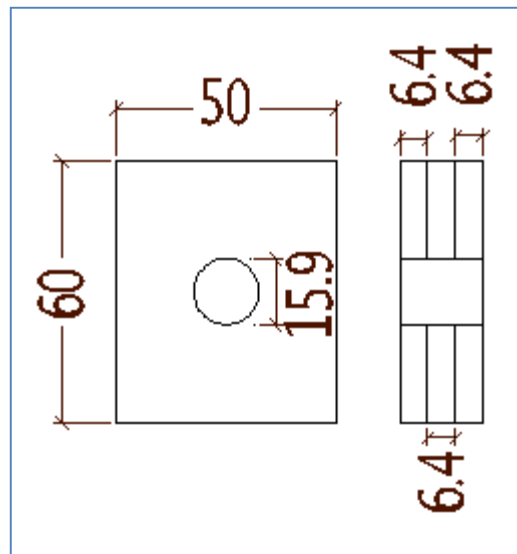


Figura 2-3. Detalle orificio del perno

Gobernó el estado con menor valor al ser sometido a la solicitación en este caso fue la fractura en la sección efectiva.

### Falla por desgarramiento en el bloque de cortante.

Según (NSR-10, F.10.4.3)

La resistencia de diseño,  $\phi R_n$ , para el estado límite de desgarramiento en bloque a lo largo de una o más líneas de falla a cortante y de una línea de falla a tensión en dirección perpendicular, se calculó tomando:

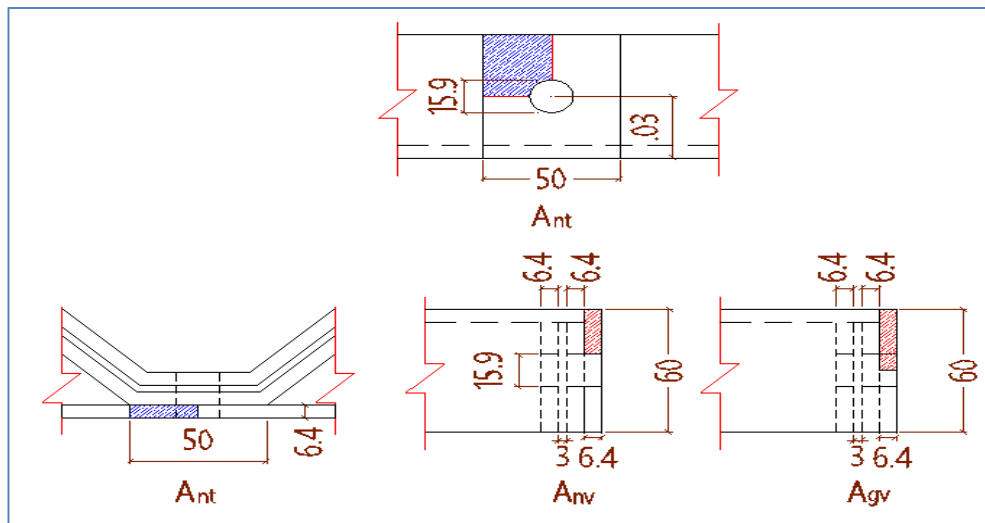


Figura 2-4. Cálculo áreas en el bloque de cortante conexión No 1.

$$R_n = 0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0,60 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

$$\phi = 0.75$$

Para refuerzo uniforme  $U_{bs} = 1$

$$A_{nt} = (L/2 - 0,5 \cdot \phi A) \cdot t$$

$$A_{nt} = 108.4 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = A \cdot t$$

$$A_{gv} = 190.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (A - ((\#A - 0,5) \cdot \phi A)) \cdot t$$

$$A_{nv} = 140.0 \text{ mm}^2$$

$$\textcircled{1} U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 43.3 \text{ kN}$$

$$\textcircled{2} 0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 33.6 \text{ kN}$$

$$\textcircled{3} 0,60 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 32.0 \text{ kN}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} = 77.0 \text{ kN}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{3} = 75.3 \text{ kN Gobierna el menor}$$

$$7.7 \text{ t}$$

### Cortante en el perno conector en Acero A-36

$\phi_p =$	15.9 mm
Área perno $A_p =$	197. mm <sup>2</sup>
$V_p = 0.6 \cdot F_y \cdot A_p =$	33.3 kN 1 perno en cada cara
Brazo =	250 mm
Mt =	8313.17 kN · mm
Mt =	84.74 t · cm

### Área de la lámina.

Conexión superior

Largo (m)	Base-Alto (m)	Cantidad	Suma
0.3	0.06	4	0.07
0.3	0.30		0.09
0.82	0.06		0.05
		$\Sigma$	<u>0.21</u> m <sup>2</sup>

Conexión inferior

$$\Sigma \quad \mathbf{0.21 \quad m^2}$$

**Análisis de resultados:** Gobierna el fallo en el bloque de cortante, para la cual se obtuvieron 7.7t que es menor valor obtenido en las sollicitaciones de la NSR-10.

### 2.1.2 Diseño experimental conexión No. 2

La segunda geometría que se probó para una conexión de pilote de 300 x 300 mm son cuatro piezas superiores con forma triangular que sobresalen y se cierran en tres puntas con caras de



125 mm de largo por 60 mm de altura cada una de las cuatro caras llevó dos agujeros  $\phi 15.9$  mm esta pieza se soldó a una caja de 300x300 mm por una altura de 60mm todo en lámina de 6.35 mm de ancho. La pieza inferior fue una caja de forma rectangular de 300x300 mm con 4 espacios triangulares para recibir la pieza superior, tenía una altura de 60mm en el centro de las cara exterior llevó dos agujeros de  $\phi 15.9$  mm a una altura 30 mm del borde de la pieza.



Imagen 2-2 Junta experimenta No 1.

A continuación se presentan los cálculos efectuados para la conexión 2 en cada una de las condiciones.

Acero A-36 propiedades

$F_u = 400$  MPa

$F_y = 280$  MPa

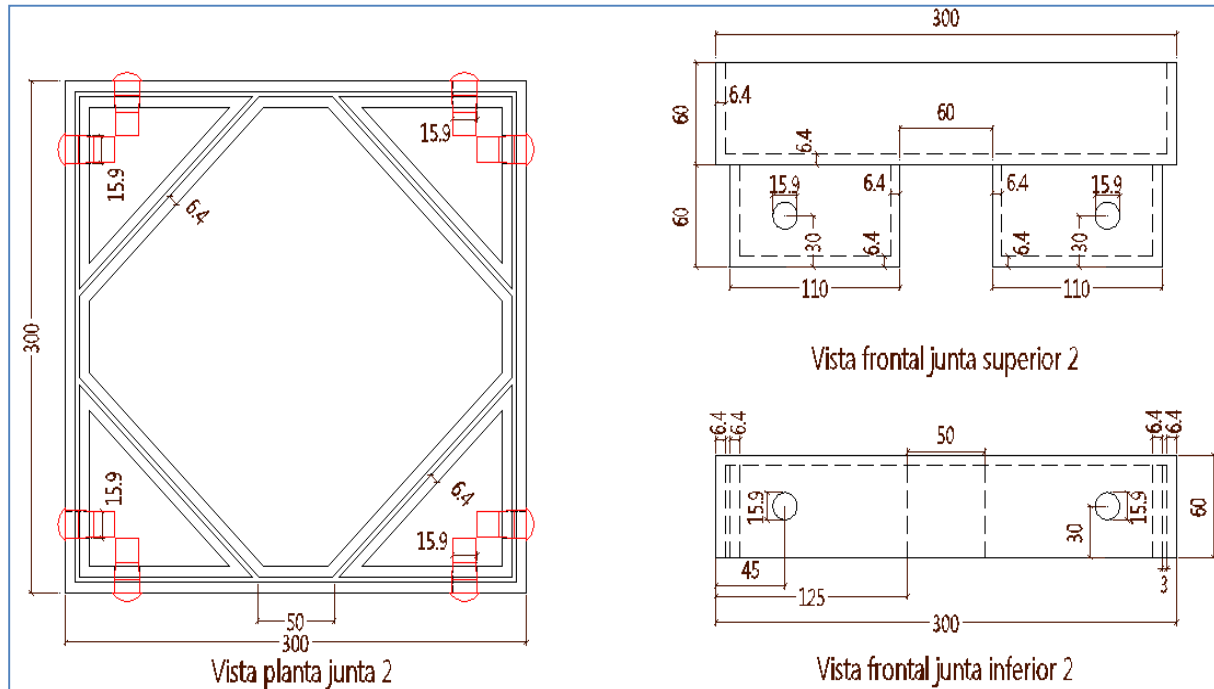


Figura 2-5. Geometría de la conexión No 2.

**Dimensiones de la conexión.**

	Lamina
Ancho (t) =	6.4 mm
Alto (A) =	60 mm
Largo (L) =	125 mm

**Diámetro agujero.**

$\phi A =$	15,9	mm	Diámetro perforación
#A =	1		Número perforaciones
#L =	2		Número láminas

**Cálculo áreas.**

$$A_n = A_g - \phi A \cdot t$$

$$A_g = 793.7 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 692.9 \text{ mm}^2$$

$$U = 1.00$$

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 692.9 \text{ mm}^2$$

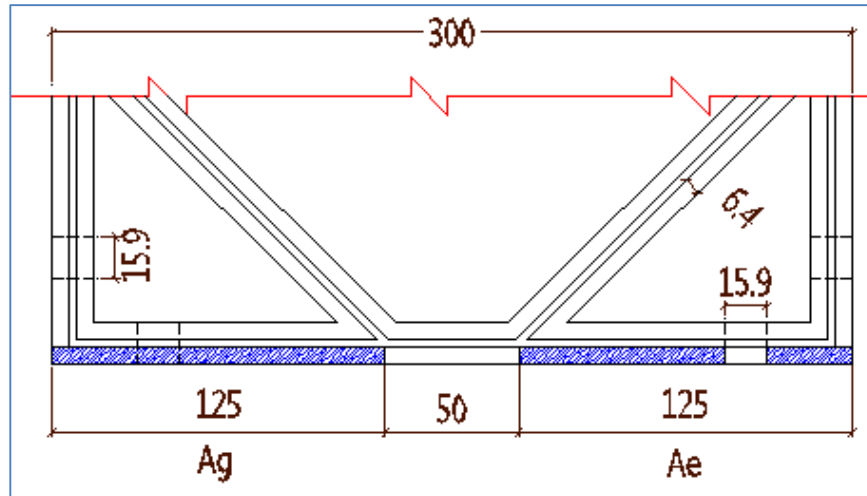


Figura 2-6. Cálculo área bruta y neta conexión No 2.

Según (NSR-10, F.2.4)

### Resistencia de diseño a tensión.

La resistencia de diseño para miembros solicitados por tensión  $\phi_t P_n$ , se tomó como el menor valor entre los obtenidos para los estados límites de fluencia por tensión sobre el área bruta y rotura por tensión sobre el área neta.

#### Fluencia en el área bruta.

$$P_n = \phi_t \cdot \#L \cdot A_g \cdot F_y$$

$$\begin{aligned} \phi_t &= 0.9 \\ P_n &= 400.0 \text{ kN} \\ P_n &= 40.8 \text{ t} \\ 2 P_n &= 81.5 \text{ t } 2 \text{ pernos por cara} \end{aligned}$$

#### Fractura en la sección efectiva.

$$P_u = \phi_t \cdot \#L \cdot A_e \cdot F_u$$

$$\begin{aligned}\phi_t &= & 0.75 \\ P_u &= & 415.8 \text{ kN} \\ P_u &= & 42.4 \text{ t} \\ 2 P_u &= & 84.8 \text{ t } 2 \text{ pernos por cara}\end{aligned}$$

Gobierna la el estado con menor valor al ser sometido a la sollicitación en este caso es la fluencia en el área bruta.

### Falla por desgarramiento en el bloque de cortante.

Según (NSR-10, F.10.4.3)

La resistencia de diseño,  $\phi R_n$ , para el estado límite de desgarramiento en bloque a lo largo de una o más líneas de falla a cortante y de una línea de falla a tensión en dirección perpendicular, se calculó tomando:

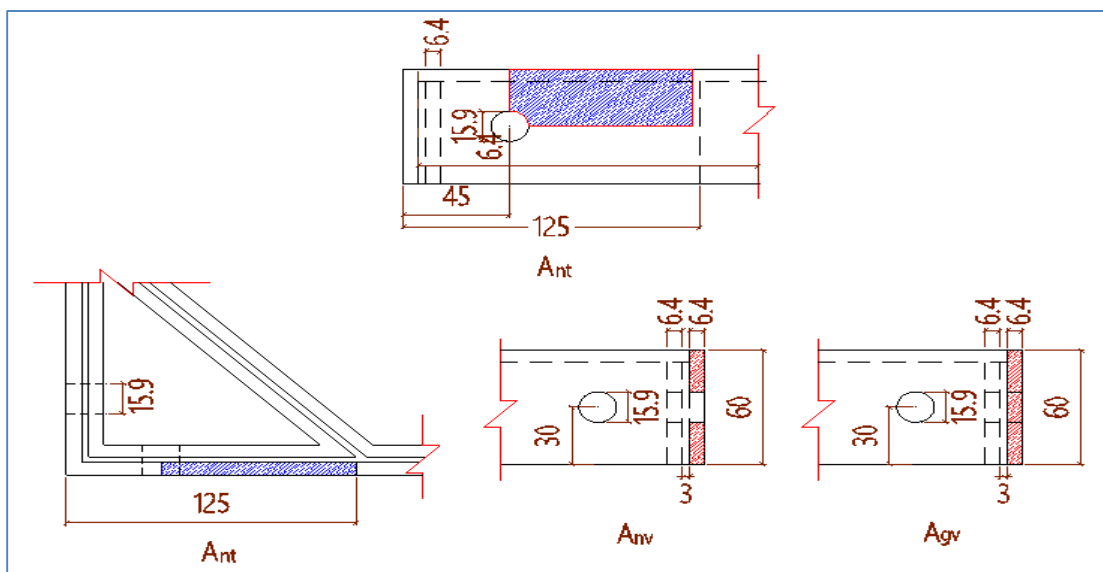


Figura 2-7. Cálculo áreas en el bloque de cortante conexión No 2.

$$R_n = 0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0,60 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

$$\begin{aligned}\phi &= & 0,75 \\ \text{Para refuerzo uniforme} & & U_{bs} = & 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{nt} &= (L/2 - 0,5 \cdot \phi A) \cdot t \\ A_{nt} &= & 346,47 \text{ mm}^2 \\ A_{gv} &= A \cdot t\end{aligned}$$

$$A_{gv} = 190,50 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = (A - ((\#A - 0,5) \cdot \phi A)) \cdot t$$

$$A_{nv} = 140,10 \text{ mm}^2$$

$$\textcircled{1} U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 138,59 \text{ kN}$$

$$\textcircled{2} 0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 33,62 \text{ kN}$$

$$\textcircled{3} 0,60 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 32,00 \text{ kN}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} = 172,21 \text{ kN}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{3} = 170,59 \text{ kN} \text{ Gobierna el menor}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{3} = 17,1 \text{ t}$$

$$2 \textcircled{1} + \textcircled{3} = 34,1 \text{ t Dos pernos por cara}$$

### Cortante en el perno conector en Acero A-36.

$$\phi_p = 15.9 \text{ mm}$$

$$\text{Área perno } A_p = 197.9 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 0.6 \cdot F_y \cdot A_p = 33.3 \text{ kN}$$

$$\text{Brazo} = 250 \text{ mm}$$

$$M_t = 8313.2 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$M_t = 83.13 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

$$2 M_t = 166.26 \text{ t} \cdot \text{cm} \text{ 2 perno en cada cara}$$

### Área de la lámina.

Conexión superior.

Largo (m)	Base-Alto (m)	Cantidad	Suma
0.3	0.06	4	0.072
0.3	0.3		0.090
0.41	0.06	4	0.098
		$\Sigma$	<b>0.260 m<sup>2</sup></b>

Conexión inferior.

Largo (m)	Base-Alto (m)	Cantidad	Suma
0.3	0.06	4	0.07
0.3	0.3		0.09
0.82	0.06		0.05
		$\Sigma$	<b>0.21 m<sup>2</sup></b>

**Análisis de resultados:** La junta falló por desgarramiento en el bloque de cortante, soportó 34.1 t que es el mayor valor obtenido en las solicitaciones de la NSR-10.

### 2.1.3 Diseño experimental conexión No. 3

La tercera geometría que se probó para una conexión de pilote de 300 x 300 mm eran cuatro pestañas superiores con forma de ele que sobresalían de la caja, con 100 mm de largo por cada cara y 60 mm de altura cada una de las cuatro caras llevo dos agujeros  $\phi 15.9$  mm esta pieza va soldada a una caja de 300 x 300 mm por una altura de 60mm todo en lámina de 6.35 mm de ancho. La pieza inferior fue una caja de forma rectangular de 281 x 281 mm que tenía una altura de 60 mm en el centro de las cara exterior llevo dos agujeros de  $\phi 15.9$  mm a una altura 30 mm del borde de la pieza.



Imagen 2-3 Junta experimenta No 1.

A continuación se presentan los cálculos efectuados para la conexión 3 en cada una de las condiciones.

Acero A-36 propiedades

$F_u =$  400 MPa

$F_y =$  280 MPa

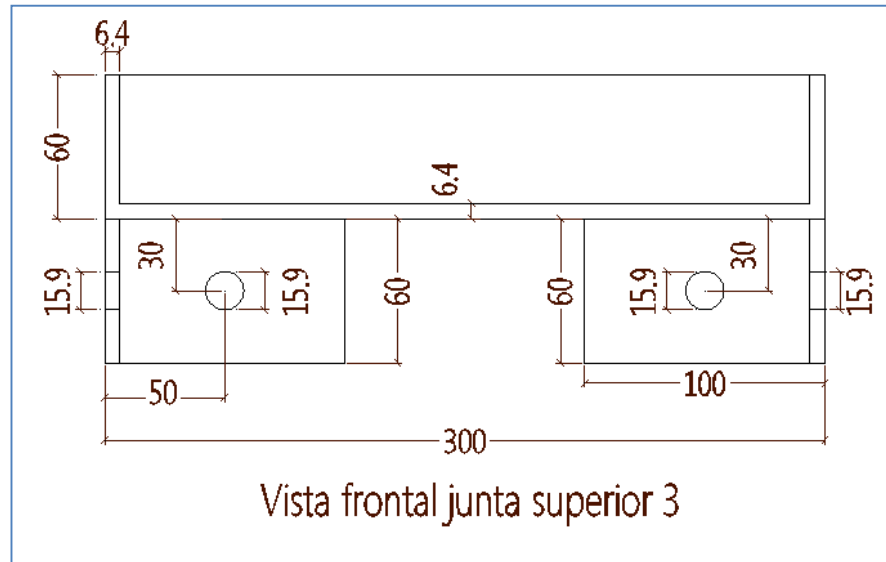


Figura 2-8. Geometría de la conexión superior No 3.

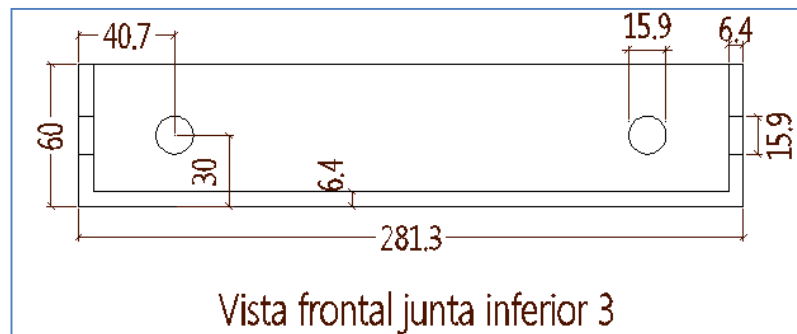


Figura 2-9. Geometría de la conexión inferior No 3.

### Dimensiones pestaña de la conexión superior.

	Lámina
Ancho (t) =	6.4 mm
Alto (A) =	60 mm
Largo (L) =	100 mm

### Diámetro agujero

$\phi A =$	15,9 mm	Diámetro perforación
#A =	1	Número perforaciones
#L =	2	Número láminas

**Cálculo áreas.**

$$A_n = A_g - \phi A \cdot t$$

$$A_g = 635.0 \text{ mm}^2$$

$$A_n = 534.2 \text{ mm}^2$$

$$U = 1.00$$

$$A_e = U \cdot A_n$$

$$A_e = 534.2 \text{ mm}^2$$

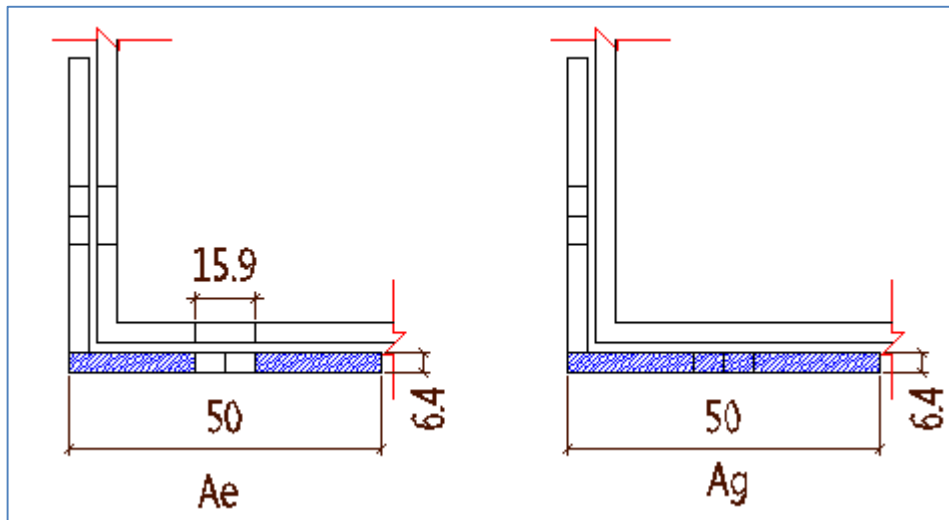


Figura 2-10. Cálculo área bruta y neta conexión No 3.

Según (NSR-10, F.2.4)

**Resistencia de diseño a tensión.**

La resistencia de diseño para miembros solicitados por tensión  $\phi_t P_n$ , se tomó como el menor valor entre los obtenidos para los estados límites de fluencia por tensión sobre el área bruta y rotura por tensión sobre el área neta.

**Fluencia en el área bruta.**

$$P_n = \phi_t \cdot \#L \cdot A_g \cdot F_y$$



$$\begin{aligned}\phi_t &= & 0.9 \\ P_n &= & 320.0 \text{ kN} \\ P_n &= & 32.7 \text{ t} \\ 2 P_n &= & 65.3 \text{ t Dos pernos por cara}\end{aligned}$$

### Fractura en la sección efectiva.

$$P_u = \phi_t \cdot \#L \cdot A_e \cdot F_u$$

$$\begin{aligned}\phi_t &= & 0.75 \\ P_u &= & 320.5 \text{ kN} \\ P_u &= & 32.1 \text{ t} \\ 2 P_u &= & 64.1 \text{ t Dos pernos por cara}\end{aligned}$$

Gobierna la el estado con menor valor al ser sometido a la sollicitación en este caso es la fluencia en el área bruta.

### Falla por desgarramiento en el bloque de cortante.

Según (NSR-10, F.10.4.3)

La resistencia de diseño,  $\phi R_n$ , para el estado límite de desgarramiento en bloque a lo largo de una o más líneas de falla a cortante y de una línea de falla a tensión en dirección perpendicular, se calculó tomando:

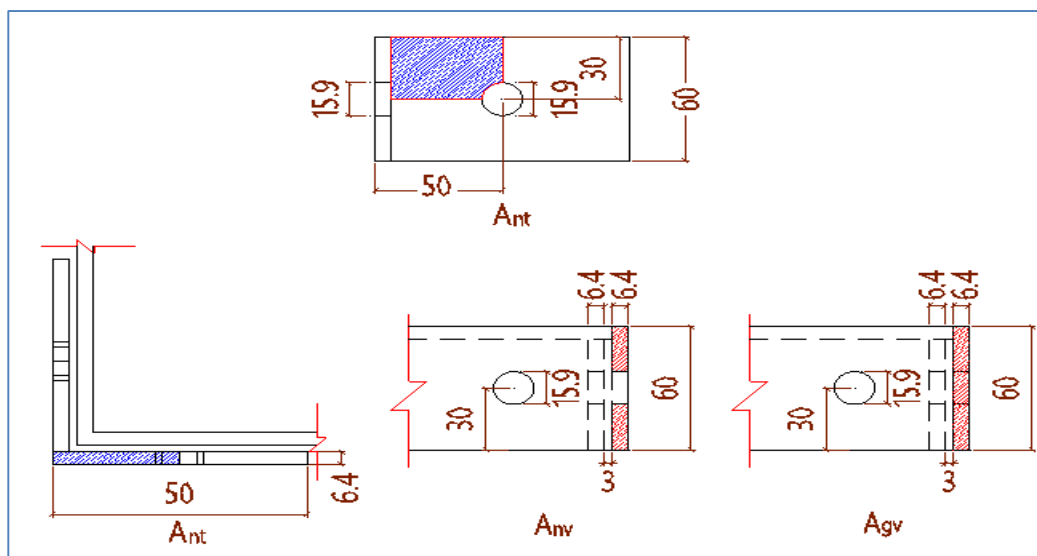


Figura 2-11. Cálculo áreas en el bloque de cortante conexión No 3.

$$R_n = 0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} \leq 0,60 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt}$$

$$\phi_t = 0.75$$

Para refuerzo uniforme  $U_{bs} = 1$

$$A_{nt} = (L/2 - 0,5 \cdot \phi A) \cdot t$$

$$A_{nt} = 267.1 \text{ mm}^2$$

$$A_{gv} = A \cdot t$$

$$A_{gv} = 190.50 \text{ mm}^2$$

$$(A - ((\#A - 0,5) \cdot \phi A)) \cdot t$$

$$A_{nv} = t$$

$$A_{nv} = 140.10 \text{ mm}^2$$

$$\textcircled{1} U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 106.84 \text{ kN}$$

$$\textcircled{2} 0,60 \cdot F_u \cdot A_{nv} = 33.62 \text{ kN}$$

$$\textcircled{3} 0,60 \cdot F_y \cdot A_{gv} = 32.00 \text{ kN}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{2} = 140.46 \text{ kN}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{3} = 138.84 \text{ kN} \text{ Gobierna el menor}$$

$$\textcircled{1} + \textcircled{3} = 13.9 \text{ t}$$

$$2 \textcircled{1} + \textcircled{3} = 27.8 \text{ t} \text{ Dos pernos por cara}$$

### Cortante en el perno conector en Acero A-36.

$$\phi p = 15.9 \text{ mm}$$

$$\text{Área perno } A_p = 197.9 \text{ mm}^2$$

$$V_p = 0.6 \cdot F_y \cdot A_p = 33.3 \text{ kN}$$

$$\text{Brazo} = 250 \text{ mm}$$

$$M_t = 8313.2 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$M_t = 84.7 \text{ t} \cdot \text{cm}$$

$$2 M_t = 169.5 \text{ t} \cdot \text{cm} \text{ Dos pernos por cara}$$

### Área de la lámina.

Conexión superior

Largo (m)	Base-Alto (m)	Cantidad	Suma
0.3	0.06	4	0.07

0.3	0.30		0.09
0.2	0.06	4	0.05
		$\Sigma$	<u>0.21</u> m <sup>2</sup>

Conexión  
inferior

Largo (m)	Base-Alto (m)	Cantidad	Suma
0.28	0.06	4	0.07
0.28	0.28		0.08
		$\Sigma$	<b>0.15</b> m <sup>2</sup>

**Análisis de resultados:** La junta falló por desgarramiento en el bloque de cortante, soportó 27.8 t que es el valor medio obtenido en las sollicitaciones de la NSR-10.

#### 2.1.4 Selección de conexión definitiva

De los tres análisis preliminares de las juntas se vio que la primera opción dio valores mucho más bajos en tensión, desgarramiento en la lámina y resistencia a corte del perno, las opciones 2 y 3 al tener dos pernos por cara aportaron mayores valores al ser sometidas a estas sollicitaciones por lo tanto la opción de conexión experimental No.1 es descartada.

Las opciones 2 y 3 tuvieron resistencias similares: la alternativa dos tuvo valores más altos en tensión y desgarramiento, la opción 3 uso menos metros cuadrados de lámina y en su proceso de fabricación al ser acoplada fue mucho más fácil realizar el proceso, por tanto se hizo el diseño de la conexión experimental número tres por costos, facilidad constructiva y de empate.

## 3. Resultado experimental

### 3.1 Ensayo a tensión

El ensayo con carga por tensión consistió dejar la parte inferior de la junta fija y aplicar una fuerza axial en la junta superior del modelo.

A la conexión se adicionaron algunas piezas para poder simular el efecto que sufriría el pilote ante esta fuerza y poder ajustar la pieza a la máquina SHIMADZU que realizó el ensayo.

#### 3.1.1 Modelo número 1 para ensayo a tensión

El primer modelo que fue diseñado y constó de 9 piezas de acero A-36 con la única excepción de la pieza No.6 que es de acero A-706 corrugado.

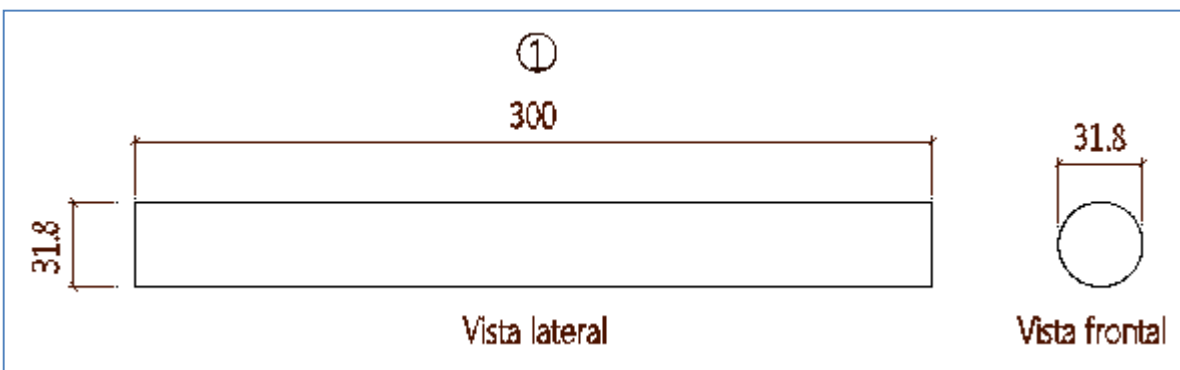


Figura 3-1. Detalle de pieza No.1 modelo 1 tensión.

La pieza No.1 fue un cilindro macizo de  $\phi 31.8$  (1¼") x 300 mm, que penetró la pieza No.3 y tuvo soldadura de tapón que una el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.2 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que une al cilindro con la placa.

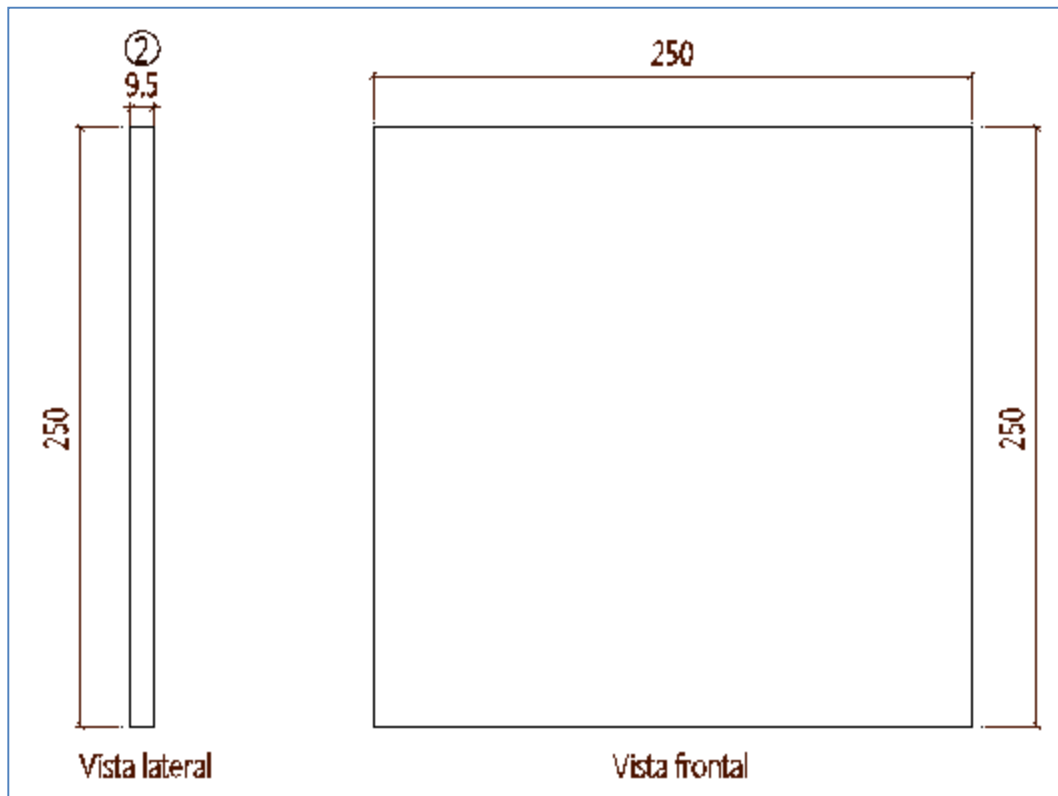


Figura 3-2. Detalle despiece pieza No.2 modelo 1 tensión.

La pieza No.2 fue una placa cuadrada de 250 x 250 x 9.5 (3/8") mm, que fue penetrada por la pieza No.1 con soldadura de ángulo, también se soldó a la pieza No.3 con soldadura de ángulo continua en los cuatro bordes de la placa.

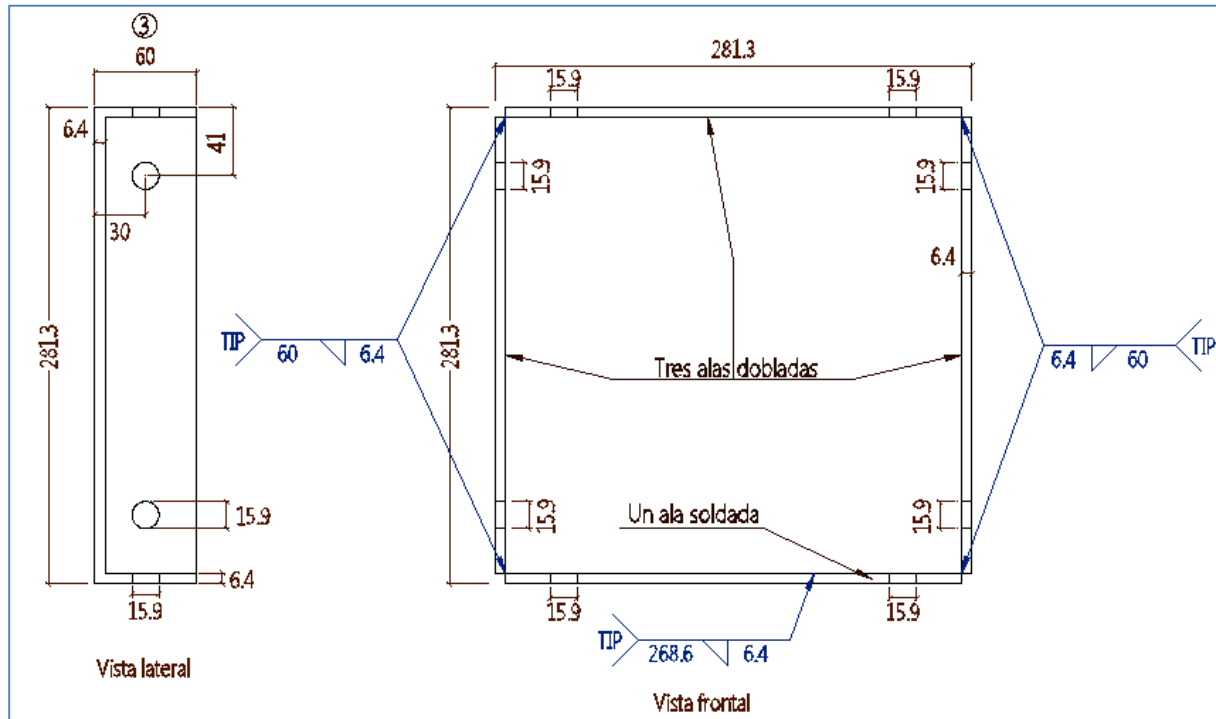


Figura 3-3. Detalle despiece pieza No.3 modelo 1 tensión.

La pieza No.3 fue una lámina de 280 x 280 x 6.4 (1/4") mm, doblada en tres de sus caras y la cuarta cara es un corte que se soldó en ángulo 3 de sus extremos para hacer el cajón con dimensiones de 60 x 280 x 6.4 (1/4") mm, este cajón llevó 8 perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm y fue soldado a la piezas No.1 y No.3, en la zona de las perforaciones fueron encajadas las piezas No.9 que unió las piezas No.4 y No.3.

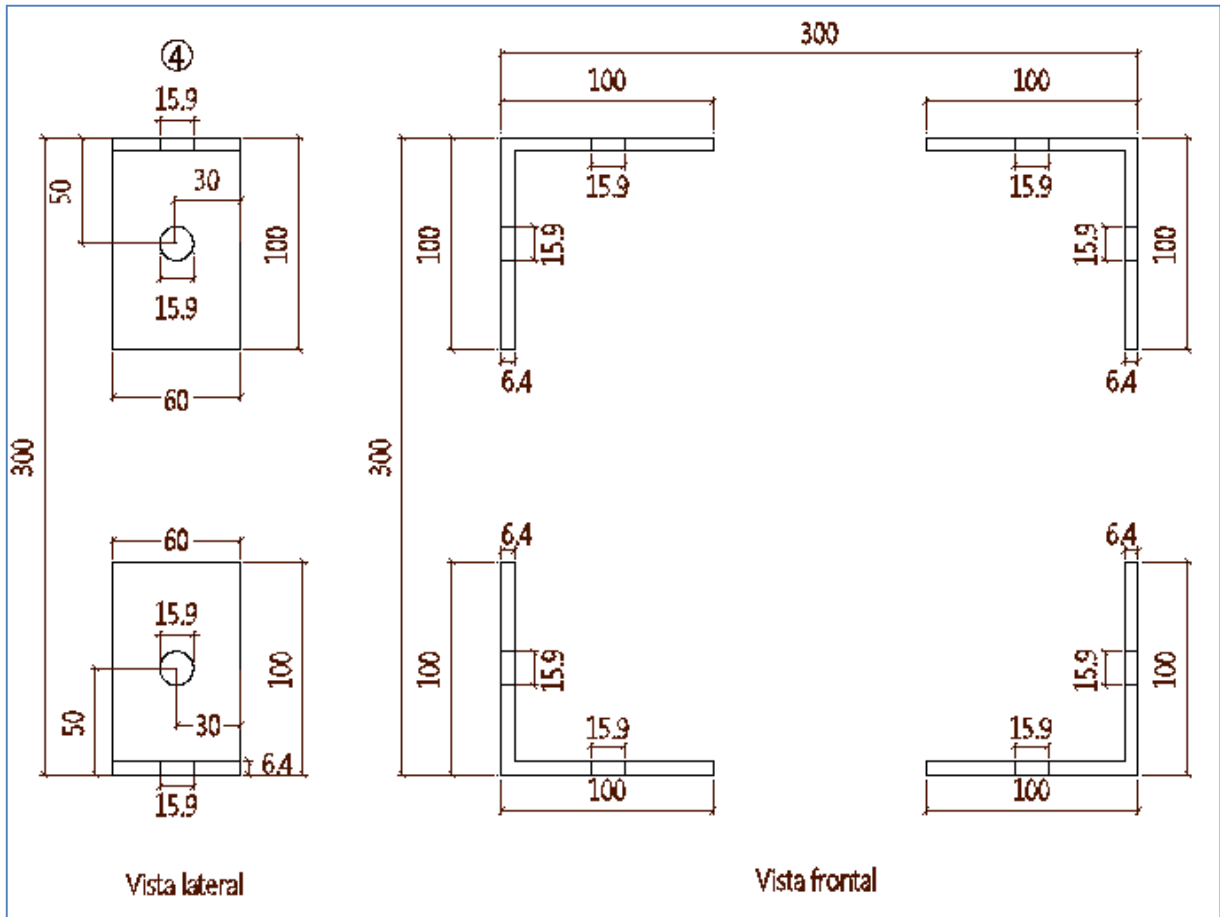


Figura 3-4. Detalle de pieza No.4 modelo 1 tensión.

La pieza No.4 fueron las cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 (1/4") mm y cada una llevo dos perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm que contenían las piezas No.9 y en el borde superior se soldó a tope con bisel plano a la pieza No.5.

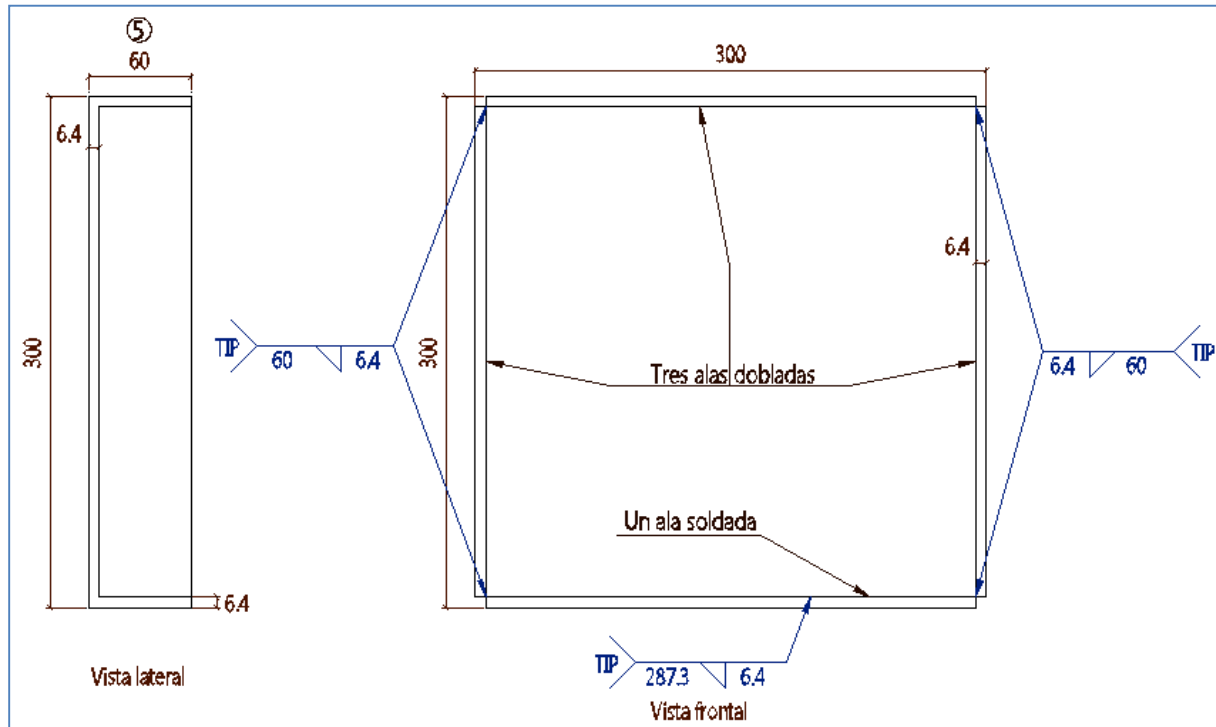


Figura 3-5. Detalle despiece pieza No.5 modelo 1 tensión.

La pieza No.5 fue un cajón similar a la pieza No.3 pero más ancho 300 x 300 x 6.4 (1/4") mm con tres alas dobladas y un ala de 60 x 300 x 6.4 (1/4) mm, se soldó y ya que este contenía a la pieza No.3 y se unió a la pieza No.4, también se soldó por ángulo a la pieza No.6 que eran los cuatro aceros de  $\phi$  15.9 mm.



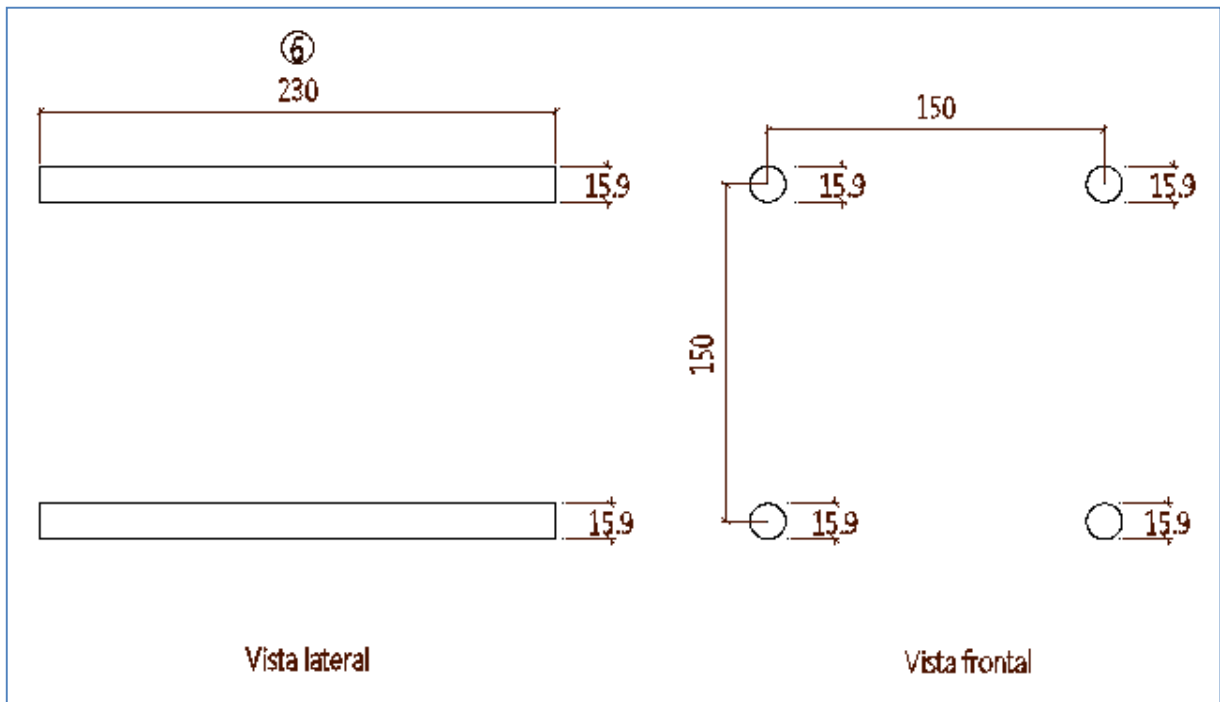


Figura 3-6. Detalle despiece pieza No.6 modelo 1 tensión.

La pieza No.6 eran cuatro aceros corrugados de  $\varnothing 15.9$  (5/8") x 230 mm, que se soldaron por ángulo en sus extremos a las piezas No.5 y No.7.

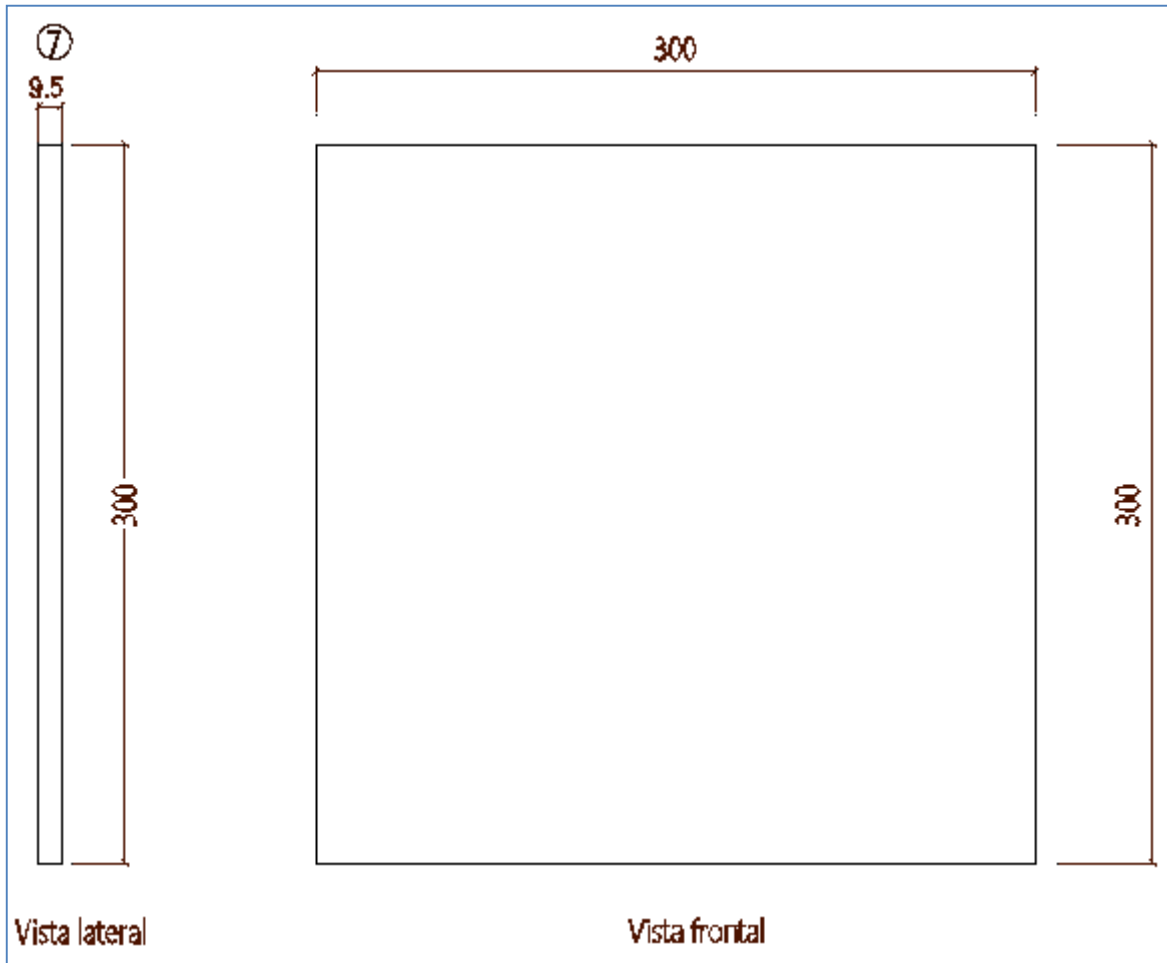


Figura 3-7. Detalle despiece pieza No.7 modelo 1 tensión.

La pieza No.7 fue una lámina rectangular de 300 x 300 x 9.5 (3/8") mm, que se soldó a la pieza No.6, penetrada por la pieza No.8 y tuvo soldadura de tapón que unió el diámetro de todo el cilindro con la base perforada y en el borde de la cara exterior también se soldó por ángulo a la pieza No.8.

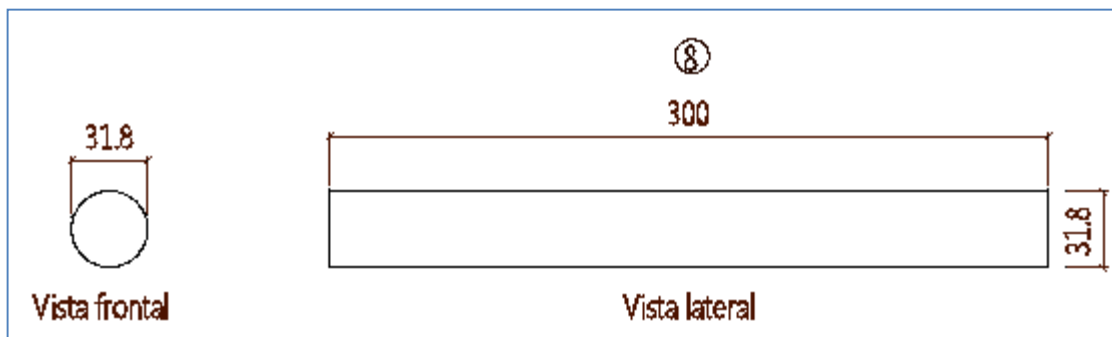


Figura 3-8. Detalle despiece pieza No.8 modelo 1 tensión.

La pieza No.8 fue un cilindro macizo de  $\text{Ø}31.8$  ( $1\frac{1}{4}$ " ) x 300 mm, igual a la pieza No.1 que penetró la pieza No.7 y se soldó en dos puntos.

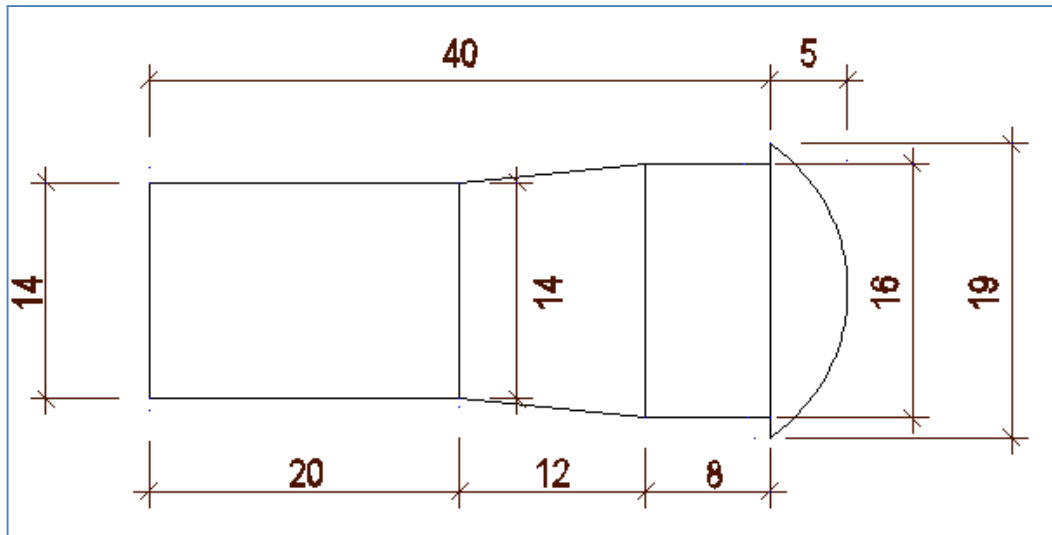


Figura 3-9. Detalle perno, pieza No.9 modelo 1 tensión.

La pieza No.9 eran los 8 pernos de  $\text{Ø}15.9$  ( $5/8$ " ) x 40 mm, Aproximadamente que entraban a presión para unir las dos conexiones.

Todas la soldaduras tenían especificaciones E-6010 (ver figuras 3-10,3-11, 3-12).



La figura 3-10 muestra la orientación de las piezas de la zona inferior del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.1 era para que la mordaza de la maquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, la pieza No.2 fue para dar apoyo al soporte de la estructura.

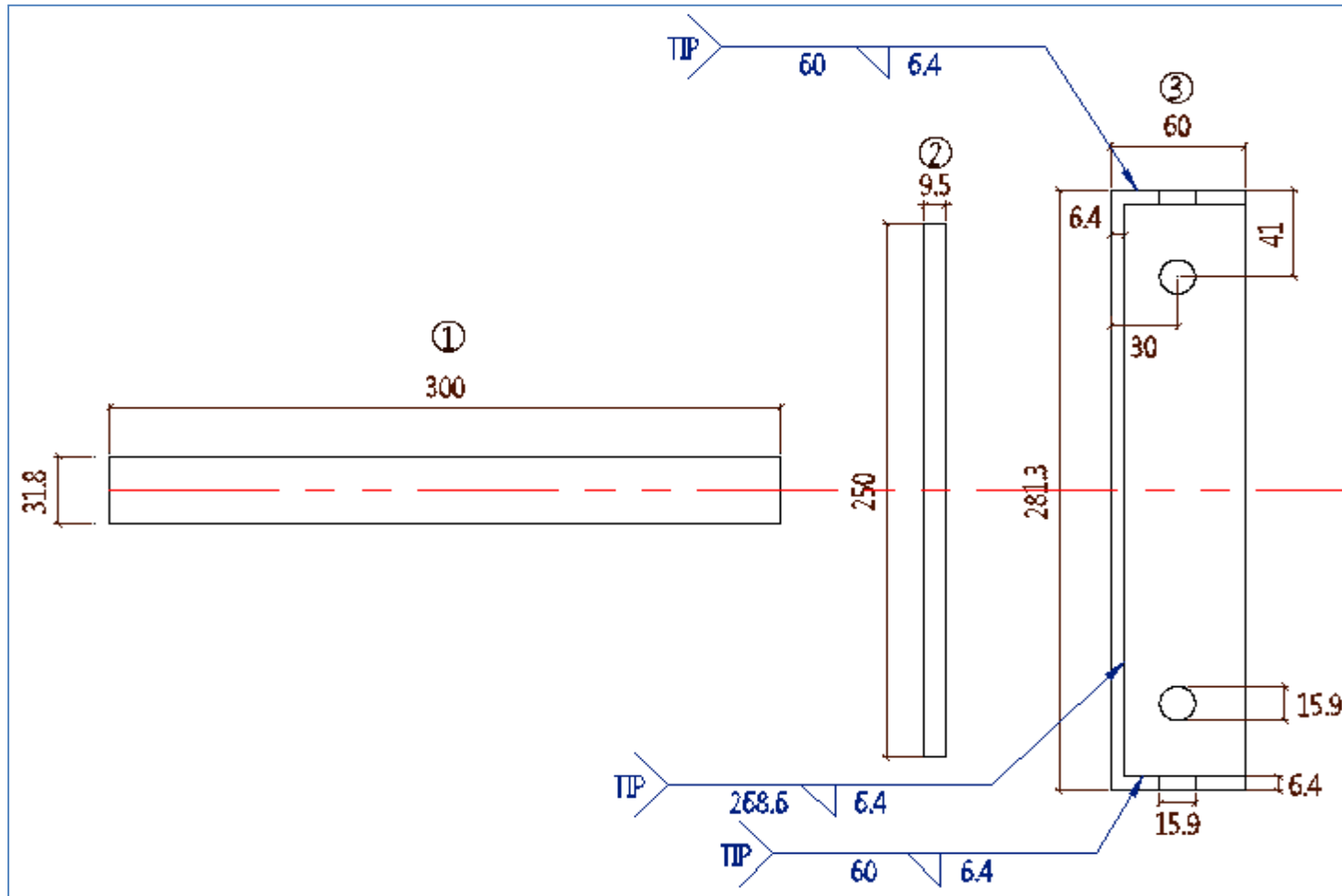


Figura 3-10. Detalle despiece conexión inferior modelo No.1.

La figura 3-11 muestra la orientación de las piezas de la zona superior del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.8 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar y aplicar la fuerza de tensión a esta parte del modelo, la pieza No.7 era para dar apoyo al soporte de la estructura.

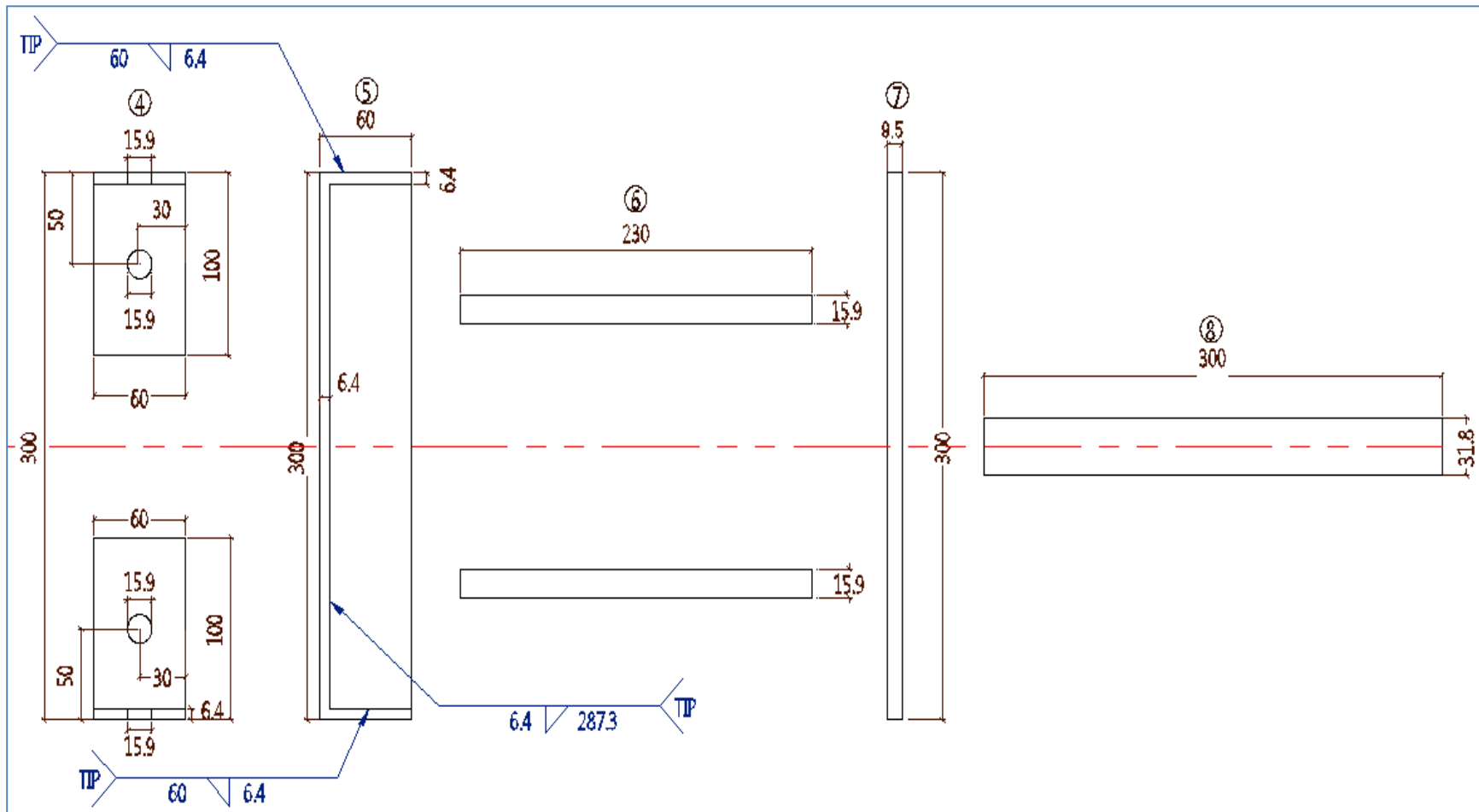


Figura 3-11. Detalle despiece conexión superior modelo No.1.

La figura 3-12 muestra el modelo completo visto lateralmente, también se observan todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió la el ensayo para poder ser fallado.

Nota: Ver plano MODELOS ENSAYO A TENSION

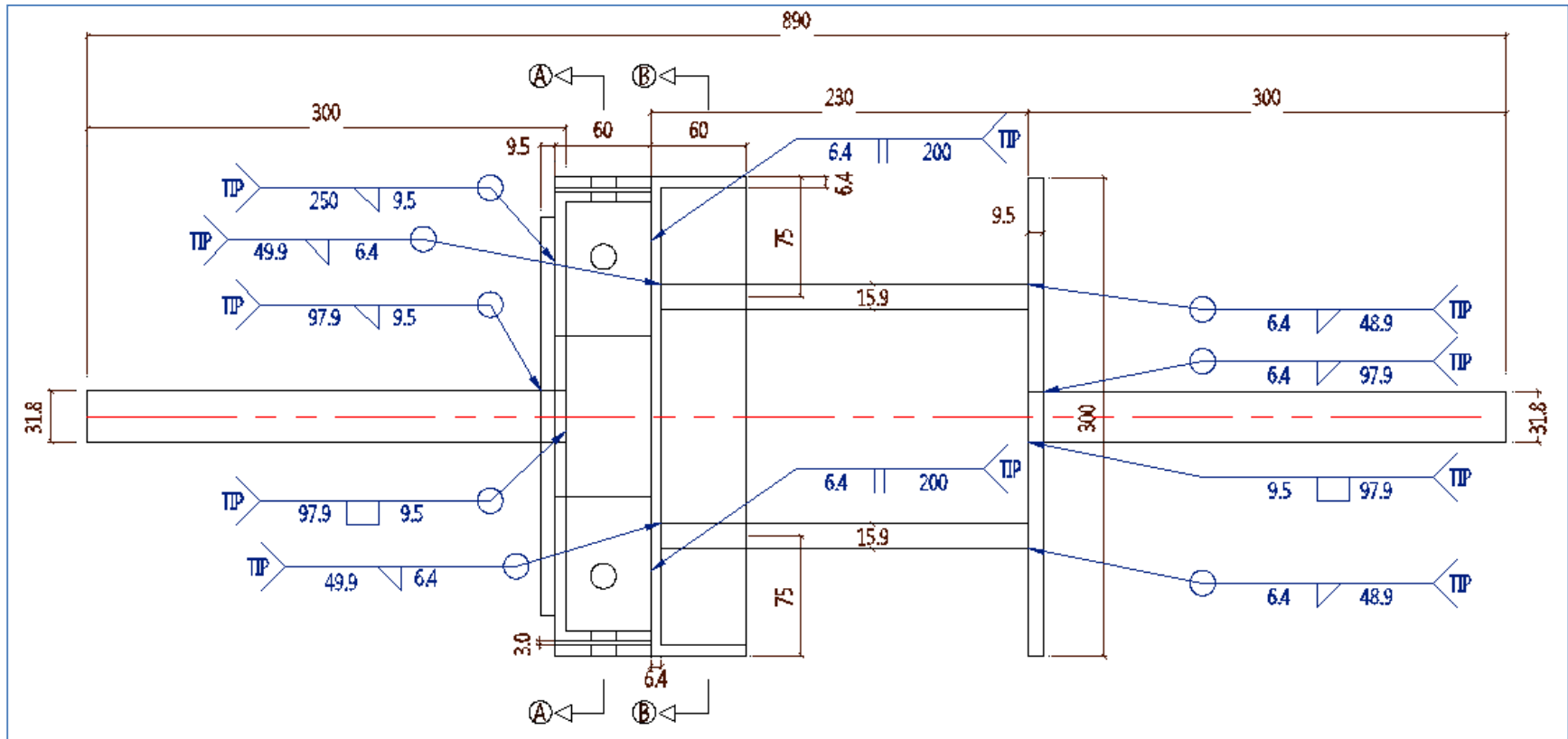


Figura 3-12. Detalle conexión completa modelo No.1.





La imagen 3-1 muestra el modelo real completo visto lateralmente, también se observan todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió el ensayo para poder ser fallado en la máquina SHIMADZU.



Imagen 3-1. Modelo real No.1.

En la imagen 3-2 se observa la falla de la soldadura del modelo que se usó en la zona que une a las piezas No.6 y No.7.



Imagen 3-2. Falla del modelo real No.1.

- **Análisis de la falla modelo número 1**

Según F.2.10.2.4 (NSR-10) - **Resistencia de diseño** - de una soldadura,  $\phi R_n$ , será el menor entre los valores obtenidos para la resistencia del material base, determinada de acuerdo con los estados límites de rotura por tensión y rotura por cortante, y para la resistencia del metal de soldadura, determinada para el estado límite de rotura, con **R<sub>n</sub>** calculado como sigue:

Para el metal base:

Para el metal de soldadura:

$$R_n = F_n B_M \cdot A_{BM}$$

$$R_n = F_n w \cdot A_{we}$$

dónde:

$F_n B_M$  = Resistencia nominal por unidad de área para el metal base, MPa

$F_n w$  = Resistencia nominal por unidad de área para el metal de la soldadura, MPa

$A_{BM}$  = Área de la sección transversal del metal base, mm<sup>2</sup>

$A_{we}$  = Área efectiva de la soldadura, mm<sup>2</sup>

Ver tabla F.2.10.2-5 (NSR-10)

Para soldaduras de filete: La tensión o compresión que actúa en las partes conectadas con dirección paralela a la soldadura que las une no requiere ser considerada en el diseño de dicha soldadura, sin embargo se consideraran los valores de la carga para cortante.

Para cortante considerando el metal base que se controla por F.2.10.4

## F.2.10.4 - ELEMENTOS AFECTADOS DE LOS MIEMBROS CONECTADOS Y ELEMENTOS DE CONEXIÓN

### F.2.10.4.1 - Resistencia de elementos a Tensión

(a) Para fluencia por tensión en elementos de conexión

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = F_y \cdot A_g$$

Acero ASTM A-706 propiedades

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$A_g = 197,93 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 74,82 \text{ kN}$$

$$7,63 \text{ t}$$

$$4 \phi R_n = 30,51 \text{ t } 4 \text{ Barras}$$

(b) Para rotura por tensión en elementos de conexión:

$$\phi = 0,75$$

$$R_n = F_u \cdot A_e$$

$$A_e = U \cdot A_n$$

F.2.2.4.3.2 - **Área neta** - Para miembros sin perforaciones, el área neta,  **$A_n$** , se toma igual que el área bruta  **$A_g$** .

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 81,65 \text{ kN} \\ & 8,32 \text{ t} \\ 4 \phi R_n &= 33,29 \text{ t} \quad 4 \text{ Barras}\end{aligned}$$

Para metal de la soldadura:

$$\begin{aligned}R_n &= F_n B M \cdot A B M \\ \phi &= 0,75\end{aligned}$$

Tipo soldadura F6010

$$F_y = 413 \text{ MPa}$$

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$F_{nw} = F_y = 0,6 \cdot 412$$

$$F_{nw} = 247,8 \text{ MPa}$$

$$A_{we} = h \cdot 0,707 \cdot P$$

$$\text{Filete } 1/2" = h = 12,70 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro Barra } 5/8" = P = 44,39 \text{ mm}$$

$$A_{we} = 398,54 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 74,1 \text{ kN}$$

$$7,55 \text{ t}$$

$$4 \phi R_n = 30,20 \text{ t} \quad 4 \text{ Barras}$$

Se tomó el menor valor que corresponde a metal de la soldadura 30,20 t

El modelo debía resistir por lo menos una fuerza de aproximadamente 30200 kg que es la fuerza que correspondía al metal de soldadura resistida por la barras de  $\phi 15.9$  mm.

En el ensayo de laboratorio la muestra solo resistió 12300 kg y se observó que falló en la soldadura de una de las barras de  $\phi 15.9$  mm que se conecta con la pieza No.7 pero la falla realmente consistió en que la lámina no soportó la carga y se pandeo por lo tanto se concluyó que se debía reforzar esta zona del modelo.

### 3.1.2 Modelo número 2 para ensayo a tensión

El segundo modelo que fue diseñado y consta de 12 piezas de acero A-36 con la única excepción de la pieza No.6 que es de acero A-706 corrugado.

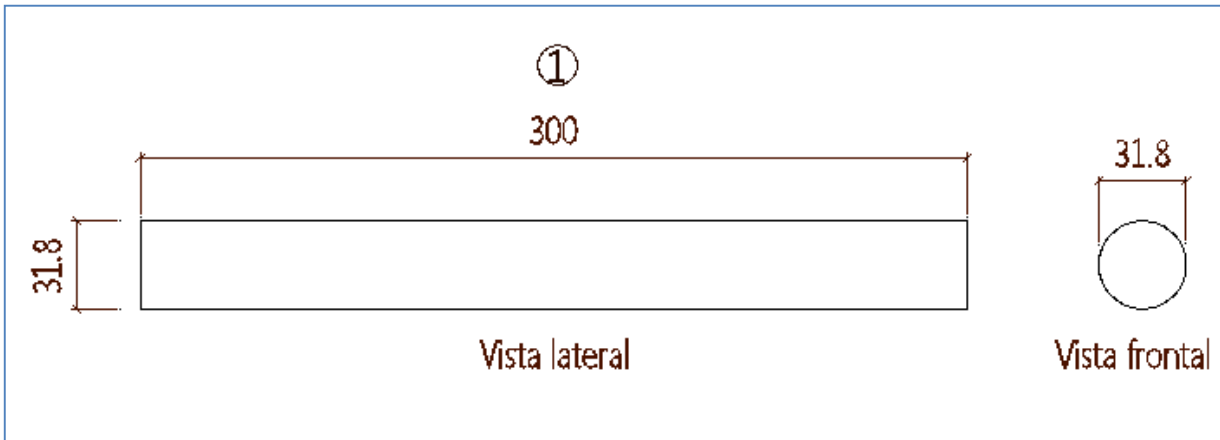


Figura 3-13. Detalle despiece pieza No.1 modelo 2 tensión.

La pieza No.1 fue un cilindro macizo de  $\varnothing 31.8$  (1¼") x 300 mm, que penetro la pieza No.3 y tuvo soldadura de tapón que unió el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.2 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que une al cilindro con la placa.

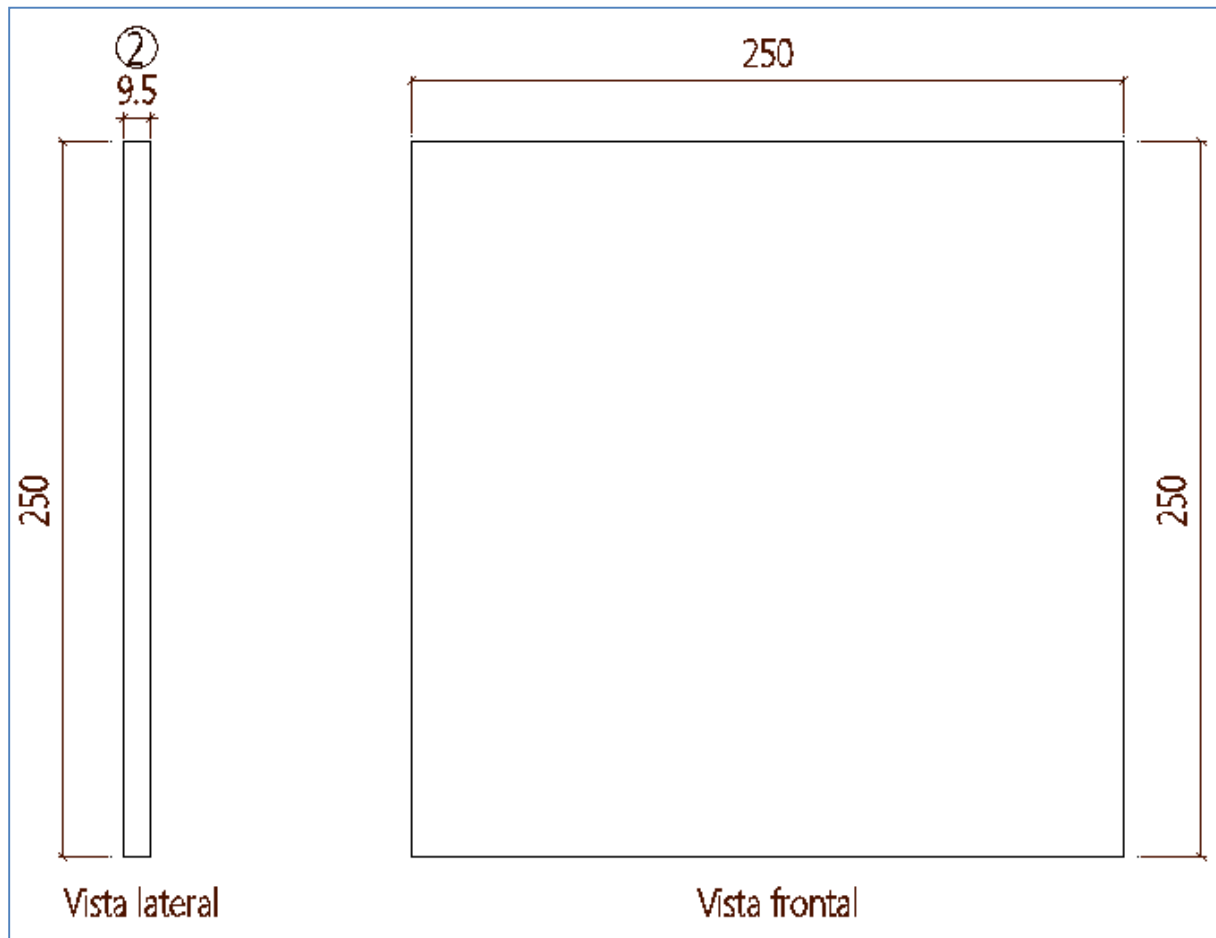


Figura 3-14. Detalle despiece pieza No.2 modelo 2 tensión.

La pieza No.2 fue una placa cuadrada de 250 x 250 x 9.5 (3/8") mm, que fue penetrada por la pieza No.1 con soldadura de ángulo, también se soldó a la pieza No.3 con soldadura de ángulo continua en los cuatro bordes de la placa.

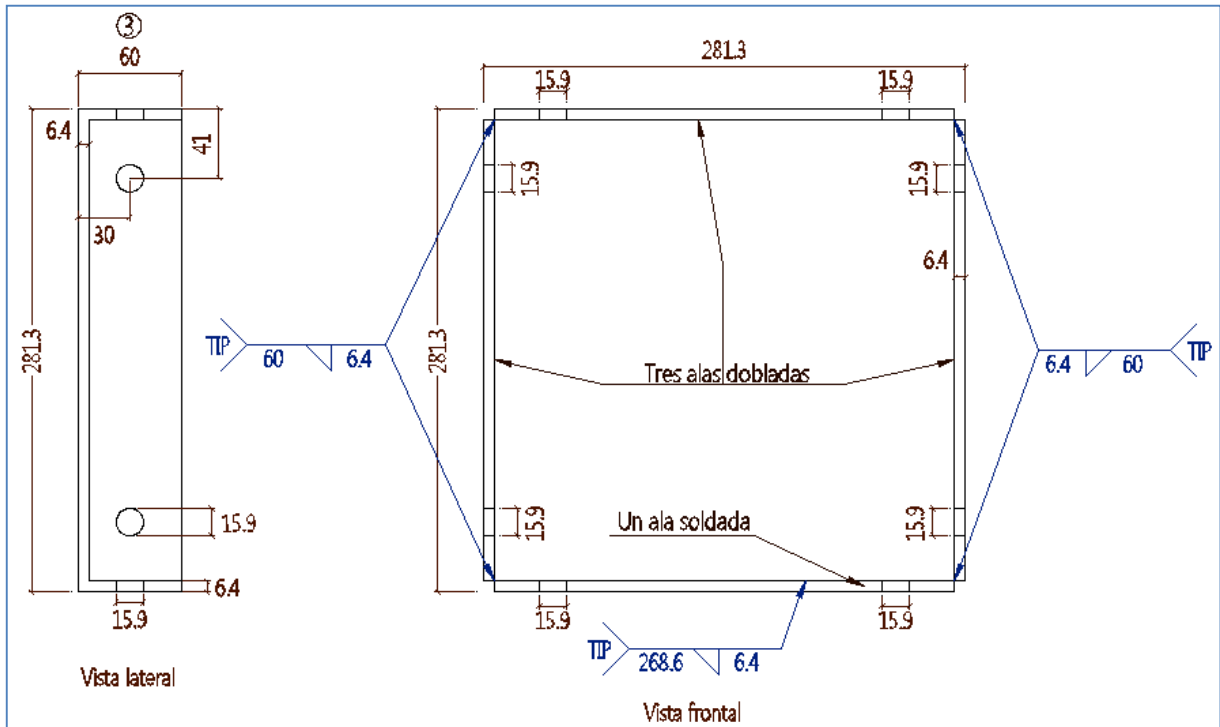


Figura 3-15. Detalle despiece pieza No.3 modelo 2 tensión.

La pieza No.3 fue una lámina de 280 x 280 x 6.4 (1/4") mm, doblada en tres de sus caras y la cuarta cara es un corte que se soldó en ángulo 3 de sus extremos para hacer el cajón con dimensiones de 60 x 280 x 6.4 (1/4") mm, este cajón llevó 8 perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm y fue soldado a la piezas No.1 y No.3, en la zona de las perforaciones fueron encajadas las piezas No.12 que unían las piezas No.4 y No.3.

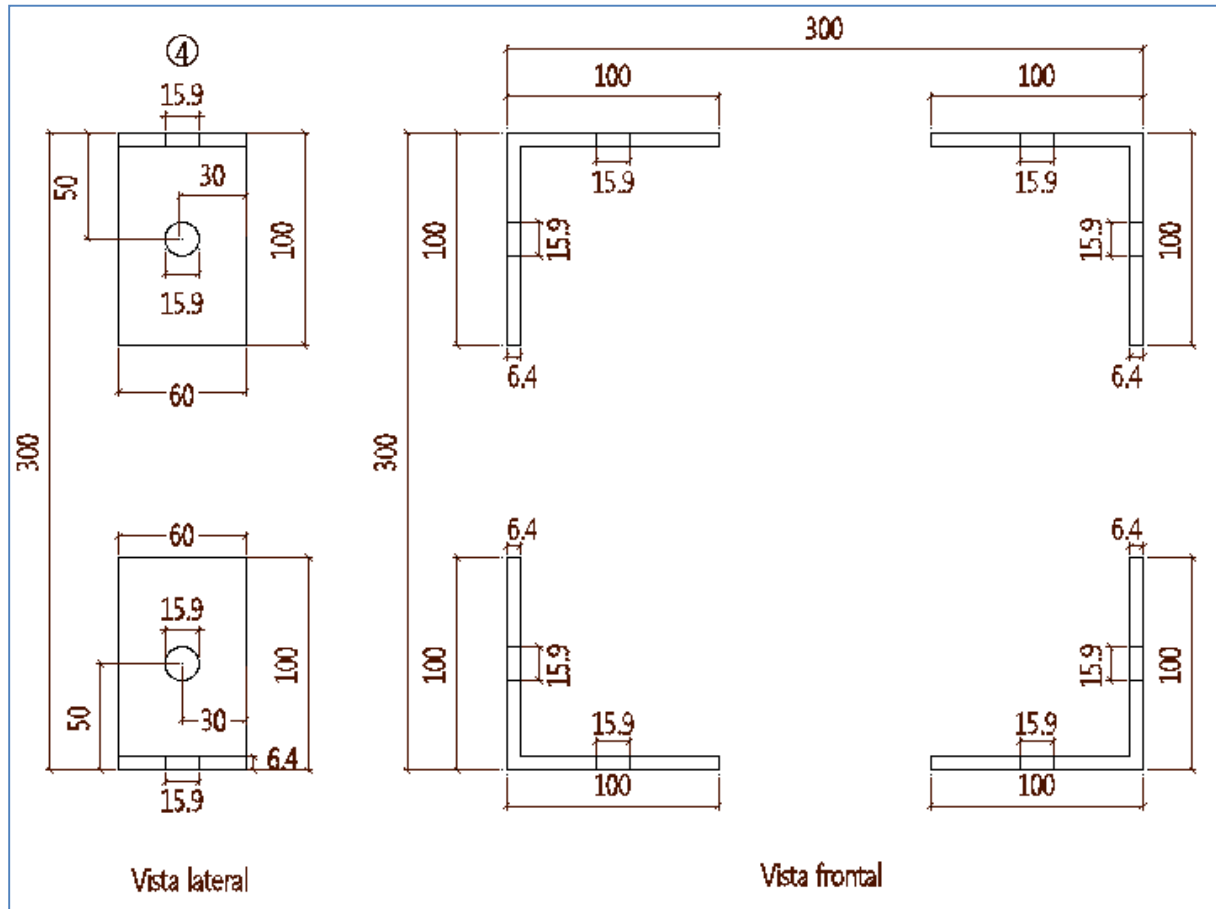


Figura 3-16. Detalle despiece pieza No.4 modelo 2 tensión.

La pieza No.4 fueron las cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 (1/4") mm y cada una llevó dos perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm que contenían las piezas No.9 y en el borde superior se soldó a tope con bisel plano a la pieza No.5.



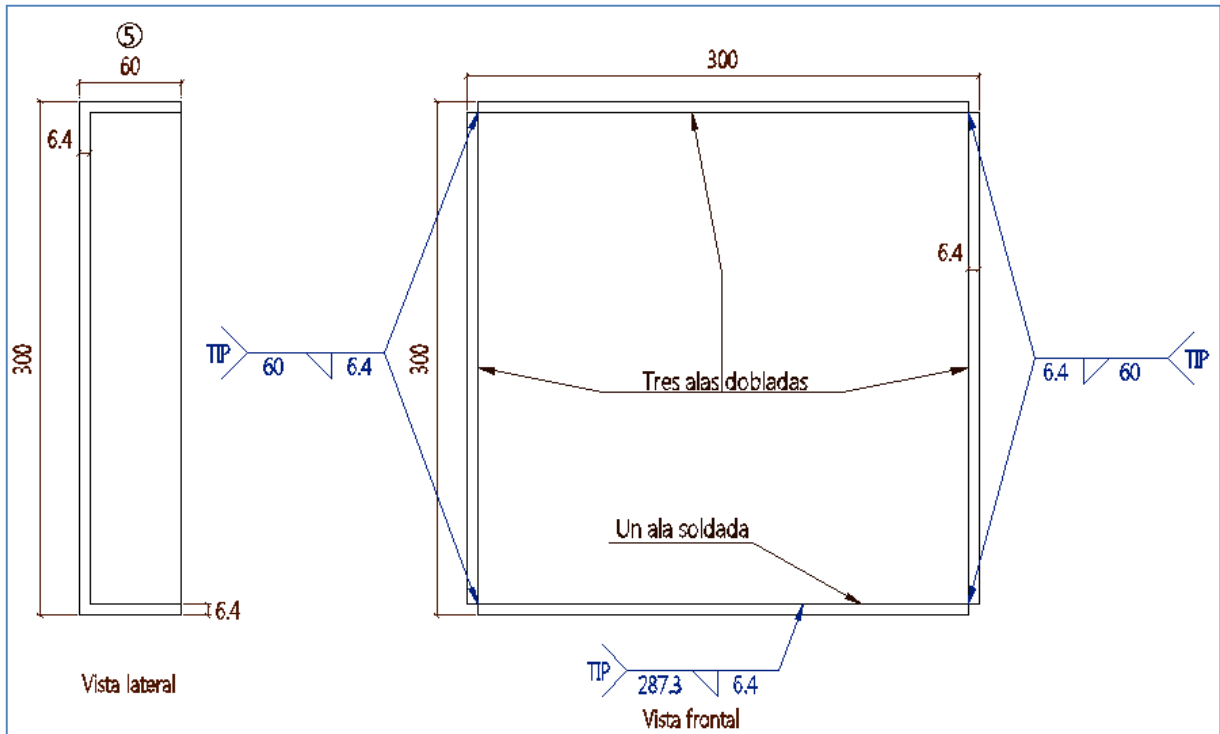


Figura 3-17. Detalle despiece pieza No.5 modelo 2 tensión.

La pieza No.5 fue un cajón similar a la pieza No.3 pero más ancho 300 x 300 x 6.4 (1/4") mm con tres alas dobladas y un ala que se soldó de 60 x 300 x 6.4 (1/4) mm y ya que este contenía a la pieza No.3 y se soldó a la pieza No.4, también se soldó por ángulo a la pieza No.6 que eran los cuatro aceros de  $\varnothing$  15.9 mm.

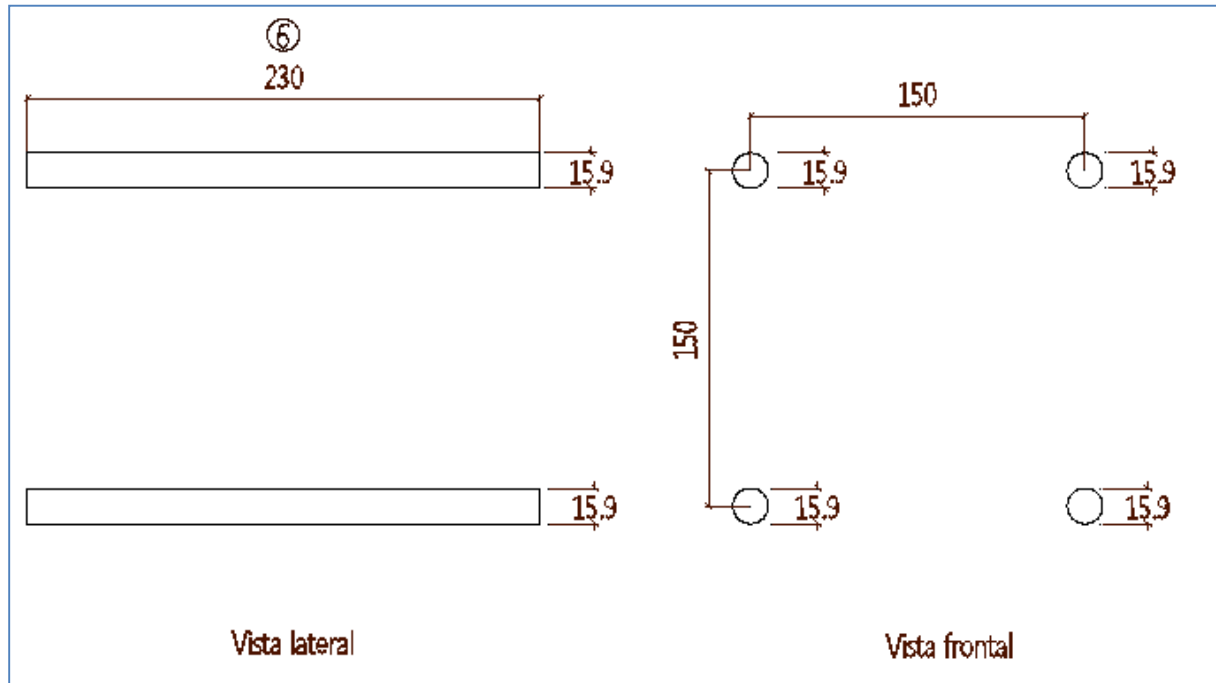


Figura 3-18. Detalle despiece pieza No.6 modelo 2 tensión.

La pieza No.6 eran cuatro aceros corrugados de  $\varnothing 15.9 \times 230$  mm, que se soldaron por ángulo en sus extremos a las piezas No.5 y No.8.

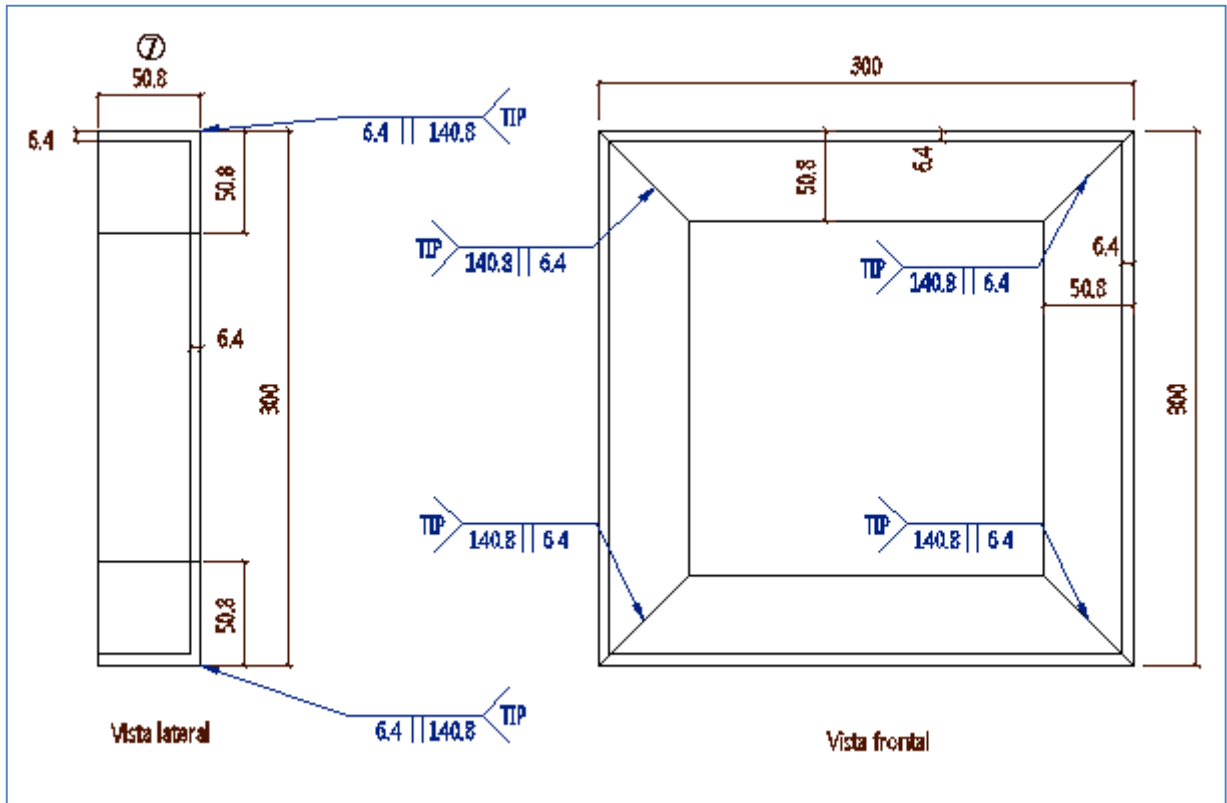


Figura 3-19. Detalle despiece pieza No.7 modelo 2 tensión.

La pieza No.7 eran cuatro ángulos de 50.8 x 50.8 x 6.4 (1/4") mm, cortados a 45° y se soldaron formando un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.8 en sus extremos.

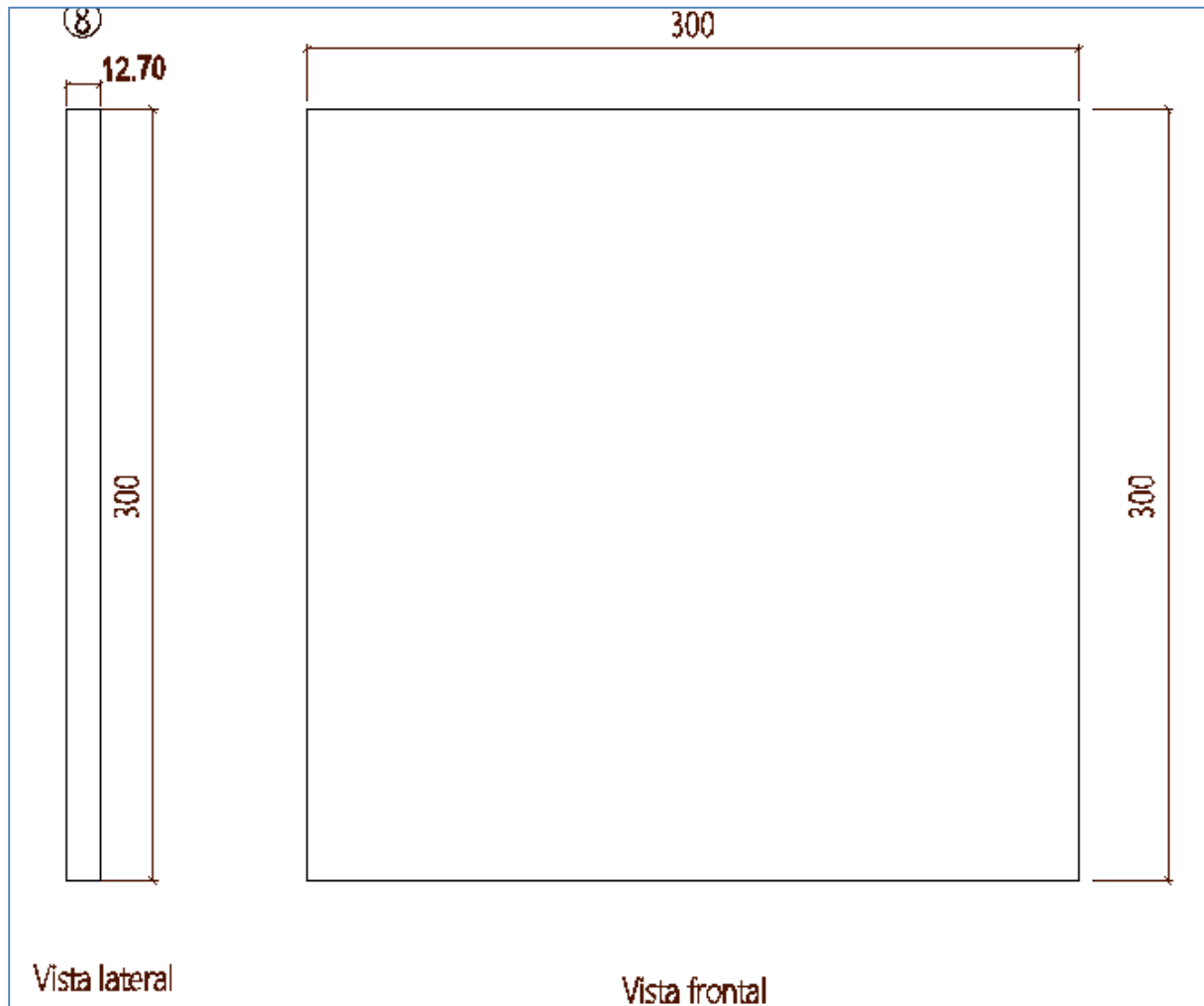


Figura 3-20. Detalle despiece pieza No.8 modelo 2 tensión.

La pieza No.8 era una lámina rectangular de 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope con las piezas No.7 y No.9, además fue soldada por ángulo a la pieza No.6, se soldó por ángulo en su cara opuesta a la Pieza No.10, por último fue atravesada por la pieza No.11 y se unieron por soldadura de tope alrededor de la circunferencia del cilindro.

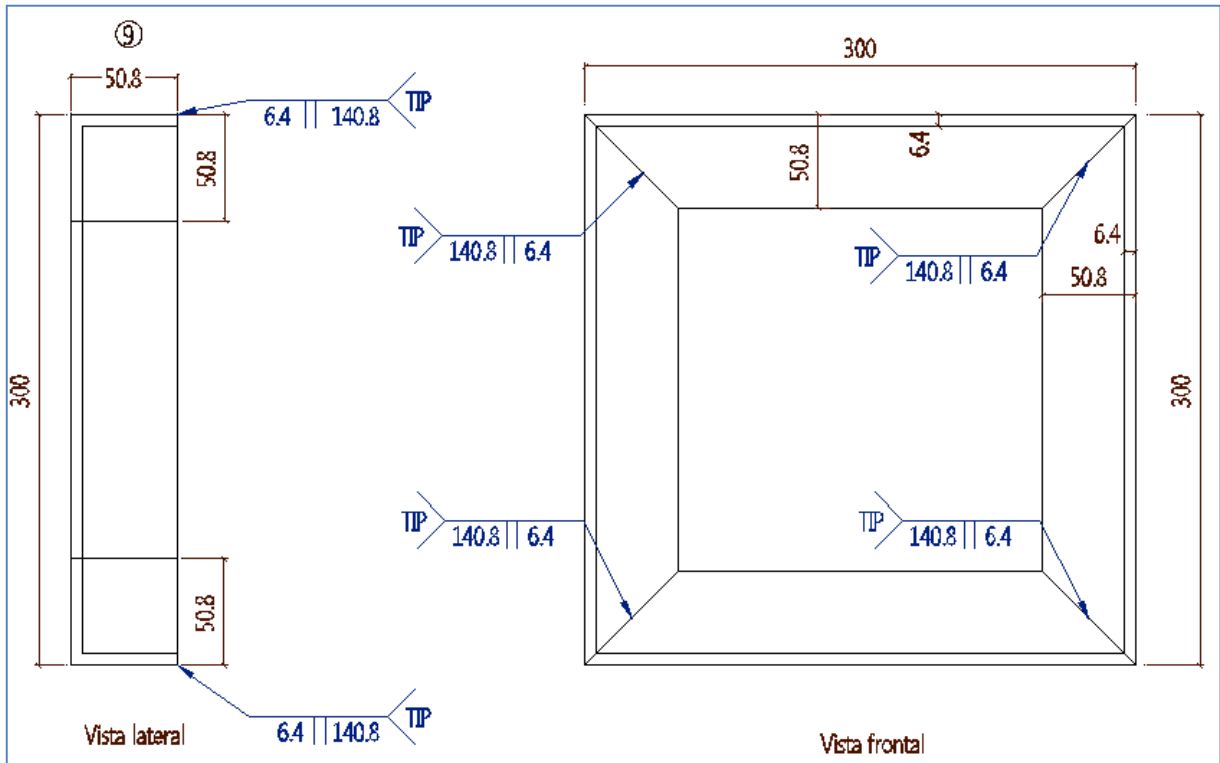


Figura 3-21. Detalle despiece pieza No.9 modelo 2 tensión.

La pieza No.9 se fabricó exactamente igual a la No.7 solo que esta en la dirección opuesta y también se unió a la pieza No.8 con soldadura de tope.

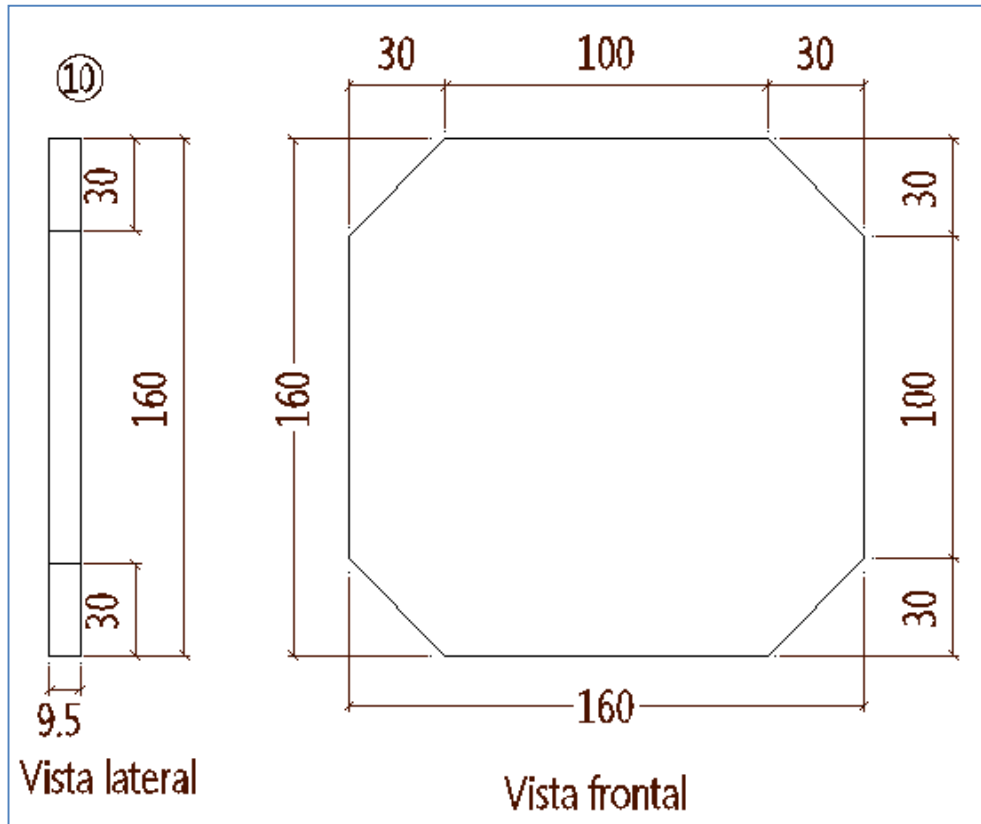


Figura 3-22. Detalle despiece pieza No.10 modelo 2 tensión.

La pieza No.10 fue una placa con las esquinas recortadas de 160 x 160 x 9.5 (3/8") mm, que se soldó por ángulo a la pieza No.8 alrededor de todos los bordes externos de la placa.

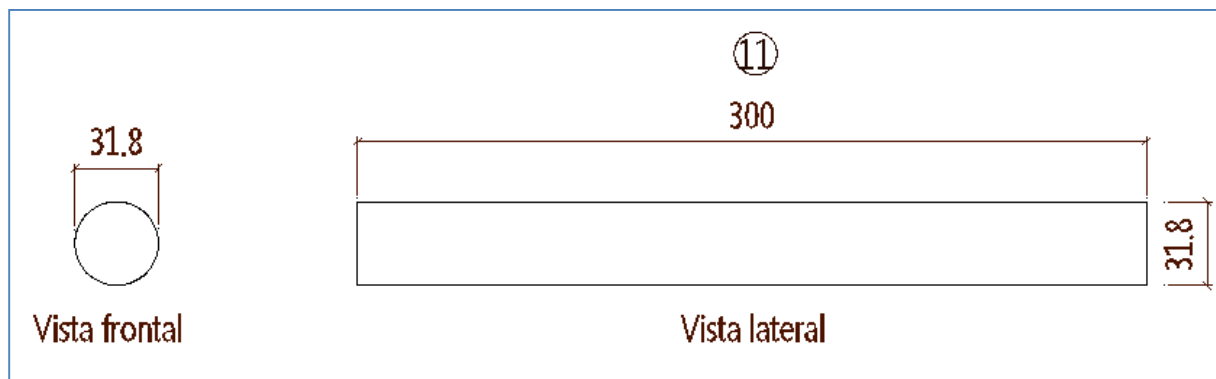


Figura 3-23. Detalle despiece pieza No.11 modelo 2 tensión.

La pieza No.11 fue un cilindro macizo de  $\phi 31.8$  (1¼") x 300 mm, que penetro la pieza No.8 y tuvo soldadura de tapón que una el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la

pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.10 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que une al cilindro con la placa.

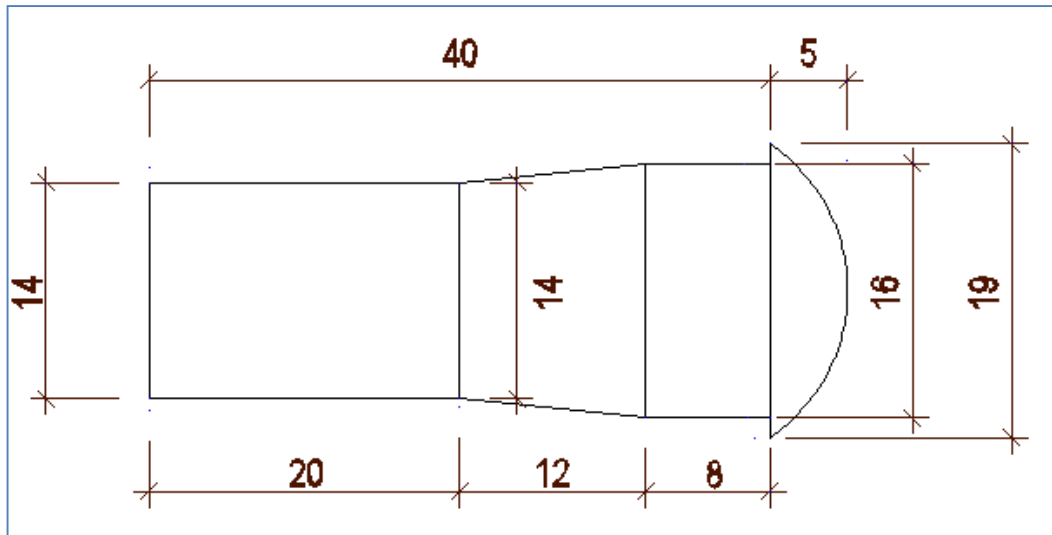


Figura 3-24. Detalle perno, pieza No.12 modelo 1 tensión.

La pieza No.12 eran los 8 pernos de  $\phi 15.9$  ( $5/8''$ ) x 40 mm, aproximadamente que entraban a presión para unir las dos conexiones.

Todas la soldaduras tenían especificaciones E-6010 (ver figuras 3-25,3-26, 3-27, 3-28).





La figura 3-25 muestra la orientación de las dos piezas de la zona inferior que se unieron a la conexión del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.1 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, la pieza No.2 fue para dar apoyo al soporte de la estructura.

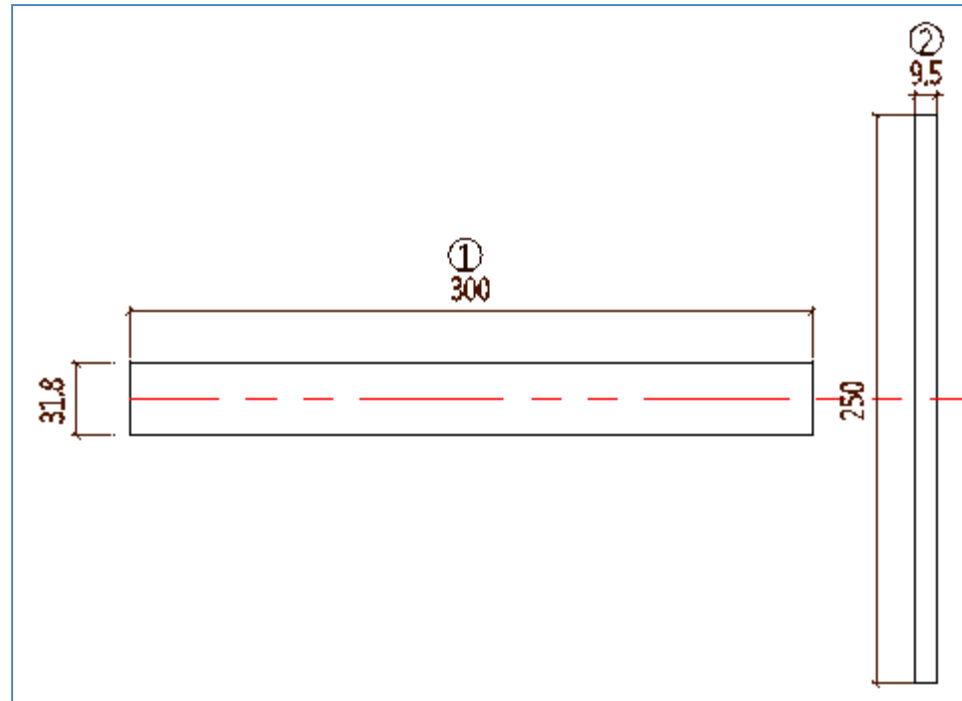


Figura 3-25. Detalle despiece piezas de armado de la conexión inferior modelo No 2.

La figura 3-26 muestra las cuatro piezas que conformaron la conexión como tal que es lo que realmente pertenece al pilote que se hincara en una estructura real.

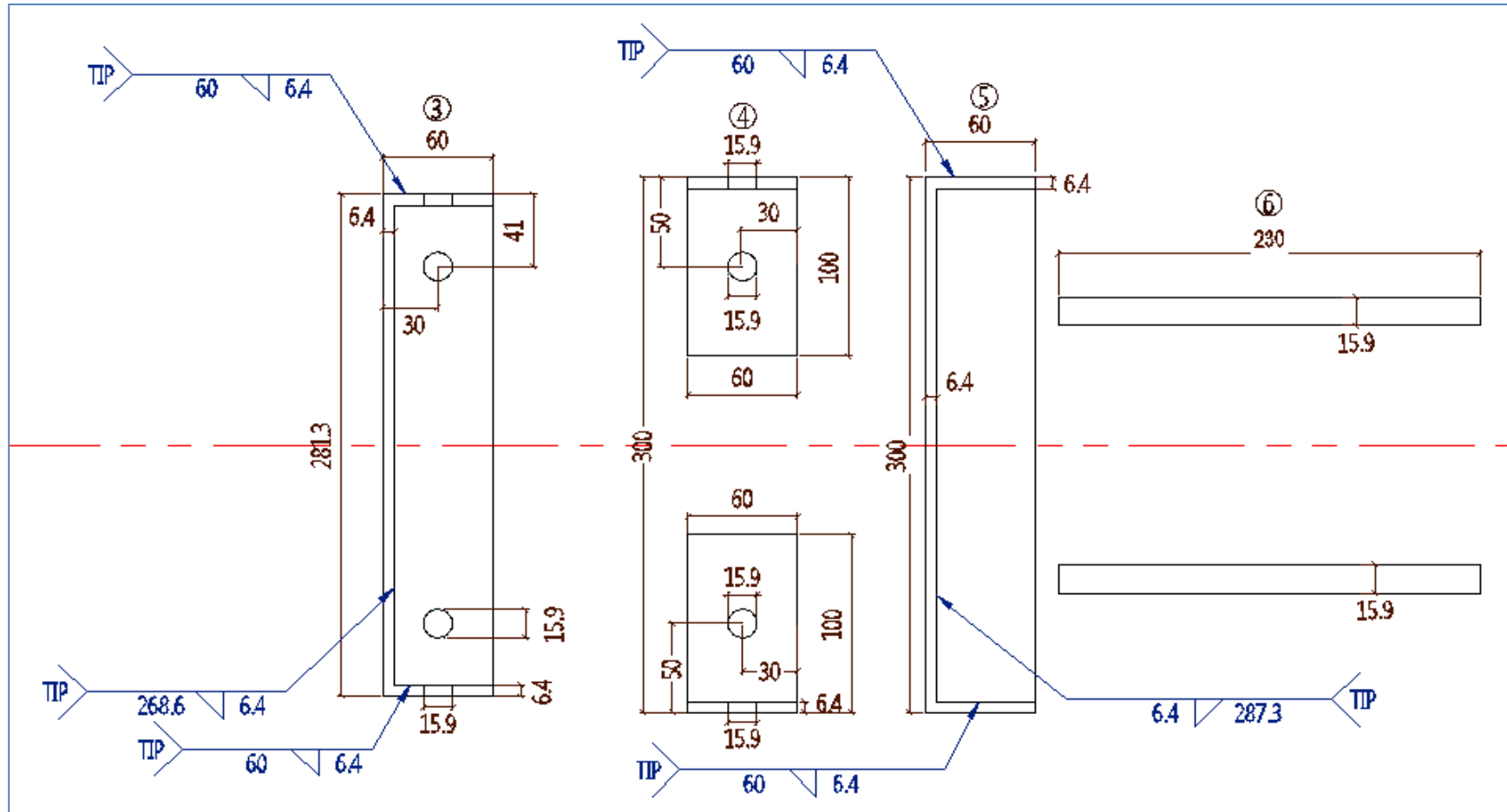


Figura 3-26. Detalle despiece de los elementos netos de la conexión No 2.

La figura 3-27 muestra la orientación de las piezas de la zona superior que se unieron a la conexión del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.11 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, las otras piezas se usaron para que el modelo soportara lo suficiente para que la falla se produjera en los aceros corrugados de  $\phi$  15.9 mm que es la zona que se consideró como la más débil.

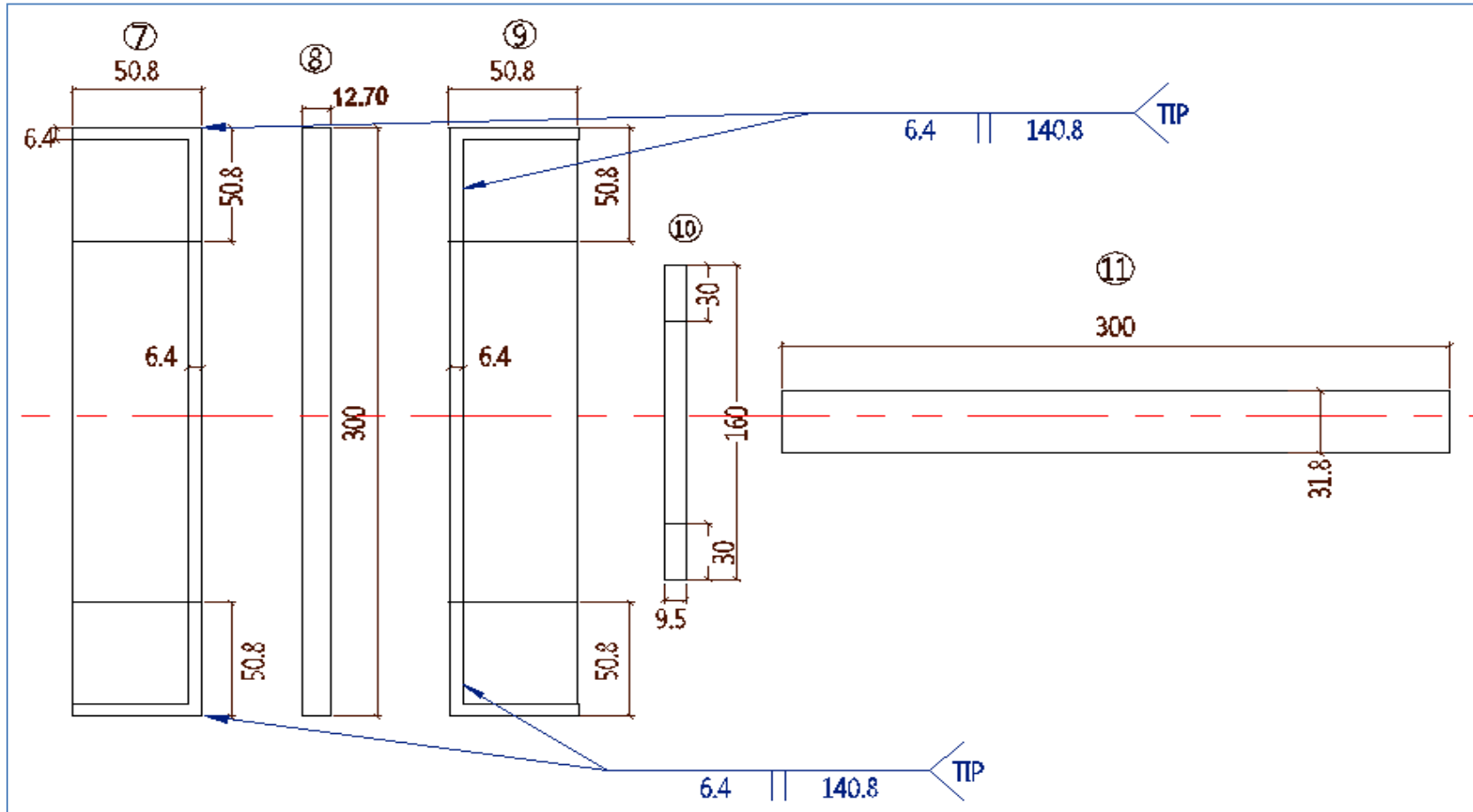


Figura 3-27. Detalle despiece conexión superior modelo No 2.

La figura 3-28 muestra el modelo completo visto lateralmente, también se observan todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió la el ensayo para poder ser fallado.

Nota: Ver plano MODELOS ENSAYO A TENSION

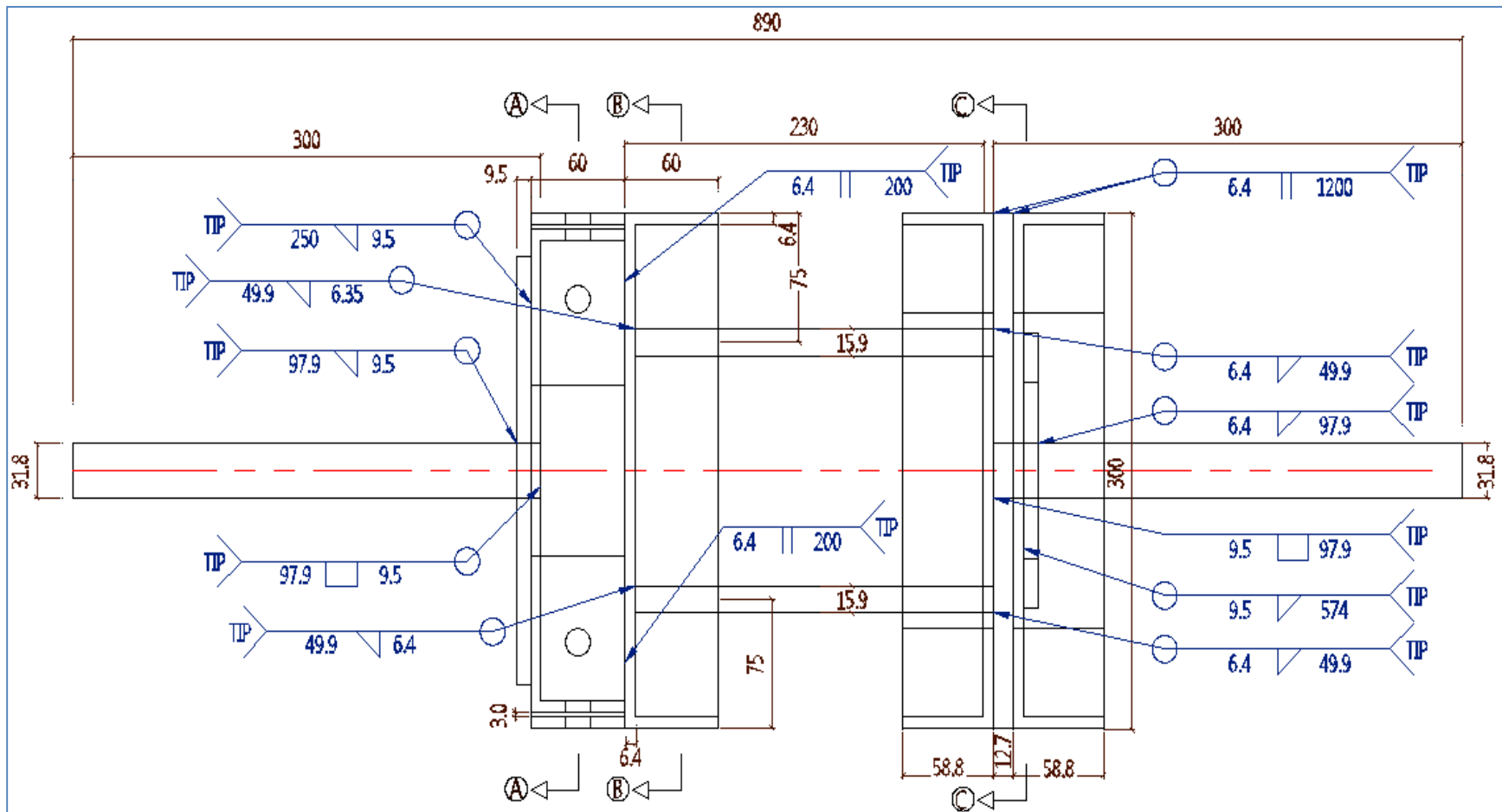


Figura 3-28. Detalle conexión completa modelo No 2.

La imagen 3-3 muestra el modelo real completo visto lateralmente desde ambos costados, también se observaron todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió el ensayo para poder ser fallado en la máquina SHIMADZU.



Imagen 3-3. Modelo real No 2.



En la imagen 3-4 se observa la falla de la soldadura del modelo que se usó en la zona que une a las piezas No.5 y No.6.



Imagen 3-4. Falla del modelo real No 2.





- **Análisis de la falla modelo número 2**

En el ensayo de laboratorio el modelo resistió 16500 kg y se observó que falló en la soldadura de una de las barras de  $\phi 15.9$  mm que se conectó a la pieza No.5, adicionalmente se observó que la placa de la pieza se pandeo por lo tanto se decidió modificar la pieza No.5 por una sección más resistente, adicionalmente la soldadura de la pieza No.6 no fue por punta sino que atravesó las láminas donde se conectó para obtener una mayor resistencia al estar soldada en dos puntos y la soldadura que se trabajó para el modelo No.3 en tensión sería E7018 que presentó un comportamiento mucho más efectivo para este tipo de uniones estructurales.

### 3.1.3 Modelo número 3 para ensayo a tensión

El tercer modelo que fue diseñado y constó de 13 piezas de acero A-36 con la única excepción de la pieza No.7 que fue de acero A-706 corrugado.

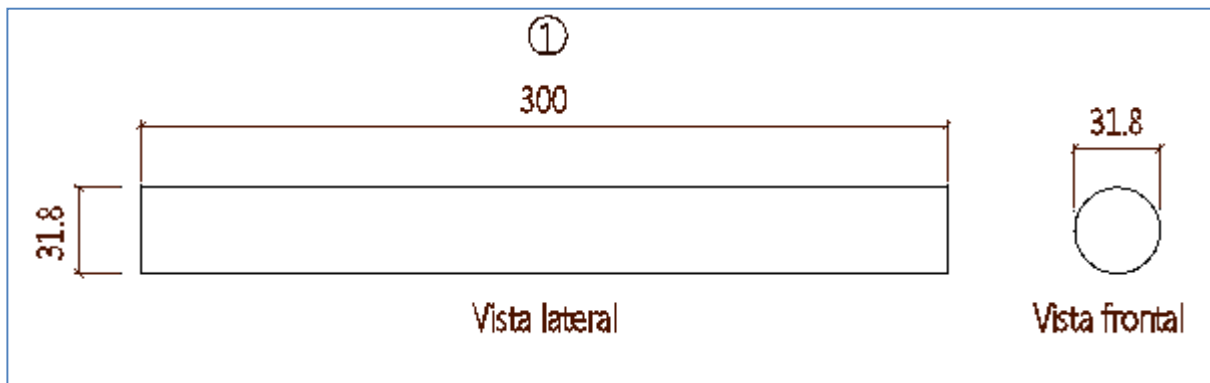


Figura 3-29. Detalle de pieza No.1 modelo 3 tensión.

La pieza No.1 fue un cilindro macizo de  $\phi 31.8$  (1¼") x 300 mm, que penetro la pieza No.3 y tuvo soldadura de tapón que una el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.2 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que une al cilindro con la placa.

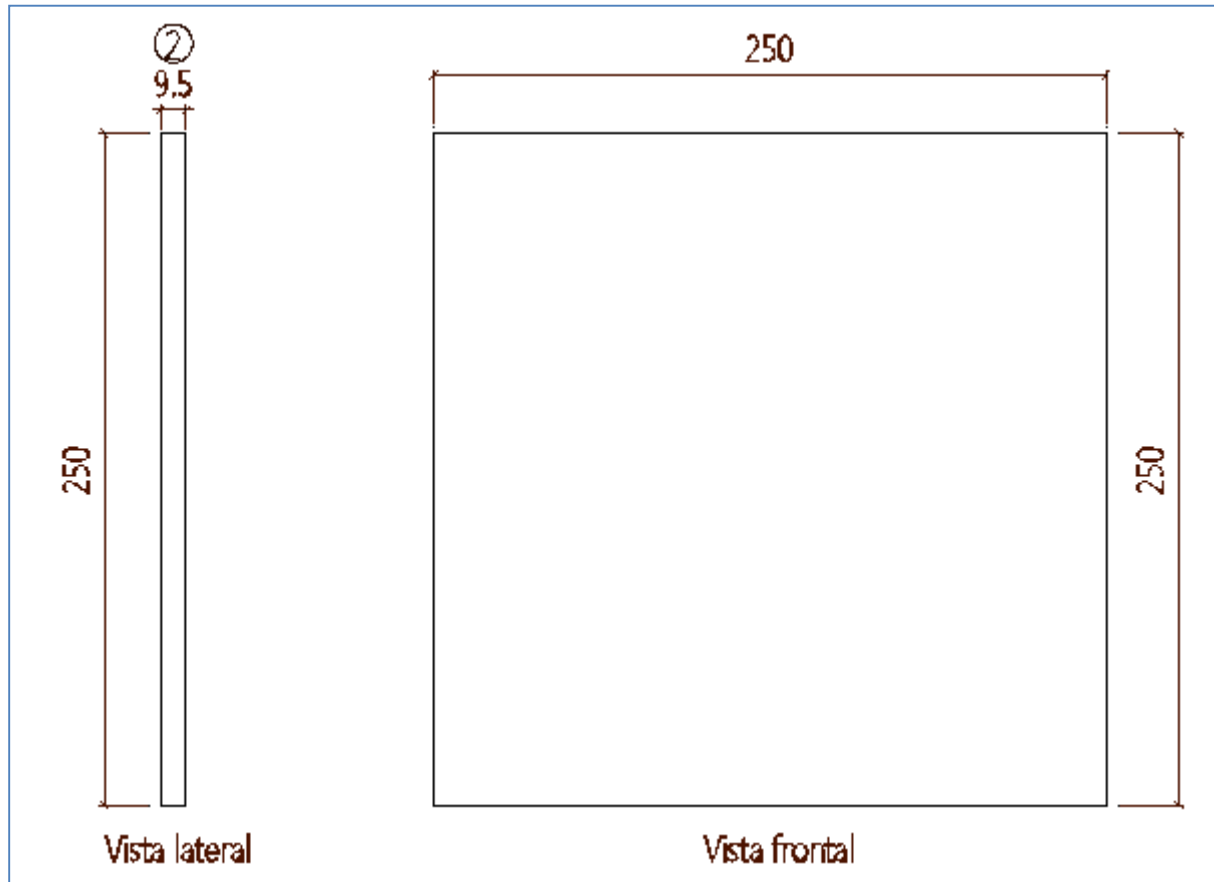


Figura 3-30. Detalle despiece pieza No.2 modelo 3 tensión.

La pieza No.2 fue una placa cuadrada de 250 x 250 x 9.5 (3/8") mm, que fue penetrada por la pieza No.1 con soldadura de ángulo, también se soldó a la pieza No.3 con soldadura de ángulo continua en los cuatro bordes de la placa.

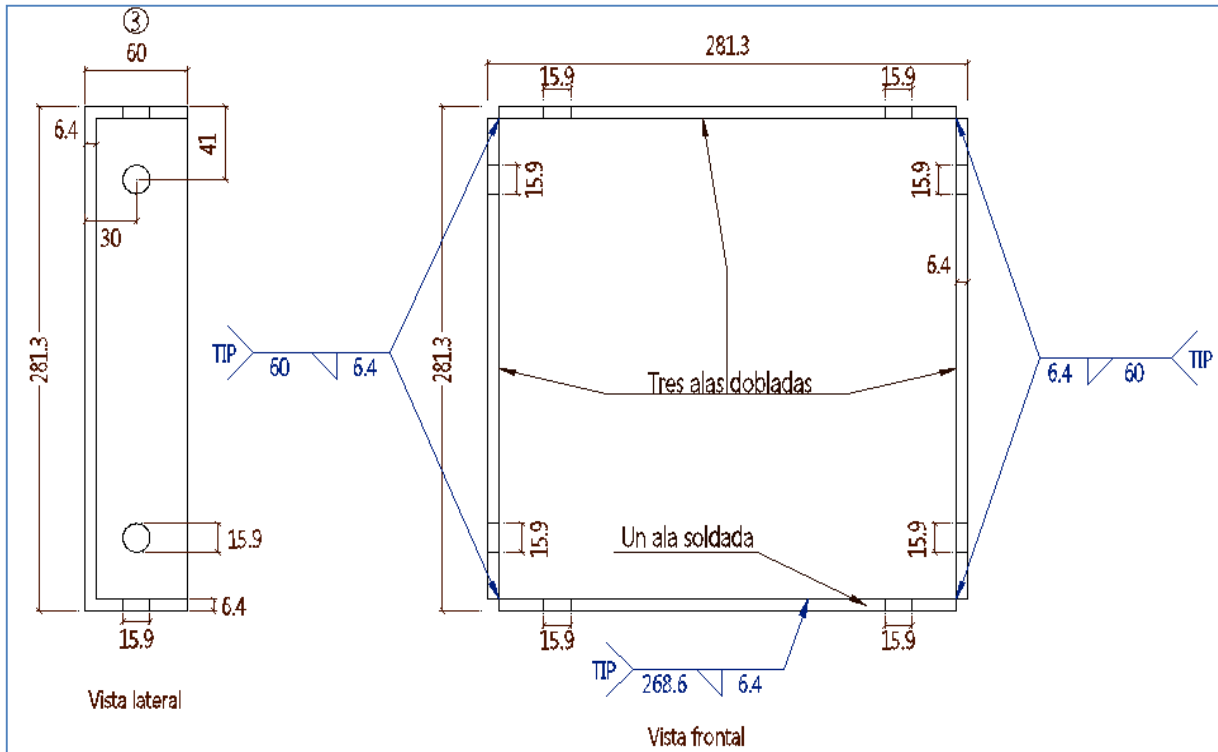


Figura 3-31. Detalle despiece pieza No.3 modelo 3 tensión.

La pieza No.3 fue una lámina de 280 x 280 x 6.4 (1/4") mm, doblada en tres de sus caras y la cuarta cara fue un corte que se soldó en ángulo 3 de sus extremos para hacer el cajón con dimensiones de 60 x 280 x 6.4 (1/4") mm, este cajón llevó 8 perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm y fue soldado a la piezas No.1 y No.3, en la zona de las perforaciones fueron encajadas las piezas No.13 que unen las piezas No.4 y No.3.

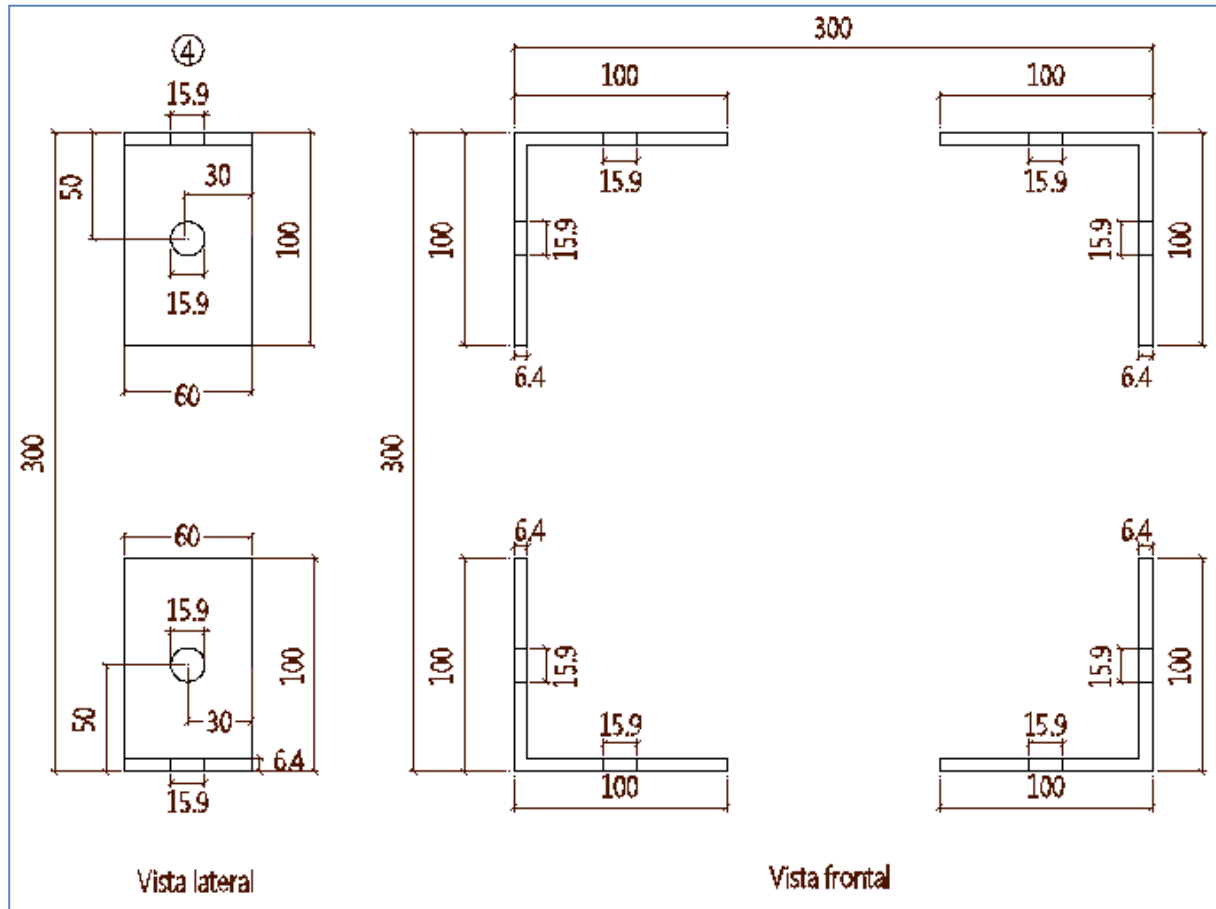


Figura 3-32. Detalle despiece pieza No.4 modelo 3 tensión.

La pieza No.4 fueron las cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 (1/4") mm y cada una llevo dos perforaciones de  $\phi$  15.9 mm que contenían las piezas No.13 y en el borde superior se soldó a tope con bisel plano a la pieza No.5.

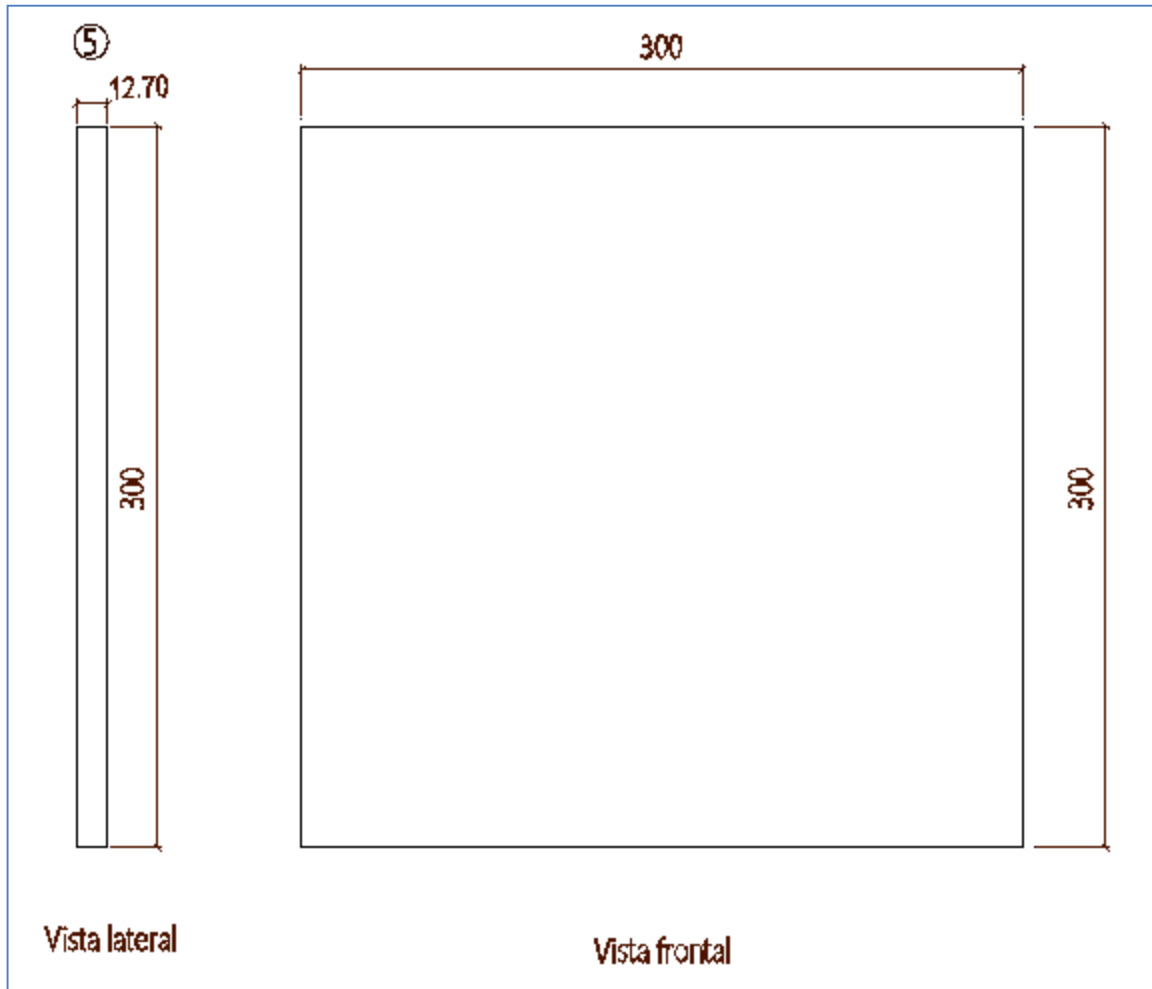


Figura 3-33. Detalle despiece pieza No.5 modelo 3 tensión.

La pieza No.5 fue una platina de 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope con bisel plano a las piezas No.4 y No.6, adicionalmente se perforó con soldadura de tapón en una de sus caras y con soldadura de ángulo en la otra para quedar unida a la pieza No.7.

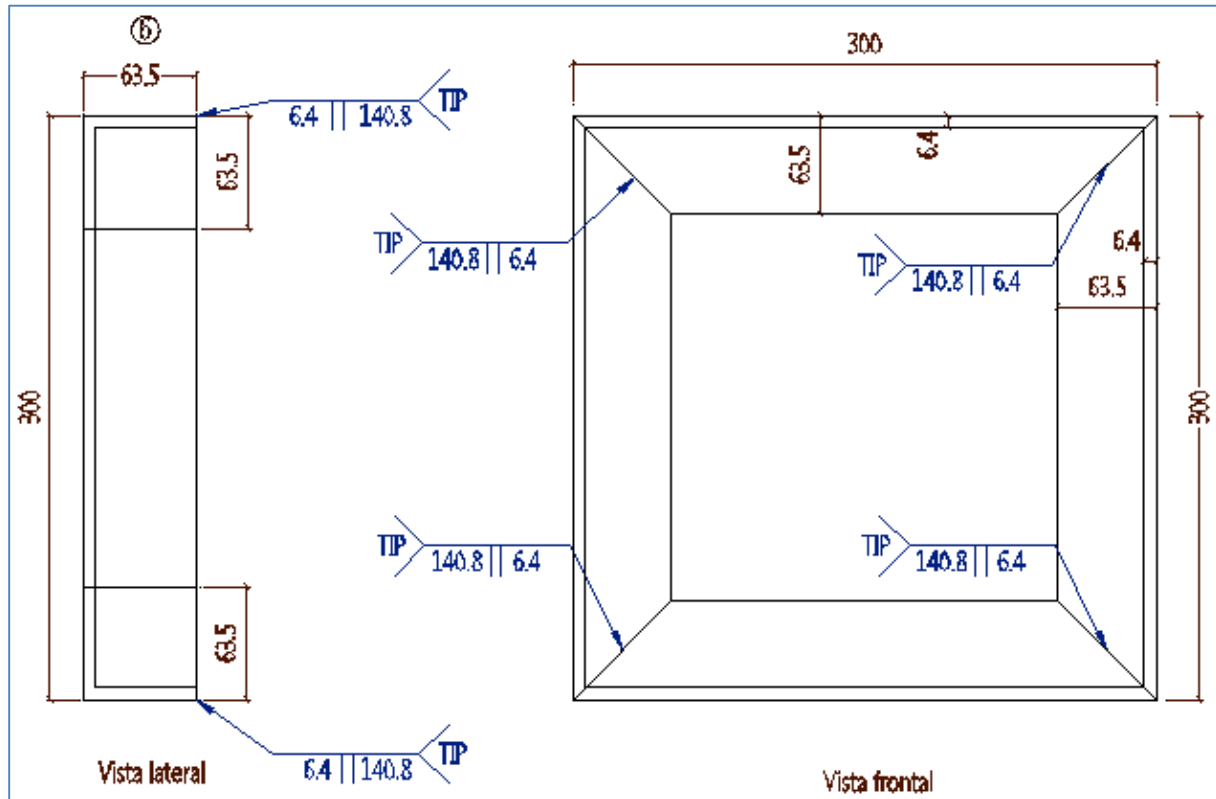


Figura 3-34. Detalle despiece pieza No.6 modelo 3 tensión.

La pieza No.6 fueron cuatro ángulos de 63.5x 63.5 (2") x 6.4 (1/4") mm, cortados a 45° y soldados que formaron un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.5 en sus extremos.

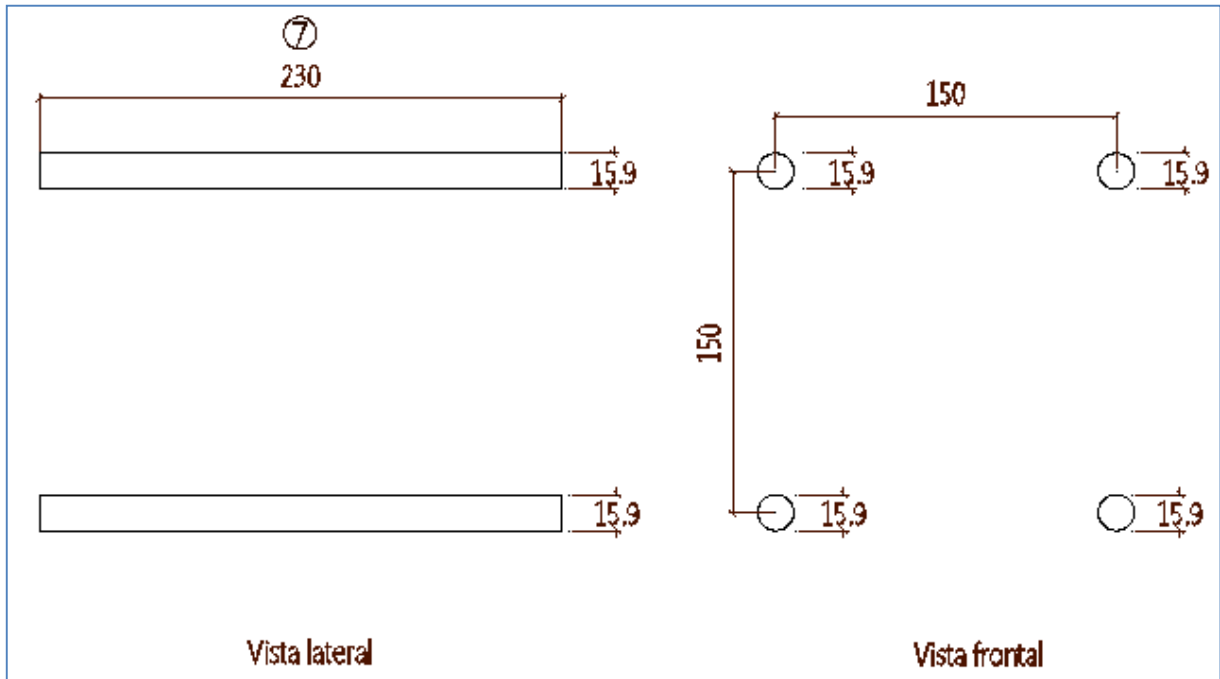


Figura 3-35. Detalle despiece pieza No.7 modelo 3 tensión.

La pieza No.7 eran cuatro barras corrugados de  $\varnothing 15.9$  (5/8") x 230 mm que se soldaron por tapón en una cara y por ángulo en la otra cara de las platinas en sus extremos a las piezas No.5 y No.9.

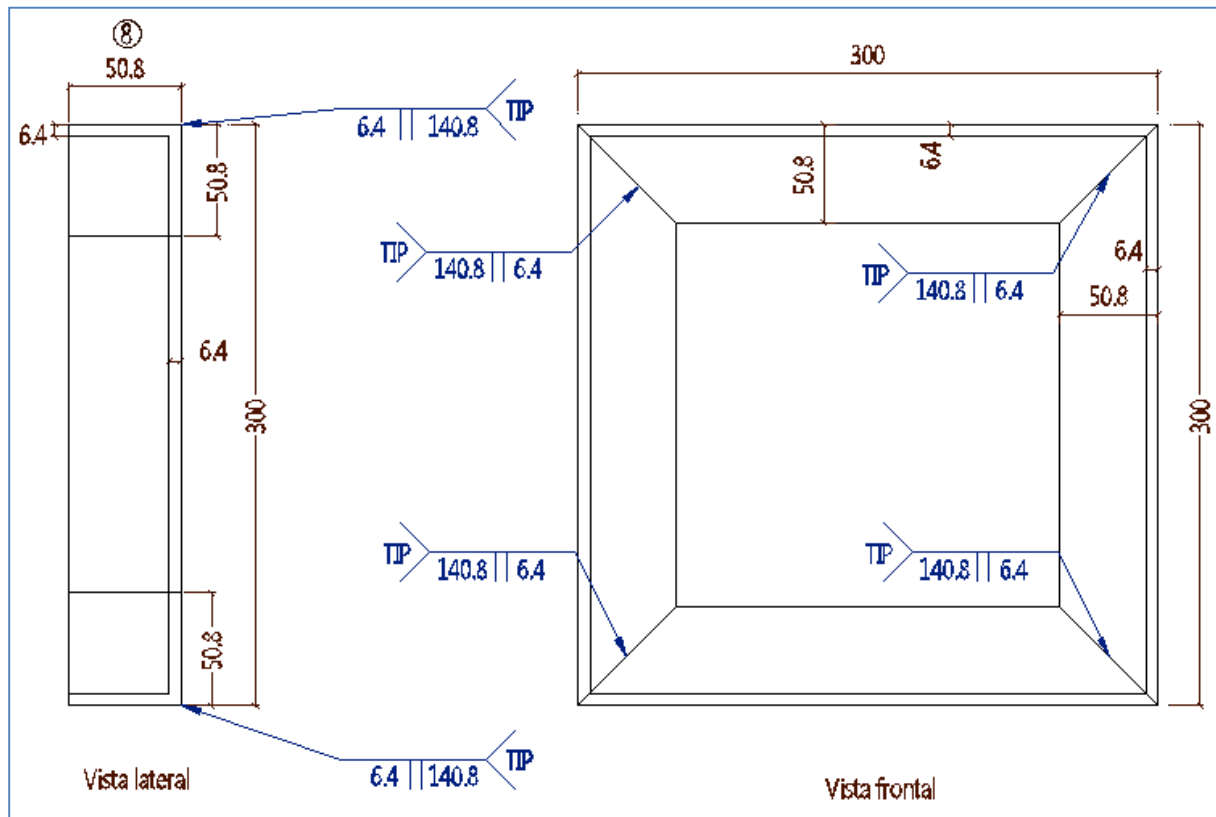


Figura 3-36. Detalle despiece pieza No.8 modelo 3 tensión.

La pieza No.8 eran cuatro ángulos de 50.8 x 50.8 x 6.4 (1/4") mm, cortados a 45° y se soldaron formando un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.9 en sus extremos.



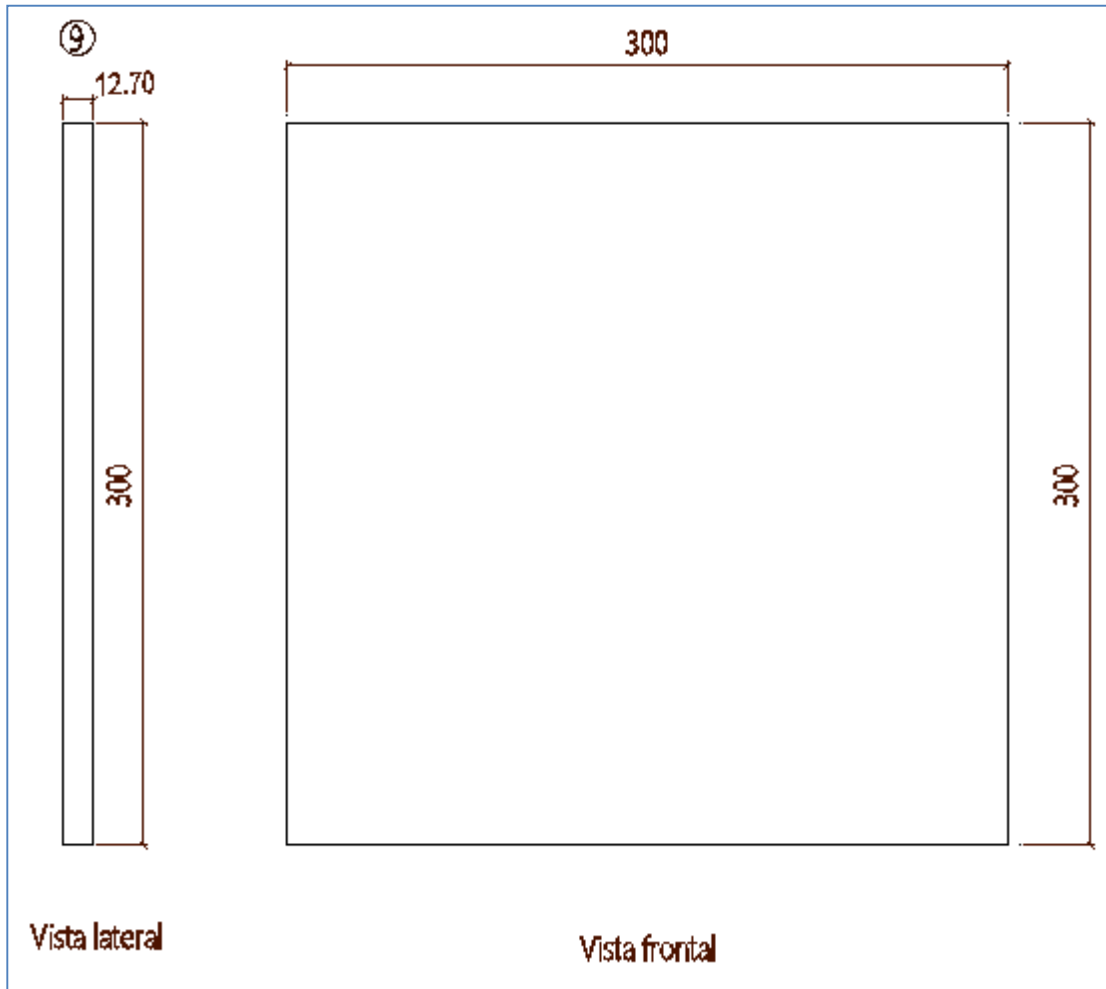


Figura 3-37. Detalle despiece pieza No.9 modelo 3 tensión.

La pieza No.9 era una lámina rectangular 300 x 300 x12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope con las piezas No.8 y No.10, además fue soldada por ángulo a la pieza No.7, se soldó por ángulo en su cara opuesta a la Pieza No.11, por último es atravesada por la pieza No.12 y se unieron por soldadura de tope alrededor de la circunferencia del cilindro.

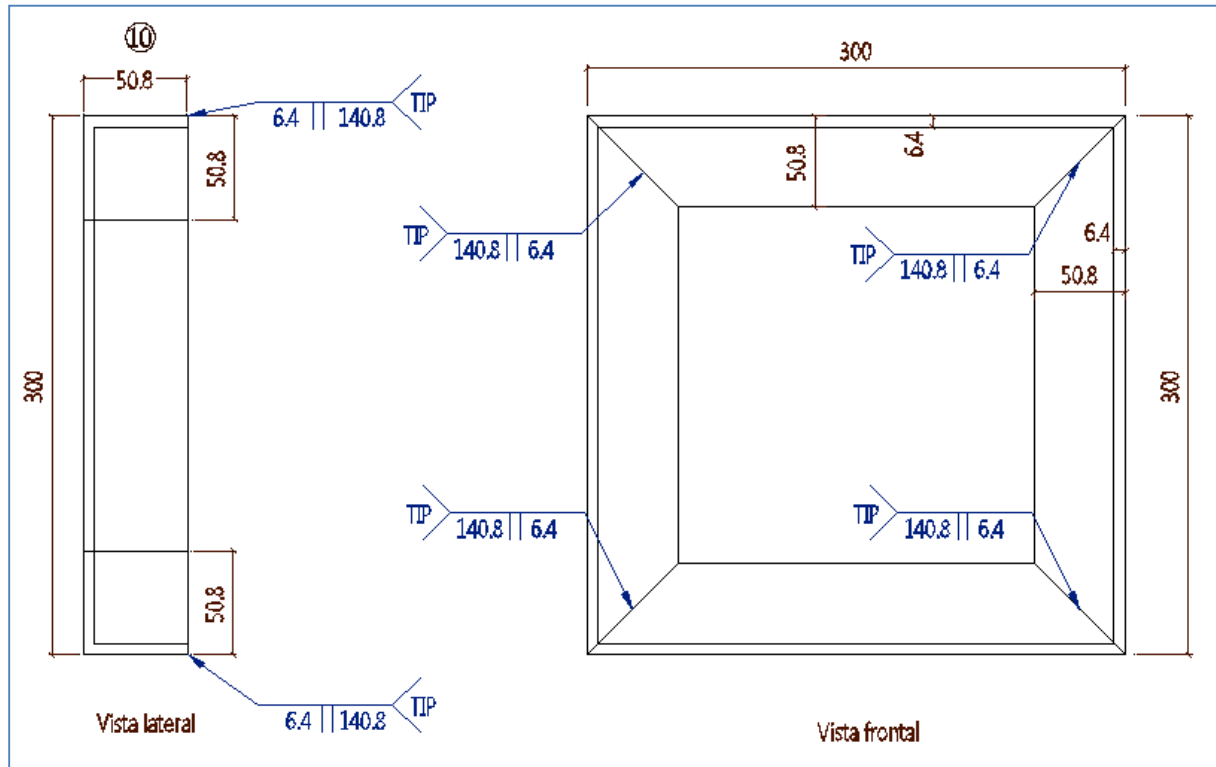


Figura 3-38. Detalle despiece pieza No.10 modelo 3 tensión.

La pieza No.10 fue exactamente igual a la No.8 solo que iba en la dirección opuesta y también se unió a la pieza No.9 con soldadura de tope.

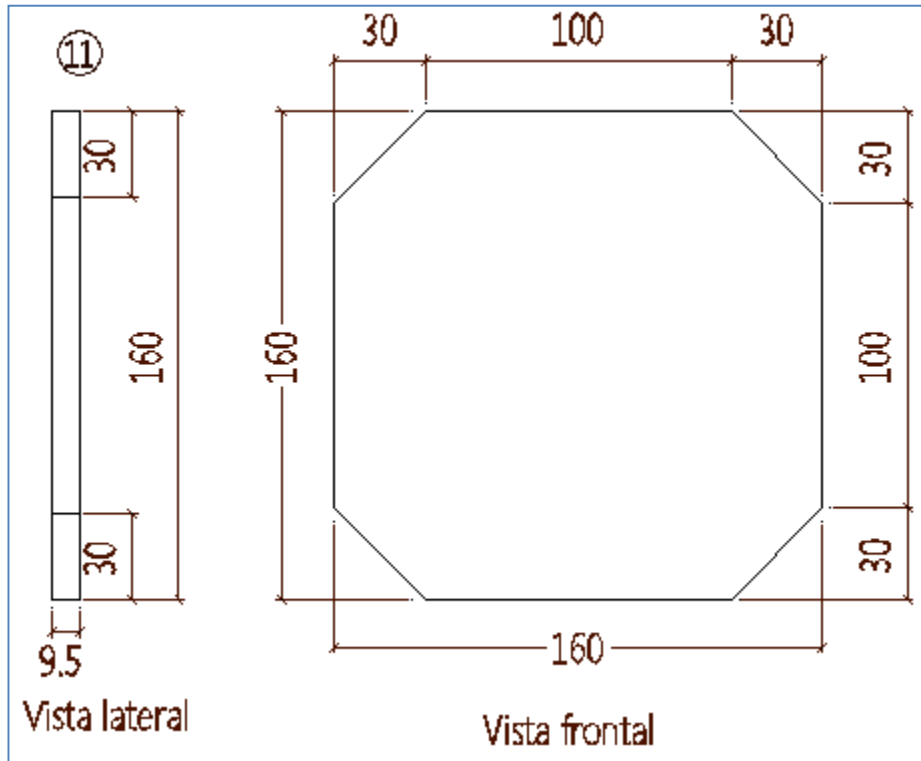


Figura 3-39. Detalle despiece pieza No.11 modelo 3 tensión.

La pieza No.11 fue una placa con las esquinas recortadas de 160 x 160 x 9.5 (3/8") mm, que se soldó por ángulo a la pieza No.8 alrededor de todos los bordes externos de la placa.

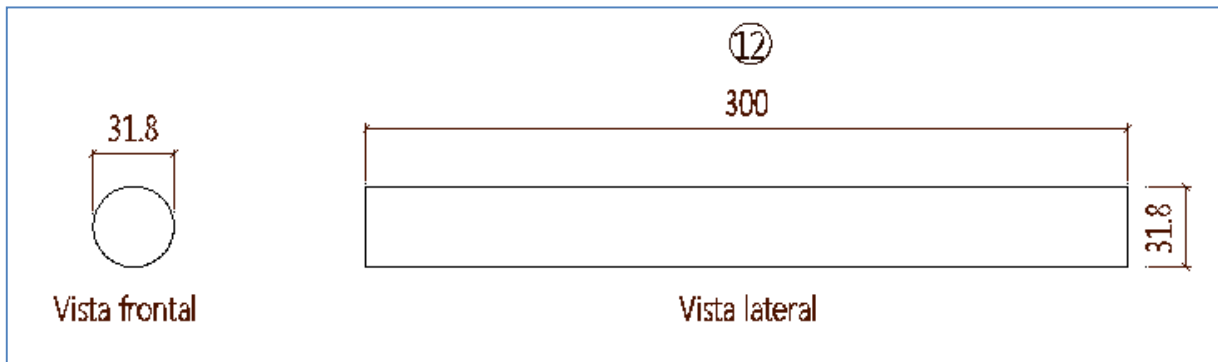


Figura 3-40. Detalle despiece pieza No.12 modelo 3 tensión.

La pieza No.12 fue un cilindro macizo de  $\phi 31.8$  ( $1\frac{1}{4}$ " ) x 300 mm, que penetro la pieza No.9 y tuvo soldadura de tapón que una el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.11 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que unió al cilindro con la placa.

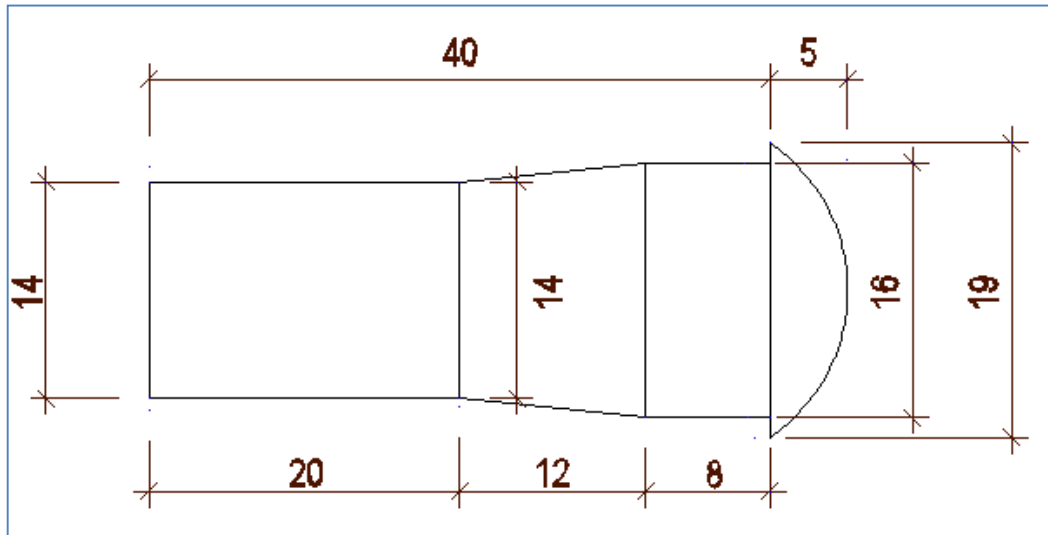


Figura 3-41. Detalle despiece pieza No.13 modelo 3 tensión.

La pieza No.13 eran los 8 pernos de  $\phi 15.9$  ( $5/8$ " ) x 40 mm, Aproximadamente que entraban a presión para unir las dos conexiones.

Todas la soldaduras tenían especificaciones E-7018 (ver figuras 3-42, 3-43, 3-44, 3-45).

La figura 3-42 muestra la orientación de las dos piezas de la zona inferior que se unían a la conexión del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.1 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, la pieza No.2 fue para dar apoyo al soporte de la estructura.

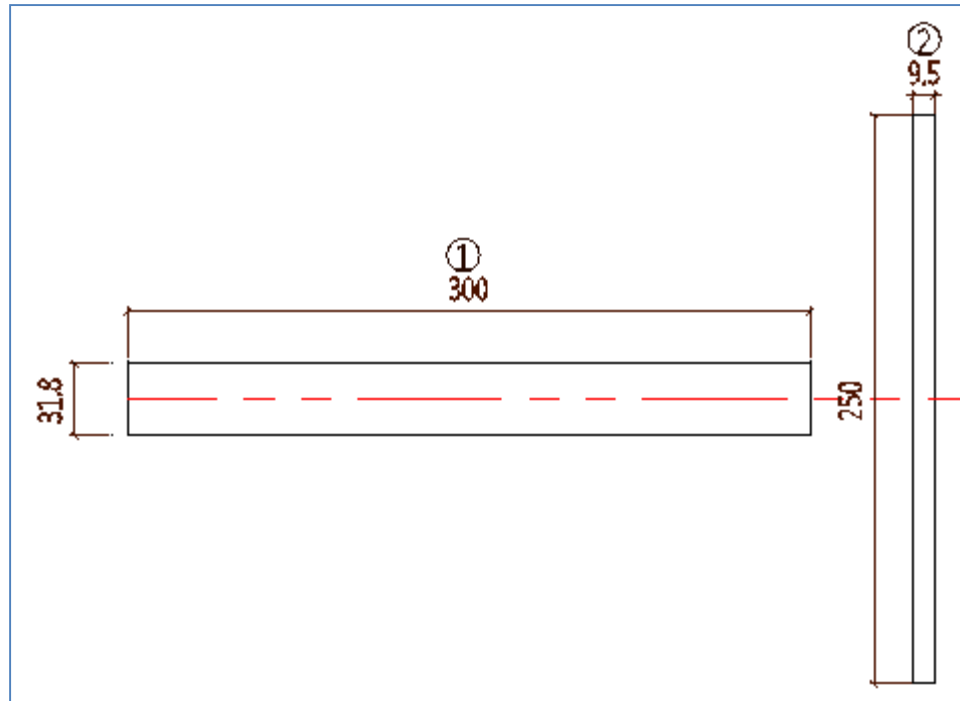


Figura 3-42. Detalle despiece piezas de armado de la conexión inferior modelo No 3.

La figura 3-43 muestra las cuatro piezas que conformaron la conexión como tal que es lo que realmente pertenecía al pilote que se hincó en una estructura real.

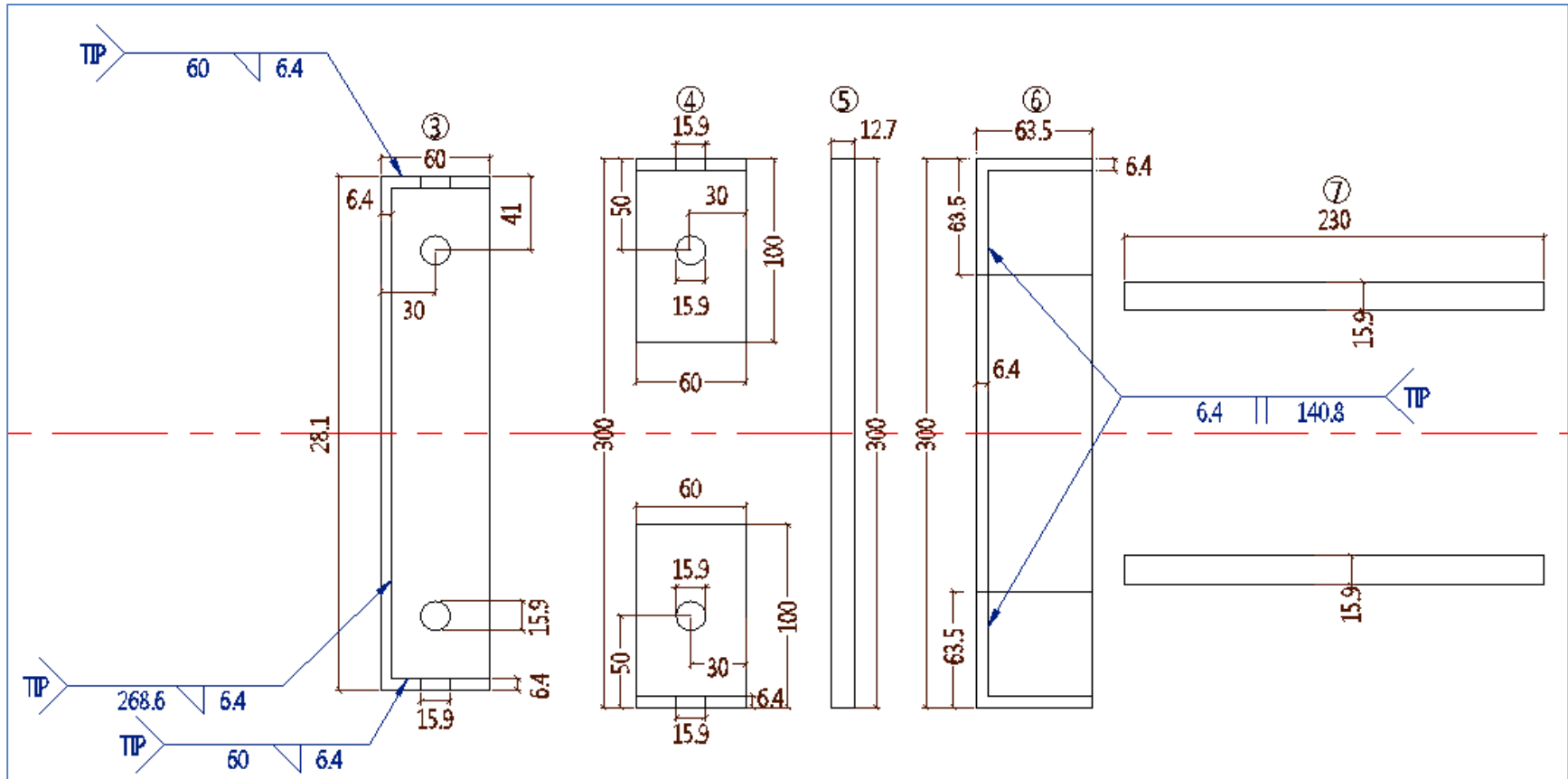


Figura 3-43. Detalle despiece de los elementos netos de la conexión No 3.

La figura 3-44 muestra la orientación de las piezas de la zona superior que se unieron a la conexión del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.12 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, las otras piezas se usaron para que el modelo soportara lo suficiente para que la falla se produjera en los aceros corrugados de  $\phi 15.9$  mm que es la zona que se consideró como la más débil.

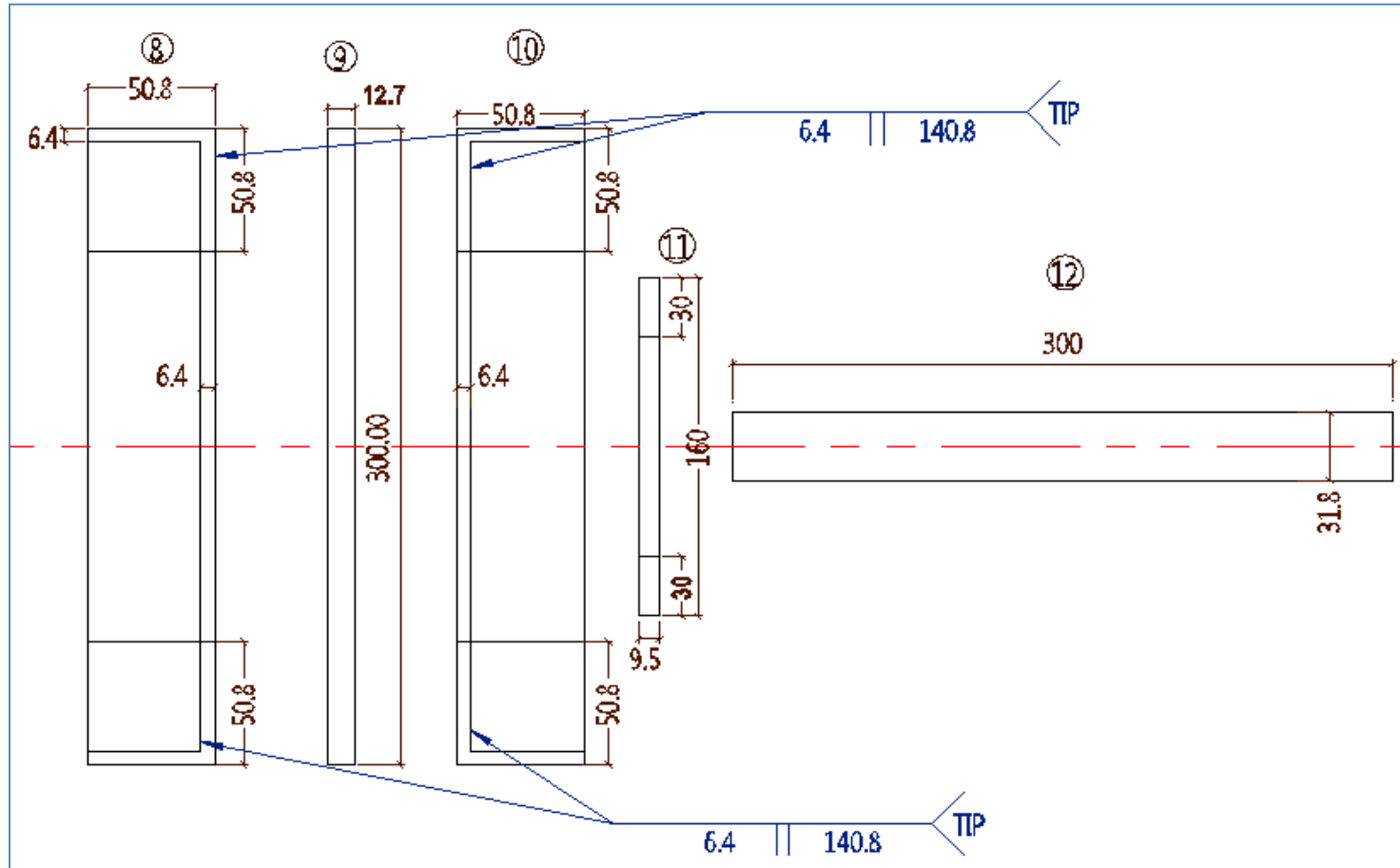


Figura 3-44. Detalle despiece conexión superior modelo No 3.

La figura 3-45 muestra el modelo completo visto lateralmente, también se observan todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió la el ensayo para poder ser fallado.

Nota: Ver plano MODELOS ENSAYO A TENSION.

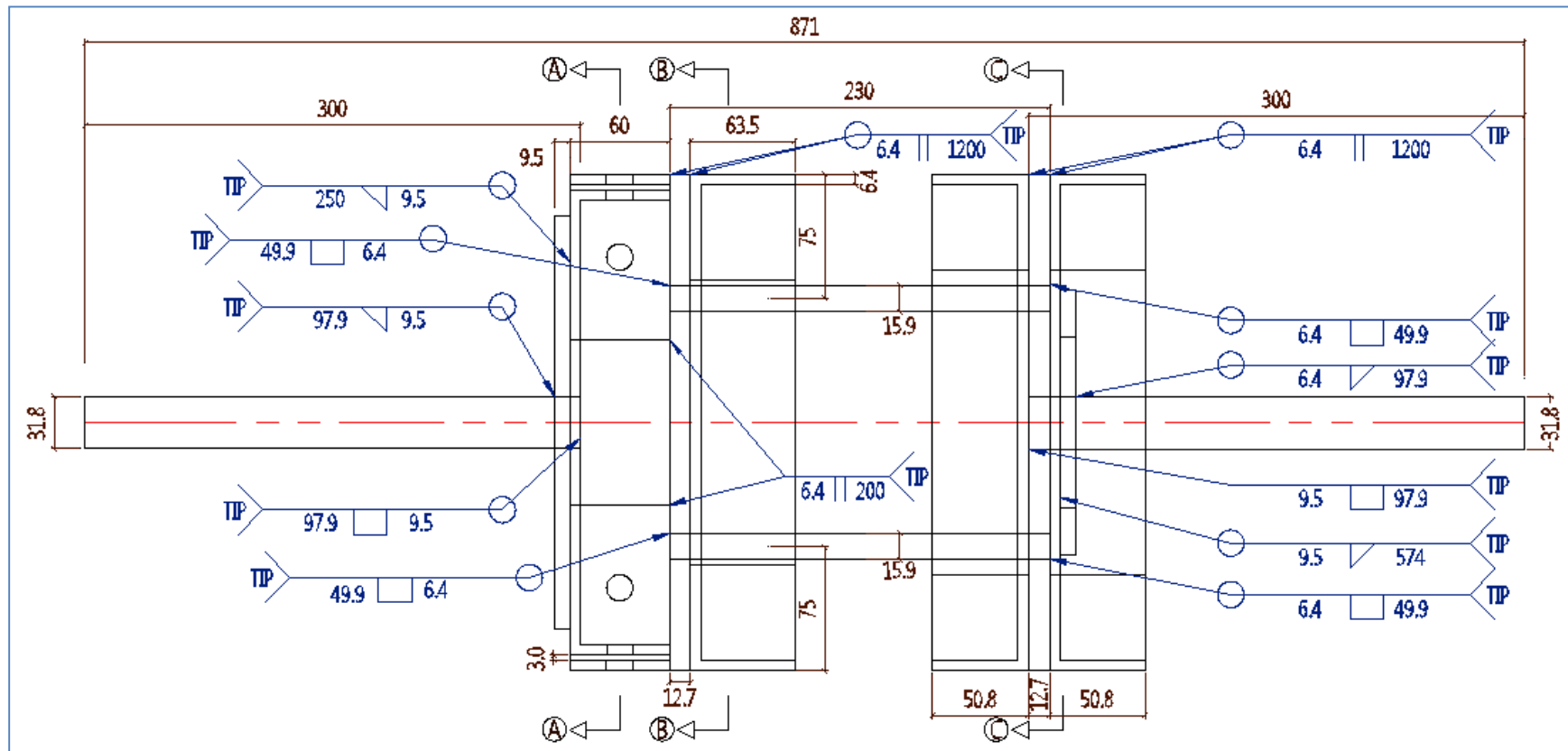


Figura 3-45. Detalle conexión completa modelo No 3.



La imagen 3-5 muestra el modelo real completo visto lateralmente desde ambos costados, también se observan todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió la el ensayo para poder ser fallado en la máquina SHIMADZU.



Imagen 3-5. Modelo real No 3.

En la imagen 3-6 se observa la falla de la soldadura del modelo que se usó en la zona que unía a las piezas No.1, No.2 y No.3, también se observó el pandeo de las piezas No.2 y No.3.



Imagen 3-6. Falla modelo real No 3.

- **Análisis de la falla modelo número 3**

Con el cambio de soldadura se recalculo la resistencia de diseño.

Según F.2.10.2.4 (NSR-10) - **Resistencia de diseño** - de una soldadura,  $\phi R_n$ , será el menor entre los valores obtenidos para la resistencia del material base, determinada de acuerdo con los estados límites de rotura por tensión y rotura por cortante, y para la resistencia del metal de soldadura, determinada para el estado límite de rotura, con **Rn** calculado como sigue:

Para el metal base:

$$R_n = F_{nBM} \cdot A_{BM}$$

Para el metal de soldadura:

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

dónde:

$F_{nBM}$  = Resistencia nominal por unidad de área para el metal base, MPa

$F_{nw}$  = Resistencia nominal por unidad de área para el metal de la soldadura, MPa

$A_{BM}$  = Área de la sección transversal del metal base, mm<sup>2</sup>

$A_{we}$  = Área efectiva de la soldadura, mm<sup>2</sup>

Ver tabla F.2.10.2-5 (NSR-10)

Para soldaduras de filete: La tensión o compresión que actúa en las partes conectadas con dirección paralela a la soldadura que las une no requiere ser considerada en el diseño de dicha soldadura, sin embargo se consideraran los valores de la carga para cortante.

Para cortante considerando el metal base que se controla por F.2.10.4

## **F.2.10.4 - ELEMENTOS AFECTADOS DE LOS MIEMBROS CONECTADOS Y ELEMENTOS DE CONEXIÓN**

### **F.2.10.4.1 - Resistencia de elementos a Tensión**

(a) Para fluencia por tensión en elementos de conexión

$$\phi = 0,90$$

$$R_n = F_y \cdot A_g$$

Acero ASTM A-706 propiedades

$$F_u = 550 \text{ MPa}$$

$$F_y = 420 \text{ MPa}$$

$$A_g = 197,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 74,82 \text{ kN} \\ & 7,63 \text{ t} \\ 4 \phi R_n &= 30,51 \text{ t} \quad 4 \text{ Barras}\end{aligned}$$

(b) Para rotura por tensión en elementos de conexión:

$$\begin{aligned}\phi &= 0,75 \\ R_n &= F_u \cdot A_e\end{aligned}$$

$$A_e = U \cdot A_n$$

F.2.2.4.3.2 - **Área neta** - Para miembros sin perforaciones, el área neta, **A<sub>n</sub>**, se toma igual que el área bruta **A<sub>g</sub>**.

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 81,65 \text{ kN} \\ & 8,32 \text{ t} \\ 4 \phi R_n &= 33,29 \text{ t} \quad 4 \text{ Barras}\end{aligned}$$

Para metal de la soldadura:

$$\begin{aligned}R_n &= F_n B M \cdot A B M \\ \phi &= 0,75\end{aligned}$$

Tipo soldadura F7018

$$F_y = 482 \text{ MPa}$$

$$R_n = F_{nw} \cdot A_{we}$$

$$F_{nw} = F_y = 0,6 \cdot 412$$

$$F_{nw} = 289,2 \text{ MPa}$$

$$A_{we} = h \cdot 0,707 \cdot P$$

$$\text{Filete } 1/2" = h = 12,70 \text{ mm}$$

$$\text{Perímetro Barra } 5/8" = P = 44,39 \text{ mm}$$

$$A_{we} = 398,54 \text{ t}$$

$$\begin{aligned}\phi R_n &= 86,4 \text{ kN} \\ & 8,81 \text{ t} \\ 4 \phi R_n &= 35,25 \text{ t} \quad 4 \text{ Barras}\end{aligned}$$

Se tomó el menor valor que corresponde a fluencia por tensión 30,51 t

En el ensayo de laboratorio la muestra resistió 28850 kg y se observó que falló en la soldadura de las piezas No.1, No.2 y No.3, pero realmente la falla se radicó en que la pieza No.3 que era una placa y la base de la conexión inferior se pandeo debido a la carga y no logró la resistencia mínima de diseño que eran 30510 Kg.

Por lo tanto se procedió a cambiar el espesor de la lámina de la pieza No.3 de 6.4 mm, a una lámina más gruesa de 9.5 mm, para tener mejor comportamiento en la zona de estas tres piezas.

### 3.1.4 Modelo número 4 para ensayo a tensión

El cuarto modelo que fue diseñado y constó de 13 piezas de acero A-36 con la única excepción de la pieza No.7 que fue de acero A-706 corrugado, adicionalmente este modelo llevó una mezcla de concreto entre las piezas No.6, No.8 y recubrió la pieza No.7, esto se hizo para saber cómo afectaba al concreto este tipo de ensayos.

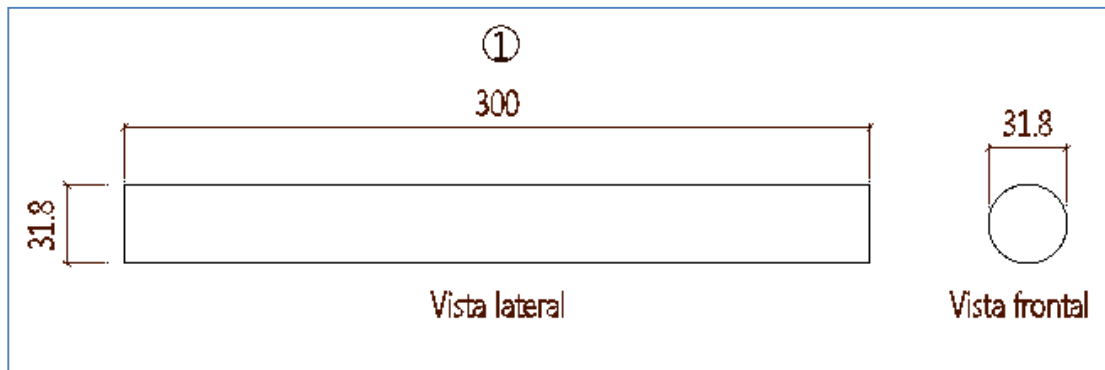


Figura 3-46. Detalle despiece pieza No.1 modelo 4 tensión.

La pieza No.1 fue un cilindro macizo de  $\varnothing 31.8$  (1¼") x 300 mm, que penetro la pieza No.3 y tuvo soldadura de tapón que una el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.2 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que une al cilindro con la placa.

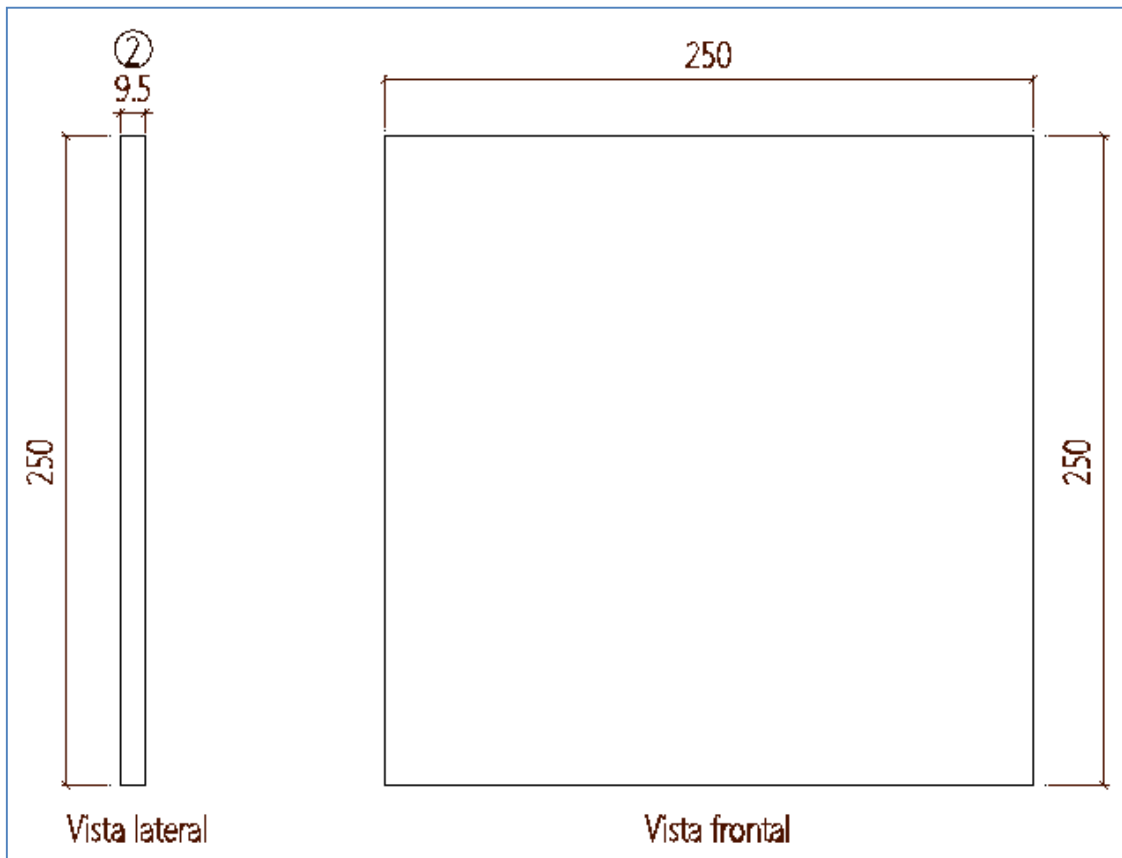


Figura 3-47. Detalle despiece pieza No.2 modelo 4 tensión.

La pieza No.2 fue una placa cuadrada de 250 x 250 x 9.5 (3/8") mm, que fue penetrada por la pieza No.1 con soldadura de ángulo, también se soldó a la pieza No.3 con soldadura de ángulo continuó en los cuatro bordes de la placa.

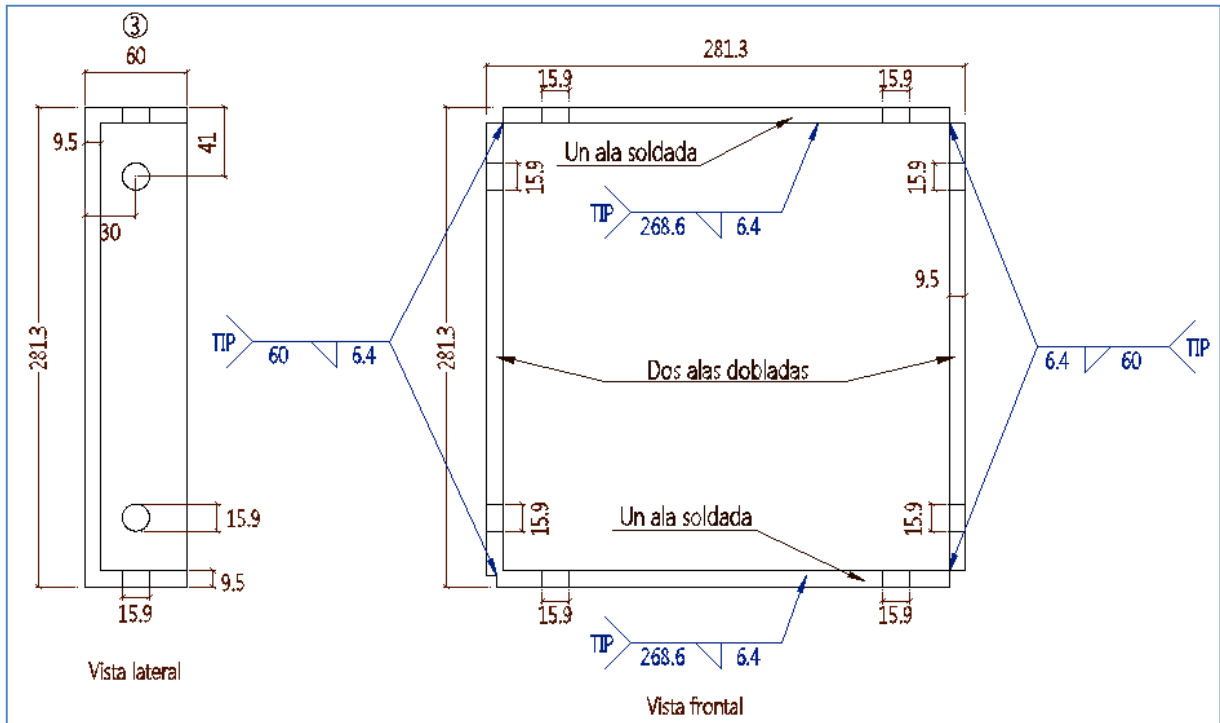


Figura 3-48. Detalle despiece pieza No.3 modelo 4 tensión.

La pieza No.3 fue una lámina de 280 x 280 x 6.4 (1/4") mm, doblada en tres de sus caras y la cuarta cara fue un corte que se soldó en ángulo 3 de sus extremos para hacer el cajón con dimensiones de 60 x 280 x 6.4 (1/4") mm, este cajón llevó 8 perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm y fue soldado a la piezas No.1 y No.3, en la zona de las perforaciones fueron encajadas las piezas No.13 que unían las piezas No.4 y No.3.

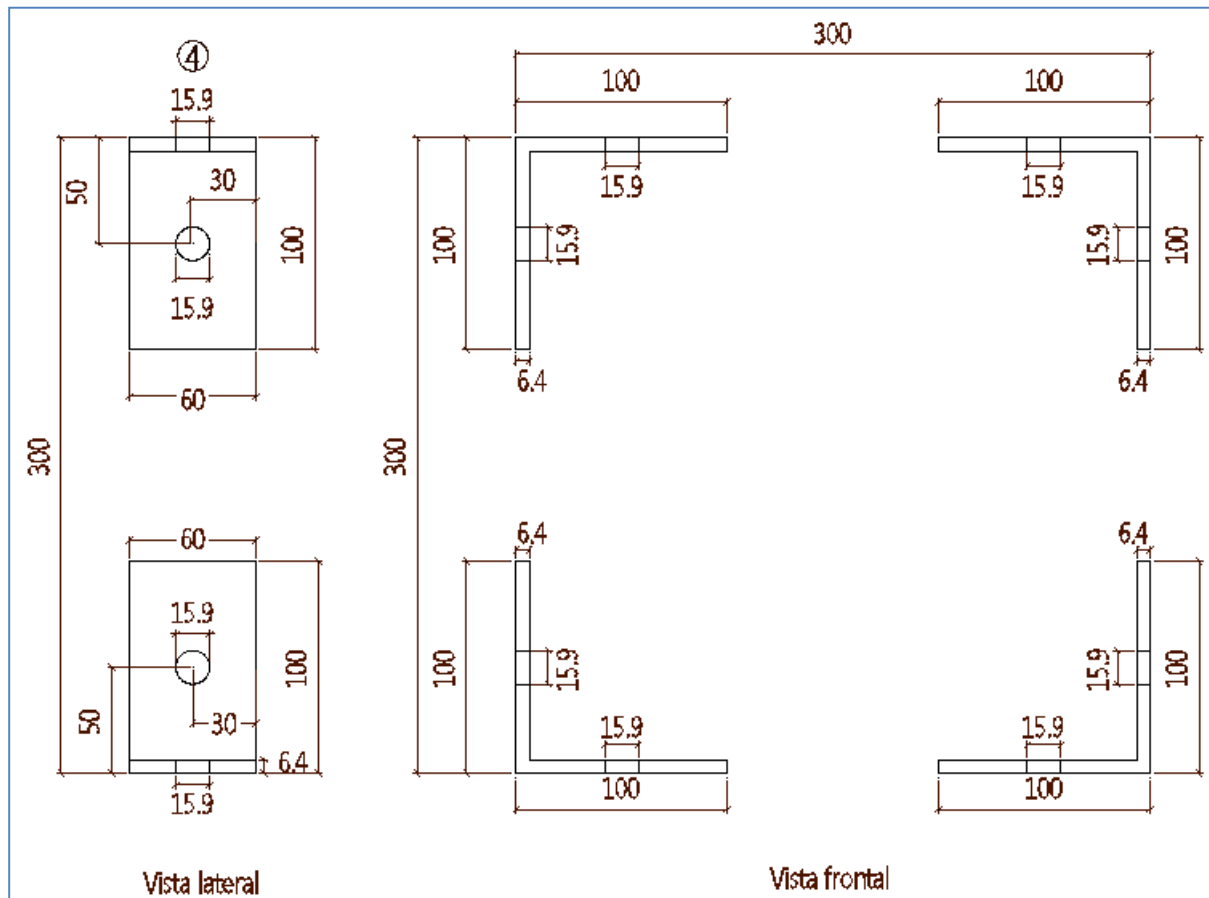


Figura 3-49. Detalle despiece pieza No.4 modelo 4 tensión.

La pieza No.4 fueron las cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 (1/4") mm y cada una llevó dos perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm que contenían las piezas No.13 y en el borde superior se soldó a tope con bisel plano a la pieza No.5.



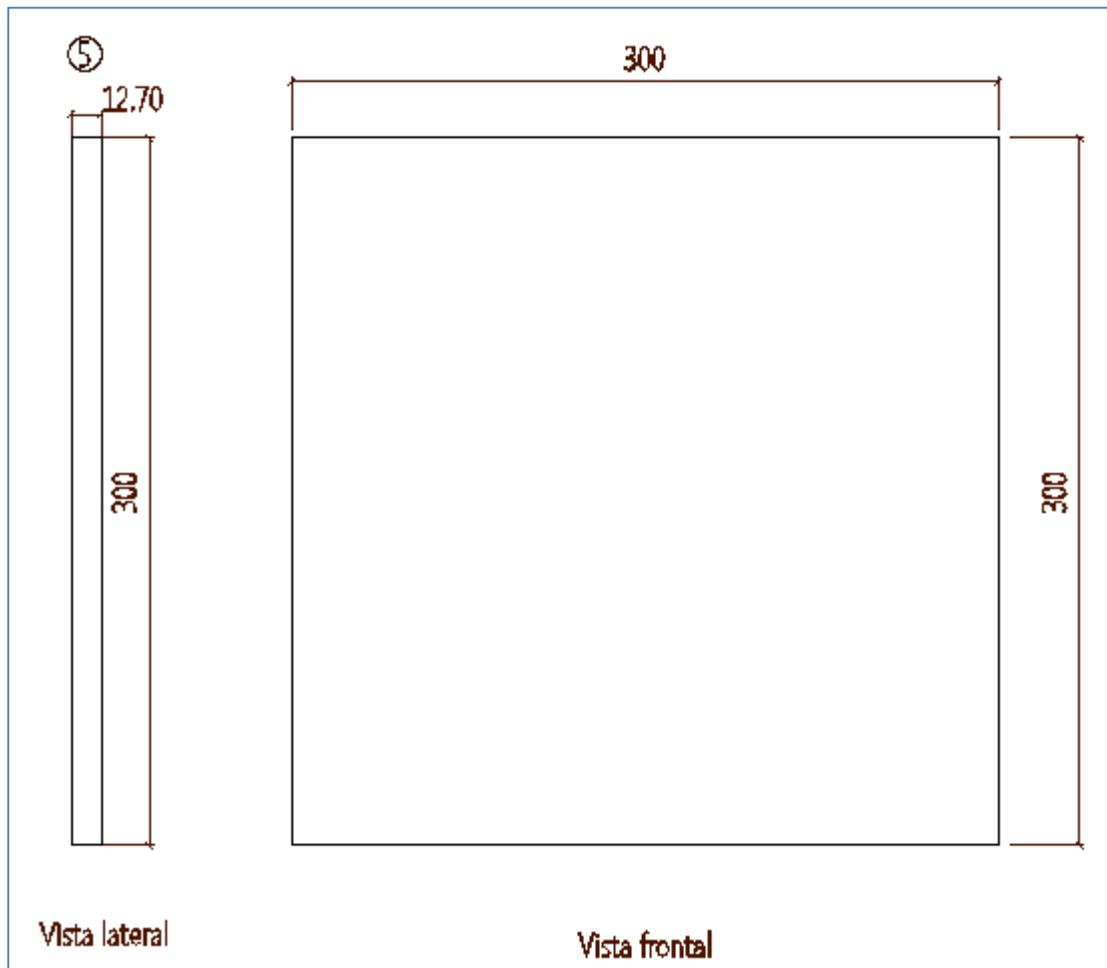


Figura 3-50. Detalle despiece pieza No.5 modelo 4 tensión.

La pieza No.5 fue una platina de 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope con bisel plano a las piezas No.4 y No.6, adicionalmente se perforó con soldadura de tapón en una de sus caras y con soldadura de ángulo en la otra para quedar unida a la pieza No.7.

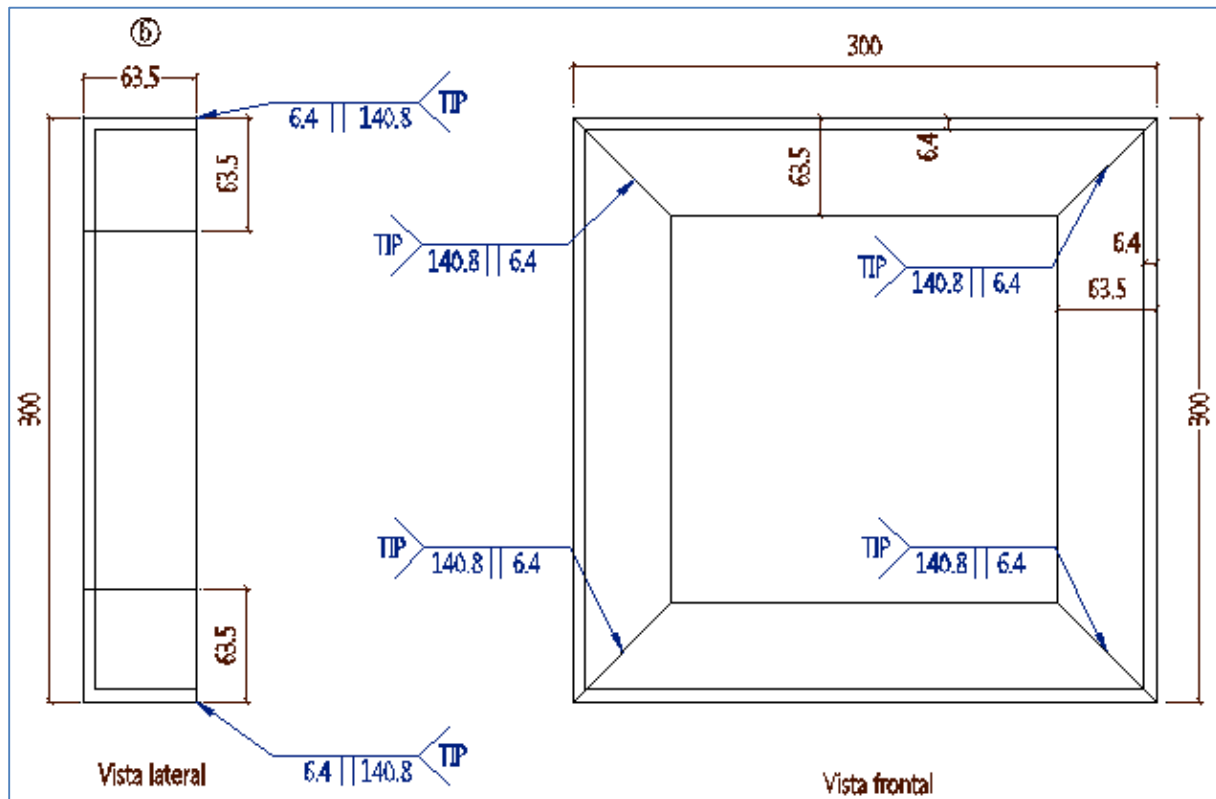


Figura 3-51. Detalle despiece pieza No.6 modelo 4 tensión.

La pieza No.6 fueron cuatro ángulos de 63.5 x 63.5 (2½") x 6.4 (1/4") mm, cortados a 45° y soldados que formaron un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.5 en sus extremos.

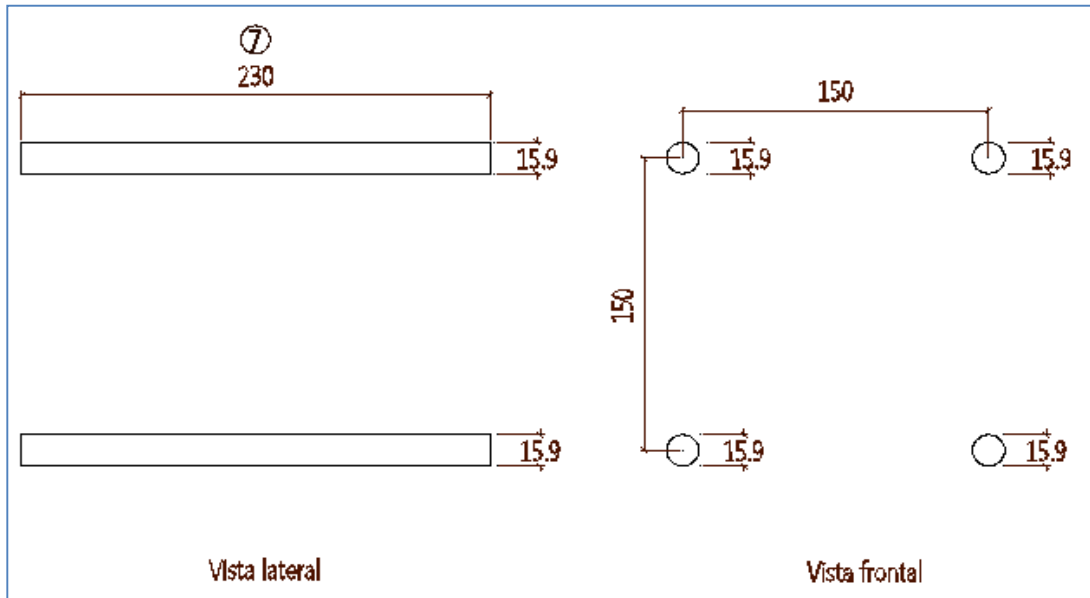


Figura 3-52. Detalle despiece pieza No.7 modelo 4 tensión.

La pieza No.7 eran cuatro barras corrugados de  $\varnothing 15.9$  (5/8") x 230, mm que se soldaron por tapón en una cara y por ángulo en la otra cara de las platinas en sus extremos a las piezas No.5 y No.9.

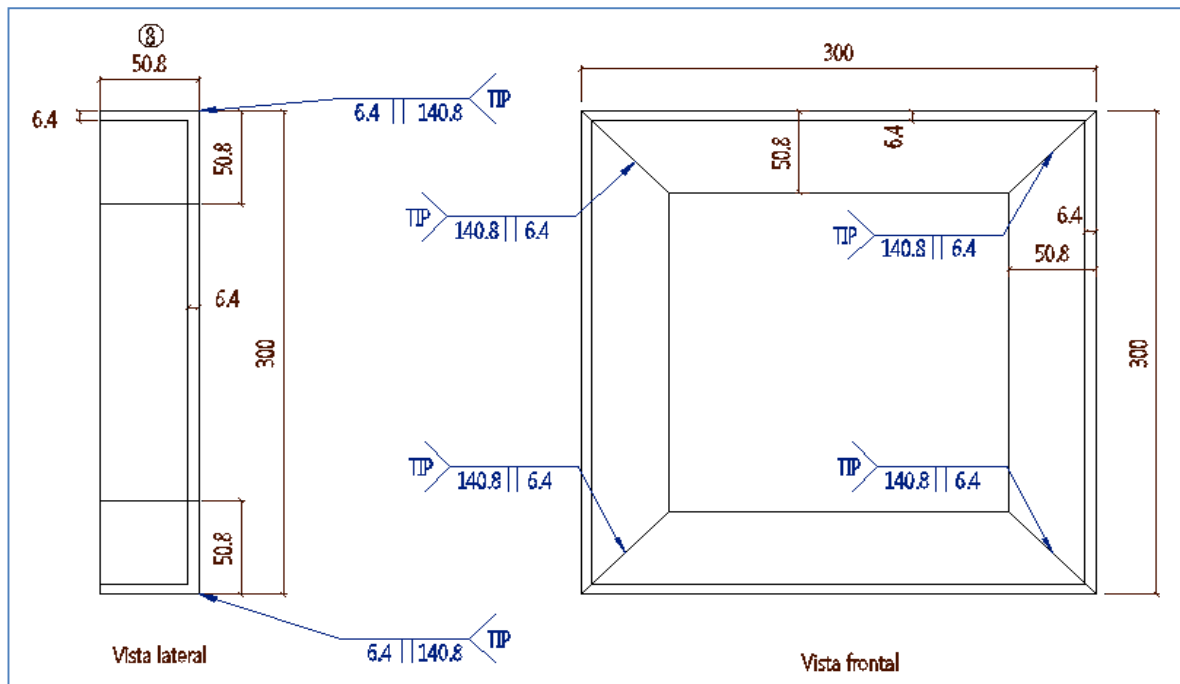


Figura 3-53. Detalle despiece pieza No.8 modelo 4 tensión.

La pieza No.8 eran cuatro ángulos de 50.8 x 50.8 x 6.4 (1/4") mm, cortados a 45° y se soldaron formando un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.9 en sus extremos.

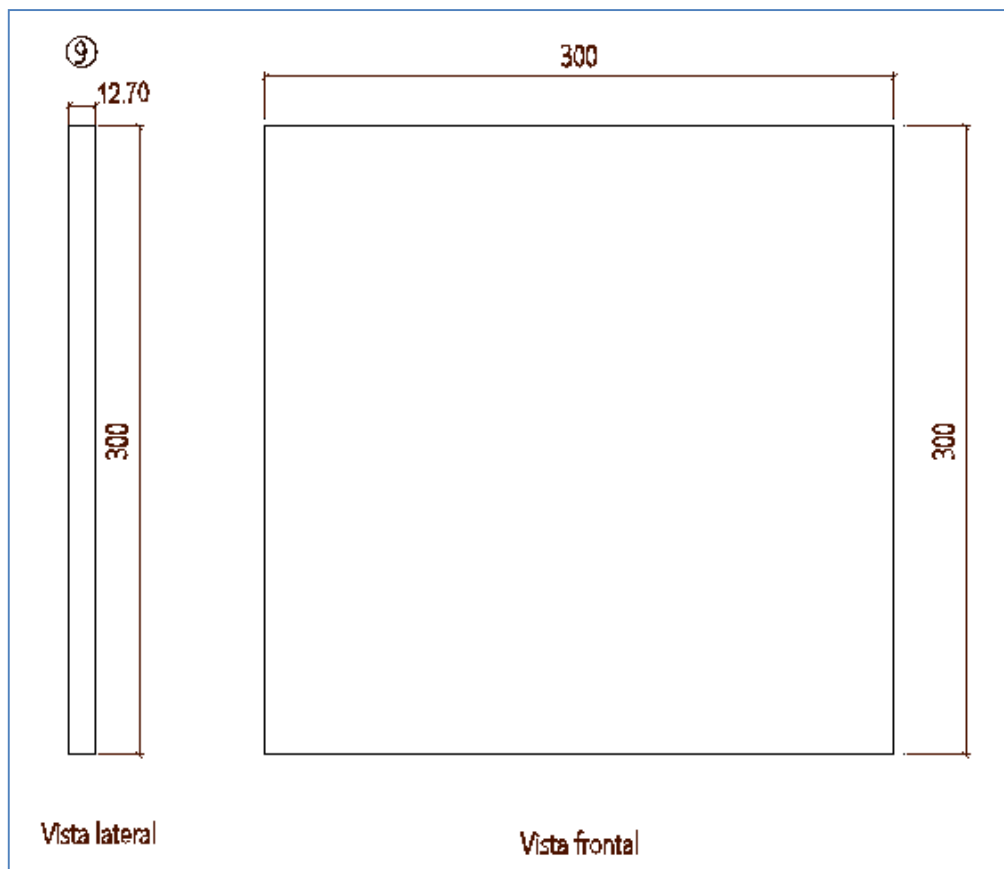


Figura 3-54. Detalle despiece pieza No.9 modelo 4 tensión.

La pieza No.9 era una lámina rectangular 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope con las piezas No.8 y No.10, además fue soldada por ángulo a la pieza No.7, se soldó por ángulo en su cara opuesta a la Pieza No.11, por último fue atravesada por la pieza No.12 y se unió por soldadura de tope alrededor de la circunferencia del cilindro.

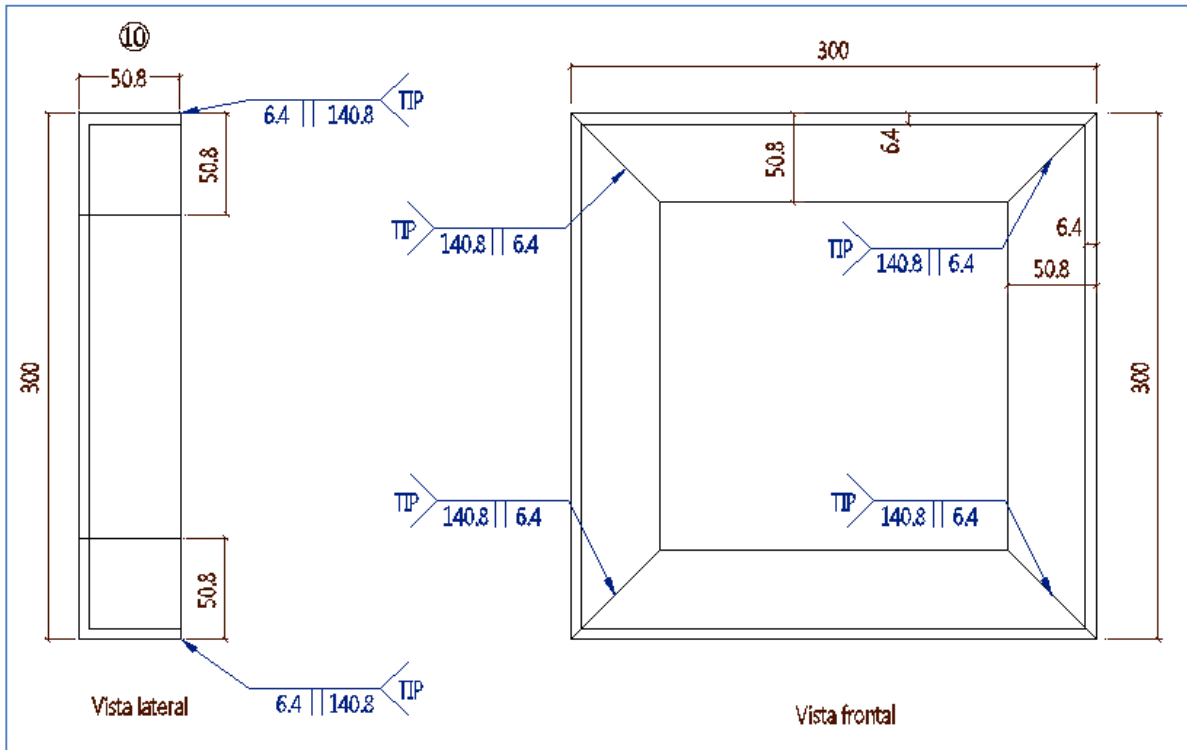


Figura 3-55. Detalle despiece pieza No.10 modelo 4 tensión.

La pieza No.10 fue exactamente igual a la No.8 solo que se dispuso en la dirección opuesta y también se unió a la pieza No.9 con soldadura de tope.

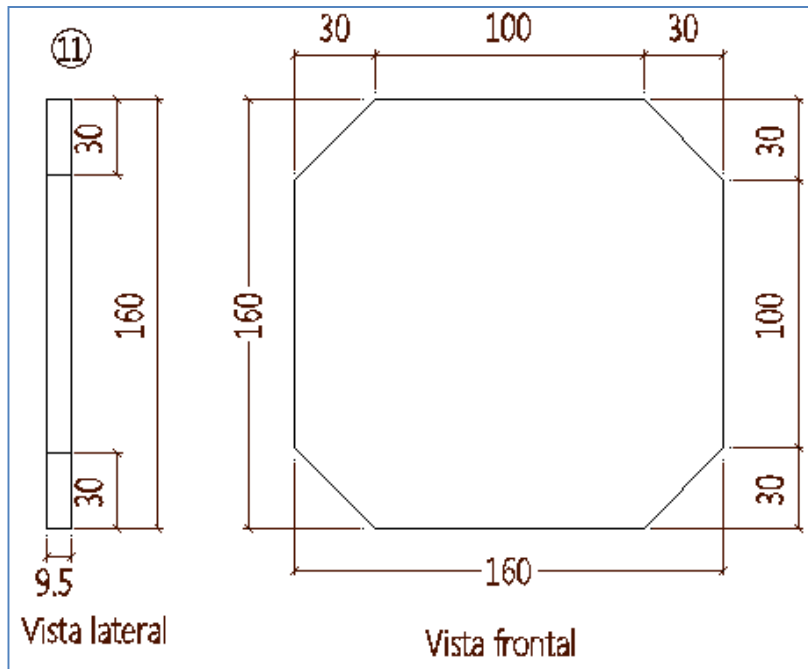


Figura 3-56. Detalle despiece pieza No.11 modelo 4 tensión.

La pieza No.11 fue una placa con las esquinas recortadas de 160 x 160 x 9.5 (3/8") mm, que se soldó por ángulo a la pieza No.8 alrededor de todos los bordes externos de la placa.

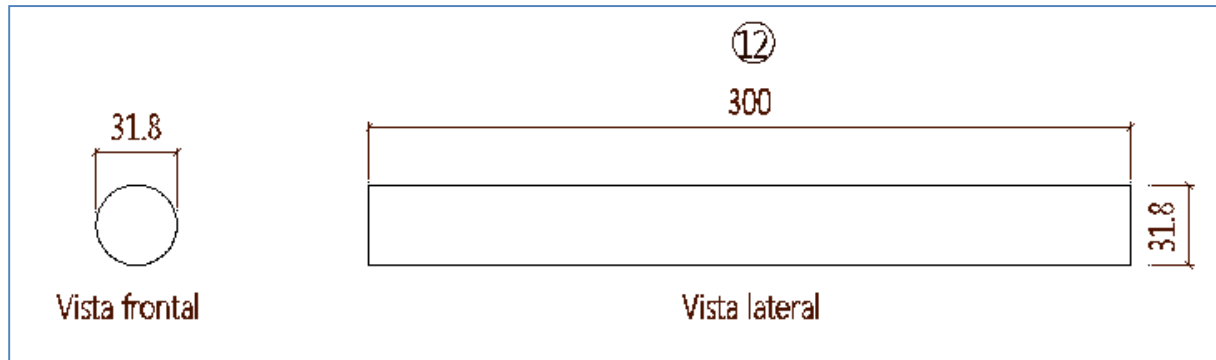


Figura 3-57. Detalle despiece pieza No.12 modelo 4 tensión.

La pieza No.12 fue un cilindro macizo de  $\phi 31.8$  (1¼") x 300 mm, que penetro la pieza No.9 y tuvo soldadura de tapón que una el diámetro de todo el cilindro con la base perforada de la pieza mencionada, el cilindro macizo también perforó la pieza No.11 y tuvo soldadura de ángulo en todo el perímetro que une al cilindro con la placa.

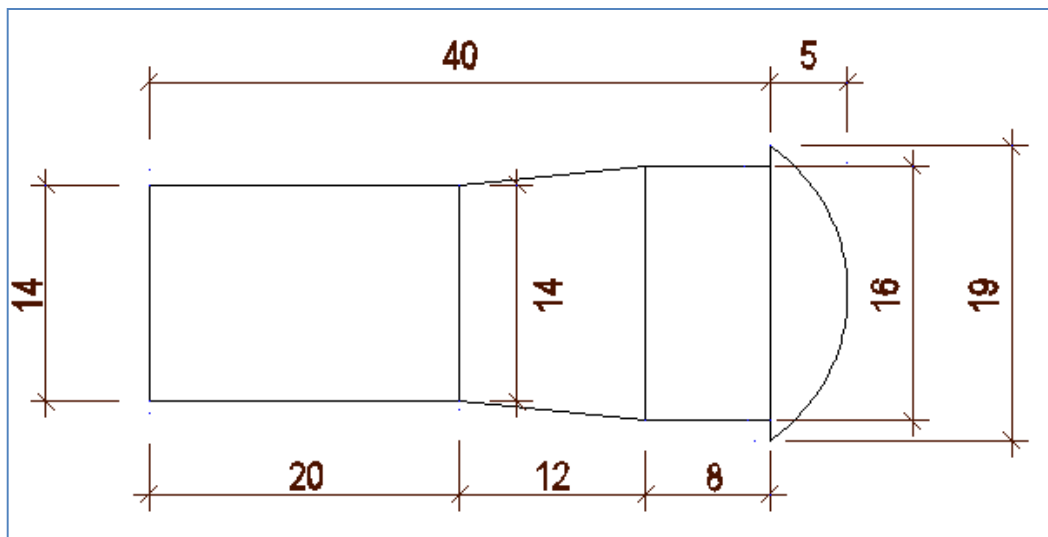


Figura 3-58. Detalle despiece pieza No.13 modelo 4 tensión.

La pieza No.13 eran los 8 pernos de  $\phi 15.9$  (5/8") x 40 mm, aproximadamente que entraban a presión para unir las dos conexiones.

Todas la soldaduras tienen especificaciones E-7018 (ver figuras 3-59,3-60, 3-61, 3-62).

Para la mezcla se usó concreto de 28 MPa.

La figura 3-59 muestra la orientación de las dos piezas de la zona inferior que se unieron a la conexión del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.1 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, la pieza No.2 fue para dar apoyo al soporte de la estructura.

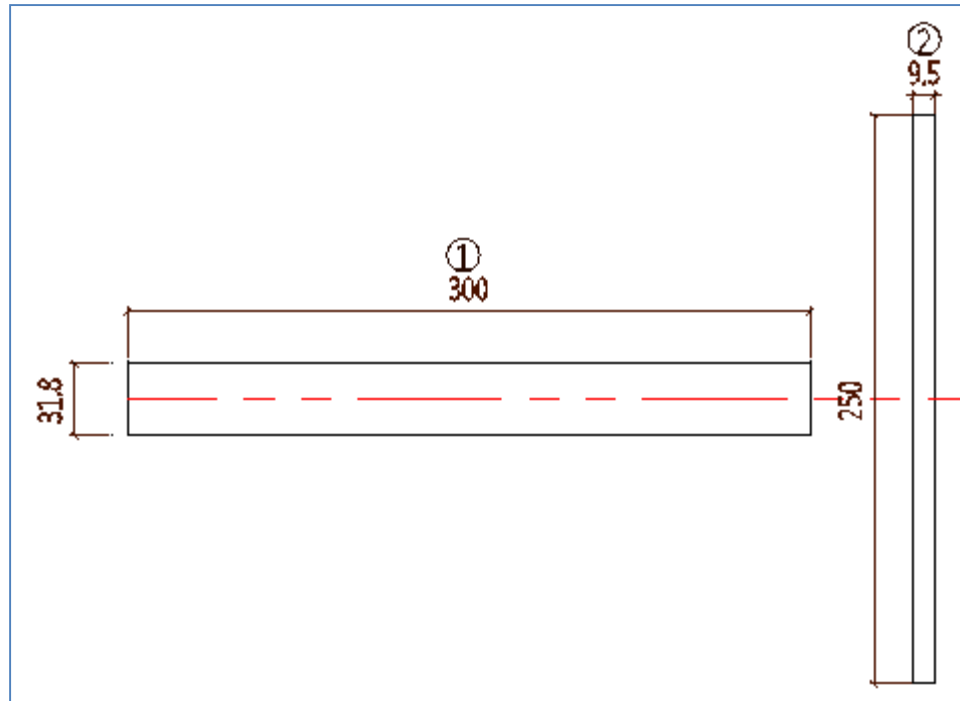


Figura 3-59. Detalle despiece piezas de armado de la conexión inferior modelo No 4.

La figura 3-60 muestra las cuatro piezas que conformaban la conexión como tal que es lo que realmente pertenecía al pilote que se hincó en una estructura real.

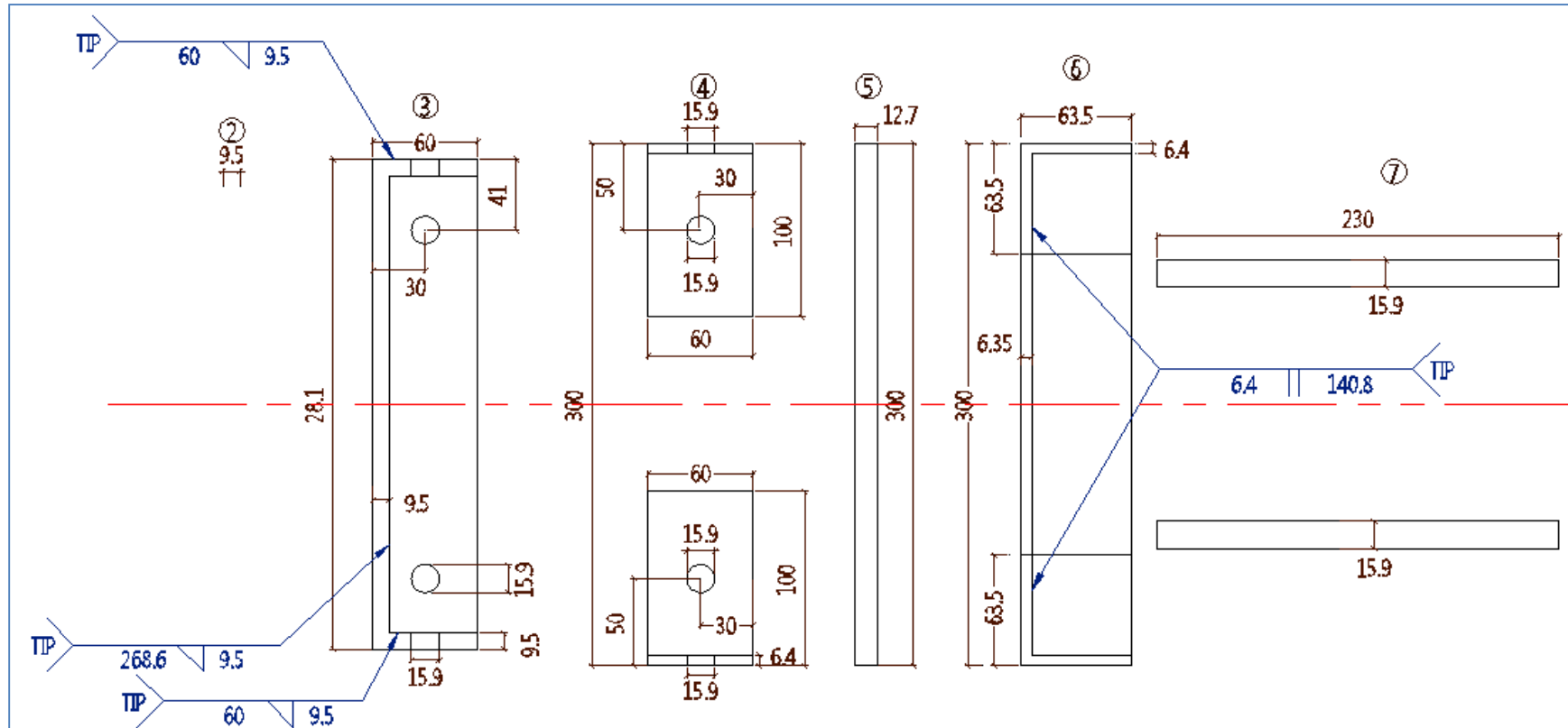


Figura 3-60. Detalle despiece de los elementos netos de la conexión No 4.



La figura 3-61 muestra la orientación de las piezas de la zona superior que se unían a la conexión del ensayo antes de que se ensamblarán, cabe notar que la pieza No.12 era para que la mordaza de la máquina SHIMADZU pudiera sujetar esta parte del modelo, las otras piezas se usaron para que el modelo soportara lo suficiente para que la falla se produjera en los aceros corrugados de  $\phi 15.9$  mm que es la zona que se consideró como la más débil.

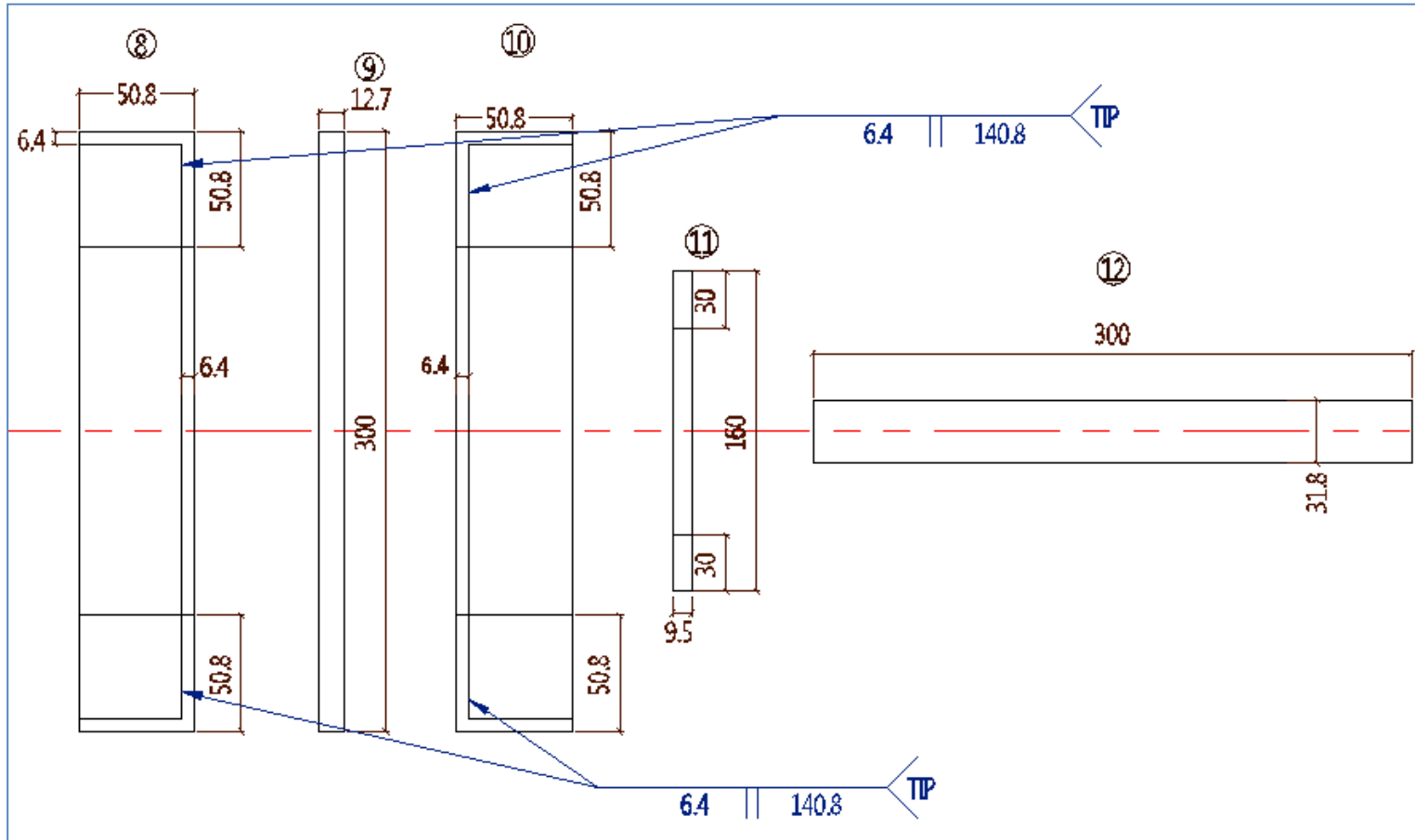


Figura 3-61. Detalle despiece conexión superior modelo No 4.

La figura 3-62 muestra el modelo completo visto lateralmente, también se observan todas las uniones pernadas y soldaduras que requirió la el ensayo para poder ser fallado.

Nota: Ver plano MODELOS ENSAYO A TENSION.

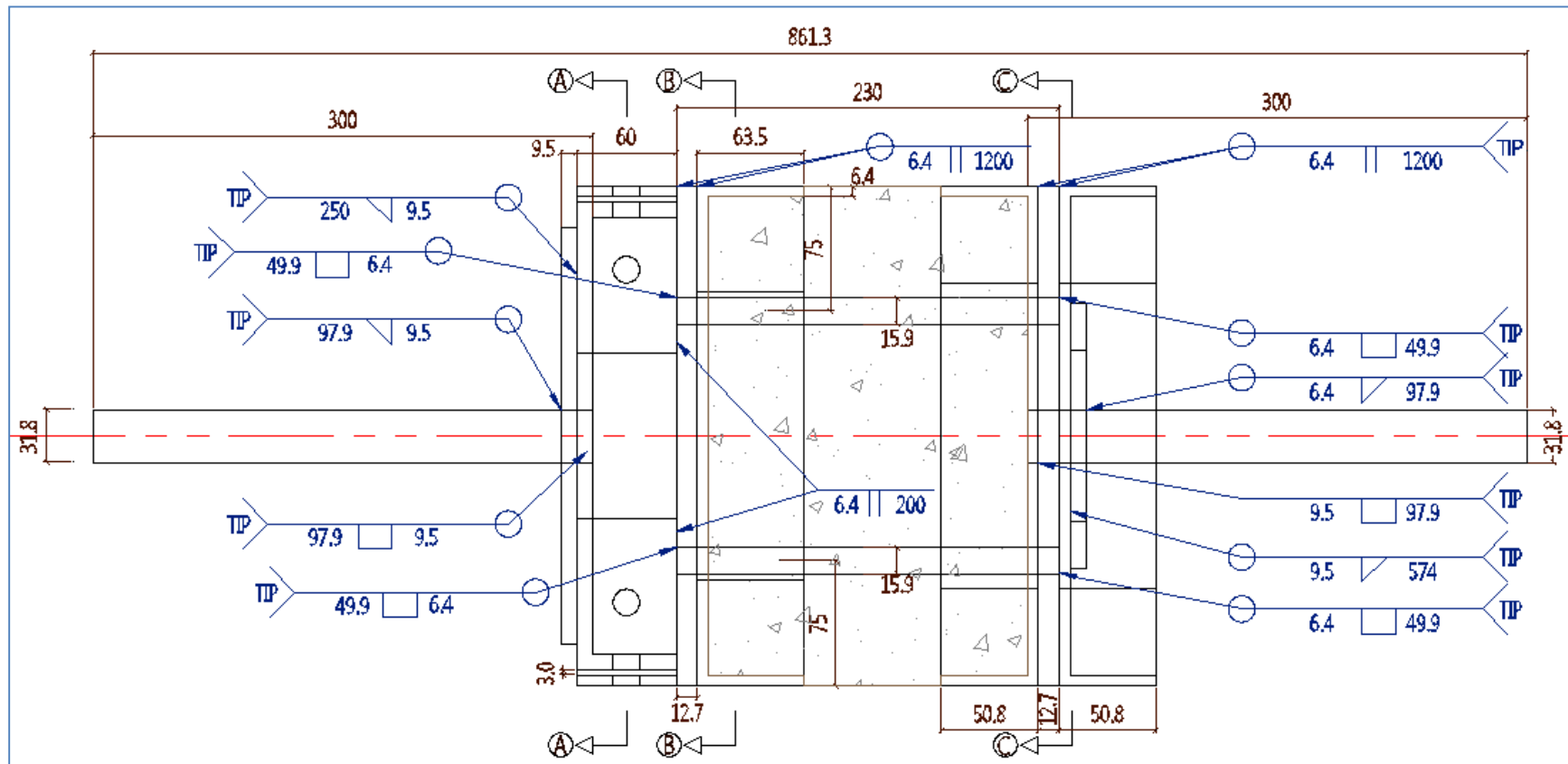


Figura 3-62. Detalle conexión completa modelo No 4.

La imagen 3-7 muestra el modelo antes de que se fallara y se aprecia la zona donde se fundió la mezcla de concreto.



Imagen 3-7. Modelo real No 4.

La imagen 3-8 se observa como falló el modelo y la mezcla no sufrió daño, lo que falló nuevamente fueron los aceros de la pieza No.7.



Imagen 3-8. Falla modelo real No 4.

- **Análisis de la falla modelo número 4**

En el ensayo de laboratorio la muestra resistió 34500 kg y se observó que la falla se produjo por fluencia en los aceros de la pieza No.7 que es donde se esperaba que fallara, adicionalmente se superaron los 30510 kg que es lo mínimo esperado que resistiría el modelo sin que se presentaran fallas en las piezas específicas tanto de la conexión superior como inferior por tanto se procederá a continuar con el siguiente ensayo de laboratorio.

El concreto de esta pieza se usó para verificar su comportamiento ante las sollicitaciones a las que se vio sometida la pieza y lo que se concluyó es que realmente a tensión el acero es el que opuso mayor resistencia.

### 3.2 Ensayo a corte

En ensayo a corte el modelo fue una simulación de un pilote real en el que se usó la conexión pero con una longitud más reducida, en total su longitud fue de 750 mm, la máquina SHIMADZU aplicó una fuerza perpendicular a la longitud del modelo que se situó de forma horizontal para este ensayo y tuvo dos apoyos a 100 mm de cada borde del modelo.

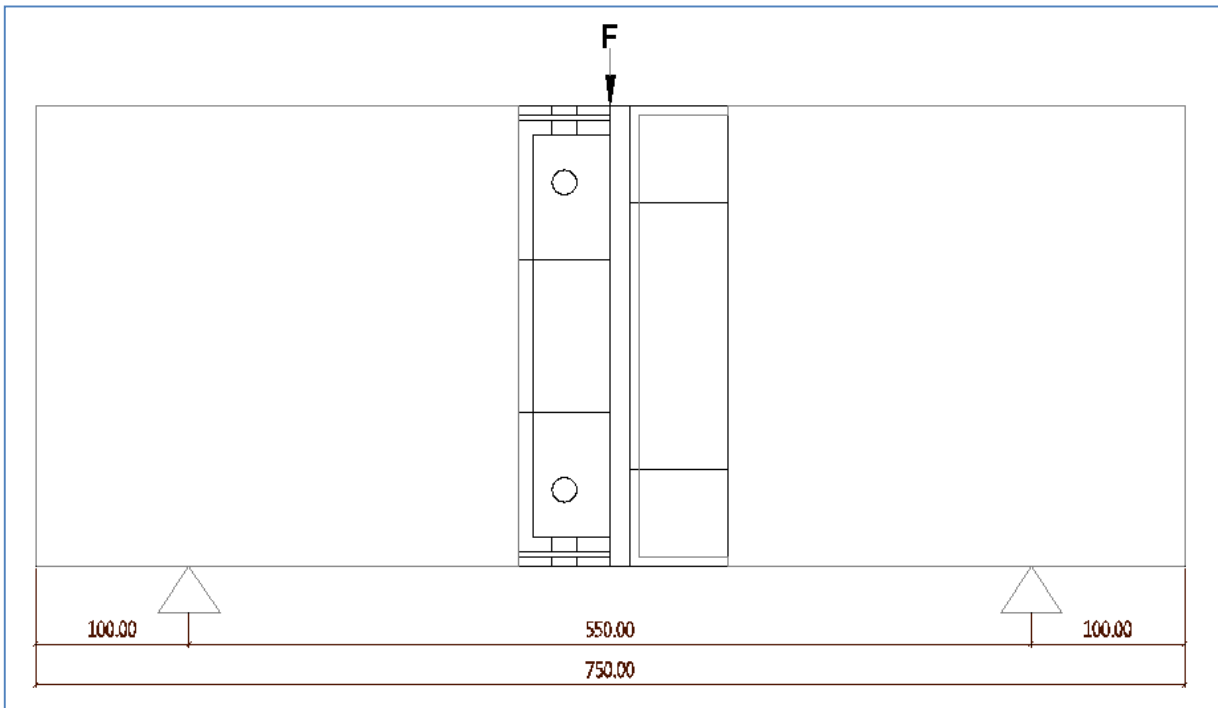


Figura 3-63. Diagrama modelo ensayo a corte No 1.

### 3.2.1 Modelo número 1 para ensayo a corte

El primer modelo a corte que fue diseñado, consta de 8 piezas de acero A-36 con las excepciones de las piezas No.1, No.6, No.7, No.8 que son de acero A-706 corrugado.

A este modelo se le fundió una mezcla de concreto de 28 MPa en la zona donde van los aceros de la pieza No.1, No.6 y No.7 para analizar el comportamiento del concreto ante esta la sollicitación de este tipo de ensayo.

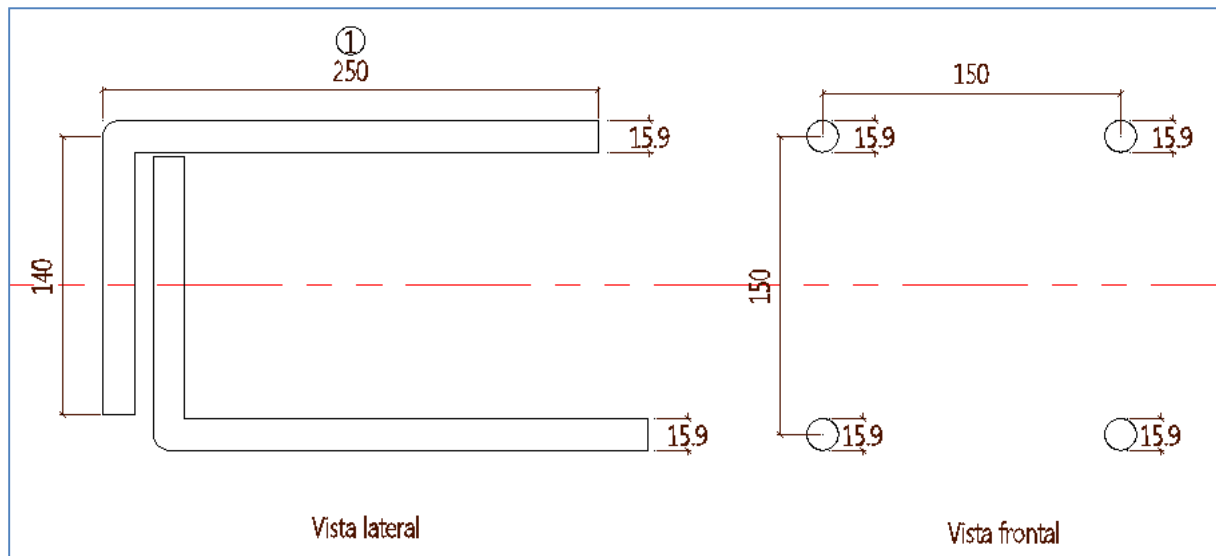


Figura 3-64. Detalle de pieza No.1 modelo 1 corte.

La pieza No.1 fueron cuatro barras de  $\phi 15.9$  (5/8") x 390 mm, con cierre en gancho de 140 mm, en la parte exterior y en la parte interior penetraron la base de la pieza No.2, iban con soldadura por tapón en la cara interna de la pieza No.2 y por ángulo a la cara externa de la pieza No.2.



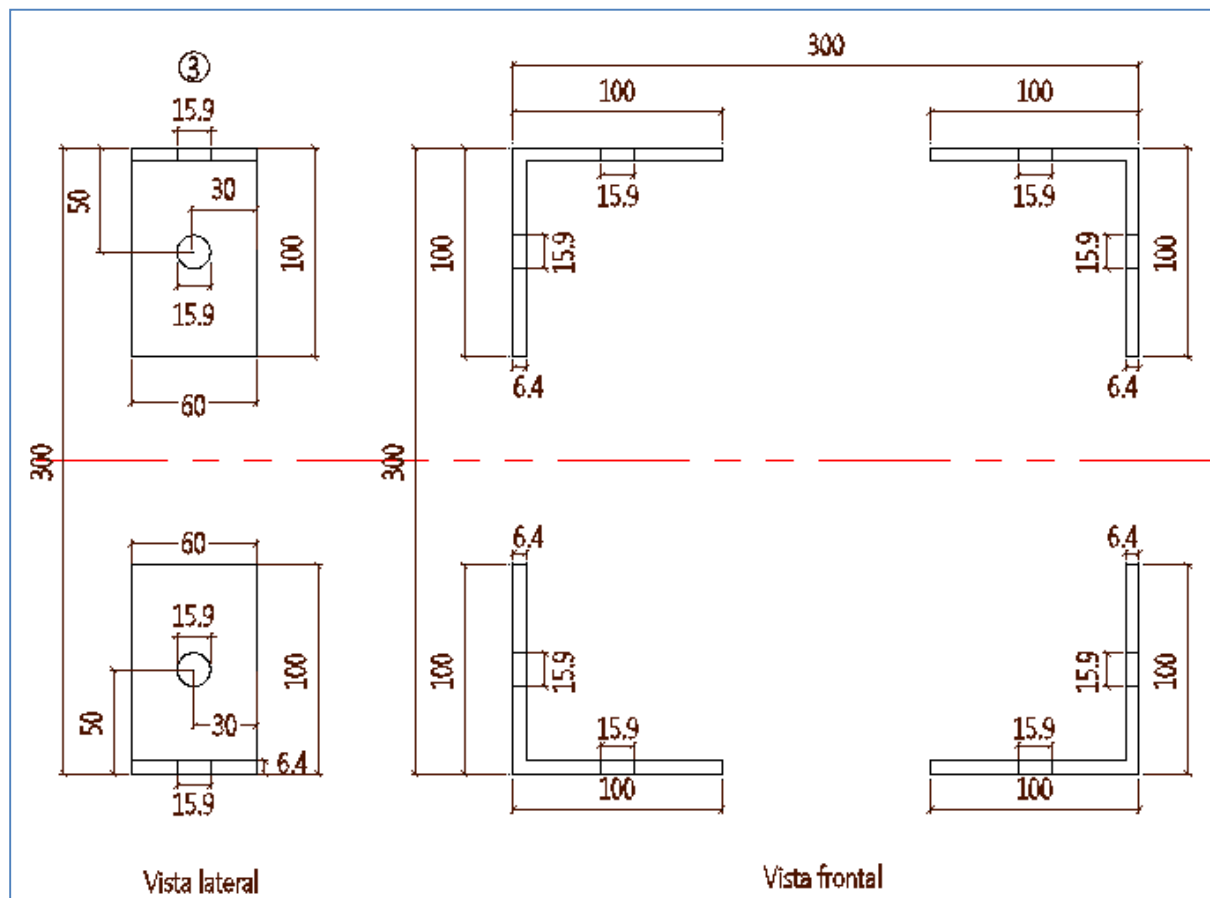


Figura 3-66. Detalle despiece pieza No.3 modelo 1 corte.

La pieza No.3 fueron las cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 (3/4") mm y cada una llevó dos perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm y en el borde superior se soldó a tope a la pieza No.4.



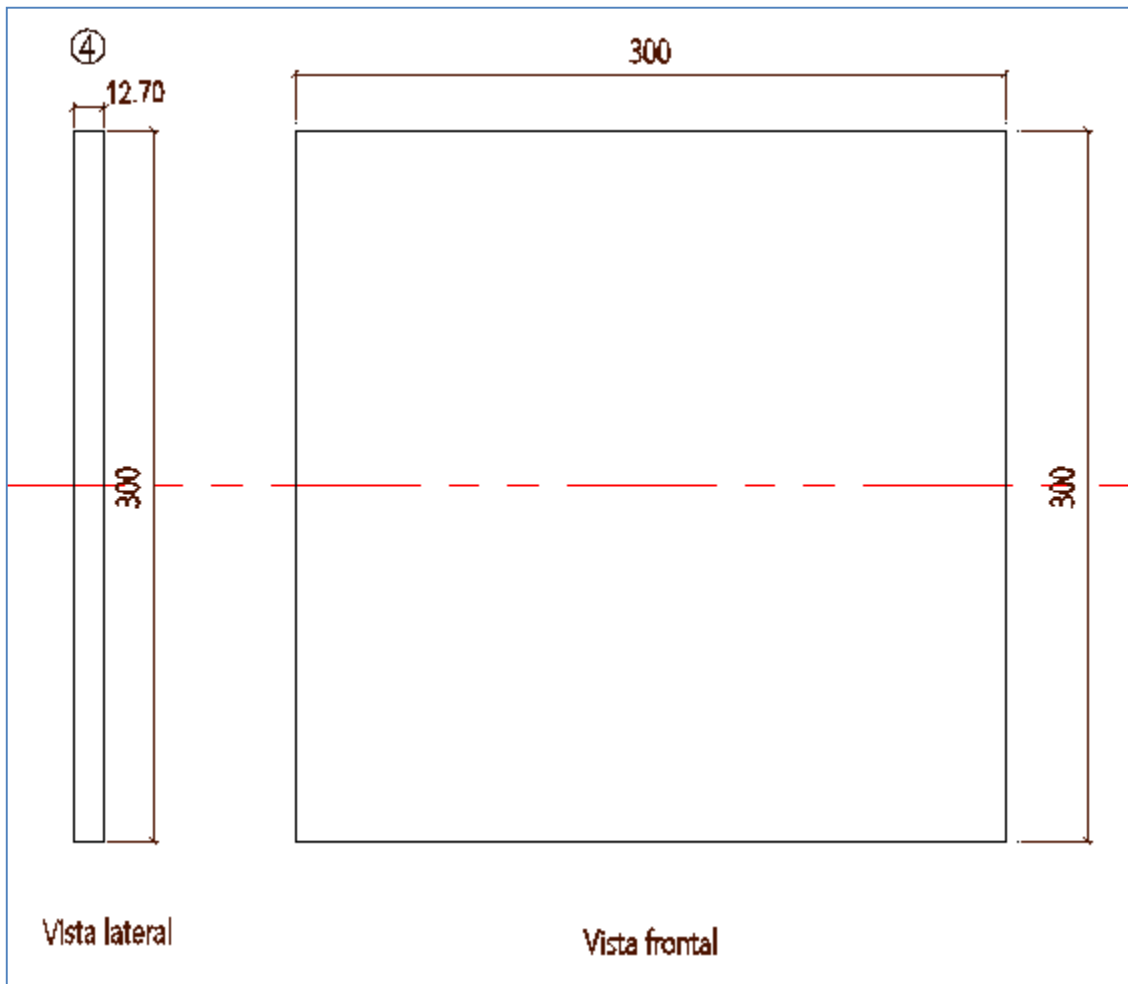


Figura 3-67. Detalle despiece pieza No.4 modelo 1 corte.

La pieza No.4 era una platina de 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope en su cara interna a la pieza No.3 y en su cara externa a la pieza No.5.

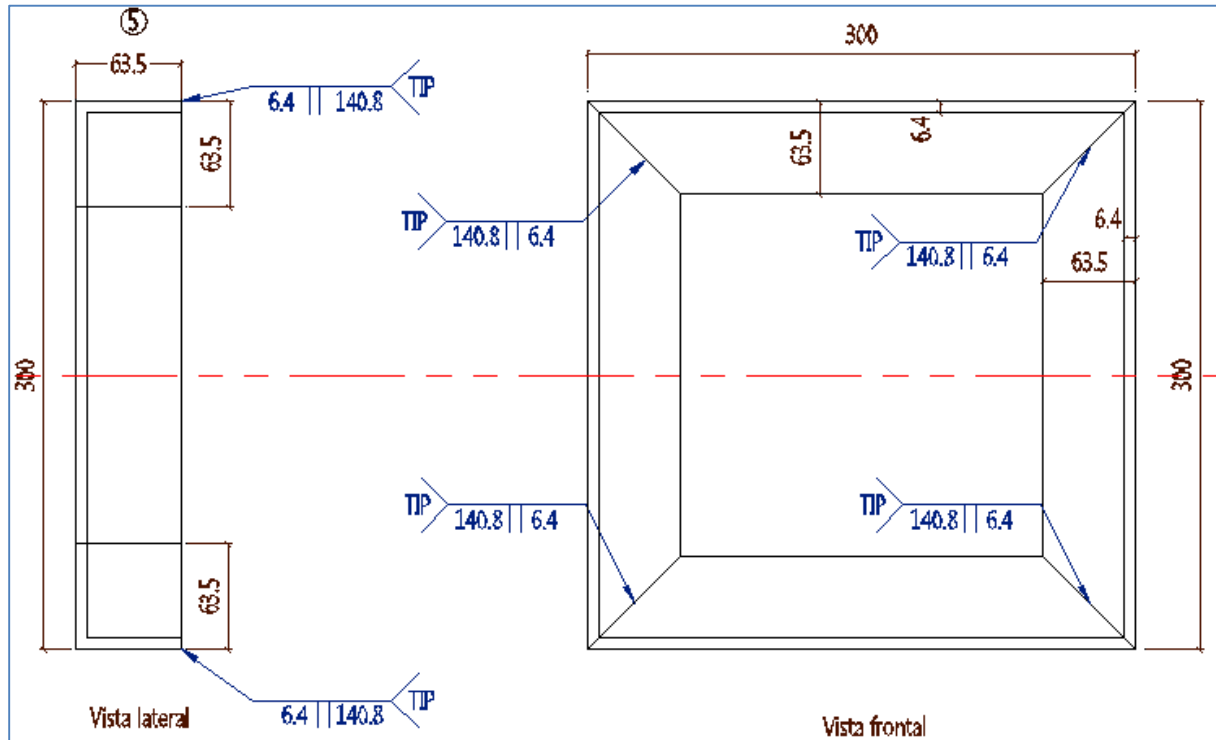


Figura 3-68. Detalle despiece pieza No.5 modelo 1 corte.

La pieza No.5 eran cuatro ángulos de 63.5 x 63.5 x 6.4 (3/4") mm, cortados a 45° y se soldaron a tope, formaron un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.5 en sus extremos.

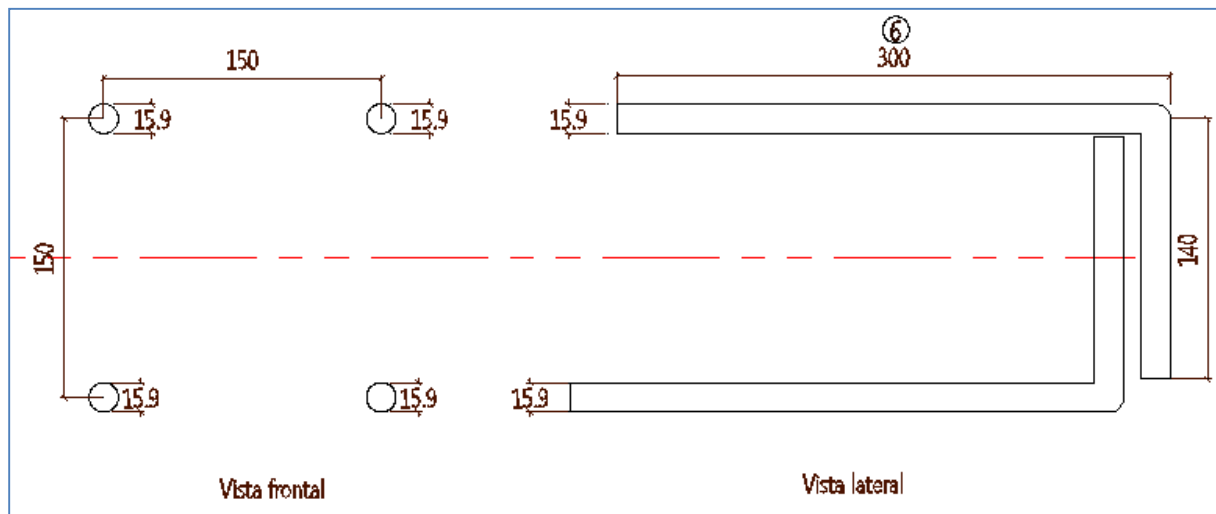


Figura 3-69. Detalle despiece pieza No.6 modelo 1 corte.

La pieza No.6 fueron cuatro acero de  $\varnothing 15.9 \times 440$  mm, que se soldaron por tapón a la piezas No.5 y terminaron en gancho de 140 mm, en la parte exterior.

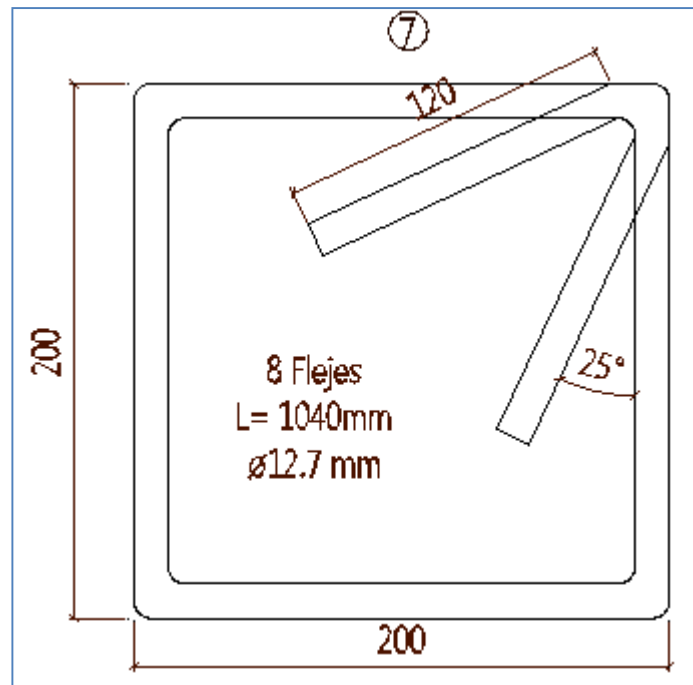


Figura 3-70. Detalle despiece pieza No.7 modelo 1 corte.

La pieza No. 7 eran 8 flejes de  $\varnothing 12.7$  (1/2")  $\times 1040$  mm, que se soldaron a lo largo de la piezas No.1 y No.6 con una separación de 70 mm.

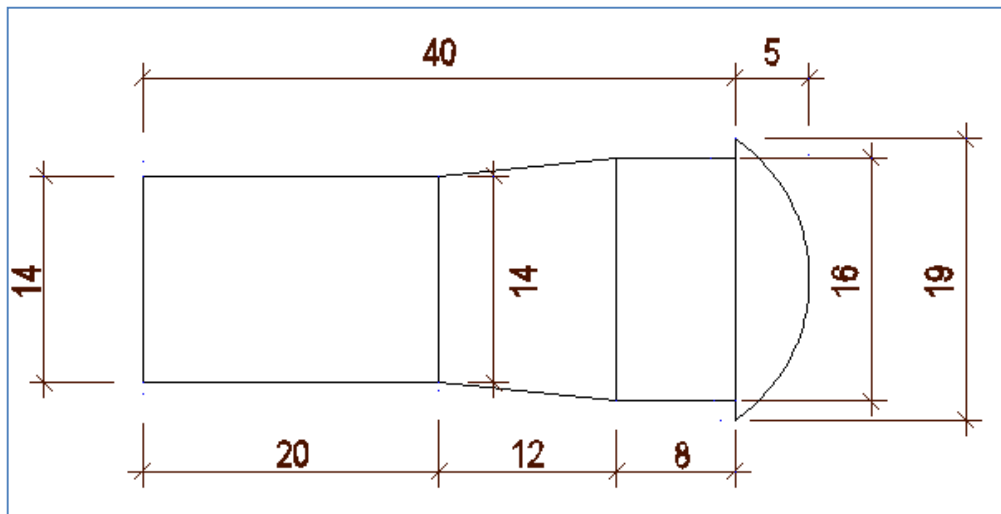


Figura 3-71. Detalle despiece pieza No.8 modelo 1 corte.

La pieza No.8 fueron los 8 pernos de  $\phi 15.9$  ( $5/8''$ ) x 40 mm, aproximadamente que entraron a presión para unir las dos conexiones.

La figura 3-72 muestra la orientación de las dos piezas que formaron la parte inferior del modelo a corte.

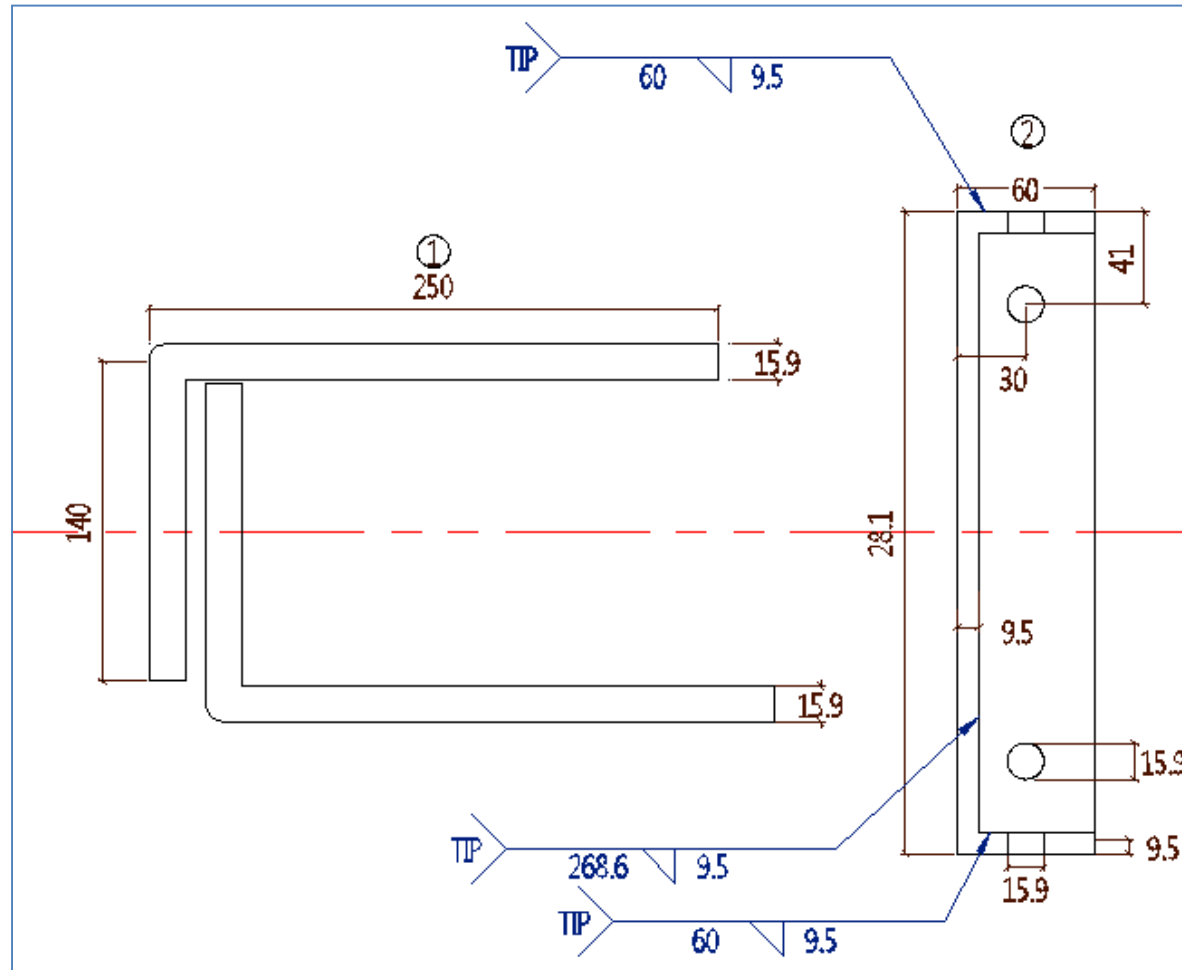


Figura 3-72. Detalle despiece conexión inferior modelo No.1 corte.

La figura 3-73 muestra la orientación de las piezas que formaron la parte superior del modelo a corte.

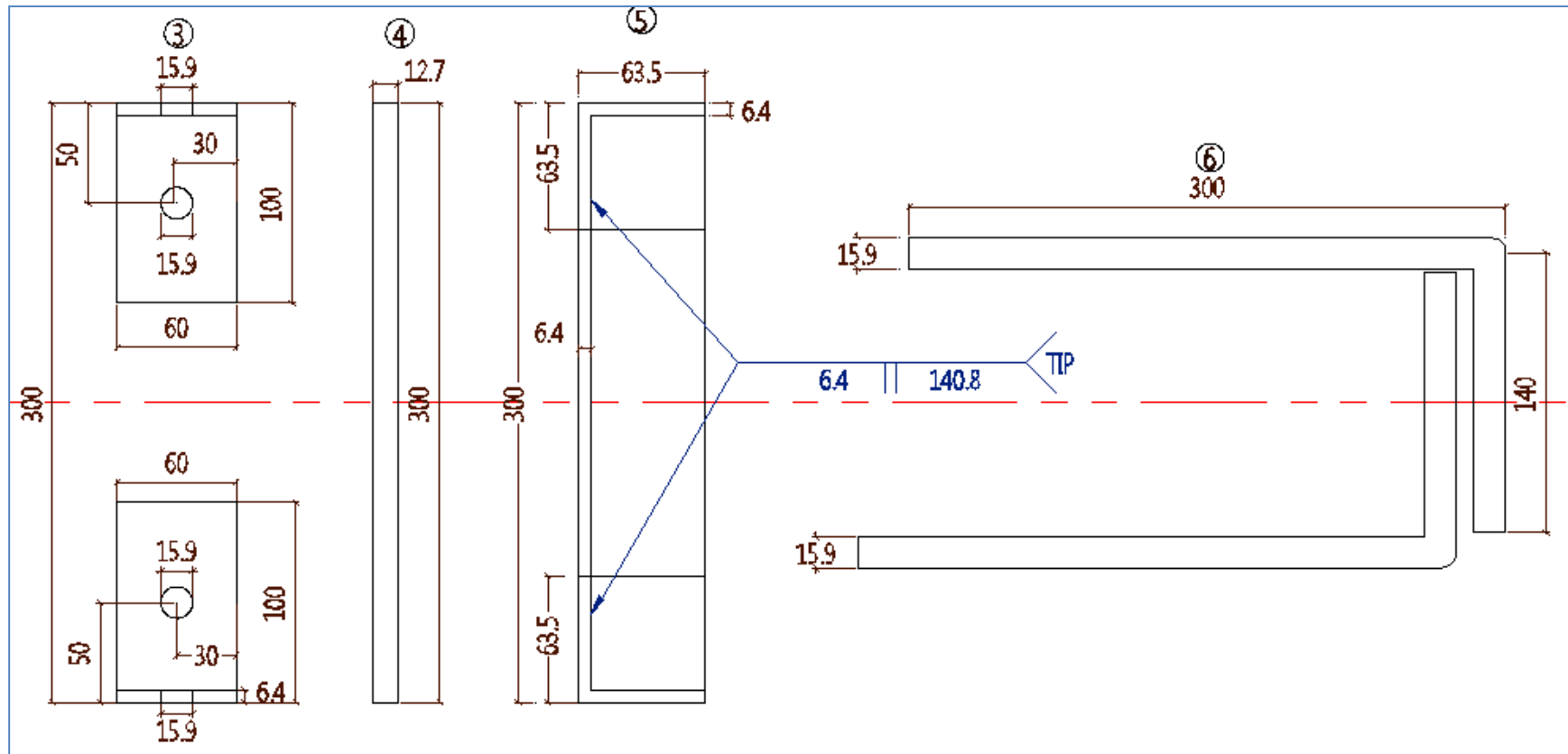


Figura 3-73. Detalle despiece conexión superior modelo No.1 corte.

La figura 3-73 muestra el modelo completo armado y con dos cubos de concreto uno en el costado izquierdo y otro en el costado derecho de la estructura que confinaban las piezas No.1, No.3, No.7 y No.8, esto se hizo para simular las cabezas de los pilotes que se conectaron por medio de la junta.

Nota: Ver plano MODELOS ENSAYO A CORTE Y FLEXIÓN.

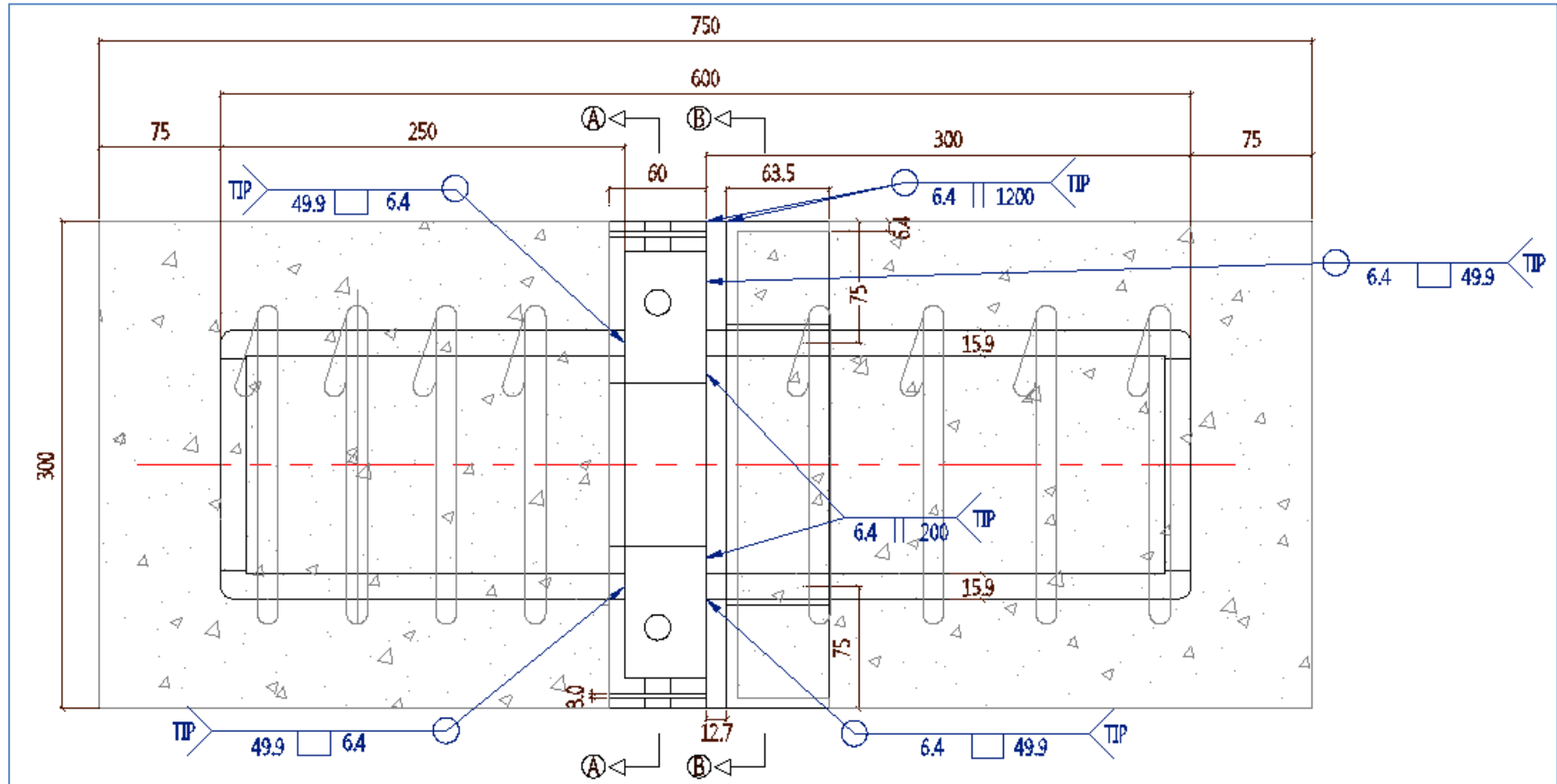


Figura 3-74. Detalle conexión completa modelo No.1 corte.

En la imagen 3-9 se observa el modelo que se armó con los macizos de concreto que son de 300 x 300 mm de sección con los apoyos a 100 mm de los bordes del montaje y la barra de acero en la parte superior del modelo que sería la que transmitió la fuerza que generó la máquina SHIMADZU cuya capacidad máxima es de carga era 10000 kg.



Imagen 3-9. Modelo real No 1 corte.



En la imagen 3-10 se observa como falló el modelo a causa de la fuerza impuesta por la máquina, cabe notar que el concreto presentó fallas por corte que finalmente fueron las que produjeron el falló de la estructura.



Imagen 3-10. Falla modelo real No 1 corte.



- **Análisis de la falla modelo número 1 corte**

#### F.2.10.4.2 Resistencia de elementos a cortante

(a) Para fluencia por cortante del elemento:

$$\varphi = 1,00$$

$$R_n = 0.60 \cdot F_y \cdot A_{gv}$$

$A_{gv}$  = Área bruta sometida a cortante mm<sup>2</sup>

$$R_n = \begin{array}{l} 49,88 \text{ kN} \\ 5,08 \text{ t} \end{array}$$

$$4 R_n = 20,34 \text{ t } 4 \text{ Barras}$$

(b) Para rotura por cortante del elemento:

$$\varphi = 0,75$$

$$R_n = 0.60 \cdot F_u \cdot A_{nv}$$

$A_{nv}$  = Área neta sometida a cortante mm<sup>2</sup>

Para este caso  $A_{nv} = A_{gv}$

$$R_n = \begin{array}{l} 48,99 \text{ kN} \\ 4,99 \text{ t} \end{array}$$

$$4 R_n = 19,97 \text{ t } 4 \text{ Barras}$$

Se tomó el menor valor que corresponde a rotura por cortante 19,97 t

En el ensayo de laboratorio la muestra resistió 51500 kg y se observó que la falla se produjo por corte en el concreto que es donde se esperaba obtener el fallo, adicionalmente se superaron los 19970 kg que es lo mínimo esperado que resistiría el modelo sin que se presentaran fallas en las piezas específicas tanto de la conexión superior como inferior por tanto se procedió a continuar con el siguiente ensayo de laboratorio.

### 3.3 Ensayo a flexión

Ensayo de flexión según UNE-EN 12794:2006+A1 (2006:20) Para este ensayo, se cortó el pilote compuesto de elementos a una longitud tal que la esbeltez (longitud del pilote / dimensión mínima de la sección transversal del pilote) estuviera comprendida entre 11 y 12.

Para este ensayo la medición de la separación  $v_0$  entre las dos mitades de la junta sin carga exterior, se apoyó el pilote compuesto por elementos tal y como se muestra en la (figura 3-75) la separación  $v_1$  se midió mientras el pilote compuesto por elementos (soportado únicamente su peso propio) se apoyó en su punto medio, donde se ubicaba la junta del pilote, y la separación  $v_2$  se midió cuando el pilote compuesto por elementos (soportando únicamente su peso propio) se apoyó en sus extremos, con una precisión de 0.1 mm. La separación  $v_0$  se calculó según la ecuación  $v_0 = (v_1 + v_2)/2$ .

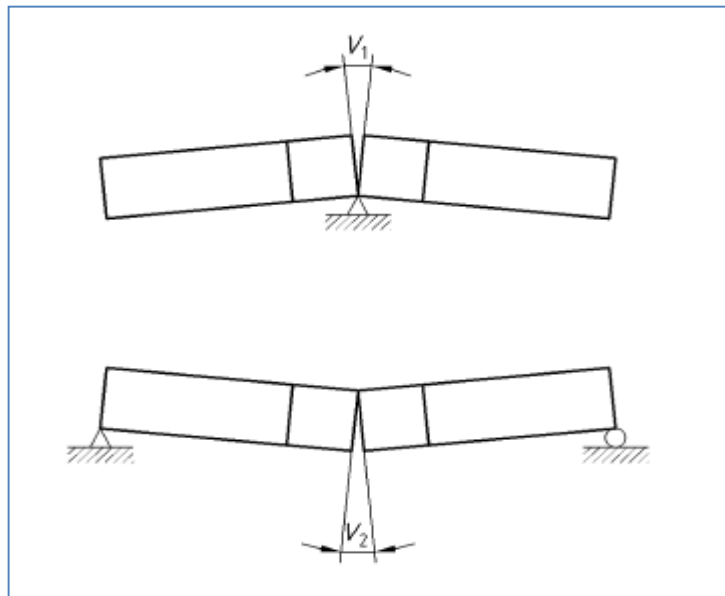


Figura 3-75. Medición de la separación  $v_0$  entre las dos mitades de la junta sin carga externa.

Para el ensayo de carga, se situó el pilote compuesto por elementos sobre dos apoyos de tal manera que se ensayó en la dirección más desfavorable, con un vano igual a 10 veces la dimensión mínima de la sección transversal del pilote, pero no inferior a 3.00 m. La junta del pilote debe situarse exactamente en la mitad del vano (figura 3-76) la distancia a fue igual a  $L/3 + 2$  veces la dimensión mínima de la sección transversal del pilote.

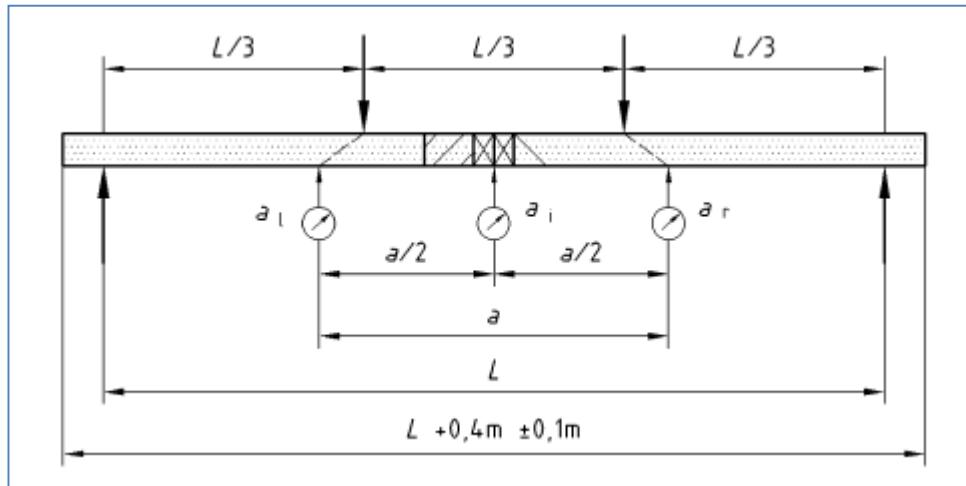


Figura 3-76. Disposición del ensayo a flexión UNE-EN 12794:2006+A1.

El pilote es sometido a ensayo se carga mediante dos cargas puntuales e idénticas aplicadas a un tercio de la longitud del vano tal como muestra la (figura 3-76) norma UNE-EN 12794:2006+A1.

Se debían registrar los siguientes datos:

- La deformación se midió empleando tres deformímetros que se situaron en el punto  $a_i$  (en el medio del vano) y en los puntos  $a_l$  y  $a_r$  a una distancia de  $(0.5 a)$  del punto medio de vano (figura 3-19);
- La primera medida de deformación se realizó cuando el pilote fue expuesto únicamente a su peso propio (lectura cero). El incremento de carga de cada escalón se eligió de tal manera que se efectuarán al menos 10 escalones de carga antes de que se alcanzara el momento flector último. Tras cada escalón de carga, la carga se mantuvo constante durante aproximadamente 3 minutos antes de leer los deformímetros;
- La separación entre las dos mitades de la junta, sobre la parte inferior de la probeta, debía medirse y registrarse durante el ensayo para cada escalón de carga con una precisión de 0.1mm;
- La carga de rotura; se continuó con el ensayo hasta que se produjo la rotura de la probeta.

Evaluación de los resultados del ensayo

Los valores de las medidas de deformación proporcionaron la base para el cálculo de la rigidez a flexión con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$EI_{eq} = M \cdot a^2 / 8 \cdot \delta_m \quad [3.1]$$

Donde, véase la (figura 3-19).

$a = 2h + L/3$ , siendo  $h$  la profundidad del pilote;

$M$  = momento flector en la junta del pilote producido por la carga aplicada;

$\delta_m$  = deformación en la mitad del vano =  $\delta_i - (\delta_l + \delta_r)/2$  donde  $\delta_i$ ,  $\delta_l$  y  $\delta_r$  son respectivamente los desplazamientos de los puntos  $a_i$ ,  $a_l$  y  $a_r$ .

### 3.3.1 Modelo número 1 para ensayo a flexión

El primer modelo a flexión que fue diseñado y constó de 8 piezas de acero A-36 con las excepciones de las piezas No.1, No.6, No.7 y No.8 que son de acero A-706 corrugado.

Este modelo llevó concreto fundido de 28 MPa en la zona donde iban los aceros de la pieza No.1, No.6 y No.7 para analizar el comportamiento del concreto ante las solicitaciones de este tipo de ensayo.

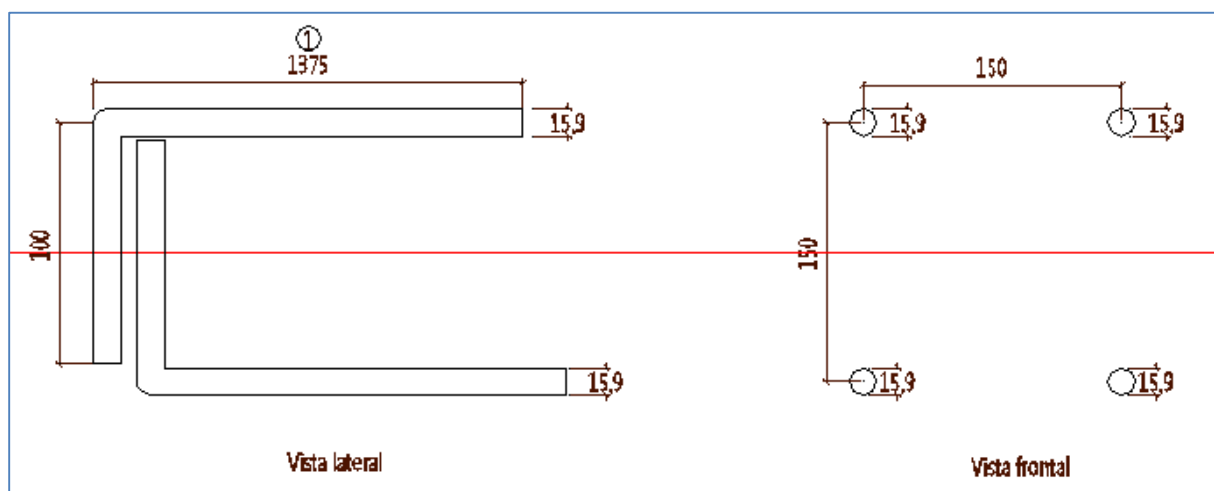


Figura 3-77. Detalle despiece pieza No.1 modelo 1 flexión.

La pieza No.1 fueron cuatro barras de  $\phi 15.9$  (5/8") x 1475 mm, con cierre en gancho de 100 mm, en la parte exterior y en la parte interior penetraron la base de la pieza No.2, se soldaron por tapón en la cara interna de la pieza No.2 y por ángulo a la cara externa de la pieza No.2.

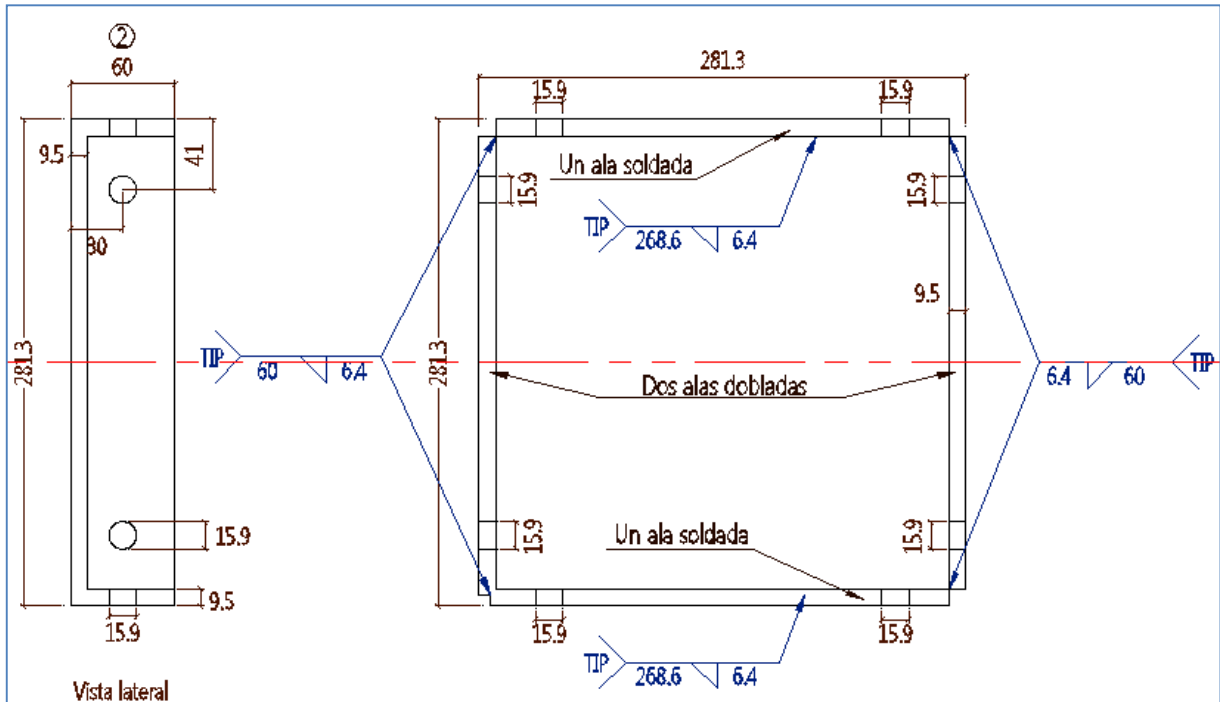


Figura 3-78. Detalle despiece pieza No.2 modelo 1 flexión.

La pieza No.2 la conexión inferior se fabricó con una placa 280 x 280 x 9.5 (3/8") mm, con dos alas dobladas y dos alas soldadas 60 x 280 x 9.5 (3/8") mm, llevó 8 agujeros de  $\phi 15.9$  (5/8") mm, se soldó a la pieza No.1 y se conectó a la pieza No.3 por los pernos de la pieza No.8.

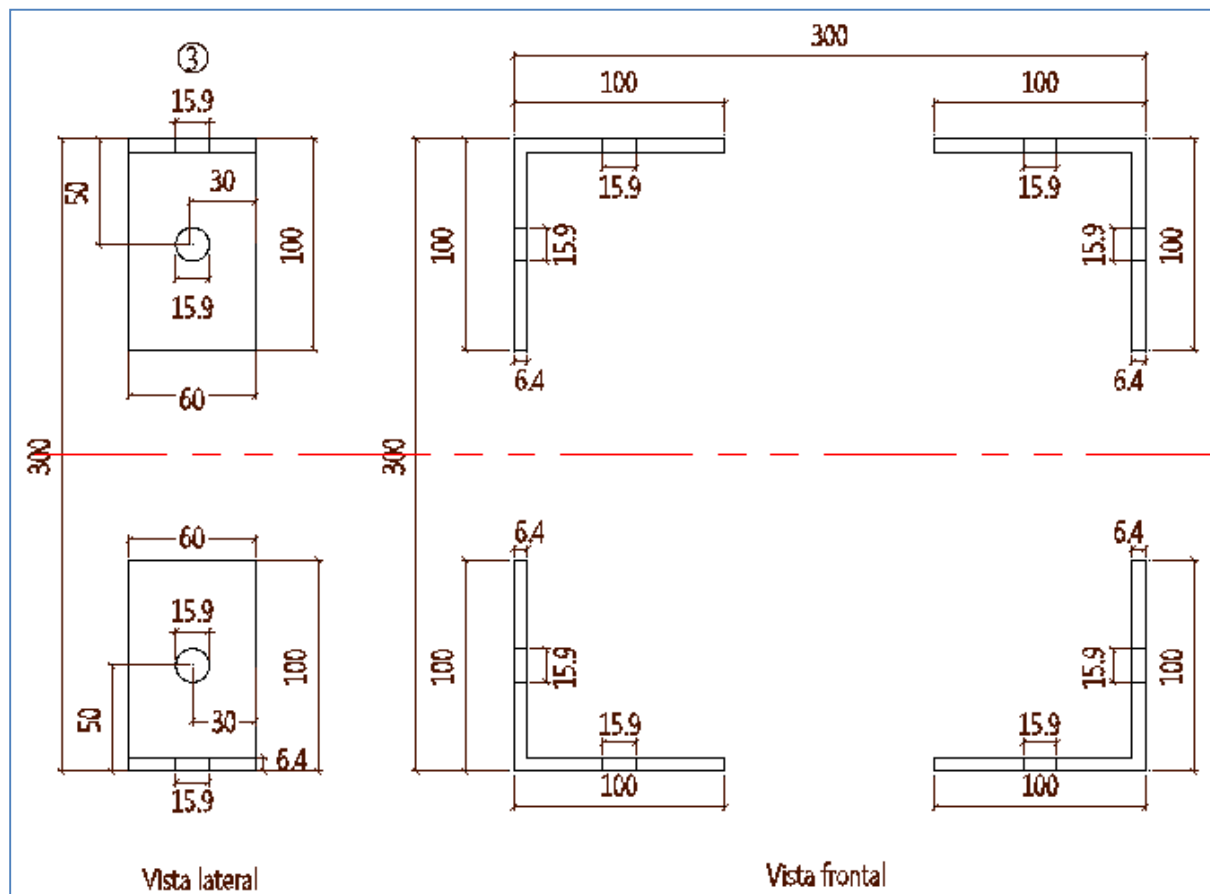


Figura 3-79. Detalle despiece pieza No.3 modelo 1 flexión.

La pieza No.3 fueron las cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 (3/4") mm y cada una lleva dos perforaciones de  $\varnothing$  15.9 mm y en el borde superior se soldó a tope a la pieza No.4.



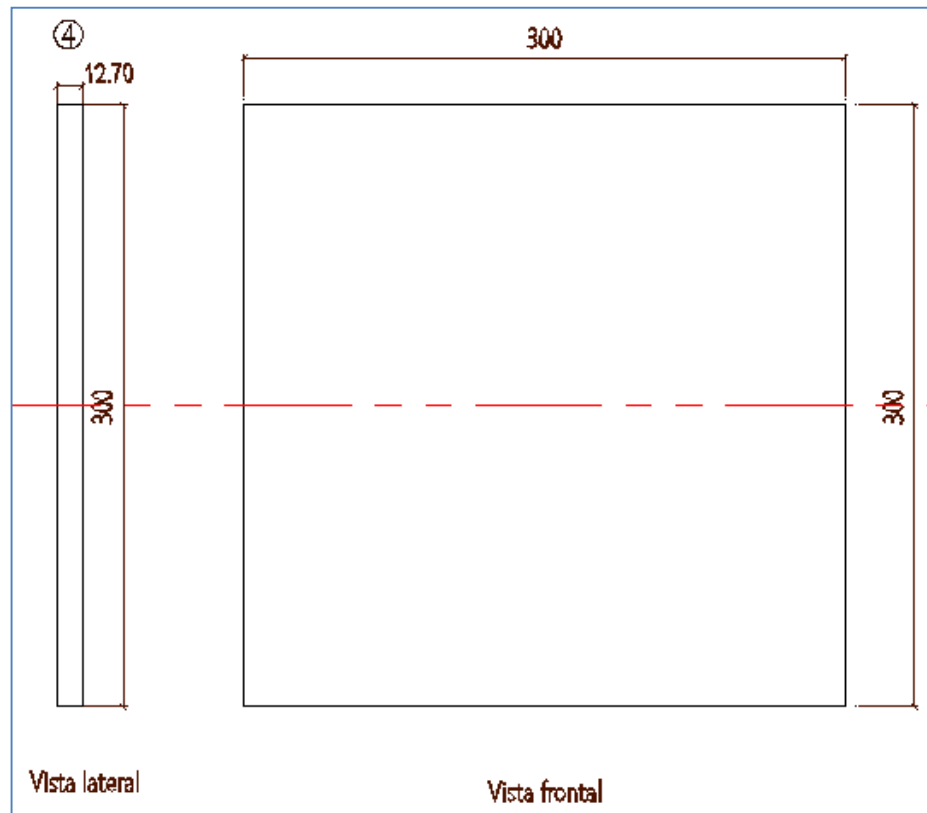


Figura 3-80. Detalle despiece pieza No.4 modelo 1 flexión.

La pieza No.4 era una platina de 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm, que se soldó a tope en su cara interna a la pieza No.3 y en su cara externa a la pieza No.5.

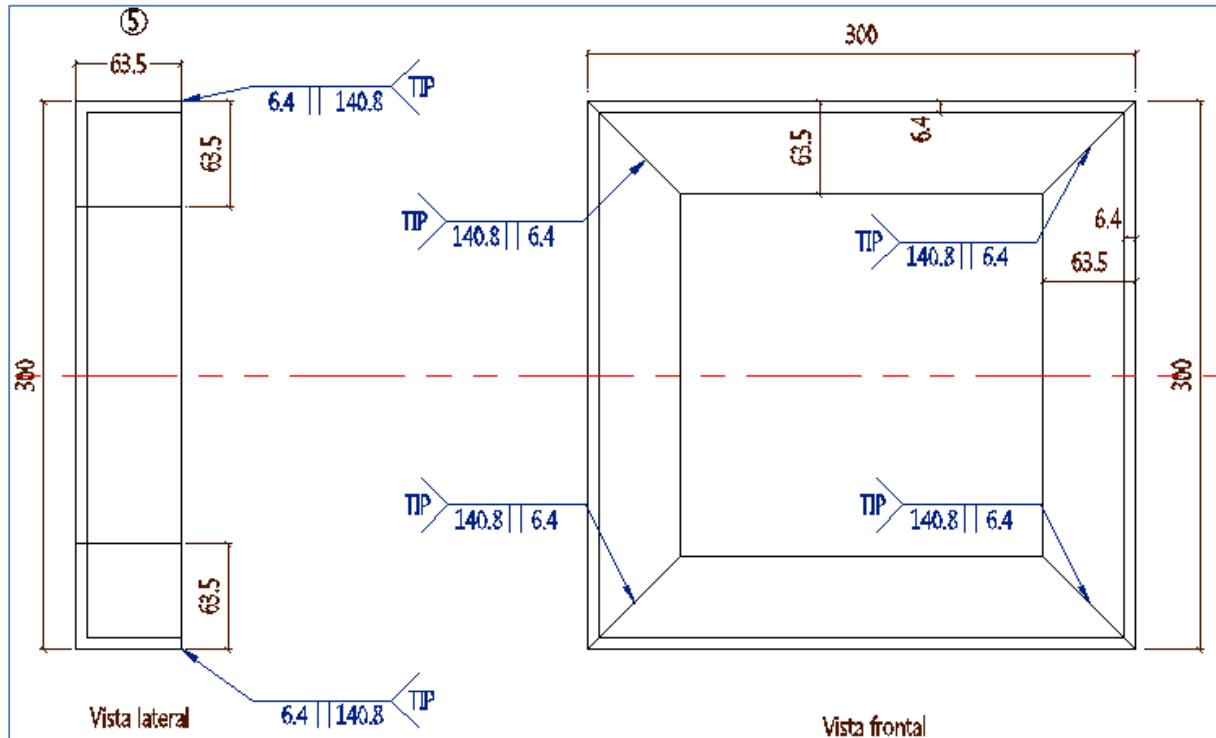


Figura 3-81. Detalle despiece pieza No.5 modelo 1 flexión.

La pieza No.5 eran cuatro ángulos de 63.5 x 63.5 x 6.4 (3/4") mm, cortados a 45° y se soldaron a tope, formaron un semi-cajón que se soldó a tope con la pieza No.5 en sus extremos.

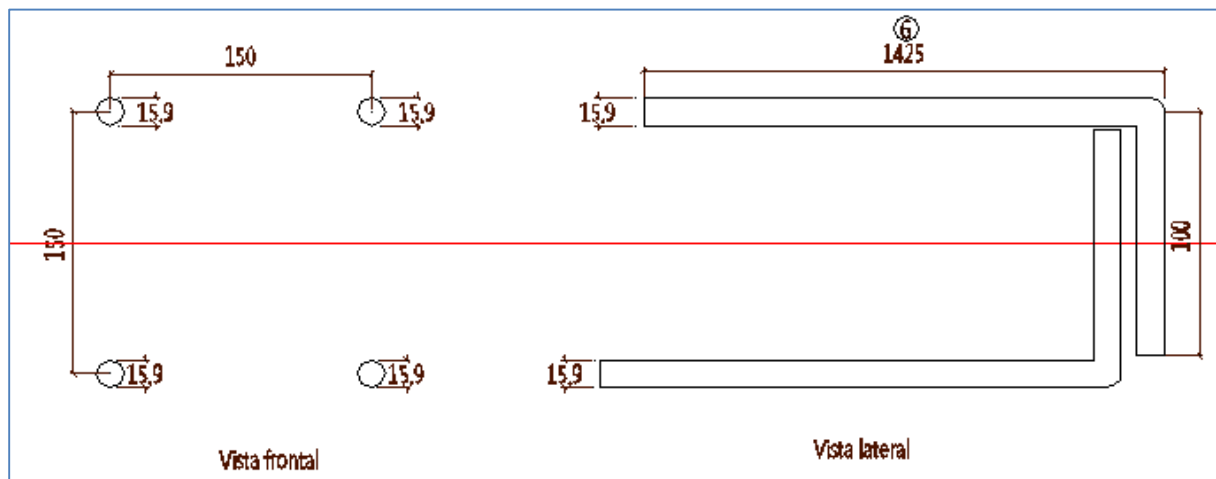


Figura 3-82. Detalle despiece pieza No.6 modelo 1 flexión.

La pieza No.6 fueron cuatro acero de  $\varnothing 15.9$  (5/8") x 1525 mm, que se soldaron por tapón a la piezas No.5 y terminaron en gancho de 100 mm, en la parte exterior.

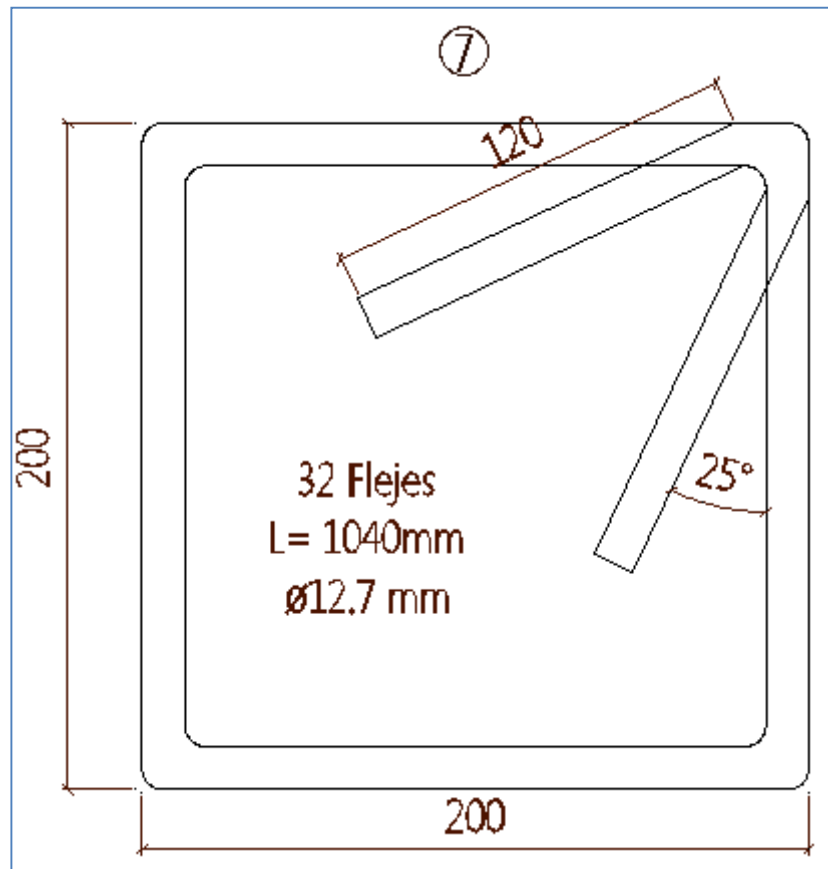


Figura 3-83. Detalle despiece pieza No.7 modelo 1 flexión.

La pieza No. 7 eran 8 flejes de  $\phi 12.7$  (1/2") x 1040 mm, que se soldaron a lo largo de la piezas No.1 y No.6 con una separación de 70 mm.

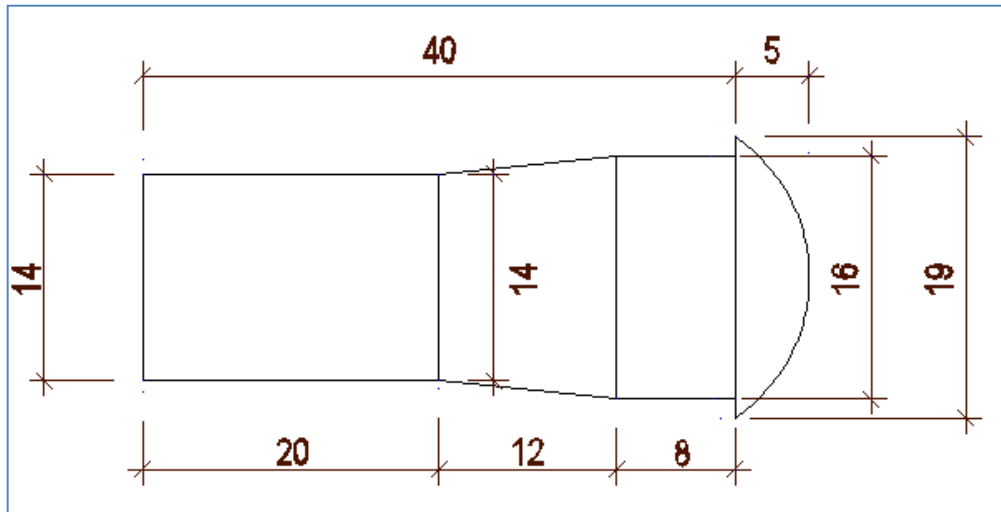


Figura 3-84. Detalle despiece pieza No.8 modelo 1 flexión.

La pieza No.8 fueron los 8 pernos de  $\phi 15.9$  ( $5/8''$ ) x 40 mm, aproximadamente que entraron a presión para unir las dos conexiones.

La figura 3-85 muestra la orientación de las dos piezas que formaron la parte inferior del modelo a flexión.

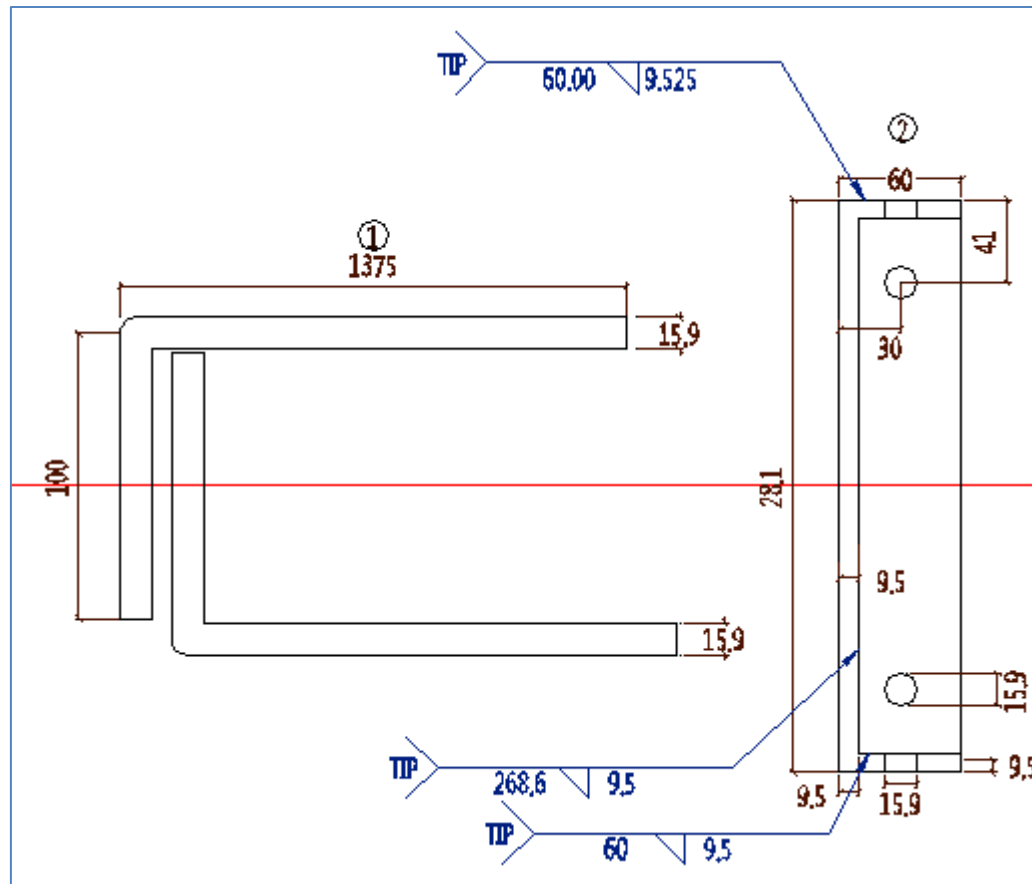


Figura 3-85. Detalle despiece conexión inferior modelo No.1 flexión.

La figura 3-86 muestra la orientación de las dos piezas que formaron la parte superior del modelo a flexión.

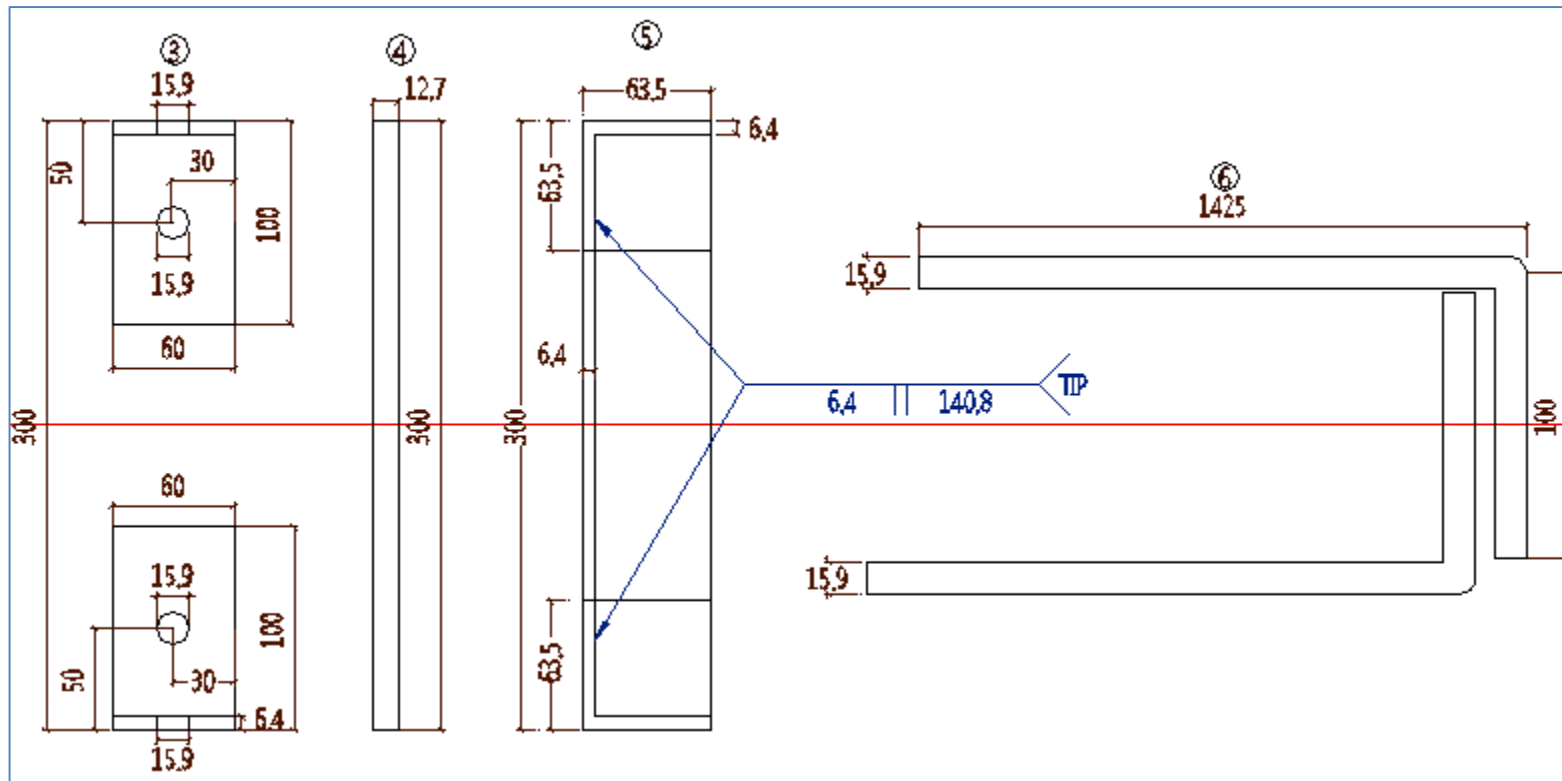


Figura 3-86. Detalle despiece conexión superior modelo No.1 flexión.

La figura 3-87 muestra el modelo completo armado y con dos cubos de concreto uno en el costado izquierdo y otro en el costado derecho de la estructura que confinan las piezas No.1, No.3, No.7, esto se hizo para simular una sección con una longitud considerable de los pilotes que se conectaron por medio de la junta.

Nota: La figura 3-87 esta modificada y se presenta de manera ilustrativa, para visualizar el detalle real: Ver plano MODELOS ENSAYO A CORTE Y FLEXIÓN.

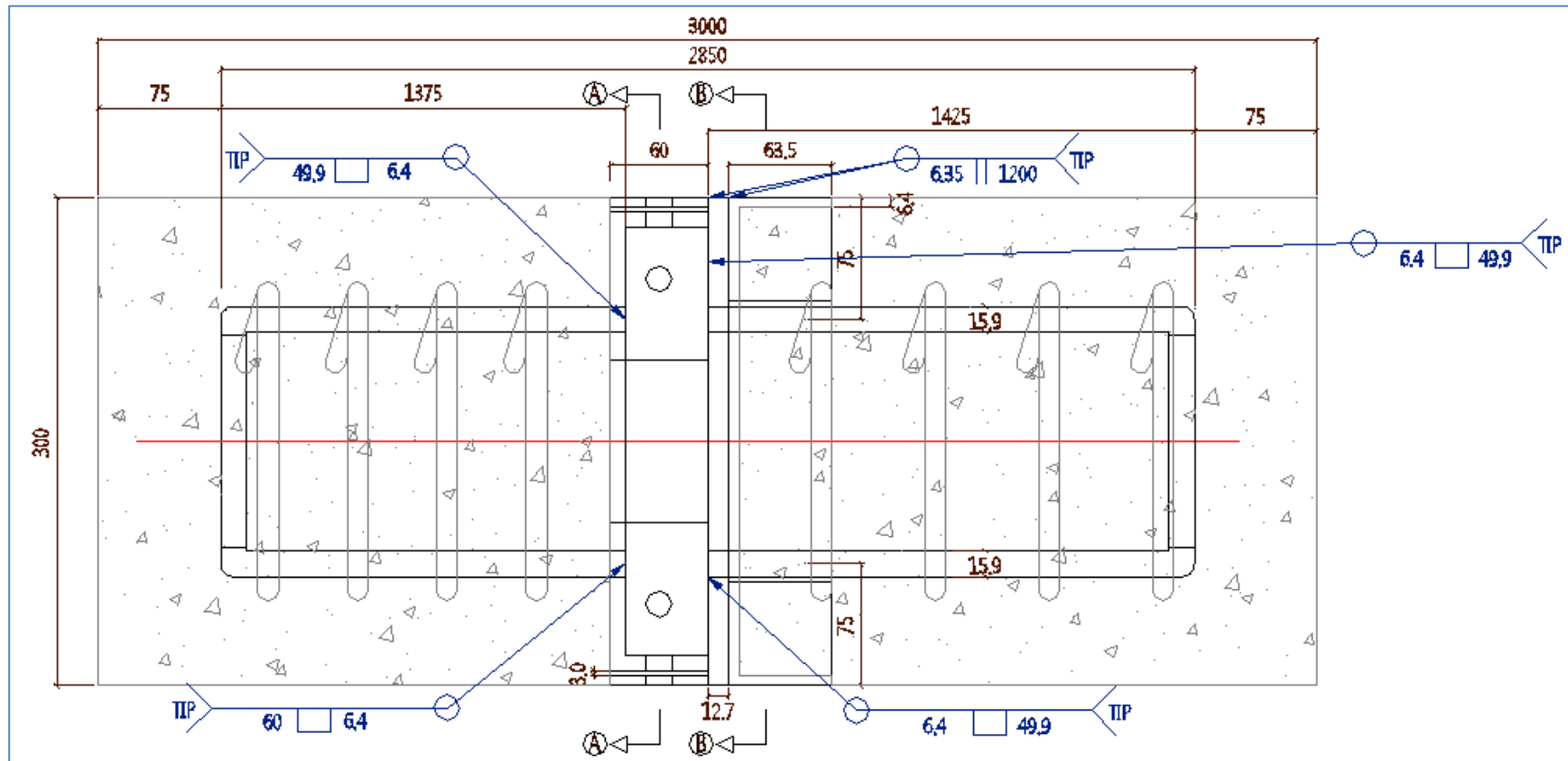


Figura 3-87. Detalle conexión completa modelo No.1 flexión.





En la imagen de la izquierda se aprecian los aceros y las formaletas que se usaron para fabricar las dos piezas del modelo.

En la imagen de la derecha se observan las dos partes de la estructura ya fundidas con el concreto.



Imagen 3-11. Detalle de la fabricación de modelo 1 para el ensayo a flexión.

En la fotografía de la izquierda se visualiza el modelo cuando se unieron las dos partes de la conexión.

En la imagen de la derecha se aprecia el montaje completo que se realizó para el ensayo en la máquina SHIMADZU.



Imagen 3-12. Modelo real No 1 flexión.

En la fotografía de la izquierda se visualiza el modelo cuando ya estaba siendo cargado por las dos fuerzas y se aprecia la forma como se hizo en la realidad la transferencia de fuerzas de la máquina a la conexión, también se pudieron apreciar las fisuras que se empezaron a presentar en el concreto.

En la imagen de la derecha se observa el modelo cuando llegó a su punto de colapso, la falla se presentó por fluencia en de los aceros de la pieza No.1, pero la zona de la conexión como tal no falló.



Imagen 3-13. Falla modelo real No 1 flexión.



- **Desarrollo ensayo modelo número 1 flexión**

El ensayo a flexión que se deseaba realizar tuvo dos etapas. En la primera se estudió la rigidez a 75% del momento de falla teórico como lo indicó la norma **UNE-EN 12794:2006+A1** y en la segunda hasta el valor de la carga última. El valor del momento de falla se presenta a continuación.

Usando el MÉTODO DE LA RESISTENCIA ÚLTIMA.

Momento teórico falla

$$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$d = 26 \text{ cm}$$

$$\#5 = 2$$

$$\phi = 1,99 \text{ cm}^2$$

$$\rho = (2 \#5 \cdot \phi) / (b \cdot d) = 0,0051$$

$$m = f_y / 0,85 \cdot f'_c = 17,65$$

$$Mu = \Phi \cdot \rho \cdot f_y \cdot (1 - \rho \cdot m / 2) \cdot b \cdot d^2 \quad 374000 \text{ kg-cm}$$

$$3,74 \text{ t - m}$$

$$75\% M_{falla} = 2,80 \text{ t - m}$$

Sección (cm)	Refuerzo Longitudinal	Momento de falla Mfalla (t-m)	Observaciones
30 x 30	4#5	3,74	Refuerzo Convencional

Para llegar al momento de interés se debió aplicar una carga la cual debe ser disminuida debido al peso propio del pilote. De esta forma el valor de esta carga es:

Sección (cm)	Momento de Falla $M_{falla}$ (t-m)	Momento de (75%) Falla $M_{75\%falla}$ (t-m)	Momento por peso propio $M_{prop}$ (t-m)	Momento Total $M_{total}$ (t-m)	Carga de Ensayo (t)
30 x 30	3,74	2,80	0,24	3,30	6,39

El valor del momento último sería registrado por el laboratorio cuando la probeta de ensayo estuviera a punto de fallar ya sea por las fisuras en el concreto por un notable deterioro de la junta en su función de conectar los dos elementos. De esta forma era de esperarse que el valor de carga último ( $P_{ult}$ ) no sobrepasó este valor:

$$M_{ult} = P_{ult}/6 + M_{P.prop} \quad [3.2]$$

- **Resultado ensayo modelo número 1 flexión**

La siguiente figura muestra la posición de los deformímetros que median con precisión de 0.01 mm, en total se usaron cinco dispositivos dos al lado de los apoyos  $A_o$ ,  $A_e$ , adicionalmente se emplearon dos más L, R, que están posicionados como se indica en los diagramas de la norma Europea mencionada, finalmente se colocó un deformímetro en la parte superior central del modelo.

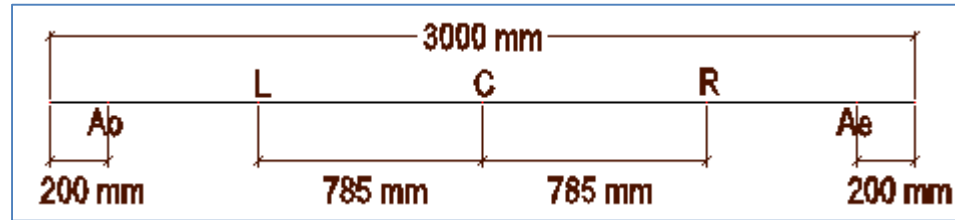


Figura 3-88. Diagrama ubicación de los deformímetros.

La tabla nos muestra los valores de deformación que se obtuvieron para cada incremento de carga y con esto se calculó la deformación promedio de la muestra.

<i>A0</i>	<i>Ae</i>	<i>L</i>	<i>R</i>	<i>C</i>	<i>Mesa</i>	<i>DEF CENT</i>	<i>DEF δi</i>	<i>Carga</i>	<i>Carga</i>
<i>x10-2 mm</i>							<b>(mm)</b>	<b>(t)</b>	<b>(kg)</b>
50	45	31	36	8	1,6	0,4	0,26	1,0	1000
135	115	73	137	70	2,9	0,6	0,35	1,5	1500
215	207	135	175	90	4,6	1,2	0,65	2,0	2000
305	285	162	200	110	5,4	1,9	0,71	2,5	2500
405	378	217	292	174	6,8	2,2	0,81	3,0	3000
490	468	265	325	178	8,2	3,0	1,17	3,5	3500
620	591	328	413	180	9,5	4,3	1,91	4,0	4000
715	642	387	468	72	11,1	6,1	3,56	4,5	4500
915	822	448	525	62	12,9	8,1	4,25	5,0	5000
1025	960	508	565	58	14,8	9,3	4,79	5,5	5500
1267	1063	572	635	48	17,1	11,2	5,56	6,0	6000
1388	1073	627	705	28	19,6	12,0	6,38	6,5	6500
1402	1092	707	770	0	22,3	12,5	7,39	7,0	7000
1432	1085	775	850	-20	25,5	12,8	8,33	7,5	7500
1417	1130	805	921	-60	29,3	13,3	9,23	8,0	8000
1435	1098	795	1018	-60	34,6	13,3	9,67	8,5	8500
1464	1137	802	1113	-142	39	14,4	11,00	9,0	9000
1490	1161	749	1128	-200	40,2	15,3	11,39	9,5	9500
1551	1156	974	1334	-280	41,5	16,3	14,34	10,0	10000
1666	1233	875	1390	-400	-	18,5	15,33	10,5	10500
1776	1386	937	1652	-590	-	21,7	18,85	11,0	11000

Figura 3-89. Registro de los datos del ensayo.



Cálculo de la deformación para la carga de 1 ton.

$$\delta_m = \text{deformación en la mitad del vano} = (\delta_l + \delta_r)/2 - \delta_i = (L+R)/2 - C = ((31+36)/2 - 8)/100 = 0,26 \text{ mm.}$$

Carga	Def. ai
kg	mm
1000	0,26
1500	0,35
2000	0,65
2500	0,71
3000	0,81
3500	1,17
4000	1,91
4500	3,56
5000	4,25
5500	4,79
6000	5,56
6500	6,38
7000	7,39
7500	8,33
8000	9,23
8500	9,67
9000	11,00
9500	11,39
10000	14,34
10500	15,33
11000	18,85

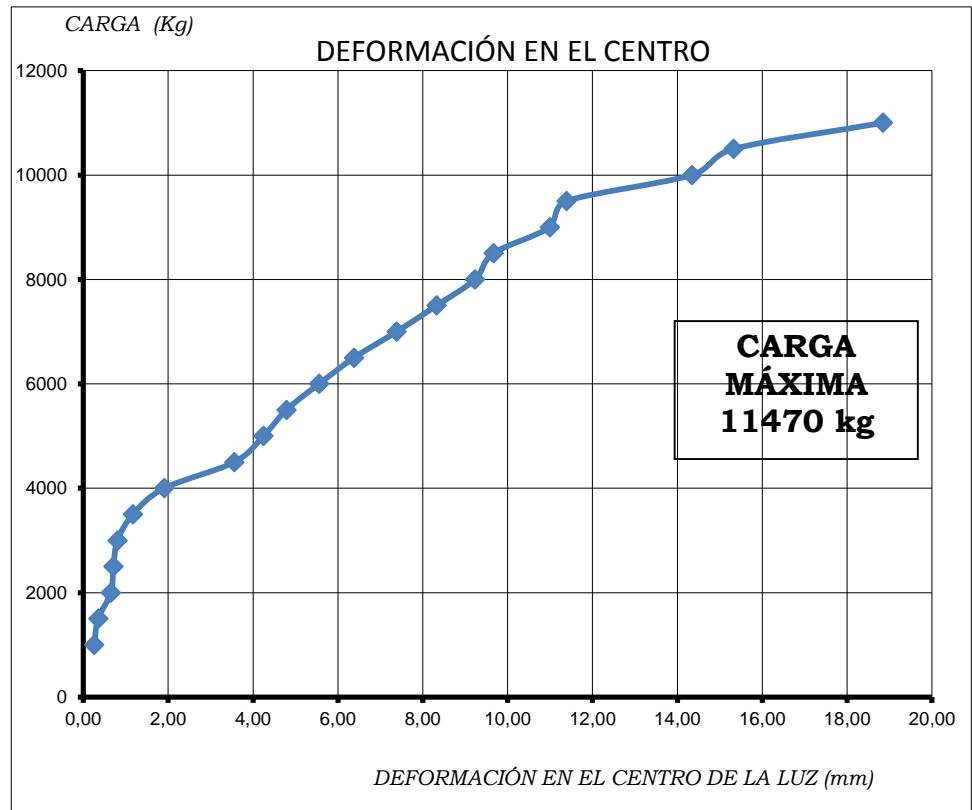


Figura 3-90. Grafica de carga contra deformación.

### INFORMACIÓN GENERAL DEL ENSAYO A FLEXIÓN

Ensayo choque (SI)  
 Sección 300x300 mm  
 Refuerzo 4 No.4  
 Longitud del ensayo 3000 mm  
 $a = 1570 \text{ mm}$

Carga : 6390 Kg

Carga máxima	$P_m$ (kg) =	11470
Diferencial de carga	$\Delta P$ (kg) =	500
Diferencial de deformación	$\Delta \delta$ (mm) =	0,8
Diferencial carga choque	$\Delta CC$ (kg) =	60
Deformación promedio	$(\Delta \delta \cdot \Delta CC) / \Delta P$ (mm) =	0,0924
Para $P = 6390$ Kg	$\delta_i + \delta_{prom}$ (mm) =	4,88
Calculo rigidez =	$Ei_{eq}$ (kg-mm <sup>2</sup> )	
Distancia entre cargas =	$a$ (mm)	1570
	kg /	
Peso específico concreto	0,0000024 mm <sup>3</sup>	
b =	300 mm	
h =	300 mm	
w =	0,216 kg / mm	

Momento real de falla

$$w \cdot L^2 / 8$$

$$= 243000 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$P \cdot L / 6 = 3303000 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$P \cdot L / 6 = 3,30 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$M_u = P_m \cdot L / 6 \quad 5735000 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$5,74 \text{ t} \cdot \text{m}$$

$$E \cdot I_{eq} = (M \cdot a^2) / (8 \cdot \delta m) \quad 2,08E+11 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$$

$$208,66 \text{ t} \cdot \text{m}^2$$

- **Análisis de la falla modelo número 1 flexión**

En el ensayo de laboratorio la muestra resistió 11470 kg y se observó que la falla se produjo por fractura en el concreto.

El momento real de falla es de: 5.74 t-m que es mayor al momento teórico de falla 2.80 t-m por tanto se considera que el ensayo cumple con la resistencia mínima que debe tener para presentar un comportamiento satisfactorio ante sollicitaciones impuestas por flexión.

## **4. Modelación Matemática**

Con el fin de hacer una revisión más detallada de los ensayos que se realizaron en el laboratorio se recrearon todos los modelos en el programa ANSYS para predecir cómo funcionará y reaccionará determinado producto bajo un entorno real.

El programa funciona analizando los elementos finitos de los diferentes materiales que se usan en la fabricación de los elementos que se emplean para construir cualquier tipo de máquina o construcción que se quiera analizar.

Con las herramientas del programa se modelaron las geometrías, materiales y fuerzas de una manera similar a como se aplicó en el laboratorio para poder analizar y comparar los resultados obtenidos de ambas formas, está claro que los valores no serían exactamente iguales pero si deben estar en rangos muy cercanos.

### **4.1 Modelación matemática del ensayo 1 a tensión**

#### **4.1.1 Descripción del modelo matemático 1 a tensión**

Para la modelación del primer ensayo a tensión se recrearon las geometrías de cada pieza y se simuló las uniones soldadas y pernadas.

Cada pieza contiene las propiedades del acero específico con el que se fabricó en el taller A-36 y A-706.

El modelo se fijó en su extremo superior y se le aplicó una carga de 12.3 t que fue aproximadamente la carga máxima que soportó el sistema antes de fallar.

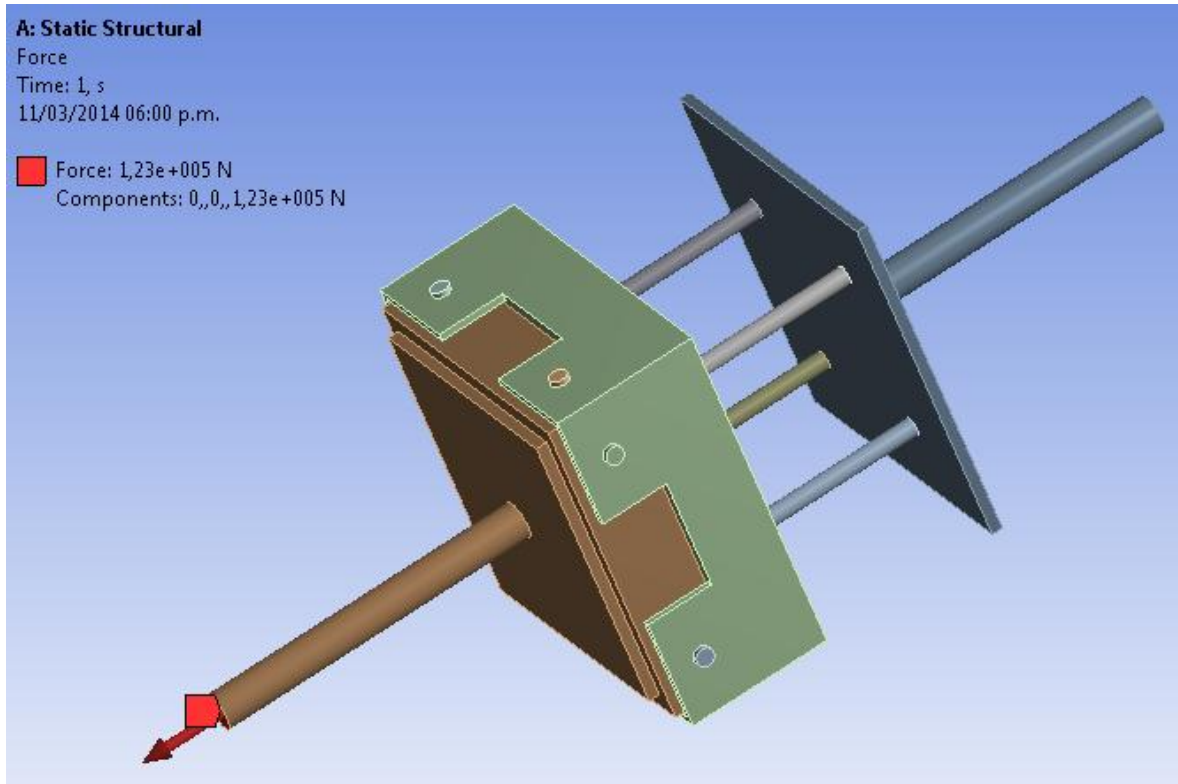


Figura 4-1. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 tensión.

Los pernos se acoplaron a los orificios del modelo con contactos unidos en las caras externas de los pernos y los orificios lo cual generó la transferencia de energía real que se presentó en los ensayos de laboratorio.

### 4.1.2 Montaje del modelo matemático 1 a tensión

La figura 4-2 muestra dos vistas de como se crearon todas la piezas del modelo exactamente iguales a las reales.

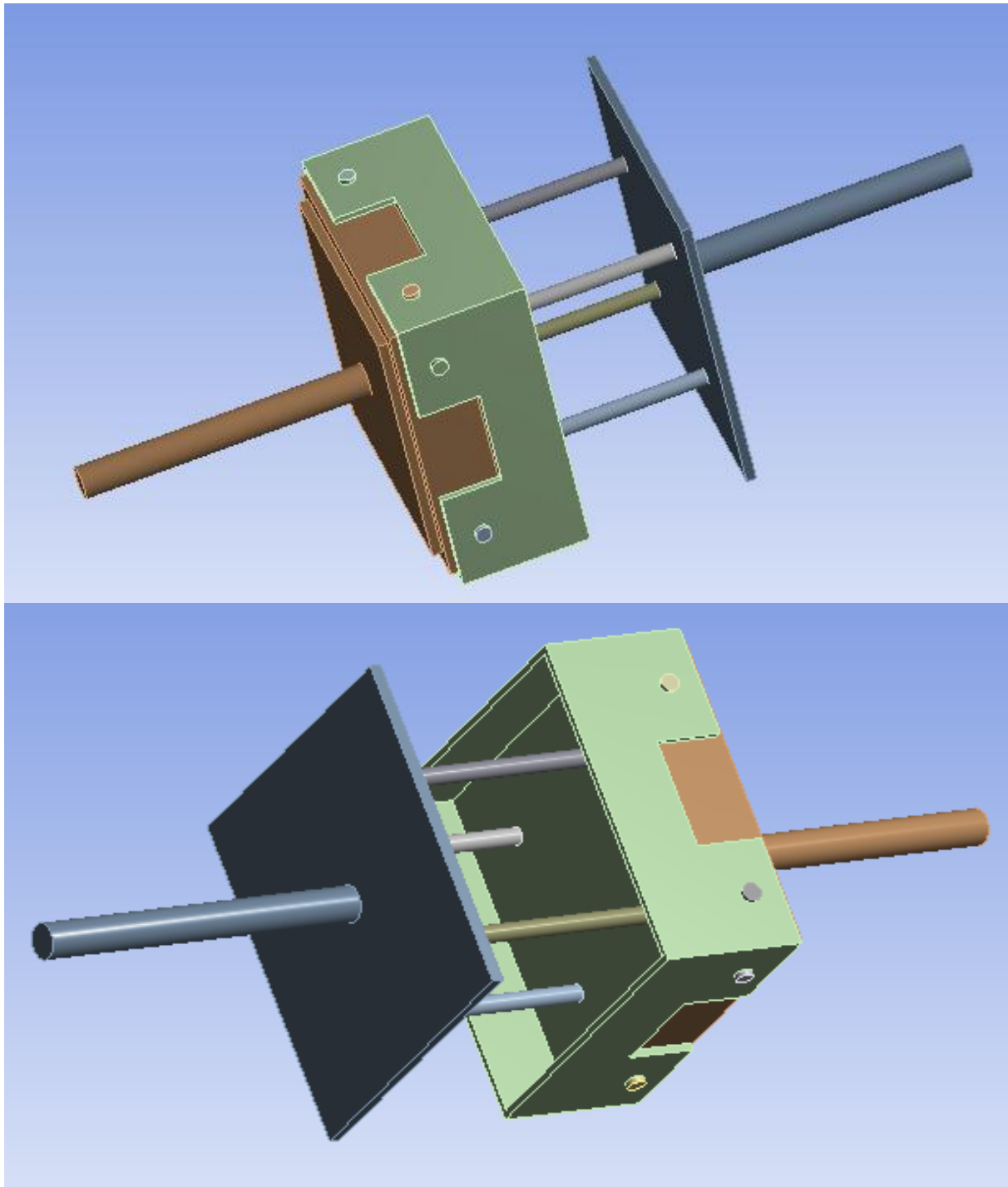


Figura 4-2. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 tensión.

### 4.1.3 Resultados del modelo matemático 1 a tensión

En la figura 4-3 se observan los valores de las deformaciones mínimas y máximas que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.1 y la pieza No.7 llegando a valores máximos de hasta 4.2 mm, en las partes más críticas, adicionalmente se vio que los puntos máximos de deformación no se localizan en la zona de la conexión.

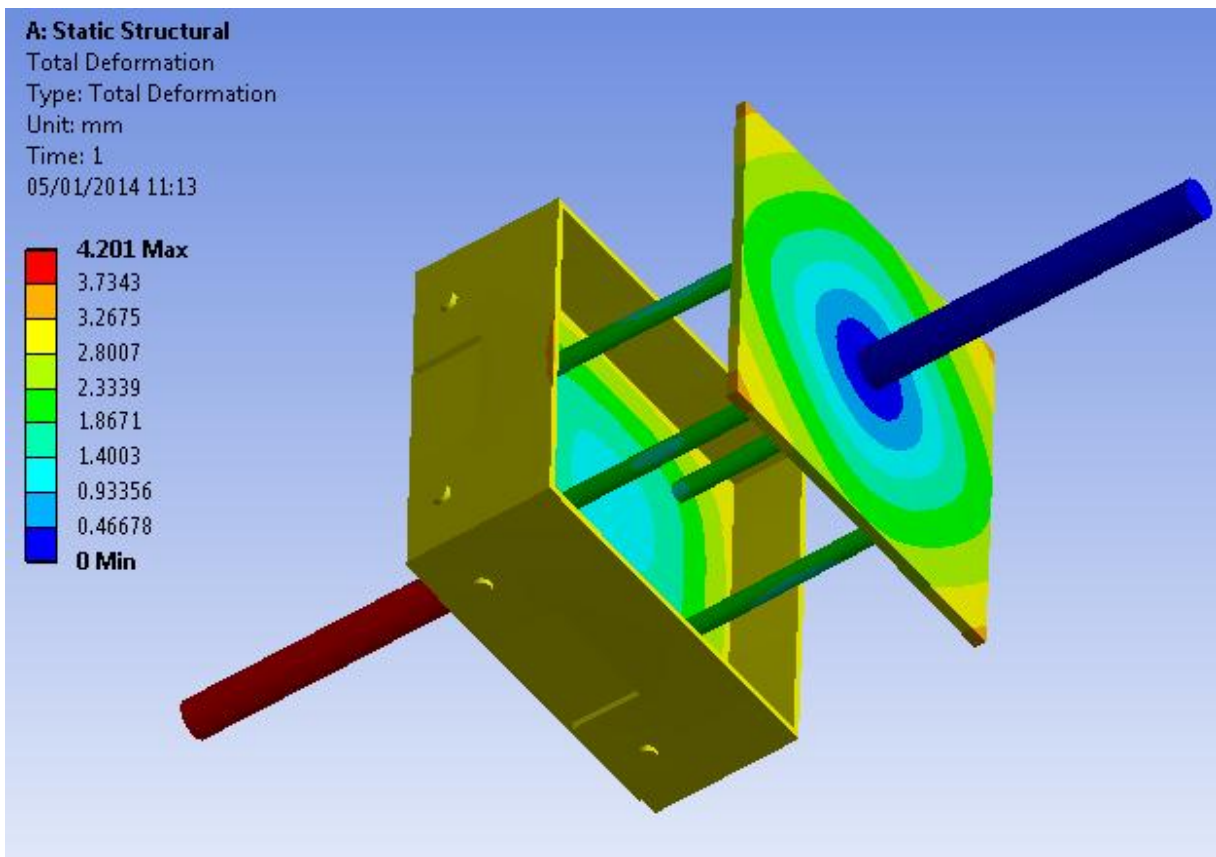


Figura 4-3. Valores de la deformación modelo No 1 tensión.

En la figura 4-4 se observan los valores de los esfuerzos mínimos y máximos que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.6 y la pieza No.7 llegando a valores máximos de hasta 910 MPa que superaron la resistencia que se especificó para la soldadura que tenía un esfuerzo máximo a la fluencia de 413 MPa por tanto la falla se produjo en las mismas zonas tanto en el modelo real como en el matemático.

En la parte más crítica que es la conexión, también se resalta que en esta zona los esfuerzos son muy bajos, no superan los 130 MPa.

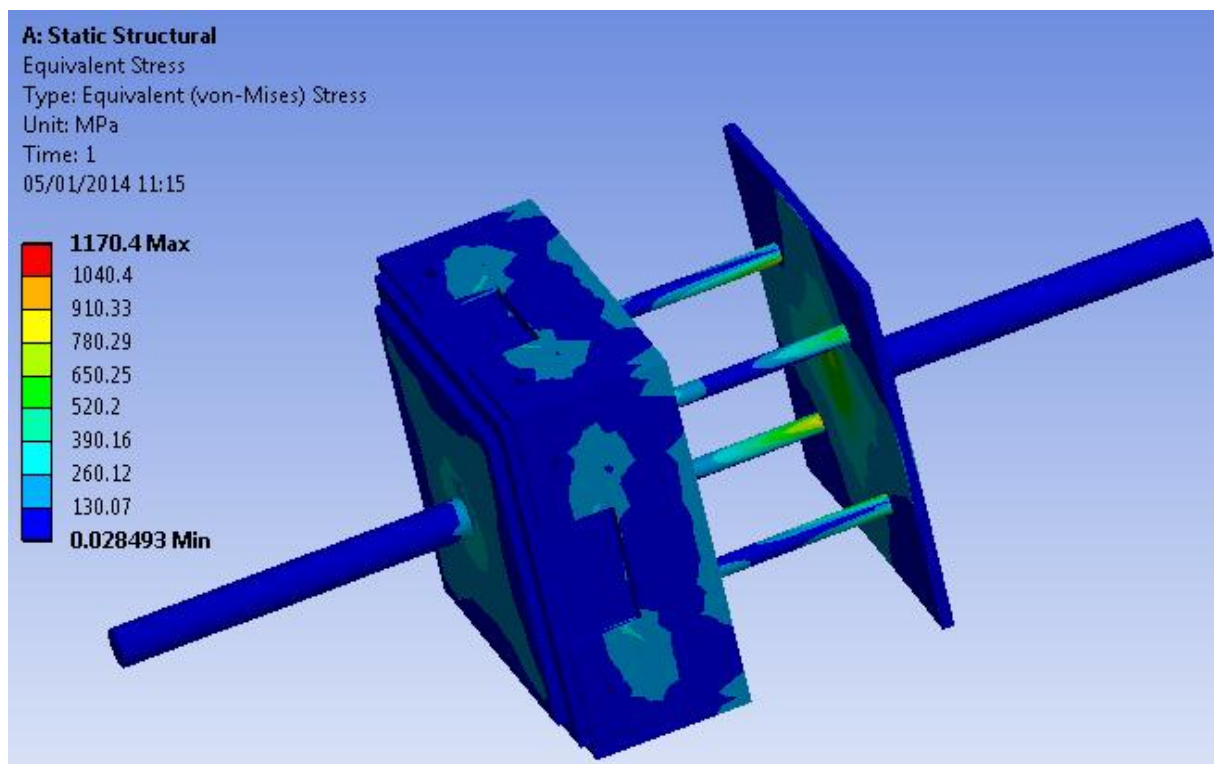


Figura 4-4. Valores del esfuerzo modelo No 1 tensión.

#### 4.1.4 Análisis de resultados del modelo matemático 1 a tensión

Los valores máximos tanto en deformación y esfuerzos que se obtuvieron, nos mostraron que los puntos con más daño se encontraron en las soldaduras que unían la pieza No.6, las 4 barras de 15.9 mm y No.7, la placa de 300 x 300 x 9.5 mm.

La zona de unión de las conexiones por medio de los pernos no presentó valores muy altos 2.0 mm, en deformación y 130 MPa, en esfuerzos por tanto el modelo falló en una zona que no es



vital para el análisis y mostro el mismo patrón de comportamiento del modelo que se trabajó en el laboratorio, por tanto se refuerzan las zonas débiles.

## **4.2 Modelación matemática del ensayo 2 a tensión**

### **4.2.1 Descripción del modelo matemático 2 a tensión**

Para la modelación del segundo ensayo a tensión se recrearon las geometrías de cada pieza y se simularon las uniones soldadas y pernadas.

Cada pieza contiene las propiedades del acero específico con el que se fabricó en el taller A-36 y A-706.

El modelo se fijó en su extremo superior y se le aplicó una carga de 16.5 t en su extremo inferior que fue aproximadamente la carga máxima que soporto el sistema antes de fallar.

### 4.2.2 Montaje del modelo matemático 2 a tensión

La figura 4-5 muestra dos vistas de como se crearon todas la piezas del modelo exactamente iguales a las reales.

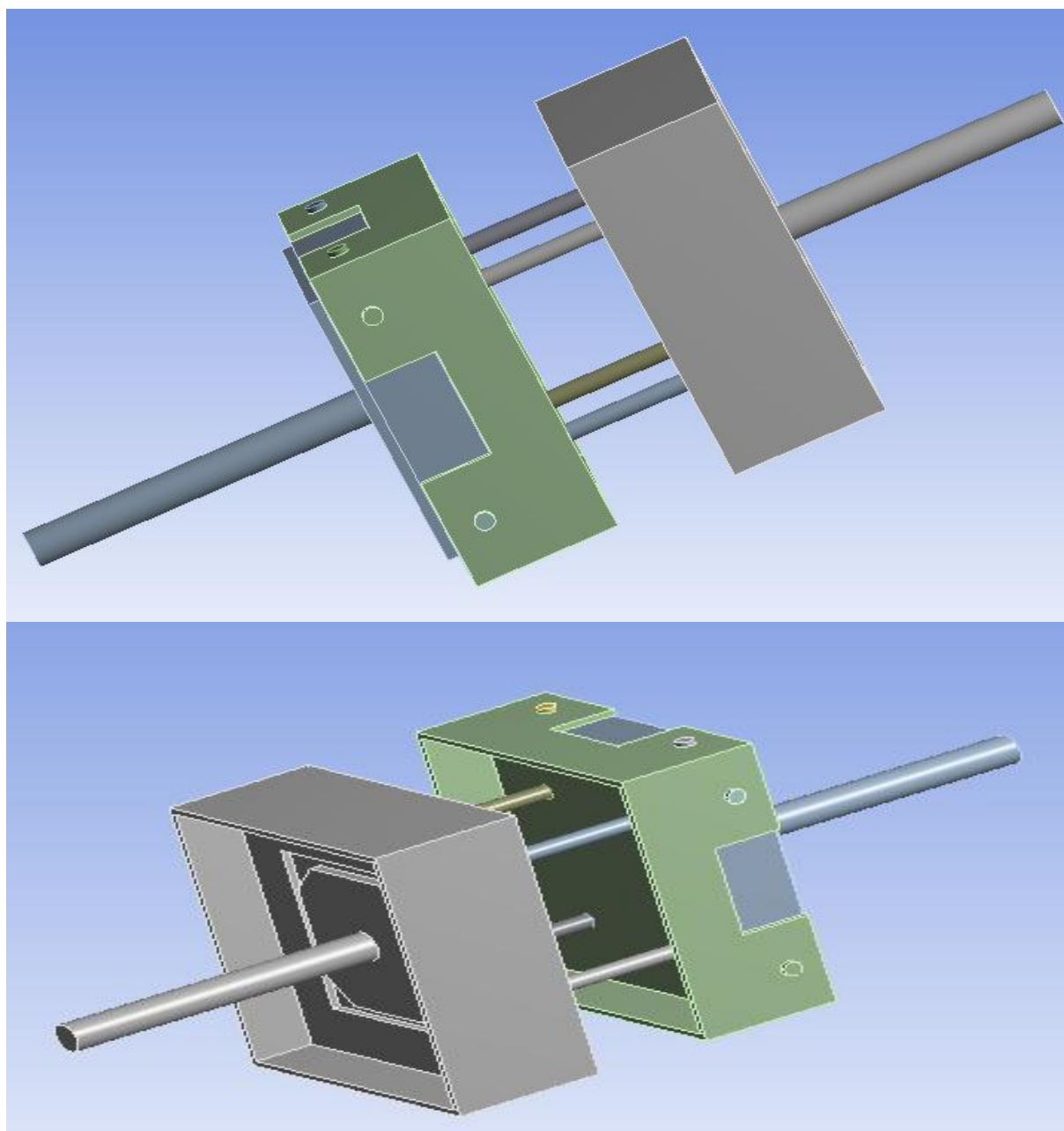


Figura 4-5. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No.2 tensión.

### 4.2.3 Resultados del modelo matemático 2 a tensión

En la figura 4-6 se observan los valores de las deformaciones mínimas y máximas que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.1 y la pieza No.5 llegando a valores máximos de hasta 5.7 mm, en las partes más críticas, adicionalmente se ve que los puntos máximos de deformación no se localizan en la zona de la conexión.

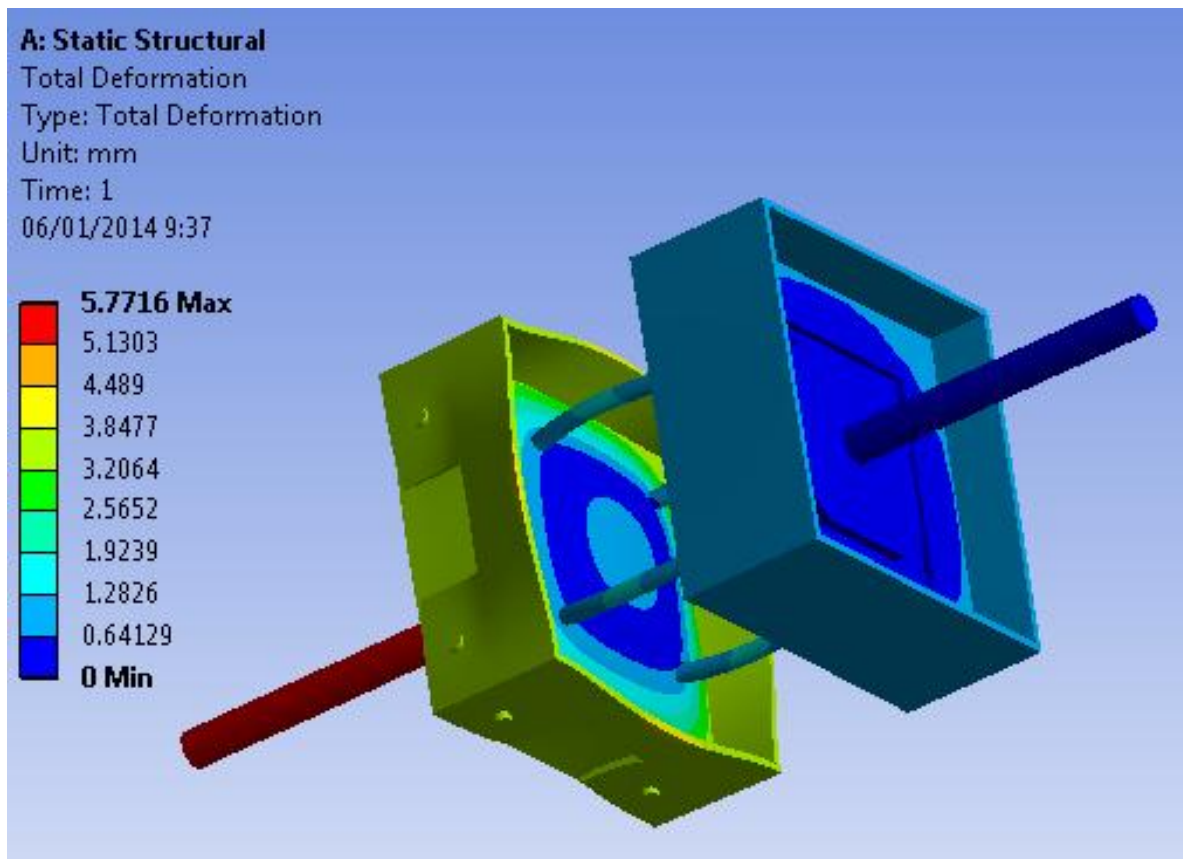


Figura 4-6. Valores de la deformación modelo No 1 tensión.

En la figura 4-7 se observan los valores de los esfuerzos mínimos y máximos que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.5 y la pieza No.6 llegando a valores máximos de hasta 1475 MPa, que superaron la resistencia que se especificó para la soldadura que tenía un esfuerzo máximo a la fluencia de 413 MPa y de este modo se encontró que las soldaduras fallaron en las mismas zonas tanto en el modelo real como en el matemático.

En la parte más crítica que es la conexión, también se resalta que en esta zona los esfuerzos fueron muy bajos, no superan los 246 MPa.

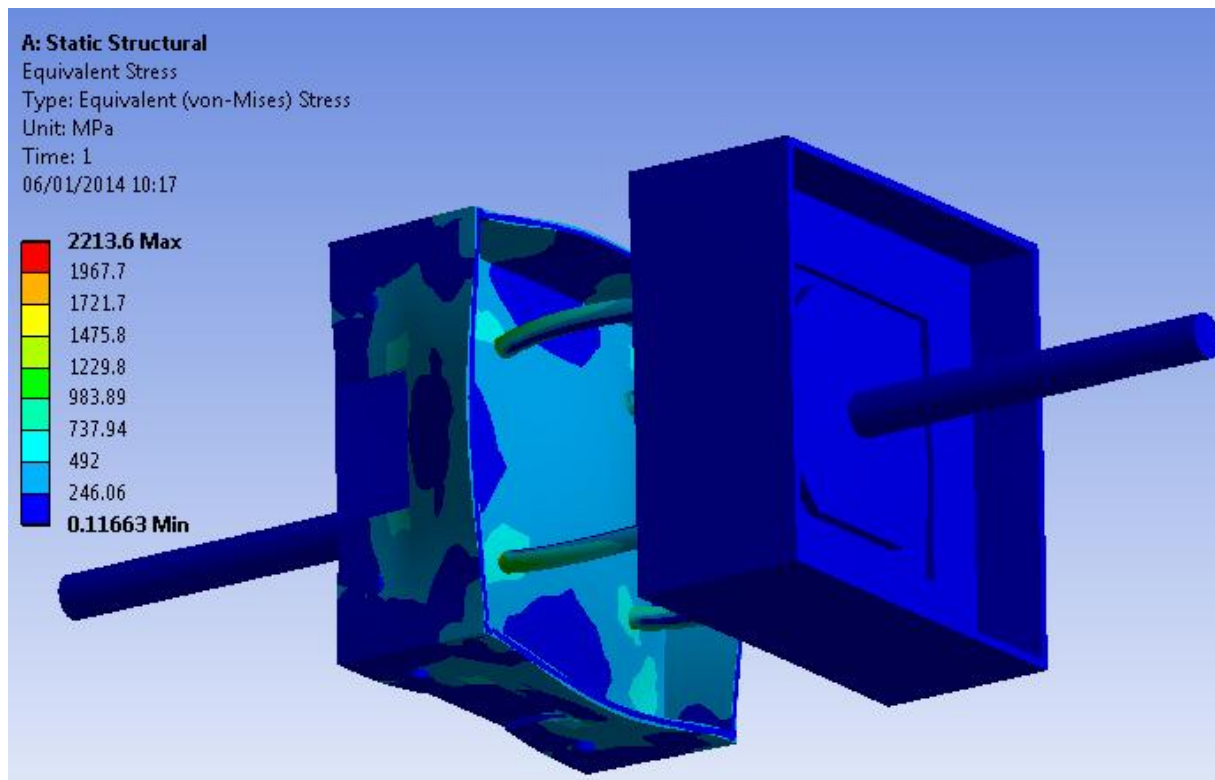


Figura 4-7. Valores del esfuerzo modelo No 2 tensión.

#### 4.2.4 Análisis de resultados del modelo matemático 2 a tensión

Los valores máximos tanto en deformación y esfuerzos que se obtuvieron, nos mostraron que los puntos con más daño se encontraron en las soldaduras que unían la pieza No.5, la placa con dos alas dobladas y dos alas soldadas y No.6, las 4 barras de 15.9mm.

La zona de unión de las conexiones por medio de los pernos no presentó valores muy altos 3.2 mm, en deformación y 246 MPa, en esfuerzos por tanto el modelo falló en una zona que no es vital para el análisis y mostro el mismo patrón de comportamiento del modelo que se trabajó en el laboratorio, por tanto se refuerzan las zonas débiles.

## **4.3 Modelación matemática del ensayo 3 a tensión**

### **4.3.1 Descripción del modelo matemático 3 a tensión**

Para la modelación del tercer ensayo a tensión se recrearon las geometrías de cada pieza y se simularon las uniones soldadas y pernadas.

Cada pieza contiene las propiedades del acero específico con el que se fabricó en el taller A-36 y A-706.

El modelo se fijó en su extremo superior y se le aplicó una carga de 29 t en su extremo inferior que fue aproximadamente la carga máxima que soportó el sistema antes de fallar.

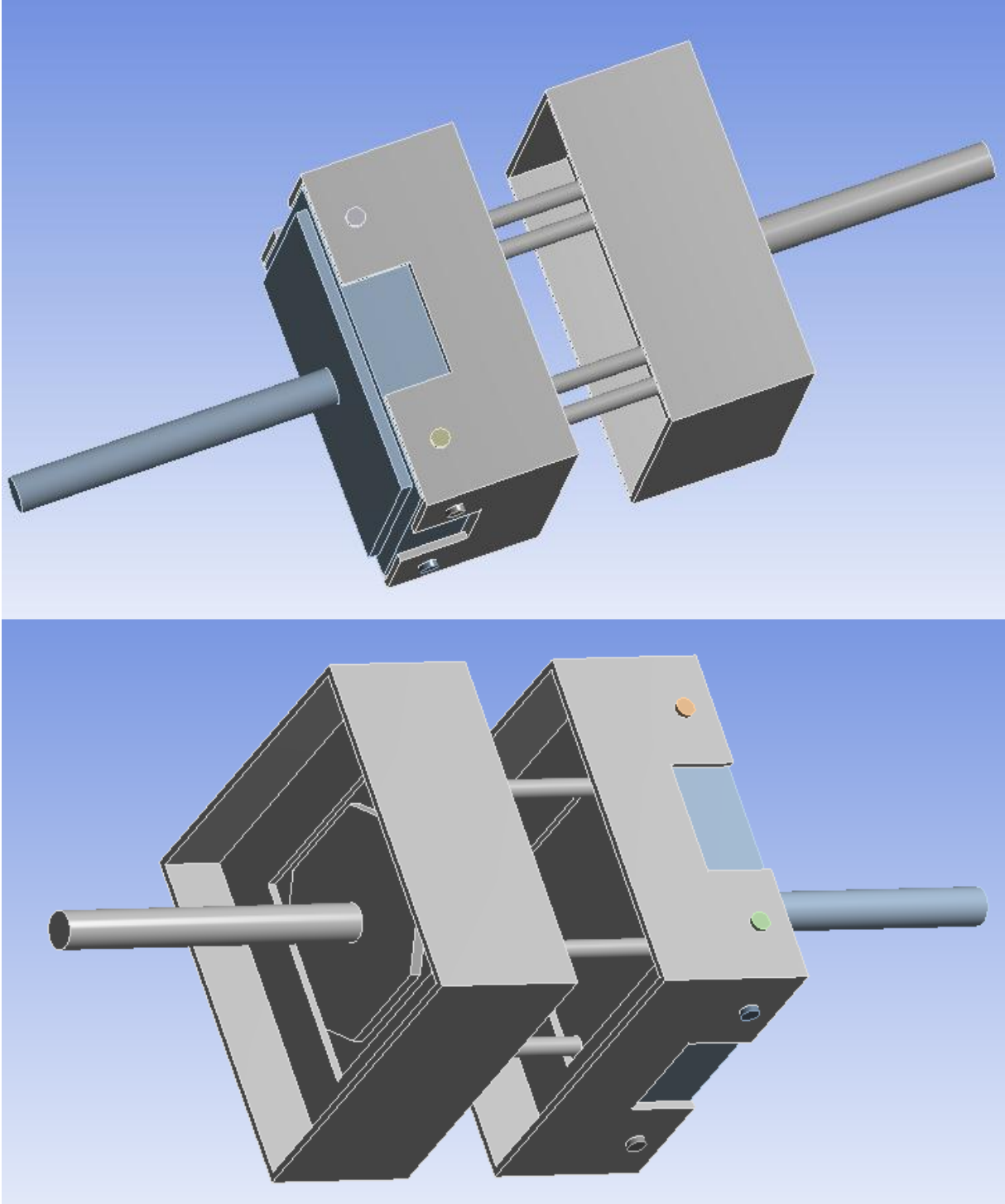


Figura 4-8. Detalle despiece conexión completa modelo No 3.

### 4.3.2 Resultados del modelo matemático 3 a tensión

En la figura 4-9 se observan los valores de las deformaciones mínimas y máximas que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.1 y la pieza No.2 llegando a valores máximos de hasta 5.1 mm, en las partes más críticas, adicionalmente se ve que los puntos máximos de deformación no se localizan en la zona de la conexión.

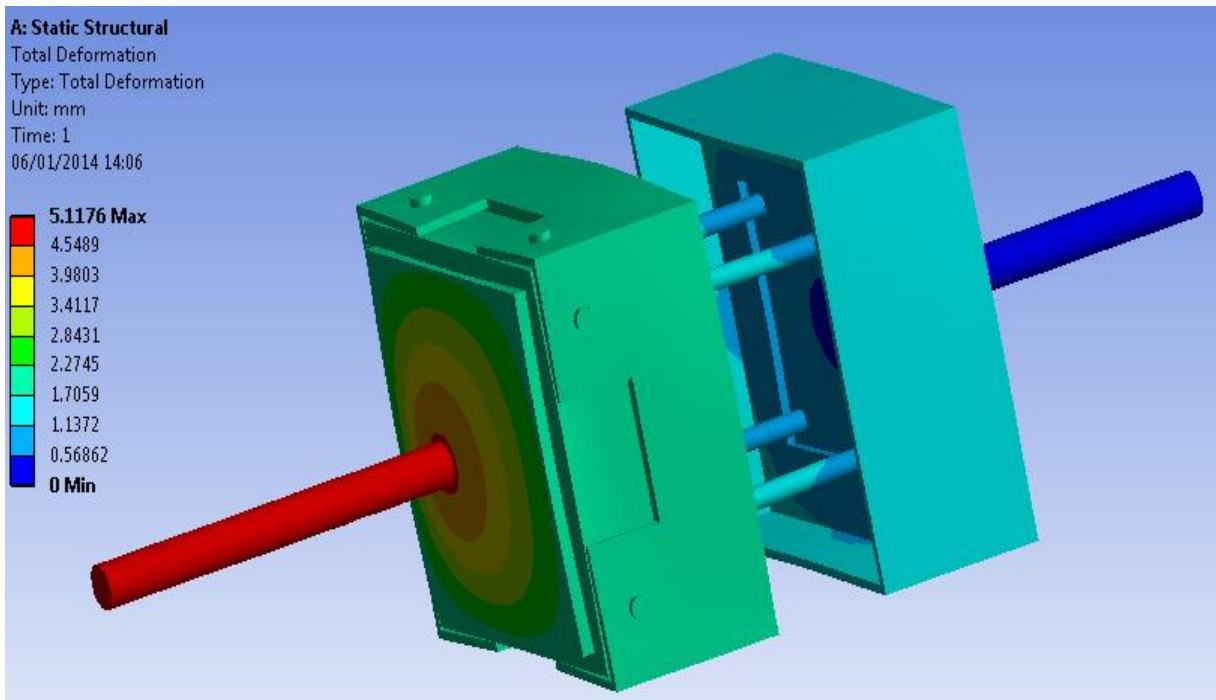


Figura 4-9. Valores de la deformación modelo No 1 tensión.

En la figura 4-10 se observan los valores de los esfuerzos mínimos y máximos que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.1 y la pieza No.2 llegando a valores máximos de hasta 951 MPa, que superaron la resistencia que se especificó para la soldadura que tenía un esfuerzo máximo a la fluencia de 482 MPa y de este modo se encontró que las soldaduras fallaron en las mismas zonas tanto en el modelo real como en el matemático.

En la parte más crítica que es la conexión, también se resalta que en esta zona los esfuerzos son muy bajos, no superan los 136 MPa.

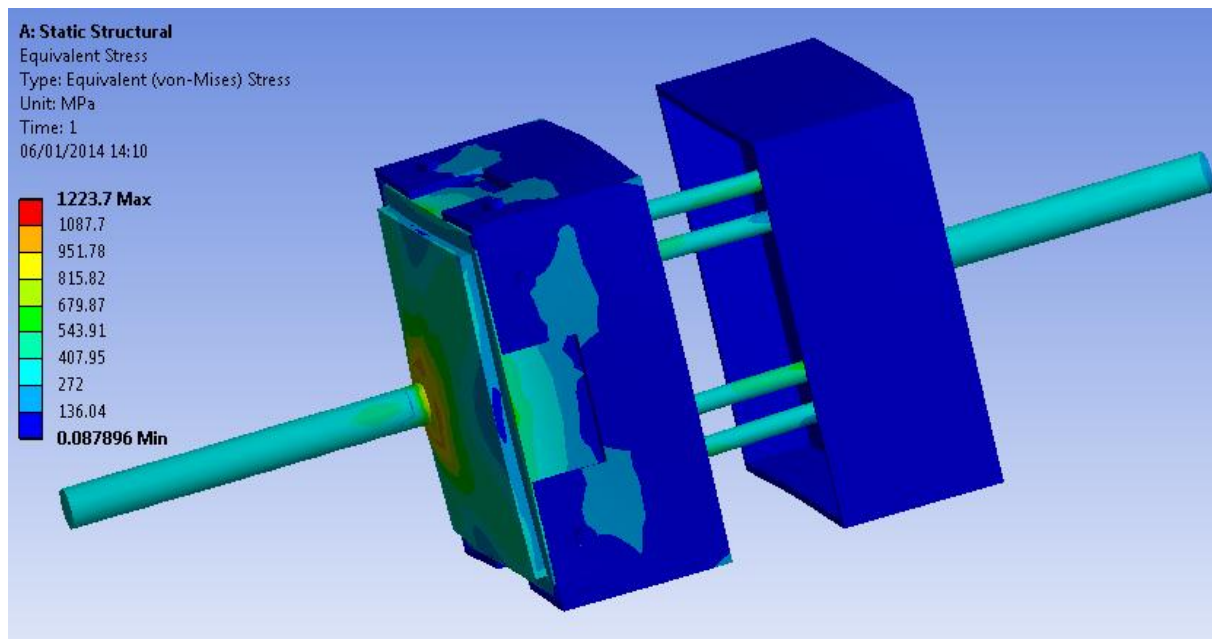


Figura 4-10. Valores del esfuerzo modelo No 3 tensión.

### 4.3.3 Análisis de resultados del modelo matemático 3 a tensión

Los valores máximos tanto en deformación y esfuerzos que se obtuvieron, nos mostraron que los puntos con más daño se encontraron en las soldaduras que unían la pieza No.1, la barra de acero liso  $\varnothing 31.8 \times 300$  mm y No.2, las placa de  $250 \times 250 \times 9.5$  mm.

La zona de unión de las conexiones por medio de los pernos no presentó valores muy altos 2.3 mm, en deformación y 136 MPa, en esfuerzos por tanto el modelo falló en una zona que no es vital para el análisis y mostro el mismo patrón de comportamiento del modelo que se trabajó en el laboratorio, por tanto se refuerzan las zonas débiles.



## 4.4 Modelación matemática del ensayo 4 a tensión

### 4.4.1 Descripción del modelo matemático 4 a tensión

Para la modelación del tercer ensayo a tensión se recrearon las geometrías de cada pieza, se simularon las uniones soldadas, pernadas y se añadió un bloque de concreto de 30x30x20 cm que se localizó entre las pieza 5 y 9.

Cada pieza contiene las propiedades del acero específico con el que se fabricó en el taller A-36, A-706 y concreto de 28 MPa.

El modelo se fijó en su extremo superior y se le aplicó una carga de 34.5 t en su extremo inferior que fue aproximadamente la carga máxima que soporto el sistema antes de fallar.

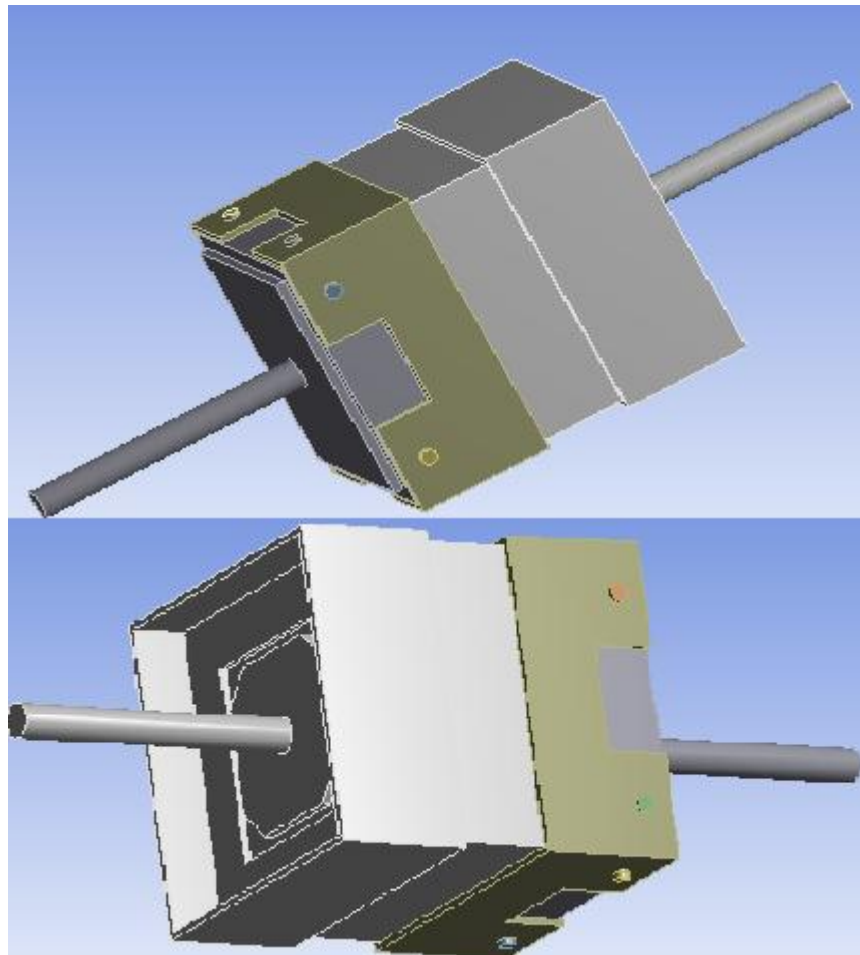


Figura 4-11. Detalle despiece conexión completa modelo No 4.

#### 4.4.2 Resultados del modelo matemático 4 a tensión

En la figura 4-12 se observan los valores de las deformaciones mínimas y máximas que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.1 y la pieza No.6 llegando a valores máximos de hasta 5.3 mm, en las partes más críticas, adicionalmente se ve que los puntos máximos de deformación no se localizan en la zona de la conexión.

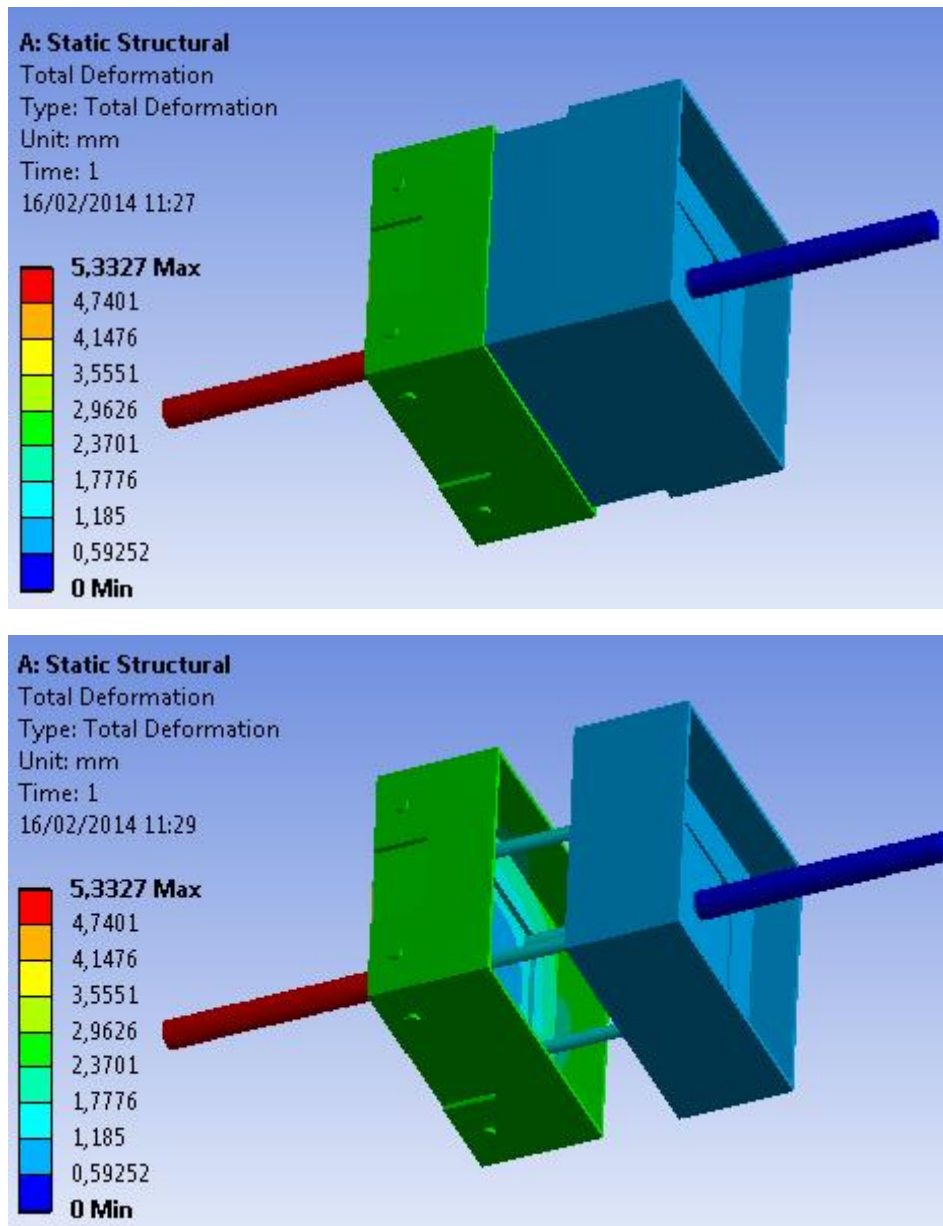


Figura 4-12. Valores de la deformación modelo No 4 tensión.

En la figura 4-13 se observaron los valores de los esfuerzos mínimos y máximos que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.5 y la pieza No.7 llegando a valores máximos de hasta 1200 MPa, que superaron la resistencia que se especificó para la soldadura que tenía un esfuerzo máximo a la fluencia de 482 MPa y de este modo se encontró que las soldaduras fallaron en las mismas zonas tanto en el modelo real como en el matemático.

En la parte más crítica que es la conexión, también se resalta que en esta zona los esfuerzos no superan los 450 MPa y no se observaron fallas visibles en la zona de conexión.

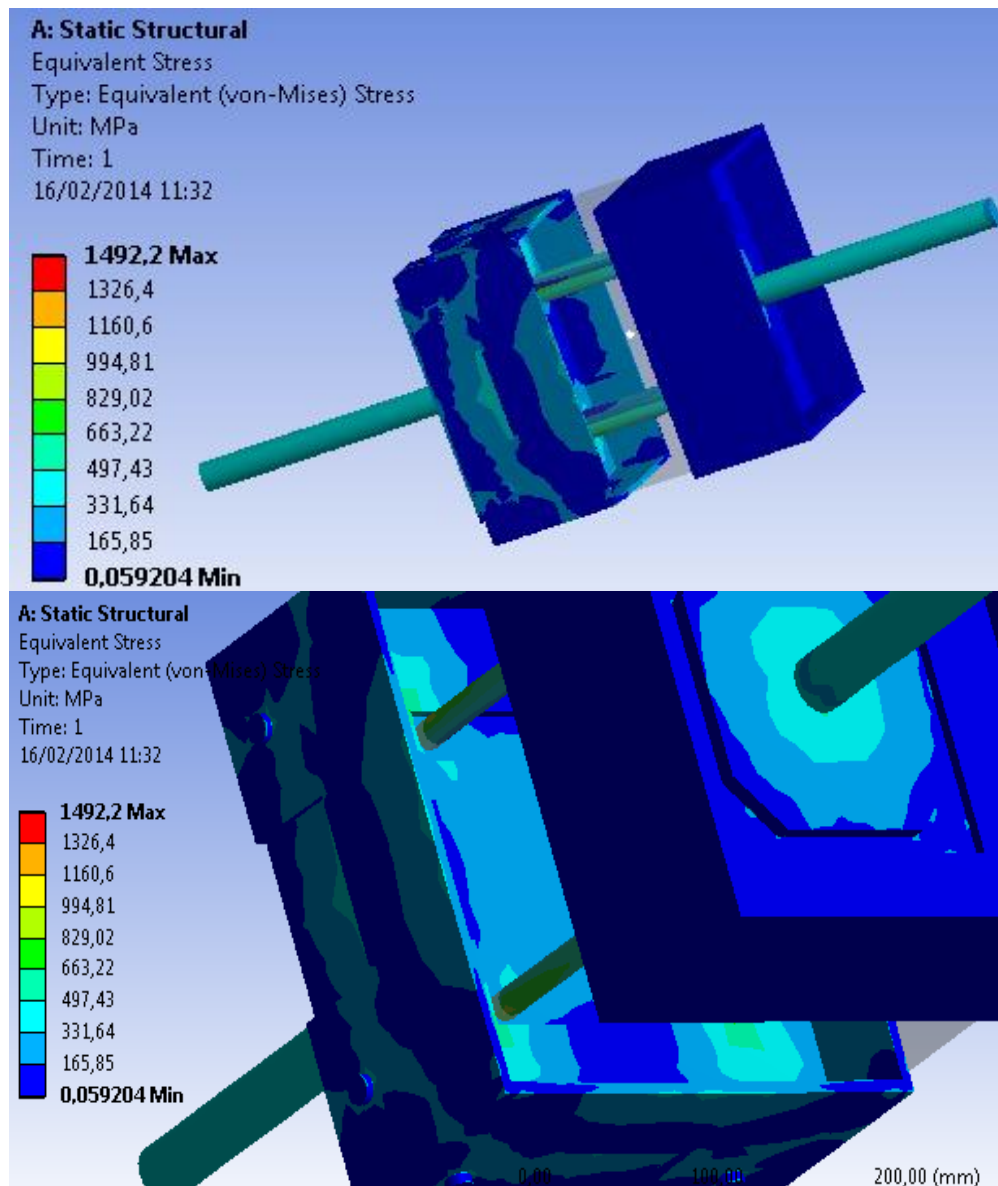


Figura 4-13. Valores del esfuerzo modelo No 4 tensión.

### **4.4.3 Análisis de resultados del modelo matemático 4 a tensión**

Los valores máximos tanto en deformación y esfuerzos que se obtuvieron, nos mostraron que los puntos con más daño se encontraron en las soldaduras que unían la pieza No. 5, platina de 300 x 300 x 12.7 (1/2") mm y No. 7, cuatro barras corrugados de  $\varnothing$  15.9 (5/8") x 230 mm, que fue justamente la zona donde fallo el modelo en el laboratorio.

La zona de unión de las conexiones por medio de los pernos no presentó valores muy altos 2.96 mm, en deformación y 450 MPa, en esfuerzos por tanto el modelo falló en una zona que no es vital para el análisis y mostro el mismo patrón de comportamiento del modelo que se trabajó en el laboratorio se consideró que los valores obtenidos fueron similares y superaron el mínimo esperado por tanto se concluyó que los diagramas de fuerzas obtenidos fueron un reflejo del comportamiento real de la pieza.

## **4.5 Modelación matemática del ensayo 1 a corte**

### **4.5.1 Descripción del modelo matemático 1 a corte**

Para la modelación del ensayo a corte se recrearon las geometrías de cada pieza, se simularon las uniones soldadas, pernadas y se añadieron dos bloques de concreto de 30x30x30 cm aproximadamente para simular las cabezas de los pilotes.

Cada pieza contiene las propiedades del acero específico con el que se fabricó en el taller A-36, A-706 y concreto de 28 MPa.

El modelo se montó sobre dos apoyos fijos a 10 cm de los costados del modelo y se le impuso una carga vertical en el centro de la conexión de 51 t, igual a la que soporto el modelo real en el laboratorio.

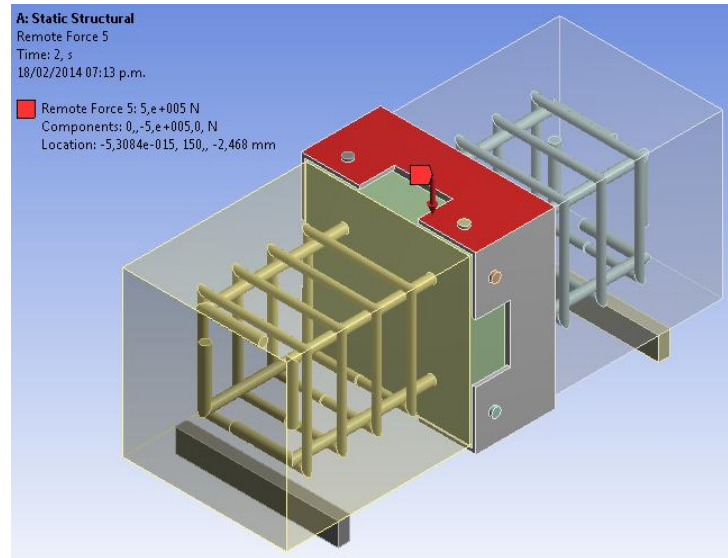


Figura 4-14. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 corte.

#### 4.5.2 Montaje del modelo matemático 1 a corte

La figura 4-15 muestra dos vistas de como se crearon todas la piezas del modelo exactamente iguales a las reales.

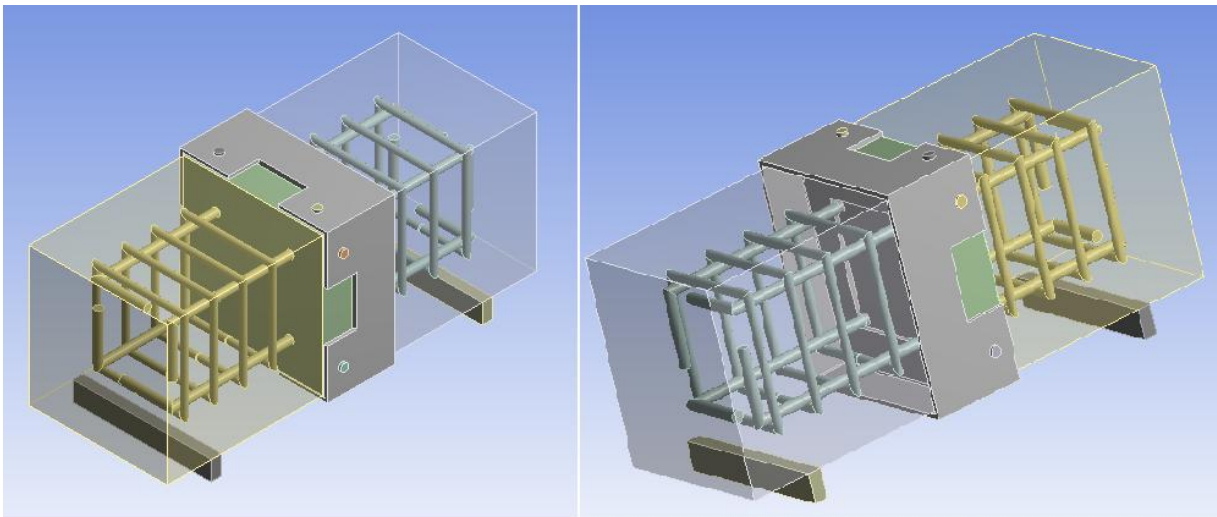


Figura 4-15. Detalle despiece conexión completa modelo No 1 corte.

### **4.5.3 Resultados del modelo matemático 1 a corte**

En la figura 4-16 se observan los valores de las deformaciones mínimas y máximas que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.3 y la pieza No.5 llegando a valores máximos de hasta 3.1 mm, en las partes más críticas, adicionalmente se ve que los puntos máximos de deformación no se localizaron en la zona de la conexión.

En la zona inferior de la imagen se observó que la pieza No.1 en la conexión con la pieza No.2 se vio sometida a unas deformaciones importantes de 1.38 cm que es donde falló el modelo del laboratorio.

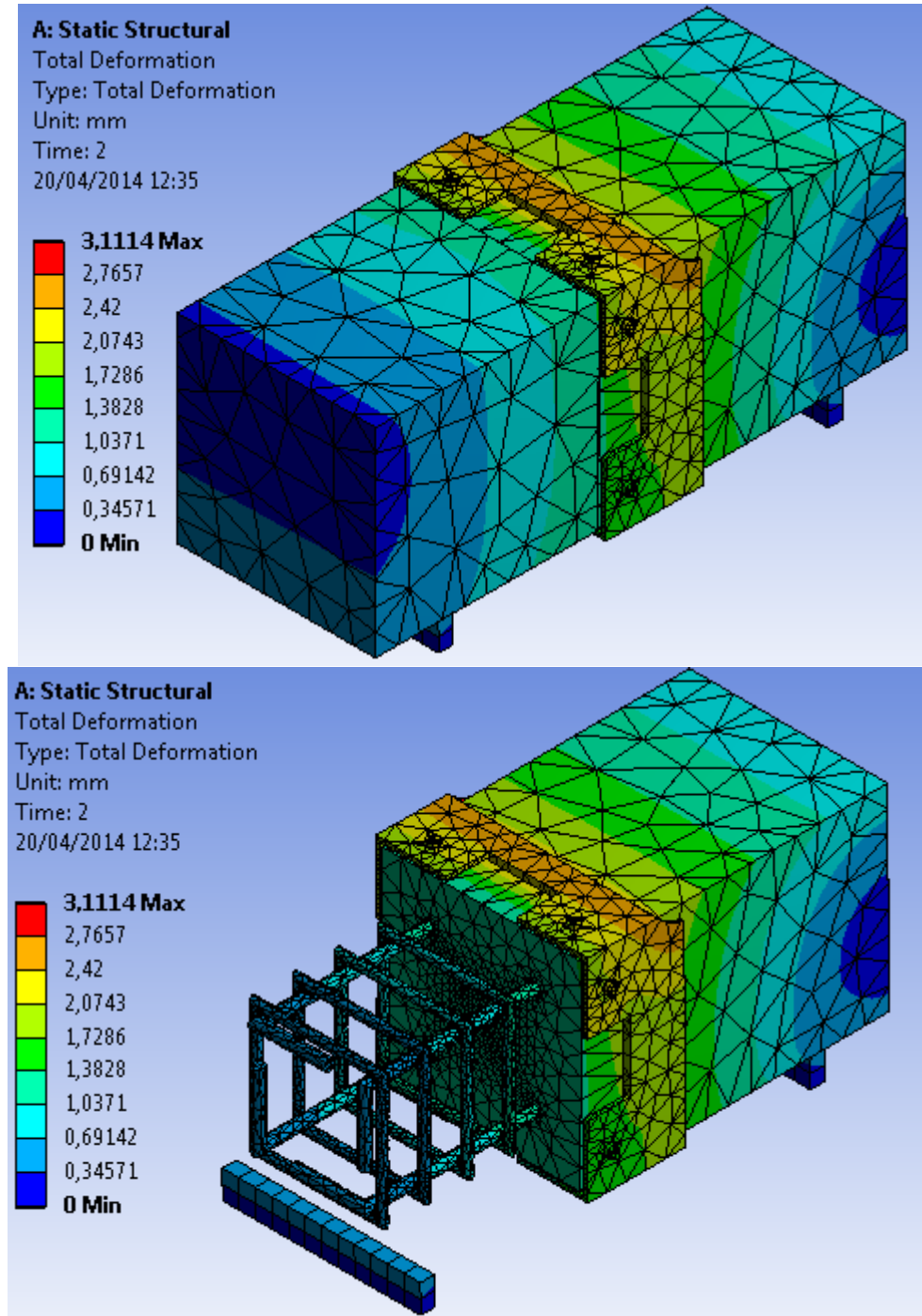


Figura 4-16. Valores de la deformación modelo No 1 corte.

En la figura 4-17 se observan los valores de los esfuerzos mínimos y máximos que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que las zonas con mayor afectación por la carga recibida fueron la pieza No.3 cuatro pestañas en L de 200 x 60 x 6.4 mm y la pieza No.5 cuatro ángulos soldados de 63.5x63.5x6.4 mm que llegaron a valores máximos de hasta 268 MPa, y se presentaron en la zona de la conexión, claro está que cuando

fue aplicada la fuerza se hizo directamente a esta cara del modelo lo que puede generar que los esfuerzos no fueran tan altos como los mostraron los diagramas.

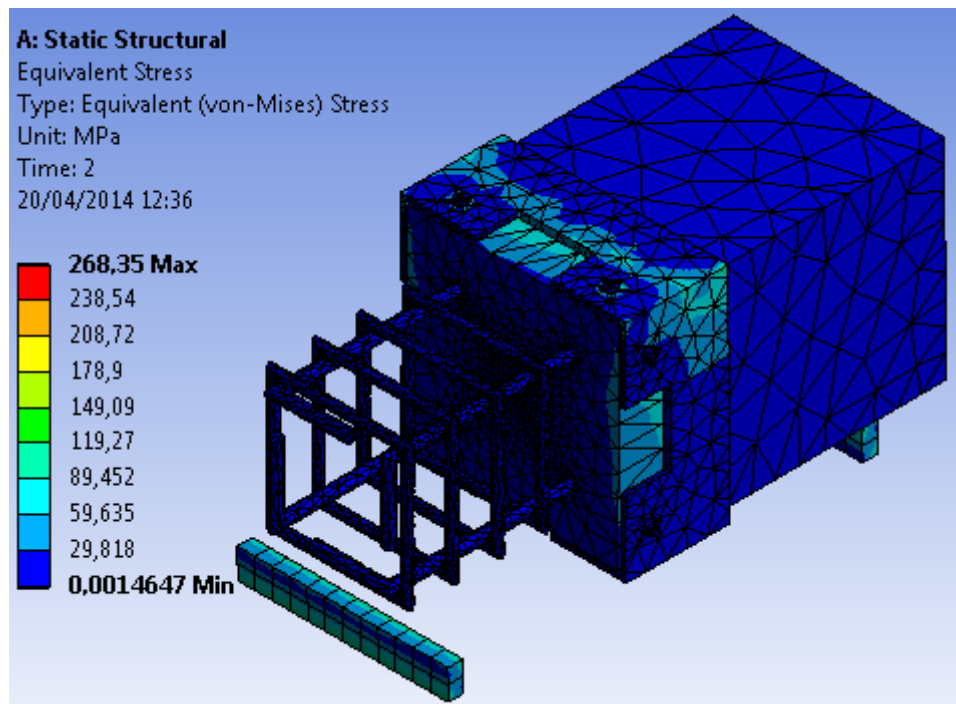


Figura 4-17. Valores del esfuerzo modelo No 1 corte.

#### 4.5.4 Análisis de resultados del modelo matemático 1 a corte

Los valores máximos tanto en deformación y esfuerzos que se obtuvieron, nos mostraron que los puntos con más daño se encontraron en las piezas No.3 y No.5 mm con dos alas dobladas y dos laminas soldadas confirmando lo visto en el laboratorio

La zona de unión de las conexiones por medio de los pernos presentó valores moderados 1.38 mm, en deformación y 268 MPa, en esfuerzos pero esto se debió a que en esta zona se aplicó la carga directamente y los valores pudieron estar un poco inflados en el diagrama.

Donde realmente se produjo el fallo fue en el concreto que falló por corte en la zona donde inicio la conexión inferior del modelo.

### 4.6 Modelación matemática del ensayo 1 a flexión

#### 4.6.1 Descripción del modelo matemático 1 a flexión

Para la modelación del ensayo a flexión se recrearon las geometrías de cada pieza, se simuló las uniones soldadas, pernadas y se añadieron dos bloques de concreto de



30x30x1270 cm aproximadamente para simular una sección larga de la conexión de los pilotes.

Cada pieza contenía las propiedades del acero específico con el que se fabricó en el taller A-36, A-706 y concreto de 28 MPa.

El modelo se montó sobre dos apoyos fijos a 20 cm de los costados del modelo y se le impusieron dos cargas verticales iguales de 6 t, a 41 cm del centro del modelo iguales a las que soporto el modelo real en el laboratorio.

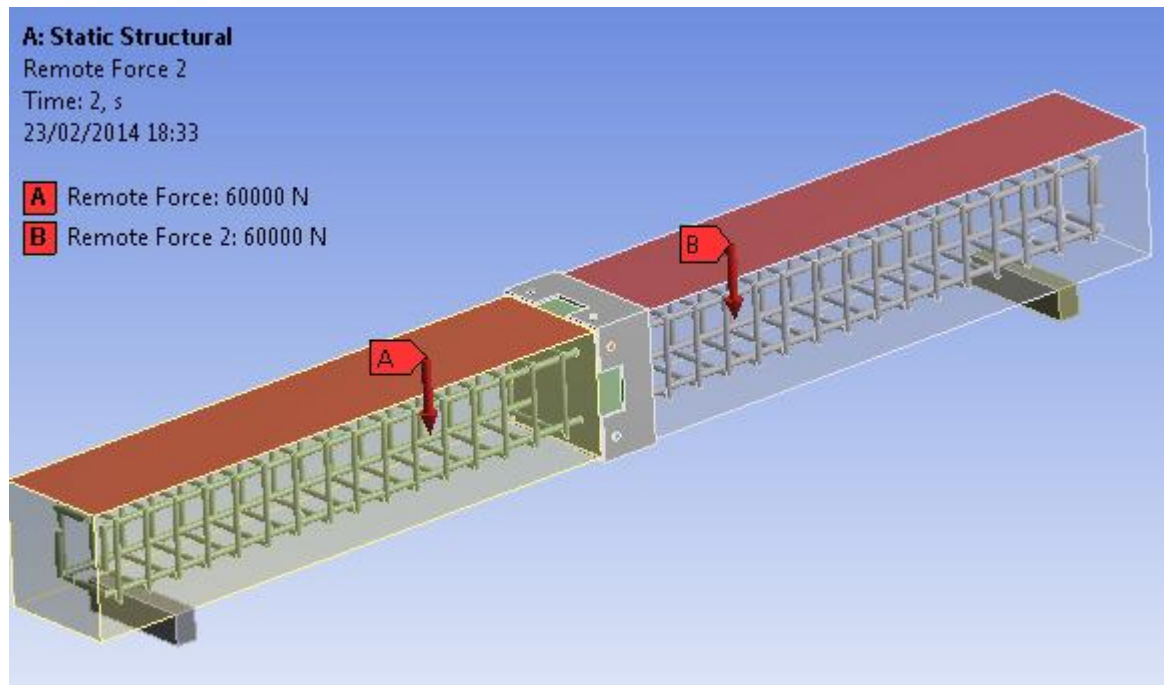


Figura 4-18. Detalle estructura recreada en ANSYS. Conexión completa modelo No 1 flexión.

#### 4.6.2 Montaje del modelo matemático 1 a flexión

La figura 4-19 muestra la vista de como se crearon todas la piezas del modelo exactamente iguales a las reales.

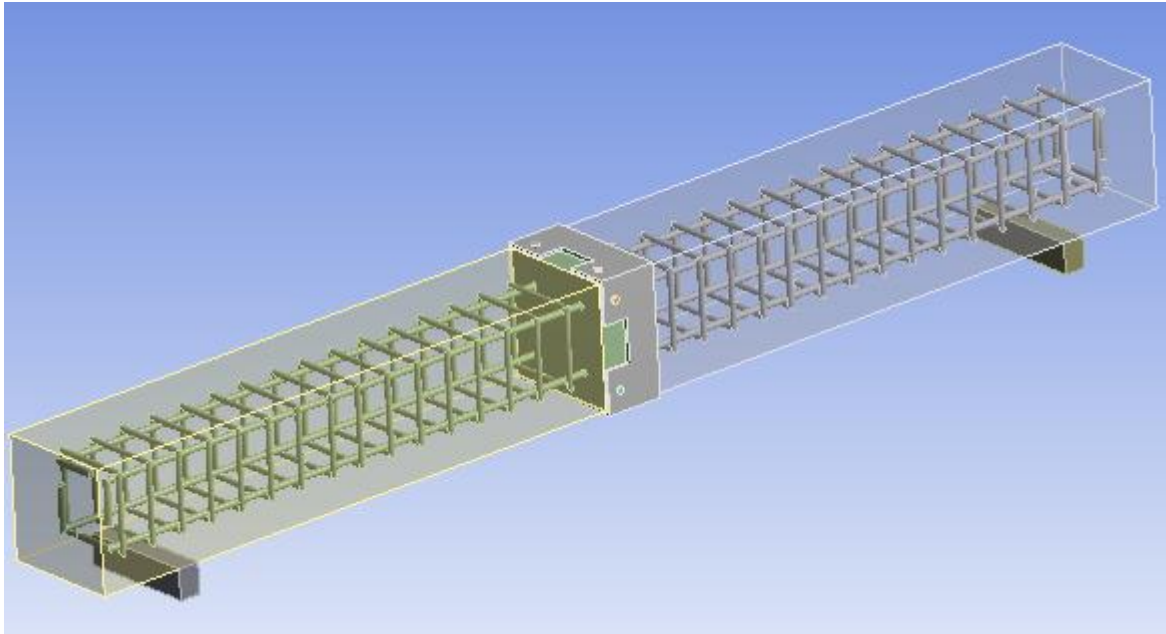


Figura 4-19. Detalle despiece conexión completa modelo No 1 flexión.

### 4.6.3 Resultados del modelo matemático 1 a flexión

En la figura 4-20 se observan los valores de las deformaciones mínimas y máximas que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que la zona con mayor afectación por la carga recibida fue la pieza No.3 llegando a valores máximos de hasta 11.7 mm, en las partes más críticas, adicionalmente se ve que los puntos máximos de deformación se localizan cerca de la zona de la conexión.

El concreto falló por cortante ya que soporta muy poca deformación por tanto la falla se presentó en la misma zona en la que fallo en el laboratorio, solo quedo una diferencia entre los valores máximos de deformación ya que en el laboratorio se llegó a los 18 mm pero la diferencia puede radicarse en la idealización de los materiales y las conexiones pues en la realidad hay que contar con los procesos de fabricación de los materiales, los cortes y las soldaduras que se realizaron en el taller.

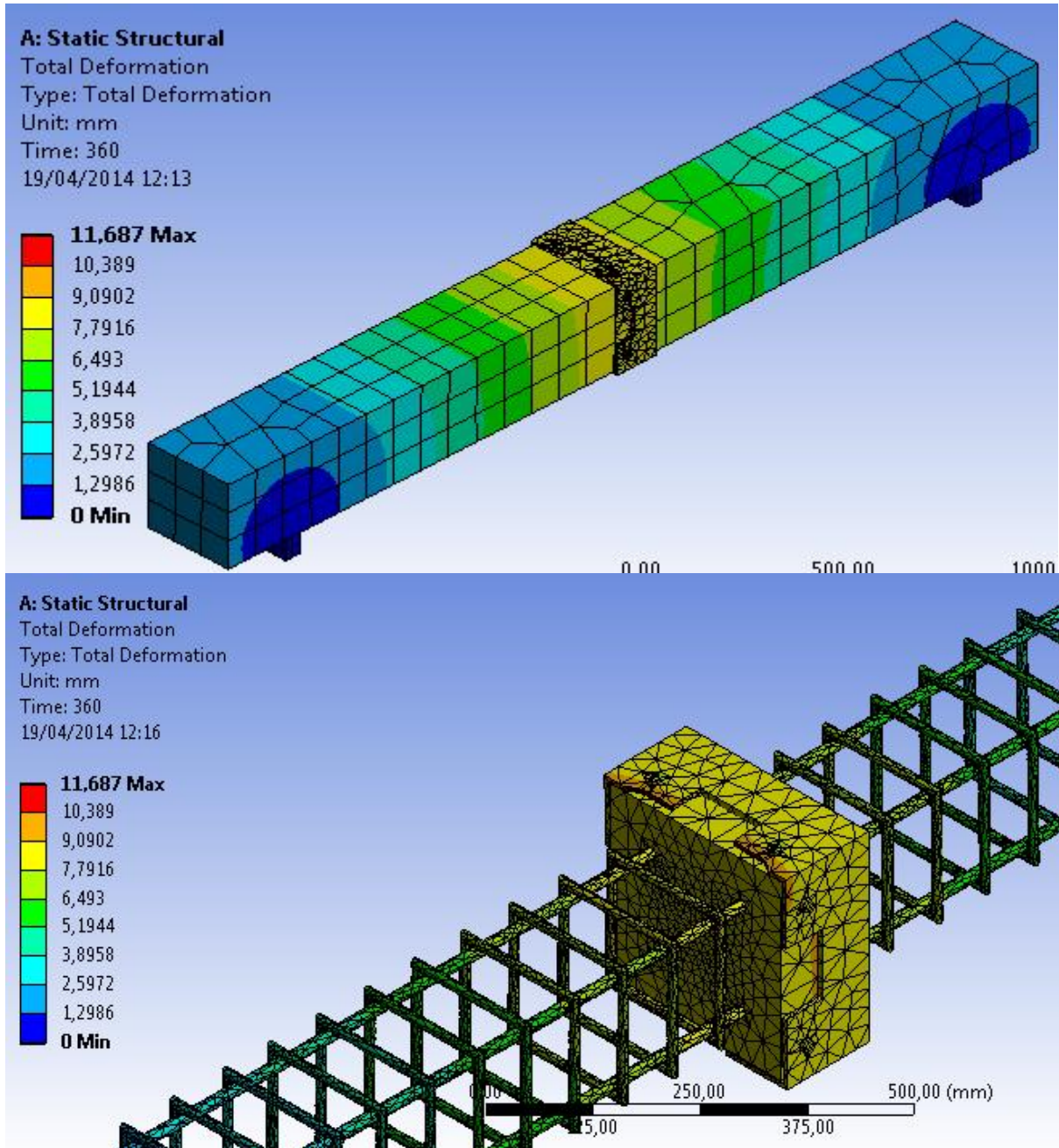


Figura 4-20. Valores de la deformación modelo No 1 flexión.

En la figura 4-21 se observan los valores de los esfuerzos mínimos y máximos que se obtuvieron del modelo en un diagrama de colores donde se aprecia que la zona con mayor afectación por la carga recibida es la pieza No.3, llegando a valores máximos de hasta 632 MPa, y se presentaron en la una zona muy cercana a la conexión.

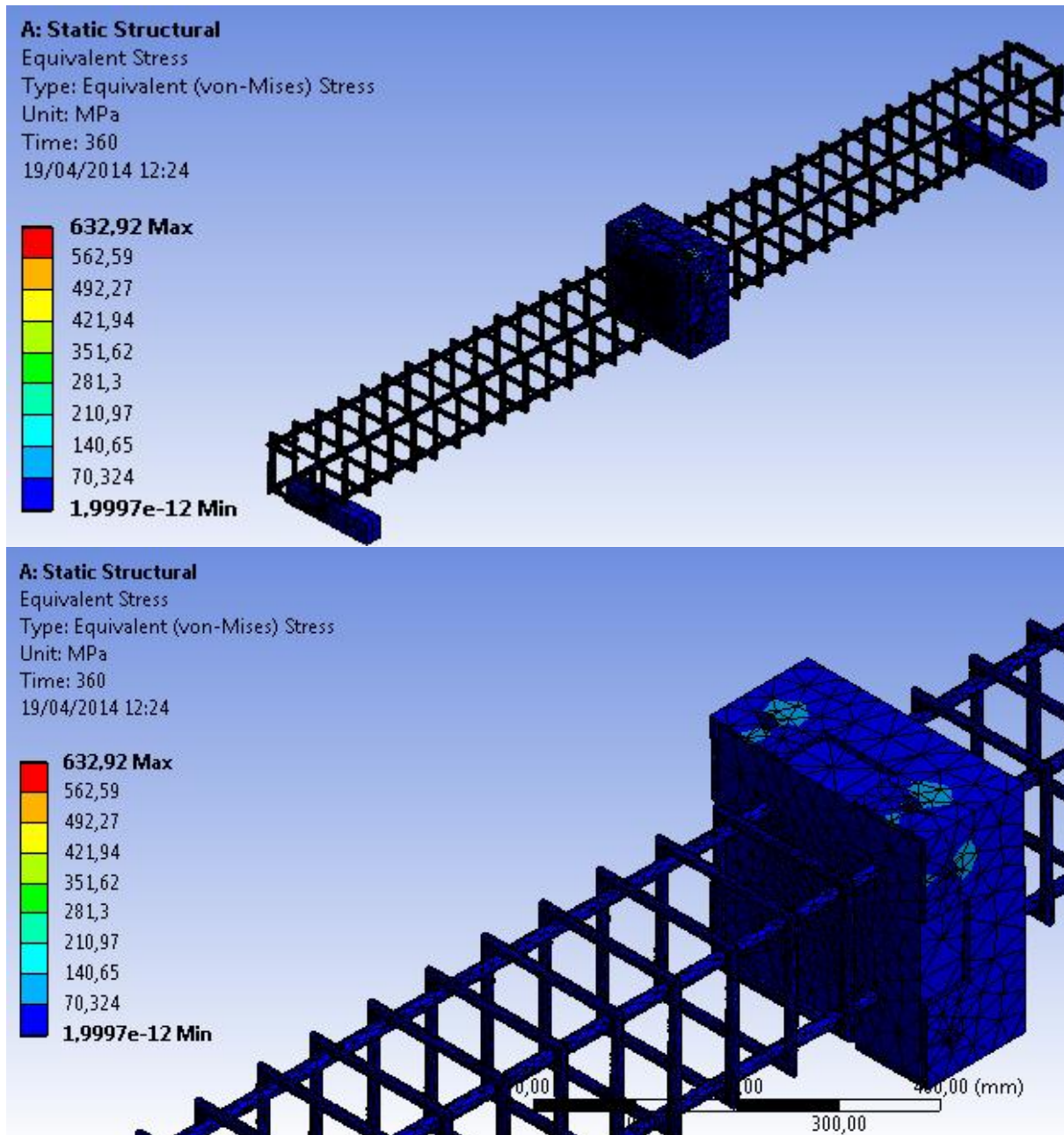


Figura 4-21. Valores del esfuerzo modelo No 1 flexión.

En la figura 4-22 se mostraron los incrementos de carga en el tiempo que fueron subiendo su valor con intervalos de 30 s con cargas que fueron subiendo 5000 N en cada intervalo.

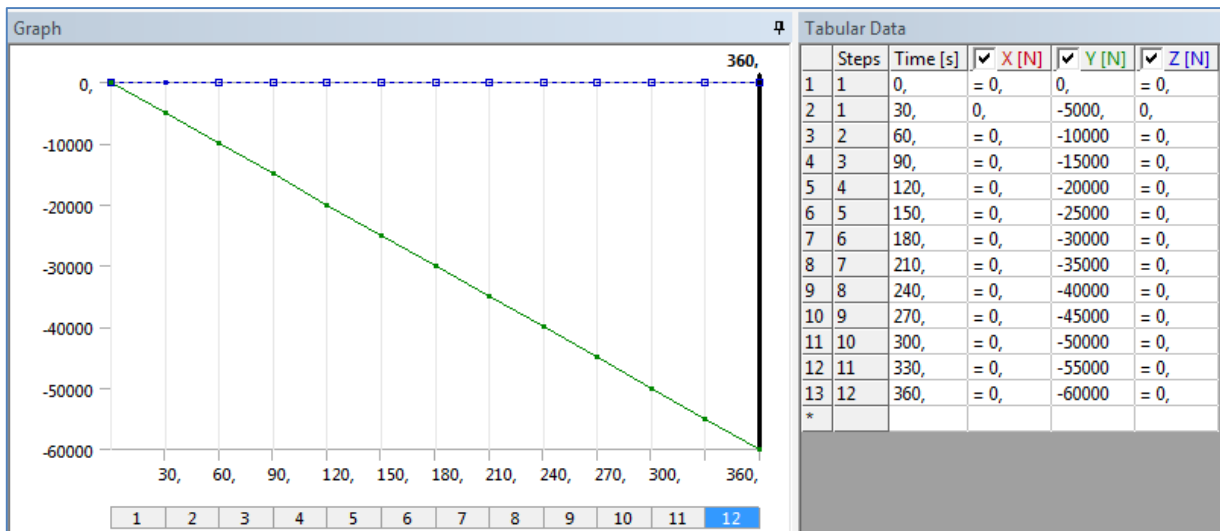


Figura 4-22. Valores gráfico para el incremento de carga en el tiempo.

En la figura 4-23 se mostraron los valores de la deformación para cada intervalo de tiempo en el que fue aumentando la carga.

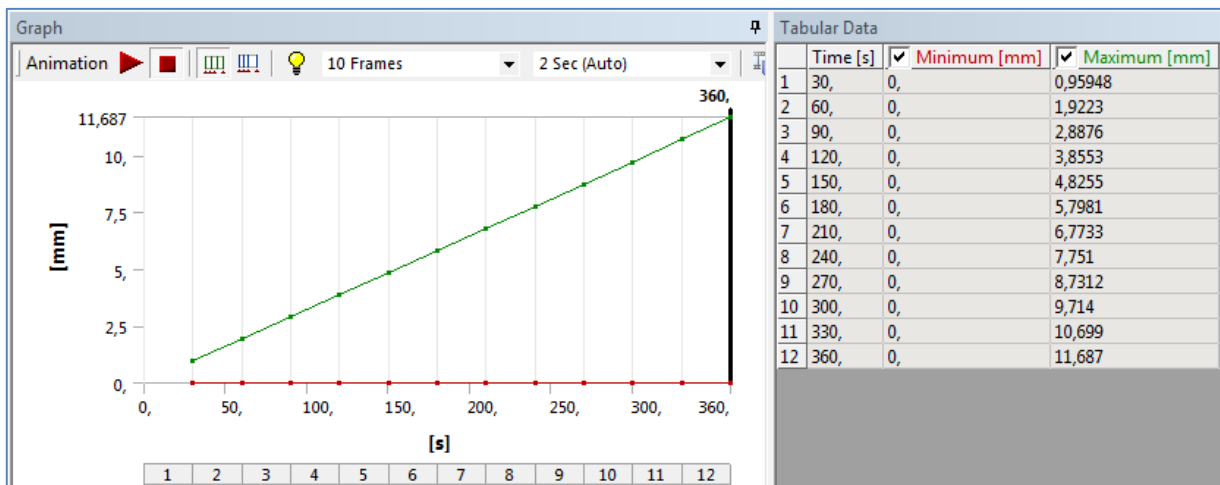


Figura 4-23. Valores gráfico deformación en el tiempo.

En la figura 4-24 se visualizaron los valores y la gráfica del esfuerzo en función del tiempo.

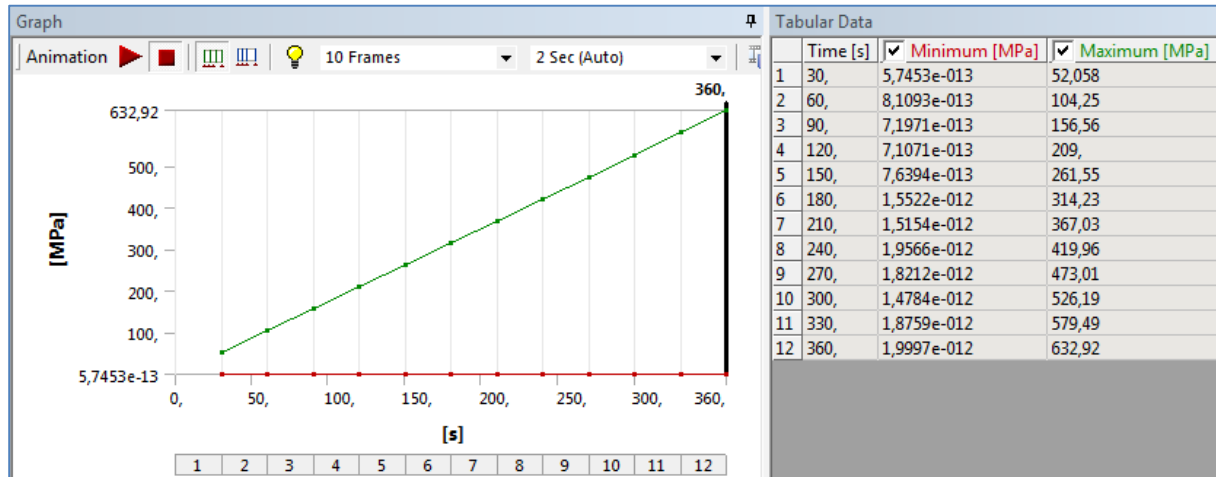


Figura 4-24. Valores gráfico esfuerzo en el tiempo.

#### 4.6.4 Análisis de resultados del modelo matemático 1 a flexión

Los valores máximos tanto en deformación y esfuerzos que se obtuvieron, nos mostraron que los puntos con más daño se encontraron en la pieza No. 3, pestañas en L 200 x 60 x 6.4 mm.

Los máximos esfuerzos se presentaron en la zona de la conexión concentrándose en el centro de la estructura más exactamente en la pieza No.3, sin embargo el falló finalmente se presentó por corte en el concreto debido a su baja capacidad de soportar los esfuerzos inducidos lo que nos mostró un comportamiento similar al modelo del laboratorio pero con una deformación menor que la pieza que se ensayó.

## 5. Conclusiones

- Se analizaron diferentes tipos de conexiones existentes y se realizaron tres nuevas geometrías de posibles conexiones, se modelaron en cartón paja a escala real, luego se analizó su comportamiento ante diferentes sollicitaciones teóricas y se valoraron detenidamente los resultados para finalmente elegir el diseño experimental de la conexión con que se obtuvieron los mejores resultados, por tal motivo se llevó a la construcción con materiales reales este modelo de conexión.
- En los cuatro ensayos a tensión que se realizaron, se agregaron piezas nuevas, se ajustaron los espesores de algunas piezas que fallaron prematuramente y se cambiaron las especificaciones de las soldaduras para cumplir con la fuerza mínima que requería el modelo para que la prueba fuera exitosa. Finalmente en el cuarto ensayo a tensión se obtuvo una fuerza de 34500 Kg que fue superior a la mínima esperada de 30510 Kg para la falla a fluencia por tensión.
- En el ensayo a corte en el laboratorio la muestra resistió 51500 kg y se observó que fallo se produjo por fluencia en los cuatro aceros que se unen a la parte inferior de la conexión que es donde se esperaba obtener el fallo, adicionalmente se superaron los 19970 kg que es lo mínimo esperado que resistiría el modelo sin que se presentaran fallas en las piezas específicas tanto de la conexión superior como inferior y en el concreto por tanto se procedió a continuar con el siguiente ensayo de laboratorio.

- En el ensayo a flexión en el laboratorio la muestra resistió 11470 kg y se observó que la falla se produjo por corte en el concreto. el momento real de falla es de: 5.74 t-m que es mayor al momento teórico de falla 2.80 t-m por tanto se considera que el ensayo cumple con la resistencia mínima que debe tener para presentar un comportamiento satisfactorio ante sollicitaciones por flexión.
- Los valores que se obtuvieron para los modelos a tensión en el programa ANSYS mostraron las mismas tendencias en las zonas de falla que los modelos reales de las cuatro piezas que se fallaron.
- Los valores que se obtuvieron para el modelo a corte en el programa ANSYS mostraron que las zonas donde se presentan los máximos esfuerzos y deformaciones se localizan en las mismas partes en las que falló el modelo real.
- Para el modelo a flexión los valores de deformaciones difieren un poco entre lo que se obtuvo en el laboratorio y los valores que arrojó el programa ANSYS pero esto pudo ser causado por factores externos de fabricación y propiedades de los materiales usados sin embargo los puntos de falla mostraron los mismos patrones en las zonas de donde el ensayo de laboratorio indujo el mayor daño al modelo.
- Después de que se analizaron los datos obtenidos tanto en el laboratorio como en el programa de computadora se concluye que la conexión que se diseñó mostro un comportamiento adecuado ante todas la sollicitaciones a las que fue expuesta y las modificaciones que se le realizaron contribuyeron a que mejorara su comportamiento para que pasara satisfactoriamente todas las pruebas de laboratorio que se le practicaron y en ningún momento la zona de la junta sufrió daños considerables por tanto se considera que el diseño final de la junta puede ser una alternativa de construcción adecuada para unir este tipo de pilotes sin temor a que se presenten fallas en la cimentación de cualquier obra que use este sistema de juntas.



- Todos los datos que se anexaron en el proyecto que se presentó son válidos para pilotes con secciones de 300x300 mm con cuantías de aceros para el pilote que no superen el 1%, para cuantías mayores se tendrían que experimentar nuevamente los ensayos efectuados en este proyecto para poder obtener resultados concluyentes.

## Bibliografía

ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA, Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10, 2010.

VALENCIA, Gabriel, Estructuras de Acero Diseño con factores de carga y de resistencia. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009.

AISC 360/10, Especificación para construcciones de Acero, Ed. Alacero.

GARCÍA, Antonio, Manual de Edificación Mecánica de Terrenos y Cimientos. Ed. Cie Inversiones editoriales Dossat 2000, 2003.

McCORMAK, Jack, Diseño de Estructuras de Acero, Ed Alfaomega, 2012.

Norma UNE-EN 12794-2006 Pilotes de Cimentación

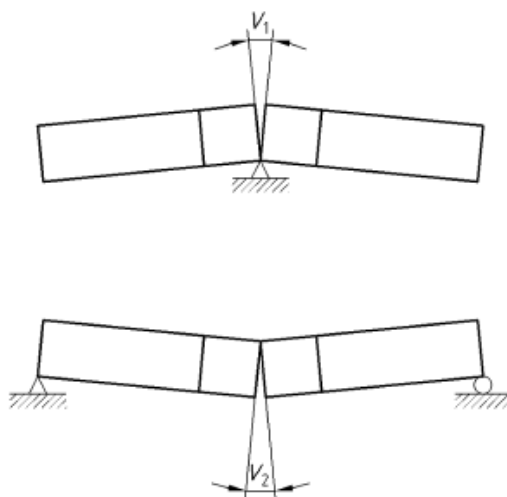
HERNÁNDEZ, Germán, Manual del Soldador. Ed. CESOL, 2006.

## Anexo: Ensayo de flexión UNE-EN 12794:2006+A1

### A.1.5 Ensayo de flexión

Para este ensayo, se corta el pilote compuesto de elementos a una longitud tal que la esbeltez (longitud del pilote/ dimensión mínima de la sección transversal del pilote) esté comprendida entre 11 y 12.

Para la medición de la separación  $v_0$  entre las dos mitades de la junta sin carga exterior, se apoya el pilote compuesto por elementos tal y como muestra la figura A.1. La separación  $v_1$  se mide mientras el pilote compuesto por elementos (soportando únicamente su peso propio) se apoya en su punto medio, donde se ubica la junta del pilote, y la separación  $v_2$  se mide cuando el pilote compuesto por elementos (soportando únicamente su peso propio) se apoya en sus extremos, con una precisión de 0,1 mm. La separación  $v_0$  se calcula según la ecuación:  $v_0 = (v_1 + v_2)/2$ .



**Figura A.1 – Medición de la separación  $v_0$  entre las dos mitades de la junta sin carga externa**

Para el ensayo de carga, se sitúa el pilote compuesto por elementos sobre dos apoyos de tal manera que se ensaye en la dirección más desfavorable, con un vano igual a 10 veces la dimensión mínima de la sección transversal del pilote, pero no inferior a 3 m. La junta del pilote debe situarse exactamente en la mitad del vano. En la figura A.2, la distancia  $a$  es igual a  $L/3 + 2$  veces la dimensión mínima de la sección transversal del pilote.

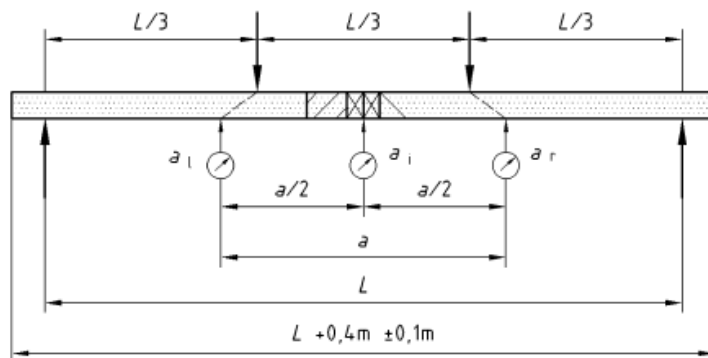


Figura A.2 – Disposición del ensayo a flexión

El pilote sometido a ensayo se carga mediante dos cargas puntuales e idénticas aplicadas a un tercio de la longitud del vano tal como muestra la figura A.2.

Se deben registrar los siguientes datos:

- la deformación se mide empleando tres galgas que se sitúan en el punto  $a_i$  (en el medio del vano) y en los puntos  $a_l$  y  $a_r$  a una distancia de  $(0,5 a)$  del punto medio del vano (véase también la figura A.2);
- la primera medida de deformación se realiza cuando el pilote está expuesto únicamente a su peso propio (lectura cero). El incremento de carga de cada escalón se elige de tal manera que se efectúen al menos 10 escalones de carga antes de que se alcance el momento flector último. Tras cada escalón de carga, la carga se mantiene constante durante aproximadamente 3 min antes de leer las galgas;
- la separación entre las dos mitades de la junta, sobre la parte inferior de la probeta, debe medirse y registrarse durante el ensayo para cada escalón de carga con una precisión de 0,1 mm;
- la carga de rotura; se continúa con el ensayo hasta que se produzca la rotura de la probeta.

#### A.1.6 Evaluación de los resultados del ensayo

Los valores de las medidas de deformación proporcionan la base para el cálculo de la rigidez a flexión con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$El_{eq} = \frac{Ma^2}{8\delta_m}$$

donde, véase la figura A.2

{A1►}  $a = 2h + L/3$ , siendo  $h$  la profundidad del pilote; {◄A1}

$M$  = momento flector en la junta del pilote producido por la carga aplicada;

$\delta_m$  = deformación en la mitad del vano =  $\delta_i - (\delta_l + \delta_r)/2$  donde  $\delta_i$ ,  $\delta_l$  y  $\delta_r$  son respectivamente los desplazamientos de los puntos  $a_i$ ,  $a_l$  y  $a_r$ .

### A.1.7 Informe de ensayo

El informe de ensayo debe incluir la siguiente información:

- el número, el título y la fecha de publicación de esta norma europea;
- el nombre de este anexo A y el título del método de ensayo (ensayo de choque seguido de un ensayo a flexión);
- la identificación de las juntas de los pilotes sometidos a ensayo en relación a los planos de producción;
- el certificado del material de los componentes de las juntas de pilote ensayadas, incluyendo las resistencias medidas de los materiales;
- la identificación de los elementos de pilote en relación a los planos de producción;
- las fechas y el lugar de fabricación de las juntas de pilote y de los elementos de pilote sometidos a ensayo;
- el lugar y la fecha de los ensayos, el laboratorio de ensayos y la persona responsable de los mismos;
- la clase prevista de la junta del pilote;
- {A1▶} el número total de golpes y niveles de tensión en el entorno de la junta del pilote; {◀A1}
- los resultados de las medidas de la variación de la tensión durante el ensayo de choque;
- las observaciones, la penetración del pilote y la inclinación de los elementos de pilote superior e inferior tras cada serie de 500 golpes durante el ensayo de choque;
- la separación  $v_0$  entre las dos mitades de la junta sin carga exterior;
- las observaciones sobre las probetas (por ejemplo, fisuras o deformaciones) antes del ensayo de flexión;
- las condiciones del ensayo de flexión, es decir, el vano;
- el diagrama de cargas y el de deformaciones del ensayo de flexión (deformaciones en valores absolutos);
- la separación en la junta del pilote para cada escalón de carga del ensayo de flexión;
- {A1▶} el momento flector calculado en la junta del pilote, teniendo en cuenta la resistencia declarada de los materiales usando  $\gamma_m = 1$  para la carga a corto plazo; {◀A1}
- {A1▶} *texto eliminado* {◀A1}
- la carga y el momento flector para el límite elástico y para rotura;
- {A1▶} la rigidez a flexión de la junta de pilote para el nivel de  $0,75 \times$  momento flector calculado de la junta del pilote usando  $\gamma_m = 1$ ; {◀A1}
- las observaciones sobre las probetas tras la finalización del ensayo.

## A. Anexo: Simbolización de soldaduras

### 6.2. Simbolización según ANSI/AWS A2.4 y UNE-EN 22553

Dada la similitud de ambas normativas se van a explicar conjuntamente, resaltando de esta forma sus diferencias y similitudes.

Las explicaciones que siguen corresponden a la edición de 1993, en el caso de la norma ANSI/AWS, y a la de 1995 en el caso de la norma UNE-EN. **Siempre se debe consultar la edición de la norma que sea aplicable a cada trabajo**, ver el apartado "Abreviaturas y Referencias" para conocer las entidades que publican y suministran las normas.

En la figura 6.3 se indica la disposición relativa de todos los elementos que pueden aparecer en un símbolo de soldeo según la norma ANSI/AWS.

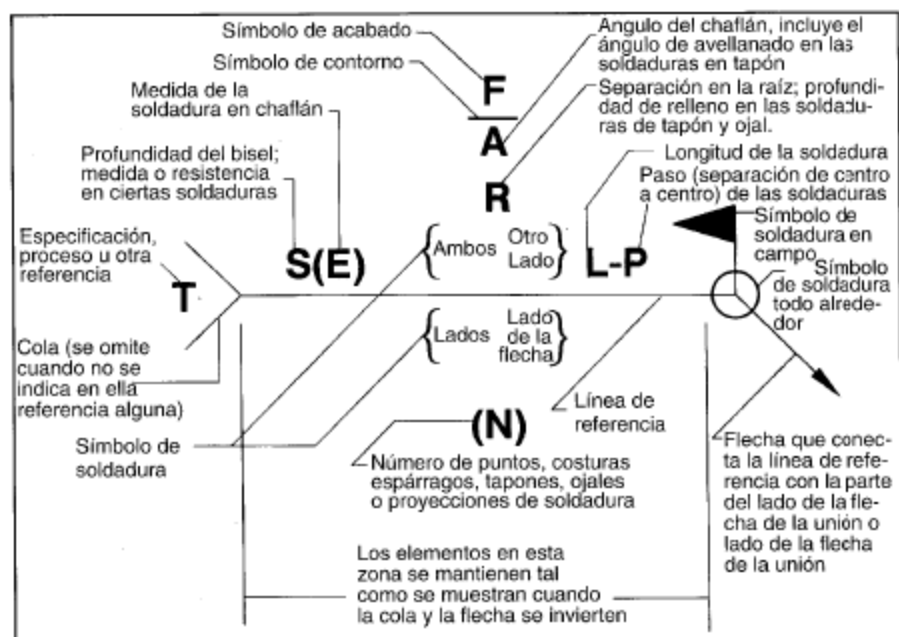


FIGURA 6.3: SITUACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SÍMBOLO DE SOLDEO (ANSI/AWS)

### 6.2.1. Constitución del símbolo de soldeo y significado de la situación del símbolo de soldadura

En la tabla 6.1 se indican los elementos que forman parte del símbolo de soldeo y en las tablas 6.2 y 6.3 el significado de la situación del símbolo de soldadura.




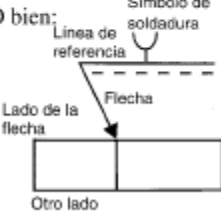
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	<p>Constitución del símbolo de soldeo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una flecha por unión.</li> <li>- Una línea de referencia única y continua.</li> <li>- Símbolos de soldadura, símbolos suplementarios, dimensiones y otros datos.</li> </ul> 	<p>Constitución del símbolo de soldeo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una flecha por unión.</li> <li>- Una doble línea de referencia formada por una línea continua y otra discontinua. La discontinua puede situarse encima o debajo de la continua.</li> <li>- Símbolos de soldadura, símbolos suplementarios, dimensiones y otros datos.</li> </ul>  <p>O bien:</p> 

TABLA 6.1: CONSTITUCIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDEO

Nota: Cuando sea necesario, la línea de referencia tendrá una cola donde se indicarán datos suplementarios tales como proceso de soldeo u otros datos aclaratorios, ver figura 6.4.

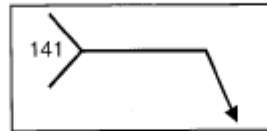


FIGURA 6.4: UTILIZACIÓN DE LA COLA DEL SÍMBOLO DE SOLDEO

Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	<p>Si el símbolo de soldadura está por debajo de la línea de referencia la soldadura se realizará por el lado de la flecha.</p>	<p>Si el símbolo de soldadura está sobre o bajo (tocando) la línea continua la soldadura se realizará por el lado de la flecha.</p>
	<p>Si el símbolo de soldadura está por encima de la línea de referencia la soldadura se realizará por el otro lado.</p>	<p>Si el símbolo de soldadura está sobre o bajo (tocando) la línea discontinua la soldadura se realizará por el otro lado.</p>

TABLA 6.2: SIGNIFICADO DE LA SITUACIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA EN SOLDADURAS CON CHAFLÁN



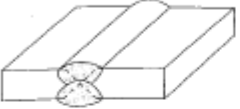

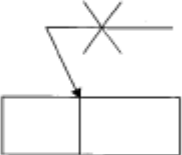
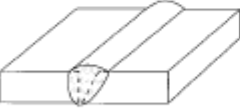
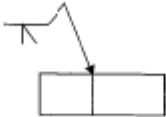
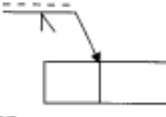
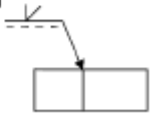
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	<p data-bbox="706 317 943 470">Si la soldadura se realiza por ambos lados se colocarán os símbolos de soldadura tanto por debajo como por encima de la línea de referencia.</p> 	<p data-bbox="966 317 1203 596">Si la soldadura se realiza por ambos lados no se utilizará la línea discontinua y se situarán los símbolos de soldadura tanto por debajo como por encima de la línea de referencia continua. La simbolización en este caso es igual que la de ANSI/AWS.</p> 
	<p data-bbox="706 854 927 961">En el caso de que sólo se prepare una pieza, ésta se señalará con una flecha quebrada.</p> 	<p data-bbox="966 854 1187 961">En el caso de que sólo se prepare una pieza, ésta será la que señale la flecha.</p>  <p data-bbox="966 1125 1024 1152">O bien</p> 

TABLA 6.2 (CONTINUACIÓN): SIGNIFICADO DE LA SITUACIÓN DEL SIMBOLO DE SOLDADURA EN SOLDADURAS CON CHAFLÁN

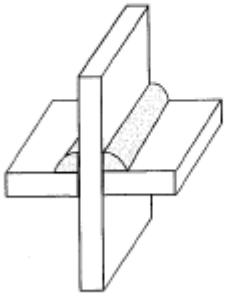
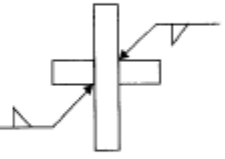
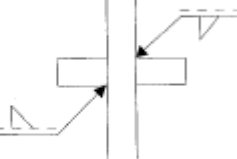
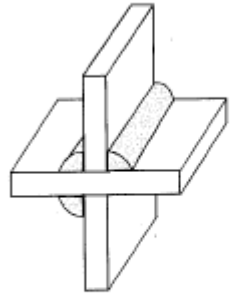
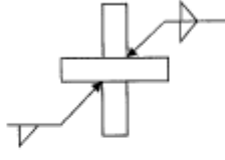
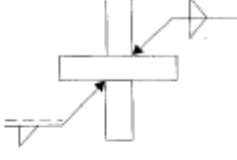
Soldadura representada	ANSI/AWS A2.4	UNE-EN 22553
	 <p data-bbox="675 569 894 716">Si las soldaduras se encuentran a ambos lados de la pieza que atraviesa la unión en cruz, se requieren dos símbolos de soldeo.</p>	
		

TABLA 6.3: SIGNIFICADO DE LA POSICIÓN DEL SÍMBOLO DE SOLDADURA EN LAS UNIONES EN ÁNGULO

En la tabla 6.4 se indican los símbolos de soldadura más comunes, no se da ningún significado a la posición del símbolo respecto a la línea de referencia.

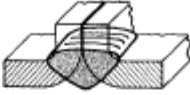




















Denominación	Soldadura representada	Símbolo	Denominación	Soldadura representada	Símbolo
Soldadura de borde			Soldadura a tope con bisel simple y talón grande		 <small>Este símbolo no existe para ANSI/AWS A2.4</small>
Soldadura a tope con bisel plano			Soldadura a tope con chaflán en U simple		
Soldadura a tope con chaflán en V simple			Soldadura a tope con chaflán en J simple		
Soldadura a tope con bisel simple			Soldadura de reverso o soldadura de respaldo	 <small>Soldadura de reverso</small>  <small>Soldadura de respaldo</small>	
Soldadura a tope en V y talón grande		 <small>Este símbolo no existe para ANSI/AWS A2.4</small>	Soldadura en ángulo		

TABLA 6.4: SÍMBOLOS DE SOLDADURA

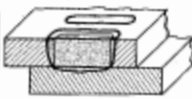

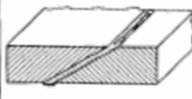

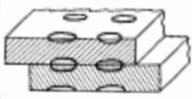

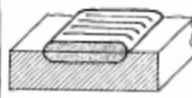

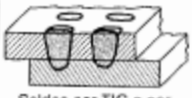

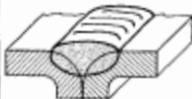

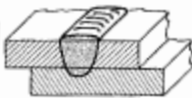

Denominación	Soldadura representada	Símbolo	Denominación	Soldadura representada	Símbolo
Soldadura de tapón o de ojal			Soldadura fuerte con chafán escarpado	 Sólo en ANSI/AWS	
Soldadura por puntos	 Soldeo por resistencia (realizado por ambos lados de la unión)		Soldadura de recargue		
Soldadura por costura	 Soldeo por resistencia (realizado por ambos lados de la unión)		Soldadura con chafán en V ensanchada		
	 Soldeo por TIG o haz de electrones (realizado desde un lado)				

TABLA 6.4 (CONTINUACIÓN): SÍMBOLOS DE SOLDADURA

Los símbolos suplementarios se indican en la tabla 6.5 y se emplean, según se necesiten, conjuntamente con los símbolos de soldeo.


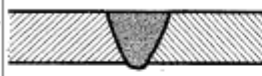





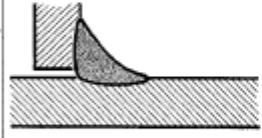


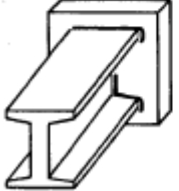

Denominación	Símbolo suplementario	Ejemplo	
		Soldadura representada	Símbolo
Símbolo suplementario de acabado superficial de soldadura	A paño o plano 		
	Convexo 		
	Cóncavo 		
Símbolo de soldadura todo-alrededor			

TABLA 6.5: SÍMBOLOS SUPLEMENTARIOS

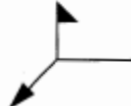

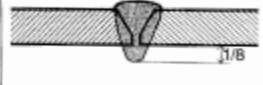
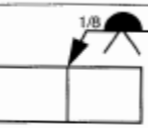


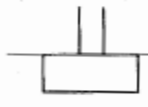


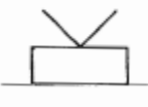


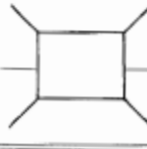
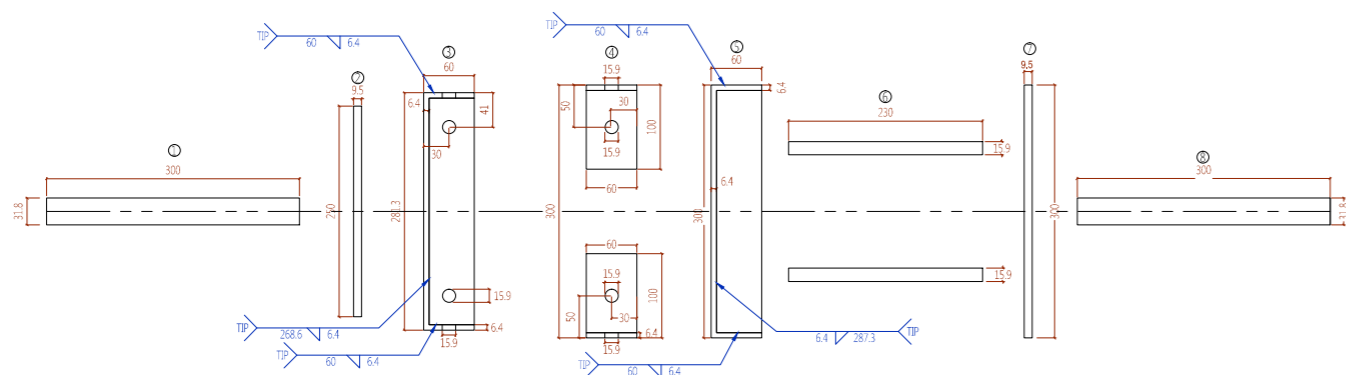
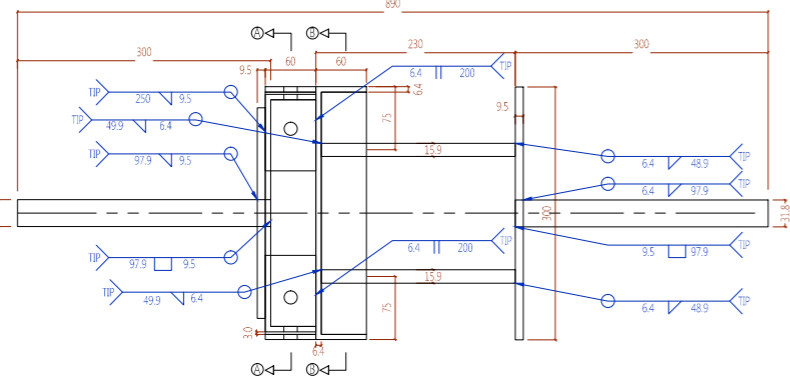
Denominación	Símbolo suplementario	Ejemplo	
		Soldadura representada	Símbolo
Símbolo de soldadura en campo		Soldadura a realizar fuera del taller o del lugar inicial de la construcción	
Símbolo de refuerzo de raíz. (Sólo ANSI/AWS A2.4)			
Respaldo permanente			
Respaldo no permanente			
Unión con espaciador (Sólo ANSI/AWS A2.4)			

TABLA 6.5 (CONTINUACIÓN): SÍMBOLOS SUPLEMENTARIOS

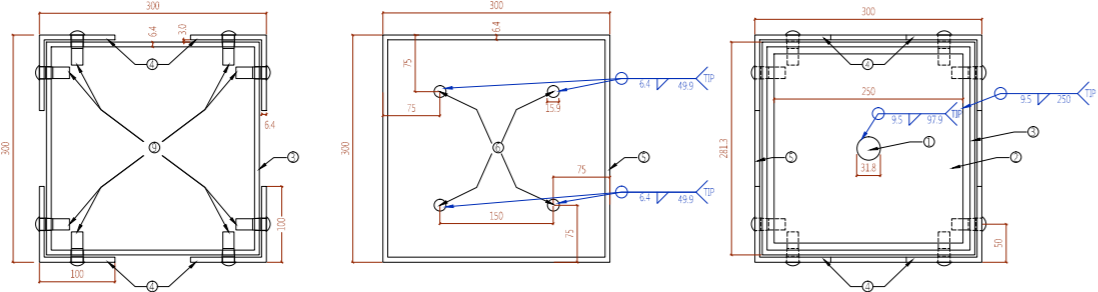


Ensayo a tensión despiece Modelo 1 Esc. 1:5

- Notas:
- Pieza No.1 Barra de acero Iso Ø31.8(1 1/4")x300 mm.
  - Pieza No.2 Placa de 250x250x5(3/8") mm.
  - Pieza No.3 Conexión inferior placa 280x280x6.4(1/4") mm con tres alas dobladas y un ala soldada 60x280x6.4(1/4") mm con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.4 4 L de la conexión superior 200x60x6.4(1/4") mm en cada lado con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.5 Conexión superior placa 300x300x6.4(1/4") mm con tres alas dobladas y un ala soldada 60x300x6.4(1/4") mm.
  - Pieza No.6 4 Barras de acero corrugado Ø15.9(5/8")x230 mm.
  - Pieza No.7 Placa de 300x300x12.7(1/2") mm.
  - Pieza No.8 Barra de acero Iso Ø31.8(1 1/4")x300 mm.
  - Pieza No.9 8 Pernos de Ø15.9(5/8")x40 mm Aprox.

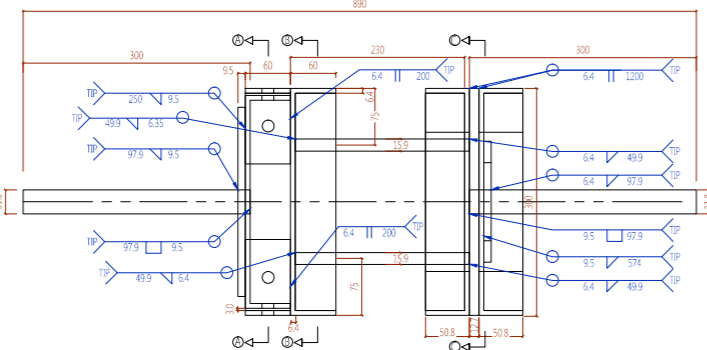


Ensayo a tensión Modelo 1 Esc. 1:5

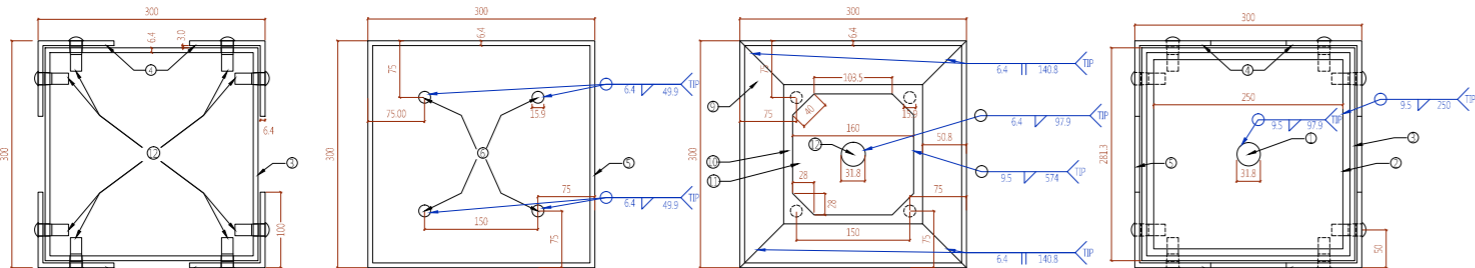


Ensayo a tensión despiece Modelo 2 Esc. 1:5

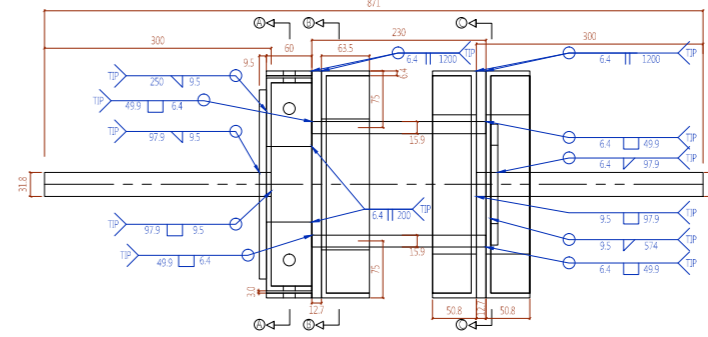
- Notas:
- Pieza No.1 Barra de acero Iso Ø31.8(1 1/4")x300 mm.
  - Pieza No.2 Placa de 250x250x5(3/8") mm.
  - Pieza No.3 Conexión inferior placa 280x280x6.4(1/4") mm con tres alas dobladas y un ala soldada 60x280x6.4(1/4") mm con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.4 4 L de la conexión superior 200x60x6.4(1/4") mm en cada lado con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.5 Conexión superior placa 300x300x6.4(1/4") mm con tres alas dobladas y un ala soldada 60x300x6.4(1/4") mm.
  - Pieza No.6 4 Barras de acero corrugado Ø15.9(5/8")x230 mm.
  - Pieza No.7 4 Ángulos soldados 50.8x50.8x2.7x6.4(1/4") mm.
  - Pieza No.8 Placa de 300x300x12.7(1/2") mm.
  - Pieza No.9 4 Ángulos soldados 50.8x50.8x2.7x6.4(1/4") mm.
  - Pieza No.10 Placa recortada de 160x160x5(3/8") mm.
  - Pieza No.11 Barra de acero Iso Ø31.8(1 1/4")x300 mm.
  - Pieza No.12 8 Pernos de Ø15.9(5/8")x40 mm Aprox.



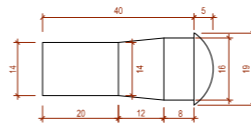
Ensayo a tensión Modelo 2 Esc. 1:5



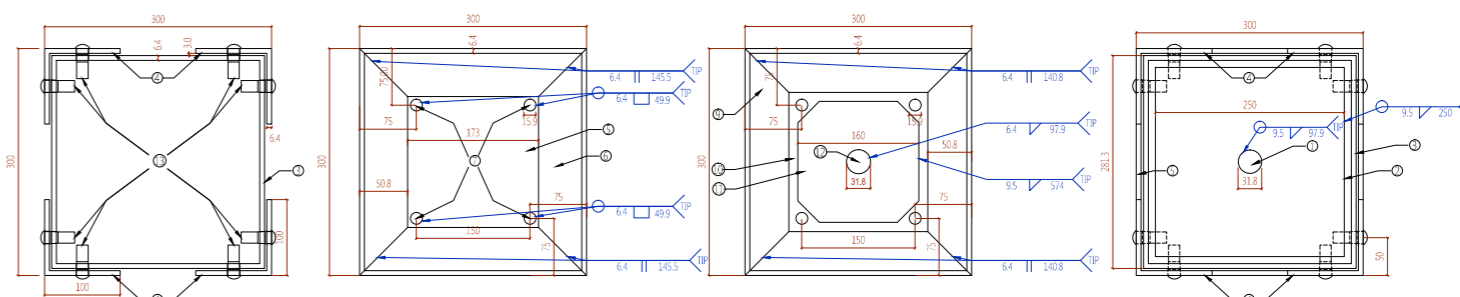
Ensayo a tensión despiece Modelo 3 Esc. 1:5



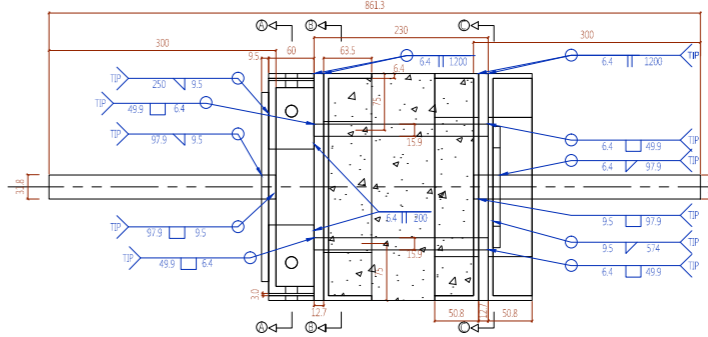
Ensayo a tensión Modelo 3 Esc. 1:5



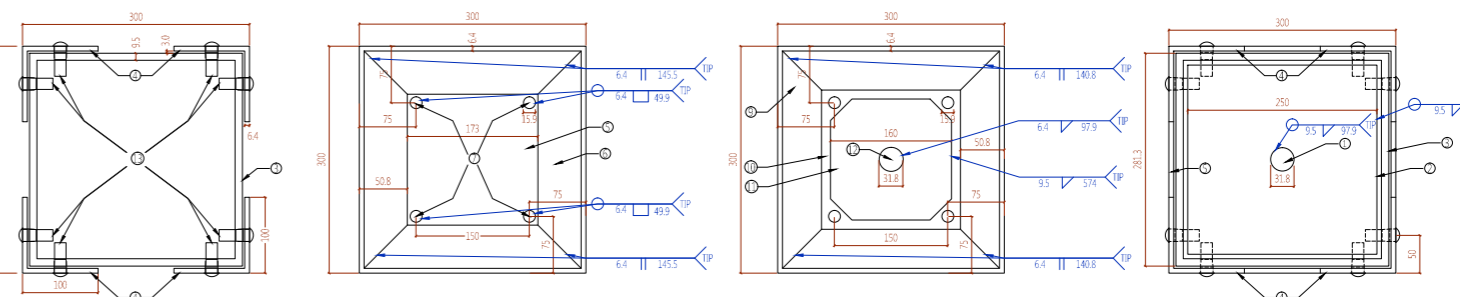
Dimensiones del perno Esc. 1:1



Ensayo a tensión despiece Modelo 4 Esc. 1:5



Ensayo a tensión Modelo 4 Esc. 1:5



Corte A-A Modelo 2 Esc. 1:5

Corte B-B Modelo 2 Esc. 1:5

Corte C-C Modelo 2 Esc. 1:5

Vista frontal Modelo 2 Esc. 1:5

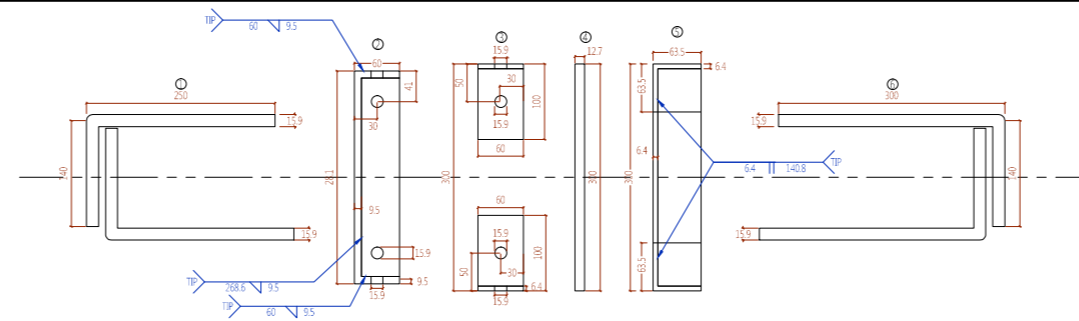
Corte A-A Modelo 4 Esc. 1:5

Corte B-B Modelo 4 Esc. 1:5

Corte C-C Modelo 4 Esc. 1:5

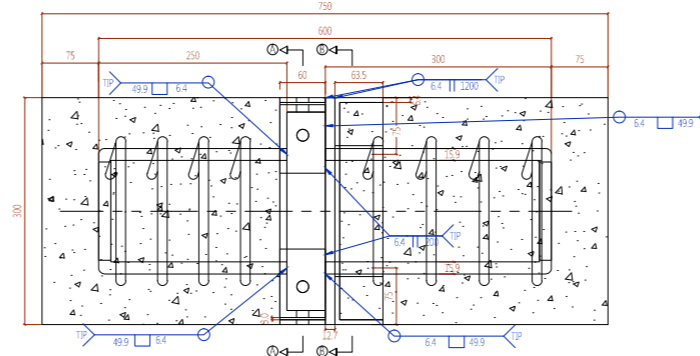
Vista frontal Modelo 4 Esc. 1:5

Notas:  
En el modelo a tensión N°1 todas las placas son de acero A-36 menos la placa N°6 que es de acero A-706 Con soldaduras E-7018  
En el modelo a tensión N°2 todas las placas son de acero A-36 menos la placa N°6 que es de acero A-706 Con soldaduras E-7018  
En el modelo a tensión N°3 todas las placas son de acero A-36 menos la placa N°7 que es de acero A-706 Con soldaduras E-7018  
En el modelo a tensión N°4 todas las placas son de acero A-36 menos la placa N°7 que es de acero A-706 Con soldaduras E-7018  
Concreto de 28 Mpa

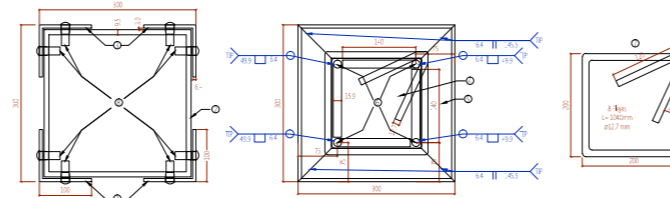


Ensayo a corte despiece Modelo 1 Esc. 1:5

- Notas:
- Pieza No.1 4 Barras de acero corrugado Ø15.9(5/8")x90 mm.
  - Pieza No.2 Conexión inferior (Pieza 281.3x281.3x3(3/8") mm con dos filos soldados y un filo soldados 90x281.3x3(3/8") mm con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.3 4 L de la conexión superior 200x60x6.4(1/4") mm en cada lado con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.4 Fleca conexión superior de 300x300x12.7(1/2") mm.
  - Pieza No.5 4 Ángulos conexión superior soldados 63.5x63.5x6.4(1/4") mm.
  - Pieza No.6 4 Barras de acero corrugado Ø15.9(5/8")x60 mm.
  - Pieza No.7 8 Flejes de acero corrugado Ø12.7(1/2")x100 mm.
  - Pieza No.8 8 Pernos de Ø15.9(5/8")x40 mm Aprox.

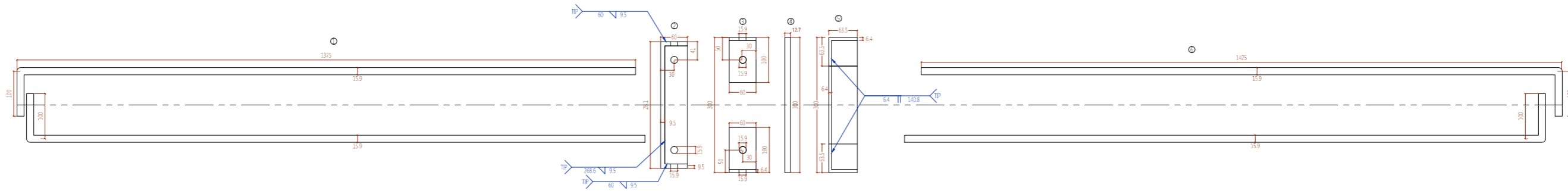


Ensayo a corte Modelo 1 Esc. 1:5

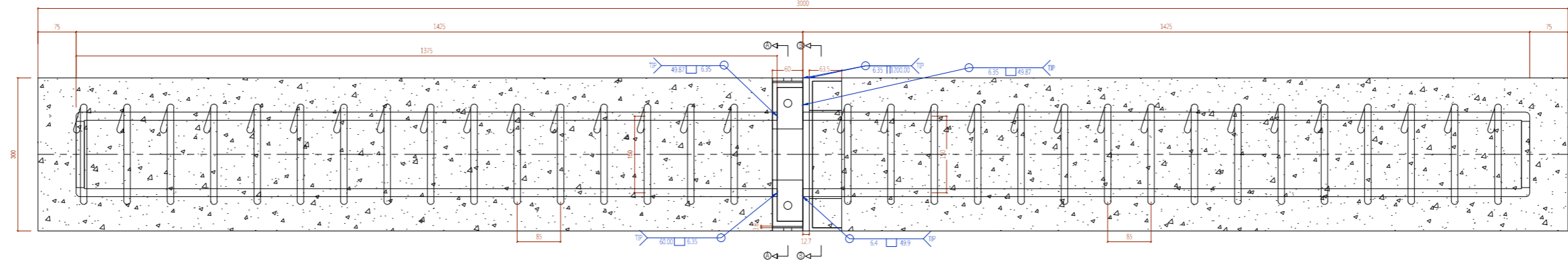


Corte A-A Modelo 1 Esc. 1:5

Corte B-B Modelo 1 Sin flejes Esc. 1:5

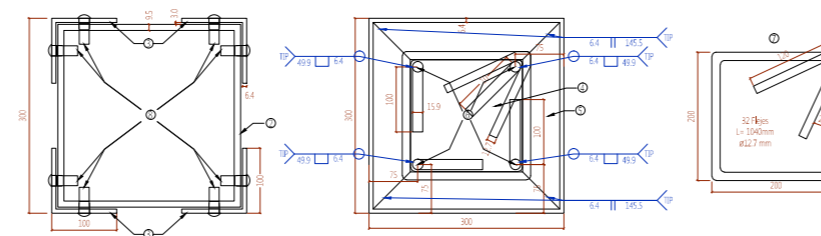


Ensayo a flexo-compresión despiece Modelo 1 Esc. 1:5



Ensayo a flexo-compresión Modelo 1 Esc. 1:5

- Notas:
- Pieza No.1 4 Barras de acero corrugado Ø15.9(5/8")x1475 mm.
  - Pieza No.2 Conexión inferior (Pieza 281.3x281.3x3(3/8") mm con dos filos soldados y un filo soldados 60x281.3x3(3/8") mm con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.3 4 L de la conexión superior 200x60x6.4(1/4") mm en cada lado con 8 agujeros de Ø15.9(5/8") mm.
  - Pieza No.4 Fleca conexión superior de 300x300x12.7(1/2") mm.
  - Pieza No.5 4 Ángulos soldados 63.5x63.5x6.4(1/4") mm.
  - Pieza No.6 4 Barras de acero corrugado Ø15.9(5/8")x1375 mm.
  - Pieza No.7 32 Flejes de acero corrugado Ø12.7(1/2")x100 mm.
  - Pieza No.8 8 Pernos de Ø15.9(5/8")x40 mm Aprox.



Corte A-A Modelo 1 Esc. 1:5

Corte B-B Modelo 1

NOTA:  
En el modelo a corte N°1 todas la piezas son de acero A-36 menos la pieza N°1-4-7 que es de acero A-706  
Con soldaduras E-7018  
En el modelo a flexión N°1 todas la piezas son de acero A-36 menos la pieza N°1-6-7 que es de acero A-706  
Con soldaduras E-7018  
Concreto de 28 Mpa