

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**CAPACIDAD DE RESPUESTA ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE
CONEXIONES ESTRUCTURALES DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO Y
CERCHAS DE ACERO TIPO ARCO CON PERFILES TUBULARES EN ESPACIOS
DEPORTIVOS DEL DISTRITO DE HUANCARANI**

PRESENTADO POR:

Br. ROMEO CCOMPI MANUTTUPA

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

ASESOR:

ING. JOSÉ FELIPE AZPILCUETA CARBONELL

CUSCO-PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** JOSÉ FELIPE AZPILCUETA CARBONELL quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: CAPACIDAD DE RESPUESTA ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE CONEXIONES ESTRUCTURALES DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO Y CERCHAS DE ACERO TIPO ARCO CON PERFILES TUBULARES EN ESPACIOS DEPORTIVOS DEL DISTRITO DE HUANCARANI
Presentado por: ROMEO CLOMPI MANUTTUPA DNI N° 73664330;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 3 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	<input checked="" type="checkbox"/>
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 12 de DICIEMBRE de 2025

Firma

Post firma JOSÉ FELIPE AZPILCUETA CARBONELL

Nro. de DNI 23 88 1345

ORCID del Asesor 0000-0003-3954-4737

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259539882627

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
1%  Publicaciones
6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

 **Caracteres reemplazados**

35 caracteres sospechosos en N.º de páginas

Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

ROMEO CCOMPI MANUTTUPA

CAPACIDAD DE RESPUESTA ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:539882627

263 páginas

Fecha de entrega

12 dic 2025, 10:27 a.m. GMT-5

43.015 palabras

Fecha de descarga

12 dic 2025, 10:33 a.m. GMT-5

233.916 caracteres

Nombre del archivo

CAPACIDAD DE RESPUESTA ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE.pdf

Tamaño del archivo

31.7 MB

Agradecimiento

Agradezco a mis padres que desde pequeño me brindaron el cariño y ánimos para seguir adelante en los desafíos que me planteaba, a mi papá Felipe que fue una gran inspiración para estudiar la carrera de ingeniería civil por su oficio de Soldador en estructuras metálicas donde experimentábamos dudas de resistencia de materiales de diversos perfiles tubulares y conexiones cuando era su ayudante.

Agradezco a mi mamá Livia que siempre me brindo el soporte necesario cuando me encontraba desanimado, a mi hermana Alexandra por su apoyo incondicional durante mis estudios de pregrado mostrando siempre su alegría desbordante.

Agradezco al Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell por su apoyo y consejos brindados para concluir oportunamente el trabajo de investigación.

Dedicatoria

Este trabajo de investigación va dedicado a mi abuelo Manuel y a mi hijo Dante, a mi abuelo Manuel por su constante seguimiento del progreso de mi carrera y a mi hijo que me dio una inspiración más para seguir progresando en mi carrera.

También dedico esta investigación a mi tío Washington que siempre apoyo a mi padre en los momentos difíciles cuando aún seguía los estudios en la apasionante carrera de ingeniería civil.

Índice

Agradecimiento _____ I

Dedicatoria _____ II

Índice _____ III

Lista de Figuras _____ VIII

Lista de Tablas _____ XVII

Resumen _____ XIX

Abstract _____ XXI

CAPITULO 1 Introducción, Justificación, Problema y Objetivos de la Investigación

1-1

1.1 Introducción _____ 1-1

1.2 Justificación de la Investigación _____ 1-2

1.3 Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación _____ 1-6

1.3.1 Problema General _____ 1-6

1.3.2 Problemas Específicos _____ 1-6

1.4 Objetivos _____ 1-6

1.4.1 Objetivo General _____ 1-6

1.4.2 Objetivos Específicos _____ 1-7

CAPITULO 2 Marco Teórico, Antecedentes y Formulación de Hipótesis _____ 2-8

2.1 Bases Teóricas _____ 2-8

2.1.1 La Soldadura _____ 2-8

2.1.2 El Acero _____ 2-19

2.1.3	Modelo Analítico	2-24
2.1.4	Cargas Eventuales	2-26
2.1.5	Esfuerzos internos	2-32
2.1.6	Criterios de Falla de Materiales	2-33
2.1.7	Test de Materiales	2-35
2.1.8	Diseño de Conexiones con Soldadura SMAW	2-37
2.1.9	Software de Análisis y Diseño Estructural	2-37
2.2	Marco Legal	2-38
2.2.1	Norma E 090	2-38
2.2.2	AWS D 1.1/1.1M: 2020	2-39
2.2.3	AWS D 1.4/1.4M: 2018	2-39
2.2.4	AWS A2.4:2020	2-40
2.2.5	AWS A3.0/A3.0M:2020	2-40
2.2.6	AWS A5.1/A5.1M: 2012	2-41
2.2.7	ASCE/ SEI 7-2022	2-41
2.2.8	Specification For Structural Steel Buildings AISC 360-16	2-41
2.2.9	ASTM	2-42
2.3	Marco conceptual	2-42
2.3.1	Apoyo no Convencional	2-42
2.3.1	Soldadura disímil	2-44
2.3.2	Cordón de soldadura	2-44
2.3.3	Deformabilidad	2-44
2.3.4	Electrodo	2-45
2.3.5	SMAW	2-45
2.3.6	Supercito	2-45

2.3.7 Portaelectrodo	2-45
2.3.8 Conmutador de polaridad	2-46
2.3.9 Polaridad directa	2-46
2.3.10 Polaridad invertida o inversa	2-46
2.3.11 Tierra	2-46
2.3.12 Cristal actínico	2-46
2.3.13 Plancha metálica	2-46
2.3.14 LAC	2-46
2.3.15 LAF	2-46
2.3.16 Punteo de Soldadura	2-47
2.4 Antecedentes Empíricos de la Investigación	2-48
2.5 Formulación de Hipótesis	2-50
2.5.1 Hipótesis General	2-50
2.5.2 Identificación de Variables e Indicadores	2-50
2.5.3 Operacionalización de Variables	2-50
2.5.4 Problema general	2-51
2.5.5 Problema específico 1	2-52
2.5.6 Problema Específico 2	2-53
CAPITULO 3 Diseño Metodológico	3-54
3.1 Ámbito de Estudio: Localización Política Geográfica	3-54
3.2 Tipo, Nivel y Diseño de Investigación	3-54
3.2.1 Tipo	3-54
3.2.2 Alcance	3-54
3.2.3 Diseño	3-54

3.2.4	Método de Investigación	3-55
3.3	Unidad de Análisis	3-58
3.4	Población de Estudio	3-58
3.5	Tamaño de muestra	3-58
3.6	Técnicas de Selección de Muestras	3-58
3.7	Técnicas de Recolección de Información	3-58
CAPITULO 4 Ejecución de la Experimentación, Simulaciones y Resultados		4-60
4.1	Fase 1: Elaboración de Muestras y Experimentación	4-60
4.1.1	Plan de Elaboración de Muestras	4-60
4.1.2	Elaboración de Muestras	4-64
4.1.3	Elaboración de Acopladores para los Ensayos	4-82
4.1.4	Ejecución y Resultados de los Ensayos	4-91
4.2	Fase 2: Simulaciones en el Software ANSYS de la Conexión Local	4-134
4.2.1	Simulación de la Prueba de Pseudo Tracción	4-134
4.2.2	Simulación de la Prueba de Corte	4-147
4.3	Fase 3: Simulación de Grupo de Conexiones Disímiles	4-157
4.3.1	Fuerzas Externas Aplicadas en La Conexión	4-157
4.3.2	Simulación de la Conexión no Convencional	4-175
4.3.3	Factores de Seguridad, Esfuerzos Internos y Deformación Unitaria	4-182
CAPITULO 5 Discusión, Conclusiones y Recomendaciones		5-204
5.1	Discusión	5-204
5.1.1	Determinación de las Propiedades Mecánicas de la Conexión Disímil	5-204
5.1.2	Carga Externa más Crítica	5-206

5.1.3	Modelo analítico de una conexión no convencional	5-210
5.2	Conclusiones	5-219
5.3	Recomendaciones	5-222
	Referencias Bibliográficas	5-223
	Anexos	5-226
5.3.1	Matriz de Consistencia	5-226
5.3.2	Operacionalización de Variables	5-227
5.3.3	Problema general	5-227
5.3.4	Problema específico 1	5-228
5.3.5	Problema específico 2	5-229
5.3.6	Plano de Detalle de Muestra para Prueba de Pseudotraccion	5-230
5.3.7	Plano de Acoplador Prismático para Ensayo de Pseudo Tracción	5-232
5.3.8	Plano de Acoplador de Corte	5-234
5.3.9	Certificado de Uso de Laboratorio	5-236
5.3.10	Certificado de Calibración INSTRON 600DX	5-238

Lista de Figuras

<i>Figura 1</i> Tipo de conexión no convencional de estudio (Vista frontal y vista isométrica).....	XX
<i>Figura 2</i> Grupo de conexiones disímiles (Vista isométrica y vista en planta)	XX
<i>Figura 3</i> Conexión disímil (Vista en planta y corte A-A').....	XX
<i>Figura 4</i> Soldadura disímil de plancha metálica y barra corrugada de una escuela	1-3
<i>Figura 5</i> Conexión disímil en la estructura de la cobertura de un estadio.....	1-4
<i>Figura 6</i> Unión Disímil de la cobertura de un Garaje	1-5
<i>Figura 7</i> Metal base y cordón de soldadura.....	2-9
<i>Figura 8</i> Procesos de soldadura según el AWS D1.1.....	2-9
<i>Figura 9</i> Partes de un proceso SMAW	2-10
<i>Figura 10</i> Elementos del proceso SMAW	2-11
<i>Figura 11</i> Tipos de electrodos según revestimiento	2-13
<i>Figura 12</i> Nomenclatura de identificación de un electrodo del proceso SMAW	2-14
<i>Figura 13</i> Microestructura generado en un proceso de soldadura SMAW	2-16
<i>Figura 14</i> Tipo de soldadura	2-17
<i>Figura 15</i> Posiciones de soldadura.....	2-17
<i>Figura 16</i> Simbología de los diferentes elementos de una soldadura	2-18
<i>Figura 17</i> Simbología del tipo de soldadura	2-19
<i>Figura 18</i> Modelo analítico de una conexión estructural	2-25
<i>Figura 19</i> Modelo analítico de un elemento tipo área	2-25
<i>Figura 20</i> Estado de esfuerzos de un elemento tipo sólido	2-26
<i>Figura 21</i> Carga eventual de viento.....	2-28
<i>Figura 22</i> Factores de forma de una carga de viento	2-29
<i>Figura 23</i> Falla estructural de un techo metálico curvo por carga de nieve.....	2-30
<i>Figura 24</i> Idealización de carga balanceada de nieve	2-31
<i>Figura 25</i> Área de influencia de una cercha metálica tipo arco.....	2-31
<i>Figura 26</i> Estado de esfuerzos internos de una estructura	2-32
<i>Figura 27</i> Estado general de un esfuerzo en un punto.....	2-33
<i>Figura 28</i> Criterio de falla de Tresca.....	2-34
<i>Figura 29</i> Criterio de falla de Von Misses	2-35

<i>Figura 30 Grafico de esfuerzo y deformación unitaria</i>	2-36
<i>Figura 31 Sección típica de la estructura de un techo metálico.....</i>	2-42
<i>Figura 32 Detalle de conexión entre cercha metálica y columna de concreto armado</i>	2-43
<i>Figura 33 Detalle de conexión entre cercha metálica y columna de concreto armado</i>	2-44
<i>Figura 34 Nomenclatura de identificación de un electrodo.....</i>	2-45
<i>Figura 35 Muestra de soldadura disímil para ensayo a corte.....</i>	3-56
<i>Figura 36 Componentes de una muestra de soldadura disímil.....</i>	3-57
<i>Figura 37 Vista Isométrica de Muestra para Ensayo a Corte y Tracción</i>	4-61
<i>Figura 38 Dimensiones de Plancha Metálica para las Muestras.....</i>	4-62
<i>Figura 39 Detalle de Barra Corrugada de 5/8" para las Muestras.....</i>	4-62
<i>Figura 40 Tamaño de la Soldadura Tipo Filete de las Muestras.....</i>	4-63
<i>Figura 41 Muestra de Barra Corrugada de 16 mm Para Prueba de Corte</i>	4-63
<i>Figura 42 Corte de Piezas de Barra Corrugada ASTM A615 para Muestra de Conexión Disímil.....</i>	4-65
<i>Figura 43 Corte de Barra Corrugada ASTM A615 con la Trozadora</i>	4-65
<i>Figura 44 Preparación de piezas de plancha metálica ASTM A36.....</i>	4-66
<i>Figura 45 Proceso de Preparación de Piezas de Plancha Metálica ASTM A36.....</i>	4-66
<i>Figura 46 Proceso de verticalización previo al punteo de la plancha metálica y barra corrugada</i>	4-67
<i>Figura 47 Proceso de Punteo de las Piezas.....</i>	4-68
<i>Figura 48 Apilamiento de Muestras Punteadas</i>	4-68
<i>Figura 49 Apilamiento de las muestras de los grupos experimentales (16muestras).....</i>	4-69
<i>Figura 50 Punteo del Grupo Experimental G1 y G3</i>	4-69
<i>Figura 51 Punteo de los Grupos Experimentales G2 y G4.....</i>	4-70
<i>Figura 52 Muestras de grupo Experimental G1</i>	4-71
<i>Figura 53 Muestras del grupo experimental G 4</i>	4-71
<i>Figura 54 Muestras de grupo experimental G3</i>	4-72
<i>Figura 55 Muestras del grupo experimental G2</i>	4-72
<i>Figura 56 Muestras del grupo experimental G1</i>	4-73
<i>Figura 57 Muestra de grupo experimental G1 libre de escoria y chispas</i>	4-73
<i>Figura 58 Muestras del grupo experimental G2 libre de escoria y chispas</i>	4-74
<i>Figura 59 Muestras del grupo experimental G3 libre de escoria y chispas</i>	4-74

<i>Figura 60 Muestras del grupo experimental G4 libre de chispas y escoria.....</i>	4-75
<i>Figura 61 Proceso de identificación de las muestras de pseudo tracción.....</i>	4-75
<i>Figura 62 Muestras de pseudo tracción agrupados por grupo experimental.....</i>	4-76
<i>Figura 63 Muestras de pseudo tracción enumeradas desde 1 al 16</i>	4-76
<i>Figura 64 Medida 1 del cordón de soldadura anular.....</i>	4-77
<i>Figura 65 Medida 2 del tamaño de soldadura.....</i>	4-78
<i>Figura 66 Proceso de corte de barra corrugada ASTM A615 grado 60</i>	4-81
<i>Figura 67 Muestra de barra corrugada para la prueba de corte</i>	4-82
<i>Figura 68 Vista en Planta e Isométrica de Acoplador Primatico para Ensayo de Pseudo-Tracción</i>	4-83
<i>Figura 69 Esquema del Ensayo de Tracción Indirecto de una Muestra</i>	4-83
<i>Figura 70 Diagrama de Cuerpo Libre del Ensayo Proyectado.....</i>	4-84
<i>Figura 71 Acoplador prismático para ensayo de pseudo tracción.....</i>	4-84
<i>Figura 72 Acoplador de corte 1.....</i>	4-86
<i>Figura 73 Proceso de elaboración de acoplador de corte.....</i>	4-87
<i>Figura 74 Proceso de soldado del acoplador de corte.....</i>	4-88
<i>Figura 75 Cuchilla del acoplador de corte</i>	4-88
<i>Figura 76 Acoplador de corte.....</i>	4-89
<i>Figura 77 Vista frontal de acoplador de corte.....</i>	4-89
<i>Figura 78 Vista en planta de acoplador de corte</i>	4-90
<i>Figura 79 Vista lado derecho de acoplador de corte 2.....</i>	4-90
<i>Figura 80 Ensayo de la muestra G2M5.....</i>	4-91
<i>Figura 81 Ejecución de ensayo de la muestra G2M6.....</i>	4-92
<i>Figura 82 Ejecución del ensayo G2M7</i>	4-93
<i>Figura 83 Partes del ensayo de pseudo tracción</i>	4-93
<i>Figura 84 Ejecución del ensayo de pseudo tracción.....</i>	4-94
<i>Figura 85 Muestras en el ensayo de pseudo tracción</i>	4-94
<i>Figura 86 Muestra G1M1</i>	4-95
<i>Figura 87 Falla de la muestra G1M1</i>	4-96
<i>Figura 88 Muestra G1M2</i>	4-96
<i>Figura 89 Falla de la muestra G1M2</i>	4-97

<i>Figura 90 Muestra G1M3</i>	4-97
<i>Figura 91 Falla de la muestra G1M3.....</i>	4-98
<i>Figura 92 Muestra G1M4</i>	4-98
<i>Figura 93 Falla de la muestra G1M4 cuadrante 1</i>	4-99
<i>Figura 94 Falla de la muestra G1M4 cuadrante 2</i>	4-99
<i>Figura 95 Falla de la muestra G1M4 cuadrante 3</i>	4-100
<i>Figura 96 Muestra G2M5</i>	4-100
<i>Figura 97 Falla de muestra G2M5 cuadrante 1</i>	4-101
<i>Figura 98 Falla de muestra G2M5 cuadrante 2</i>	4-101
<i>Figura 99 Falla de muestra G2M5 cuadrante 3</i>	4-102
<i>Figura 100 Falla de muestra G2M5 cuadrante 4.....</i>	4-102
<i>Figura 101 Muestra G2M6.....</i>	4-103
<i>Figura 102 Falla de muestra G2M6 cuadrante 1.....</i>	4-103
<i>Figura 103 Falla de la muestra G2M6 cuadrante 2.....</i>	4-104
<i>Figura 104 Falla de muestra G2M6 cuadrante 3.....</i>	4-104
<i>Figura 105 Falla de muestra G2M6 cuadrante 4.....</i>	4-105
<i>Figura 106 Muestra G2M7.....</i>	4-105
<i>Figura 107 Falla de muestra G2M7 cuadrante 1.....</i>	4-106
<i>Figura 108 Falla de muestra G2M7 cuadrante 2.....</i>	4-106
<i>Figura 109 Falla de la muestra G2M7 cuadrante 3.....</i>	4-107
<i>Figura 110 Falla de la muestra G2M7 cuadrante 4.....</i>	4-107
<i>Figura 111 Muestra G2M8.....</i>	4-108
<i>Figura 112 Falla de la muestra G2M8 cuadrante 1.....</i>	4-108
<i>Figura 113 Falla de la muestra G2M8 cuadrante 2.....</i>	4-109
<i>Figura 114 Falla de la muestra G2M8 cuadrante 3.....</i>	4-109
<i>Figura 115 Falla de la muestra G2M8 cuadrante 4.....</i>	4-110
<i>Figura 116 Muestra G3M9.....</i>	4-110
<i>Figura 117 Falla de la muestra G3M9</i>	4-111
<i>Figura 118 Muestra G3M10</i>	4-111
<i>Figura 119 Falla de la muestra G3M10.....</i>	4-112

<i>Figura 120 Muestra G3M11</i>	4-112
<i>Figura 121 Falla de la muestra G3M11</i>	4-113
<i>Figura 122 Muestra G3M12</i>	4-113
<i>Figura 123 Falla de la muestra G3M12</i>	4-114
<i>Figura 124 Muestra G4M13</i>	4-114
<i>Figura 125 Falla de muestra G4M13 cuadrante 1</i>	4-115
<i>Figura 126 Falla de muestra G4M13 cuadrante 2</i>	4-115
<i>Figura 127 Falla de la muestra G4M13 cuadrante 3</i>	4-116
<i>Figura 128 Falla de la muestra G4M13 cuadrante 4</i>	4-116
<i>Figura 129 Muestra G4M14</i>	4-117
<i>Figura 130 Falla de la muestra G4M14 cuadrante 1</i>	4-117
<i>Figura 131 Falla de la muestra G4M14 cuadrante 2</i>	4-118
<i>Figura 132 Falla de la muestra G4M14 cuadrante 3</i>	4-118
<i>Figura 133 Falla de la muestra G4M14 cuadrante 4</i>	4-119
<i>Figura 134 Muestra G4M15</i>	4-119
<i>Figura 135 Falla de la muestra G4M15 cuadrante 1</i>	4-120
<i>Figura 136 Falla de la muestra G4M15 cuadrante 2</i>	4-120
<i>Figura 137 Falla de la muestra G4M15 cuadrante 3</i>	4-121
<i>Figura 138 Falla de la muestra G4M15 cuadrante 4</i>	4-121
<i>Figura 139 Muestra G4M16</i>	4-122
<i>Figura 140 Falla de la muestra G4M16 cuadrante 1</i>	4-122
<i>Figura 141 Falla de la muestra G4M16 cuadrante 2</i>	4-123
<i>Figura 142 Falla de la muestra G4M16 cuadrante 3</i>	4-123
<i>Figura 143 Falla de la muestra G4M16</i>	4-124
<i>Figura 144 Detalle de falla de muestra G4M16</i>	4-124
<i>Figura 145 Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G1</i>	4-125
<i>Figura 146 Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G2</i>	4-125
<i>Figura 147 Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G3</i>	4-126
<i>Figura 148 Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G4</i>	4-126
<i>Figura 149 Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G1</i>	4-127

<i>Figura 150 Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G2</i>	4-127
<i>Figura 151 Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G3</i>	4-128
<i>Figura 152 Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G4</i>	4-128
<i>Figura 153 Prueba de corte en la maquina universal INSTRON 600DX M5.....</i>	4-130
<i>Figura 154 Prueba de corte en la maquina universal INSTRON 600DX M8.....</i>	4-130
<i>Figura 155 Fallas de las muestras de corte M1 a M4.....</i>	4-131
<i>Figura 156 Falla de las muestras de corte M5 a M8</i>	4-131
<i>Figura 157 Relación de fuerza-deformación de las muestras de corte.....</i>	4-132
<i>Figura 158 Relación de esfuerzo y deformación de las muestras de corte.....</i>	4-133
<i>Figura 159 Definición de materiales para la simulación</i>	4-134
<i>Figura 160 Proceso de exportación de geometría de Revit a formato sat</i>	4-135
<i>Figura 161 Proceso de importación de geometría a Ansys Workbeanch</i>	4-136
<i>Figura 162 Contacto bonded (Barra corrugada y cordón de soldadura).....</i>	4-136
<i>Figura 163 Contacto bonded (Plancha metálica y cordón de soldadura).....</i>	4-137
<i>Figura 164 Contacto frictionless (Barra corrugada y plancha metálica)</i>	4-137
<i>Figura 165 Contacto con fricción (Acoplador prismático y plancha metálica)</i>	4-138
<i>Figura 166 Condiciones de contorno de la muestra disímil en el software Ansys</i>	4-138
<i>Figura 167 Esfuerzo Equivalente de Von Misses grupo experimental G2 y G4.....</i>	4-139
<i>Figura 168 Esfuerzo equivalente de Von Misses vista isométrica grupo experimental G2 y G4.....</i>	4-140
<i>Figura 169 Esfuerzo equivalente de Von Misses del grupo experimental G2 y G4</i>	4-140
<i>Figura 170 Deformación del grupo experimental G2 y G4 en la dirección z-z</i>	4-141
<i>Figura 171 Esfuerzo máximo y mínimo principal del grupo experimental 4.....</i>	4-141
<i>Figura 172 Factores de seguridad del grupo experimental G4.....</i>	4-142
<i>Figura 173 Esfuerzo equivalente de Von Misses del grupo experimental 1</i>	4-142
<i>Figura 174 Deformación en la dirección Z-Z del grupo experimental 1.....</i>	4-143
<i>Figura 175 Esfuerzo cortante máximo del grupo experimental 1</i>	4-143
<i>Figura 176 Esfuerzo principal máximo y mínimo del grupo experimental 1</i>	4-144
<i>Figura 177 Factor de seguridad local del grupo experimental 1.....</i>	4-144
<i>Figura 178 Esfuerzo equivalente de Von Misses del grupo experimental 3.....</i>	4-145
<i>Figura 179 Deformación en la dirección Z-Z del grupo experimental 3.....</i>	4-145

<i>Figura 180 Esfuerzo máximo de corte del grupo experimental 3.....</i>	4-146
<i>Figura 181 Esfuerzo principal máximo y mínimo del grupo experimental 3.....</i>	4-146
<i>Figura 182 Factor de seguridad local del grupo experimental 3.....</i>	4-147
<i>Figura 183 Definición de materiales para simulación de prueba de corte</i>	4-147
<i>Figura 184 Modelo analítico de acoplador de corte desarrollado en Revit.....</i>	4-148
<i>Figura 185 Contacto entre muelle de 15mm y base de platina</i>	4-149
<i>Figura 186 Contacto entre cuchilla y soporte de muelle.....</i>	4-149
<i>Figura 187 Contacto entre cabezal y cuchilla de muelle.....</i>	4-150
<i>Figura 188 Contacto entre cuchilla y barra corrugada.....</i>	4-150
<i>Figura 189 Contacto entre cuchilla y rigidizador.....</i>	4-151
<i>Figura 190 Contacto entre soporte de muelle y barra corrugada.....</i>	4-151
<i>Figura 191 Contacto entre soporte de muelle y rigidizador</i>	4-152
<i>Figura 192 Asignación de apoyo con fricción a la cara inferior del acoplador de corte.....</i>	4-152
<i>Figura 193 Carga externa aplicada al acoplador de corte.....</i>	4-153
<i>Figura 194 Esfuerzo equivalente de Von Misses</i>	4-153
<i>Figura 195 Deformación en la dirección z-z</i>	4-154
<i>Figura 196 Esfuerzo máximo de corte.....</i>	4-154
<i>Figura 197 Esfuerzo máximo principal en el ensayo de corte.....</i>	4-155
<i>Figura 198 Máxima deformación en el ensayo de corte</i>	4-155
<i>Figura 199 Factores de seguridad.....</i>	4-156
<i>Figura 200 Espectro de respuesta inelástico de pseudo aceleración.....</i>	4-160
<i>Figura 201 Modelo analítico de la cancha sintética de Huancarani</i>	4-161
<i>Figura 202 Carga muerta y carga viva de la estructura de mayor dimensión.....</i>	4-161
<i>Figura 203 Resultados de cortante basal con la aplicación del análisis modal espectral</i>	4-163
<i>Figura 204 Cortante basal dinámica re escalada de la estructura</i>	4-164
<i>Figura 205 Fuerza axial por sísmico dinámico en la dirección X-X</i>	4-165
<i>Figura 206 Fuerza axial dinámica en la dirección Y-Y</i>	4-165
<i>Figura 207 Fuerza axial producida por la carga muerta</i>	4-166
<i>Figura 208 Fuerza axial producida por la carga viva-nieve.....</i>	4-166
<i>Figura 209 Fuerza axial producida por el viento en la dirección 1 lado derecho</i>	4-167

Figura 210 Fuerza axial producida por el viento en la dirección 1 lado izquierdo	4-167
Figura 211 Fuerza axial producida por el viento en la dirección 2 lado derecho	4-168
Figura 212 Fuerza axial producida por el viento en la dirección 2 lado izquierdo	4-168
Figura 213 Momento flector ocasionado por el sismo dinámico en la dirección X-X lado izquierdo	4-169
Figura 214 Momento flector ocasionado por el sismo en la dirección X-X lado derecho	4-169
Figura 215 Momento flector ocasionado por el sismo dinámico en la dirección Y-Y lado izquierdo	4-170
Figura 216 Momento flector ocasionado por el sismo dinámico en la dirección Y-Y lado derecho	4-170
Figura 217 Momento flector ocasionado por la carga de nieve lado izquierdo.....	4-171
Figura 218 Momento flector ocasionado por la carga de viento en la dirección 1 lado izquierdo	4-171
Figura 219 Momento flector ocasionado por la carga de viento en la dirección 2 lado izquierdo	4-172
Figura 220 Croquis de ubicación de las fuerzas internas.....	4-173
Figura 221 Modelo tridimensional del grupo de conexiones disimiles	4-175
Figura 222 Geometría exportada a Ansys para la simulación de grupo de conexiones disimiles.....	4-176
Figura 223 Conexión bonded en la zona 1 del modelo analítico del grupo de conexiones	4-177
Figura 224 Conexión bonded en la zona 2 del modelo analítico del grupo de conexiones	4-177
Figura 225 Conexión frictionless en la zona 3 del modelo analítico del grupo de conexiones	4-178
Figura 226 Discretización del modelo analítico del grupo de conexiones disimiles.....	4-179
Figura 227 Discretización de piezas unidas	4-179
Figura 228 Definición de apoyos.....	4-180
Figura 229 Modelo analítico de la conexión no convencional	4-182
Figura 230 Esfuerzos internos de sismo X-X (Von Mises) en la conexión no convencional.....	4-183
Figura 231 Detalle de esfuerzo internos (Von Mises) en la barra corrugada por Sismo X-X.....	4-183
Figura 232 Esfuerzos internos de Von Misses producido por Sismo X-X en la barra corrugada.....	4-184
Figura 233 Esfuerzo interno de corte Máximo producido por Sismo X-X en la barra corrugada.....	4-184
Figura 234 Deformación Unitaria producido por Sismo X-X en la barra corrugada.....	4-185
Figura 235 Esfuerzo internos (Von Mises) en los cordones de soldadura por Sismo X-X.....	4-185
Figura 236 Esfuerzo internos (Von Mises) focalizado en el cordón de soldadura por Sismo X-X.....	4-186
Figura 237 Esfuerzo máximo de corte focalizado en el cordón de soldadura por Sismo X-X.....	4-186
Figura 238 Deformación Unitaria producido por Sismo X-X en el cordón de soldadura	4-187
Figura 239 Esfuerzo internos (Von Mises) en la plancha metálica producida por Sismo X-X.....	4-187

Figura 240 Esfuerzo internos (Von Mises) focalizado en la plancha metálica por Sismo X-X.....	4-188
Figura 241 Esfuerzo máximo de corte focalizado en la plancha metálica por Sismo X-X	4-188
Figura 242 Fuerzas internas en el apoyo no convencional producido por la carga W1	4-189
Figura 243 Esfuerzo equivalente de Von Mises en la plancha metálica para carga de viento W1	4-189
Figura 244 Esfuerzo de corte en la plancha metálica por carga de viento W1.....	4-190
Figura 245 Deformación unitaria de la plancha metálica ASTM A36 producido por carga de viento W1.4-190	
Figura 246 Esfuerzo equivalente de Von Mises en el cordón de soldadura para carga W1.....	4-191
Figura 247 Esfuerzo de corte en el cordón de soldadura producido por carga de viento W1	4-191
Figura 248 Deformación unitaria en el cordón de soldadura por carga de viento W1	4-192
Figura 249 Esfuerzo equivalente de Von Mises en la barra corrugado por carga de viento W1	4-192
Figura 250 Esfuerzo de corte en la barra corrugada producido por viento W1	4-193
Figura 251 Deformación unitaria en la barra corrugada producido por viento W1	4-193
Figura 252 Fuerzas externas equivalentes producido por viento W2 en el grupo de conexiones.....	4-194
Figura 253 Esfuerzo equivalente de Von Mises en el grupo de conexiones producido por el viento W2.....	4-194
Figura 254 Esfuerzo equivalente de Von Mises en la plancha metálica por la carga W2	4-195
Figura 255 Esfuerzo de corte en la plancha metálica producido por la carga W2	4-195
Figura 256 Deformación unitaria en la plancha metálica producido por la carga W2	4-196
Figura 257 Esfuerzo equivalente de Von Mises en el cordón de soldadura por la carga W2	4-196
Figura 258 Esfuerzo de corte en el cordón de e soldadura producida por el viento W2	4-197
Figura 259 Deformación unitaria producido por la carga de viento W2 en el cordón de soldadura	4-197
Figura 260 Esfuerzo equivalente de Von Mises en la barra corrugada por carga W2.....	4-198
Figura 261 Esfuerzo máximo de corte en la barra corrugada producido por la carga W2	4-198
Figura 262 Deformación unitaria en la barra corrugada producido por la carga W2	4-199
Figura 263 Esfuerzo equivalente de Von Mises en la barra corrugada por la carga de nieve.....	4-199
Figura 264 Esfuerzo de corte máximo en la barra corrugada producido por carga de nieve	4-200
Figura 265 Deformación unitaria en la barra corrugada producido por la carga de nieve.....	4-200
Figura 266 Esfuerzo equivalente de Von Mises en el cordón de soldadura producido por la carga de nieve	4-201
Figura 267 Esfuerzo máximo de corte en el cordón de soldadura producido por la carga de nieve	4-201
Figura 268 Deformación unitaria del cordón de soldadura producido por la carga de nieve.....	4-202

<i>Figura 269 Esfuerzo equivalente de Von Mises en la plancha metálica por la carga de nieve</i>	4-202
<i>Figura 270 Esfuerzo de corte máximo en la plancha metálica producido por la carga de nieve</i>	4-203
<i>Figura 271 Deformación unitaria de la plancha metálica producido por la carga de nieve.....</i>	4-203
<i>Figura 272 Nomenclatura de fuerza equivalente de las fuerzas internas.....</i>	5-207
<i>Figura 273 Esfuerzo máximo equivalente Von Misses en el cordón de soldadura</i>	5-211
<i>Figura 274 Distribución de esfuerzos en el cordón de soldadura en función del tamaño de soldadura</i>	5-212
<i>Figura 275 Modelo analítico simplificado preliminar de las conexiones.....</i>	5-215
<i>Figura 276 Configuración del análisis bidimensional en SAP 2000.....</i>	5-216
<i>Figura 277 Idealización de la fuerza interna equivalente.....</i>	5-217
<i>Figura 278 Excentricidades de la fuerza interna equivalente</i>	5-218

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Clasificación del acero según AISI</i>	2-20
<i>Tabla 2 Agrupación de procedimientos y especificaciones que abarca el ASTM</i>	2-21
<i>Tabla 3 Requisitos químicos del acero ASTM A36</i>	2-21
<i>Tabla 4 Propiedades mecánicas de un Plancha ASTM A36</i>	2-22
<i>Tabla 5 Diámetros de barras corrugadas ASTM A615</i>	2-22
<i>Tabla 6 Requisitos químicos acero ASTM A615</i>	2-23
<i>Tabla 7 Propiedades mecánicas de un Plancha ASTM A615 Grado 60</i>	2-24
<i>Tabla 8 Contenido de la Norma E 090</i>	2-38
<i>Tabla 9 Operacionalización de variables del problema general</i>	2-51
<i>Tabla 10 Operacionalización de variables del problema específico 1</i>	2-52
<i>Tabla 11 Operacionalización de variable del problema específico 2</i>	2-53
<i>Tabla 12 Registro de medidas 1 y 2 de las muestras de pseudo tracción</i>	4-79
<i>Tabla 13 Procesamiento del tamaño de soldadura en las muestras</i>	4-80
<i>Tabla 14 Datos de espacios deportivos en el distrito de Huancarani</i>	4-157
<i>Tabla 15 Acero longitudinal y dimensión de columnas en espacios deportivos</i>	4-158
<i>Tabla 16 Parámetros sísmicos</i>	4-159
<i>Tabla 17 Parámetros sísmico de la estructura de mayor dimensión</i>	4-162
<i>Tabla 18 Fuerzas laterales debido a la cortante basal estática</i>	4-163

<i>Tabla 19 Cortante dinámica en las direcciones ortogonales de la estructura</i>	4-164
<i>Tabla 20 Resumen de fuerzas internas axiales en el lado derecho</i>	4-172
<i>Tabla 21 Resumen de fuerzas internas axiales del apoyo izquierdo</i>	4-172
<i>Tabla 22 Momentos flectores en las barras adyacentes a la conexión lado derecho</i>	4-174
<i>Tabla 23 Momentos flectores en las barras adyacentes a la conexión lado izquierdo</i>	4-174
<i>Tabla 24 Fuerza cortante en las barras aledañas de la conexión lado derecho</i>	4-174
<i>Tabla 25 Fuerza cortante en las barras aledañas de la conexión lado izquierdo</i>	4-175
<i>Tabla 26 Momento que aporta el diagrama de momentos flectores</i>	4-181
<i>Tabla 27 Resumen de las fuerzas internas equivalentes</i>	4-181
<i>Tabla 28 Esfuerzo ultimo de las muestras ensayadas a pseudo tracción</i>	5-204
<i>Tabla 29 Resistencia promedio alcanzada por cada grupo experimental a tracción</i>	5-205
<i>Tabla 30 Resistencia promedio alcanzada por cada grupo experimental para solicitud de corte</i>	5-206
<i>Tabla 31 Fuerza equivalente de fuerzas internas de las cargas eventuales</i>	5-207
<i>Tabla 32 Fuerza interna equivalente de sismo, viento y nieve</i>	5-208
<i>Tabla 33 Esfuerzos internos y deformación unitaria ocasionada por las cargas eventuales</i>	5-209
<i>Tabla 34 Parámetros para determinar la distribución de esfuerzos en el cordón de soldadura</i>	5-211
<i>Tabla 35 Esfuerzo promedio actuante y FS en el grupo de conexiones disimiles</i>	5-214
<i>Tabla 36 Matriz de consistencia</i>	5-226
<i>Tabla 37 Operacionalización de variables problema general</i>	5-227
<i>Tabla 38 Operacionalización de variables problema específico 1</i>	5-228
<i>Tabla 39 Operacionalización de variables de problema específico 2</i>	5-229

Resumen

La presente investigación desarrolla un modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural de una conexión no convencional que une una cercha metálica tipo arco con una columna de concreto armado para evaluar la seguridad estructural frente a cargas eventuales. Este tipo de conexión no estandarizado utiliza una plancha metálica con perforaciones y las barras longitudinales de la columna para unir la cercha y la columna de concreto, la unión se realiza mediante un cordón de soldadura anular tipo filete por el proceso de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding).

El modelo analítico de la conexión no convencional se desarrolla en el software SAP 2000 en base a ensayos experimentales y simulación de elementos finitos en el software Ansys de una parte local y global de la conexión no convencional.

Los ensayos experimentales determinan la resistencia al corte y tracción de la conexión disímil de plancha metálica A36 y barra corrugada A615 que permiten calibrar el modelo analítico, después se realiza una simulación de elementos finitos en el software ANSYS de una parte local y global de la conexión no convencional para evaluar la respuesta estructural frente a las cargas eventuales. Según la respuesta estructural del apoyo no convencional (Grupo de conexiones disímiles) tiene un factor de seguridad de 1.42 a 8.17 para el esfuerzo equivalente de Von Misses, se concluye que una conexión no convencional aplicada en espacios deportivos es seguro y viable.

Palabras clave

Soldadura disímil, SMAW, ANSYS, SAP 2000, respuesta estructural.

Figura 1

Tipo de conexión no convencional de estudio (Vista frontal y vista isométrica)

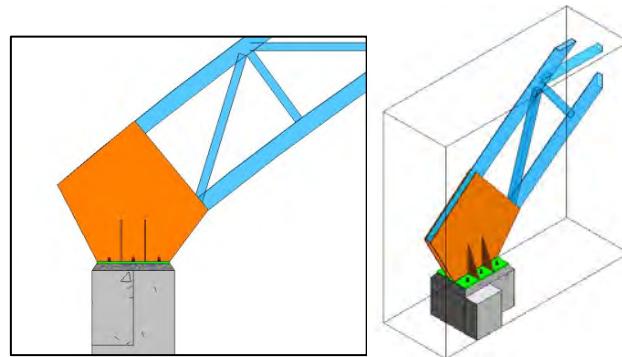


Figura 2

Grupo de conexiones disímiles (Vista isométrica y vista en planta)

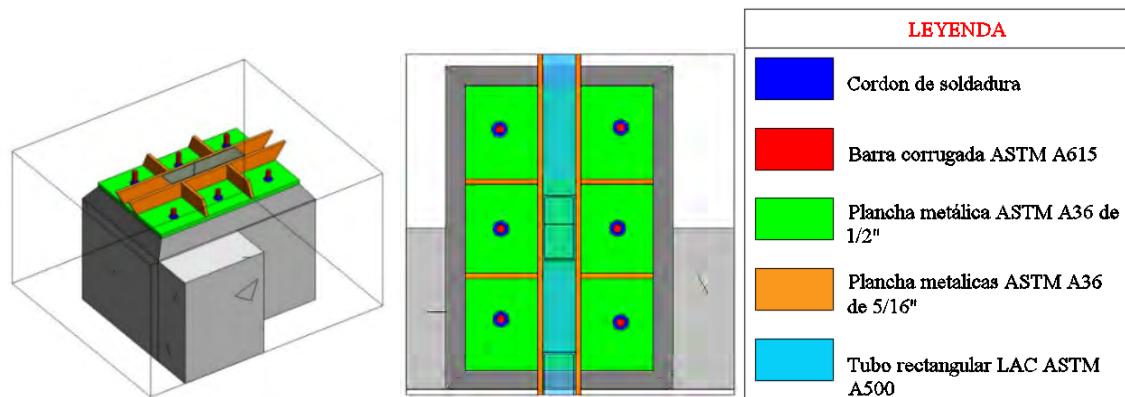
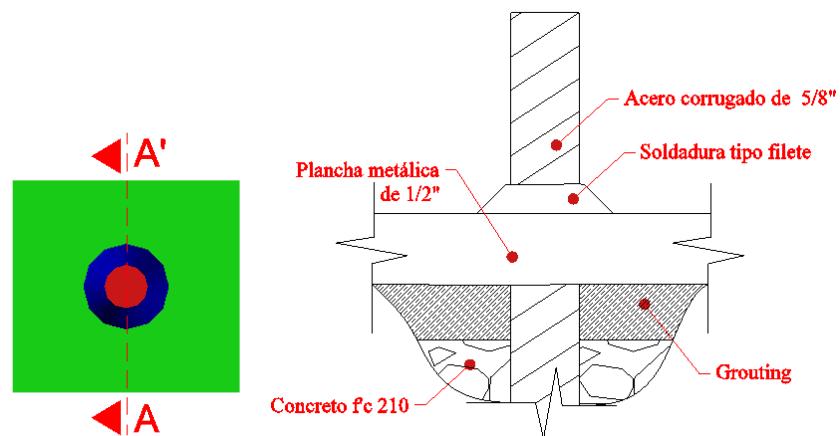


Figura 3

Conexión disímil (Vista en planta y corte A-A')



Abstract

The present research develops an analytical model that allows the estimation of the structural response of a non-conventional connection that joins an arch-type metallic truss to a reinforced concrete column in order to evaluate structural safety under eventual loads. This type of non-standardized connection utilizes a steel plate with perforations and the longitudinal bars (rebar) of the column to connect the truss and the concrete column. The connection is made by means of an annular fillet weld bead using the SMAW (Shielded Metal Arc Welding) process.

The analytical model of the non-conventional connection is developed in the SAP 2000 software based on experimental testing and finite element simulation in the Ansys software for a local and global part of the non-conventional connection.

The experimental tests determine the shear and tensile strength of the dissimilar connection between A36 steel plate and A615 rebar, which allows the analytical model to be calibrated. Subsequently, a finite element simulation is performed in the ANSYS software for a local and global part of the non-conventional connection to evaluate the structural response under eventual loads. According to the structural response of the non-conventional support (group of dissimilar connections), it has a safety factor ranging from 1.42 to 8.17 for the Von Mises equivalent stress. It is concluded that a non-conventional connection applied in sports venues is safe and viable.

Keywords

Dissimilar welding, SMAW, ANSYS, SAP 2000, structural response.

Figure 1

Unconventional connection type

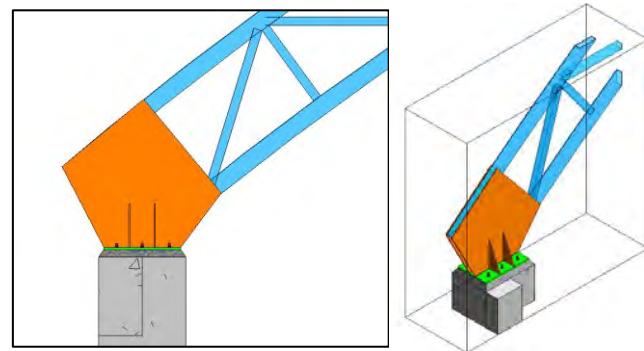


Figure 2

Dissimilar connection group

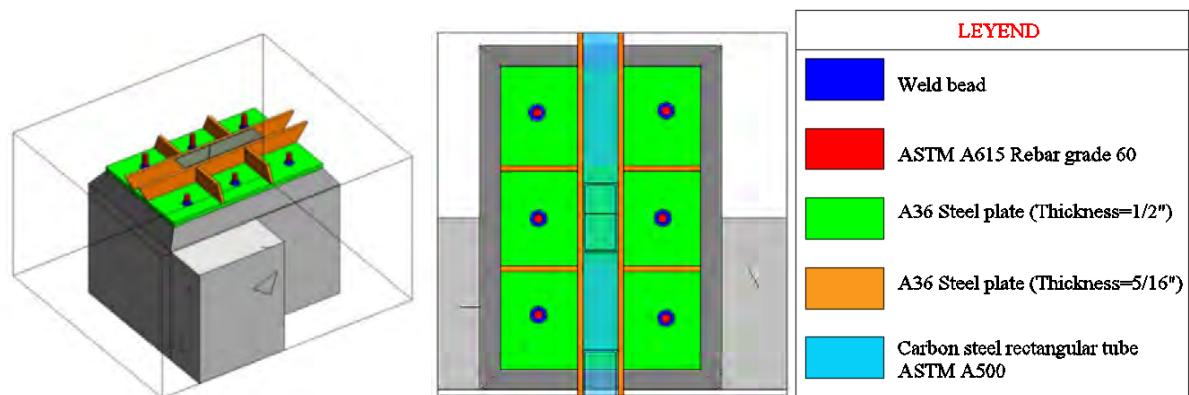
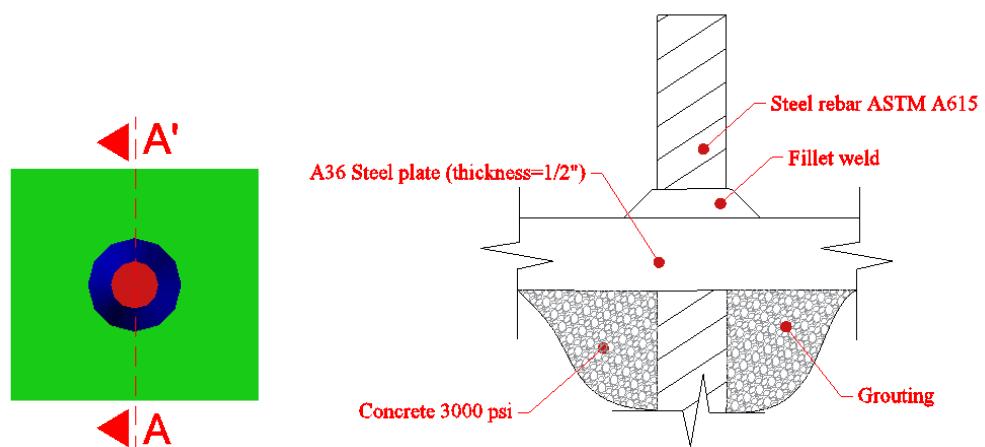


Figure 3

Disimilar connection



CAPITULO 1 Introducción, Justificación, Problema y Objetivos de la Investigación

1.1 Introducción

En el ámbito de las conexiones estructurales existen diversas formas de realizar conexiones de cerchas metálicas u otros elementos metálicos sobre columnas de concreto armado, estas uniones pueden ser mediante pernos de anclaje o uniones no convencionales¹ que emplean el proceso de soldadura SMAW para unir la cercha metálica con la columna de concreto armado mediante una interfaz de plancha metálica.

Esta investigación desarrolla un modelo matemático que permite predecir la respuesta estructural de una conexión no convencional, la respuesta estructural traducido en deformaciones-esfuerzos internos comparado con la resistencia mecánica de las conexiones disímiles permite determinar la seguridad de estas conexiones para el diseño o evaluación estructural.

Para desarrollar el modelo analítico en una primera fase se realiza una prueba de especímenes a ensayos de corte y tracción de una parte del apoyo no convencional denominado conexión disímil local que permite determinar la fuerza máxima de corte y tracción resistente de manera local, en una segunda fase se realiza una simulación con el software Ansys de los ensayos experimentales de tracción y corte, se plantea un modelo de elementos finitos que guarde concordancia con los resultados experimentales de los ensayos de corte y tracción desarrollándose una relación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo promedio en el cordón de soldadura.

¹ Una unión no convencional consiste en la conexión de columnas de concreto armado y cerchas de acero que se une mediante una plancha metálica con perforaciones a las barras longitudinales de la columna mediante un cordón de soldadura anular tipo filete.

En la tercera fase se simula una conexión no convencional (Grupo de conexiones disimiles) en el software Ansys aplicado a espacios deportivos habituales del distrito de Huancarani en base al modelo analítico desarrollado en la fase 2 y los resultados experimentales de la fase 01 para establecer una relación entre el esfuerzo máximo y el esfuerzo promedio, se aplica cargas externas eventuales de sismo, viento y nieve que se obtiene de la aplicación de la fuerza equivalente de las fuerzas internas extraídas del software SAP 2000. En base a la relación que se establece entre el esfuerzo máximo y promedio del cordón de soldadura se determina los esfuerzos promedio actuantes en el grupo de conexiones disimiles que corresponde a cada carga eventual.

Luego en la fase 4, se analiza los factores de seguridad, los esfuerzos internos y deformaciones unitarias de una conexión no convencional que está conformada por un grupo de conexiones locales de unión disímil de plancha metálica y barra corrugada ASTM A615, se muestra factores de seguridad superiores a 1.42 para el esfuerzo equivalente de Von Mises, por lo tanto, una conexión no convencional es aplicable a este tipo de espacios deportivos.

Finalmente se emplea el modelo analítico del grupo de conexiones de la fase 3 y la equivalencia de esfuerzo promedio y máximo, que se desarrolla en un cordón de soldadura para desarrollar el modelo analítico simplificado en el software SAP 2000, que idealiza el cordón de soldadura como apoyos fijos, la calibración del modelo analítico simplificado se calibra con resultados de esfuerzo interno hasta lograr un error menor a 5%.

1.2 Justificación de la Investigación

Las construcciones de estructuras metálicas se utilizan principalmente en coberturas con grandes dimensiones apoyadas sobre columnas de concreto armado, este tipo de construcciones aglomera gran cantidad de personas cuya evacuación en caso de sismo, viento o nieve no se da de manera instantánea. En la región del Cusco es muy usual el uso indiferenciado de los tipos de conexiones en la construcción de techos de almacenes, canchas

sintéticas, fabricas, etc. sin tener conocimiento claro del comportamiento estructural que puede alcanzar una conexión de soldadura disímil por falta de un modelo analítico adecuado que permita predecir el comportamiento estructural frente a cargas eventuales.

De igual manera en el distrito de Huancarani existe gran cantidad de coberturas de diferentes formas y dimensiones que emplean soldadura disímil de acero ASTM A36 y acero ASTM A615, para las conexiones entre columnas de concreto armado y perfiles tubulares de acero que conforman la estructura de la cobertura. La soldadura disímil se emplea en techos de centros educativos, techo de tribunas, fábricas de ladrillo y techos de garajes que se muestran en la Figura 4 y Figura 5 que pueden fallar estructuralmente en caso de sismo, viento o nieve, al no existir un modelo analítico que permita verificar la seguridad estructural de estas conexiones.

Figura 4

Soldadura disímil de plancha metálica y barra corrugada de una escuela



Nota. Unión de plancha metálica ASTM A36 de $\frac{1}{4}$ " y barras corrugadas de $\frac{5}{8}$ " con soldadura E 6011 en la comunidad de Huccayccancha.

En el caso de la colocación de puertas corredizas, enrollables y puertas de garaje en estas situaciones se muestra un patrón recurrente donde se atenta contra la sección transversal de las columnas de fijación al realizar un picado que elimina todo el recubrimiento del

concreto hasta llegar a los estribos de la columna para realizar el proceso de soldadura y fijación de la puerta.

Figura 5

Conexión disímil en la estructura de la cobertura de un estadio



Nota. Unión de plancha metálica de $\frac{1}{4}$ " de 15cm x15cm con barra corrugada de $\frac{1}{2}$ " y tubo cuadrado LAC ASTM A500 de 75mm x 2.5mm en la comunidad de Churo donde se muestra una cobertura de la tribuna de un estadio de césped natural donde se muestra una cobertura de policarbonato de 8mm con una armadura de tubo rectangular ASTM A500 de 50x50x2.5mm y correas de 40x40x2mm unidos mediante el proceso de soldadura SMAW con electrodo E6011.

En ese sentido es muy importante mantener su seguridad frente a la mayoría de las solicitudes eventuales que se puedan presentar y por la tanto es de vital importancia determinar un modelo analítico que permita predecir la respuesta estructural de conexiones no convencionales que emplean soldadura por arco eléctrico para unir aceros de diferente composición de carbono, aprovechando el estudio de estas conexiones disímiles de acero se plantea el uso de conexiones no convencionales en espacios deportivos habituales del distrito de Huancarani debido a que estructuras similares realizadas con conexiones disímiles tiene un comportamiento aparentemente adecuado frente a las cargas eventuales como se muestra en la Figura 6.

Figura 6

Unión Disímil de la cobertura de un Garaje



Nota. Unión de plancha metálica de 1/2" de 25cm x25cm con barra corrugada de 1/2" y tubo cuadrado LAC ASTM A500 de 150mm x 2.5mm en la comunidad de Huancarani.

1.3 Planteamiento y Formulación del Problema de Investigación

1.3.1 Problema General

¿Cuál es el modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural de una conexión de columnas de concreto armado y cerchas de acero tipo arco con perfiles tubulares mediante el proceso de soldadura SMAW con interfaz de plancha metálica ASTM A36 en espacios deportivos del distrito de Huancarani para evaluar o garantizar la seguridad del conjunto estructural ante la acción de cargas eventuales de sismo, viento o nieve y preservar la vida y salud de los usuarios?

1.3.2 Problemas Específicos

¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la conexión de plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura tipo filete?

¿Cuál es la carga eventual más crítica para una conexión no convencional?

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Determinar un modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural de la conexión de columna de concreto armado y cercha de acero tipo arco unidos mediante el proceso de soldadura SMAW con interfaz de plancha metálica ASTM A36 en espacios deportivos del distrito de Huancarani para evaluar o garantizar la seguridad del conjunto estructural ante la acción de cargas eventuales de sismo, viento o nieve y preservar la vida y salud de los usuarios.

1.4.2 Objetivos Específicos

Determinar la resistencia a corte y tracción de la unión entre plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura anular tipo filete.

Determinar la carga eventual de sismo o viento más crítica para una conexión no convencional.

CAPITULO 2 Marco Teórico, Antecedentes y Formulación de Hipótesis

2.1 *Bases Teóricas*

2.1.1 La Soldadura

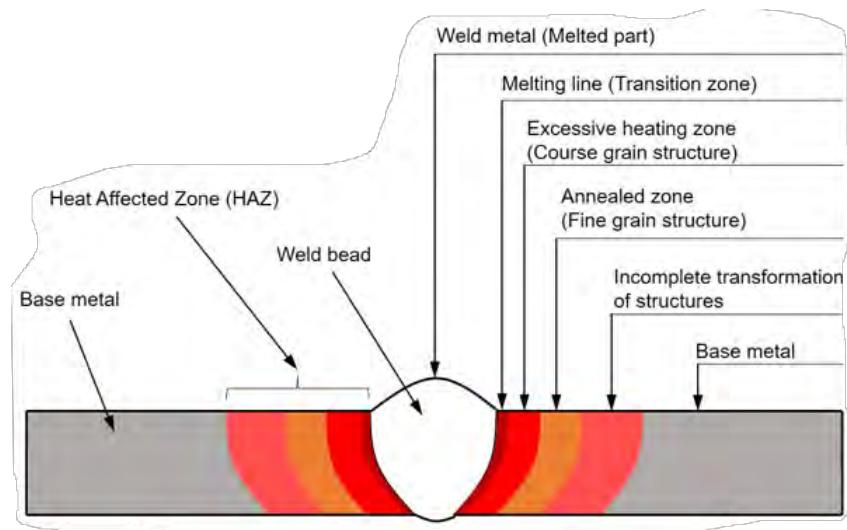
2.1.1.1 Soldadura

Según la sociedad americana de soldadura, la soldadura es un proceso mediante el cual se realiza la fusión o unión de dos elementos metálicos o no metálicos, también se puede decir que la soldadura es la coalescencia de dos elementos provocada gracias a una determinada temperatura capaz de lograr la fusión de las piezas, este proceso de unión se puede realizar con presión o con ausencia de ella, la unión a la vez puede ser realizadas con metal de aporte o sin metal de aporte (Jeffus, 2009, p. 5).

La soldadura ha evolucionado a lo largo del tiempo, uno de los primeros métodos de unión empleaba la forja para calentar los metales hasta su estado plástico para luego unirlos mediante presión, luego se pasó al proceso de soldadura por resistencia que era un proceso más rápido y fiable que el anterior, después se pasó a la soldadura por fusión que fue utilizado a finales de la primera guerra mundial. En la presente investigación se utiliza el proceso de soldadura por arco eléctrico que fue creado en el año 1907 por Oscar Kjellber (Pekkari, 2004, p. 11).

Para distinguir los componentes de un proceso de soldadura, así como las posibles zonas que se pueden distinguir durante el proceso de soldeo y después de ejecutar la soldadura en una unión ver la Figura 7 donde se muestra las zonas que se generan por la aplicación del proceso de soldeo.

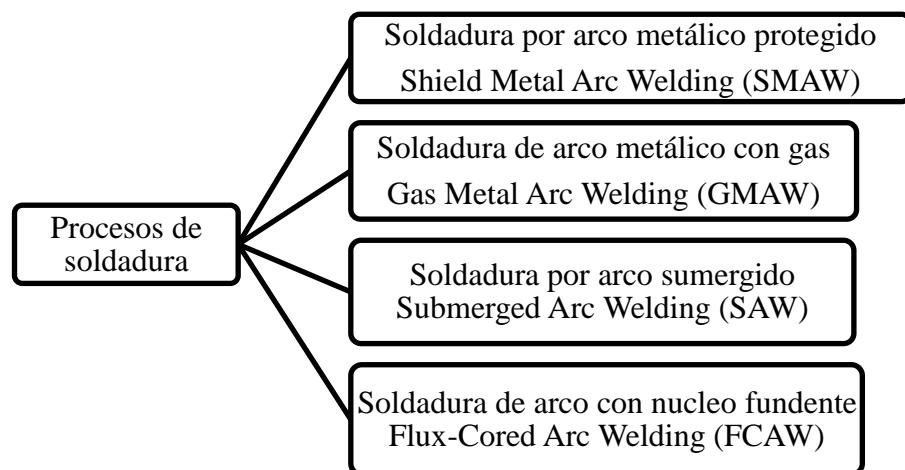
De manera general las zonas que se diferencian en el proceso de soldadura son la zona de cordón de soldadura, la zona afectada por el calor (HAZ) y el metal base.

Figura 7*Metal base y cordón de soldadura*

Nota. Figura adaptada de (Sharma et al., 2023, p. 3) donde se muestra dos zonas principales el cordón de soldadura y la zona afectada por el calor.

2.1.1.2 Procesos de Soldadura

Según AWS D1.1 (2020) se agrupa a la soldadura en 4 proceso de soldadura precalificados (p. 65), los procesos de soldadura se mencionan en la Figura 8.

Figura 8*Procesos de soldadura según el AWS D1.1*

Los 4 procesos de soldadura mencionados ya no requieren un proceso de pruebas de precalificación. En el caso de proceso de soldadura que se emplean en barras corrugadas que

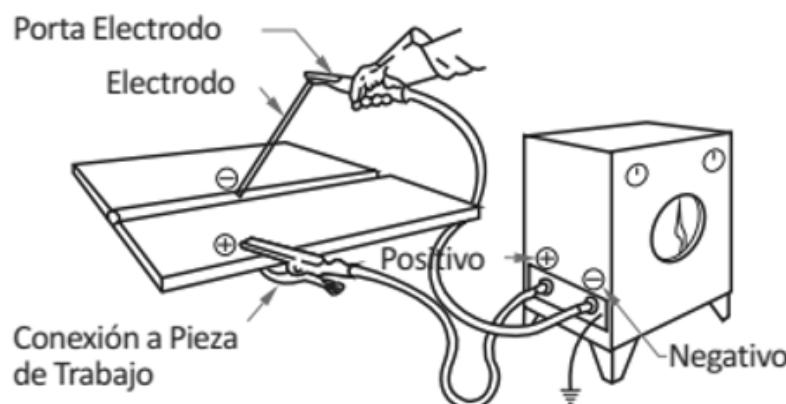
cumplen el estándar ASTM A615 se tiene los mismos procesos de soldadura sin el uso de soldadura por arco sumergido (AWS D1.4, 2018, p. 3).

2.1.1.2.1 Proceso de Soldadura SMAW

La soldadura con arco metálico protegido es un proceso de soldadura que emplea un electrodo revestido para realizar un cordón de soldadura sobre metales ferríticos y no ferríticos. Este proceso de soldadura se realiza con un generador que posee la tierra y una porta electrodo como se muestra en Figura 9.

Figura 9

Partes de un proceso SMAW



Nota. La conexión a pieza de trabajo también se conoce como tierra o masa, nótese que el porta electrodo está en negativo (Polaridad directa).

Corriente Alterna, Continua y Polaridad

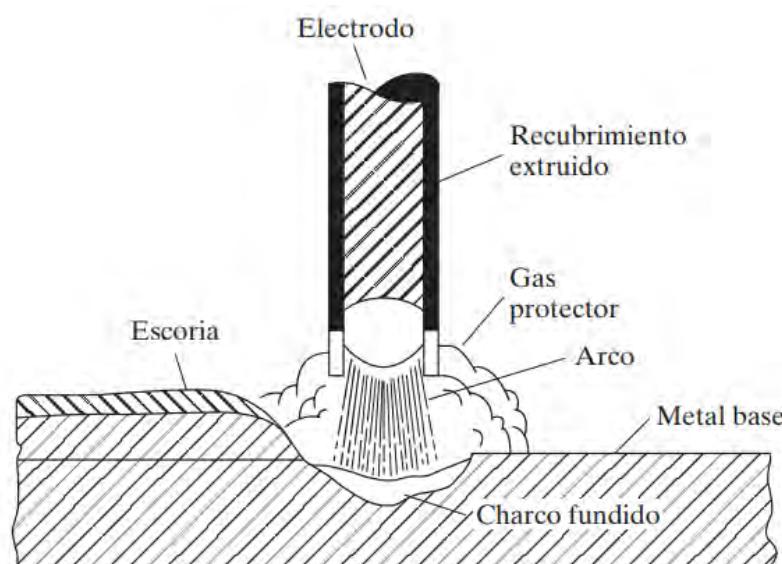
El proceso de soldadura SMAW tiene un circuito conformado por la tierra y el porta electrodo, este circuito puede ser continua (CC) y alterna (AC). La corriente alterna se da cuando el flujo de corriente es cambiante en el tiempo y la corriente continua conserva el sentido de flujo de corriente en el circuito del generador. La polaridad directa o inversa en un generador solo se da en los generadores con corriente continua mas no en la corriente alterna en el que el flujo de corriente es cambiante de manera automática, la polaridad directa se da

cuando la porta electrodo está en negativo y la polaridad inversa se da cuando el porta electrodo está en positivo.

En la Figura 10 se muestra los elementos que implica la ejecución de un cordón de soldadura siguiendo el proceso SMAW.

Figura 10

Elementos del proceso SMAW



Nota. En la imagen se aprecia el electrodo revestido que es el metal de aporte y el metal base que es el elemento que permite alojar el cordón de soldadura figura adaptada de (McCormac & Csernak, 2013, p. 473)

Para realizar un adecuado proceso de soldadura SMAW se debe seguir los siguientes pasos:

- Precalentamiento del metal base
- Utilizar electrodo adecuado
- Realizar el paso de raíz, relleno y acabado
- Realizar una inspección visual
- Realizar una prueba no destructiva

En cada una de las fases mencionadas se debe tomar énfasis en mantener libre de grasas e impurezas la zona a soldar, cuando se realiza un empalme con un nuevo electrodo en un cordón de soldadura se debe realizar una ranura que permita empalmar adecuadamente el cordón anterior con el cordón actual.

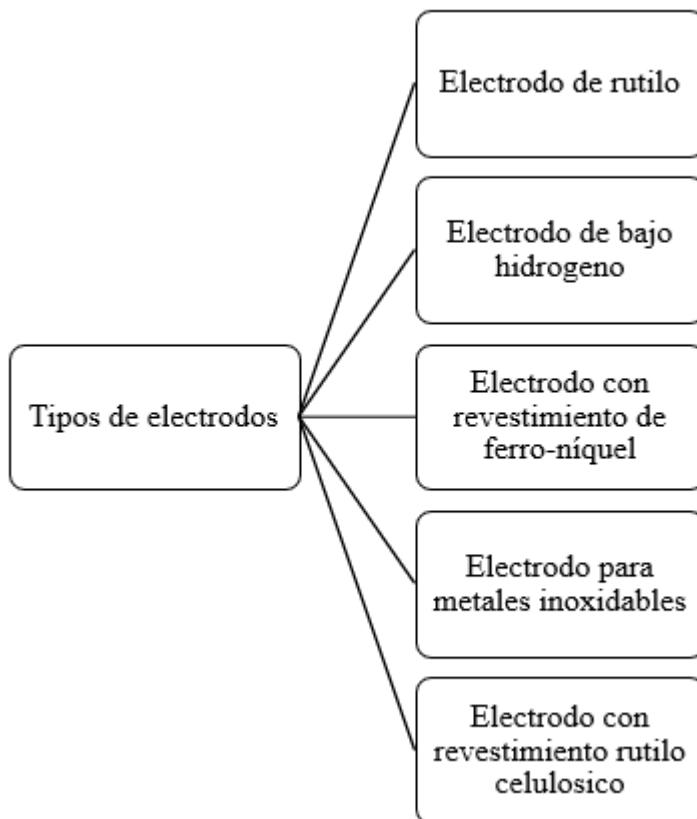
Electrodo

Un electrodo es una varilla compuesta por un núcleo y un recubrimiento que junto con el porta electrodo de una máquina de soldar ayuda a unir piezas metálicas. El electrodo se usa en el proceso de soldadura denominado SMAW, cabe destacar que el recubrimiento del electrodo proporciona el gas protector para la formación de cordones adecuados de soldadura (Flores, 2002).

Un electrodo puede ser de diferentes tipos y de acuerdo al tipo de material y la resistencia de los cordones se tienen diferentes tipos, una de las formas de clasificación es de acuerdo al material predominante en el revestimiento como se muestra en la Figura 11 (Molera Solá, 1992), de los cuales los más utilizados en el distrito de Huancarani es el electrodo 6011 y el electrodo 7018 de diámetro de 1/8”.

Un electrodo en el proceso de soldadura SMAW tiene procedimientos de almacenamiento y de recuperación en caso de contacto con la humedad de preferencia se debe conservar en lugar seco y libre de humedad para no perder las propiedades mecánicas que confiere al cordón de soldadura.

En el proceso se debe revisar con cuidado las especificaciones del almacenamiento de un electrodo, porque los electrodos con la denominación E6011 conocidos en el medio como soldadura “Punto Azul” no están diseñados para un proceso de almacenamiento en hornos debido a la composición del recubrimiento a base de celulosa de sodio y potasio que es un material higroscópico que se podría desprender del núcleo del electrodo.

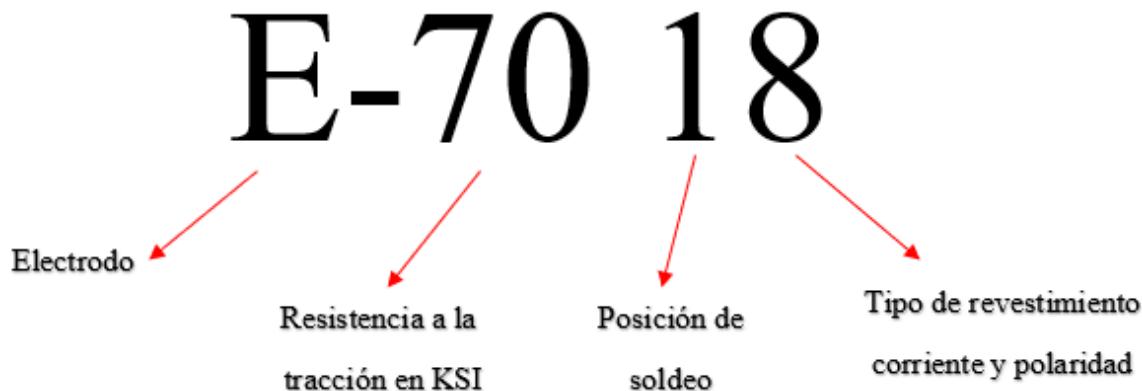
Figura 11*Tipos de electrodos según revestimiento*

Para un mejor entendimiento de los electrodos revestidos se da la necesidad de una norma de estandarización, ahí es donde interviene la AWS (American Welding Society) quien tiene la siguiente simbología como se muestra en la Figura 12 para identificar rápidamente las propiedades mecánicas y las posiciones disponibles que puede ser usado el electrodo revestido.

Cada varilla de electrodo tiene en la parte inferior de la zona de sujeción (Zona sin recubrimiento) por el porta electrodo la marca de fabricante y el código según el estándar del AWS como un dato adicional se indica que los electrodos tienen diferentes colores en base a la composición del recubrimiento del núcleo fundente del electrodo. La normativa de referencia que abarca la denominación adecuada de un electrodo para el proceso de soldadura SMAW es el AWS A5.1.

Figura 12

Nomenclatura de identificación de un electrodo del proceso SMAW



La letra E inicial de la simbología hace referencia a que es un electrodo revestido, el número 70 que se muestra en la Figura 12 indica la resistencia a la tracción en ksi, el número 1 que vas después del número 70 indica las posiciones de soldeo que se puede emplear, si está el numero 1 indica que es disponible para soldar en todas las posiciones y un numero 2 indica que el electrodo es soldable solo en la posición horizontal y vertical.

Finalmente, el ultimo digito de la simbología indica si es tipo celulósico, rutílico o bajo hidrógeno según el siguiente detalle:

- Los dígitos 0-1 tipo celulósico
- Los dígitos 3-4 tipo rutílico
- Los dígitos 5-6-8 indican bajo hidrógeno o tipo básico

Funciones del recubrimiento de electrodo

El recubrimiento o revestimiento del electrodo tiene la función primordial de generar un ambiente atmosférico que permite proteger la soldadura del oxígeno excesivo, ya que, el oxígeno puede ocasionar porosidades en los cordones de soldadura (Portillo Davila, 2018).

Las propiedades que confiere el revestimiento al proceso de soldadura son:

- El revestimiento confiere desoxidantes
- El revestimiento facilita el proceso de inicio del arco eléctrico

- El revestimiento da al cordón la forma y penetración
- El revestimiento protege el cordón de soldadura del ambiente
- El revestimiento fusiona la escoria
- El revestimiento facilita la estabilidad del arco eléctrico

Las ventajas de soldar con electrodo revestido

- Un bajo nivel de inversión
- Proceso de soldado simple, flexible y portable
- Acceso a lugares con dificultades de acceso
- Capacidad de soldar metales no ferrosos y ferrosos

Limitaciones del electrodo revestido

- La productividad es menor a las soldaduras MIG y MAG.
- La velocidad de deposición es menor
- Posee un 60% de rendimiento frente a otros tipos como el MIG y MAG que poseen un 95%.

Los electrodos tienen un tipo de almacenamiento específico en función del tipo de revestimiento del electrodo, por ejemplo, en electrodos de bajo hidrógeno como el E7018 se debe almacenar en hornos que mantengan una temperatura de 30°C a 140°C, en caso de contacto con la humedad se debe realizar un proceso de secado en un horno a una temperatura de 260°C a 425°C por un periodo de 01 a 02 horas (AWS A5.1, 2012, p. 35).

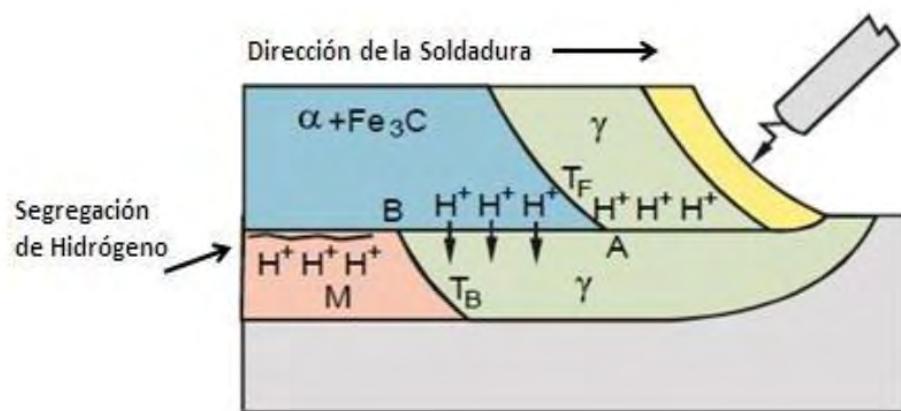
Cordón de Soldadura

Un cordón de soldadura es la interfaz que existe entre dos piezas unidas por un proceso de soldadura, en el proceso de soldadura SMAW se genera por la fusión del electrodo con las piezas, en este proceso se presentan dos zonas que se diferencian por los efectos alcanzados por el calor generado por el arco eléctrico, la primera zona es el cordón de soldadura donde se presenta todo el aporte del electrodo junto a las piezas soldadas luego se

presenta una zona denominada HAZ (Zona afectada por calor). Debido al proceso de variación de la temperatura desde la aplicación del electrodo hasta la zona afectada por el calor se presentan diversas microestructuras que se generan debido a la variación en el proceso de enfriamiento.

Figura 13

Microestructura generada en un proceso de soldadura SMAW



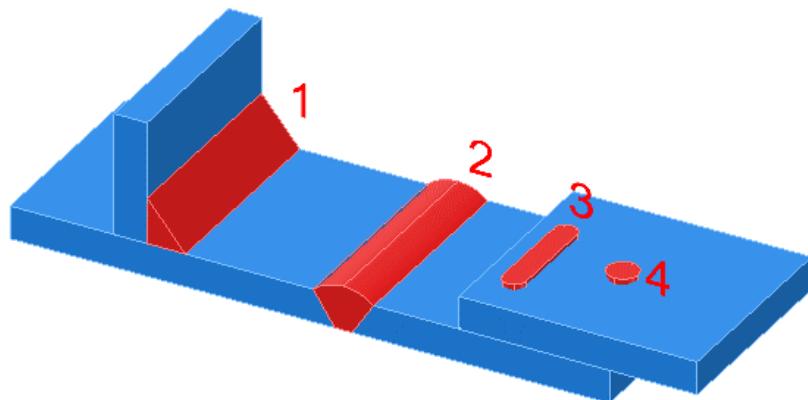
Nota. En la figura se aprecia cuatro zonas de microestructura de color amarillo, verde, azul y rojo figura adaptada (Esquicha Larico, 2018, p. 55)

El color amarillo corresponde a la microestructura austenita (γ) sin solidificar, el color verde corresponde a la austenita solidificada, el color azul corresponde a la ferrita + cementita (Perlite), el color rojo representa la microestructura de martensita y H^+ es el hidrógeno difusible que es significativo en aceros con una composición mayor a 0.3% de carbono (AWS A5.1, 2012, p. 42)

2.1.1.3 Tipo de Soldadura

Según McCormac & Csernak, (2013) se tiene 4 tipos de soldadura, el tipo de soldadura hace referencia a la forma de unión entre dos piezas de metal (p. 478). En la Figura 14 se aprecia las diferentes formas de soldadura.

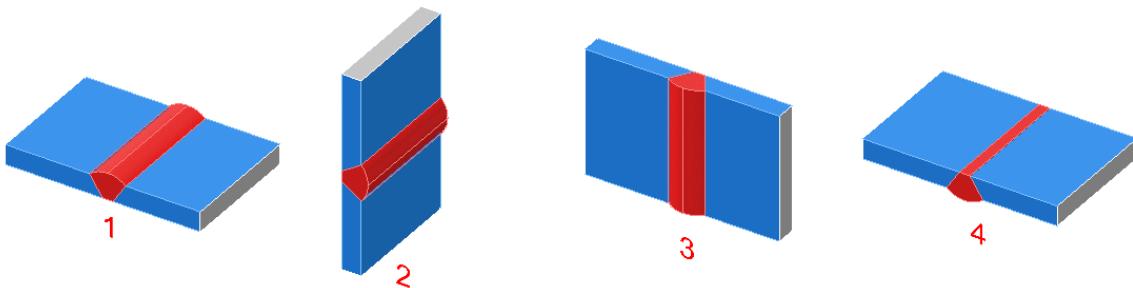
Cada tipo de soldadura se emplea en función de las condiciones del entorno de la conexión y la geometría del material a soldarse.

Figura 14*Tipo de soldadura*

Nota. Soldadura tipo filete (1), soldadura tipo ranura (2), soldadura tipo muesca (3) y soldadura tipo tapón (4).

2.1.1.4 Posiciones de Soldadura

Según AISC (2016), indica que existen 4 posiciones de soldadura (p. 117), los cuales pueden ser combinados con el tipo de soldadura filete o ranura observe la Figura 15.

Figura 15*Posiciones de soldadura*

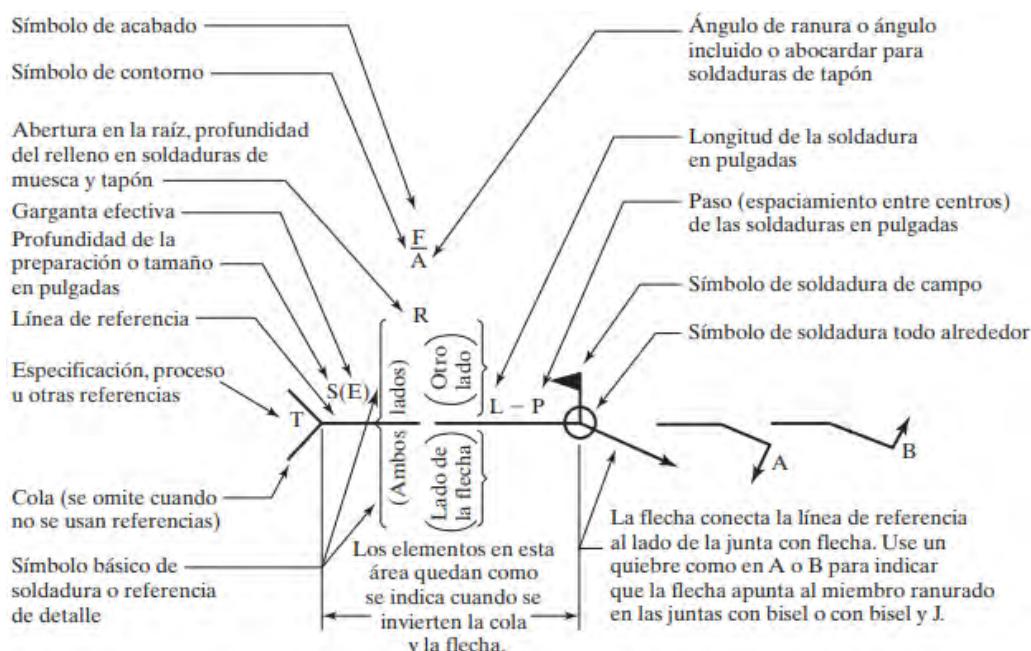
Nota. Soldadura plana (1), soldadura horizontal (2), soldadura vertical (3) y soldadura sobre cabeza (4).

2.1.1.5 Simbología en Soldadura

Para representar una soldadura en planos estructurales se debe seguir la simbología establecida de acuerdo con (AWS A2.4, 2020, p. 4), la simbología adoptada por la AWS es la que se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Simbología de los diferentes elementos de una soldadura



Nota. Imagen extraída de (McCormac & Csernak, 2013, p. 481)

La soldadura tipo ranura se representa mediante una geometría que representa la forma del biselado de las piezas a unir y la soldadura tipo filete se representa mediante un triángulo rectángulo como se muestra en la figura 8 y como se muestra en la figura la posición de la simbología es de vital importancia para ubicar adecuadamente el cordón de soldadura.

La simbología es de vital importancia para garantizar la transmisión de la fase diseño y planos estructurales en la fase de ejecución, cualquier interrogante que surge frente a la representación de una configuración de un cordón de soldadura se debe revisar el (AWS A2.4, 2020).

Figura 17*Simbología del tipo de soldadura*

RANURA							
EN ESCUADRA	REBAJE	EN V	BISEL	EN U	EN J	EN V ABOCINADA	BISEL ABOCINADO

FILETE	TAPÓN	RANURA	PERNO	PUNTO O PROYECCIÓN	COSTURA	RESPALDO	RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL	BORDE

Nota. Imagen adaptada de (AWS A2.4, 2020, p. 2)

2.1.2 El Acero

2.1.2.1 Clasificación del Acero

El acero se puede clasificar de diversas maneras, una de las formas más habituales de clasificación es de acuerdo con su contenido de carbono o por la resistencia que presenta frente al proceso de oxidación. A continuación, se indica diversos organismos que poseen criterios de clasificación del acero.

Según AISI (Instituto Americano del Hierro y Acero)

Según este organismo el acero se puede agrupar en 9 grupos, el primer dígito indica la aleación principal, el segundo dígito indica el elemento característico y los dos últimos dígitos muestra el porcentaje de carbono en porcentaje dividido entre cien.

Tabla 1*Clasificación del acero según AISI*

Nomenclatura	Componente principal
1XXX	Carbono
2XXX	Níquel
3XXX	Níquel Cromo
4XXX	Molibdeno
5XXX	Cromo
6XXX	Cromo y Vanadio
7XXX	Tungsteno-Cobalto
8XXX	Níquel-Cromo-Molibdeno
9XXX	Manganoso-Silicio

En la clasificación del acero por el AISI también se puede tener las series 200, 300 y 400 que corresponde al acero inoxidable que debe tener un contenido de cromo mayor a 10.5%.

Segun AISC (American Institute of Steel Construction)

Según el AISC agrupa al acero en 5 grupos de acuerdo al tipo de sección proyectada donde cada grupo presenta una lista de estándares en base al ASTM para definir su composición, se precisa que la elaboración del acero debe cumplir los lineamientos generales indicados en el ASTM A6 / A6M y el A568 / 568M. Cada grupo de sección engloba diversas especificaciones cuya característica similar entre todas es que inicia por la letra A, indicando que corresponde a la clasificación del acero como ASTM A36 o ASTM A615 que corresponde a la plancha metálica y barra corrugada de construcción materiales de importancia en la presente investigación.

Segun ASTM (American society of testing and materials)

El ASTM es un estándar de especificación técnicas, guía de prueba de materiales, recomendaciones y especificaciones de clasificación de diversos materiales. Como es un

estándar que abarca diversas áreas se agrupa en 7 grupos clasificados por las letras A, B, C, D, E, F y G.

Tabla 2

Agrupación de procedimientos y especificaciones que abarca el ASTM

Prefijo	Significado
A	Corresponde a la clasificación del acero
B	Clasificación de metales no ferrosos
C	Materiales de construcción cemento, concreto y cerámica.
D	Diversos materiales como el caucho, polímeros y petróleo)
E	Pruebas o test
F	Productos no abarcados en los demás grupos hardware, dispositivos médicos y pernos de anclaje.
G	Corresponde a la corrosión y degradación del ambiente

2.1.2.2 Propiedades Mecánicas del Acero ASTM A36 y ASTM A615

Acero ASTM A36

Son perfiles, planchas o barras que cumplen con la composición química que se muestra en la Tabla 3, en la investigación se emplea en la conexión disímil y la mayor virtud de este material es la facilidad para el proceso de soldabilidad debido a la baja composición de carbono y ductilidad.

Tabla 3

Requisitos químicos del acero ASTM A36

Elemento	%
Carbono	0.26 Max
Fosforo	0.04 Max

Elemento	%
Azufre	0.05 Max
Silicio	0.40 Max

Nota. Los requisitos químicos corresponden a barras y planchas con un espesor menor a 15 pulgadas, imagen adaptada (ASTM A36, 2014, p. 2)

En la presente investigación se utiliza planchas metálicas que cumplen con el estándar ASTM A36, las planchas metálicas tienen una medida comercial de 1.2m x 2.40 m y presentan propiedades mecánicas de acuerdo con la normativa ASTM A36 que se muestra en la Tabla 4

Tabla 4

Propiedades mecánicas de un Plancha ASTM A36

Requisitos de resistencia y deformación	
Esfuerzo de tracción	58ksi a 80 ksi
Esfuerzo de fluencia	36 ksi
Elongación en 8in	Min 20 %
Elongación en 2in	Min 23%

Nota. Los requisitos de resistencia y deformación corresponden a Planchas Metálicas (ASTM A36, 2014, p. 2)

Acero ASTM A615

Son barras de acero corrugadas cuyo esfuerzo de fluencia mínimo puede ser de diferentes grados como 40 ksi, 60 ksi, 75 ksi o 80ksi. Las barras corrugadas pueden ser soldadas de acuerdo con las recomendaciones y procedimientos que indica el AWS D1.4, el diámetro de las barras corrugadas es diversa como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5

Diámetros de barras corrugadas ASTM A615

Bar nro	Peso Nominal, Lb/ft [Masa Nominal, kg/m]	Diámetro, in. [mm]	Área Sección Transversal, in^2 [mm^2]	Perímetro, in. [mm]
3 [10]	0.376 [0.560]	0.375 [9.5]	0.11 [71]	1.178 [29.9]

Bar nro	Peso Nominal, Lb/ft [Masa Nominal, kg/m]	Diámetro, in. [mm]	Área Sección Transversal, in ² [mm ²]	Perímetro, in. [mm]
4 [13]	0.668 [0.994]	0.500 [12.7]	0.20 [129]	1.571 [39.9]
5 [16]	1.043 [1.552]	0.625 [15.9]	0.31 [199]	1.963 [49.9]
6 [19]	1.502 [2.235]	0.750 [19.1]	0.44 [284]	2.356 [59.8]
7 [22]	2.044 [3.042]	0.875 [22.2]	0.60 [387]	2.749 [69.8]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.000 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]
9 [29]	3.400 [5.060]	1.128 [28.7]	1.00 [645]	3.544 [90.0]
10 [32]	4.303 [6.404]	1.270 [32.3]	1.27 [819]	3.990 [101.3]
11 [36]	5.313 [7.907]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]	4.430 [112.5]
14 [43]	7.65 [11.38]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]	5.32 [135.1]
18 [57]	13.6 [20.24]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]	7.09 [180.1]

Nota. Diámetros normalizados, tabla adaptada de (ASTM A615, 2012, p. 2)

La composición del acero ASTM A615 se debe determinar de acuerdo con el estándar ASTM A751, en la composición química del acero ASTM A615 se restringe el contenido de fosforo que debe ser menor a 0.06%, la composición del acero corrugado ASTM A615 Grado 60 es la que se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Requisitos químicos acero ASTM A615

Elemento	%
C	0.386
Mn	0.928
Si	0.200
P	0.036
S	0.037
Ni	0.050
Cr	0.013
Mo	0.015
Cu	0.180
V	0.030

Nota. Tabla que muestra resultados de un análisis de espectrógrafo atómico adaptada de (Vega et al., 1999).

En la investigación se utiliza acero ASTM A615 grado 60 cuyas propiedades mecánicas se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7

Propiedades mecánicas de un Plancha ASTM A615 Grado 60

Requisitos de resistencia y deformación	
Esfuerzo de tracción	90 ksi
Esfuerzo de fluencia	60 ksi
Elongación 8 in (Barras de 3/8" a 1")	Min 9 %

Nota. Los requisitos de resistencia y deformación corresponden Barras Corrugadas ASTM A 615 Grado 60 (ASTM A615, 2012, p. 3)

2.1.3 Modelo Analítico

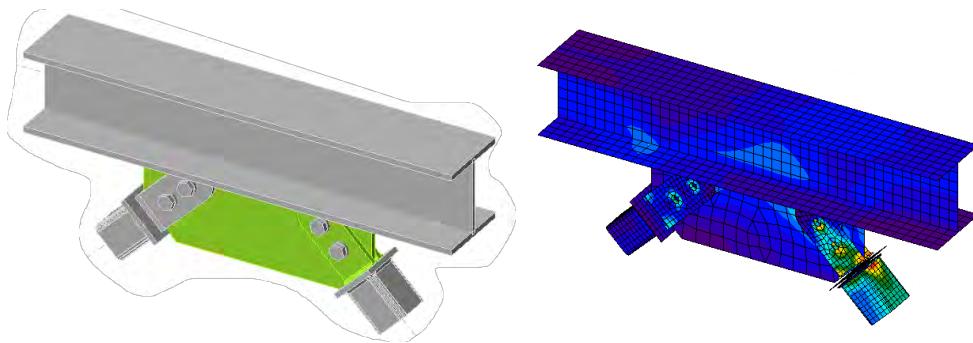
Un modelo analítico es la idealización y simplificación de una estructura real en elementos simples con el propósito de realizar un análisis estructural de manera más eficiente y sencilla, el modelo analítico debe reflejar las propiedades de los elementos de manera adecuada considerando su geometría y sus restricciones (Aslam, 2014, p. 12).

Para el correcto desarrollo de un modelo analítico se debe tomar en consideración los apoyos, las conexiones y los elementos que conforman la estructura como se muestra en la Figura 18. Un modelo analítico se puede emplear para un análisis global de una estructura y también se pueden emplear modelos analíticos locales que permitan modelar con mayor detalle los elementos más sensibles como los apoyos y conexiones.

Un modelo analítico de un elemento estructural o una conexión se realiza en base a las condiciones del entorno y las propiedades geométricas que predominan un elemento estructural, por ejemplo, para vigas y columnas donde la longitud de largo o altura es el elemento predominante se puede idealizar como una recta, por otro lado una losa de entrepiso dependiendo si es una losa aligerada o bidireccional se puede idealizar como una superficie con dos dimensiones predominantes.

Figura 18

Modelo analítico de una conexión estructural



Nota. A la izquierda se muestra una conexión estructural de acero y a la derecha se aprecia su modelo analítico con una discretización tridimensional.

2.1.3.1 Modelo Analítico de Elemento Tipo Barra

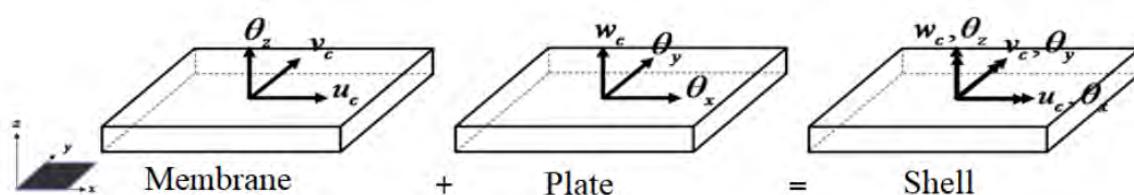
Este tipo de modelo analítico se realiza para elementos estructurales que tienen una dimensión mucho mayor que las otras dos dimensiones. Este tipo de modelo analítico se utiliza en el modelamiento de vigas, columnas, tensores, etc. Un elemento tipo barra permite ahorrar la capacidad de cómputo de un ordenador, para simular con una mayor eficiencia el modelo analítico de estructuras frente a diversos cambios que se realicen.

2.1.3.2 Modelo Analítico de Elemento Tipo Área

Este tipo de modelo analítico tiene dos dimensiones representativas y se clasifica según a la cantidad de grados de los nodos que unen las pequeñas áreas discretizadas se pueden clasificar en Shell, Plate o Membrane, ver la Figura 19 adaptada de (Kömürçü & Yilmaz, 2019)

Figura 19

Modelo analítico de un elemento tipo área

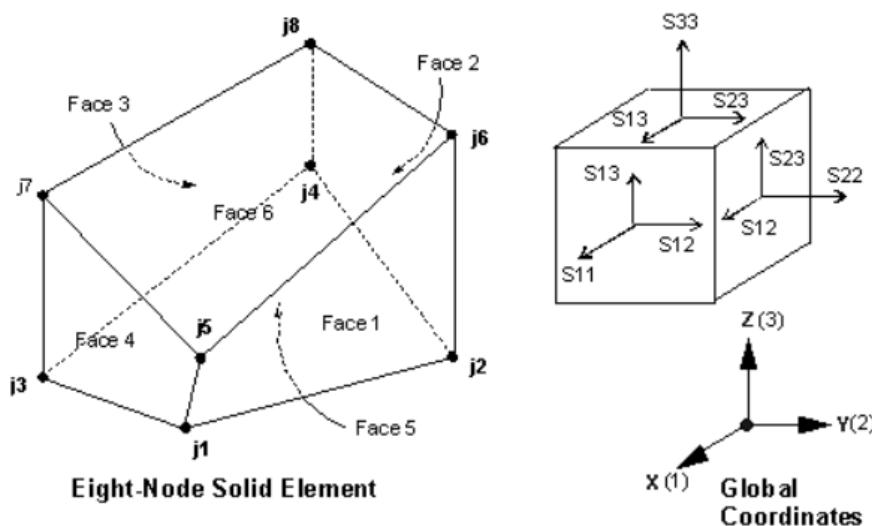


2.1.3.3 Modelo Analítico de Elemento Tipo Solido

Este tipo de modelo analítico se aplica en situaciones de análisis y diseño estructural de elementos que no tienen una dimensión predominante y su análisis se emplea generalmente en conexiones estructurales.

Figura 20

Estado de esfuerzos de un elemento tipo sólido



Nota. Imagen adaptada de SAP 2000 Help.

2.1.4 Cargas Eventuales

Las cargas externas que soporta una estructura se pueden agrupar en carga viva, muerta y ambiental. Las cargas ambientales son aquellas cargas que se presentan de manera eventual dentro de una estructura como la carga de viento, nieve, sismo, etc. La carga muerta es producida por el peso propio de la estructura y la carga viva es producida por elementos móviles que se alojan dentro de la estructura (Aslam, 2014, p. 17)

Las cargas externas que soporta una estructura también se pueden agrupar en dos grupos como la carga muerta y la carga viva (Hassoun & Al-Manaseer, 2020, p. 5).

Las cargas eventuales son cargas que se producen debido a la acción de fenómenos externos del medio ambiente, las cargas eventuales son cargas externas que debe soportar una

estructura para garantizar un tiempo adecuado de respuesta para la evacuación de personas en caso de sismo severos, este tipo de cargas eventuales se estima en base a una probabilidad de ocurrencia en un determinado tiempo.

Las cargas estimadas que soporta una estructura deben ser sometidos a factores de amplificación y combinaciones de carga para elegir la combinación más desfavorable (American Society of Civil Engineers, 2022, p. 7).

Para diseñar adecuadamente una estructura frente a cargas externas se debe usar un método de diseño adecuado de acuerdo con el comportamiento del material que se utiliza, para estructuras tubulares de acero y elementos de concreto armado se utiliza el método de diseño LRFD.

Para estimar una carga eventual existe diversas normativas que permiten simplificar el fenómeno físico para su aplicación a un modelo analítico.

2.1.4.1 Cargas Eventual de Sismo

La carga eventual de sismo se produce cuando el terreno de fundación de las estructuras adquiere una aceleración horizontal y vertical, para estimar las fuerzas externas que ocasiona un sismo sobre una estructura existe varios métodos como el análisis sísmico estático, el análisis modal espectral y el análisis sísmico tiempo historia, en la presente investigación se utiliza el análisis modal espectral para estimar las fuerzas sísmicas.

El análisis modal espectral es un análisis dinámico que permite determinar la aceleración de la estructura en función de su periodo, en elementos estructurales que tiene varios periodos de vibración se utiliza una combinación de cada aceleración correspondiente a cada periodo para estimar la respuesta esperada.

El elemento esencial que permite el análisis modal espectral es el espectro de respuesta de pseudo aceleraciones que puede ser de diseño o elástica, la principal diferencia entre el espectro de respuesta de diseño y el elástico es su uso.

El espectro de respuesta elástico es aquel espectro de pseudo aceleraciones que no presenta ninguna reducción en la aceleración esperada y el espectro de diseño es la gráfica de respuesta de pseudo aceleraciones reducida por un factor que depende de la propiedad de los materiales que conforman la estructura, para realizar un análisis modal espectral es necesario definir un modelo analítico con amortiguamiento, masa y rigidez.

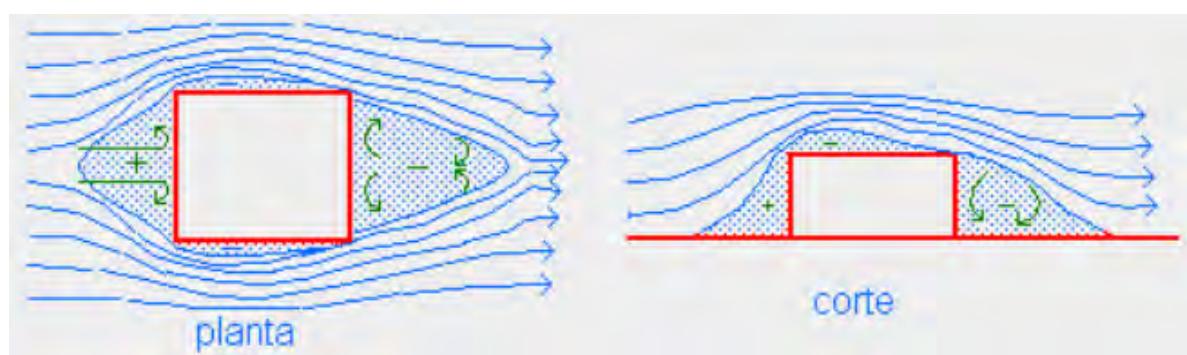
2.1.4.2 Carga eventual de Viento

La carga eventual de viento en el mundo del análisis estructural se idealiza como una carga lateral que provoca una presión o una succión perpendicular a la superficie, cuando se presenta el fenómeno de presión se habla del barlovento y en el caso de succión se da el sotavento.

En el caso de coberturas metálicas que tienen una superficie continua a veces se plantea una cobertura con desniveles divididos en paños para evitar el fenómeno de desprendimiento de vórtices de Von Kármán. Para mitigar el efecto se debe usar coberturas con bordes curvos o dispositivos rompe vórtices.

Figura 21

Carga eventual de viento



Nota. Imagen adaptada de (Zapata Baglietto, n.d.).

Para cuantificar la carga eventual de viento se debe seguir el procedimiento dado por la norma E 020 que indica que la fuerza del viento depende de la altura de la estructura y del

tipo de estructura, en la norma se enfatiza que las estructuras deben diseñarse con una velocidad de viento mínima de 75 km/h.

La carga de viento puede en ocasiones provocar vórtices en las coberturas curvas por lo que en ocasiones se debe usar una misma cobertura en varias franjas divididas por un desnivel de su superficie. El procedimiento para determinar la carga eventual es el siguiente:

- Determinar la velocidad de diseño en km/h
- Determinar el factor C de forma que depende de tipo de estructura

Figura 22

Factores de forma de una carga de viento

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3	-0.6

Nota: Imagen adaptada de la norma E 020

- Determinar la carga exterior de viento P_h en kg/m^2

2.1.4.3 Carga eventual de Nieve

La carga eventual de nieve se da con mayor frecuencia en zonas con una altitud mayor a 3300 msnm, en el caso de la investigación que se desarrolla en el distrito de Huancarani que se localiza a 3800 msnm es frecuente la presencia de este tipo de carga viva por lo que se toma énfasis para un adecuado análisis de este tipo de carga viva.

La carga de nieve es una carga viva que no es muy habitual en provincia del Cusco por lo que en varias ocasiones se ha omitido su análisis provocando fallas estructurales en varias estructuras de cerchas metálicas como se muestra en la Figura 23, donde existe una

gran posibilidad de que la estructura no se haya diseñado y solo se haya seguido un conocimiento empírico trasladado de otro tipo de cobertura, viendo la imagen se puede medir la magnitud de daños y pérdidas humanas que implica la falla de este tipo estructura.

Figura 23

Falla estructural de un techo metálico curvo por carga de nieve



Nota: Falla estructural de techo metálico producido por carga viva (Nieve) en San Jerónimo.

Para analizar la carga eventual de nieve se debe cuantificar de acuerdo con la densidad de la nieve que es de 100 a 400 kg/m^2 , también se debe utilizar un determinado espesor de acumulación en la cobertura que depende del grado de inclinación de la cobertura y de su forma.

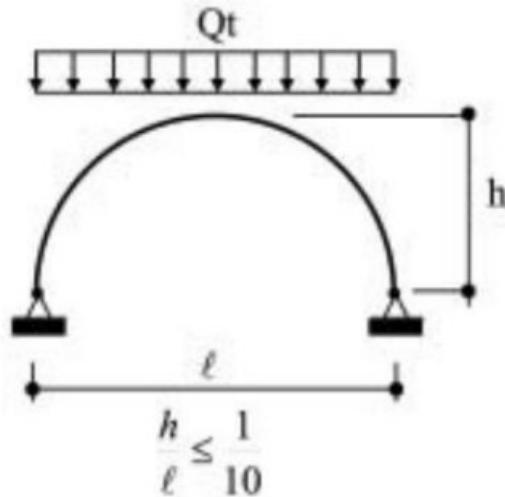
La carga de nieve se debe considerar como mínimo de 0.40 m en caso de nieve fresca y de un espesor de 0.20 m en el caso de nieve compacta, esto de acuerdo con las recomendaciones de la norma E 020, en otras palabras, la carga mínima de nieve debe ser de 40 Kg/m^2 .

Para determinar la carga de nieve se debe seguir el siguiente procedimiento:

- Estimar el espesor de nieve acumulado en la cobertura de acuerdo con su grado de inclinación, esta carga debe ser como mínimo de $40Kg/m^2$ según los establece la norma E 020.

Figura 24

Idealización de carga balanceada de nieve

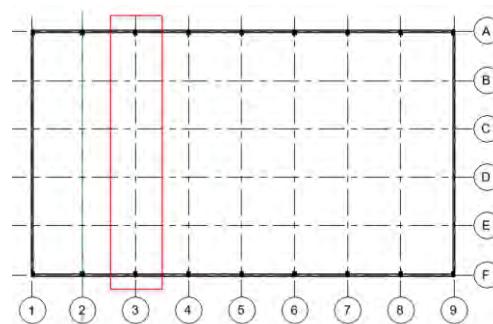


Nota. Para techos curvos con $h/l > 0.1$ se debe evaluar el arco con cargas desbalanceadas.

- Estimar la densidad de nieve si es compacta o fresca y comparar con la carga mínima.
- Determinar el área de influencia de una cercha metálica tipo arco para determinar el área tributaria.
- La carga de nieve sobre techos se estima como el 80% de la carga básica de nieve sobre el suelo (Q_s) o el 100% dependiendo de la pendiente o la curvatura de la cobertura.

Figura 25

Área de influencia de una cercha metálica tipo arco



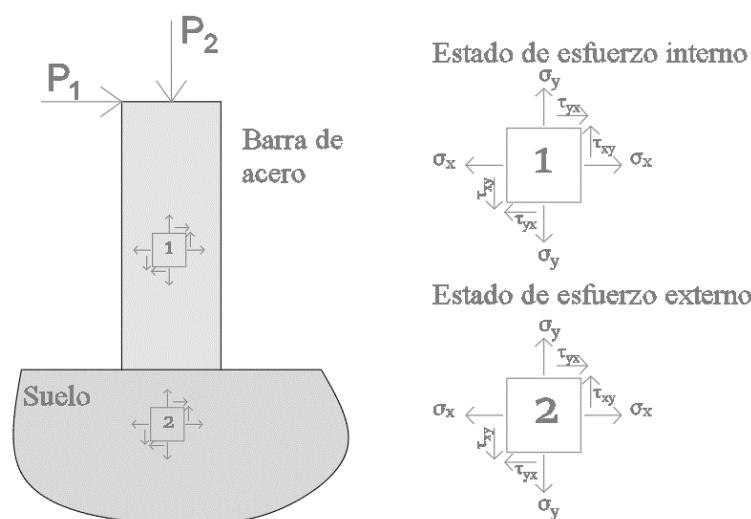
- Idealizar la carga de nieve como una carga distribuida con dirección a la gravedad.
- Realizar la carga de nieve en el análisis estructural como carga distribuida por longitud o por área para graficar los diagramas de momentos flectores, fuerzas cortantes y fuerzas axiales de los elementos estructurales.

2.1.5 Esfuerzos internos

Un esfuerzo es la fuerza desarrollada sobre un área, en una estructura los esfuerzos pueden ubicarse dentro del mismo elemento estructural o se pueden localizar fuera del elemento estructural, los esfuerzos que se desarrollan fuera del elemento estructural son los esfuerzos externos como se observa en la Figura 26.

Figura 26

Estado de esfuerzos internos de una estructura

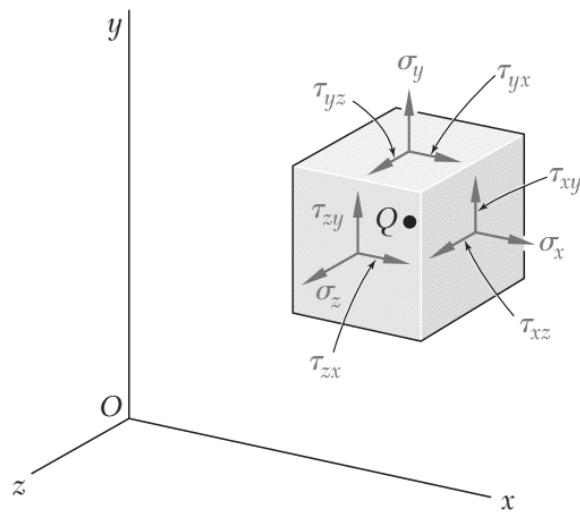


Nota. En la imagen se aprecia el estado de esfuerzos internos de una estructura conformado por una barra (1), el suelo también presenta un estado de esfuerzos (2) que son fuerzas que se desarrollan fuera de la barra de acero.

En un elemento estructural tridimensional sometida a varias fuerzas externas se identifica que en un punto interno se tiene un estado de esfuerzos que se puede identificar adecuadamente mediante tres esfuerzos axiales y tres esfuerzos de corte como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Estado general de un esfuerzo en un punto



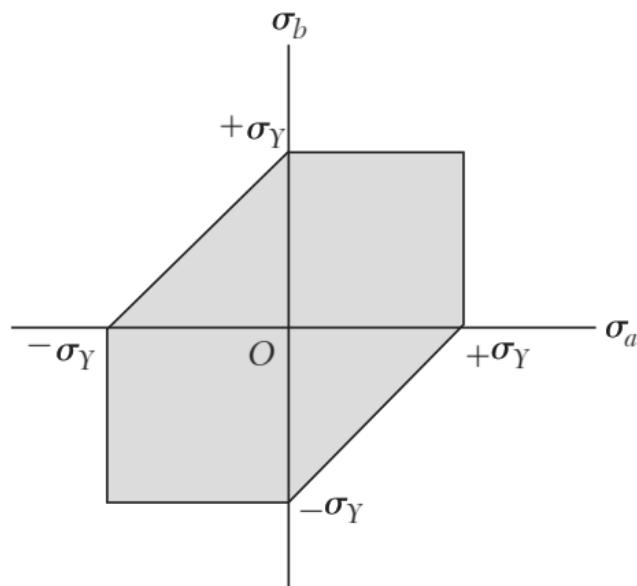
Nota. Imagen adaptada de (Beer et al., 2013, p. 364)

2.1.6 Criterios de Falla de Materiales

Existen diversos criterios de falla de materiales y su uso se basa en el comportamiento antes de una falla por lo que se puede afirmar que los criterios de falla se agrupan en dos grupos denominados en criterios de falla de materiales dúctiles y frágiles, a continuación, se desarrolla las teorías de falla:

2.1.6.1 Criterio de Falla de Esfuerzo Máximo de Corte

También denominado criterio de falla de Tresca indica que la falla se da cuando la diferencia entre el esfuerzo máximo y mínimo alcanza el esfuerzo de fluencia del material, este criterio de falla siempre se mantiene en el lado de seguridad cuando se comparó con resultados de ensayos de materiales (P. Beer et al., 2012, p. 389).

Figura 28*Criterio de falla de Tresca*

Nota. Imagen adaptada de (Beer et al., 2013, p. 389), donde el esfuerzo a y b son los esfuerzos máximo y mínimos dependiendo de la ubicación del cuadrante de análisis. Este criterio también se le conoce con la denominación de hexágono de Tresca.

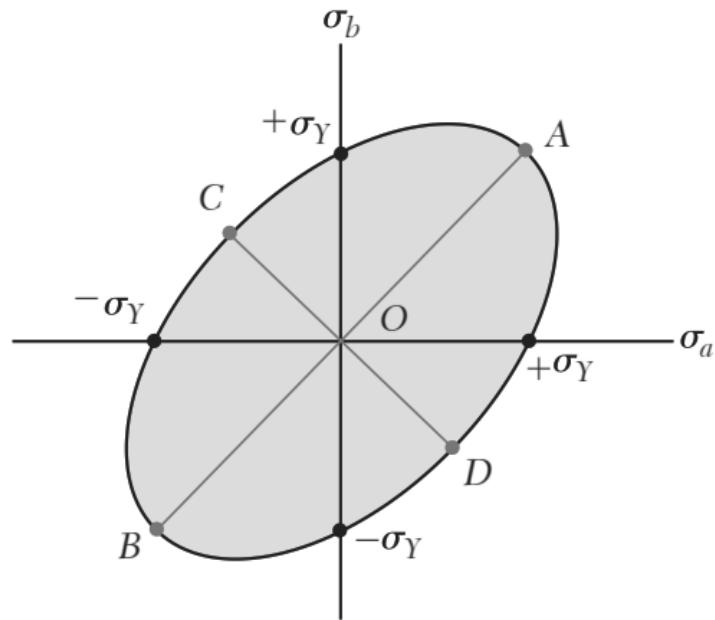
2.1.6.2 Criterio de Falla de Von Misses

El criterio de falla de Von Misses es el comportamiento que más se acerca al comportamiento real de los materiales y su basa en el criterio de máxima energía de distorsión, también se le conoce como el criterio de falla de la máxima energía de distorsión y fue desarrollado por Richard Von Misses (1883-1895) (Beer et al., 2013, p. 389).

Para graficar la superficie de falla de Von Misses se emplea generalmente la eliminación de uno de los componentes ortogonales que permita interpretar de manera gráfica con una mayor facilidad, si se grafica el esfuerzo de Von Misses en el plano tridimensional se visualiza como un cilindro inclinado.

Figura 29

Criterio de falla de Von Misses

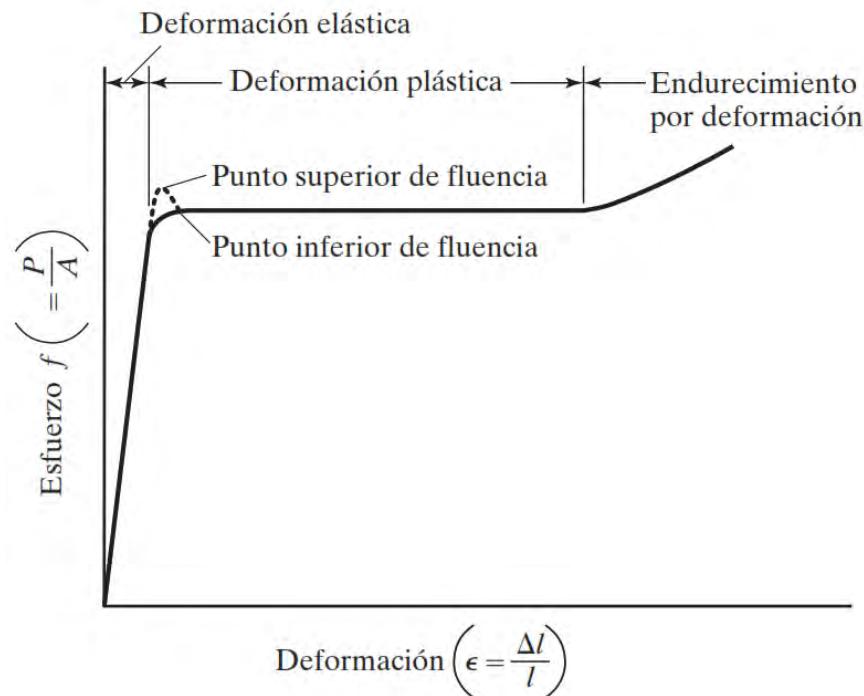


Nota. Imagen adaptada de (Beer et al., 2013, p. 390), donde se muestra el grafico del estado de esfuerzos de un ensayo de tracción.

2.1.7 Test de Materiales

Una prueba de materiales permite estudiar las propiedades mecánicas y deformaciones frente a diversas solicitudes y permiten determinar parámetros de resistencia como el módulo de elasticidad del material, esfuerzo de fluencia, esfuerzo último y deformación unitaria.

Cuando se realiza la prueba de diversos materiales se puede determinar si el material tiene un comportamiento frágil o dúctil, en el caso de materiales frágiles no se tiene una zona de fluencia y la falla que se da de manera súbita para pequeñas deformaciones. En el caso de ensayo de materiales dúctiles se tiene una zona de fluencia donde existe deformación sin incremento de esfuerzos, luego pasa a un proceso de plastificación para finalmente fallar por un esfuerzo ultimo que es mayor al esfuerzo de fluencia.

Figura 30*Grafico de esfuerzo y deformación unitaria*

Nota. Imagen extraída de (McCormac & Csernak, 2013, p. 15).

Existen diversidad de ensayos como el ensayo de tracción, corte, flexión y torsión donde en ciertas situaciones no es posible realizar una prueba directa por lo que se debe recurrir a los métodos indirectos como el ensayo de compresión de probetas cilíndricas con el eje del radio paralelo al suelo para determinar la resistencia a la tracción. Así como existen ensayos para cuantificar las propiedades mecánicas de los materiales también se presentan ensayos de conexiones que evalúan el comportamiento de un conjunto estructural frente a diversas solicitudes.

2.1.7.1 Ensayo de corte

No existe un método de ensayo de corte que abarque conexiones disímiles por lo que se podría acudir a la norma ASTM A370 que establece el procedimiento general para el ensayo de corte y otros ensayos en acero.

2.1.7.2 Ensayo a tracción

No existe un método de ensayo de tracción de conexiones disimiles por lo que se recurre a la norma ASTM A370 y la norma ASTM E8 donde se establece procedimiento de ensayo que se realizaran de manera análoga para los especímenes de la presenta investigación.

2.1.8 Diseño de Conexiones con Soldadura SMAW

Para el diseño de un cordón de soldadura se debe determinar el tipo de soldadura que se aplica, luego se debe hacer uso de la siguiente formula establecida en (McCormac & Csernak, 2013, p. 488).

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

$$F_{nw} = 0.60 F_{EXX}$$

R_n → Resistencia nominal en *Ksi*

F_{nw} → Resistencia del electrodo afecta por un factor en *Ksi*

A_{we} → Área efectiva de la soldadura en in^2

F_{EXX} → Resistencia del electrodo en *ksi*

Para el diseño de cordones de soldadura se puede emplear la metodología LRFD o ASD, donde por la metodología ASD se establece un factor de seguridad de 2.00

2.1.9 Software de Análisis y Diseño Estructural

Un software de diseño estructural se utiliza para el análisis y diseño de elementos estructurales, su principal importancia radica en la rapidez del procesamiento de información para definir elementos estructurales adecuados en función de las solicitudes, otra de las características principales es su facilidad para producir memorias de cálculo que respaldan la geometría final de los elementos estructurales.

En el ámbito de la ingeniería civil existen software basados en elementos finitos como SAP 2000, Etabs, Robot, etc. que permiten dinamizar el proceso de análisis y diseño de

elementos estructurales que conforman diversos tipos de estructuras. En la presente investigación se utiliza el software Ansys netamente para investigación por su facilidad de modelamiento de elementos complejos como cordones de soldadura y su gran capacidad de discretización.

2.2 *Marco Legal*

2.2.1 Norma E 090

La norma E 090 consiste en especificaciones y procedimientos para obtener estructuras de acero adecuadas y resistentes a las diversas solicitudes, esta norma consta de 13 capítulos distribuidos como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8

Contenido de la Norma E 090

Capítulo	Contenido
1	Consideraciones generales
2	Requisitos de diseño
3	Pórticos y otras estructuras
4	Elementos en tracción
5	Columnas y otros elementos en compresión
6	Vigas y otros elementos en flexión
7	Vigas fabricadas de planchas
8	Elementos sometidos a fuerzas combinadas y torsión
9	Elementos compuestos
10	Conexiones
11	Fuerzas concentradas, empozamiento y fatiga
12	Condiciones de diseño en servicio
13	Fabricación, montaje y control de calidad

La norma E090 en la presente investigación se utiliza para localizar las normas de referencia internacionales para su aplicabilidad en la presente investigación enfocado principalmente en conexiones soldadas.

2.2.2 AWS D 1.1/1.1M: 2020

Es un estándar americano de soldadura respaldado y aprobado por ANSI, es una norma que estandariza los procesos de soldadura, uniones, su inspección y el reforzamiento y reparación de estructuras que contienen soldadura.

Este código tiene las siguientes limitaciones:

- Aplicado a aceros con espesor mayor a 1/8”
- Aceros de baja composición de carbono
- Aceros con esfuerzo de fluencia menor a 100 ksi

Algo muy importante de esta norma es que el código podría ser usado para estructuras fuera de su alcance (AWS D1.1, 2020, p. 2)

El D1.1 en los últimos años ha sido replanteado y revisado cada 5 años, de esta manera la última versión es del año 2020. El D1.1 del 2020 consta de 11 capítulos, del capítulo 1 al 3 abarca los alcances de la norma, limitaciones, normativas de referencia y términos y definiciones. El capítulo 4 desarrolla el diseño de conexiones soldadas, luego el capítulo 5 explica los 4 procesos de soldadura normalizados, el capítulo 6 desarrolla sobre los procedimientos a seguir para realizar la calificación de una soldadura para determinar su calidad, el capítulo 7 normaliza la fabricación de elementos soldados el cual abarca las fases de precalentamiento, pasos de soldadura y limpieza de soldaduras

El capítulo 8 desarrolla los procedimientos que permite garantizar la buena calidad de los cordones de soldadura precalificados, el capítulo 9 y 10 desarrolla la soldadura de pernos y la soldadura de estructuras tubulares, por último, el capítulo 11 desarrolla los procedimientos para realizar el reforzamiento y reparación de uniones de soldadura.

2.2.3 AWS D 1.4/1.4M: 2018

El AWS D 1.4/1.4M: 2018 Código Estructural de Soldadura en Barras de Refuerzos es un estándar americano respaldado y aprobado por ANSI y es una normativa realizada por

la sociedad americana de soldadura AWS que normaliza la soldadura estructural de barras de refuerzo.

Esta norma se puede aplicar en barras de acero que cumplen la normativa ASTM A615, ASTM A706 entre otros, la presente investigación aplica las consideraciones generales de esta norma para evaluar la respuesta sísmica del apoyo no convencional de interés.

2.2.4 AWS A2.4:2020

El AWS A2.4:2020 Estándar de Símbolos de Soldadura, Soldadura Fuerte y Examinación no Destructiva es un estándar americano que normaliza los símbolos empleados en la soldadura para representar las diferentes formas de unión, así como la simbología que usa para representar los lugares de examinación no destructiva. El estándar se divide en 17 capítulos. En los tres primeros capítulos da los alcances del estándar, las normativas de referencia y los términos definiciones. En el capítulo 4 trata sobre los símbolos básicos en la soldadura, en el capítulo 5 trata sobre los tipos de uniones o juntas, en el capítulo 6 amplia la simbología utilizada en un proceso de soldadura.

En los capítulos del 7 al 15 desarrolla sobre la simbología que se usa para representar los diferentes tipos de soldadura que pueden ser de ranura, filete, muesca, tapón, etc. En el capítulo 16 trata sobre la simbología de la soldadura (Brazing) que es muy similar al proceso de soldadura normal (Welding). En el capítulo 17 abarca la simbología utilizada para representar la examinación no destructiva de algunas uniones específicas.

2.2.5 AWS A3.0/A3.0M:2020

El AWS A3.0/A3.0M:2020 Normativa de Definiciones y Términos en Soldadura es un estándar de términos y definiciones en soldadura, esta norma es aprobada y respaldada por la ANSI, esta normativa se realiza por la sociedad americana de soldadura y en su contenido presenta un glosario de términos técnicos relacionados a los diversos procesos de soldadura.

En esta norma se presenta una clasificación general de los procesos de soldadura, también presenta de manera grafica las diversas formas de unión y posiciones que se pueden presentar. Se desarrolla de manera grafica las partes principales de un cordón de soldadura en los diversos casos de unión.

2.2.6 AWS A5.1/A5.1M: 2012

El AWS A5.1/A5.1M: 2012 Especificaciones de Electrodos de Acero para la Soldadura con Arco Eléctrico Revestido es una especificación americana que abarca los diversos tipos de prueba que se puede realizar a un Cordón de soldadura, también desarrolla la simbología completa para identificar adecuadamente un electrodo revestido.

2.2.7 ASCE/ SEI 7-2022

El ASCE/ SEI 7-2022 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures es un estándar americano que desarrolla los criterios mínimos para edificaciones y otras estructuras para un desempeño adecuado frente a las diversas solicitudes de sismo, nieve, viento, etc. La norma es respaldada por la ANSI y es muy útil para definir adecuadamente términos técnicos relacionados a deformación, ductilidad entre otros.

El estándar desarrolla el diseño de cada una de las solicitudes externas que se presentan en elementos estructurales y no estructurales.

2.2.8 Specification For Structural Steel Buildings AISC 360-16

Es un estándar americano que normaliza el diseño de estructuras de acero, también normaliza el diseño de conexiones soldadas y empernadas, esta normativa también desarrolla los elementos compuestos de acero y concreto, así como las losas colaborantes.

Esta normativa presenta el diseño de elementos estructurales de acuerdo con el tipo de solicitud aplicada.

2.2.9 ASTM

Es un estándar americano líder en definición de materiales y en creación de lineamiento para pruebas de diferentes materiales, en la presente investigación el estándar ASTM se utiliza para nombrar adecuadamente los diferentes metales que se utilizan como la plancha metálica ASTM A36 y el acero corrugado ASTM A615

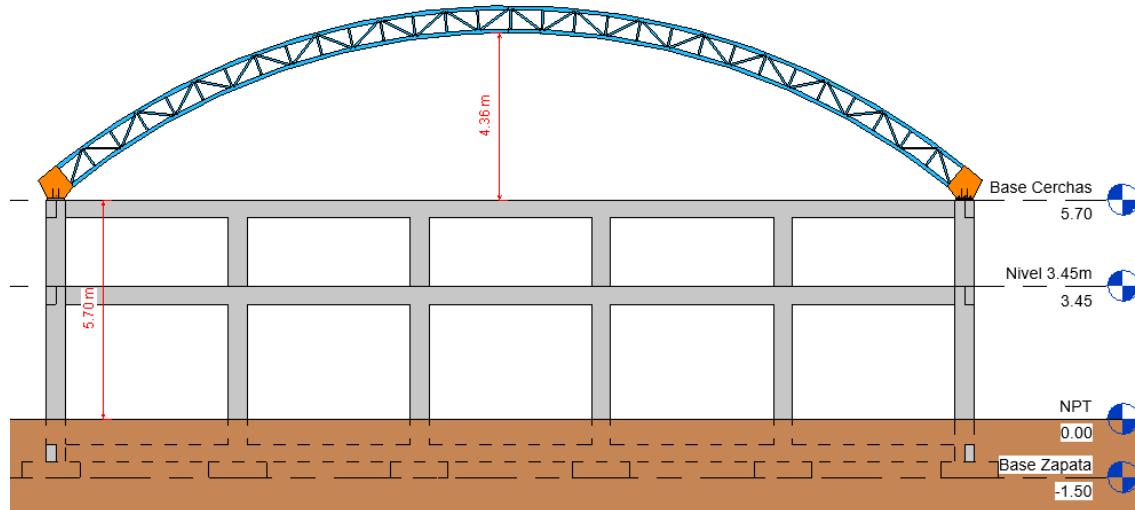
2.3 Marco conceptual

2.3.1 Apoyo no Convencional

Una conexión no convencional son conexiones de soldadura entre aceros de diferentes esfuerzos de fluencia, se usan en diversas áreas de la construcción de estructuras como es el caso de puentes peatonales, portones, rejas metálicas, puertas corredizas y cerchas metálicas para acoplamiento de grandes coberturas con luz considerable como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Sección típica de la estructura de un techo metálico



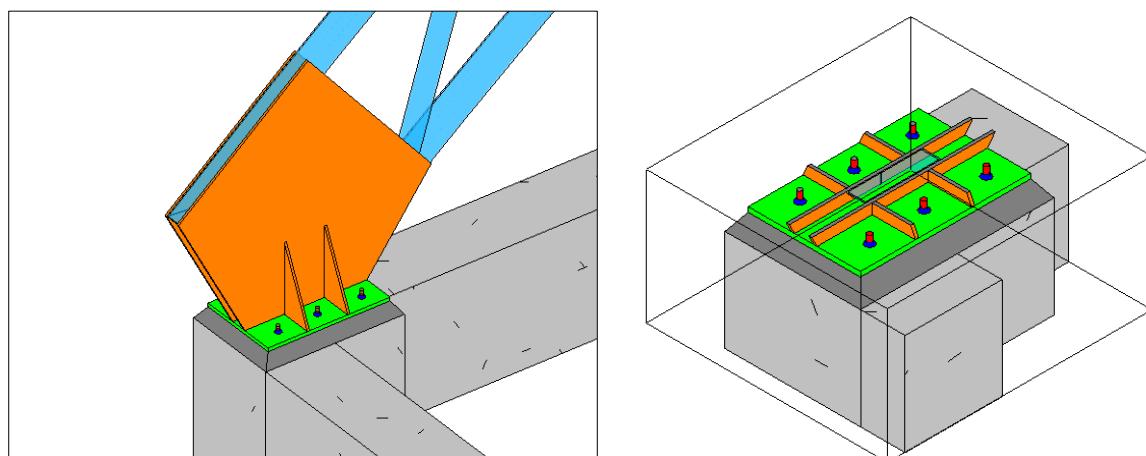
Una conexión no convencional es aquel tipo que no tiene estándares claros para su diseño como es el caso de conexiones entre elementos metálicos ASTM A36 o ASTM A 500 y acero longitudinal ASTM A615 de columnas de concreto que suelen unirse mediante

soldadura SMAW de manera directa empleando planchas metálicas rectangulares ASTM A 36 con perforaciones como se muestra en la Figura 32 y Figura 33.

En la Figura 32 se muestra un detalle de conexión típico entre una cercha metálica y el acero longitudinal de la columna, en la presente investigación se crea un modelo analítico de este tipo de conexión. La plancha metálica de $\frac{1}{2}$ " se utiliza para realizar la conexión con el acero longitudinal como se muestra en la Figura 33, nótese que existe 6 barras de acero longitudinal que están dentro del armado de acero longitudinal propio de la columna.

Figura 32

Detalle de conexión entre cercha metálica y columna de concreto armado

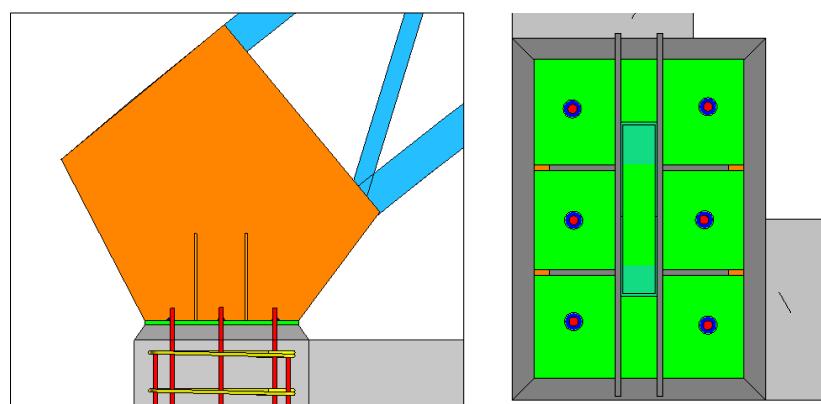


Nota. Se aprecia plancha ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ " de color verde, también se muestra plancha metálica ASTM A36 de $\frac{5}{8}$ " de color naranja, barras corrugadas de $\frac{1}{2}$ " de color rojo, tubo ASTM A500 de color celeste y cordones de soldadura SMAW de color azul.

La presente investigación determina un modelo analítico que permite modelar la conexión entre la plancha metálica de $\frac{1}{2}$ " y la barra longitudinal ASTM A615 para predecir su comportamiento ante cargas eventuales de sismo, viento o nieve.

Figura 33

Detalle de conexión entre cercha metálica y columna de concreto armado



Nota. Se aprecia plancha ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ " de color verde, también se muestra plancha metálica ASTM A36 de $\frac{5}{8}$ " de color naranja, barras corrugadas de $\frac{1}{2}$ " de color rojo, tubo ASTM A500 de color celeste y cordones de soldadura SMAW de color azul.

2.3.1 Soldadura disímil

Se denomina al proceso de unión entre metales con diferentes propiedades mecánicas, o a la unión de aleaciones diferentes. En la presente investigación el término soldadura disímil hace referencia a la unión entre plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 Grado 60.

2.3.2 Cordón de soldadura

El cordón de soldadura es una interfaz que permite unir dos piezas mediante un metal de aporte. Las características físicas y mecánicas del cordón de soldadura dependen del recubrimiento del electrodo, el cordón dependiendo del movimiento que se usó para el proceso de soldado puede adoptar una determinada geometría como espirales, medias lunas, etc.

2.3.3 Deformabilidad

Es la relación de la deformación última con el límite de deformación (American Society of Civil Engineers, 2022, p. 100)

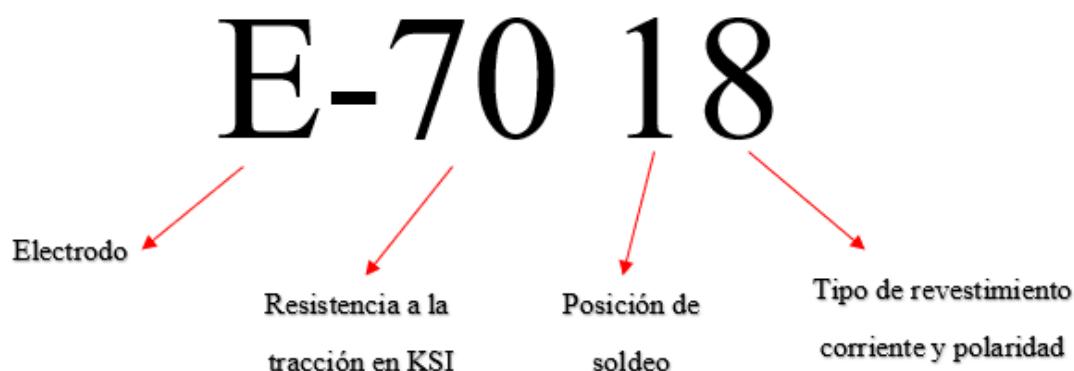
2.3.4 Electrodo

Es un elemento indispensable que se usa en la soldadura por arco eléctrico está compuesta por un núcleo y un revestimiento, las propiedades del revestimiento y del núcleo determinarán el tipo y calidad del cordón de soldadura.

Para identificar adecuadamente un electrodo que utiliza el proceso de soldadura SMAW se emplea una nomenclatura que establece la AWS que se detalla en la

Figura 34

Nomenclatura de identificación de un electrodo



2.3.5 SMAW

Son las siglas de Shield Metal Arc Welding que es la soldadura por arco eléctrico manual con el empleo de electrodo revestido.

2.3.6 Supercito

Es un tipo de electrodo muy empleado para trabajos que impliquen deformaciones, el supercito según la AWS es conocido como E7018 lo cual implica que tiene una resistencia de 70 Ksi, se puede usar en todas las posiciones y tiene un recubrimiento celulósico de bajo hidrógeno que permite la creación de cordones de soldadura con baja porosidad.

2.3.7 Portaelectrodo

Es un elemento que tiene un mecanismo que permite sujetar un electrodo en la posición de inclinación deseada.

2.3.8 Comutador de polaridad

El conmutador de polaridad es un elemento que funciona para alternar la polaridad del proceso de soldadura en aquellas máquinas de soldar que no poseen la facilidad de alternar el polo de sus salidas de tierra y portaelectrodo.

2.3.9 Polaridad directa

Se da cuando el polo negativo de la máquina de soldar se conecta al portaelectrodo.

2.3.10 Polaridad invertida o inversa

Se da cuando el polo positivo de la máquina de soldar se conecta al portaelectrodo.

2.3.11 Tierra

Nombre al cual se denomina al gancho metálico que tiene como punto de salida el polo positivo de una máquina de soldar en el proceso de soldado por polaridad directa.

2.3.12 Cristal actínico

El cristal actínico es un componente indispensable en las caretas de soldadura que sirve para proteger a los ojos de los rayos ultravioleta e infrarrojos. El grado del cristal actínico lo define el amperaje usado para el proceso de soldadura y el tipo de soldadura.

2.3.13 Plancha metálica

Se denomina así a aquella forma de presentación de acero en plancha de 2.4m x 1.20 m con un determinado espesor, la presentación de la plancha metálica cumple la normativa ASTM A36.

2.3.14 LAC

Proceso de fabricación usado para la fabricación de perfiles tubulares como tubos redondos o rectangulares que usa el laminado en caliente.

2.3.15 LAF

Proceso de fabricación de perfiles tubulares mediante un proceso de laminado en frío lo cual produce un buen acabado en la producción final.

2.3.16 Punteo de Soldadura

Proceso mediante el cual se fija dos piezas mediante un cordón corto denominado punto, al proceso de punteo se le denomina puntear y se realiza principalmente con electrodo E6011 por su facilidad de uso, el punteo se emplea para fijar elementos o piezas que adquieren una determina configuración determinada previamente, el punteo es un proceso previo al proceso de aplicación de un cordón continuo de soldadura y se debe realizar con los equipos necesarios como escuadras nivel o dimensionamiento de las piezas para garantizar una correcta unión de las piezas.

2.4 Antecedentes Empíricos de la Investigación

Ulloa & Yupanqui, (2018) presenta una tesis intitulada *Efecto de la Posición de Soldeo en la Soldabilidad de Barras Corrugadas de Acero ASTM A615*, tesis de la Universidad Nacional de Trujillo, investiga el efecto de la resistencia y ductilidad de los cordones de soldadura bajo diferentes posiciones de soldeo; concluyen que la posición 1 G tienen un mejor comportamiento estructural. El antecedente presentado se relaciona con la presente investigación debido a que se emplea la soldadura bajo una determinada posición.

Rivera Vargas & Romeo Palacios, (2016) presenta una tesis titulada *Estudio de la Soldabilidad de Barras Corrugadas de Acero NTP 341.031 de Ø 5/8, en Junta Traslapada y a Tope, para Concreto Armado*, tesis para optar el grado de ingeniero civil de la Universidad Nacional Hermilio Valdizan, que investiga la influencia de resistencia a tracción de las uniones a tope y traslapada; llegaron a la conclusión de que el diámetro de las varillas determina el tipo de unión eficiente. Este antecedente presentado se relaciona con los procedimientos a seguir para obtener uniones adecuadas.

Esquicha Larico, (2018) presenta la tesis intitulada *Soldabilidad Disímil de los Aceros ASTM A36 y A615 por el Proceso SMAW para Obtener Productos de Calidad*, tesis para optar el grado de Doctor de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa que investiga la unión disímil de acero A36 y ASTM A615, llegó a la conclusión de que es posible cumplir con los requerimientos establecido en la ANSI en la unión disímil de aceros de diferente composición de carbono con el empleo de procedimientos cuidadosos como el precalentamiento de piezas.

Chura Aguilar & Mamani Bonifacio, (2018) en la tesis intitulada *Ensayos de Conexión para Determinar la Resistencia por Bloque de Corte, de Acuerdo con las NTE E-090 y AISC*, tesis para optar el grado de ingeniero civil de la Universidad Privada de Tacna, investiga las propiedades mecánicas de ciertos perfiles tubulares y realiza ensayos de tracción

y corte, llega a la conclusión de que uno de los proveedores ofrece perfiles con mejor desempeño estructural, en la presente investigación se utiliza para tener una orientación del proceso de ensayo de corte y enfatizar que los materiales como el acero en su mayoría ofrecen propiedades mecánicas mejores que las indicadas por el fabricante.

Elías Mora & Mariscal Blanco, (2014) en la tesis intitulada *Determinación de Propiedades Mecánicas de Perfiles Estructurales de Acero Negro con Uniones Soldadas Utilizando la Máquina Universal de Ensayos*, tesis para optar el grado de ingeniero civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, investiga sobre cuáles son los tipos de unión más usado en la unión de perfiles tubulares metálicos y realiza el ensayo respectivo para determinar cuál de los tipos de unión ofrece mejor resistencia a las solicitudes aplicadas, llega a la conclusión de que la unión a tope ofrece menor resistencia, esta investigación se utiliza para tener los lineamientos en la ejecución de ensayos en la maquina universal INSTRON 600DX.

2.5 *Formulación de Hipótesis*

2.5.1 **Hipótesis General**

Se puede plantear un modelo analítico que permita estimar la respuesta estructural de una conexión de columnas de concreto armado y cerchas de acero tipo arco con perfiles tubulares unidos mediante el proceso de soldadura SMAW con interfaz de plancha metálica ASTM A36 en espacios deportivos del distrito de Huancarani basados en ensayos experimentales y simulaciones virtuales en el software Ansys de las pruebas corte y tracción focalizados de la conexión no convencional para evaluar o garantizar la seguridad de las conexiones estructurales en la aplicación de cargas eventuales de sismo o viento.

Las propiedades mecánicas del cordón de soldadura entre plancha metálica y barra corrugada poseen una resistencia al corte igual al cortante de la sección de barra corrugada y la resistencia a tracción es igual a la garganta de la soldadura anular tipo filete por la resistencia del electrodo. La carga eventual de viento es más critica que la carga de sismo para una conexión no convencional.

2.5.2 **Identificación de Variables e Indicadores**

La variable dependiente de la investigación es:

- Respuesta estructural

Las variables independientes de la investigación son los siguientes:

- Propiedades mecánicas de la conexión disímil
- Solitación eventual crítica

2.5.3 **Operacionalización de Variables**

2.5.4 Problema general

Tabla 9

Operacionalización de variables del problema general

Problema	Variable	Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos
PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural en una conexión no convencional para evaluar o garantizar la seguridad del grupo estructural frente a cargas eventuales?	DEPENDIENTE	Respuesta estructural	Son los esfuerzos internos y deformaciones ocasionado por una solicitud eventual de sismo o viento en una conexión no convencional.	Esfuerzo	Esfuerzos internos	Software Ansys
				Deformación	Deformación Unitaria	Software Ansys
	INDEPENDIENTE	Propiedades mecánicas de la conexión disímil	Es la resistencia a corte o tracción de la conexión de cordón de soldadura anular tipo filete que une la plancha metálica ASTM A36 perforada con la barra corrugada ASTM A615, esta conexión tiene una resistencia al corte y tracción definido en las propiedades mecánicas de la plancha metálica, la barra corrugada y el electrodo empleado.	Resistencia	Resistencia al corte	Maquina Universal INSTRON 600DX
				Resistencia	Resistencia a la tracción	Maquina Universal INSTRON 600DX
	Solicitud eventual crítica		Es la aplicación externa de fuerzas eventuales de sismo o viento en la conexión no convencional, se realiza su aplicación de manera independiente y se utiliza la más crítica.	Fuerza o momento	Fuerzas Laterales y Momentos externos equivalentes	Software SAP 2000

2.5.5 Problema específico 1

Tabla 10

Operacionalización de variables del problema específico 1

Problema	Variable	Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos	
PROBLEMA ESPECIFICO 1 ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la conexión de plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura tipo filete?	DEPENDIENTE	Propiedades mecánicas de la conexión disímil	Es la resistencia máxima de corte y tracción que posee una conexión de plancha metálica ASTM A36 perforada y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura anular tipo filete.	Resistencia	Resistencia al corte	Maquina Universal INSTRON 600DX	
				Resistencia	Resistencia a la tracción	Maquina Universal INSTRON 600DX	
	INDEPENDIENTE	Plancha metálica	Es una lámina de acero LAC con dimensiones comerciales de 1.2m x 2.4 m con diferentes espesores conformado por acero estructural ASTM A36.	Resistencia	Esfuerzo de fluencia	Ficha técnica	
				Longitud	Espesor	Vernier	
		Cordón de soldadura	Un cordón de soldadura es una interfaz que permite unir dos metales separados, la resistencia del cordón de soldadura depende del tamaño del cordón y del tipo de electrodo empleado. El electrodo es un elemento indispensable para realizar el proceso de soldadura SMAW.	Dimensiones	Tamaño de soldadura	Weld Fillet Gauge	
					Largo	-	
				Electrodo	Diámetro	Ficha técnica	
		Barras de acero corrugado	Son barras de acero que se utiliza en el refuerzo longitudinal de columnas de concreto armado.		Resistencia a la tracción	Ficha técnica	
					Tipo de recubrimiento	Ficha técnica	
			Resistencia	Esfuerzo de fluencia	Ficha técnica		
			Longitud	Diámetro	Ficha técnica		

2.5.6 Problema Específico 2

Tabla 11

Operacionalización de variable del problema específico 2

Problema	Variable	Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos
PROBLEMA ESPECIFICO 2 ¿Cuál es la carga eventual más crítica para una conexión no convencional?	DEPENDIENTE	Solicitud eventual crítica	Es la aplicación externa de fuerzas eventuales de sismo, viento o nieve, la solicitud eventual crítica es la carga eventual con valores mayores de fuerzas internas adyacente a la conexión no convencional.	Fuerza o momento	Fuerzas Laterales y Momentos externos equivalentes	Cuadro comparativo de fuerzas cortantes, axiales y momentos flectores
		Carga eventual de sismo	Son cargas eventuales ocasionadas por la aceleración del suelo, se utiliza un análisis modal espectral que emplea un espectro inelástico de respuesta para determinar las fuerzas internas.	Fuerza interna	Gráfico de fuerzas internas cortante, axial y momento flector	Software SAP 2000
	INDEPENDIENTE	Carga eventual de viento	Son carga de succión y presión que se producen en una estructura, esta carga es variable con la altura de la construcción y su ubicación.	Fuerza interna	Gráfico de fuerzas internas cortante, axial y momento flector	Software SAP 2000
		Carga eventual de nieve	Son cargas ocasionadas por la acumulación de nieve en la cobertura.	Fuerza interna	Gráfico de fuerzas internas cortante, axial y momento flector	Software SAP 2000

CAPITULO 3 Diseño Metodológico

3.1 Ámbito de Estudio: Localización Política Geográfica

El estudio de la conexión no convencional se realizará en el distrito de Huancarani, provincia Paucartambo y región Cusco esto debido a la presencia de conexiones habituales de soldadura disímil de acero ASTM A 36 y acero ASTM A615 en sus comunidades que conforman el distrito.

3.2 Tipo, Nivel y Diseño de Investigación

3.2.1 Tipo

El tipo de investigación es aplicada debido a que se desarrolla un modelo analítico para estimación de factores de seguridad, el nivel de investigación es aplicada, la investigación también tiene un enfoque cuantitativo debido a que el procesamiento de datos implica su medición real y cuantitativo (Sampieri et al., 2006, p. 4).

3.2.2 Alcance

Debido a que el ámbito de estudio es reducido se podrá generalizar solo en el distrito de Huancarani y en su entorno debido a la poca cantidad de muestras ensayadas y debido a que el ensayo experimental de especímenes solo representa una parte local de la conexión entre columna de concreto armado y cercha de acero tipo arco. Los resultados de la investigación son válidos en el ámbito de estudio debido a que las cargas eventuales utilizadas varían de acuerdo con la localización de la construcción. Con respecto al análisis de cargas eventuales analizadas se limita al análisis de cargas eventuales de sismo, nieve y viento.

3.2.3 Diseño

La investigación tiene un diseño experimental debido a que se realizan ensayos en laboratorio que permiten obtener las propiedades mecánicas de una conexión disímil de acero ASTM A 36 y barra corrugada ASTM A615 se recalca que el diseño

experimental es cuasi experimental porque no se tiene un grupo de control. Las propiedades mecánicas permiten respaldar y elaborar un adecuado modelo analítico para determinar la respuesta estructural de la conexión entre columna de concreto armado y cercha de acero que está unido por un grupo de conexiones disímiles. La investigación emplea 4 grupos experimentales compuesto de 16 muestras para hallar las propiedades mecánicas de la conexión disímil para la resistencia a tracción y 08 muestras para la evaluación de resistencia corte, los resultados de las 24 muestras se utilizan como base para la elaboración del modelo analítico de una conexión no convencional.

Los grupos experimentales para la prueba de pseudo tracción son los siguientes:

- a) Con electrodo E6011
 - Grupo 1, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/4" (4 UND)
 - Grupo 2, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/2" (4 UND)
- b) Con electrodo E7018
 - Grupo 3, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/4" (4 UND)
 - Grupo 4, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/2" (4 UND)

El grupo experimental para las prueba de corte es el siguiente:

- Piezas de 8cm de barra corrugada ASTM A615 de 5/8" (8UND).

3.2.4 Método de Investigación

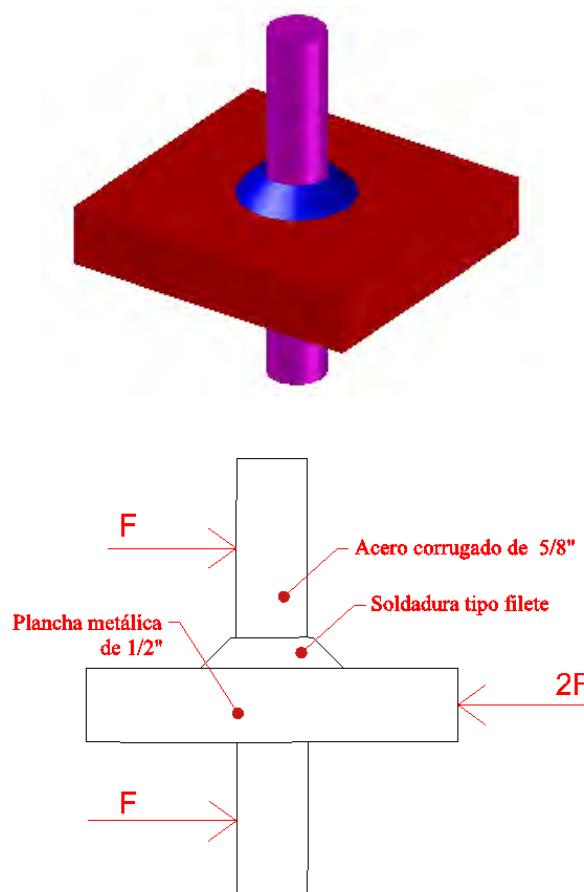
La investigación consiste en 4 fases:

Fase 1

Se realizan 24 especímenes de ensayo que permiten ensayar a corte y tracción las uniones soldadas de plancha metálica ASTM A36 y Barra corrugada ASTM A615 con la maquina Universal INSTRON 600DX.

Figura 35

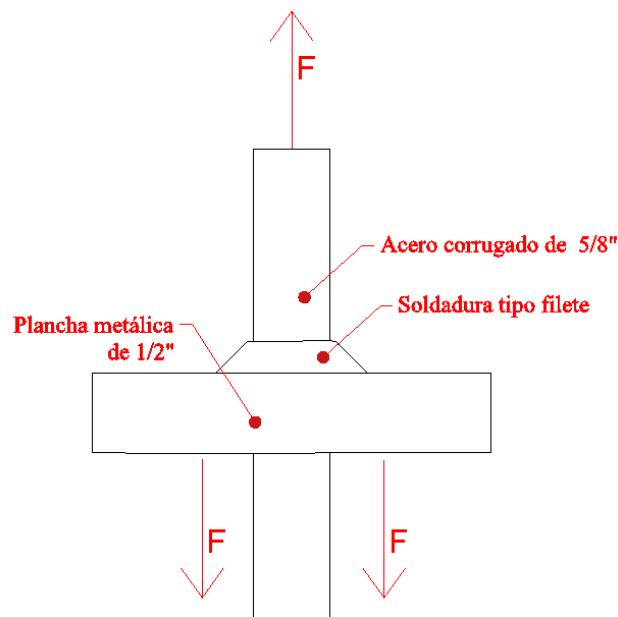
Muestra de soldadura disímil para ensayo a corte



Se realiza 16 especímenes de ensayo que permite ensayar a tracción la conexión soldada y 8 especímenes para ensayo a corte de la plancha metálica ASTM A36 y Barra corrugada ASTM A615 con la maquina Universal INSTRON 600DX, se precisa que se realiza 4 muestras de cada grupo experimental para someter a tracción. Para el ensayo de tracción se realiza la elaboración de un acoplador prismático que permite convertir la fuerza de compresión en tracción y de igual manera para el ensayo de corte se emplea un acoplador de corte tipo guillotina que permite tener dos áreas de falla para el ensayo de corte.

Figura 36

Componentes de una muestra de soldadura disímil



Fase 2

Se realiza simulaciones en el software de Ansys de los ensayos de corte y tracción en la ventana principal Workbench utilizando el sistema de análisis “static structural”, la simulación debe reflejar los ensayos experimentales y los resultados deben tener concordancia, si se presentan resultados no correlativos se debe realizar cambios en el modelo de elementos finitos utilizado en la simulación hasta lograr resultados similares con los ensayos experimentales.

Fase 3

Se realiza la simulación completa de una conexión no convencional con elementos finitos empleando la calibración obtenida en la fase 2 en el mismo software, se somete el apoyo a un sistema de análisis “Static Structural” con la carga eventual de sismo, viento y nieve. Las cargas aplicadas al modelo analítico en el software Ansys es una fuerza equivalente de las fuerzas internas transmitidas por la cercha metálica.

Fase 4

Finalmente se analizan los esfuerzos internos y deformaciones de una conexión no convencional y se analiza los factores de seguridad correspondientes a la aplicación de la fuerza equivalente de las fuerzas internas.

3.3 Unidad de Análisis

La unidad de análisis es la unión entre plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 mediante un cordón de soldadura anular tipo filete que representa la conexión local más vulnerable que conforma una conexión de concreto armado y cerchas de acero tipo arco.

3.4 Población de Estudio

Conexiones entre columnas de concreto armado y cerchas de acero tipo arco con perfiles tubulares unidos mediante el proceso de soldadura SMAW mediante una interfaz de plancha metálica ASTM A36.

3.5 Tamaño de muestra

Se realiza los ensayos de corte y tracción a 24 muestras de unión entre acero corrugado ASTM A615 y plancha ASTM A36. Se utiliza 8 muestras para ensayos de corte y 16 muestras para el ensayo a tracción.

3.6 Técnicas de Selección de Muestras

La técnica de selección de muestras se realiza mediante un análisis visual de la continuidad de la soldadura y medición de concavidad o convexidad del cordón de soldadura para su aceptabilidad que debe ser de acuerdo con los límites permisibles que establece el código AWS D1.1.

3.7 Técnicas de Recolección de Información

Para recolectar la información correspondiente a las propiedades mecánicas (resistencia a corte y tracción) de la unión entre plancha metálica ASTM A36 y barra

corrugada mediante un cordón de soldadura anular tipo filete se utiliza la maquina universal INSTRON 600DX.

Para determinar la respuesta estructural de la conexión de concreto armado y cerchas de acero tipo arco con perfiles tubulares se utiliza un modelo analítico en el software ANSYS basado en los ensayos experimentales para analizar los esfuerzos internos que produce la carga eventual de sismo o viento en un grupo de conexiones de plancha metálica con barra corrugada.

Para determinar las fuerzas eventuales que actúan sobre la conexión de columna de concreto armado y cercha de acero tipo arco se plantea una estructura típica de un espacio deportivo con dimensiones máxima basadas de canchas deportivas existentes en el distrito de Huancarani, en base al modelo planteado se utiliza un espectro inelástico de respuesta establecido en la norma E 030 para carga de sismo y para determinar las cargas de viento se utiliza el procedimiento dado en la norma E 020.

CAPITULO 4 Ejecución de la Experimentación, Simulaciones y Resultados

4.1 Fase 1: Elaboración de Muestras y Experimentación

Esta fase abarca desde la planificación de elaboración de las muestras hasta el punto donde se realiza el ensayo de todas las muestras en el laboratorio.

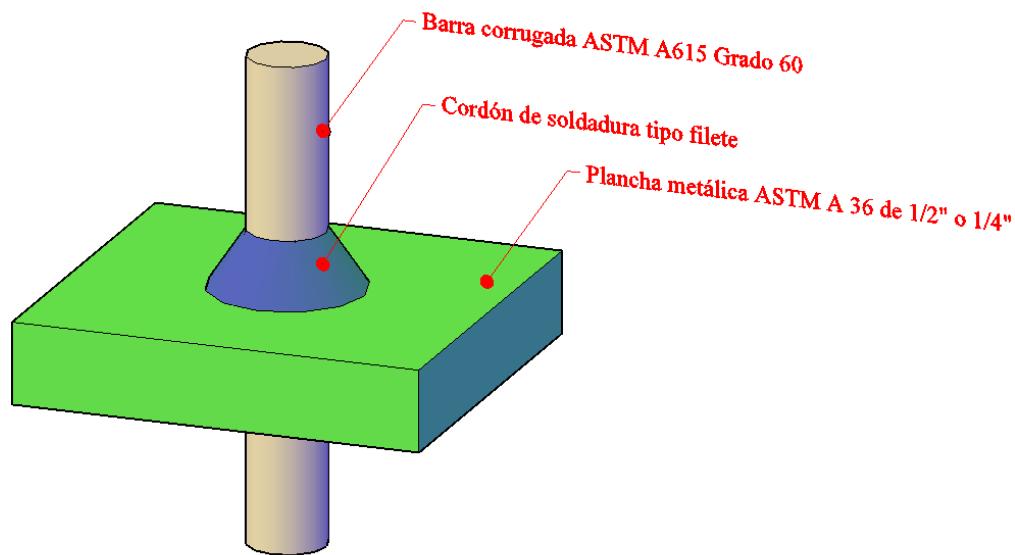
Esta fase comprende las siguientes etapas:

- Plan de elaboración de muestras
- Elaboración de muestras
- Elaboración de acopladores para la ejecución de ensayos
- Ejecución de los ensayos en laboratorio
- Resultados de las pruebas de corte y pseudo tracción

4.1.1 Plan de Elaboración de Muestras

4.1.1.1 Ensayo de Tracción Indirecto (Pseudo-Tracción)

Se realiza 16 especímenes de ensayo que permite ensayar a tracción indirecta las uniones soldadas de plancha metálica ASTM A36 y Barra corrugada ASTM A615 con la maquina Universal INSTRON 600DX, se realiza 4 grupos experimentales que se diferencia en el uso del tipo de electrodo y el espesor de la plancha metálicas ASTM A36, la muestra se elabora como se muestra en la Figura 37.

Figura 37*Vista Isométrica de Muestra para Ensayo a Corte y Tracción*

Los grupos experimentales que se elaboran son los siguientes:

- a) Con electrodo E6011
 - Grupo 1, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/4".
 - Grupo 2, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/2".
- b) Con electrodo E7018
 - Grupo 3, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/4".
 - Grupo 4, utiliza barra corruga ASTM A615 de 5/8" con plancha metálica ASTM A36 de 1/2".

Para elaborar las muestras se utiliza los siguientes materiales y equipos:

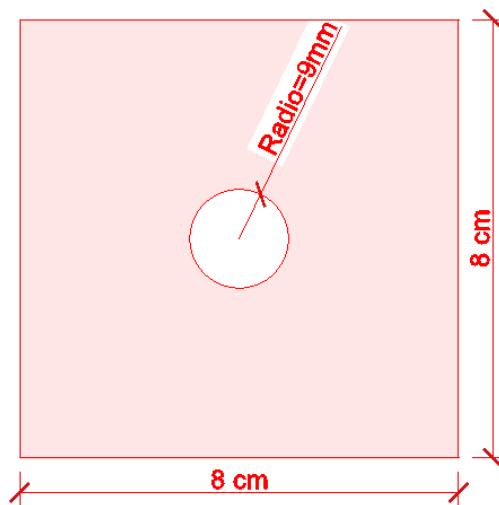
- Plancha metálica ASTM A36 de 1/4" y 1/2"
- Barra corrugada ASTM A 615 grado 60 de 5/8"

- Electrodo E 6011
- Electrodo E 7018
- Máquina de soldar

Se realiza el recorte de la plancha metálica de 8cm x 8cm y después se realiza una perforación de 9mm de radio como se muestra en la Figura 38.

Figura 38

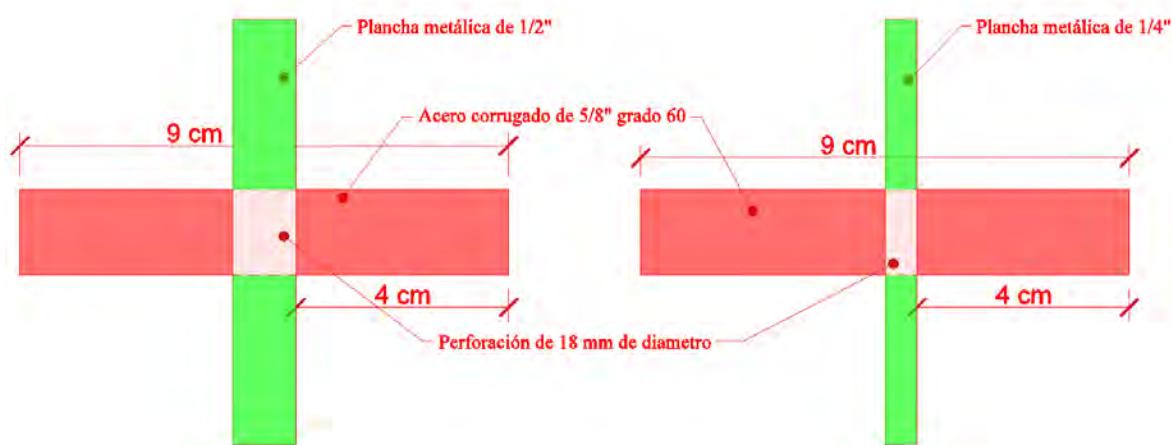
Dimensiones de Plancha Metálica para las Muestras



Después de realizar el proceso de preparación de la plancha metálica se realiza el recorte de las barras de acero ASTM A615 con el detalle que se muestra en la Figura 39.

Figura 39

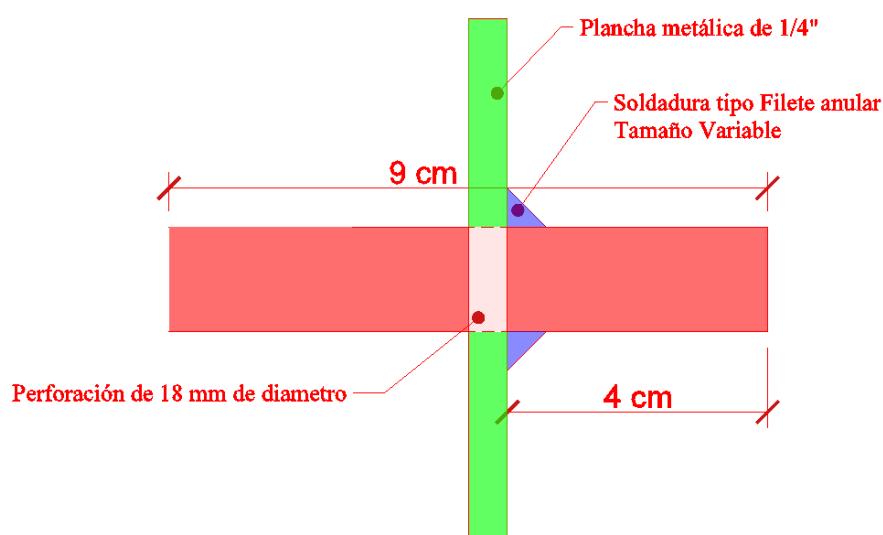
Detalle de Barra Corrugada de 5/8" para las Muestras



Como se muestra en la figura, la barra corrugada atraviesa la perforación realizada en la plancha metálica ASTM A36, con los dos materiales que son la plancha metálica perforada y barras de acero de 5/8" con una longitud de 9cm se debe realizar la unión de las piezas mencionadas mediante un cordón de soldadura anular como se muestra en la Figura 40.

Figura 40

Tamaño de la Soldadura Tipo Filete de las Muestras



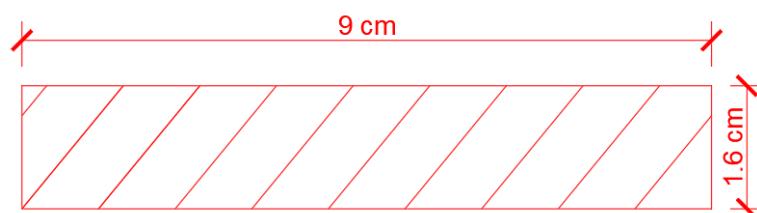
4.1.1.2 Ensayo de Corte

Para la elaboración de 8 muestras para el ensayo de corte se realiza la preparación del corte de barras de 9 cm de longitud que se muestra en la *Figura 41*.

El material requerido para realizar la preparación de la muestra es una cortadora de acero eléctrico.

Figura 41

Muestra de Barra Corrugada de 16 mm Para Prueba de Corte



4.1.2 Elaboración de Muestras

4.1.2.1 Muestra para Ensayo de Pseudo-Tracción

En la elaboración de muestras para ensayo a pseudo tracción se emplea diversos equipos y materiales para realizar la preparación de las piezas que componen la muestra que son plancha metálica ASTM A 36 de $\frac{1}{2}$ ", barra corrugada ASTM A615 Grado 60.

Los equipos utilizados son los siguientes:

- Máquina de corte de acero de 2400W (Trozadora).
- Máquina de soldar de TRC 300 AC/DC
- Esmeril de 2400 W

Los materiales que se emplea son los siguientes:

- Electrodo E7018 de $\frac{1}{8}$ "
- Electrodo E6011 de $\frac{1}{8}$ "
- Disco de desbaste de 7"
- Disco de corte de 14"
- Plancha metálica ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ "
- Barra corrugada ASTM A 615

En una primera instancia se realiza el corte de la plancha metálicas ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ " en un cuadrado de 8cm de lado, luego se procede a realizar una marcación de las diagonales de la sección rectangular para determinar el centro de la perforación y se prosigue a perforar con el oxicorte con un diámetro de 16 mm.

Para realizar la preparación de la barra corrugada de 9 cm de longitud se emplea la máquina de corte como se muestra en la Figura 42.

Figura 42

Corte de Piezas de Barra Corrugada ASTM A615 para Muestra de Conexión Disímil



Nota. En la imagen se identifica una máquina de corte de acero (Trozadora) previo al corte de barra corrugada ASTM A615, se emplea una cinta métrica para cortar adecuadamente la pieza.

Figura 43

Corte de Barra Corrugada ASTM A615 con la Trozadora



Nota. Instante donde se realiza el corte de las piezas de barra corrugada de 9cm en la trozadora.

Después de realizar la preparación de las piezas de acero corrugado se realiza el esmerilado de la sección rectangular de plancha metálica ASTM A36 con perforación de 16 mm para no tener presencia de irregularidades de la superficie de la pieza producida por el oxicorte, este procedimiento se muestra en las figuras Figura 44 y Figura 45.

Figura 44

Preparación de piezas de plancha metálica ASTM A36



Nota. En la imagen se presenta secciones cuadradas de plancha metálica ASTM A36 de 8 cm de lado con una pequeña capa de desbaste.

Figura 45

Proceso de Preparación de Piezas de Plancha Metálica ASTM A36



Nota. En la imagen se presenta el proceso de desbaste de las caras con irregularidades producidas por el oxicorte en la plancha metálicas ASTM 36.

Con la pieza de 9 cm de barra corrugada y plancha metálica ASTM A36 se realiza el proceso de punteo de as 16 muestras, para apreciar este proceso ver la Figura 46.

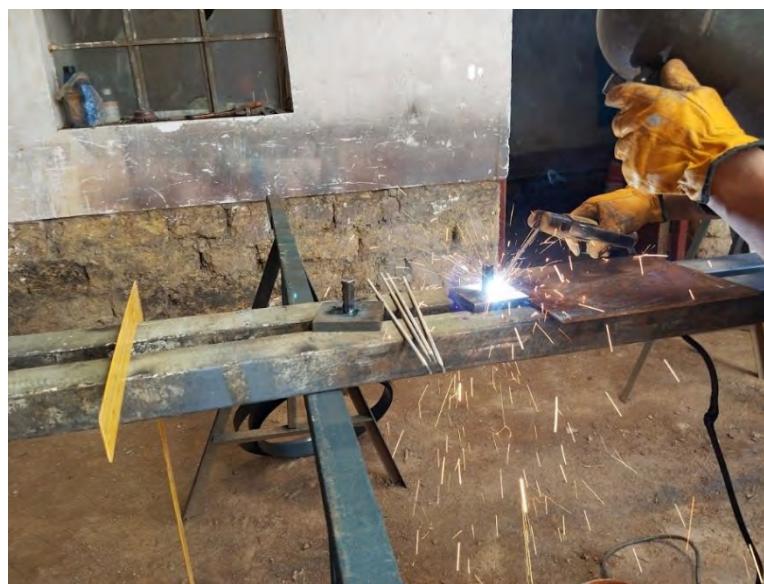
Figura 46

Proceso de verticalización previo al punteo de la plancha metálica y barra corrugada



Nota. En la figura se muestra el proceso previo al punteo de la pieza de barra corrugada ASTM A615 y plancha metálica ASTM A36 que debe tener una perpendicularidad entre ambas piezas.

En el momento donde se tiene una adecuada coincidencia entre dos planos ortogonales de la escuadra se procede a puntear las piezas como se muestra en la Figura 47, el punteo se realiza en 4 zonas alternadas para garantizar la particularidad de las piezas.

Figura 47*Proceso de Punteo de las Piezas*

Nota. En la figura se realiza el punteo de las dos piezas con electrodo E 6011 y un amperaje de 110 en AC (Corriente Alterna).

Las piezas punteadas se apilan en filas adyacentes a la espera de ser sometidos al proceso de soldadura SMAW mediante una soldadura tipo filete en forma de anillo con electrodos 6011 y 7018 de acuerdo con la pertenencia del grupo experimental.

Figura 48*Apilamiento de Muestras Punteadas*

Figura 49

Apilamiento de las muestras de los grupos experimentales (16muestras)



Nota. En la figura se muestra la preparación de las 16 muestras que se someten a ensayo de tracción después de realizar el proceso de punteo con electrodo E6011.

Figura 50

Punteo del Grupo Experimental G1 y G3



Nota. En la figura se muestra la barra corrugada ASTM A615 de 5/8" junto a la plancha metálica de 1/4" que cumple el estándar ASTM A36.

Figura 51

Punteo de los Grupos Experimentales G2 y G4



Nota. En la figura se muestra la barra corrugada ASTM A615 de 5/8" junto a la plancha metálica de 1/2" que cumple el estándar ASTM A36, nótese que el punteo se realiza de lados opuestos para garantizar la ortogonalidad del acero corrugado.

Después de realizar el punteo de los 4 grupos experimentales (16 muestras) se realiza el proceso de soldadura SMAW de las piezas punteadas con la máquina de soldadura con electrodo E6011 los grupos experimentales G1 y G2, se dispone a colocar la máquina de soldadura en un amperaje de 110 AC, en la se muestra el proceso de soldadura de las muestras.

Para la elaboración del grupo experimental G1 se emplea planta metálica ASTM A36 de 1/4", barra corrugadas ASTM A615 Grado 60 y electrodo E6011 como se muestra en la Figura 52 que corresponde al grupo experimental con la denominación G1.

Figura 52*Muestras de grupo Experimental G1*

Nota. En la figura se verifica las muestras que corresponde al grupo experimental G1 compuesta por plancha metálica ASTM 36 de 1/4" y barra corrugada ASTM A615 Grado 60 de 5/8", donde se ha realizado el cordón de soldadura tipo filete en forma anular con máquina de soldadura en corriente alterna (Alternating Current) con un amperaje de 110.

Figura 53*Muestras del grupo experimental G 4*

Nota. En la figura se observa dos muestras del grupo experimental G4 donde se presenta un cordón de soldadura con electrodo E7018 en corriente continua con porta electrodo al positivo que posee aun una capa de protección de escoria.

Figura 54

Muestras de grupo experimental G3



Figura 55

Muestras del grupo experimental G2



Figura 56

Muestras del grupo experimental G1



Las imágenes muestran el estado de las muestras luego de realizar el proceso de soldeo con electrodo E6011 y electrodo E7018 de acuerdo con el grupo experimental. Se presenta chispas que se han adherido a las muestras que son limpiadas para identificar adecuadamente cada muestra.

Figura 57

Muestra de grupo experimental G1 libre de escoria y chispas



Figura 58

Muestras del grupo experimental G2 libre de escoria y chispas



Nota. En la figura se muestra al grupo experimental G2 que se elabora con barra corruga de 5/8" y plancha metálica ASTM A36 de 1/4" luego de realizar la limpieza de la capa protectora del cordón de soldadura.

Figura 59

Muestras del grupo experimental G3 libre de escoria y chispas



Figura 60

Muestras del grupo experimental G4 libre de chispas y escoria



Las muestras adecuadamente limpiadas de escoria y chispas producidas por el proceso de soldadura se remarcán con corrector mediante una identificación única que permita su identificación y reconocimiento adecuado.

A las muestras de los 4 grupos experimentales se realiza una demarcación de su grupo experimental y se emplea una enumeración única que va desde M1 hasta M16.

Figura 61

Proceso de identificación de las muestras de pseudo tracción



Figura 62

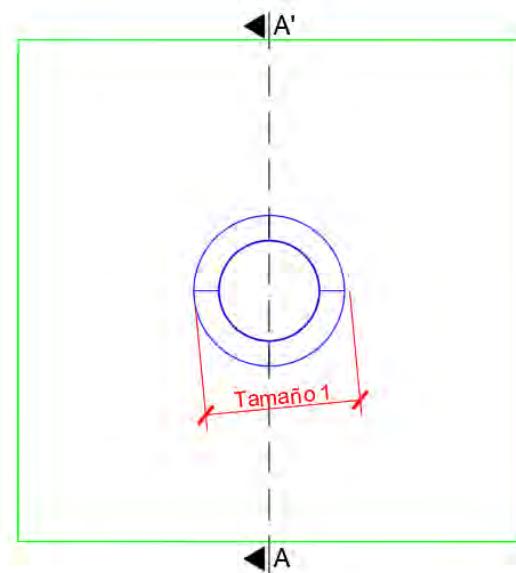
Muestras de pseudo tracción agrupados por grupo experimental

**Figura 63**

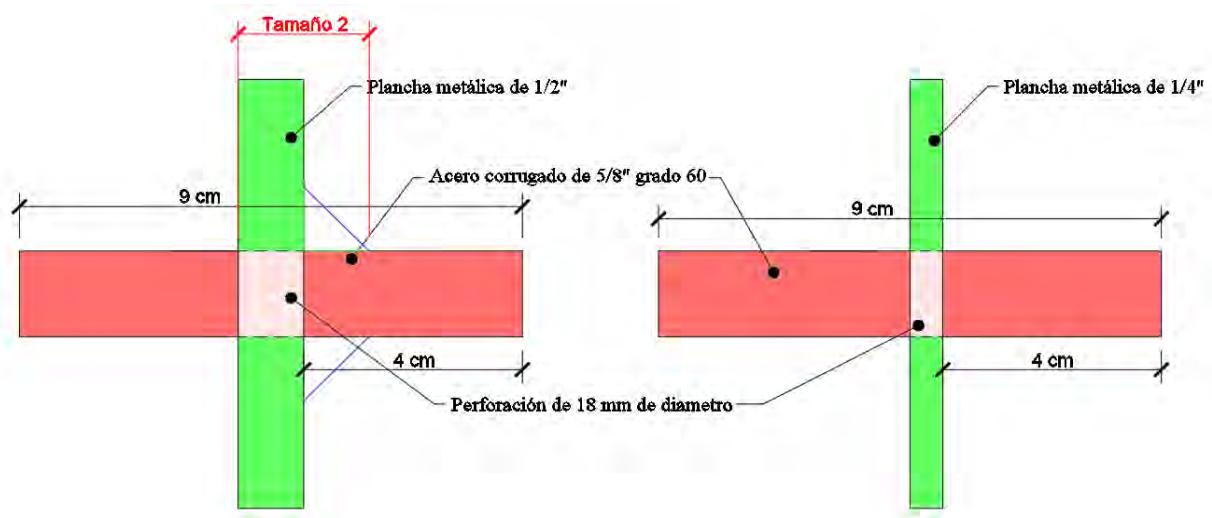
Muestras de pseudo tracción enumeradas desde 1 al 16



Luego de identificar adecuadamente cada muestra se inicia con el proceso de dimensionamiento del tamaño de soldadura con la ayuda de un vernier para lo cual se ha identificado dos medidas de soldadura denominada media 1 y medida 2.

Figura 64*Medida 1 del cordón de soldadura anular*

Nota. En la figura se observa que con el vernier se determina la medida 1 que abarca el diámetro de la barra corrugada y dos proyecciones del tamaño de soldadura. La medida 1 se determina en dos zonas donde se identifica la mínima y máxima dimensión.

Figura 65*Medida 2 del tamaño de soldadura*

Nota. En la figura se observa que con el vernier se determina la medida 2 que abarca el espesor de la plancha metálica ASTM A36 y una proyección del tamaño de soldadura. La medida 2 se determina en dos zonas donde se identifica la mínima y máxima dimensión. Las medidas 1 y 2 que se registran de las muestras se muestran Tabla 12.

Tabla 12*Registro de medidas 1 y 2 de las muestras de pseudo tracción*

		Datos Registrados			
Grupo Experimental	MUESTRA	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)		
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	M1	29.00	32.12	13.20	14.00
	M2	30.00	31.50	12.30	13.54
	M3	29.62	32.00	11.58	13.00
	M4	27.50	32.20	12.22	13.10
2	M5	29.00	33.50	19.00	19.50
	M6	29.32	31.10	19.50	21.00
	M7	31.22	33.88	21.22	22.20
	M8	31.50	32.86	21.50	22.00
3	M9	27.50	32.00	13.00	14.50
	M10	31.50	34.00	14.00	15.00
	M11	30.00	31.50	13.00	15.20
	M12	30.20	31.72	13.20	14.00
4	M13	29.50	30.00	20.50	21.00
	M14	25.50	29.00	20.30	22.00
	M15	28.50	31.00	20.10	21.20
	M16	27.50	29.40	20.22	21.80

Para determinar el tamaño de soldadura se debe emplear las medidas 1 y 2 de cada muestra que deben ser procesadas para determinar su tamaño real, la medida real 1 se determina promediando la dimensión mínima y máxima, posteriormente se realiza un descuento del diámetro de la barra corrugada y finalmente se divide en dos partes para hallar el valor real de la medida 1.

Para determinar la medida real 2 se debe promediar el valor mínimo y máximo registrado, después se debe disminuir el espesor de la plancha metálica ASTM A36 para hallar el valor real e la medida 2.

El tamaño de soldadura lo determina el valor mínimo de los valores reales obtenidos de la medida 1 y 2. Luego de realizar el procesamiento de los datos tomados se tiene la que muestra el tamaño de los cordones de soldadura.

Tabla 13

Procesamiento del tamaño de soldadura en las muestras

Grupo Experimental	MUESTRA	DATO PROCESADO					
		Promedio		Tamaño 2	Área (cm ²)	Tamaño 1	
1	M1	30.56	13.60			7.28	5.32
	M2	30.75	12.92	6.92	3.48	7.38	5.42
	M3	30.81	12.29	6.29	3.16	7.41	5.44
	M4	29.85	12.66	6.66	3.35	6.93	4.99
2	M5	31.25	19.25	7.25	3.64	7.63	5.66
	M6	30.21	20.25	8.25	4.15	7.11	5.16
	M7	32.55	21.71	9.71	4.88	8.28	6.31
	M8	32.18	21.75	9.75	4.90	8.09	6.12
3	M9	29.75	13.75	7.75	3.90	6.88	4.94
	M10	32.75	14.50	8.50	4.27	8.38	6.41
	M11	30.75	14.10	8.10	4.07	7.38	5.42
	M12	30.96	13.60	7.60	3.82	7.48	5.52
4	M13	29.75	20.75	8.75	4.40	6.88	4.94
	M14	27.25	21.15	9.15	4.60	5.63	3.82
	M15	29.75	20.65	8.65	4.35	6.88	4.94
	M16	28.45	21.01	9.01	4.53	6.23	4.35

Teóricamente el tamaño de soldadura debería ser el valor mínimo de la comparación de la medida 1 y medida 2 que se muestra en la Tabla 13, pero debido a que la soldadura es una soldadura filete que no sigue una trayectoria recta no se cumple la premisa, también se indica que la menor área de soldadura no se localice en la garganta teórica de la soldadura de una soldadura típica de filete.

4.1.2.2 Muestra para Ensayo a Corte

Para la elaboración de muestras de corte se emplea los siguientes equipos y materiales:

- Barra corrugada ASTM A615 grado 60
- Esmeril de 2400 W
- Tronzadora de 2400 W de capacidad de disco de 14”
- Flexómetro de 3 m de capacidad
- Marcador color blanco

En la preparación de muestras de corte se emplea la tronzadora para cortar la barra de acero ASTM A615 grado 60 en piezas de 9cm como se muestra en la Figura 66, luego del corte de las piezas se realiza un pequeño desbaste de los extremos de la pieza con el esmeril de 2400 W con un disco de desbaste.

Figura 66

Proceso de corte de barra corrugada ASTM A615 grado 60

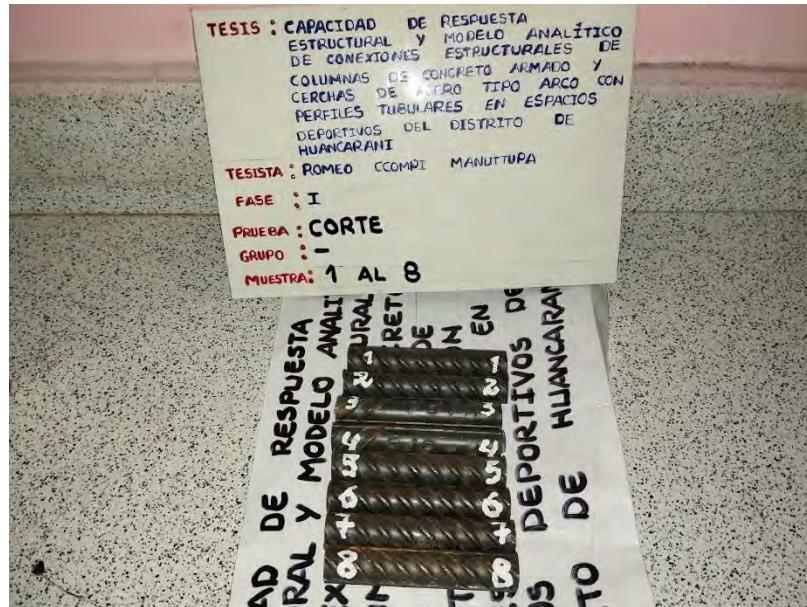


Nota. En la figura se observa el proceso de corte que se realiza a las barras corrugadas ASTM A615 que son realizadas con la tronzadora y una cinta métrica para el dimensionamiento de las piezas que de 9 cm

Luego de realizar el corte de las 8 muestras de corte se emplea un marcador para identificar adecuadamente cada muestra de corte como se observa en la

Figura 67

Muestra de barra corrugada para la prueba de corte



Nota. En la figura se observa muestras de corte de barra corrugada que son enumerado de la muestra 1 al 8, nótese que la identificación de la muestra se localiza en dos partes para garantizar la compatibilización de piezas luego del proceso de corte de los materiales.

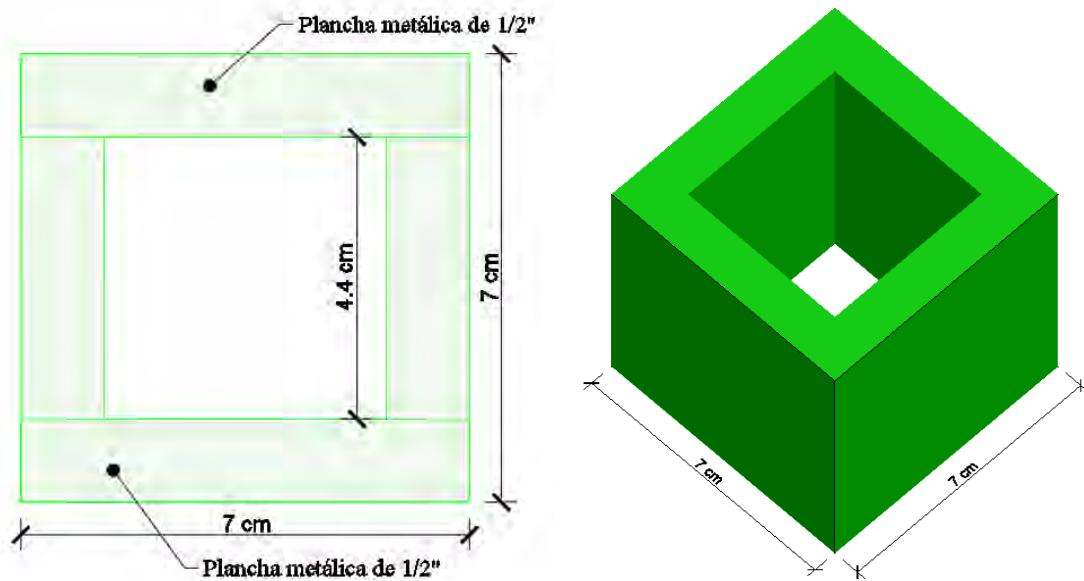
4.1.3 Elaboración de Acopladores para los Ensayos

4.1.3.1 Acoplador Prismático Para Ensayo de Tracción Indirecto

Para realizar el ensayo de tracción de las 16 muestras se tiene un acoplador adicional que permite simplificar el proceso de tracción indirecto que se desea someter la muestra en la maquina universal INSTRON 600DX, el dispositivo es un prisma rectangular como se muestra en la *Figura 68*

Figura 68

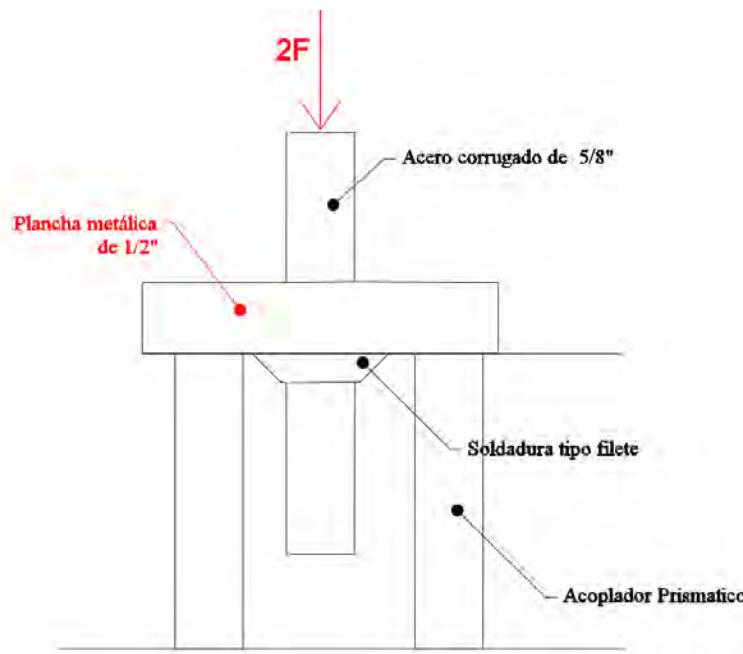
Vista en Planta e Isométrica de Acoplador Primatico para Ensayo de Pseudo-Tracción



El acoplador prismático impide el desplazamiento de la muestra concentrando la deformación en el cordón de soldadura, el acoplador permite simplificar la aplicación de tracción en la conexión disimil

Figura 69

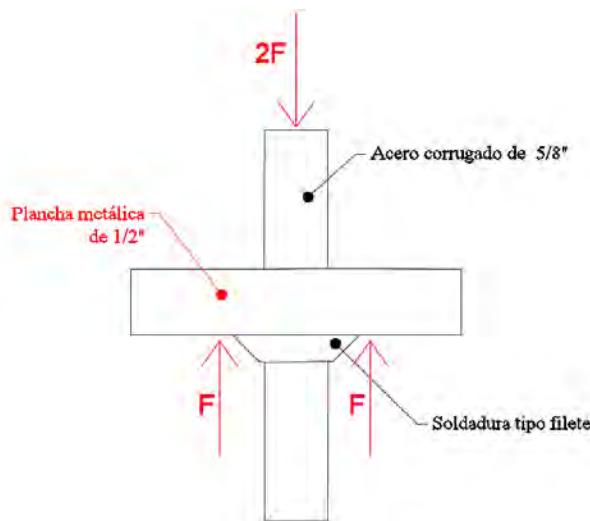
Esquema del Ensayo de Tracción Indirecto de una Muestra



El esquema de fuerzas que se produce en la prueba de pseudo-tracción es como se muestra en la Figura 70, la fuerza de comprsión aplicada para la maquina Universal INSTRON 600DX produce una traccion en el cordon de soldadura notese que el acoplador prismatico permite transformar la fuerza aplicado de compresión a tracción.

Figura 70

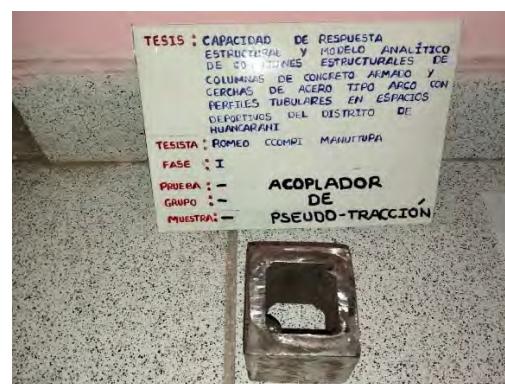
Diagrama de Cuerpo Libre del Ensayo Proyectado



Para visualizar el tipo de material y soldadura que se emplea en la elaboración del acoplador prismático para el ensayo de tracción indirecta verificar el anexo. El acoplador prismático se realiza de plancha metálica ASTM A36 y todas las uniones se realizan con soldadura E 7018, en la Figura 71 se muestra el acoplador prismático.

Figura 71

Acoplador prismático para ensayo de pseudo tracción



4.1.3.2 Acoplador de Corte

La necesidad de realizar la aplicación de una fuerza de corte en la barra corrugada con la maquina INSTRON 600 DX genera la elaboración de un acoplador de corte que emplea los siguientes materiales y equipos:

- Esmeril de 2400 W
- Disco de desbaste de 7"
- Disco de corte de 14"
- Tronzadora de 2400 W
- Máquina de soldadura de 300 AC/DC
- Piezas de muelle de 90mm x 15 mm de sección
- Pancha metálica ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ "
- Vernier
- Cinta Métrica
- Electro E6011 y E7018

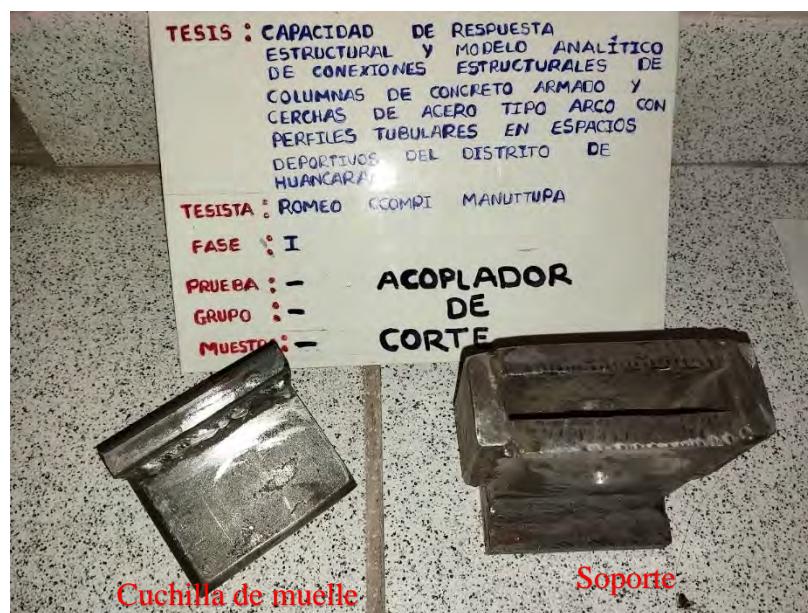
Para realiza el acoplador de corte en un paso previo se realiza la prefabricación de piezas que consiste en preparar una pieza de muelle de 8cm x 7 cm con una pequeña media luna en la parte central para distribuir la fuerza aplicada sobre la barra corrugada. También se emplea tres piezas de plancha metálica ASTM A A36 de $\frac{1}{2}$ " de 8 cm x 8cm y una platina de 2"x1/2" con 8cm de longitud con una perforación de 9 mm de radio en la parte central, en resumen, se tiene las siguientes piezas:

- Muelle de 8cm x 7cm x 15mm (1 pieza)
- Plancha metálica ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ " de 8 cm x 8 cm con una perforación de 9mm de radio en la parte central (3 piezas)
- Platina de 2"x1/2" de 8 cm de longitud (1 pieza)

Las piezas son punteadas previamente con las dimensiones requeridas y se tiene un especial cuidado en el punto de la cuchilla de la parte central y se coloca espaciadores de 1/32" entre el contacto de plancha metálica ASTM A36 y el muelle para garantizar el desplazamiento libre de las piezas.

Figura 72

Acoplador de corte 1



El acoplador de corte tiene deformación considerable al momento de las pruebas previas al corte en la plancha metálica ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ " focalizado en la perforación por lo que se deja de utilizar el acoplador de corte 1 y se plantea un acoplador que tenga la cuchilla y los soportes de muelle.

Para realizar el acoplador corte 2 se realiza la preparación de las siguientes piezas:

- Muelle de con una abertura en la parte central en forma de medialuna
- Muelle de con una perforación en la parte central de 18mm
- Platina de 2"x1/2"
- Muelle de para el cabezal de la cuchilla

Para elaborar el acoplador de corte se realiza el punteo de las piezas como se muestra en la Figura 73 con electrodo E6011.

Figura 73

Proceso de elaboración de acoplador de corte



Nota. En la figura se observa que se tiene una base de platina de 2" x 1/2" melliza que sirve de soporte a las piezas de muelle, nótese que existe una pequeña sección de plancha metálica galvanizada de 1/32" que se utiliza para garantizar el desplazamiento de la cuchilla que se ubica en la parte central con las piezas de los extremos. En el proceso de punteo se identifica la utilización de una prensa manual para tener una correcta fijación de las piezas.

Luego de realizar el punteo de la pieza se adiciona 4 rigidizadores de platina de 2" x 1/2" a la vez se emplea dos piezas de platina en los extremos cortos del acoplador de corte para limitar el movimiento de la cuchilla de la parte central en el momento de los ensayos como se muestra en la Figura 74.

Figura 74

Proceso de soldado del acoplador de corte



Nota. En la figura se observa que se tiene el acoplador de corte después de someter a un proceso de soldadura de todas las piezas que los conforman se identifica 4 rigidizadores en uno de los lados y en el lado corto 2 rigidizadores de platina de 2" x 1/2", los cordones de soldadura se realizan con electrodo E7018.

Luego de realizar la limpieza del acoplador se debe de realizar el punteo del cabezal de la cuchilla que se muestra en la Figura 75.

Figura 75

Cuchilla del acoplador de corte



Nota. En la figura se observa la cuchilla del acoplador de corte unido mediante un cordón de soldadura tipo filete de 9mm de tamaño realizado con electrodo E7018.

Al acoplador de corte se le realiza la aplicación de una capa de aceite entre la cara de contacto de la cuchilla y de los soportes para garantizar el libre desplazamiento de las piezas en el ensayo de corte como se muestra en la Figura 76.

Figura 76

Acoplador de corte



Nota. En la figura se observa el acoplador de corte y para un mejor detalle del acoplador se adjunta un plano en el anexo 5.3.8

Figura 77

Vista frontal de acoplador de corte



Nota. En la figura se aprecia en la base la unión de dos platinas ASTM A36 de 2"x1/2", se observa la cuchilla y el soporte del acoplador con perforaciones en la parte central de muelle de 15mm de espesor y rigidizadores de platina de 2"x1/2".

Figura 78

Vista en planta de acoplador de corte



Nota. En la figura se aprecia en la base la unión de dos platinas ASTM A36 de 2"x1/2", soporte de muelle de 15 mm y rigidizadores de platina ASTM A36 de 2"x1/2".

Figura 79

Vista lado derecho de acoplador de corte 2



Nota. En la figura se aprecia la base de platina ASTM A36 de 2"x1/2" y rigidizadores de platina.

4.1.4 Ejecución y Resultados de los Ensayos

4.1.4.1 Ensayo de Pseudo-Tracción en Laboratorio

Para el ensayo de laboratorio de pseudo tracción se realiza en primera instancia la programación respectiva para la ejecución de los ensayos y se establece una deformación de 1mm/min para la muestra G2M5 y una velocidad de deformación de 2mm/min en las demás muestras, en fecha 08 de marzo del 2024 se realiza el ensayo de la muestra G2M5 que corresponde al grupo experimental grupo 2 y muestra numero 5 como se verifica en la Figura 80.

Figura 80

Ensayo de la muestra G2M5



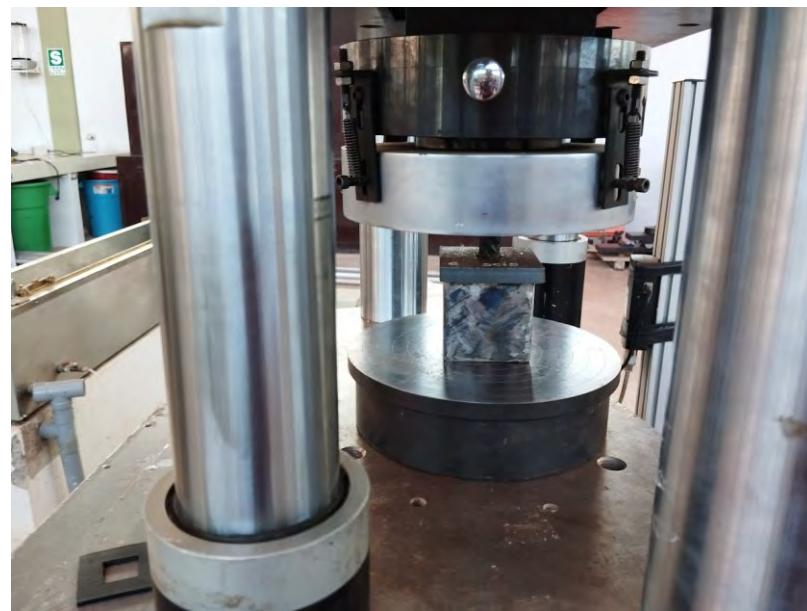
Nota. En la figura se observa la aplicación de fuerza de compresión por la maquina universal INSTRON 600DX en el extremo de la barra corrugada y tiene como soporte el acoplador

prismático que permite limitar el desplazamiento de la pieza concentrándolo en el cordón de soldadura.

La segunda fecha de ejecución de ensayos es el 13 de marzo del 2024 donde se realiza el ensayo de las muestras G2M6, G2M7, G2M8, G4M13, G4M14, G4M15 y G4M16.

Figura 81

Ejecución de ensayo de la muestra G2M6



Como se muestra en la Figura 81 se emplea la aplicación de una fuerza de compresión que mediante el acoplador prismático se transforma en una fuerza de extracción en el lado opuesto por estar limitado por el prisma de metal, se tiene especial cuidado de que el cordón de soldadura anular se debe localizar embebido dentro del prisma y no se debe apreciar el cordón de soldadura al momento de ejecutar el ensayo.

Figura 82*Ejecución del ensayo G2M7*

En la Figura 83 se aprecia que la muestra se debe colocar en la parte central de los platillos de metal y se debe tomar énfasis en la colocación concéntrica de la muestra en referencia al prisma de metal.

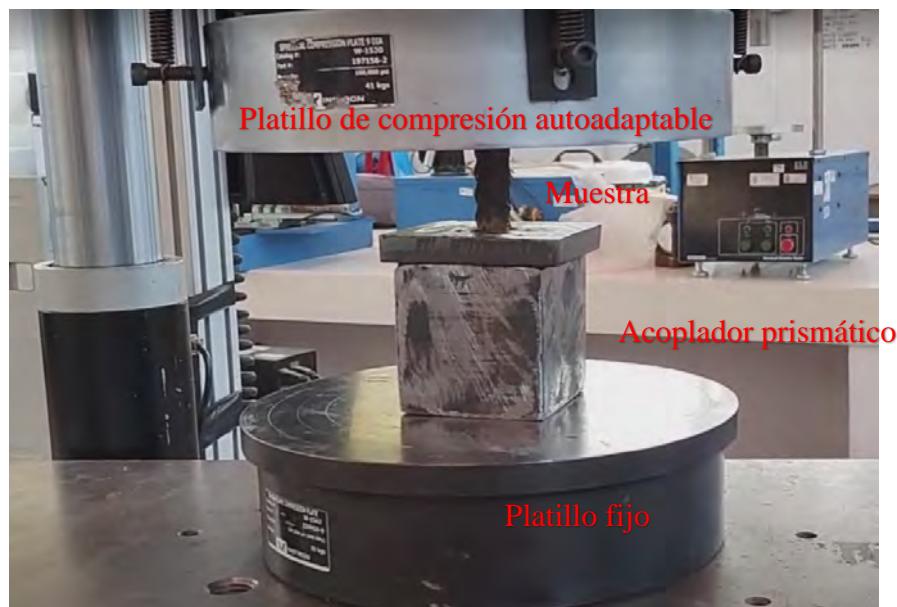
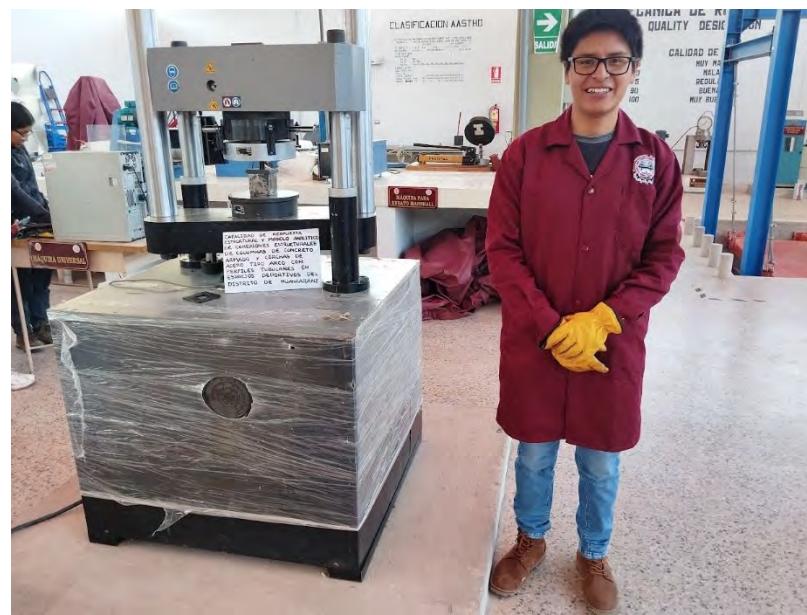
Figura 83*Partes del ensayo de pseudo tracción*

Figura 84*Ejecución del ensayo de pseudo tracción***Figura 85***Muestras en el ensayo de pseudo tracción*

Los grupos experimentales se detalla a continuación:

- El grupo experimental G1 se realiza con electrodo E 6011 y plancha metálica ASTM A 36 de $\frac{1}{4}$ ".

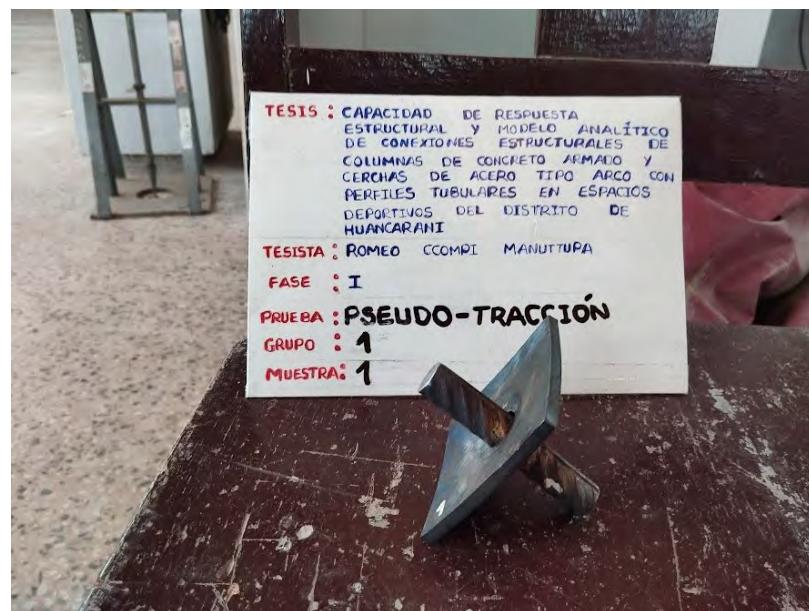
- El grupo experimental G2 se realiza con electrodo E 6011 y plancha metálica ASTM A 36 de 1/2”.
- El grupo experimental G3 se realiza con electrodo E 7018 y plancha metálica ASTM A 36 de 1/4”.
- El grupo experimental G4 se realiza con electrodo E 7018 y plancha metálica ASTM A 36 de 1/2”.

Cada uno de los grupos experimentales tiene como acero corrugado común de 5/8” que es fijado a la plancha metálica de 1/4” o 1/2” mediante una soldadura tipo filete.

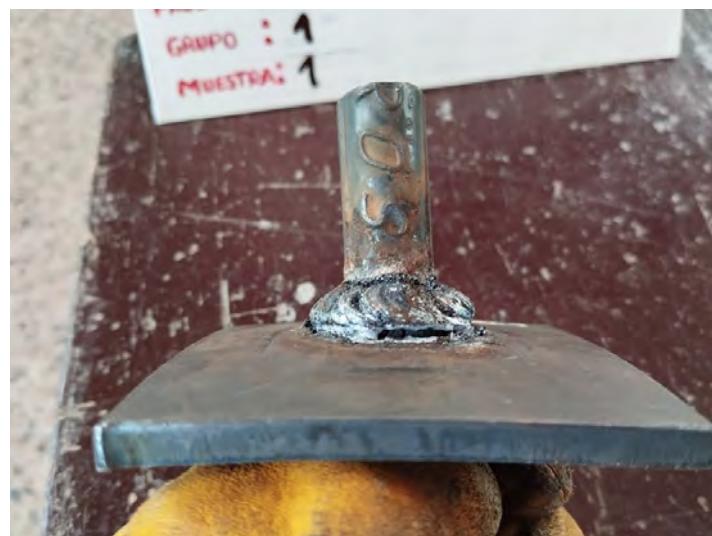
Luego de realizar las pruebas en laboratorio de todas las muestras se realiza un análisis detallado de las fallas que se producen en las muestras.

Figura 86

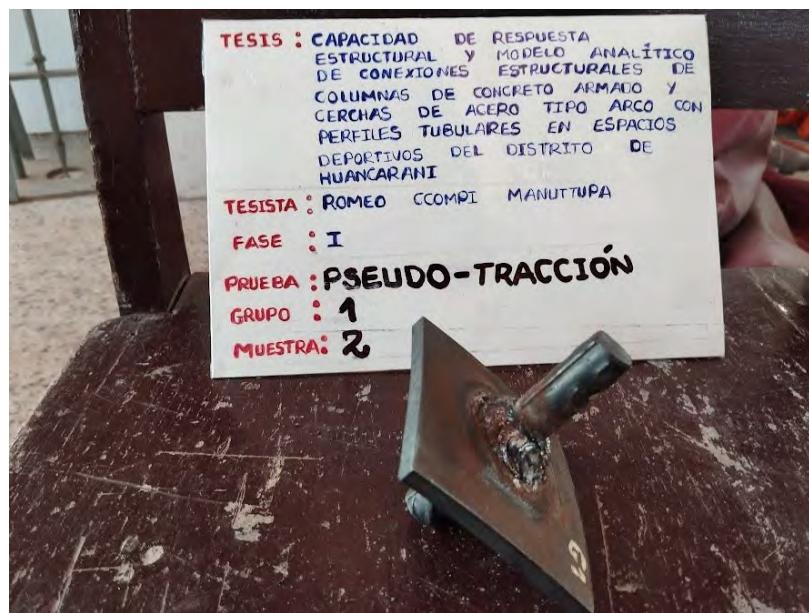
Muestra G1M1



Nota. En la figura se observa la muestra G1M1 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 87*Falla de la muestra G1M1*

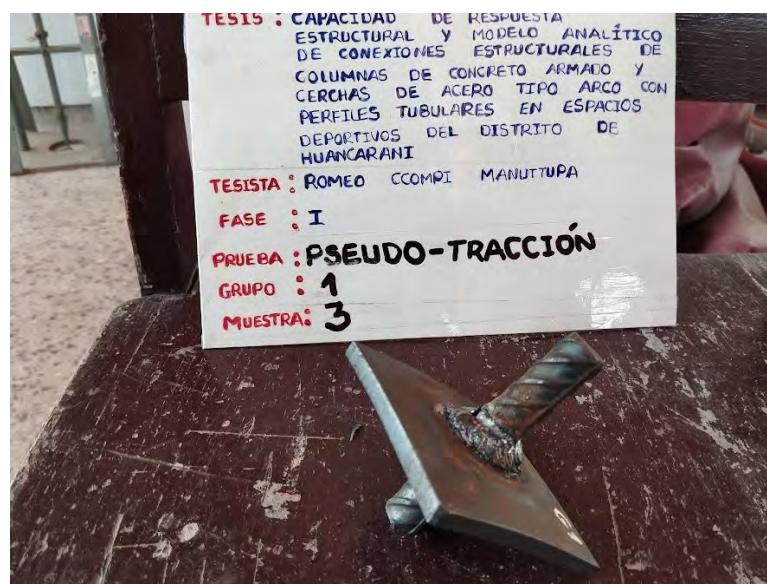
Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G1M1 que presenta una falla en el área de contacto de cordón de soldadura y plancha metálica.

Figura 88*Muestra G1M2*

Nota. En la figura se observa la muestra G1M2 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 89*Falla de la muestra G1M2*

Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G1M2 que presenta una falla en el área de contacto de cordón de soldadura y plancha metálica.

Figura 90*Muestra G1M3*

Nota. En la figura se observa la muestra G1M3 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 91*Falla de la muestra G1M3*

Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G1M4 que presenta una falla en el área de contacto de cordón de soldadura y barra corrugada.

Figura 92*Muestra G1M4*

Nota. En la figura se observa la muestra G1M4 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 93

Falla de la muestra G1M4 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G1M4 que presenta una falla en el área de contacto de cordón de soldadura y barra corrugada.

Figura 94

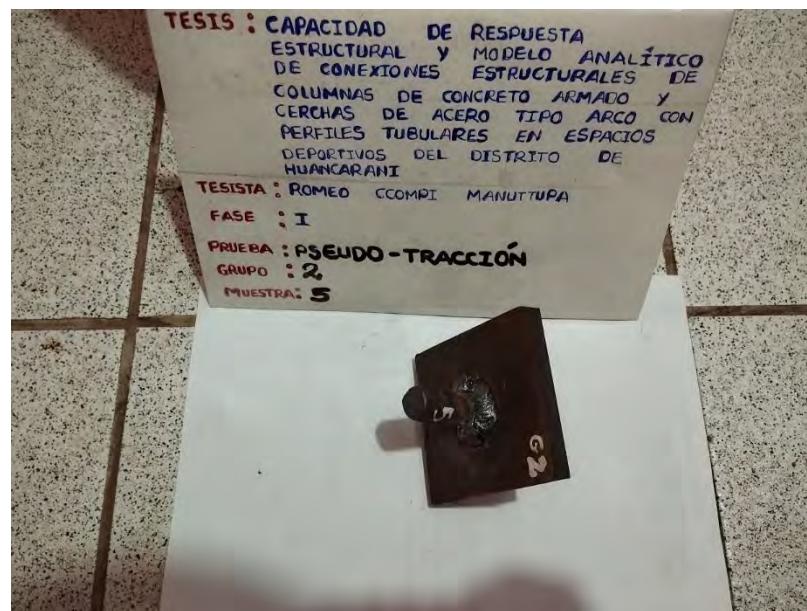
Falla de la muestra G1M4 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G1M4 que presenta una falla en el área de contacto de cordón de soldadura y barra corrugada.

Figura 95*Falla de la muestra G1M4 cuadrante 3*

Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G1M4 que presenta una falla en el área de contacto de cordón de soldadura y plancha metálica.

Figura 96*Muestra G2M5*

Nota. En la figura se observa la muestra G2M5 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 97

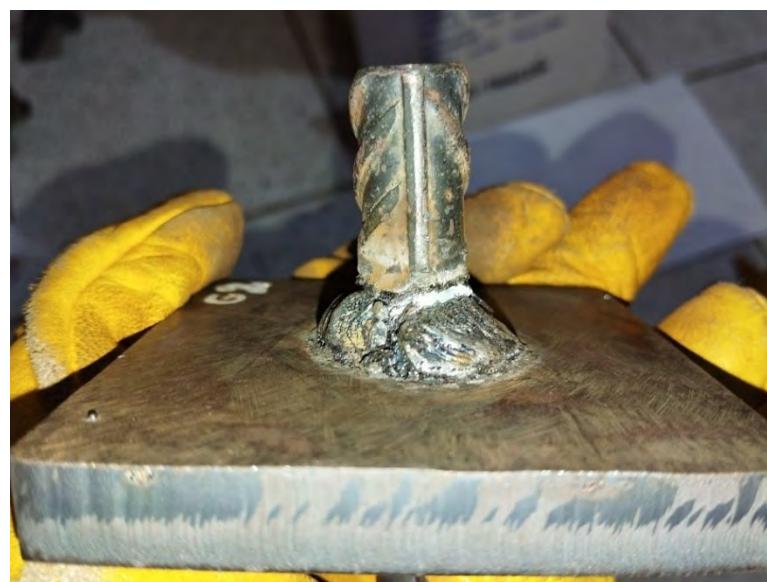
Falla de muestra G2M5 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M5 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 98

Falla de muestra G2M5 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M5 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que inicia en el punto donde se inicia el proceso de soldadura.

Figura 99

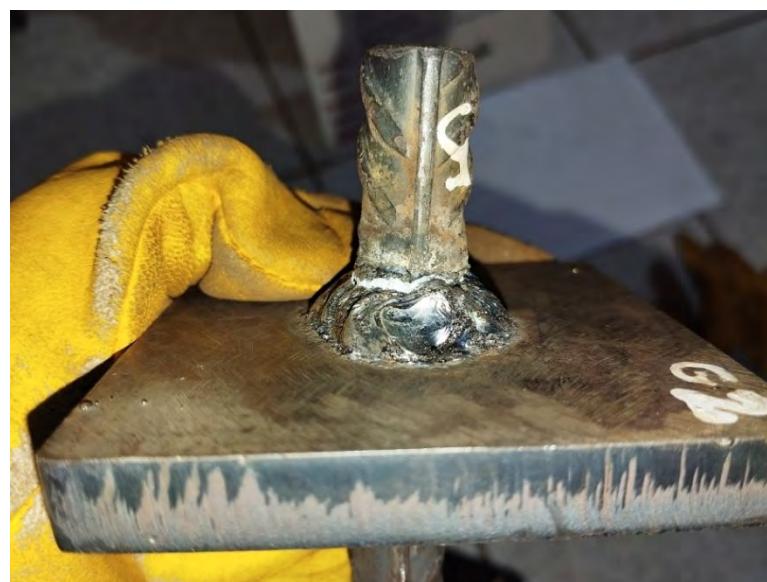
Falla de muestra G2M5 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M5 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca todo el cuadrante.

Figura 100

Falla de muestra G2M5 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M5 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca todo el cuadrante.

Figura 101

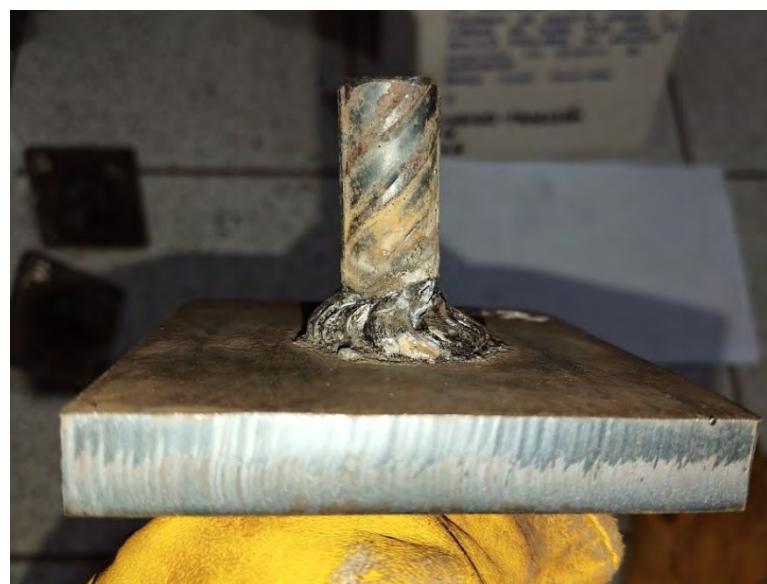
Muestra G2M6



Nota. En la figura se observa la muestra G2M6 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 102

Falla de muestra G2M6 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M6 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la mitad del cuadrante.

Figura 103

Falla de la muestra G2M6 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M6 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante.

Figura 104

Falla de muestra G2M6 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M6 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante.

Figura 105

Falla de muestra G2M6 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M6 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante.

Figura 106

Muestra G2M7



Nota. En la figura se observa la muestra G2M7 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 107

Falla de muestra G2M7 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M7 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante con una pequeña ramificación de falla en el inicio del cordón de soldadura.

Figura 108

Falla de muestra G2M7 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M7 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante.

Figura 109

Falla de la muestra G2M7 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M7 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante.

Figura 110

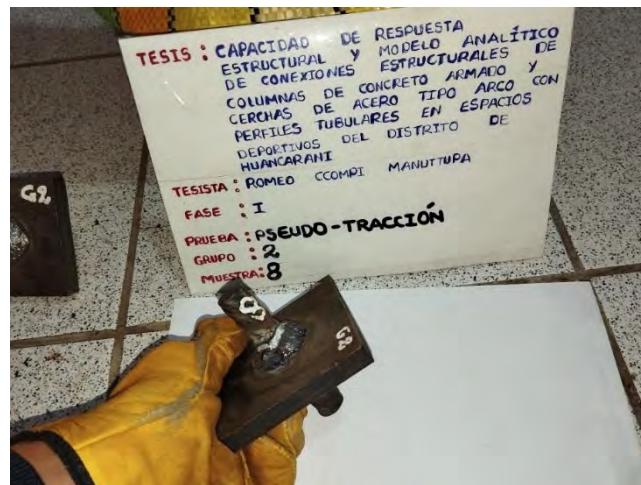
Falla de la muestra G2M7 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M7 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante con una desviación de la barra corrugada a la parte opuesta donde se localiza el punto de inicio del cordón de soldadura y menor tamaño de esta.

Figura 111

Muestra G2M8



Nota. En la figura se observa la muestra G2M8 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E6011.

Figura 112

Falla de la muestra G2M8 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M8 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante con una desviación de la barra corrugada a la parte opuesta donde se localiza el menor tamaño de soldadura.

Figura 113

Falla de la muestra G2M8 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M8 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante con una desviación de la barra corrugada a la parte opuesta donde se localiza el menor tamaño de soldadura.

Figura 114

Falla de la muestra G2M8 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M8 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante.

Figura 115

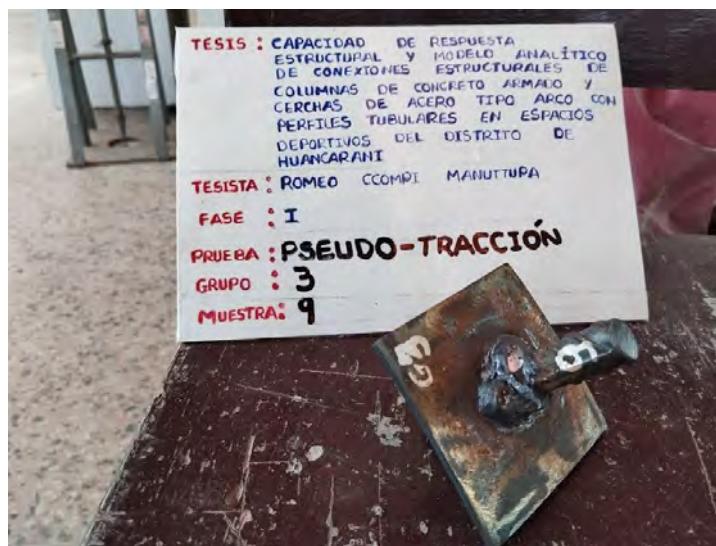
Falla de la muestra G2M8 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G2M8 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura que abarca la totalidad del cuadrante con una desviación de la barra corrugada a la parte opuesta donde se localiza el menor tamaño de soldadura.

Figura 116

Muestra G3M9



Nota. En la figura se observa la muestra G3M9 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 117

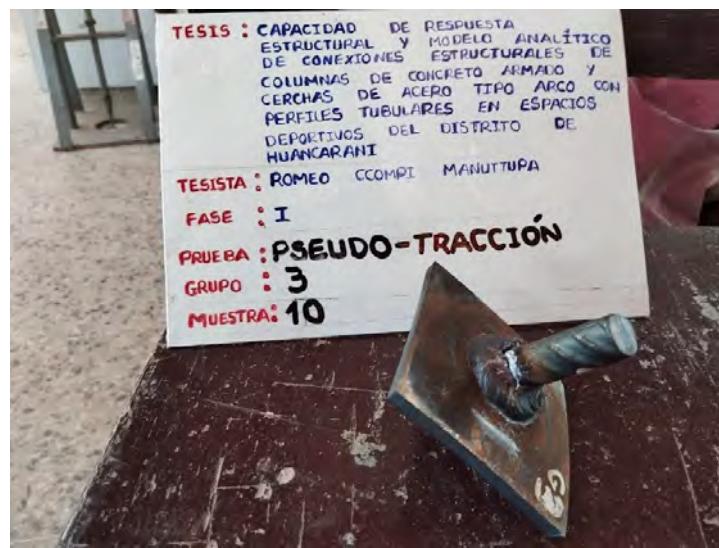
Falla de la muestra G3M9



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G3M9 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura hasta la parte media, luego se tiene una falla que se desarrolla en el contacto de cordón de soldadura y plancha metálica.

Figura 118

Muestra G3M10



Nota. En la figura se observa la muestra G3M10 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 119

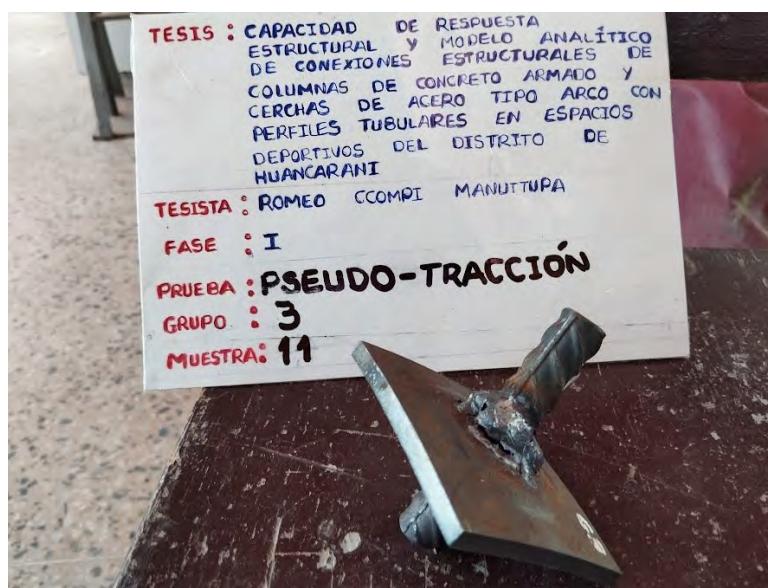
Falla de la muestra G3M10



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G3M10 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 120

Muestra G3M11



Nota. En la figura se observa la muestra G3M11 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/4" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 121

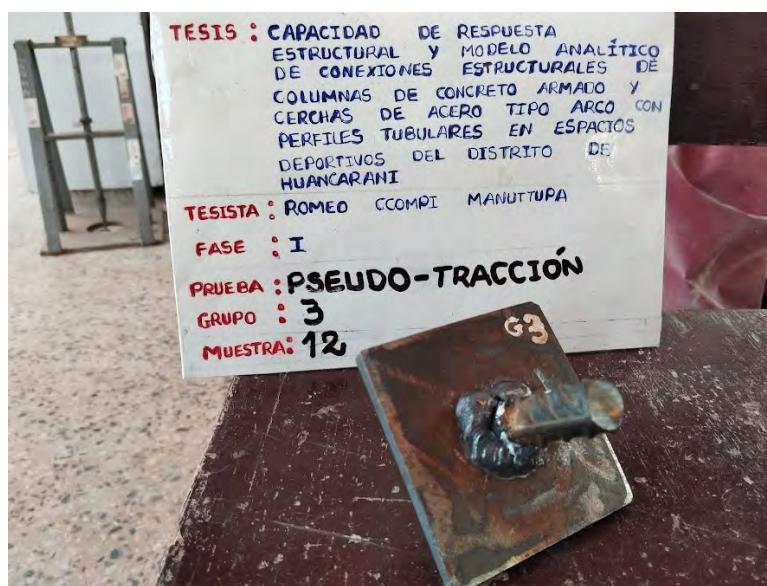
Falla de la muestra G3M11



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G3M11 que presenta una falla en el área de contacto de plancha metálica y cordón de soldadura.

Figura 122

Muestra G3M12



Nota. En la figura se observa la muestra G3M12 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 123

Falla de la muestra G3M12



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G3M12 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada y cordón de soldadura.

Figura 124

Muestra G4M13



Nota. En la figura se observa la muestra G4M13 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 125

Falla de muestra G4M13 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M13 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura, nótese que la falla se aleja de la superficie de contacto de barra corrugada y cordón de soldadura.

Figura 126

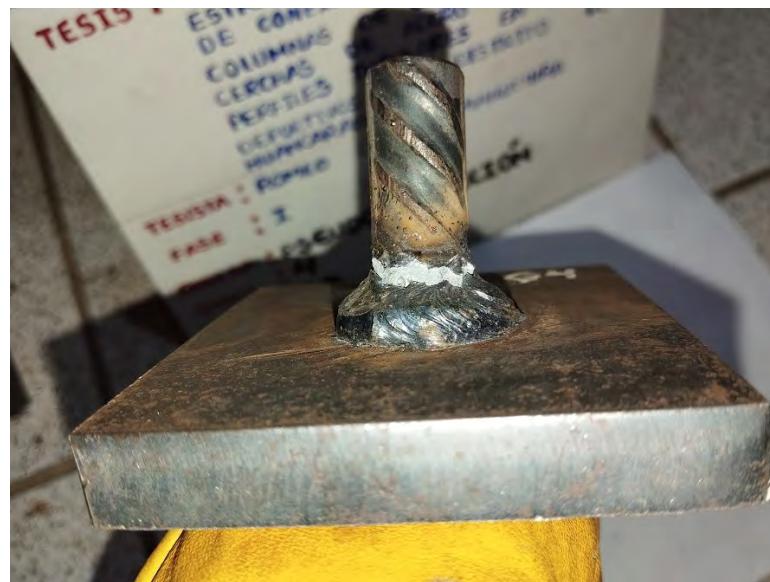
Falla de muestra G4M13 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M13 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura, nótese que la falla es en todo el cuadrante y la barra corrugada se desvía al lado con menor tamaño de soldadura.

Figura 127

Falla de la muestra G4M13 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M13 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura y la falla es en todo el cuadrante.

Figura 128

Falla de la muestra G4M13 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M13 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura, la falla que se presenta en el área de contacto indicado tiene una ramificación que se dirige a la plancha metálica ASTM A36.

Figura 129

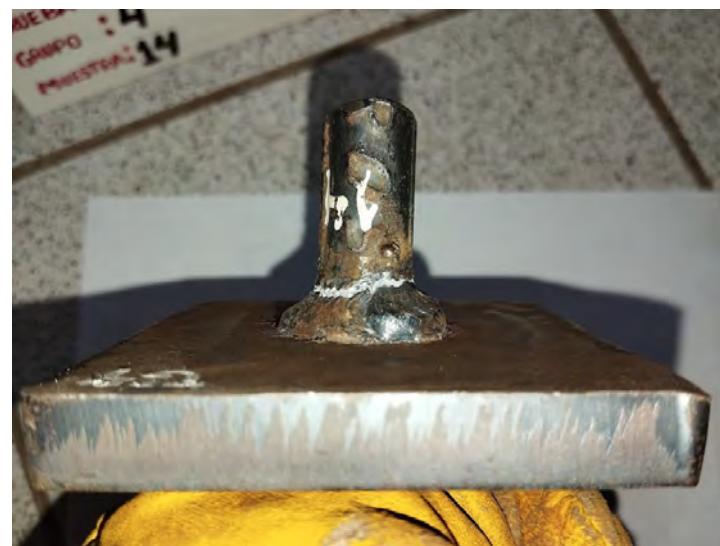
Muestra G4M14



Nota. En la figura se observa la muestra G4M14 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 130

Falla de la muestra G4M14 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M14 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 131

Falla de la muestra G4M14 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M14 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura con una pequeña inclinación de la barra corrugado al lado con menor deposición de soldadura.

Figura 132

Falla de la muestra G4M14 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M14 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 133

Falla de la muestra G4M14 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M14 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 134

Muestra G4M15



Nota. En la figura se observa la muestra G4M15 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 135

Falla de la muestra G4M15 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M15 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura con una pequeña inclinación de la barra corrugada.

Figura 136

Falla de la muestra G4M15 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M15 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 137

Falla de la muestra G4M15 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M15 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 138

Falla de la muestra G4M15 cuadrante 4



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M15 que presenta una falla en el área de contacto de barra corrugada con el cordón de soldadura.

Figura 139

Muestra G4M16



Nota. En la figura se observa la muestra G4M16 después de la prueba de laboratorio compuesta por plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8" unido con electrodo E7018.

Figura 140

Falla de la muestra G4M16 cuadrante 1



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M16 que presenta una falla en el área de contacto de plancha metálica ASTM A36 y cordón de soldadura en la primera mitad del cuadrante, luego la falla se traslada al contacto entre barra corrugada y cordón de soldadura.

Figura 141

Falla de la muestra G4M16 cuadrante 2



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M16 que presenta una falla en el área de contacto de la barra corrugada y el cordón de soldadura.

Figura 142

Falla de la muestra G4M16 cuadrante 3



Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M16 que presenta una falla en el área de contacto de la barra corrugada y el cordón de soldadura.

Figura 143

Falla de la muestra G4M16



Figura 144

Detalle de falla de muestra G4M16

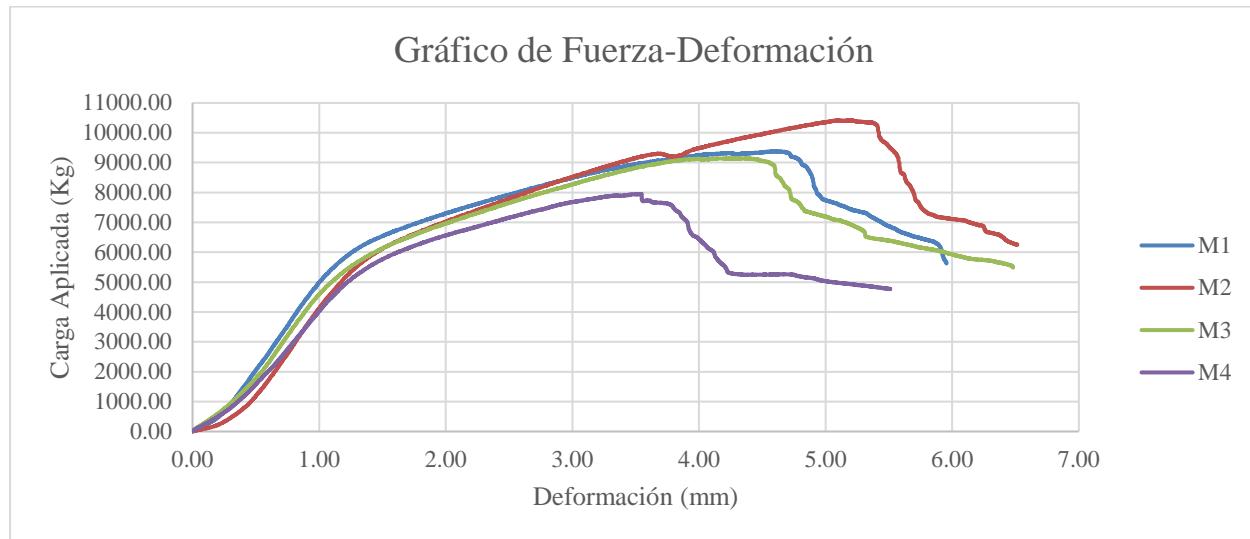


Nota. En la figura se observa la falla de la muestra G4M16 que presenta una falla entre plancha metálica y cordón de soldadura que se extiende a la parte central del cordón de soldadura.

A continuación, se representa el diagrama de fuerza- deformación por grupos experimentales.

Figura 145

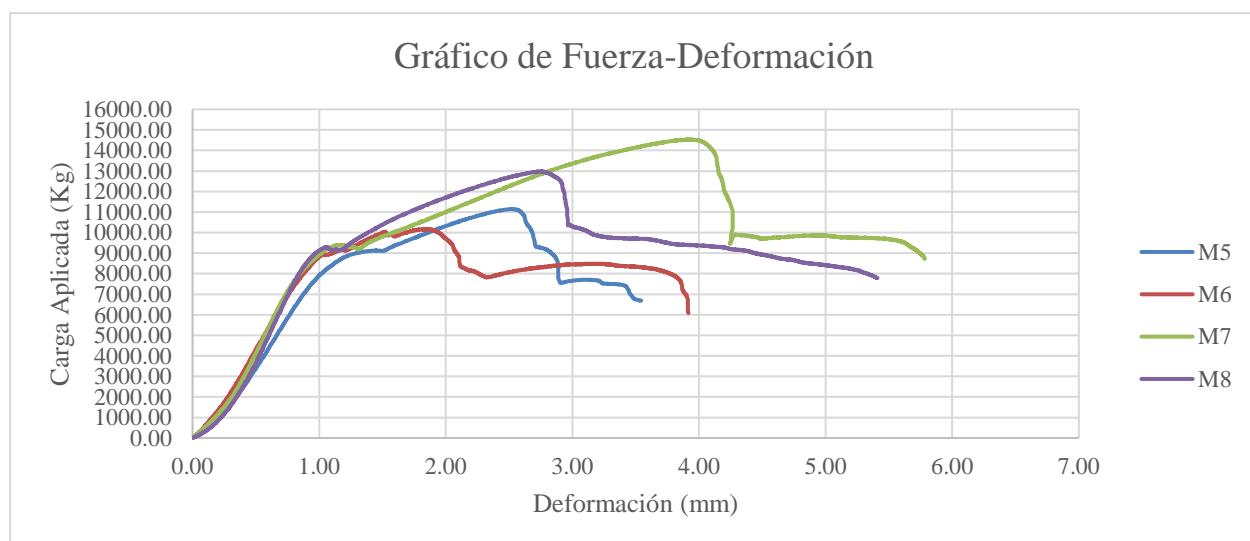
Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G1



Nota. En el grafico no se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material frágil.

Figura 146

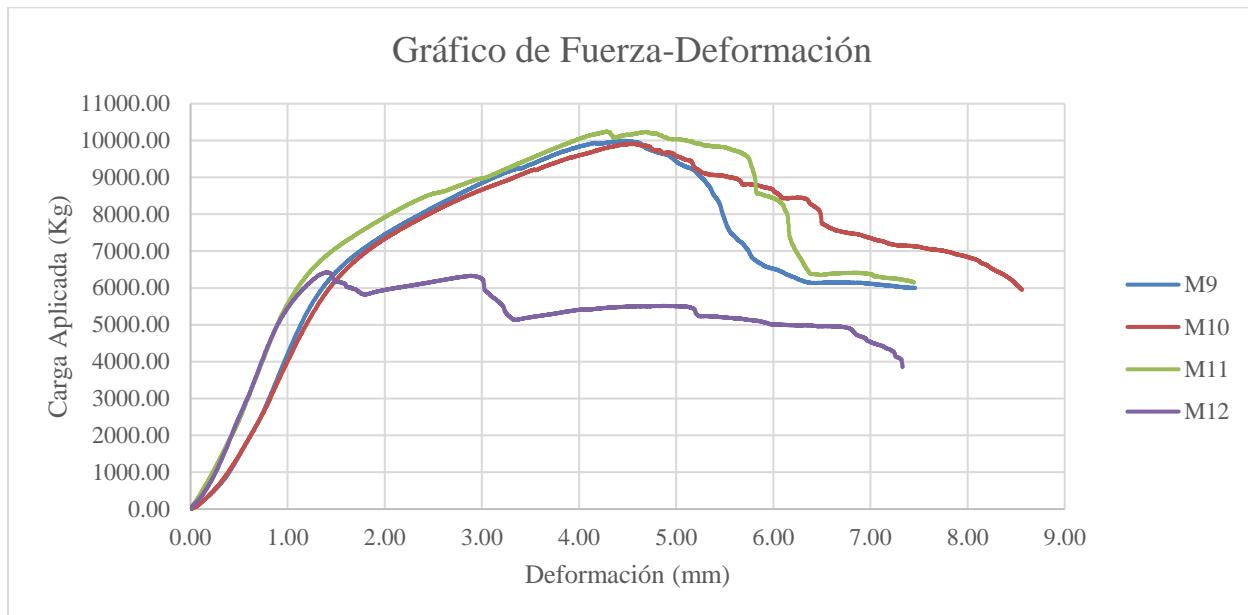
Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G2



Nota. En el grafico se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material dúctil.

Figura 147

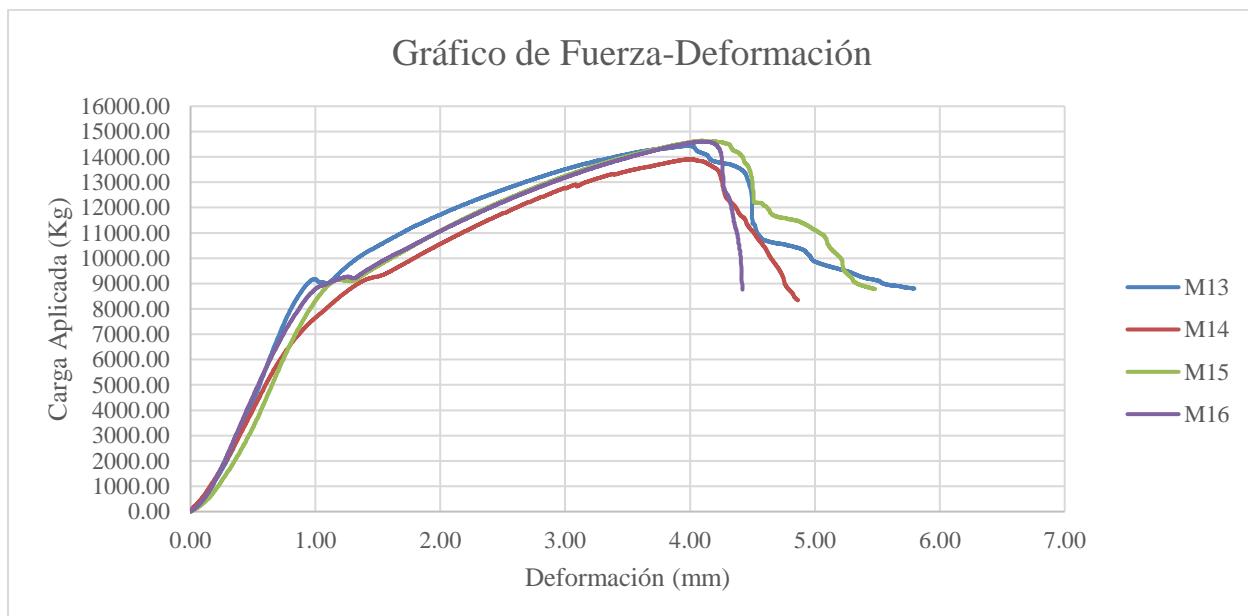
Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G3



Nota. En el grafico no se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material frágil.

Figura 148

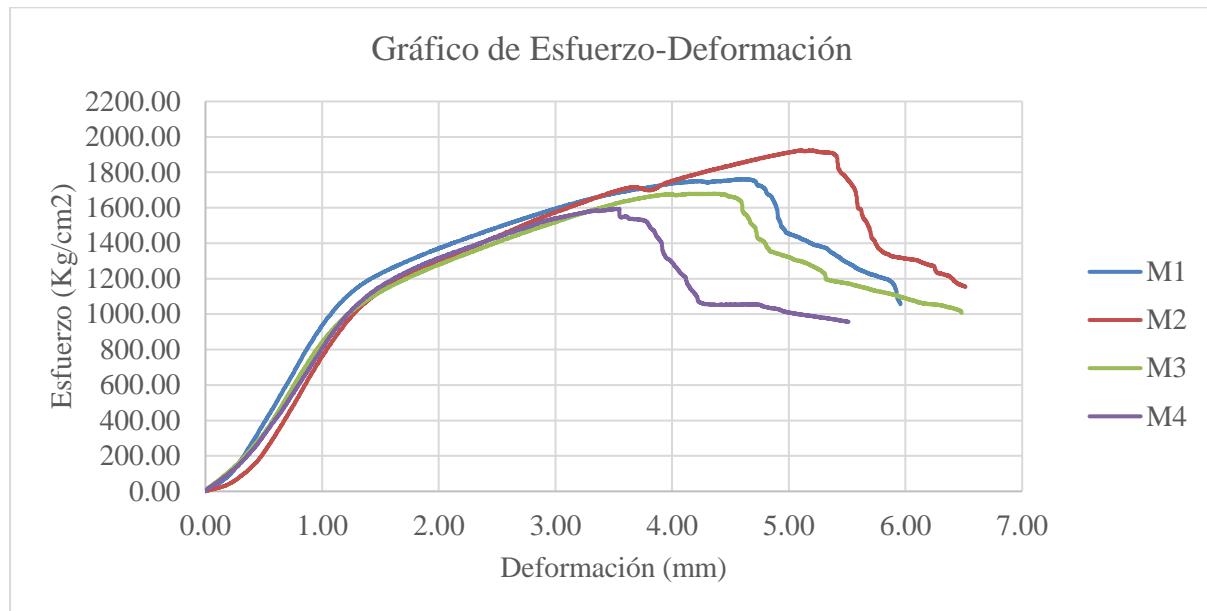
Relación de fuerza- deformación del grupo experimental G4



Nota. En el grafico se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material dúctil.

Figura 149

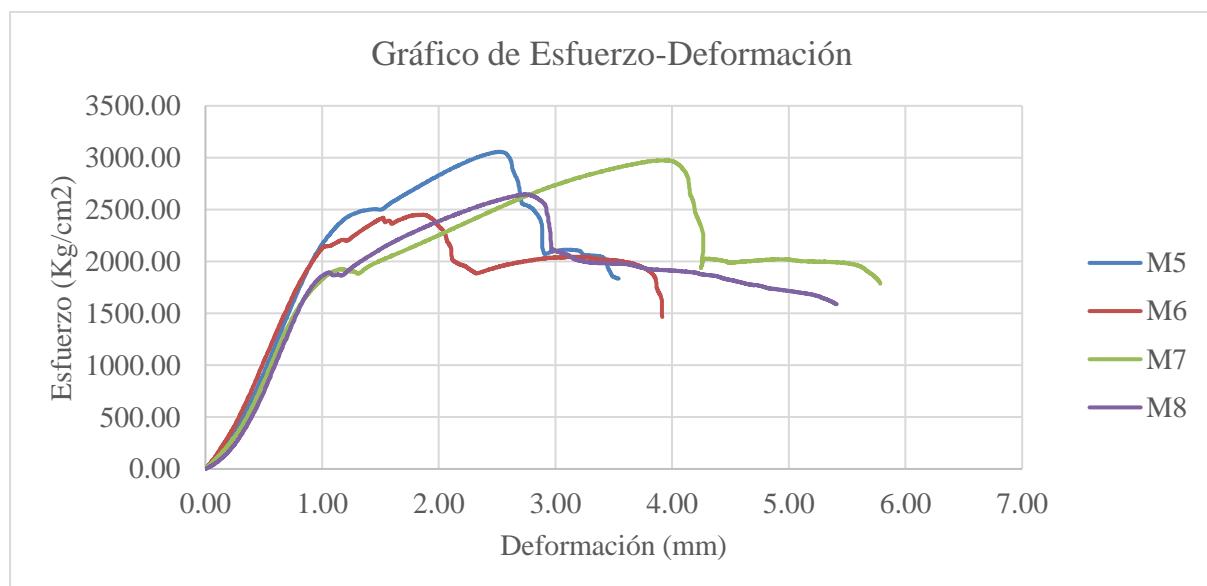
Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G1



Nota. En el grafico no se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material frágil.

Figura 150

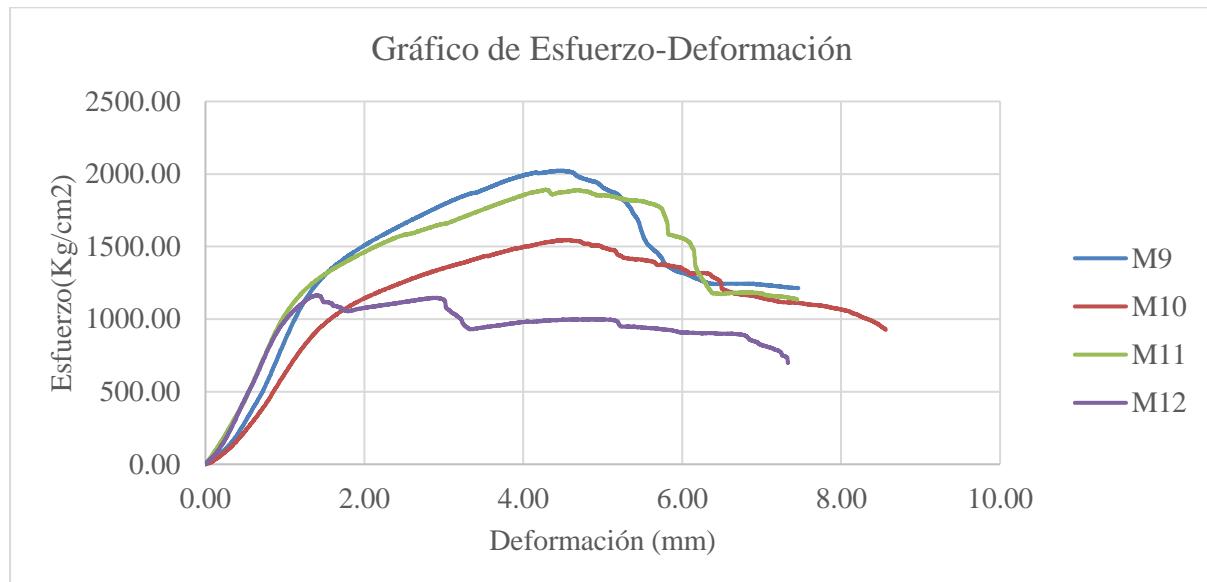
Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G2



Nota. En el grafico se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material dúctil.

Figura 151

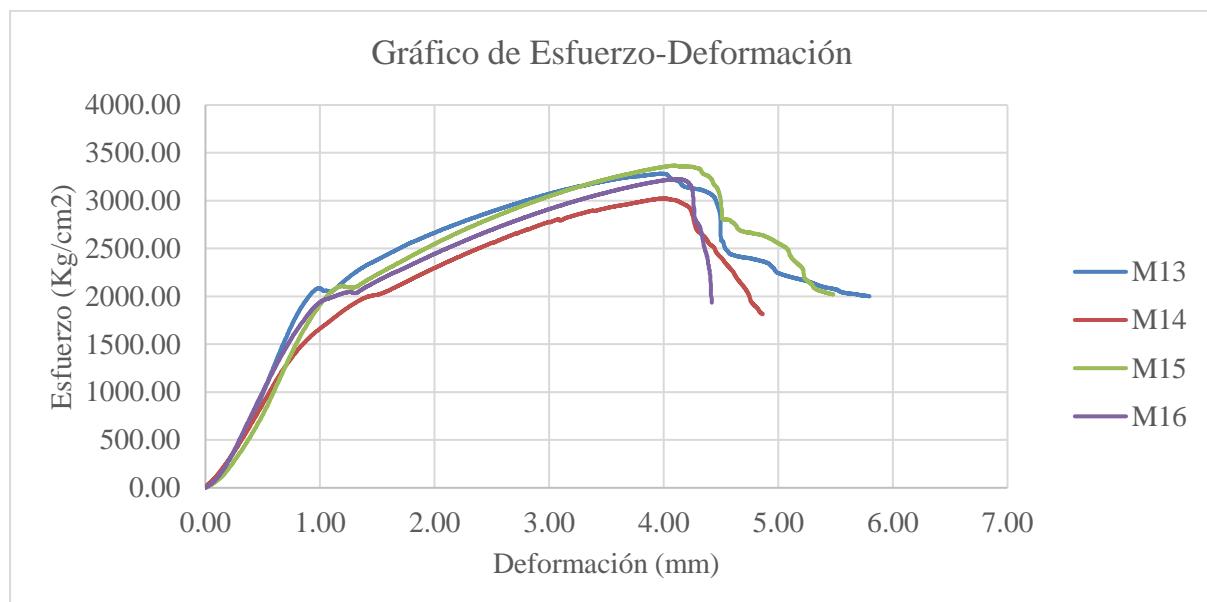
Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G3



Nota. En el grafico no se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material frágil.

Figura 152

Relación entre el esfuerzo y deformación del grupo experimental G4



Nota. En el grafico se tiene una zona clara de fluencia, el grafico se asemeja al comportamiento de un material dúctil.

4.1.4.2 Ensayo de corte en Laboratorio

El ensayo de corte que se desea aplicar a las muestras de conexión disímil se simplifica al área de la barra corrugada, por esta razón no se aplica fuerza cortante a una conexión disímil.

Nótese que la conexión de soldadura disímil aumenta el área de sección transversal de la conexión entre plancha metálica y barra corrugada por lo que la condición más vulnerable se da cuando no se aplica aun soldadura a la barra corrugada.

Para el ensayo de corte se realiza la configuración en el software de interfaz de la maquina universal INSTRON 600DX, se realiza la configuración del área de la muestra, el nombre del ensayo, identificador de la muestra y la velocidad de deformación de 0.5 mm/min para la primera muestra M1 y una deformación de 1.5 mm/min del resto de muestras.

Para la ejecución del ensayo se acomoda en la parte central las muestras de acero corrugado de 9 cm de longitud en el acoplador de corte, el acoplador de corte que se emplea en los ensayos son dos tipos, el acoplador 1 que tiene predominio de plancha metálica ASTM A36 que se usa para la muestra 1 (M1) y un acoplador de corte 2 que tiene predominio de muelle de 15 mm de espesor con el cual se realiza la prueba de las muestras del M2 al M8.

Luego de realizar el acomodo de la barra corrugada en el acoplador de corte se procede a colocar en la parte central el conjunto en la maquina universal INSTRON 600DX como se muestra en la Figura 153 y Figura 154.

Figura 153

Prueba de corte en la maquina universal INSTRON 600DX M5

**Figura 154**

Prueba de corte en la maquina universal INSTRON 600DX M8

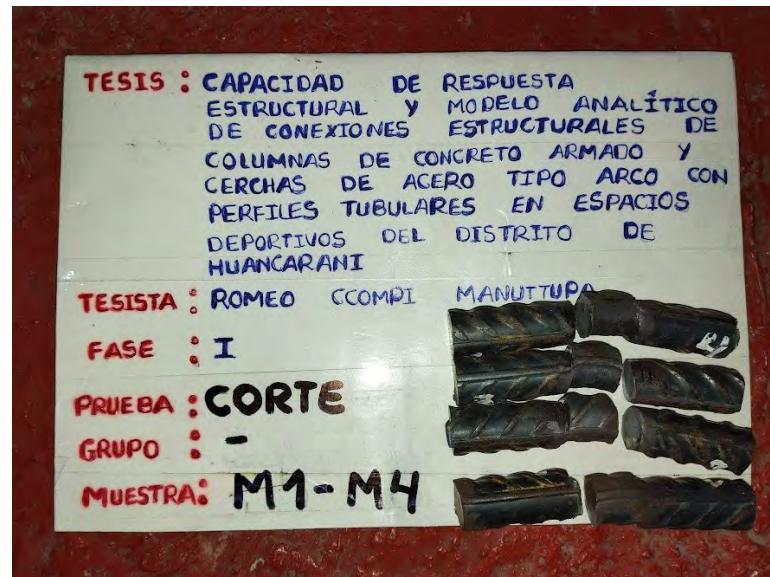


La fuerza de aplicación que se obtiene en la maquina universal INSTRON 600DX se divide en dos partes, debido a que en el acoplador de corte se tiene dos secciones de falla, luego de dividir en dos partes la fuerza aplicada que se obtiene en la maquina universal si divide entre el área transversal de la barra corrugada de 16 mm de diámetro para obtener el esfuerzo resistente.

Luego de realizar la prueba de corte de las 8 muestras de acero corrugado de 5/8" se tiene la Figura 155 y Figura 156 que muestran las fallas de corte.

Figura 155

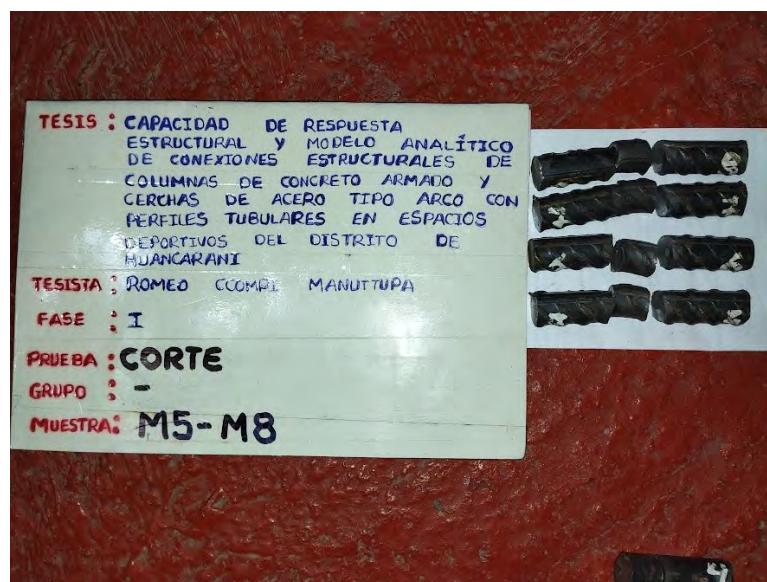
Fallas de las muestras de corte M1 a M4



Nota. En la figura se muestra las muestras de corte del M1 al M4 que tienen dos planos de falla claramente definidos.

Figura 156

Falla de las muestras de corte M5 a M8

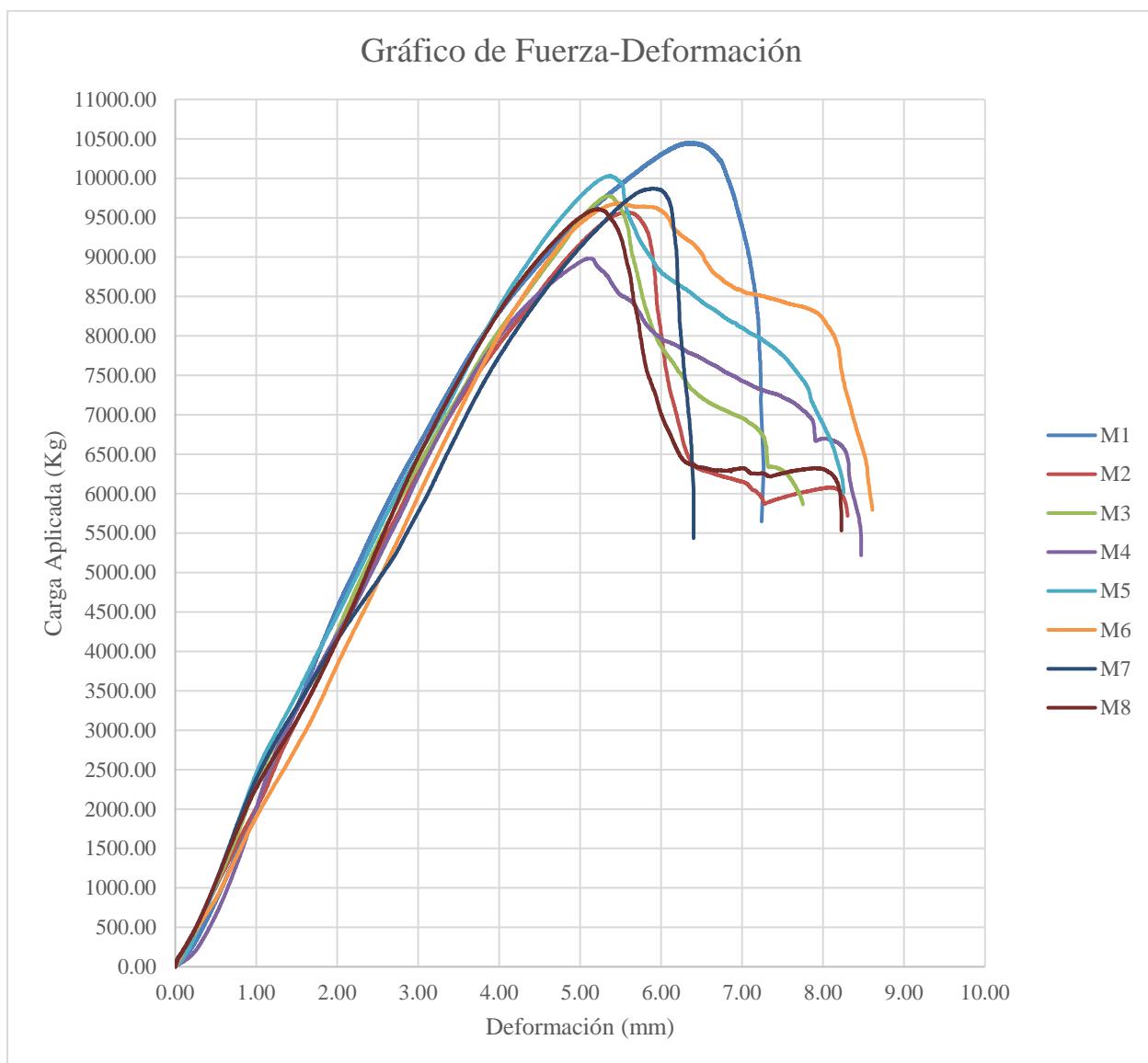


Nota. En la figura se muestra las muestras de corte del M5 al M8 que tienen dos planos de falla claramente definidos.

Al final de los ensayos se tiene la información de Fuerza y deformación que se muestra en la Figura 157 donde se aprecia las muestras enumeradas del M1 hasta el M8.

Figura 157

Relación de fuerza-deformación de las muestras de corte

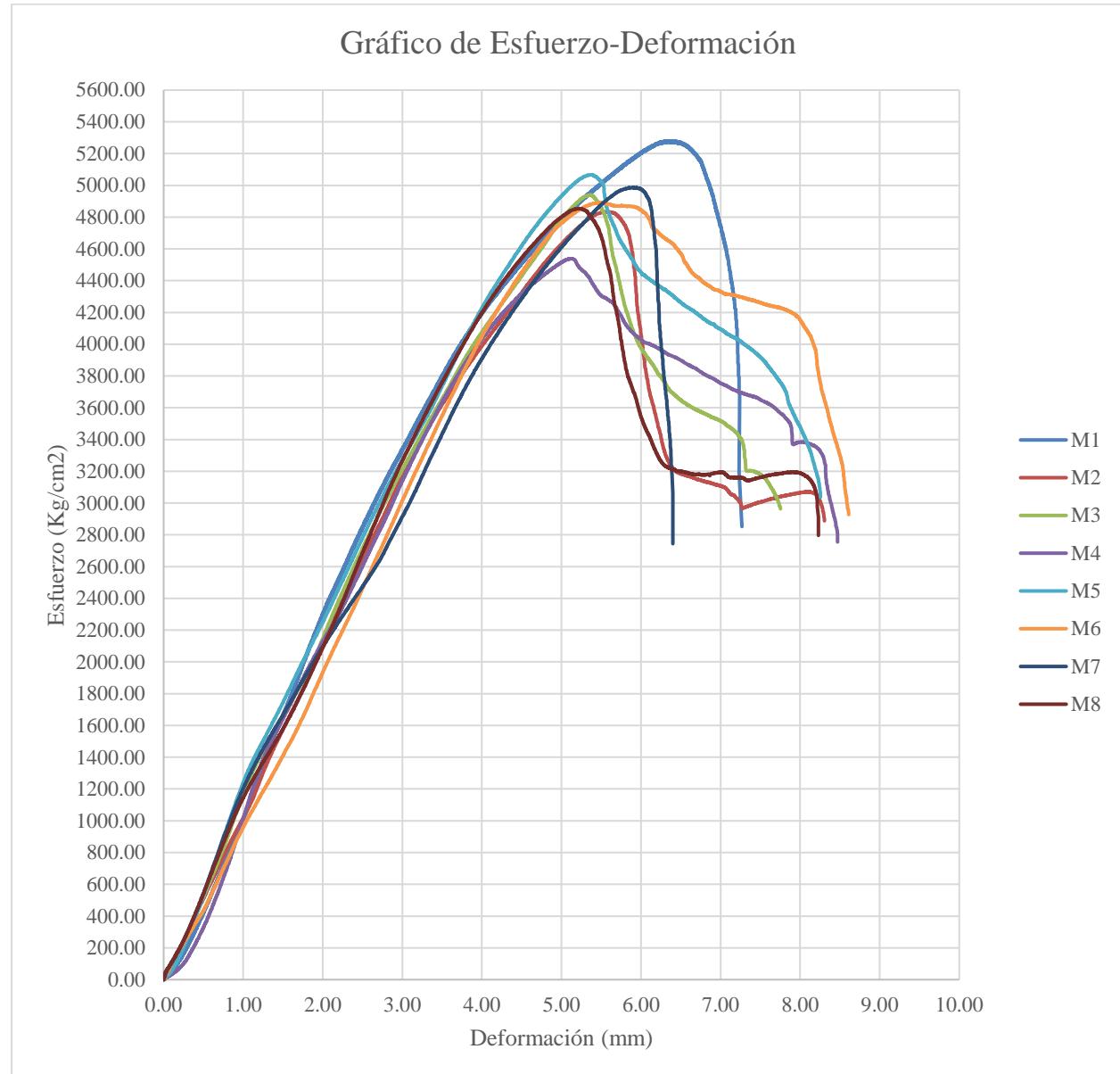


Nota. En la figura se muestra la relación de fuerza y deformación de las muestras de corte enumeradas del 1 al 8, donde se tiene una mejor respuesta por parte del material en la muestra 1.

Para evaluar el esfuerzo actuante en los planos de falla se tiene el área transversal de la barra corrugada que es de $\pi \frac{D^2}{4} = \pi \frac{(1.6\text{ cm})^2}{4} = 2.01\text{ cm}^2$.

Figura 158

Relación de esfuerzo y deformación de las muestras de corte



Nota. En la figura se muestra la relación de esfuerzo deformación que se puede dividir en dos partes, la primera zona donde existe una uniformidad del módulo de corte y una zona 2 variable.

4.2 Fase 2: Simulaciones en el Software ANSYS de la Conexión Local

Para realizar la simulación de la prueba de pseudo tracción y corte se sigue el siguiente procedimiento:

- Definición de materiales empleados
- Definición de geometría
- Asignación de contactos y apoyos
- Asignación de cargas

4.2.1 Simulación de la Prueba de Pseudo Tracción

4.2.1.1 Definición de materiales

En esta parte se define las propiedades mecánicas de los materiales que son los siguientes:

- Electrodo E6011
- Electrodo E7018
- Acero ASTM A615 grado 60
- Acero ASTM A36

Figura 159

Definición de materiales para la simulación

	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	ASTM A 36			D:\FASE 2 TESIS\Materiales.xml	
4	ASTM A615			D:\FASE 2 TESIS\ASTM A615.xml	
5	E6011			D:\FASE 2 TESIS\E6011.xml	
6	E7018			D:\FASE 2 TESIS\E7018.xml	
7	Structural Steel			General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material				

4.2.1.2 Definición de Geometría

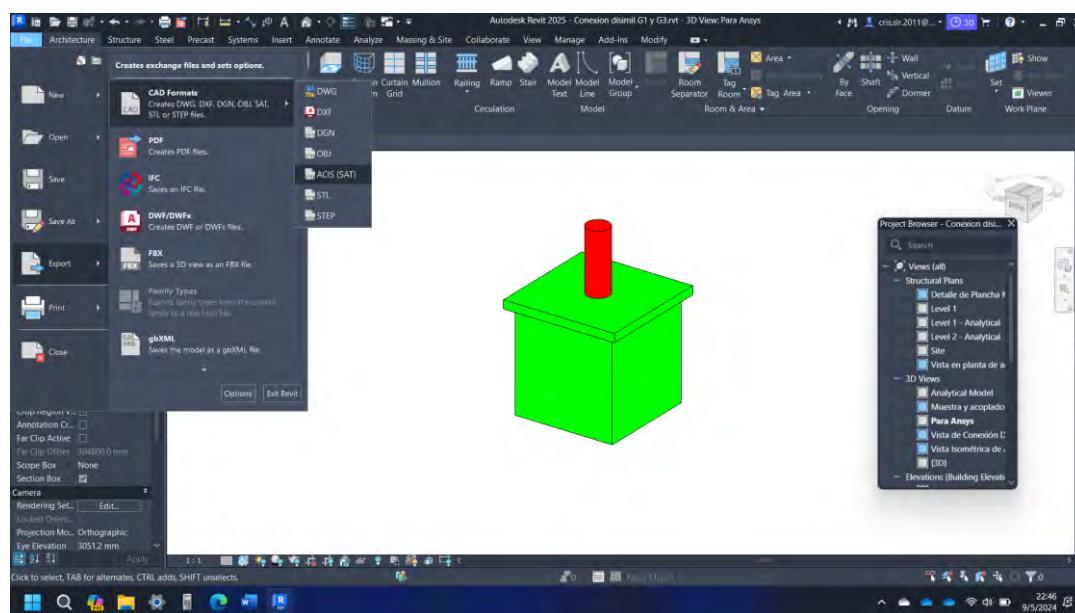
Para definir la geometría de la muestra de conexión disímil se emplea el software Revit, donde se realiza el modelamiento in situ de todos los componentes empleando extrucciones y barridos de las diferentes geometrías que son:

- La barra corrugada de 16 mm de diámetro
- La plancha metálica ASTM A36 de 1/4" o 1/2"
- Acoplador prismático de plancha metálica ASTM A36
- Cordón de soldadura

Para exportar la geometría definida en el software Revit a Ansys se exporta a un archivo con extensión sat como se muestra en la Figura 160.

Figura 160

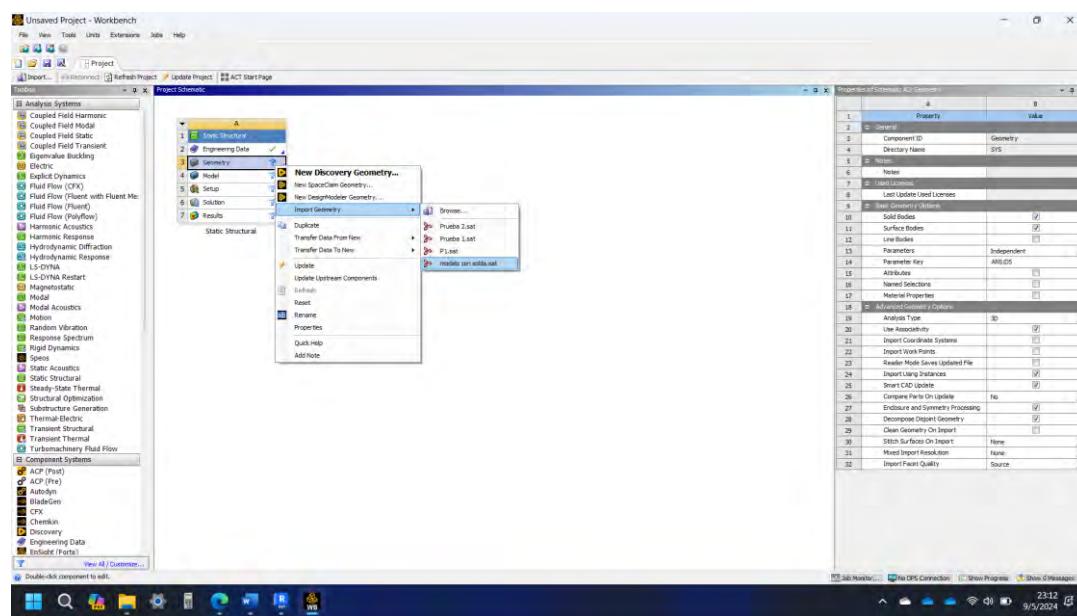
Proceso de exportación de geometría de Revit a formato sat



Después se abre el software Ansys Workbench modulo static structural donde se coloca en la opción importar geometría en formato sat como en la Figura 161.

Figura 161

Proceso de importación de geometría a Ansys Workbench



4.2.1.3 Definición de Entorno y Contactos

Luego de exportar la geometría se asigna materiales a cada parte y se asigna contactos y apoyos con el exterior. Los contactos entre partes son los siguientes:

Figura 162

Contacto bonded (Barra corrugada y cordón de soldadura)

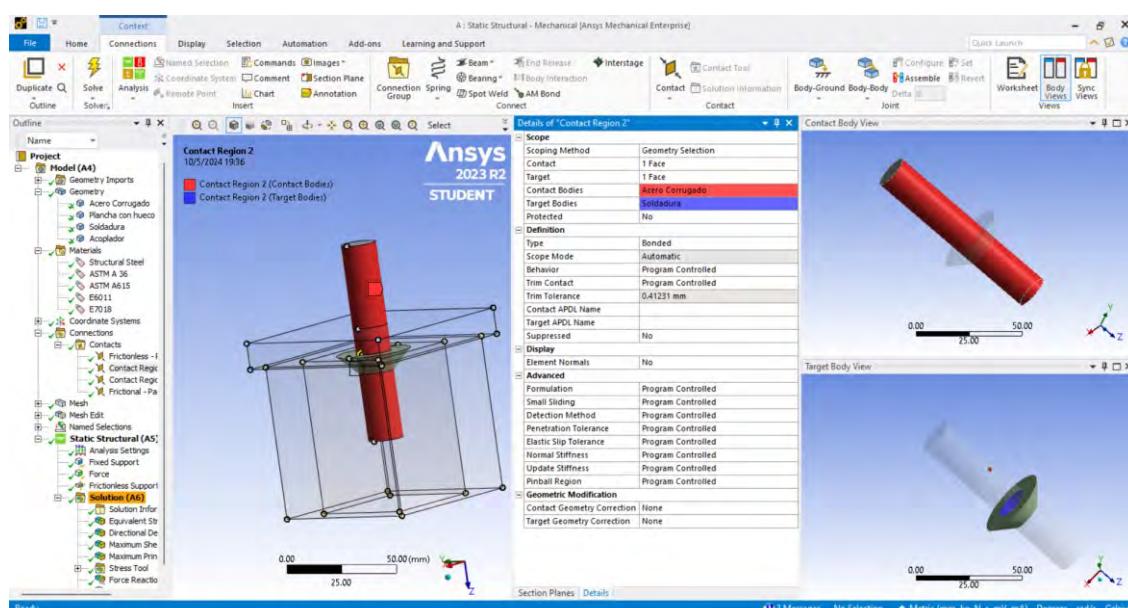
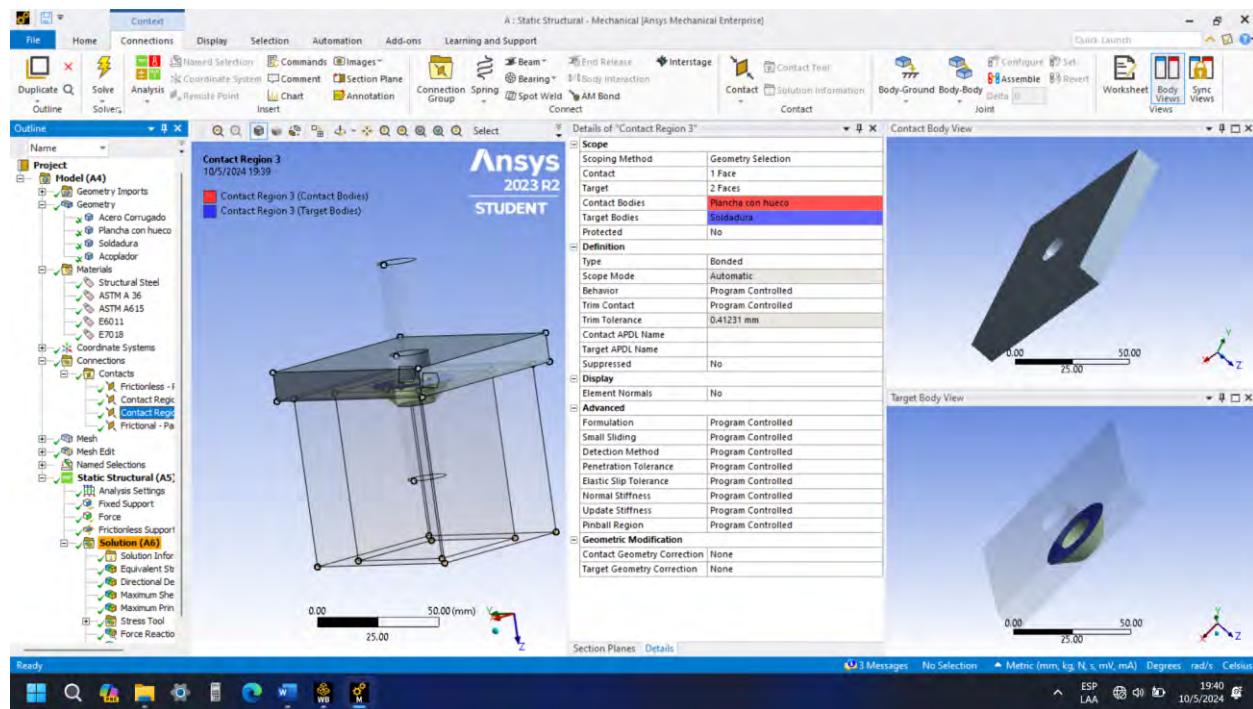


Figura 163

Contac bonded (Plancha metálica y cordón de soldadura)

**Figura 164**

Contac frictionless (Barra corrugada y plancha metálica)

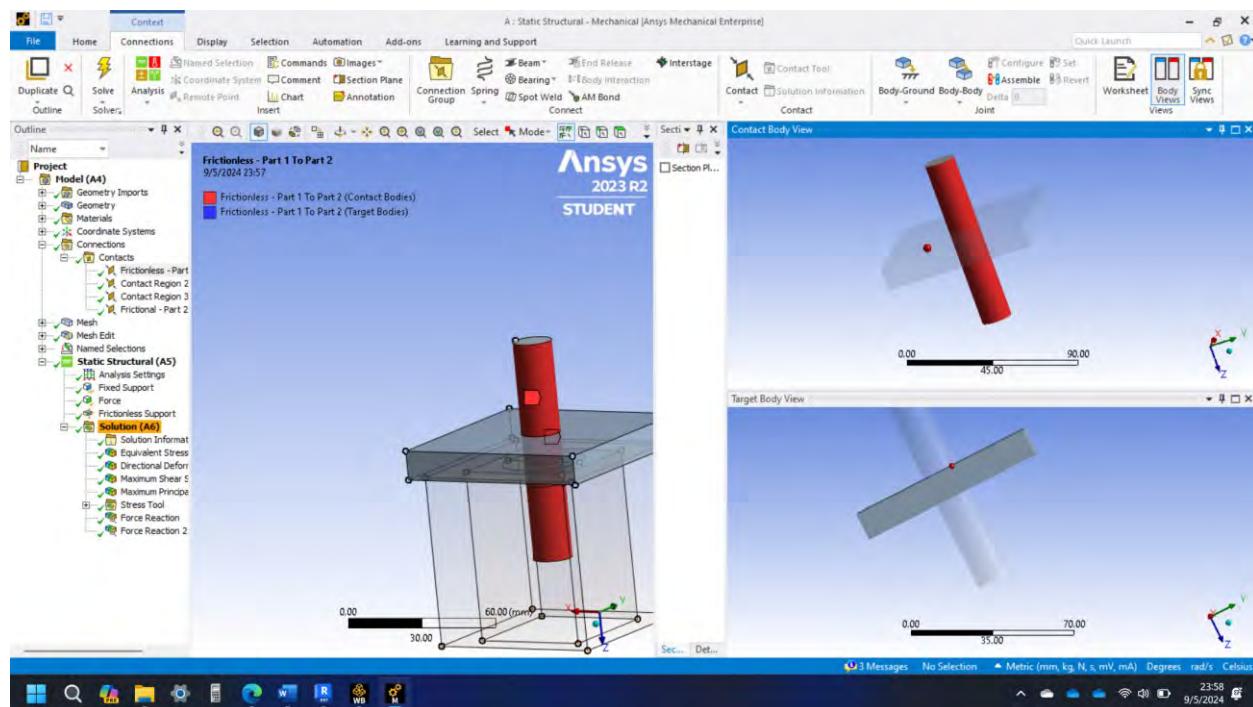
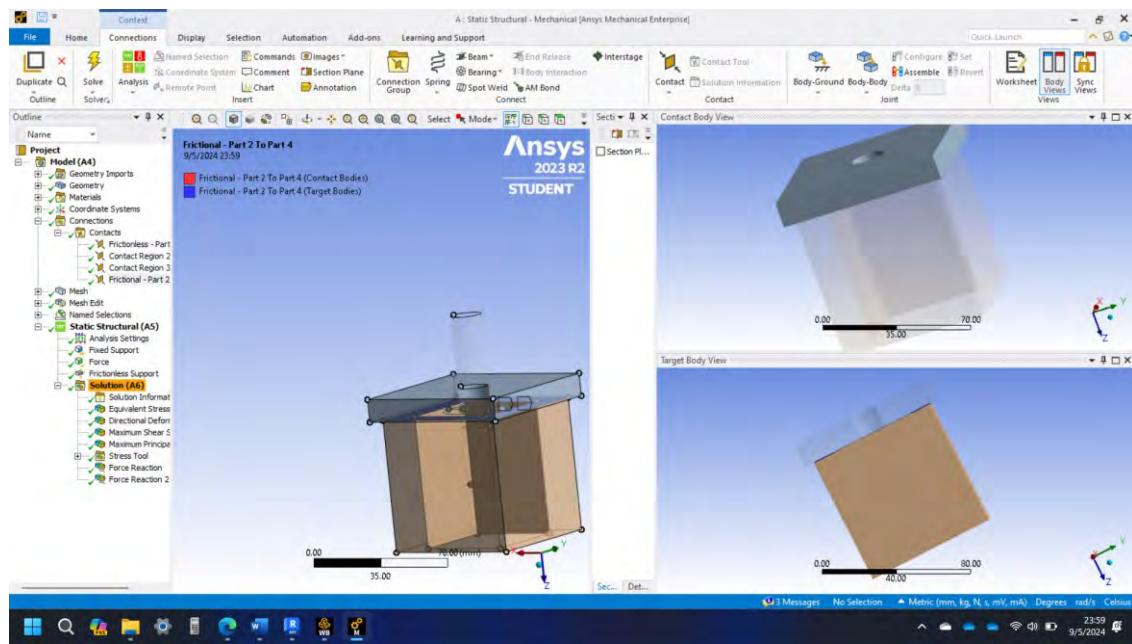


Figura 165

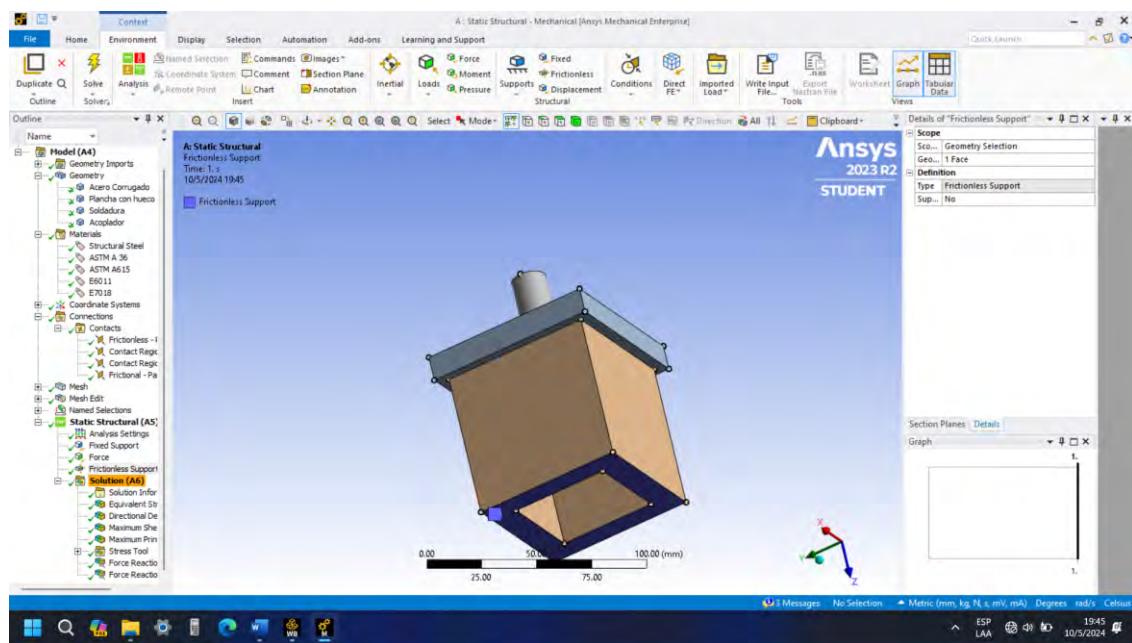
Contacto con fricción (Acoplador prismático y plancha metálica)



Para definir los apoyos del ensayo se realiza la asignación de un apoyo empotrado en el vértice del acoplador prismático y un apoyo fijo en la cara inferior del acoplador prismático como se muestra en la Figura 166

Figura 166

Condiciones de contorno de la muestra disímil en el software Ansys



4.2.1.4 Asignación de Fuerza Externa

Para cuantificar la fuerza externa que se aplica se realiza un análisis de la tabla de fuerza-deformación donde se determina de los ensayos y se tiene lo siguiente:

- Para el grupo experimental 1 se tiene 8000 Kg
- Para el grupo experimental 2 se tiene 9000 Kg
- Para el grupo experimental 3 se tiene 9800 Kg
- Para el grupo experimental 4 se tiene 9000 Kg

Para el grupo experimental G2 y G4 se tiene los siguientes resultados:

Figura 167

Esfuerzo Equivalente de Von Misses grupo experimental G2 y G4

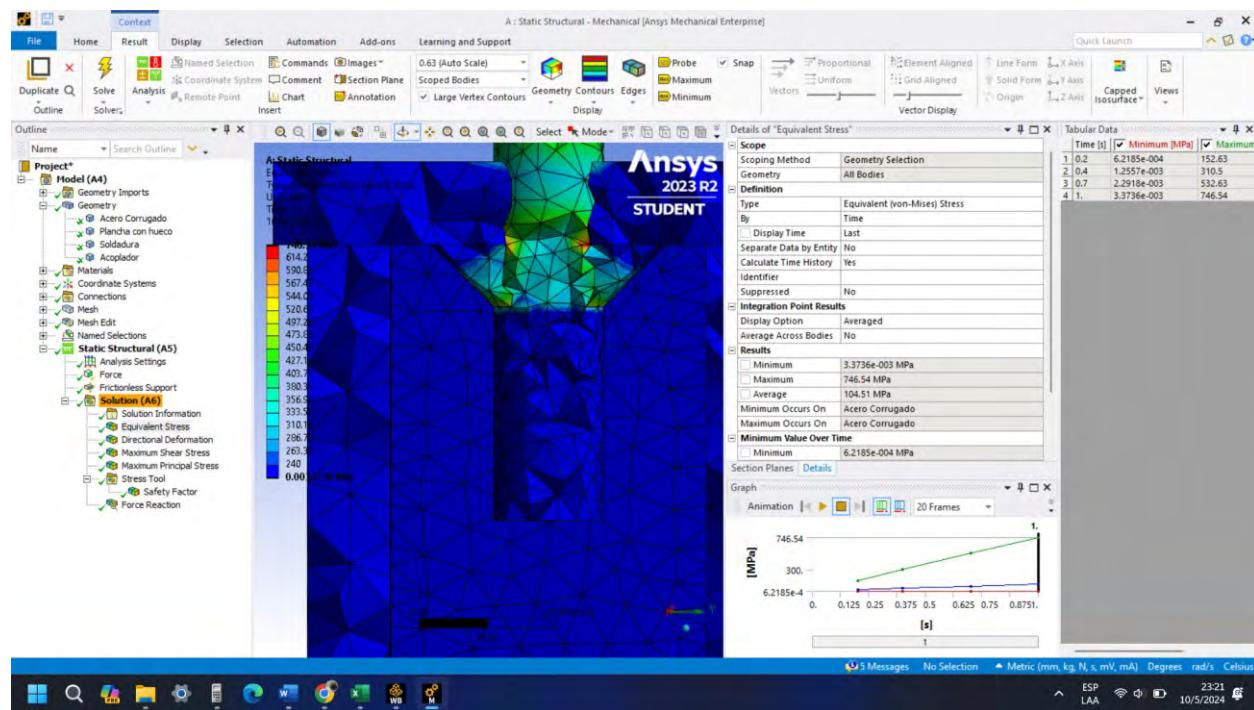


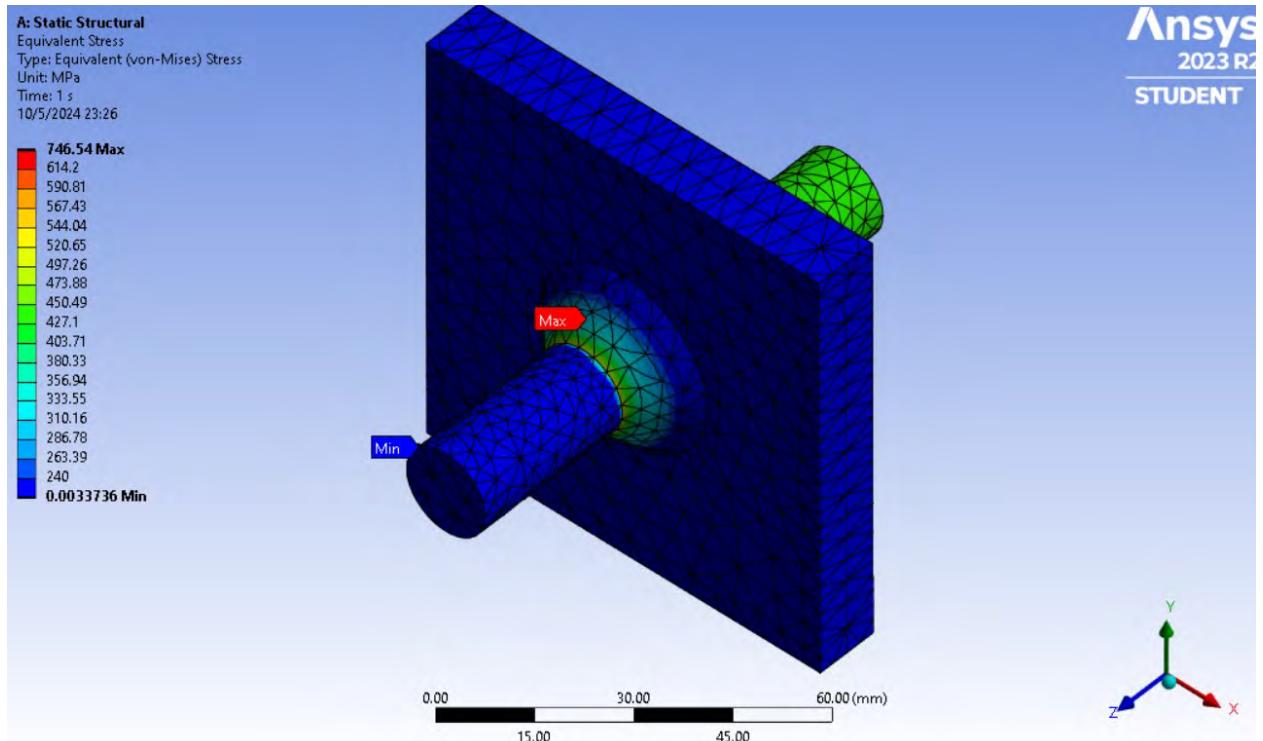
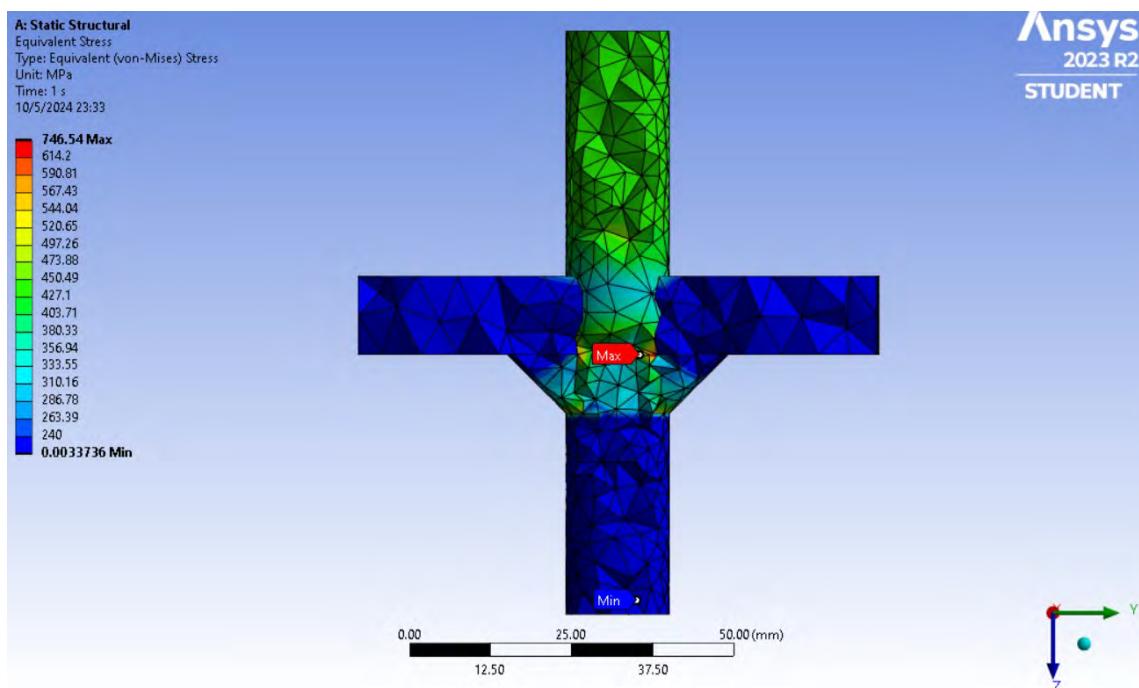
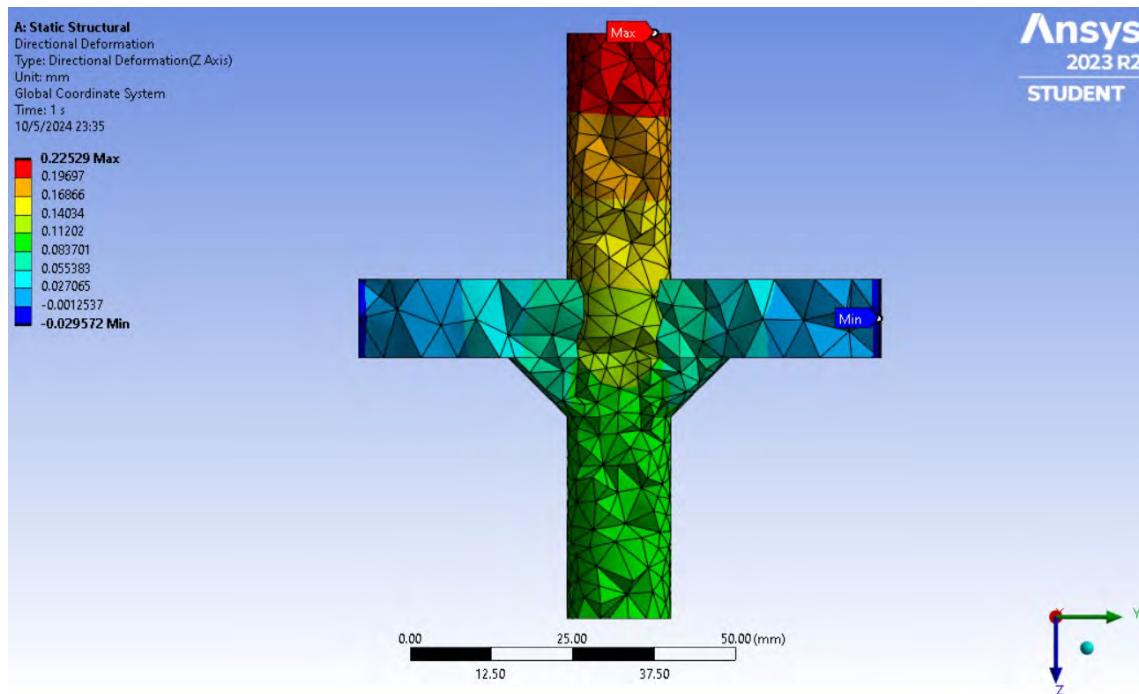
Figura 168*Esfuerzo equivalente de Von Misses vista isométrica grupo experimental G2 y G4***Figura 169***Esfuerzo equivalente de Von Misses del grupo experimental G2 y G4*

Figura 170

Deformación del grupo experimental G2 y G4 en la dirección z-z

**Figura 171**

Esfuerzo máximo y mínimo principal del grupo experimental 4

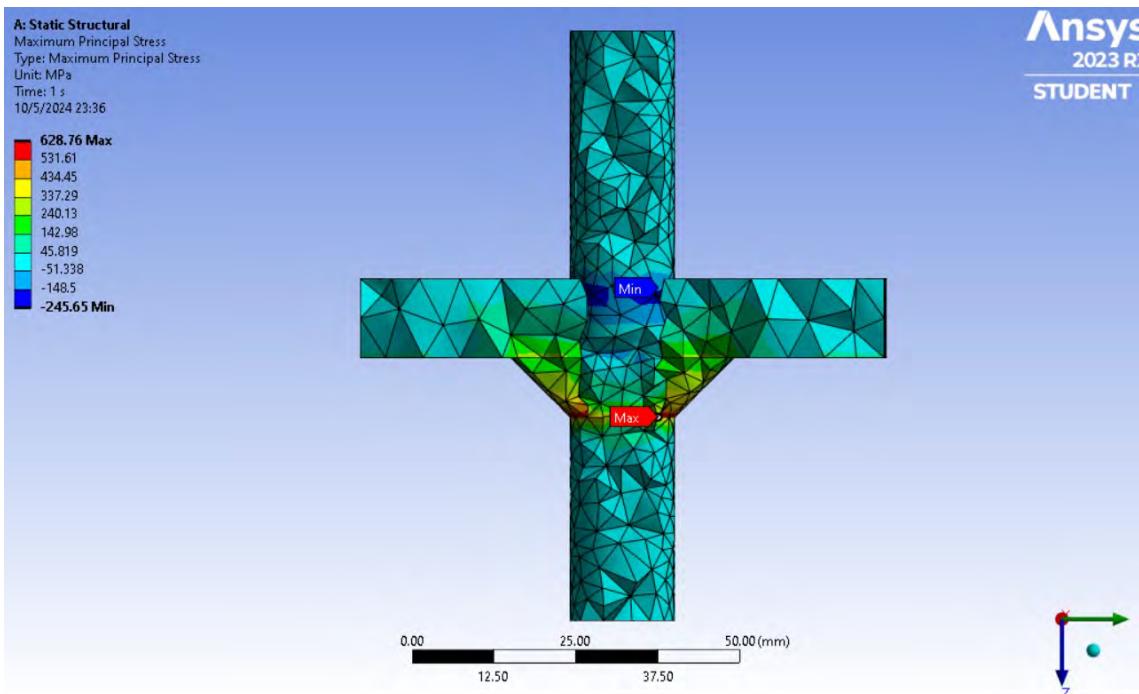
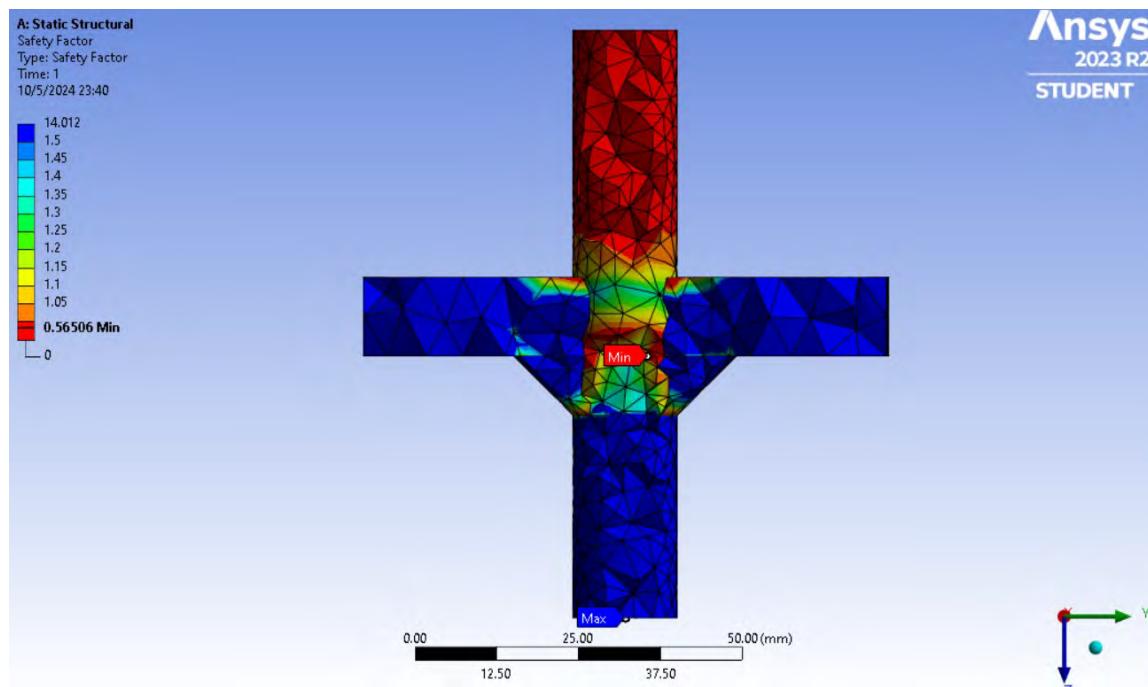


Figura 172*Factores de seguridad del grupo experimental G4*

Para el grupo experimental G1 se tiene los siguientes resultados:

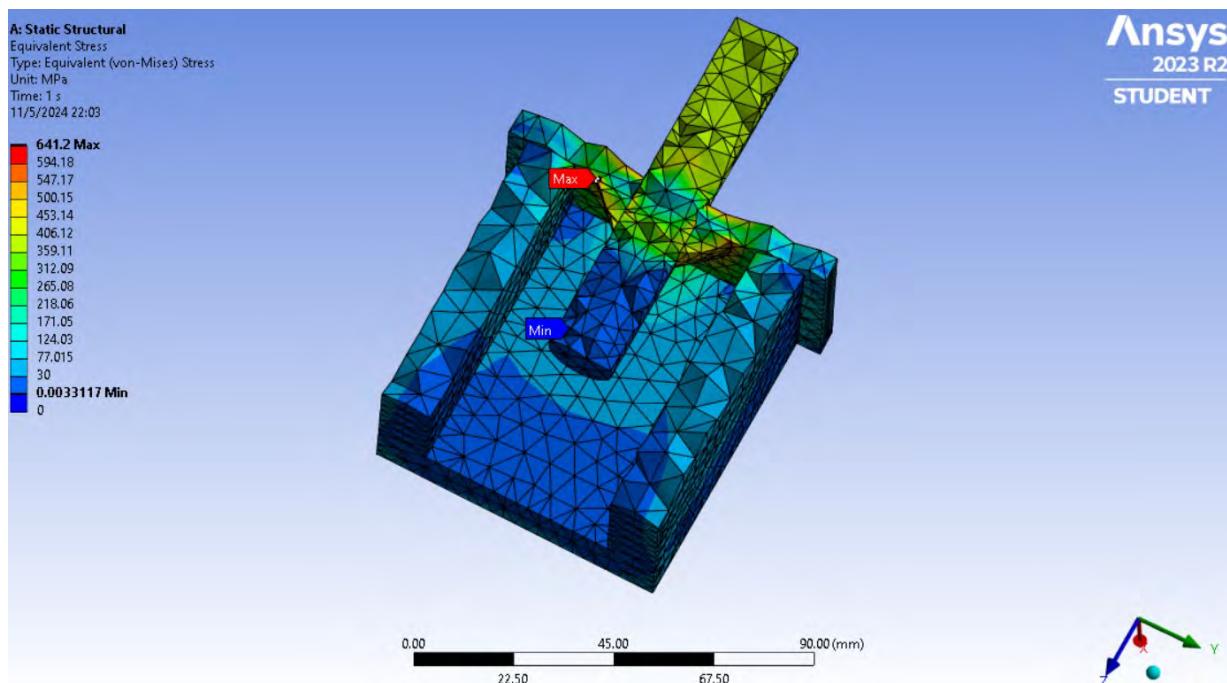
Figura 173*Esfuerzo equivalente de Von Mises del grupo experimental 1*

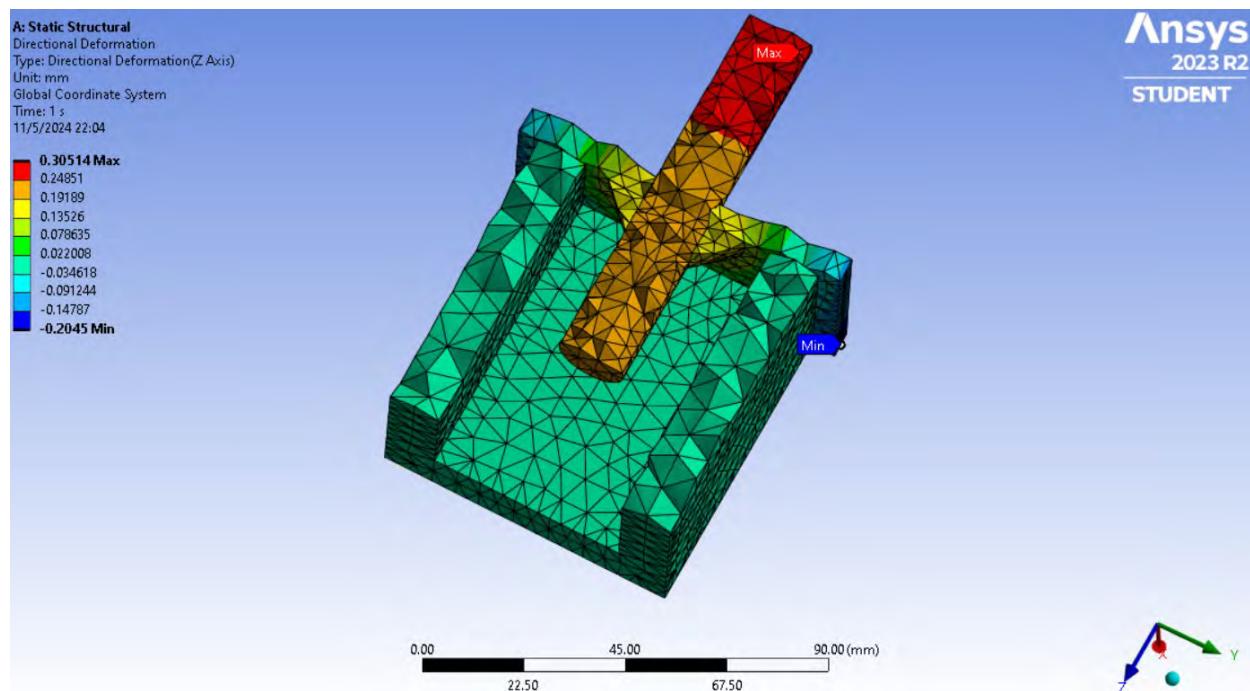
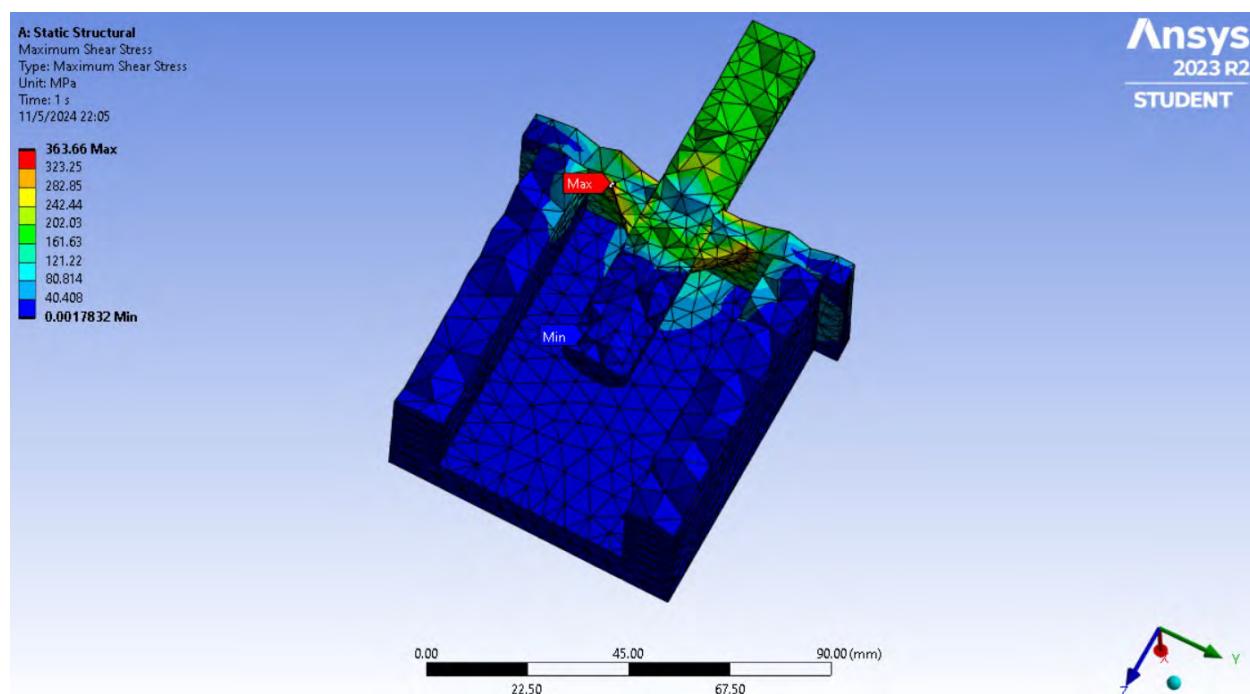
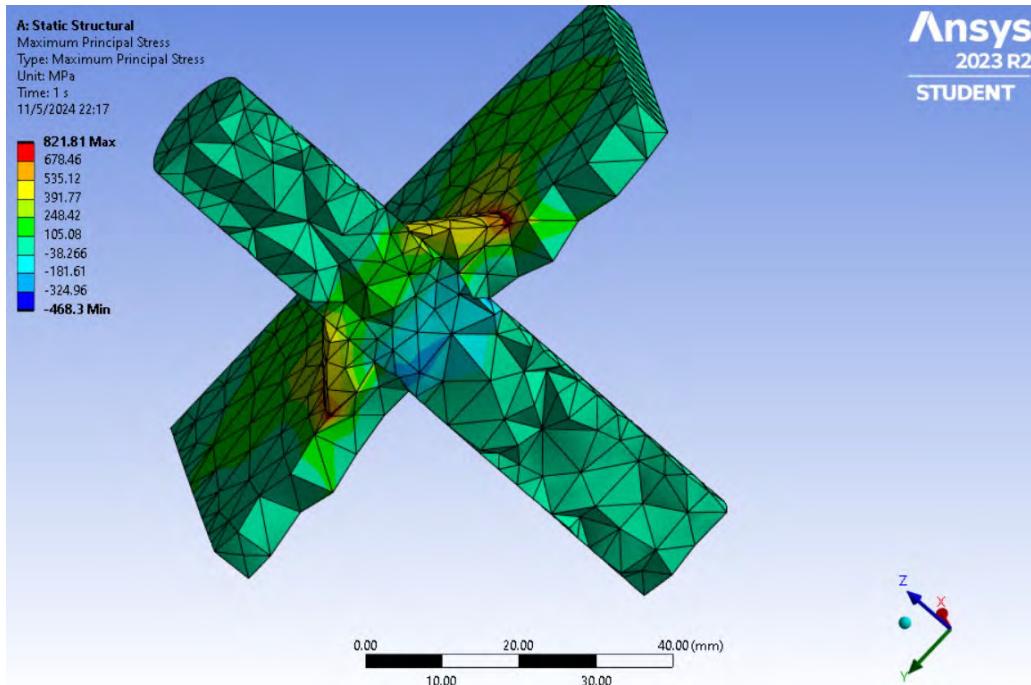
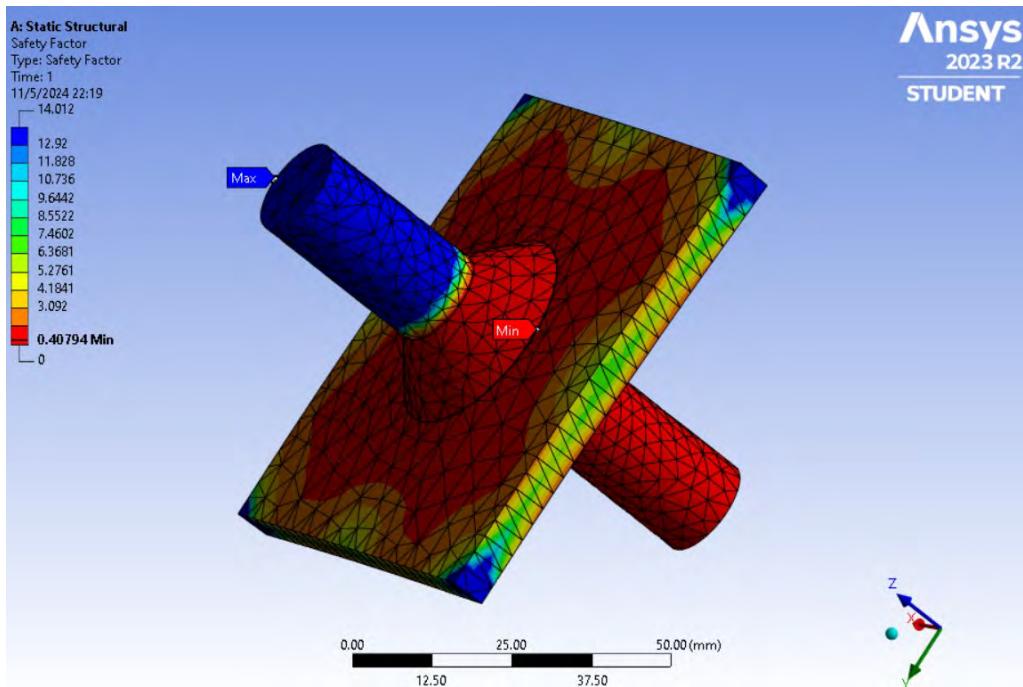
Figura 174*Deformación en la dirección Z-Z del grupo experimental 1***Figura 175***Esfuerzo cortante máximo del grupo experimental 1*

Figura 176

Esfuerzo principal máximo y mínimo del grupo experimental 1

**Figura 177**

Factor de seguridad local del grupo experimental 1



Para el grupo experimental G3 se tiene los siguientes resultados:

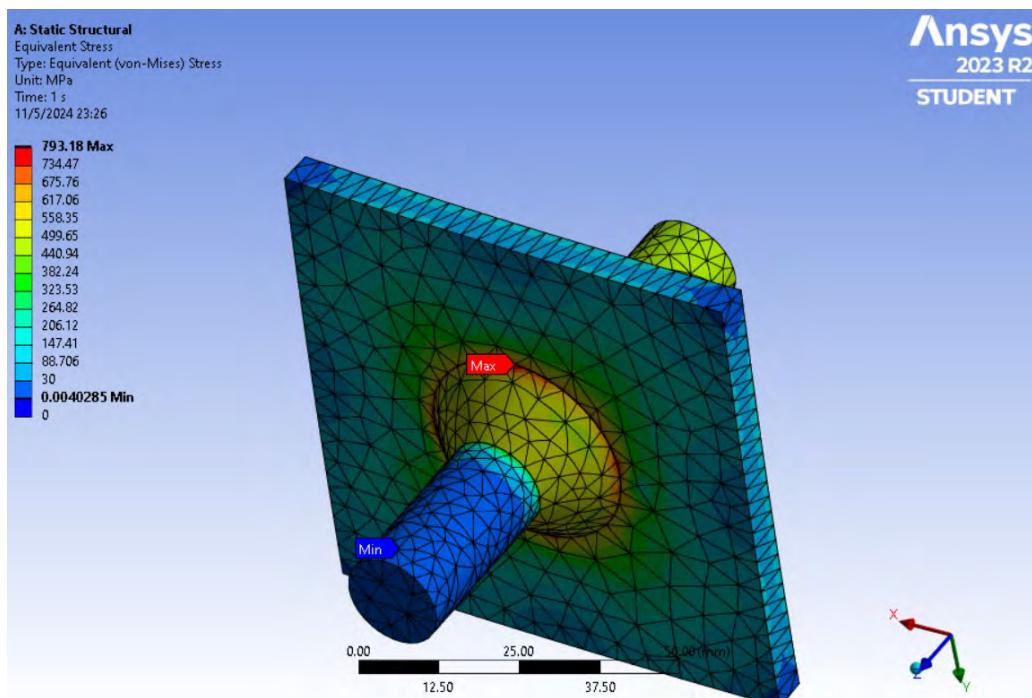
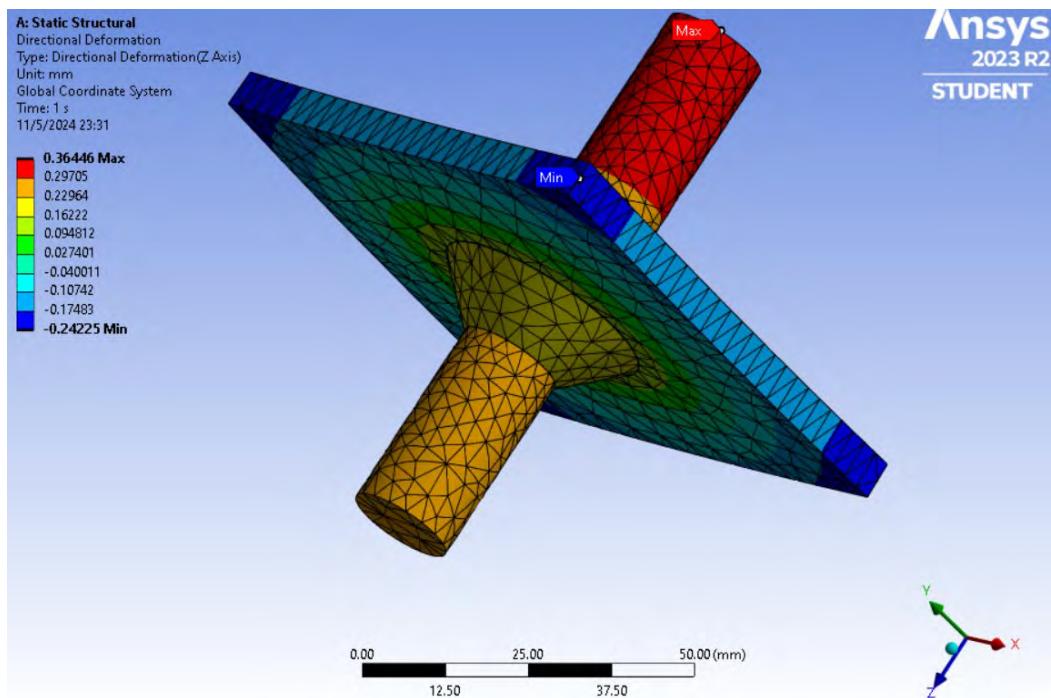
Figura 178*Esfuerzo equivalente de Von Misses del grupo experimental 3***Figura 179***Deformación en la dirección Z-Z del grupo experimental 3*

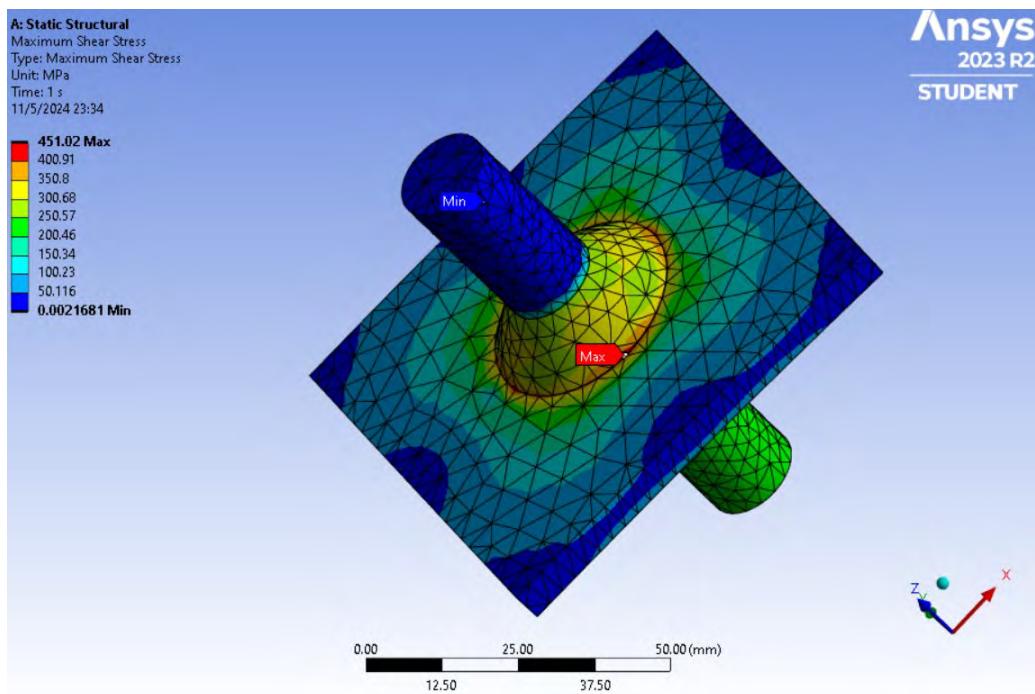
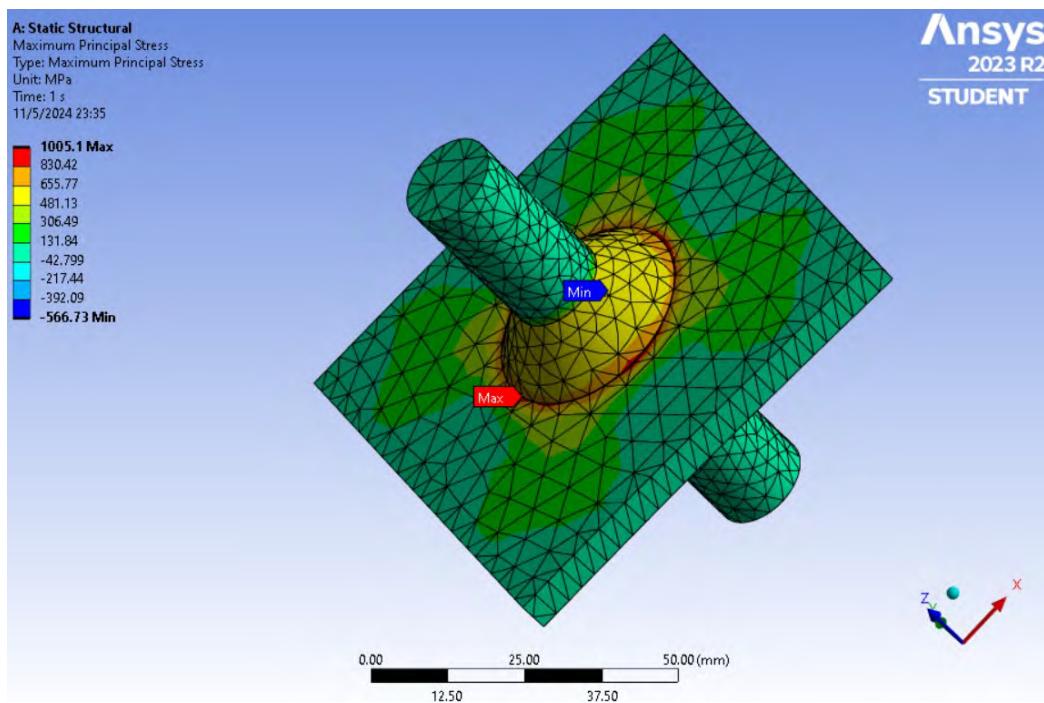
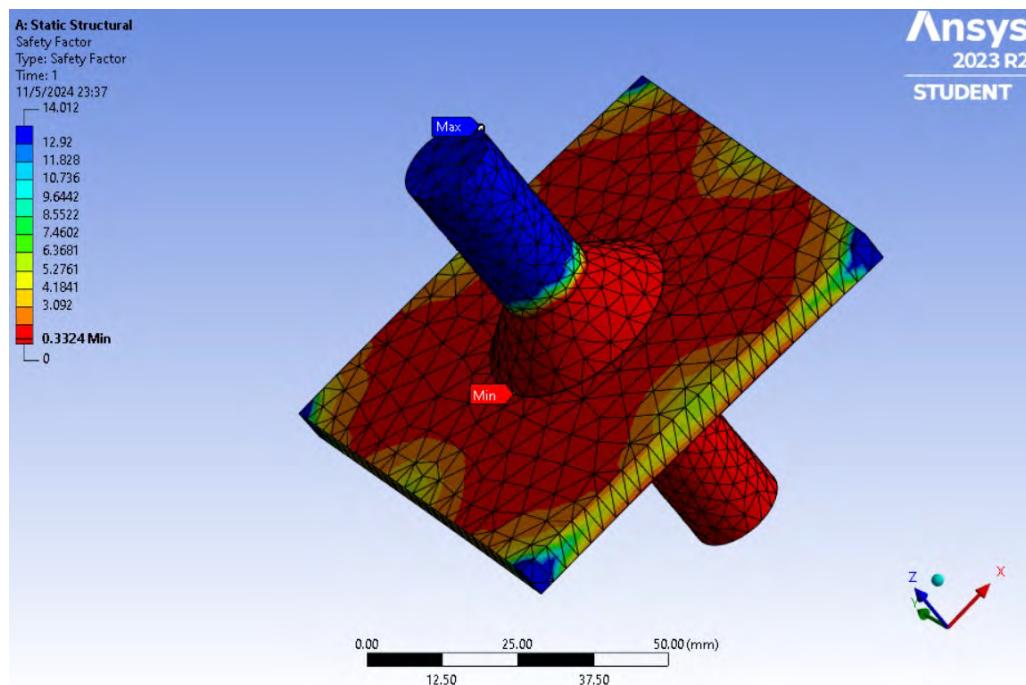
Figura 180*Esfuerzo máximo de corte del grupo experimental 3***Figura 181***Esfuerzo principal máximo y mínimo del grupo experimental 3*

Figura 182*Factor de seguridad local del grupo experimental 3*

4.2.2 Simulación de la Prueba de Corte

4.2.2.1 Definición de Materiales

Para realizar la simulación a corte se realiza la definición de los siguientes materiales:

- Acero ASTM A615 grado 60
- Acero ASTM A36
- Muelle

Figura 183*Definición de materiales para simulación de prueba de corte*

Outline of Schematic A2: Engineering Data		A	B	C	D	E
1	Material	Contents of Engineering Data	Source		Description	
3	ASTM A 36		D:\FASE 2 TESIS\Materiales.xml			
4	ASTM A615		D:\FASE 2 TESIS\ASTM A615.xml			
5	E6011		D:\FASE 2 TESIS\E6011.xml			
6	E7018		D:\FASE 2 TESIS\E7018.xml			
7	Muelle		General_Materials.xml		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1	
*	Click here to add a new material					

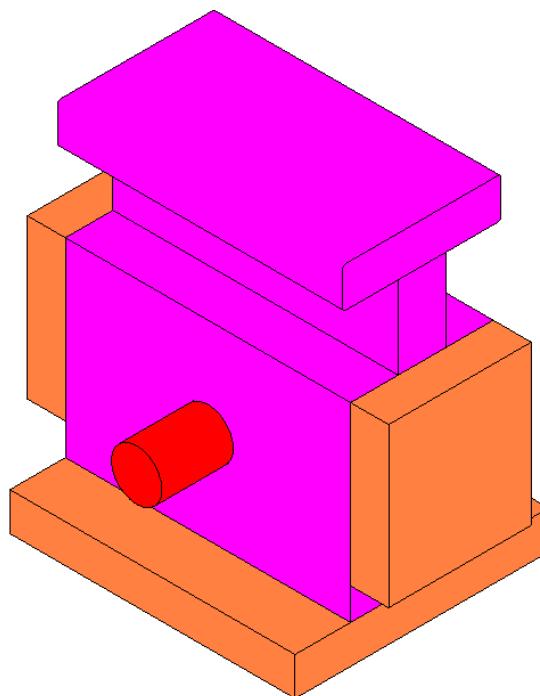
4.2.2.2 Definición de Geometría

Para realizar la geometría de la prueba de corte se emplea el software Revit donde se emplea herramientas de extracción para recrear el acoplador de corte y las muestras.

Realizando una comparación con el modelo real del acoplador de corte se realiza algunas modificaciones para poder realizar la simulación en el software Ansys, una de las modificaciones es la modificación de la perforación de los mulles de soporte que son de 16 mm de diámetro.

Figura 184

Modelo analítico de acoplador de corte desarrollado en Revit



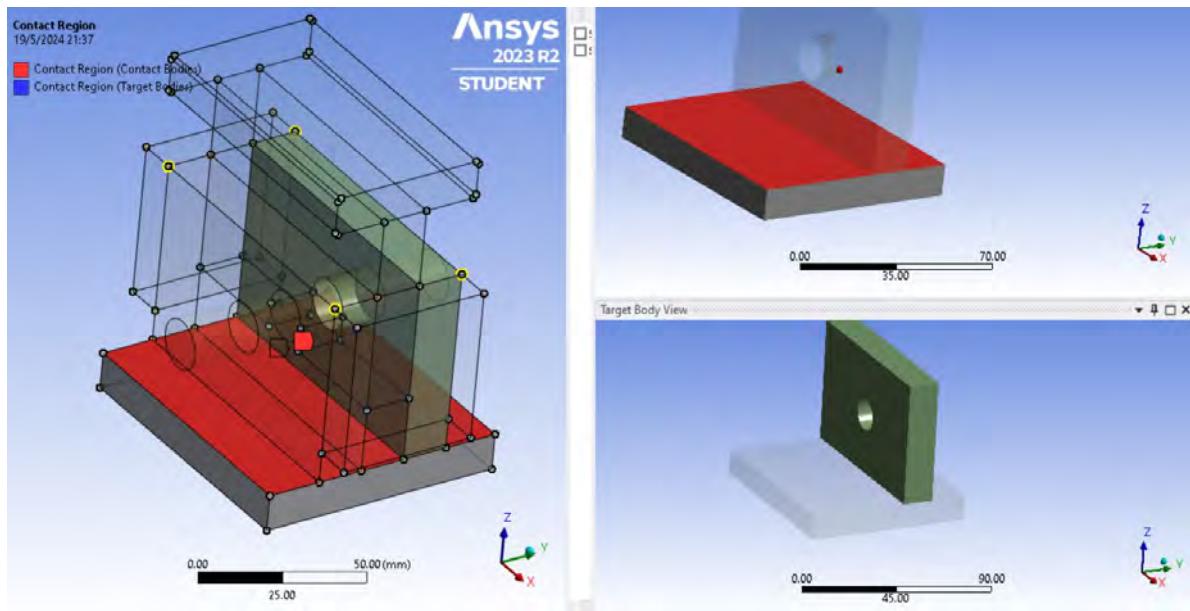
Nota. En la figura se muestra de color rosado el muelle de 15mm de espesor, el color rojo corresponde a la barra corrugada y el color anaranjado corresponde a la platina de 2"x1/2".

4.2.2.3 Definición de Entornos y Contactos

Para realizar una adecuada simulación de la prueba de corte se realiza la asignación de contacto entre las piezas del acoplador de corte y la muestra de barra corrugada.

Figura 185

Contacto entre muelle de 15mm y base de platina

**Figura 186**

Contacto entre cuchilla y soporte de muelle

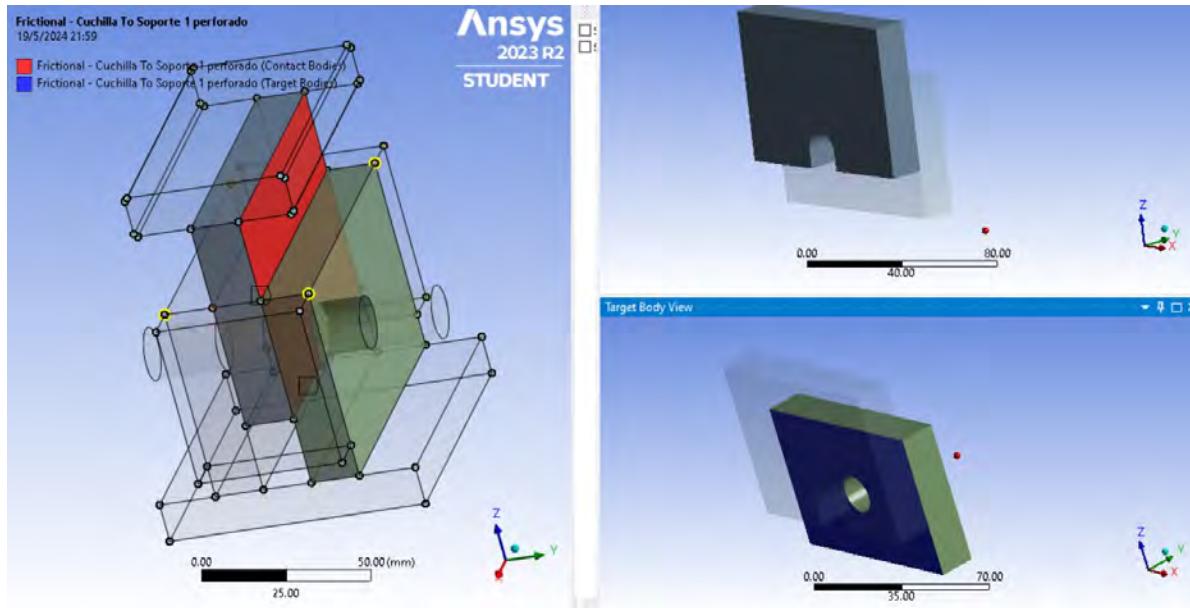


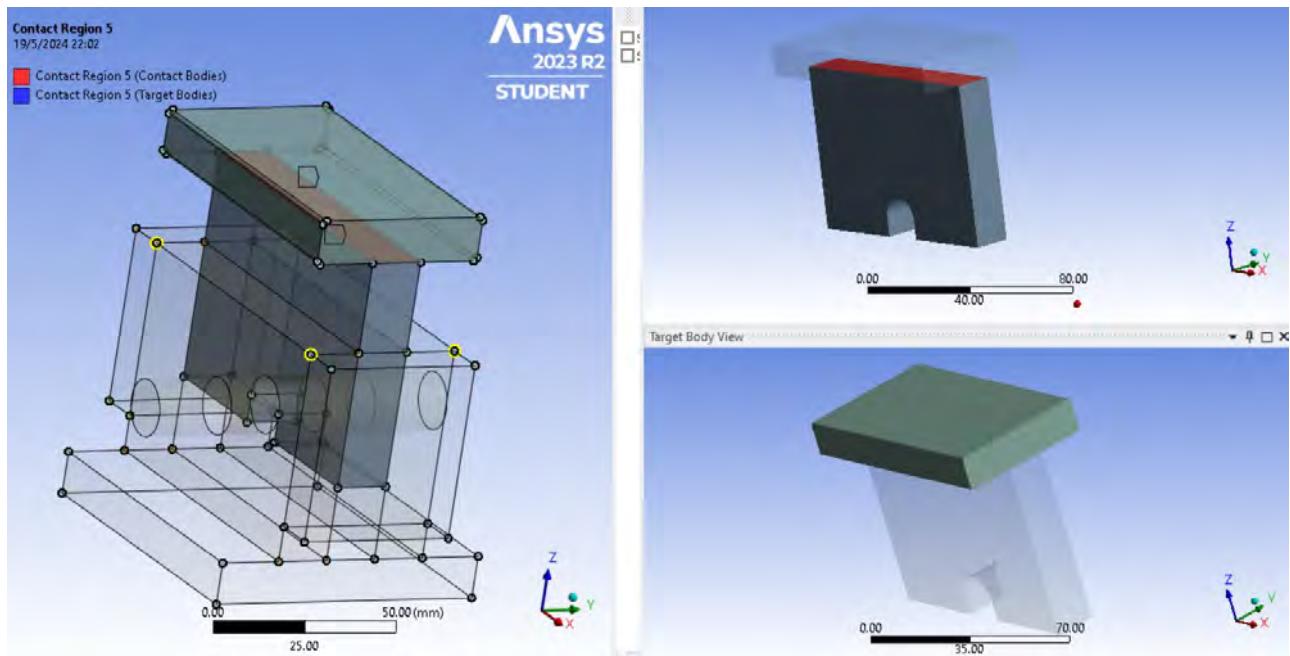
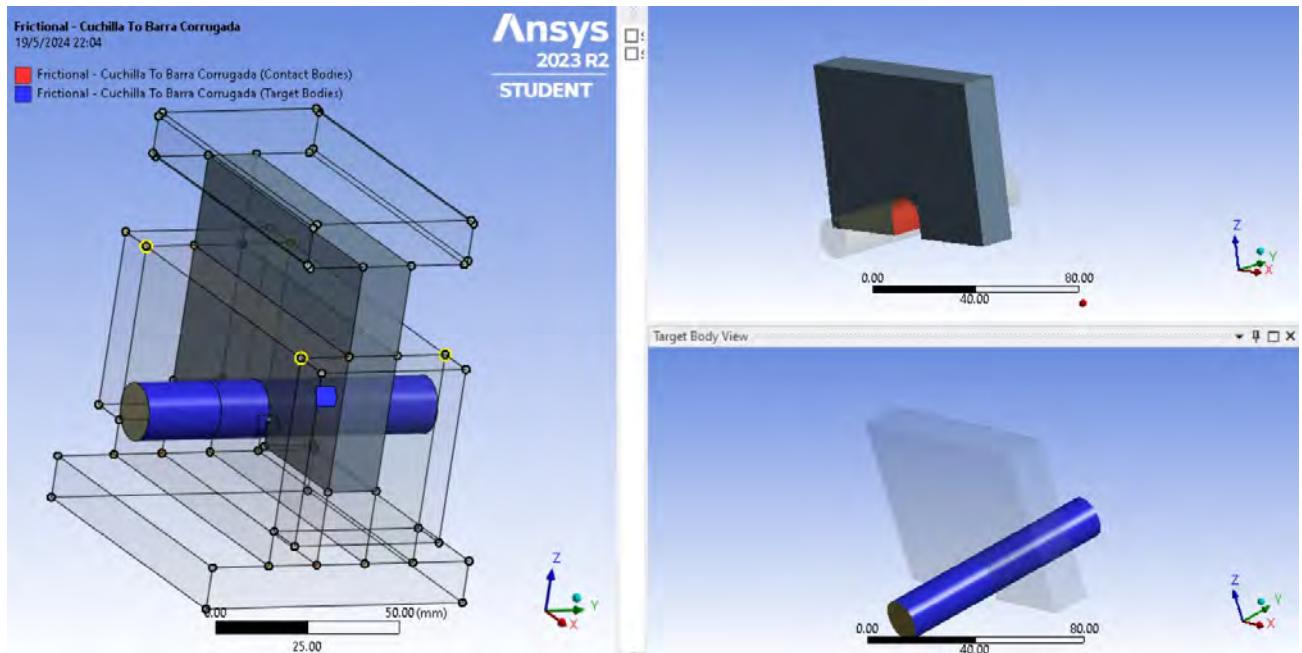
Figura 187*Contacto entre cabezal y cuchilla de muelle***Figura 188***Contacto entre cuchilla y barra corrugada*

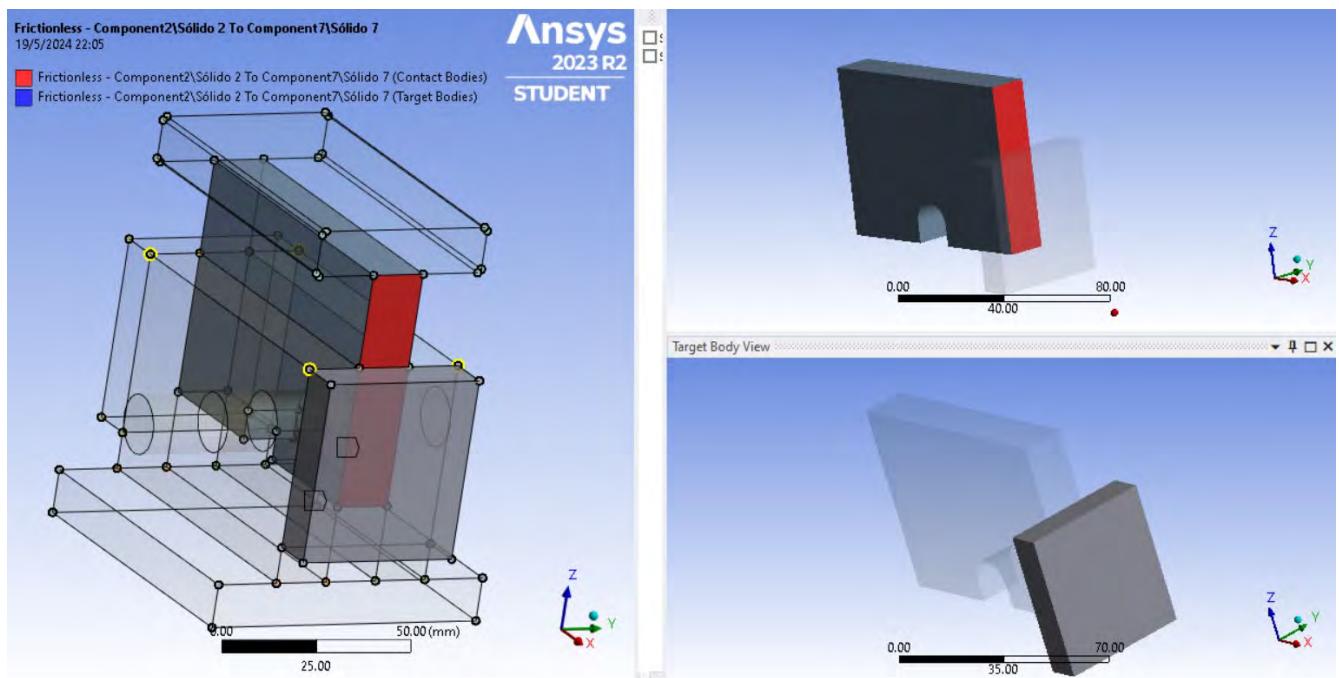
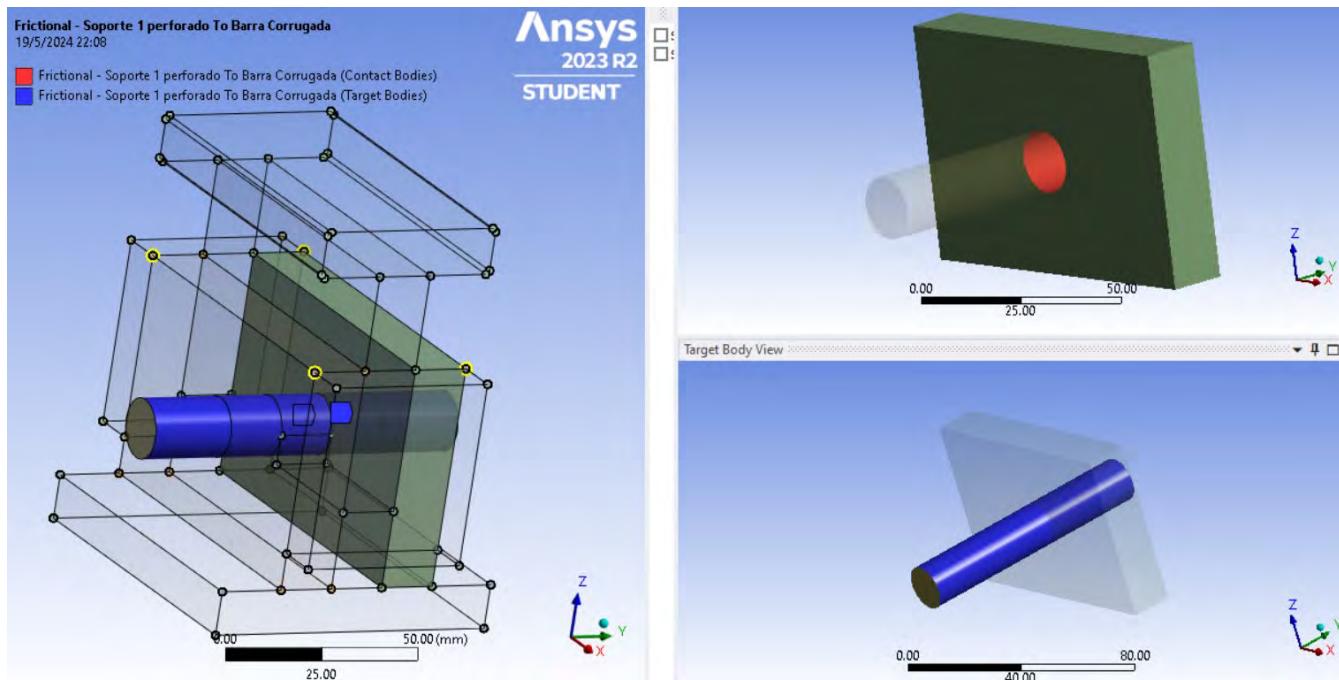
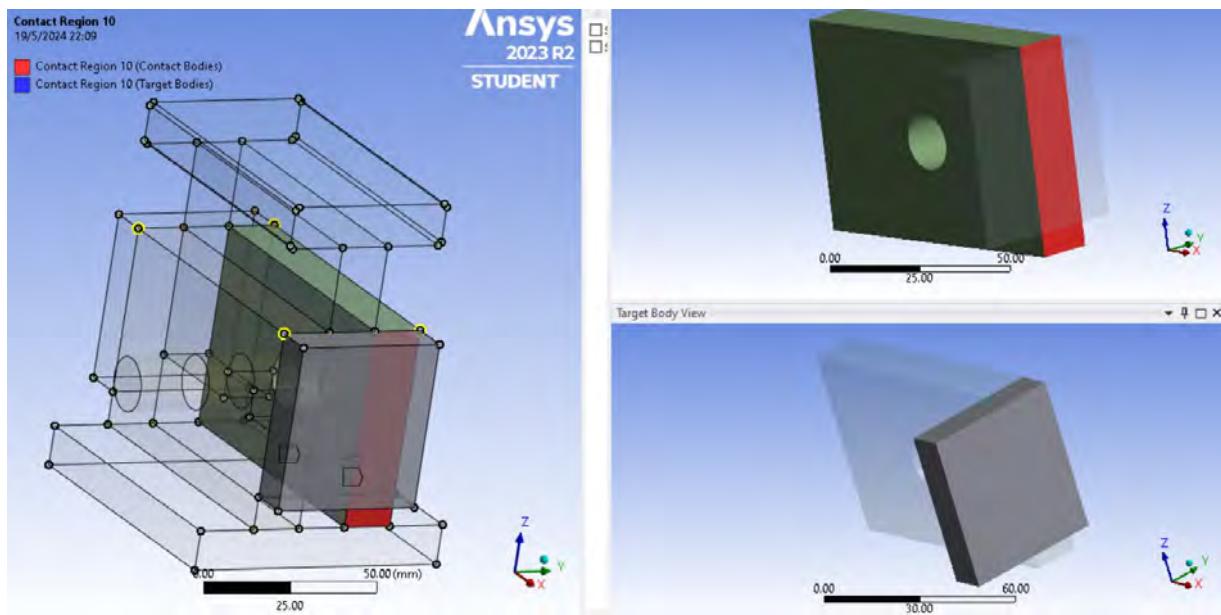
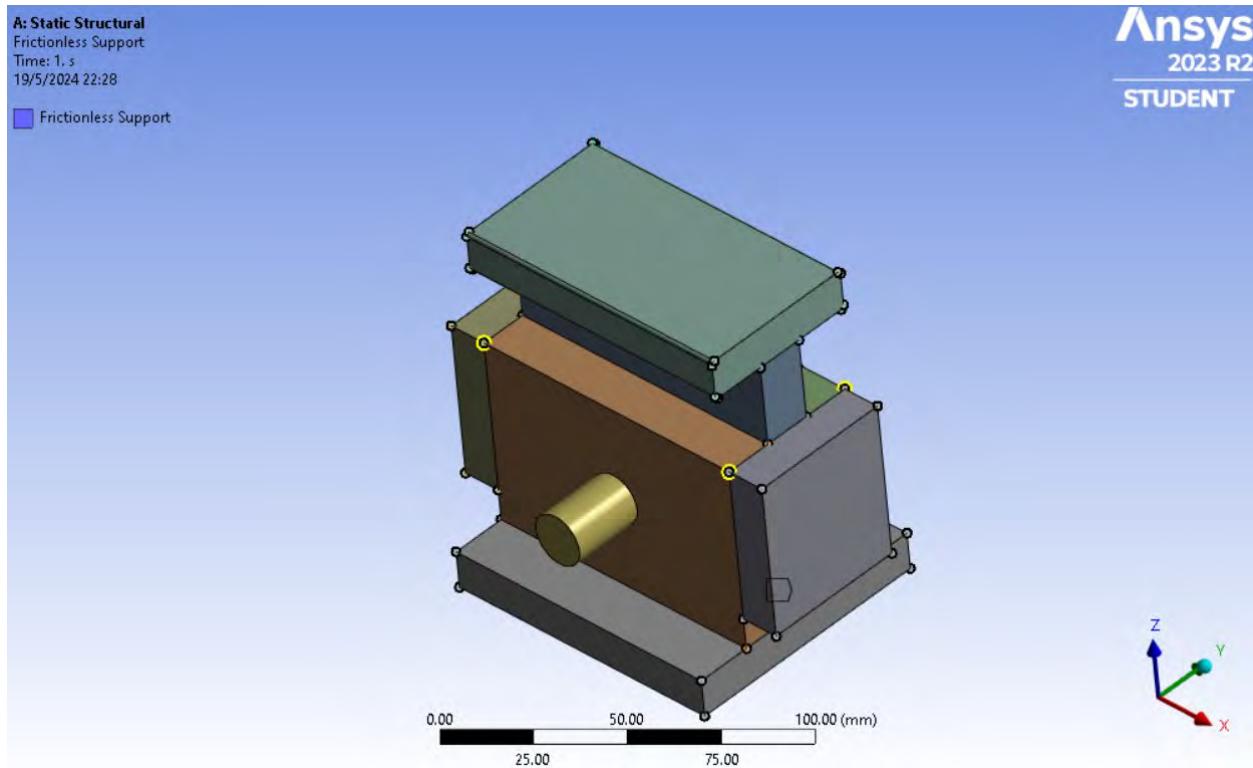
Figura 189*Contacto entre cuchilla y rigidizador***Figura 190***Contacto entre soporte de muelle y barra corrugada*

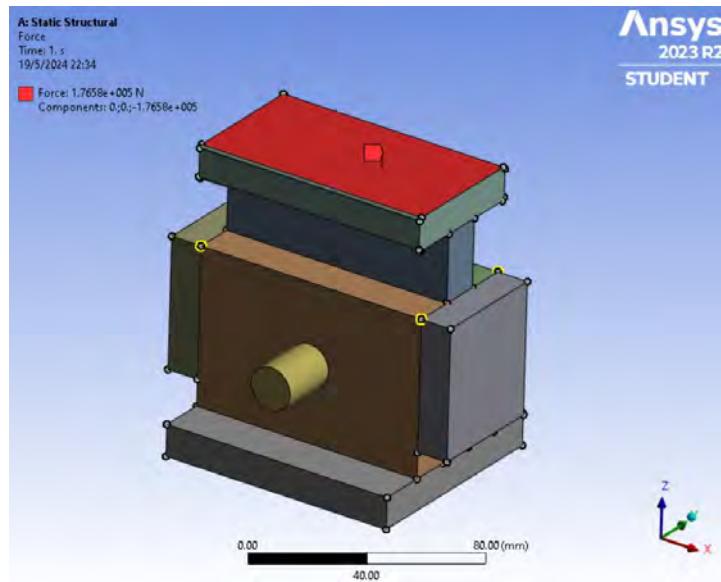
Figura 191*Contacto entre soporte de muelle y rigidizador***Figura 192***Asignación de apoyo con fricción a la cara inferior del acoplador de corte*

4.2.2.4 Asignación de carga externa

La carga externa que se aplica a la simulación es la menor carga aplicada que resiste la ejecución de las pruebas de corte la carga mínima es de 18000 Kg.

Figura 193

Carga externa aplicada al acoplador de corte



4.2.2.5 Resultados de la Simulación

Figura 194

Esfuerzo equivalente de Von Misses

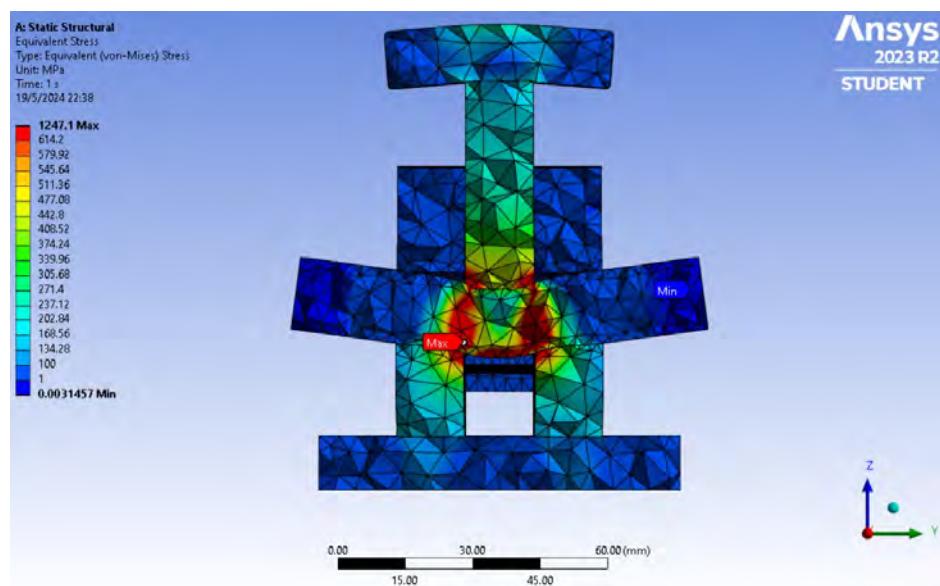


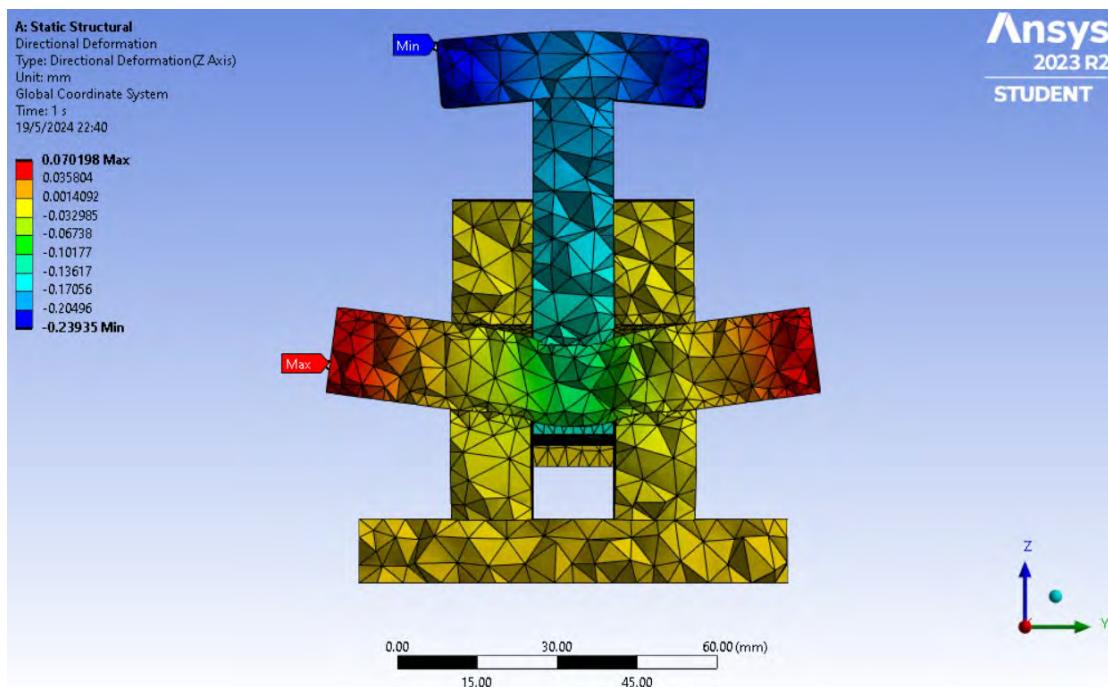
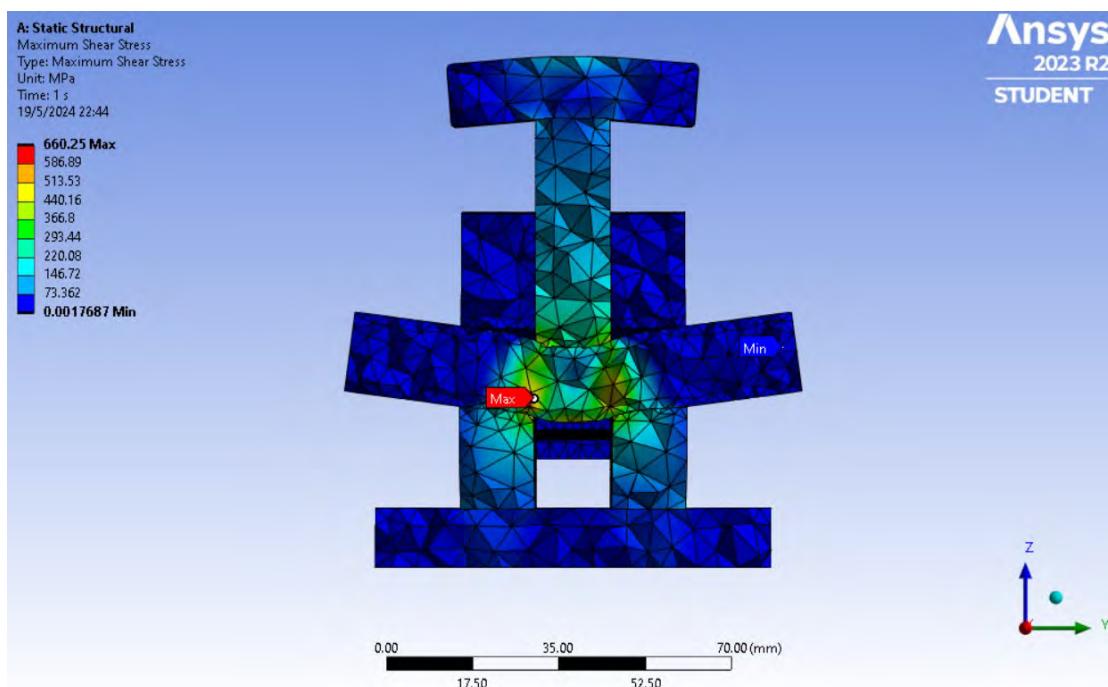
Figura 195*Deformación en la dirección z-z***Figura 196***Esfuerzo máximo de corte*

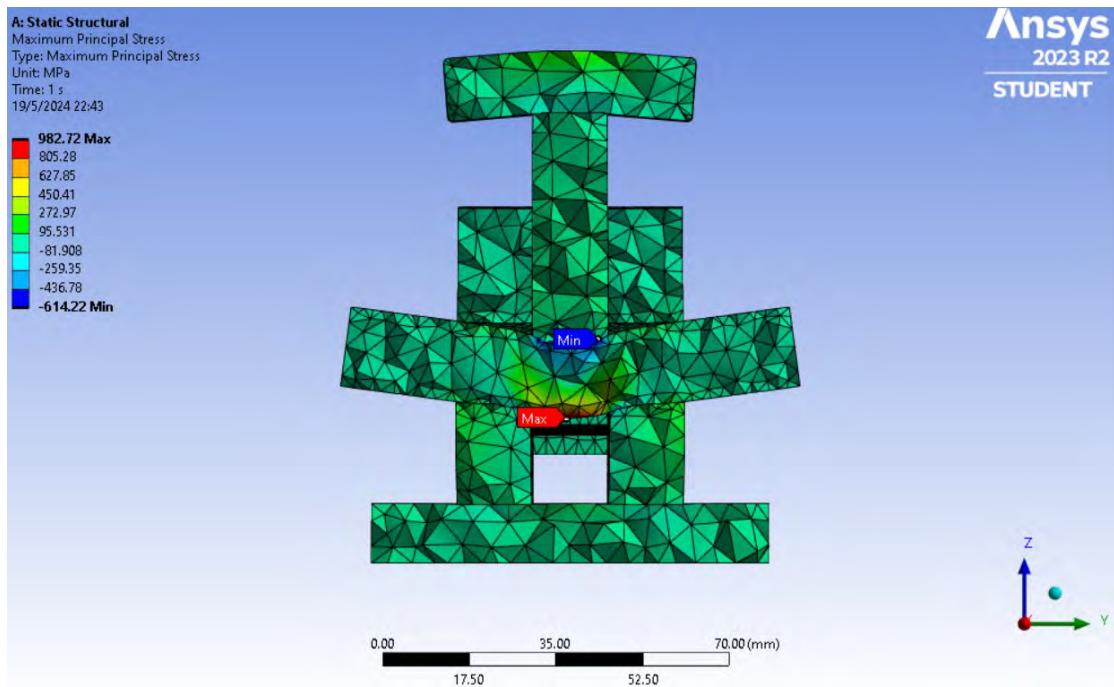
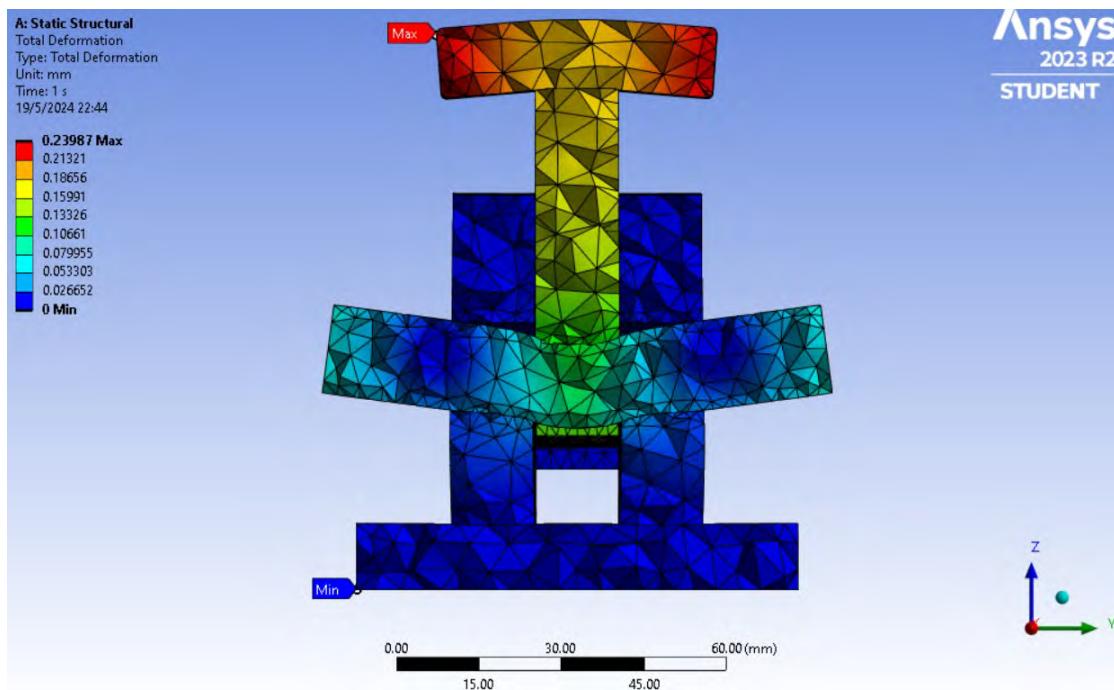
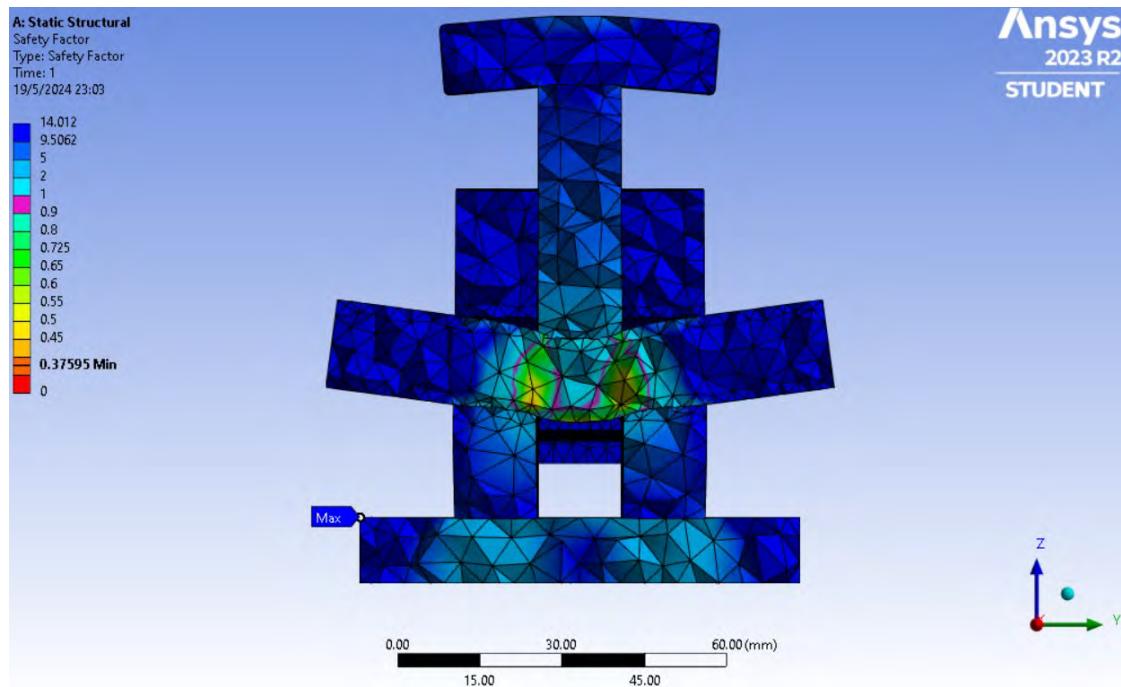
Figura 197*Esfuerzo máximo principal en el ensayo de corte***Figura 198***Máxima deformación en el ensayo de corte*

Figura 199*Factores de seguridad*

Nota. En la figura se muestra el plano de falla de la barra corrugada en la zona con factor de seguridad menor a 1.00

4.3 Fase 3: Simulación de Grupo de Conexiones Disimiles

4.3.1 Fuerzas Externas Aplicadas en La Conexión

Para determinar la fuerza externa que se aplica al grupo de conexiones disimiles se realiza la estimación de cargas de la cancha sintética más grande del distrito de Huancarani, después de realizar el sondeo de dimensiones de canchas sintéticas del distrito de Huancarani se tiene las siguientes dimensiones:

- Cancha sintética Huayllapata con un ancho de 24.69m
- Cancha sintética Huaccaycancha con un ancho de 25.90m
- Cancha sintética Huancarani con un ancho de 29.40m
- Cancha sintética Uray Ayllu con un ancho de 24.69m
- Cancha sintética Nueva Esperanza con un ancho de 21.75m

Tabla 14

Datos de espacios deportivos en el distrito de Huancarani

Cancha	Ancho	Largo	Flecha	Separación de ejes
Huayllapata	24.69 m	41.60 m	4.30 m	5.20 m
Huaccaycancha	25.90 m	32.00 m	4.20 m	4.00 m
Huancarani	29.40 m	42.00 m	8.15 m	6.00 m
Uray Ayllu	24.69 m	41.60 m	4.30 m	5.20 m
Nueva Esperanza	21.75 m	38.80 m	3.79 m	5.20 m

Nota. La estructura con mayor luz es la cancha sintética de Huancarani, teniendo un ancho de 29.40 m y una flecha de 8.15m.

Tabla 15*Acero longitudinal y dimensión de columnas en espacios deportivos*

Cancha	Columnas		Acero longitudinal	
	b	h	Cantidad	Diámetro (INCH)
Huayllapata	35.00 cm	50.00 cm	12	5/8
Huaccaycancha	15.00 cm	15.00 cm	-	-
Huancarani	35.00 cm	60.00 cm	14	5/8
Uray Ayllu	35.00 cm	50.00 cm	12	5/8
Nueva Esperanza	35.00 cm	50.00 cm	12	5/8

Nota. El espacio deportivo de la comunidad de Huaccaycancha tiene columnas de acero

ASTM A500 grado A de 150mm x 150mm x 4mm

4.3.1.1 Carga Externa de Nieve

$$\text{Peso específico de nieve compacta} = 400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Se considera una acumulación de 25cm de espesor.

$$\text{Carga Nieve} = 400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot 0.25 \text{ m}^3 = 100 \text{Kg}$$

$$\text{Carga Nieve} = 100 \text{Kg/m}^2$$

4.3.1.2 Carga Externa de Viento

$$Vh = V \left(\frac{h}{10} \right)^{0.22}$$

$$\text{Según mapa eólico } V = 90 \frac{\text{Km}}{\text{h}} \quad h = 10.00 \text{ m}$$

$$Vh = 90 \frac{\text{Km}}{\text{h}}$$

$$Ph = 0.005CVh^2$$

$$\text{Barlovento } C = \mp 0.8$$

$$\text{Sotavento } C = -0.5$$

$$Ph1 = 32.4 \frac{Kg}{m^2}$$

$$Ph1 = -32.4 \frac{Kg}{m^2}$$

$$Ph2 = -20.25 \frac{Kg}{m^2}$$

4.3.1.3 Carga Externa de Sismo

Para determinar la carga externa de sismo se emplea el análisis modal espectral que emplea el espectro de respuesta inelástico de pseudo aceleración. Para determinar el espectro de respuesta se indica los parámetros sísmicos de la estructura que se indica en la Tabla 16.

Tabla 16

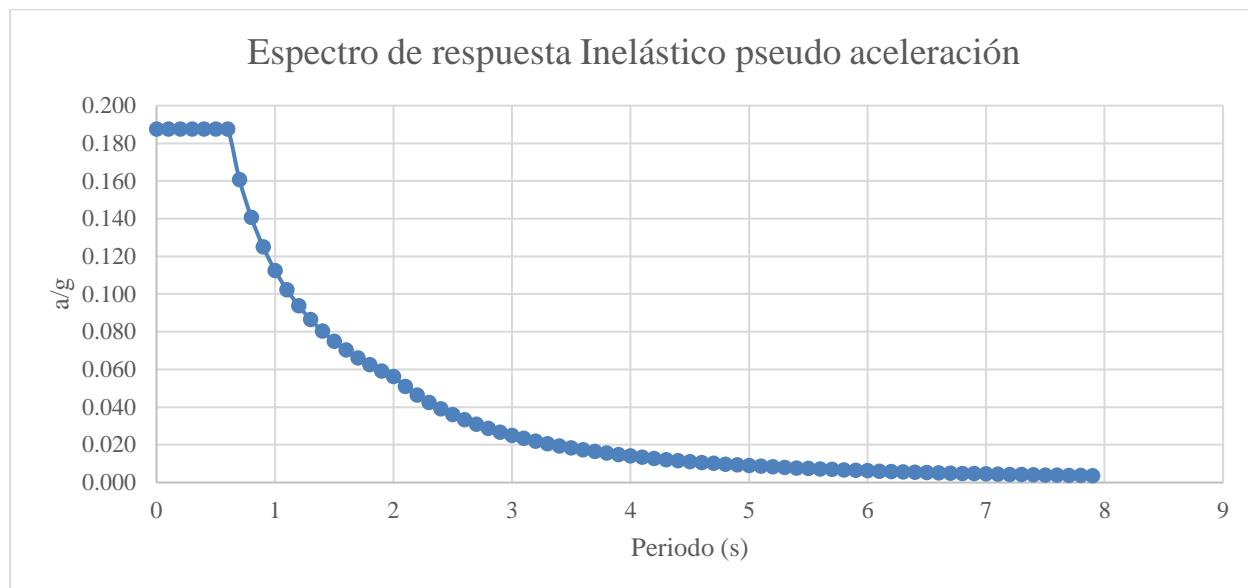
Parámetros sísmicos

Datos		
Z	0.25	Zona 2
U	1	Edificaciones comunes
C	2.5	Factor de amplificación sísmica
Suelo	S2	Tipo de suelo
S	1.2	Factor de suelo
Ia	1	Irregularidad en altura
Ip	1	Irregularidad en planta
R ₀	4	Coeficiente básico de reducción
R	4	Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas
T _p	0.6	Periodo que define la plataforma del factor C
T _l	2	Periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante

Con los datos indicados se elabora el espectro de respuesta de pseudo aceleración para la estructura como se muestra en la Figura 200.

Figura 200

Espectro de respuesta inelástico de pseudo aceleración

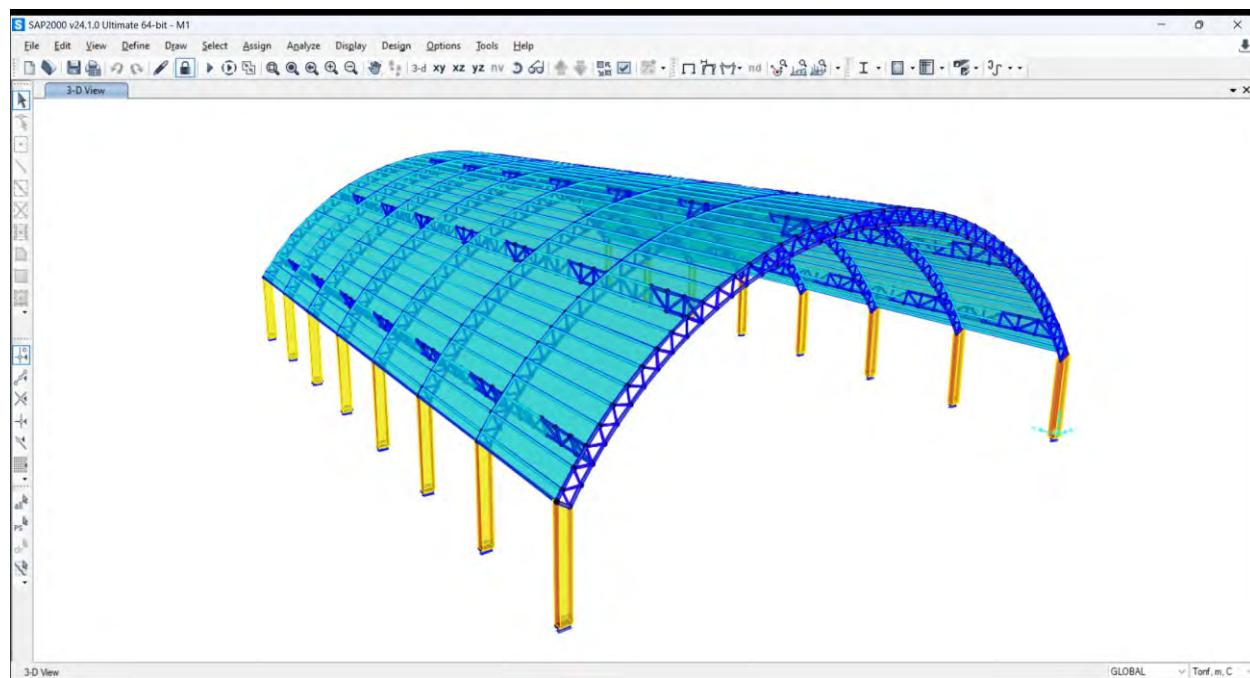


Se debe tomar énfasis de que la cortante dinámica que se emplea en el análisis modal espectral debe ser por lo menos del 80% de la cortante basal estática en estructuras regulares.

Para determinar el peso sísmico de la estructura se emplea el software SAP 2000 tomando en consideración los perfiles de los materiales que son los siguientes:

- Tubo rectangular LAC ASTM A500 de 100x50x3mm Grado B
- Tubo cuadrado LAC ASTM A500 de 50x50x2.5mm Grado A
- Tubo rectangular LAC ASTM A500 de 70X50X2.5mm Grado B
- Aluzinc TR-6 de 0.4mm
- Columnas de concreto armado

Realizando el modelo analítico de la estructura con mayor dimensión que corresponde a la cobertura del distrito de Huancarani se tiene el metrado de cargas.

Figura 201*Modelo analítico de la cancha sintética de Huancarani*

Nota. El modelo analítico de la estructura se realiza con elementos tipo frame para secciones tubulares de acero y elementos tipo Shell para la cobertura y columnas de concreto armado.

Figura 202*Carga muerta y carga viva de la estructura de mayor dimensión*

Base Reactions

	OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX Tonf	GlobalFY Tonf	GlobalFZ Tonf	GlobalMX Tonf-m	GlobalMY Tonf-m	GlobalMZ Tonf-m	GlobalX m	GlobalY m	GlobalZ m
►	DEAD	LinStatic		-1.318E-12	9.623E-15	57.9125	1216.16294	881.49549	2.831E-11	0	0	
	LIVE	LinStatic		-8.583E-12	8.778E-14	155.3449	3261.91162	2349.73168	1.81E-10	0	0	
	SISMO DINA...	LinRespSpec	Max	2.4017	2.371E-08	0.0101	0.21304	12.47087	50.43552	0	0	
	SISMO DINA...	LinRespSpec	Max	1.889E-06	7.323	2.568E-06	60.92448	4.928E-05	111.41492	0	0	

Record: << < 1 > >> of 4 Add Tables... Done

Luego de obtener los resultados de carga muerta y carga viva se procede a multiplicar cada tipo de carga por un factor según los estable la norma E030.

$$P = CM + 0.25CV = 57.92 \text{ ton} + 0.25 \times 155.35 \text{ ton}$$

$$P = 93.76 \text{ ton}$$

Donde

$CM \rightarrow$ Carga muerta

$CV \rightarrow$ Carga viva

$P \rightarrow$ Peso sísmico

Con el peso sísmico que se obtiene se debe multiplicar por un factor de reducción para determinar la cortante basal sísmica estática.

$$V = \frac{ZUCS}{R} \times P$$

$Z \rightarrow$ Factor de zona

$U \rightarrow$ Factor de suso

$C \rightarrow$ Factor de amplificación del suelo

$S \rightarrow$ Factor que depende del tipo de suelo y zona

$R \rightarrow$ Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

$P \rightarrow$ Peso sísmico

Luego de determinar el valor de cada parámetro sísmico se tiene los siguientes resultados:

Tabla 17

Parámetros sísmico de la estructura de mayor dimensión

Parámetro	Valor
Z	0.25
U	1
C	2.5

Parámetro	Valor
S	1.2
R	4
FACTOR	0.1875
Peso (Kg)	96757.5
V (Kg)	18142.03

Con el dato de la cortante basal se podría realizar la distribución de fuerzas laterales sísmicas que simulan un sismo, pero por la metodología que se adopta en la investigación se usa el análisis modal espectral.

Tabla 18

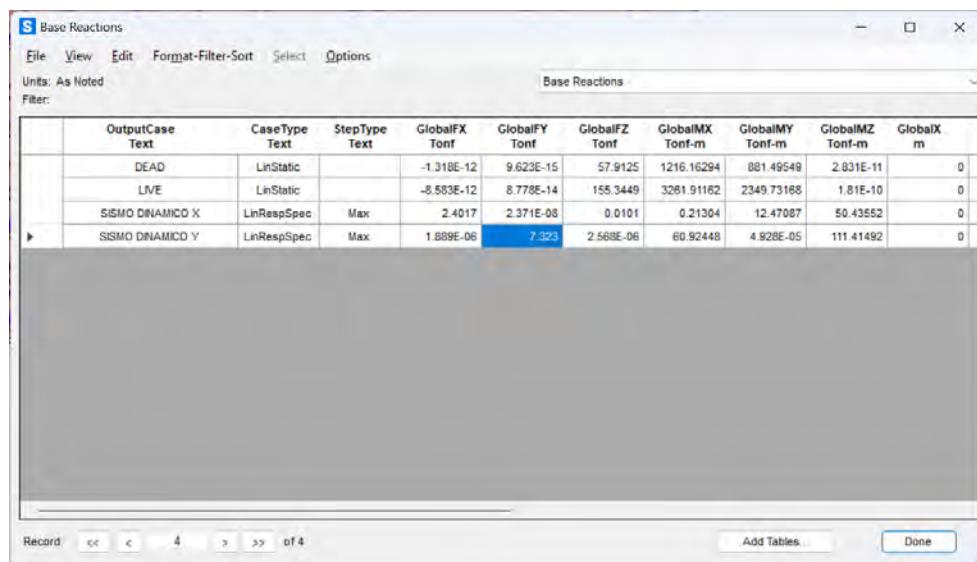
Fuerzas laterales debido a la cortante basal estática

Piso	hi	PESO (TON)	PXH	Sumatoria	alfa	V (ton)	Fx (ton)
1	4.2	96.76	406.38	406.382	1.0000	18.14	18.14
		Sumatoria	406.38				

Realizando el análisis modal espectral de la estructura se tiene los resultados de la cortante basal dinámica.

Figura 203

Resultados de cortante basal con la aplicación del análisis modal espectral



Se presenta una cortante basal que es mucho menor que la cortante sísmica estática por lo que se debe multiplicar por un factor de amplificación que garantice por lo menos el 80% de la cortante sísmica.

Tabla 19

Cortante dinámica en las direcciones ortogonales de la estructura

Dirección	Valor
Cortante Dinámico x-x	2.4017 ton
Cortante Dinámico y-y	9.3230 ton

Se emplea el factor de 6.04 en la dirección X-X y 1.94 en la dirección Y-Y para garantizar la cortante mínima que se aprecia en la Figura 204.

Figura 204

Cortante basal dinámica re escalada de la estructura

Base Reactions

File View Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Filter: Base Reactions

	OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ	GlobalX	GlobalY	GlobalZ
	Text	Text	Text	Tonf	Tonf	Tonf	Tonf-m	Tonf-m	Tonf-m	m	m	m
►	DEAD	LinStatic		-1.247E-12	-1.84E-14	57.9125	1216.16294	881.49549	2.387E-11	0	0	
	LIVE	LinStatic		-9.834E-12	3.414E-14	155.3449	3261.91162	2349.73168	2.083E-10	0	0	
	SISMO DINA...	LinRespSpec	Max	14.5136	1.433E-07	0.0613	1.28742	75.36222	304.78488	0	0	
	SISMO DINA...	LinRespSpec	Max	3.744E-06	14.5135	5.09E-06	120.74744	9.767E-05	220.81545	0	0	

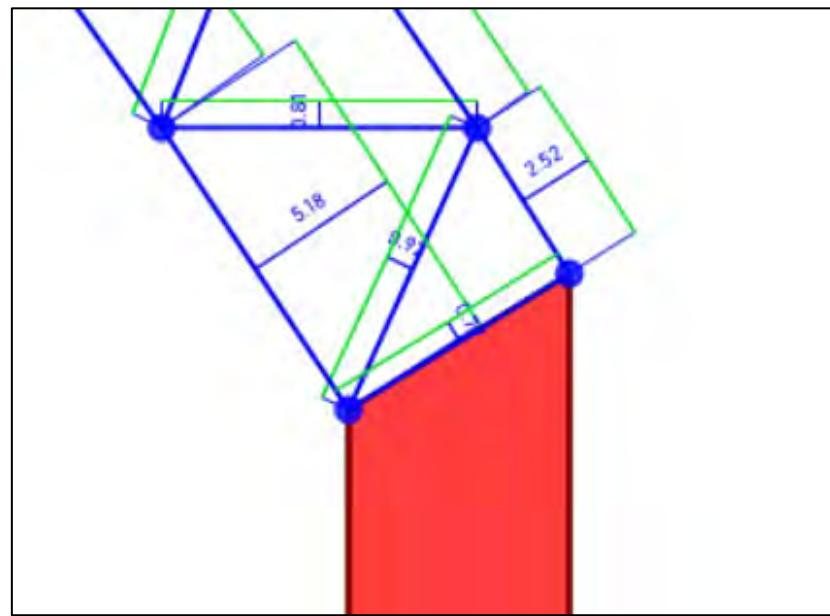
Record: << < 1 > >> of 4 Add Tables... Done

4.3.1.4 Gráfica de Fuerzas Internas

En la zona más crítica se presentan las fuerzas internas que se muestra a continuación:

Figura 205

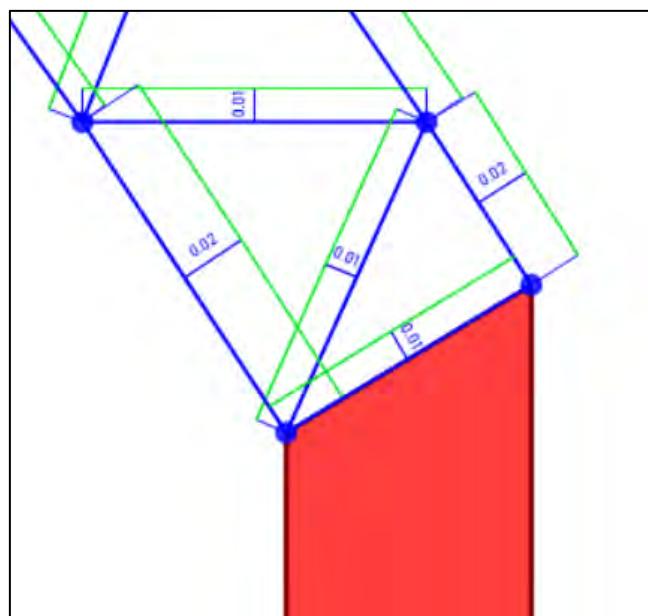
Fuerza axial por sísmico dinámico en la dirección X-X



Nota. En la imagen se presenta la fuerza axial en la dirección X-X en el lado derecho en unidades de toneladas en el eje 4.

Figura 206

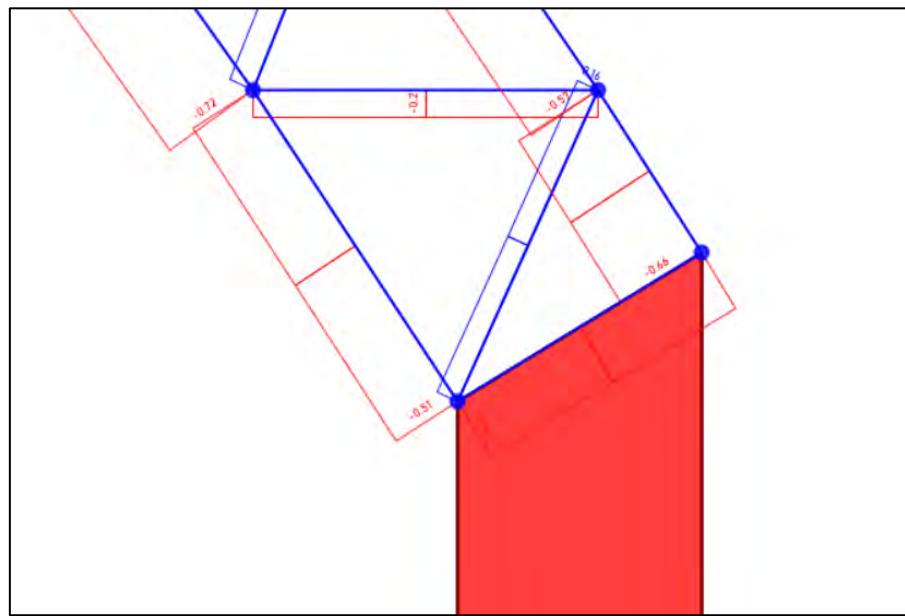
Fuerza axial dinámica en la dirección Y-Y



Nota. En la imagen se presenta la fuerza axial en la dirección Y-Y en el lado derecho en unidades de toneladas en el eje 4.

Figura 207

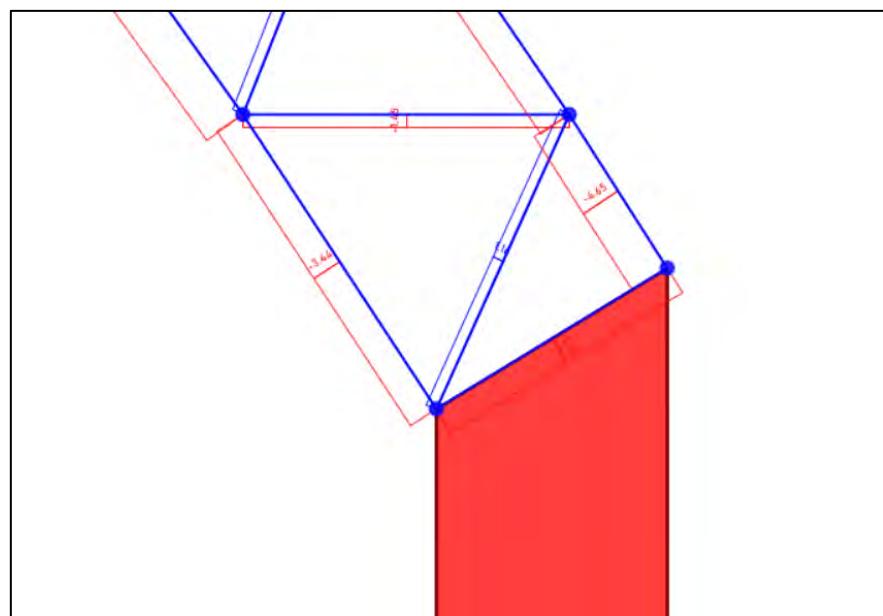
Fuerza axial producida por la carga muerta



Nota. En la imagen se presenta la fuerza axial en la en el lado derecho en unidades de toneladas.

Figura 208

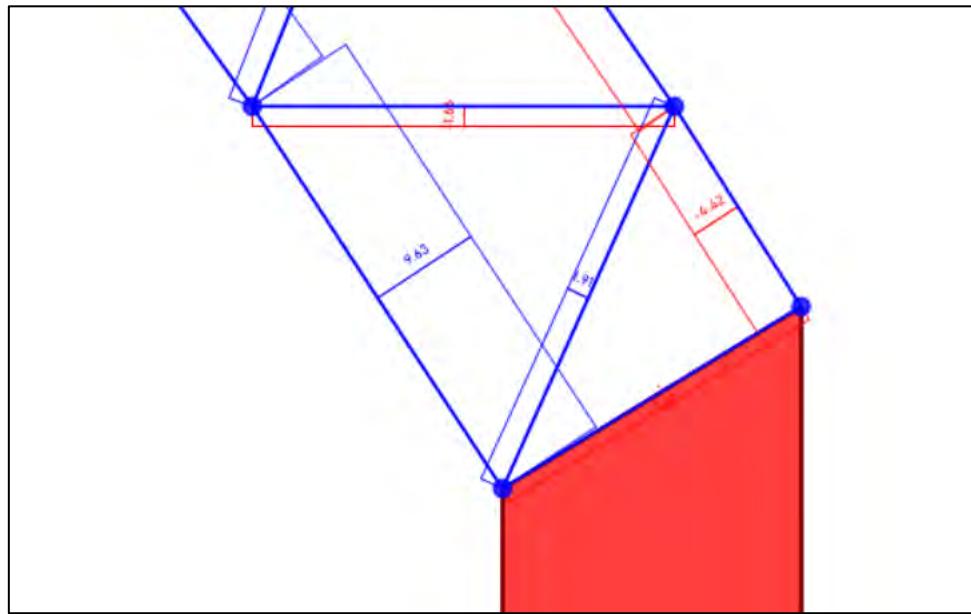
Fuerza axial producida por la carga viva-nieve



Nota. En la imagen se presenta la fuerza axial en el lado derecho en unidades de toneladas.

Figura 209

Fuerza axial producida por el viento en la dirección 1 lado derecho

**Figura 210**

Fuerza axial producida por el viento en la dirección 1 lado izquierdo

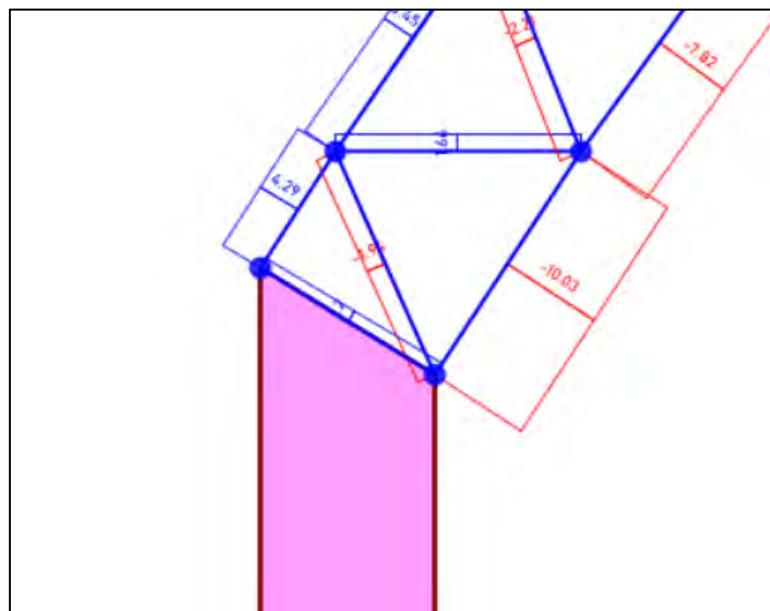
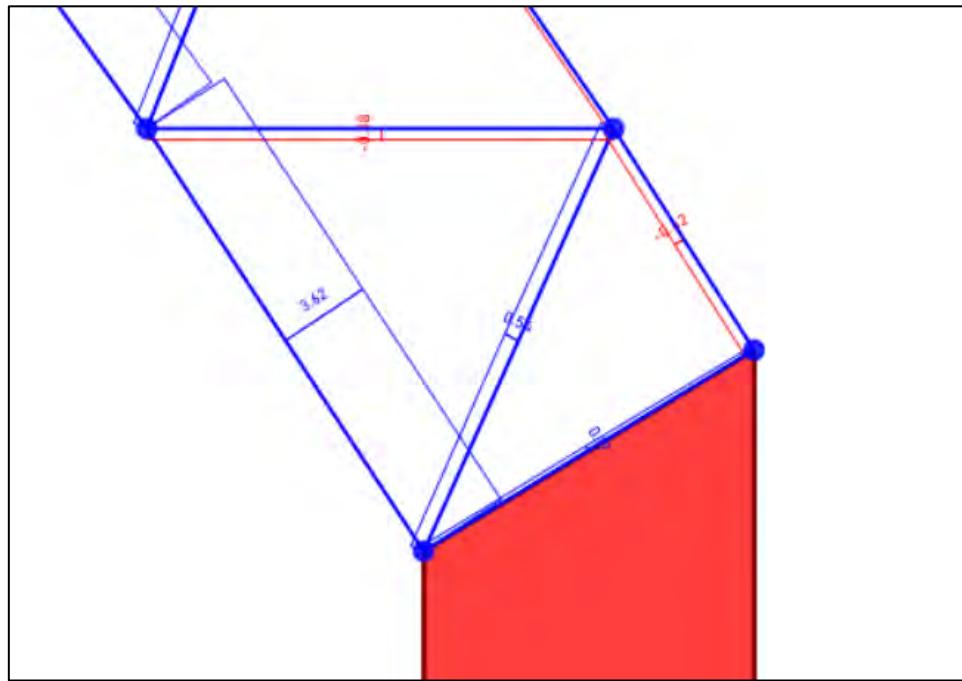


Figura 211

Fuerza axial producida por el viento en la dirección 2 lado derecho

**Figura 212**

Fuerza axial producida por el viento en la dirección 2 lado izquierdo

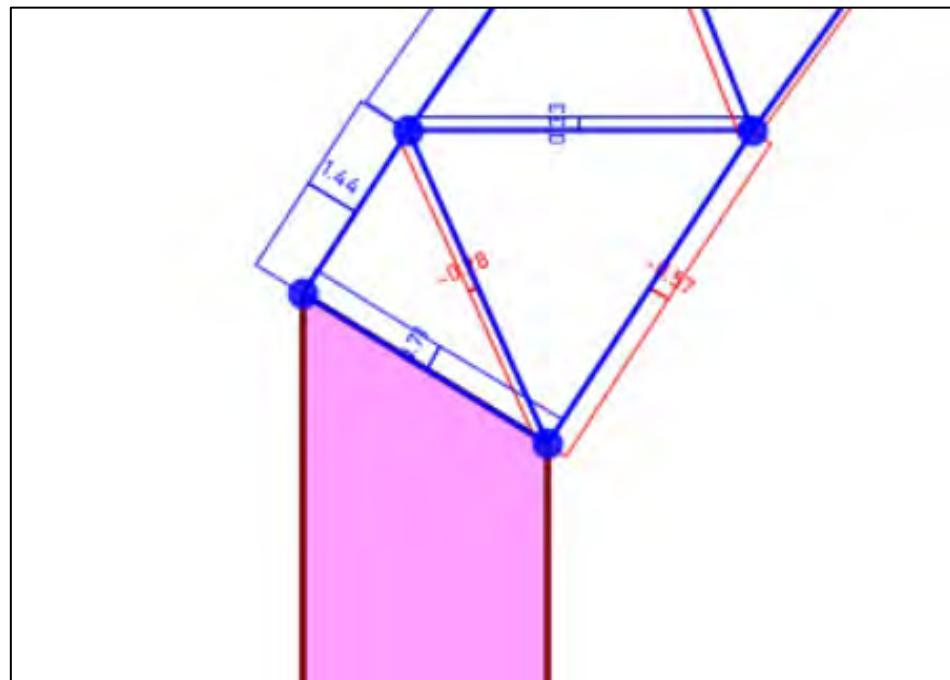
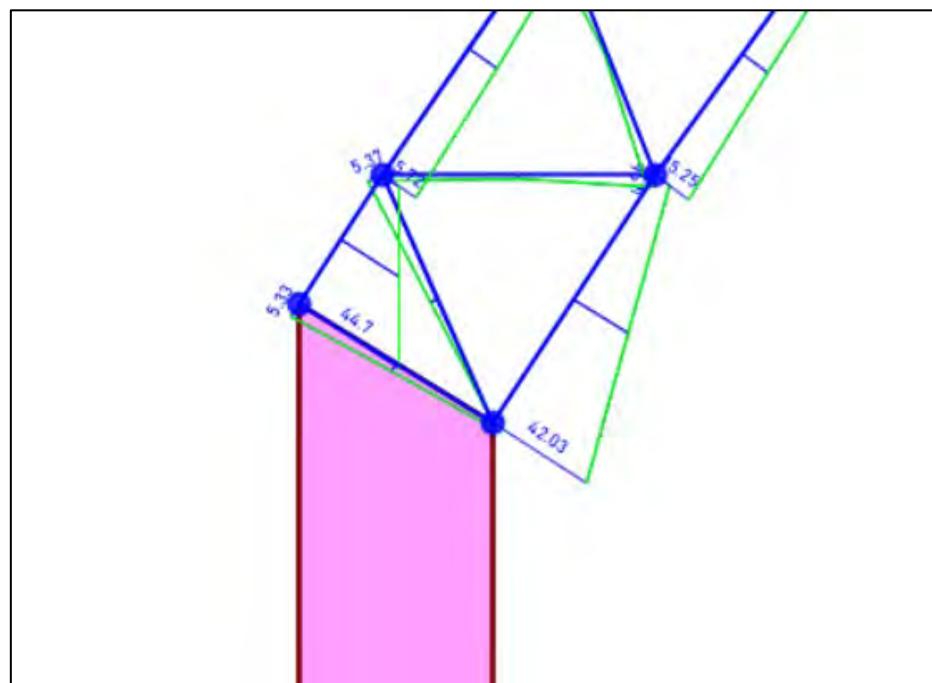


Figura 213

Momento flector ocasionado por el sismo dinámico en la dirección X-X lado izquierdo

**Figura 214**

Momento flector ocasionado por el sismo en la dirección X-X lado derecho

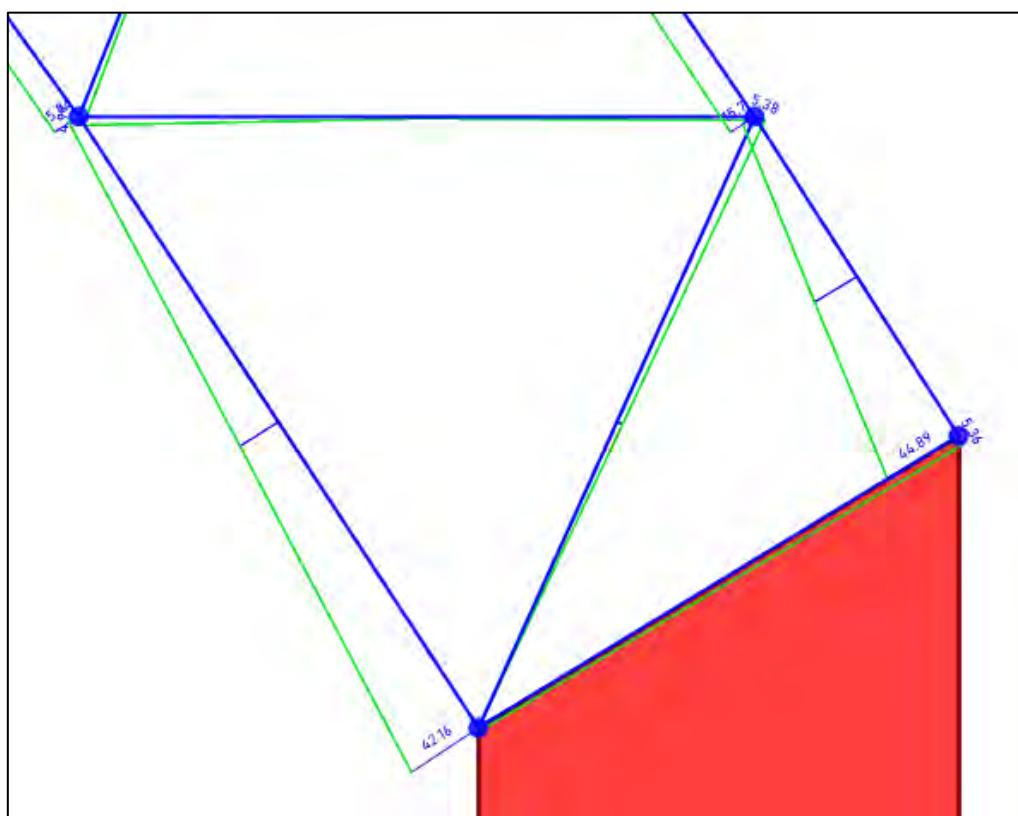
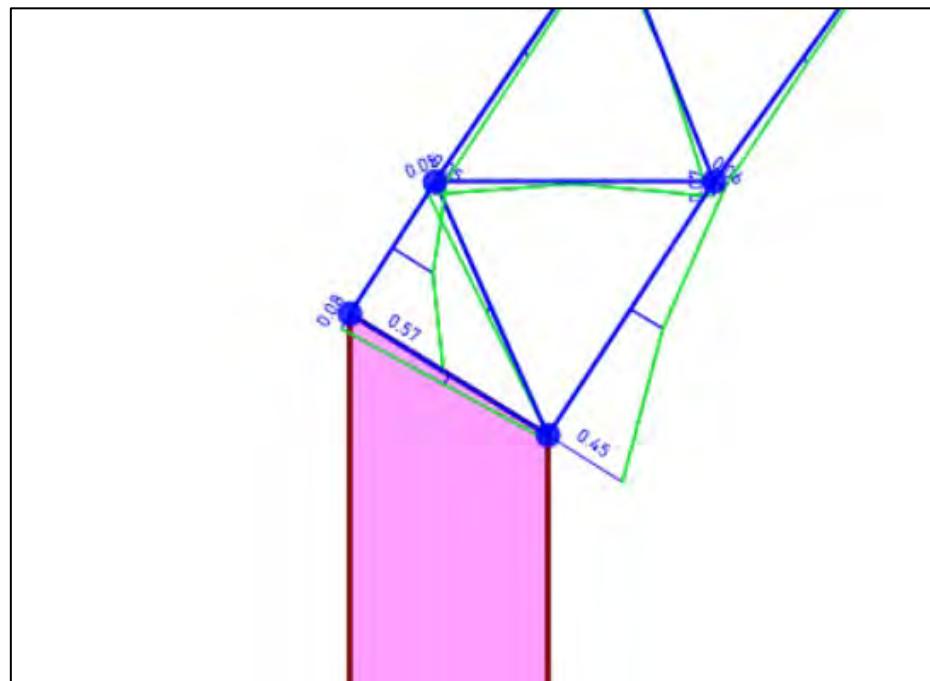


Figura 215

Momento flector ocasionado por el sismo dinámico en la dirección Y-Y lado izquierdo

**Figura 216**

Momento flector ocasionado por el sismo dinámico en la dirección Y-Y lado derecho

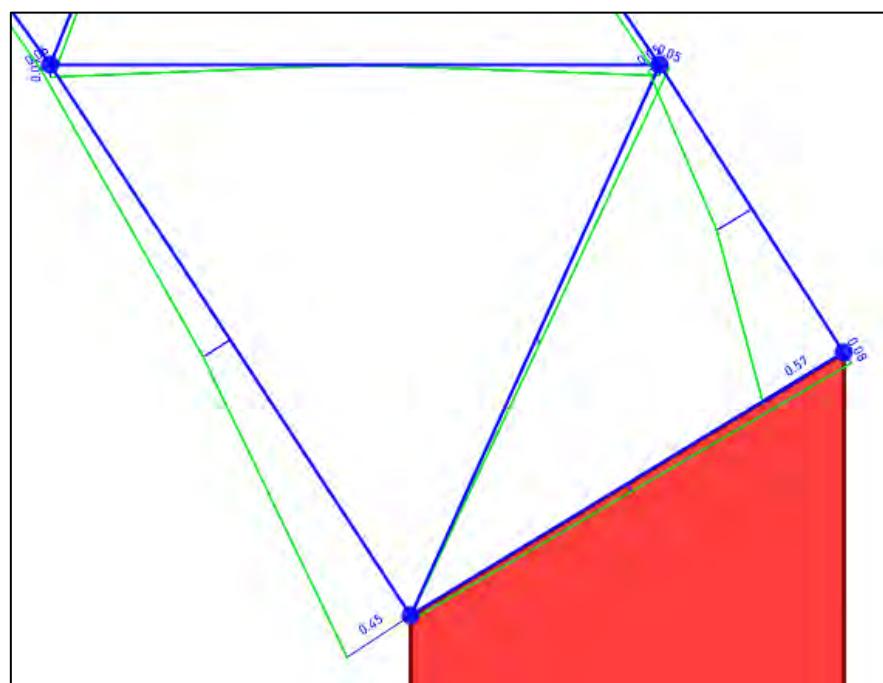
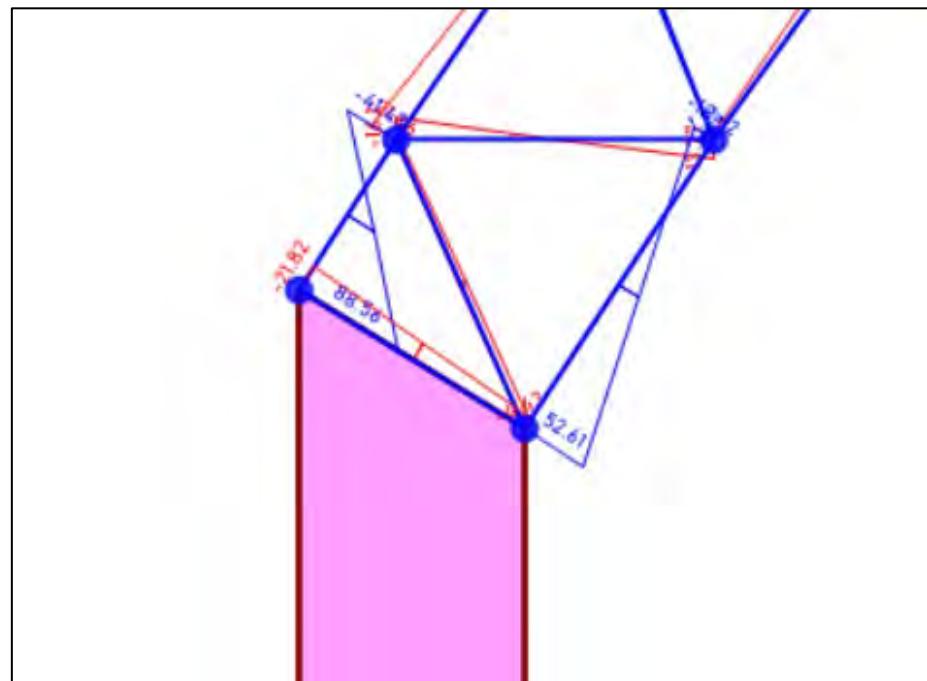


Figura 217

Momento flector ocasionado por la carga de nieve lado izquierdo

**Figura 218**

Momento flector ocasionado por la carga de viento en la dirección 1 lado izquierdo

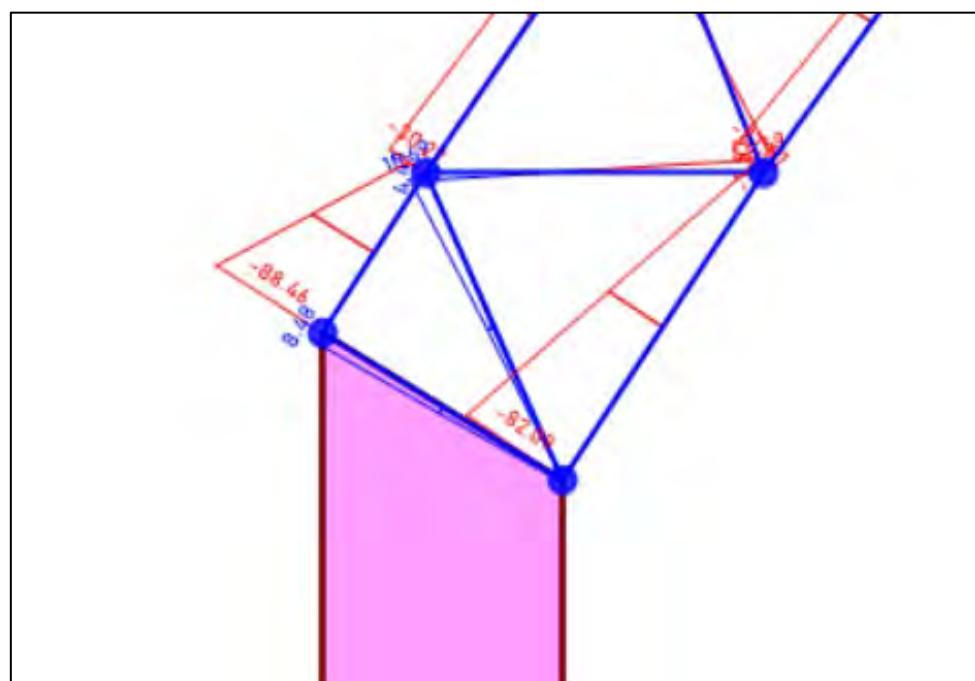
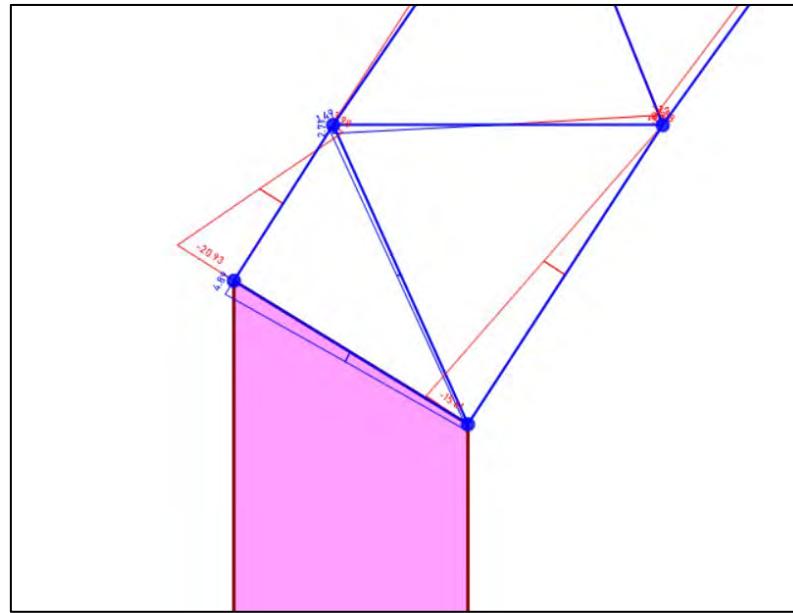


Figura 219

Momento flector ocasionado por la carga de viento en la dirección 2 lado izquierdo



4.3.1.5 Resumen de Fuerzas Internas

Resumiendo, las cargas internas que se producen debido a las diferentes solicitudes se tiene el siguiente resumen:

Tabla 20

Resumen de fuerzas internas axiales en el lado derecho

Tipo de Carga	F1 (Kg)	F2 (Kg)	F3 (Kg)
Carga de sismo X-X	5180.49	921.00	2516.10
Carga de sismo Y-Y	23.51	11.70	19.58
Carga de viento W1	9630.00	1907.45	-4425.22
Carga de viento W2	3623.14	539.78	-420.34
Carga de nieve	-3442.74	1157.76	-4645.90

Tabla 21

Resumen de fuerzas internas axiales del apoyo izquierdo

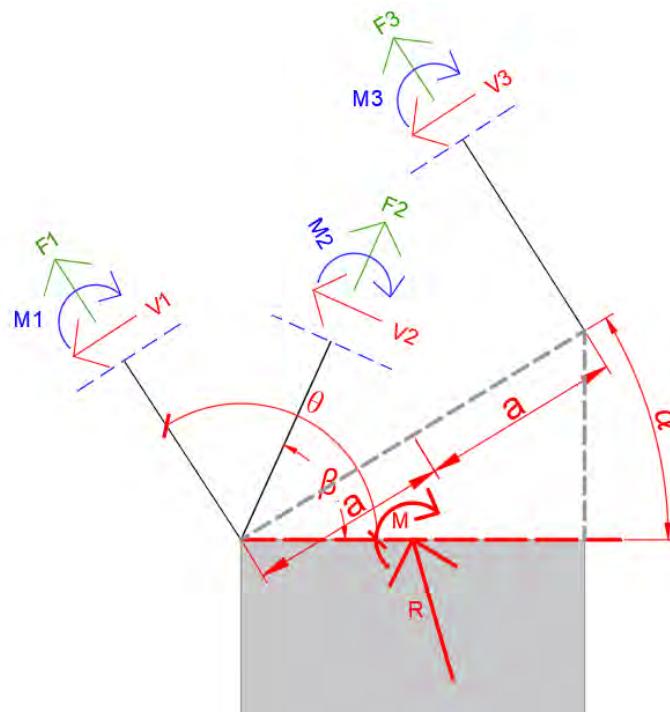
Tipo de Carga	F1 (Kg)	F2 (Kg)	F3 (Kg)
Carga de sismo X-X	5183.30	917.38	2516.68

Tipo de Carga	F1 (Kg)	F2 (Kg)	F3 (Kg)
Carga de sismo Y-Y	24.03	11.74	19.74
Carga de viento W1	-10030.92	-1939.08	4286.13
Carga de viento W2	-577.05	-282.46	1442.44
Carga de nieve	-3442.55	1157.97	-4646.60

Cada una de las fuerzas internas indicadas en la Tabla 20 y Tabla 21 obedece a la distribución indicada en la Figura 220.

Figura 220

Croquis de ubicación de las fuerzas internas



Nota. En la imagen se presenta la fuerza axial interna que se presenta en las barras aledañas a la conexión enumerados como F1, F2 y F3. Las fuerzas internas V1, V2 y V3 representan a las fuerzas internas de corte. Las fuerzas internas M1, M2 y M3 representan los momentos flectores. La fuerza equivalente a las fuerzas internas se expresa en términos de R y M donde R representa la fuerza axial equivalente y M representa el momento flector equivalente. El Ángulo alfa y beta de la imagen tiene los valores de 30.3071° y 65.6244° respectivamente.

Con respecto a las fuerzas internas correspondiente a momentos flectores se tiene la Tabla 22 y la Tabla 23.

Tabla 22

Momentos flectores en las barras adyacentes a la conexión lado derecho

Tipo de Carga	M1 (Kg-m)	M2 (Kg-m)	M3 (Kg-m)
Carga de sismo X-X	-42.16	0.32	-44.89
Carga de sismo Y-Y	-0.45	0.06	-0.57
Carga de viento W1	-81.69	-0.32	-89.11
Carga de viento W2	-19.32	0.84	-16.93
Carga de nieve	-52.60	-4.43	-88.54

Tabla 23

Momentos flectores en las barras adyacentes a la conexión lado izquierdo

Tipo de Carga	M1 (Kg-m)	M2 (Kg-m)	M3 (Kg-m)
Carga de sismo X-X	-42.03	0.32	-44.70
Carga de sismo Y-Y	-0.45	0.06	-0.57
Carga de viento W1	82.08	0.08	88.45
Carga de viento W2	15.69	0.93	21.03
Carga de nieve	-52.61	-4.43	-88.55

Las fuerzas cortantes de las barras aledañas a la conexión se muestran en la Tabla 24 y Tabla 25.

Tabla 24

Fuerza cortante en las barras aledañas de la conexión lado derecho

Tipo de Carga	V1 (Kg)	V2 (Kg)	V3 (Kg)
Carga de sismo X-X	-46.09	7.07	-91.29
Carga de sismo Y-Y	-0.65	0.07	-1.58
Carga de viento W1	-93.48	14.21	-187.90
Carga de viento W2	-19.84	5.40	-17.12

Tipo de Carga	V1 (Kg)	V2 (Kg)	V3 (Kg)
Carga de nieve	-91.33	-0.84	-321.73

Tabla 25

Fuerza cortante en las barras aledañas de la conexión lado izquierdo

Tipo de Carga	V1 (Kg)	V2 (Kg)	V3 (Kg)
Carga de sismo X-X	-45.87	7.05	-90.65
Carga de sismo Y-Y	-0.65	0.07	-1.58
Carga de viento W1	93.31	-14.81	181.61
Carga de viento W2	20.10	-0.80	61.93
Carga de nieve	-91.35	-0.84	-321.78

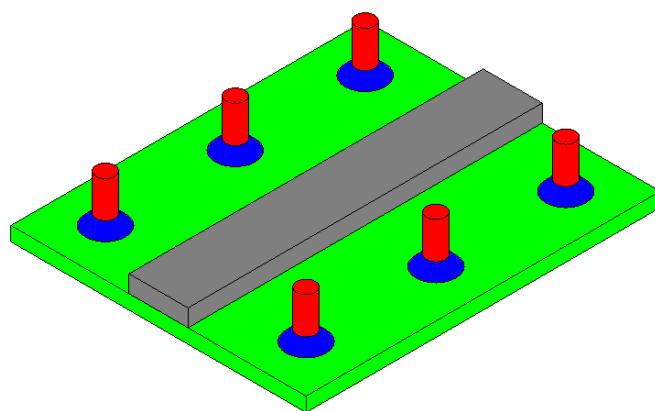
4.3.2 Simulación de la Conexión no Convencional

4.3.2.1 Definición de la Geometría

Para realizar la simulación de un grupo de conexiones disimiles se desarrolla un modelo tridimensional en el software Revit, luego se exporta dicho modelo en formato cad con la extensión sat. El formato sat se exporta a la ventana de trabajo de Ansys en el módulo “static structural”.

Figura 221

Modelo tridimensional del grupo de conexiones disimiles

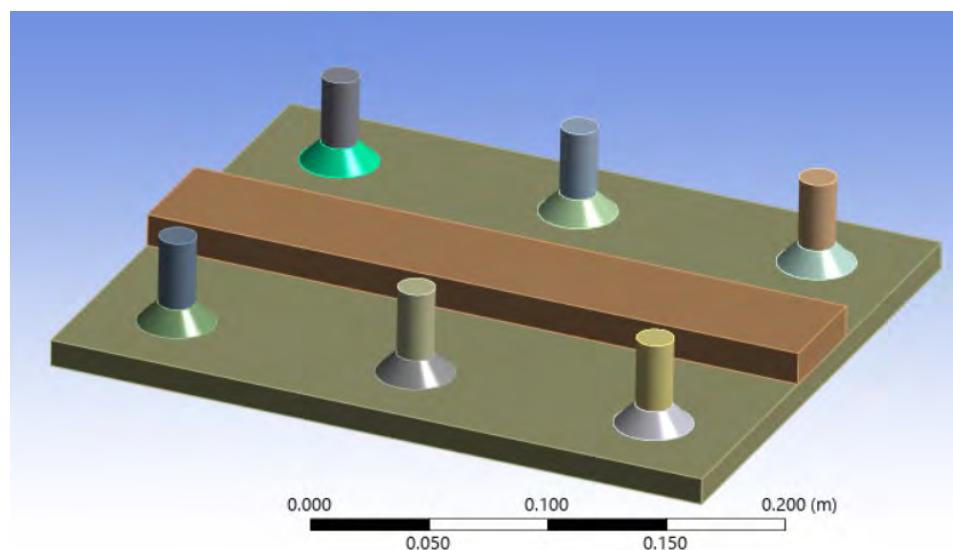


Nota. En la imagen se representa la barra corrugada de color rojo, plancha metálica ASTM A36 de $\frac{1}{2}$ " de color verde, cordón de soldadura de color azul y un elemento rígido de color gris que simula la zona rígida de unión entre la cercha metálica tipo arco y la plancha metálica.

En total existe 14 sólidos que se extrae del archivo exportado de Revit como se muestra en la Figura 222.

Figura 222

Geometría exportada a Ansys para la simulación de grupo de conexiones disimiles



4.3.2.2 Definición de Materiales

Luego se realiza la definición de los materiales de cada componente o pieza en el software Ansys donde se diferencia la plancha metálica ASTM A36, la barra corrugada ASTM A615 y el cordón de soldadura E7018. También se establece el tipo de contacto entre las 14 piezas que compone el modelo de simulación.

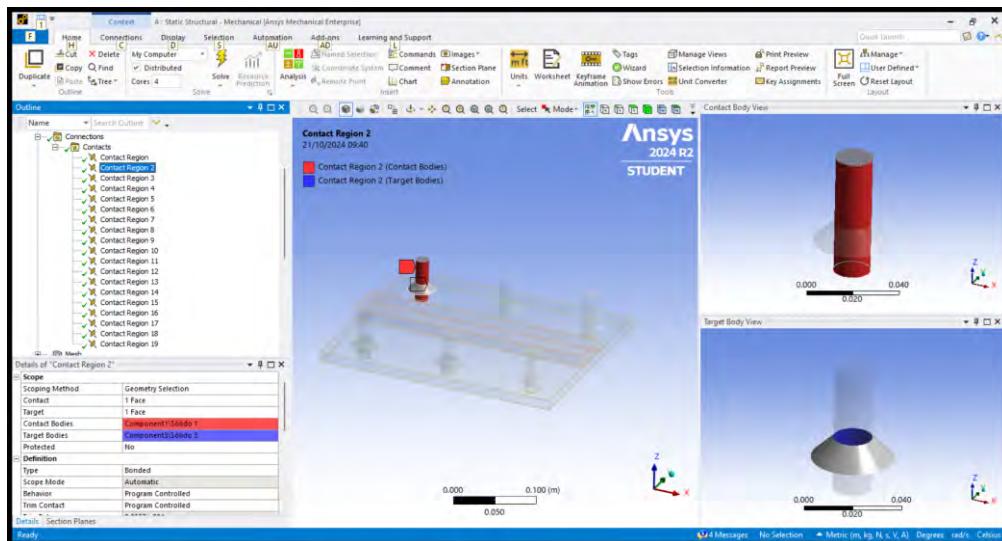
4.3.2.3 Definición de Contactos Entre piezas

De todos los contactos que existe entre las diferentes piezas se puede simplificar en 2 tipos (Bonded y Frictionless) que se presentan en tres zonas habituales. La zona 1 corresponde a la conexión entre la barra corrugada y el cordón de soldadura que se idealiza

como un elemento continuo. La zona 2 corresponde a la conexión entre el cordón de soldadura y la plancha metálica ASTM A36 que se idealiza como un elemento continuo y finalmente la zona 3 corresponde a la conexión entre barra corrugada y plancha metálica donde no existe ningún tipo de interacción.

Figura 223

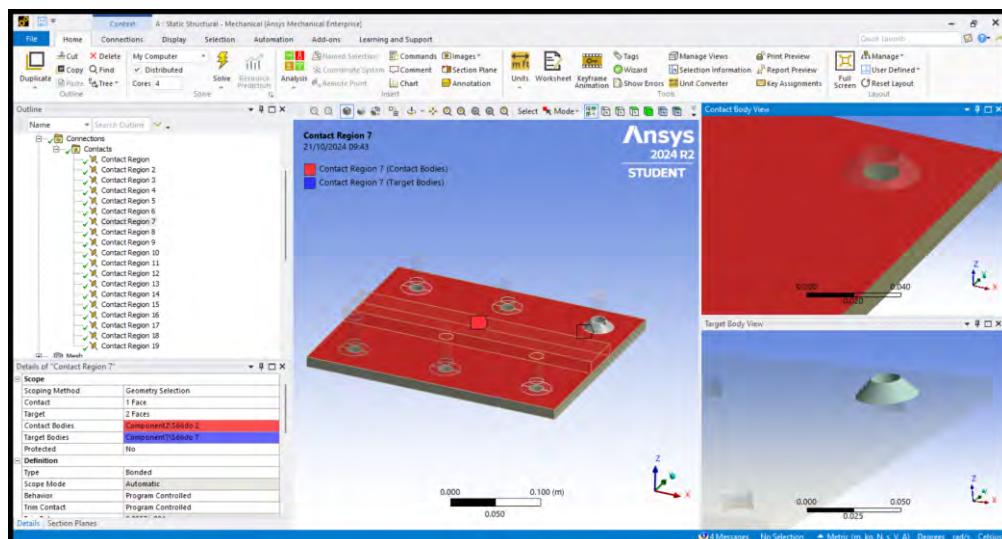
Conexión bonded en la zona 1 del modelo analítico del grupo de conexiones



Nota. En la imagen se representa la barra corrugada de color rojo, el cordón de soldadura de color gris y la superficie de contacto de color azul.

Figura 224

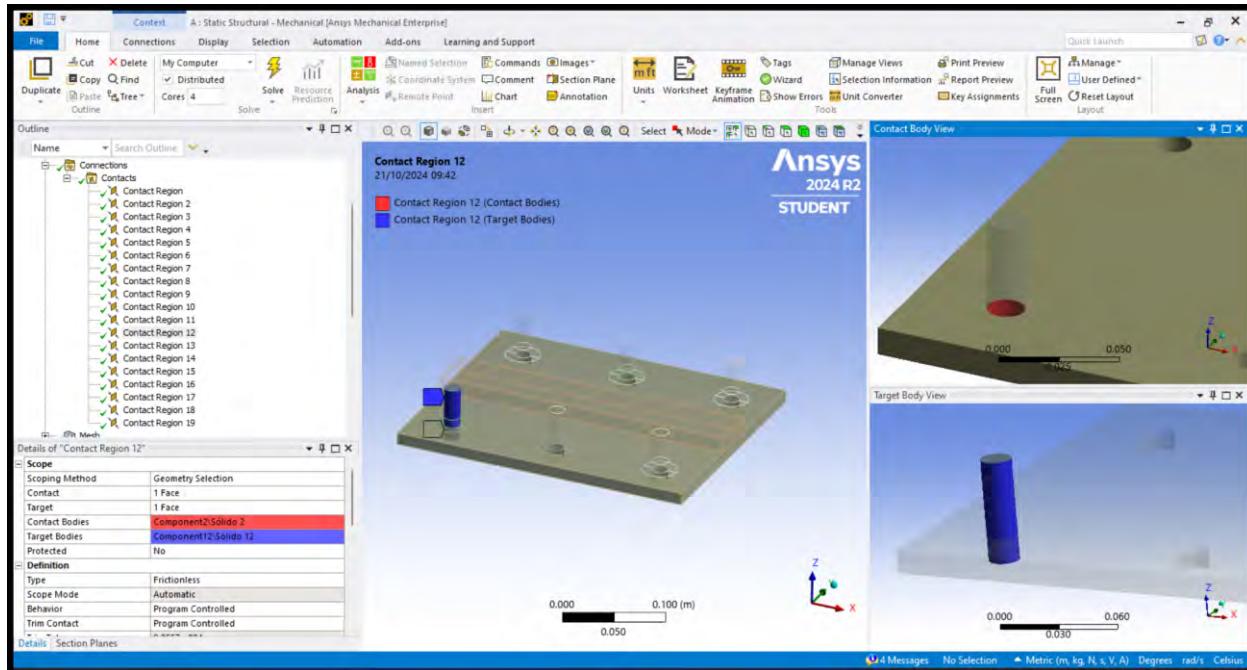
Conexión bonded en la zona 2 del modelo analítico del grupo de conexiones



Nota. En la imagen se representa el cordón de soldadura de color gris y la superficie de contacto con la plancha metálica de color rojo.

Figura 225

Conexión frictionless en la zona 3 del modelo analítico del grupo de conexiones



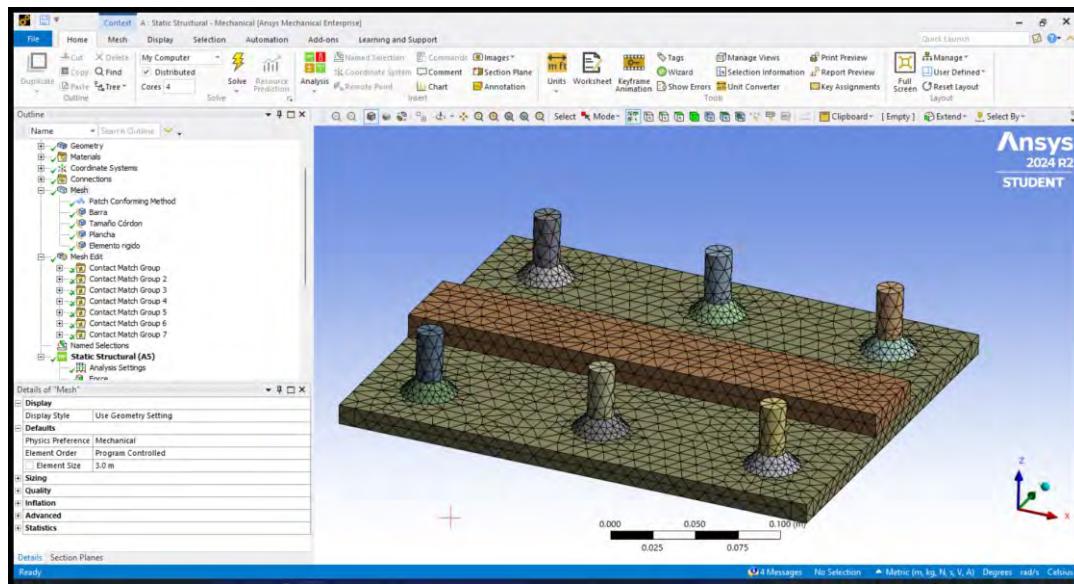
Nota. En la imagen se representa la barra corrugada de color azul, la plancha metálica de color gris y la superficie de contacto de color rojo.

4.3.2.4 Discretización del Modelo Geométrico

Luego de definir la superficie de contacto entre las diferentes piezas y la asignación de los materiales se procede a realizar la discretización de las piezas de acuerdo mediante tetraedros como se muestra en la Figura 226, se emplea un tamaño de discretización diferente para la plancha metálica, los cordones de soldadura, las barras corrugadas y el elemento rígido que simula la presencia de la cercha metálica.

Figura 226

Discretización del modelo analítico del grupo de conexiones disímiles

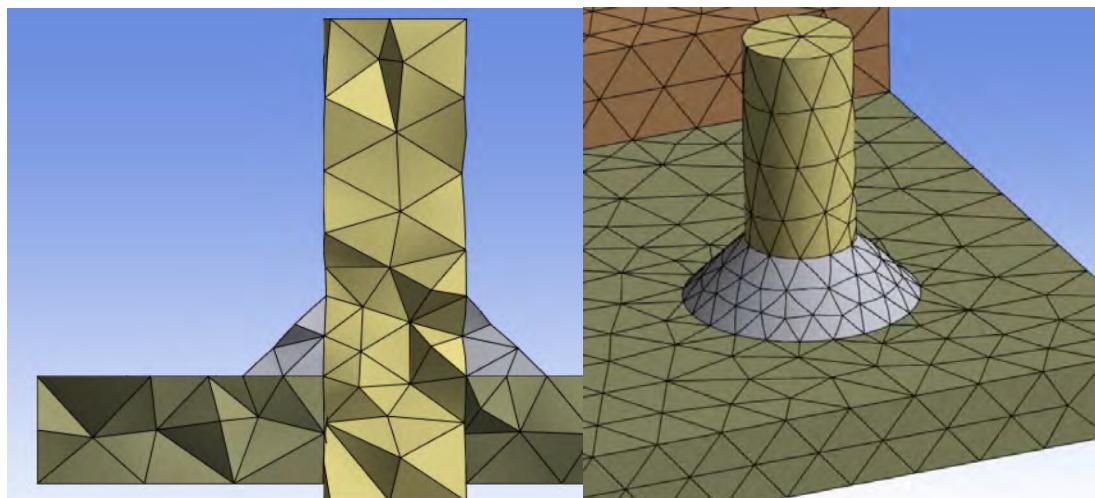


Nota. Cada pieza del modelo no convencional se discretiza de diferentes tamaños, las barras corrugadas se discretizan con tamaño de 8mm, el cordón de soldadura con 5 mm, la plancha metálica con 2 cm y el elemento rígido con 2 cm.

Después de asignar a cada pieza el tamaño que le corresponde se emplea grupos de contacto que se da con la finalidad de que la discretización empleada entre dos piezas de contacto tenga continuidad como se muestra en la Figura 227.

Figura 227

Discretización de piezas unidas



Nota. En la imagen se representa la barra corrugada, cordón de soldadura y plancha metálica que poseen una discretización que es continua con el cambio de tipo de material y de pieza.

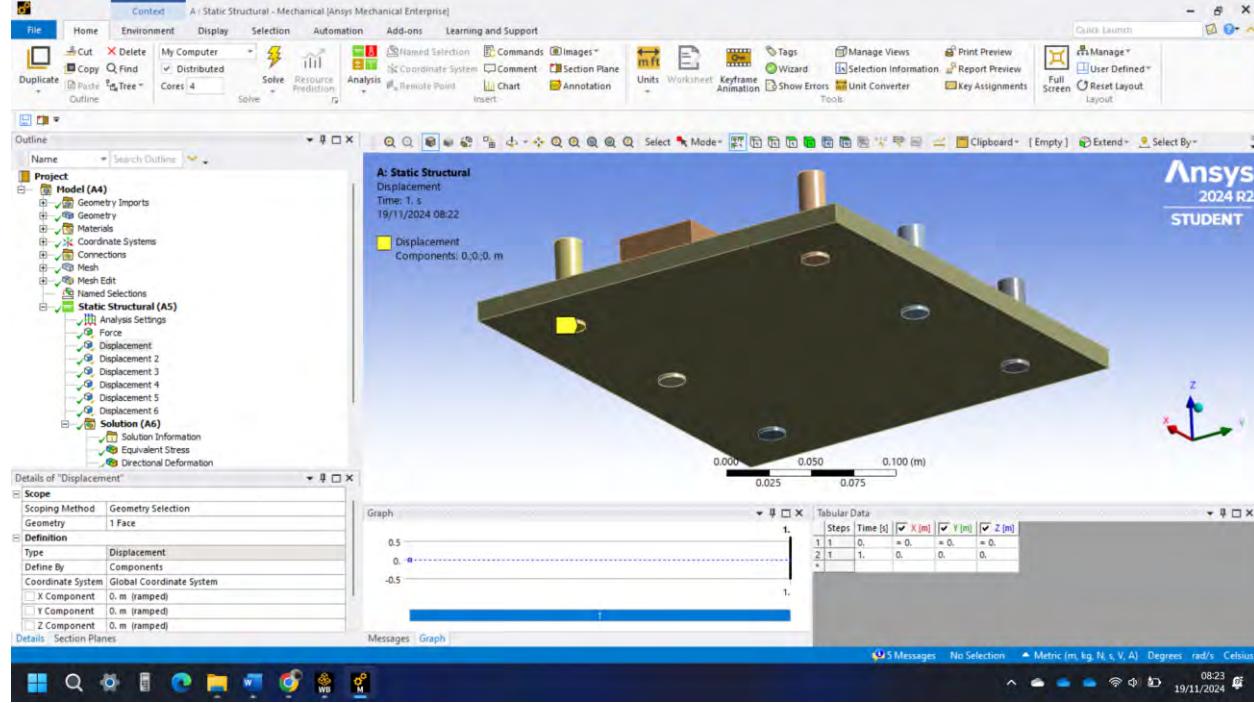
4.3.2.5 Definición de apoyos

Para definir los apoyos se define como una rotula tridimensional que tienes restricciones de desplazamiento y libertad en los momentos. La ubicación de los apoyos se da en un área de contacto que corresponde a las varillas corrugadas como se muestra en la

Figura 228.

Figura 228

Definición de apoyos



Nota. En la imagen se muestra las 6 apoyos enumeradas como displacement, displacement 2, displacement 3, displacement 4, displacement 5 y displacement 6.

Además de las anteriores restricciones se realiza una restricción de desplazamiento en la dirección Z solo para fuerzas compresivas.

4.3.2.6 Definición de carga crítica de aplicación

Para definir la carga crítica se determina una carga axial equivalente, cortante equivalente y momento flector equivalente producido por cada fuerza interna y después se realiza la sumatoria de todas las cargas equivalentes que corresponde a cada fuerza interna y se obtiene la Tabla 27.

A continuación, se muestra las tablas de las fuerzas internas y el aporte en fuerza axial, cortante y momento externo equivalente:

Tabla 26

Momento que aporta el diagrama de momentos flectores

Tipo de Carga	Momento flector	Momento
Carga de sismo X-X	86.41 Kg m	-86.41 Kg m
Carga de sismo Y-Y	0.96 Kg m	-0.96 Kg m
Carga de viento W1	171.12 Kg m	-171.12 Kg m
Carga de viento W2	35.41 Kg m	-35.41 Kg m
Carga de nieve	145.59 Kg m	-145.59 Kg m

Nota. En la figura se muestra que el momento producido en el sismo en la dirección Y-Y es un valor muy pequeño que se puede despreciar y el mayor momento corresponde al viento en la dirección W1.

Tabla 27

Resumen de las fuerzas internas equivalentes

Tipo de Carga	Rx	Ry	M	Lado
Carga de sismo X-X	-3721.20 Kg	7360.13 Kg	867.88 Kg m	I
Carga de sismo Y-Y	-17.29 Kg	48.58 Kg	4.50 Kg m	I
Carga de viento W1	-1837.06 Kg	6254.35 Kg	3620.63 Kg m	D
Carga de viento W2	-1503.07 Kg	3195.32 Kg	1030.02 Kg m	D
Carga de nieve	5249.13 Kg	-5491.42 Kg	641.91 Kg m	I

4.3.3 Factores de Seguridad, Esfuerzos Internos y Deformación Unitaria

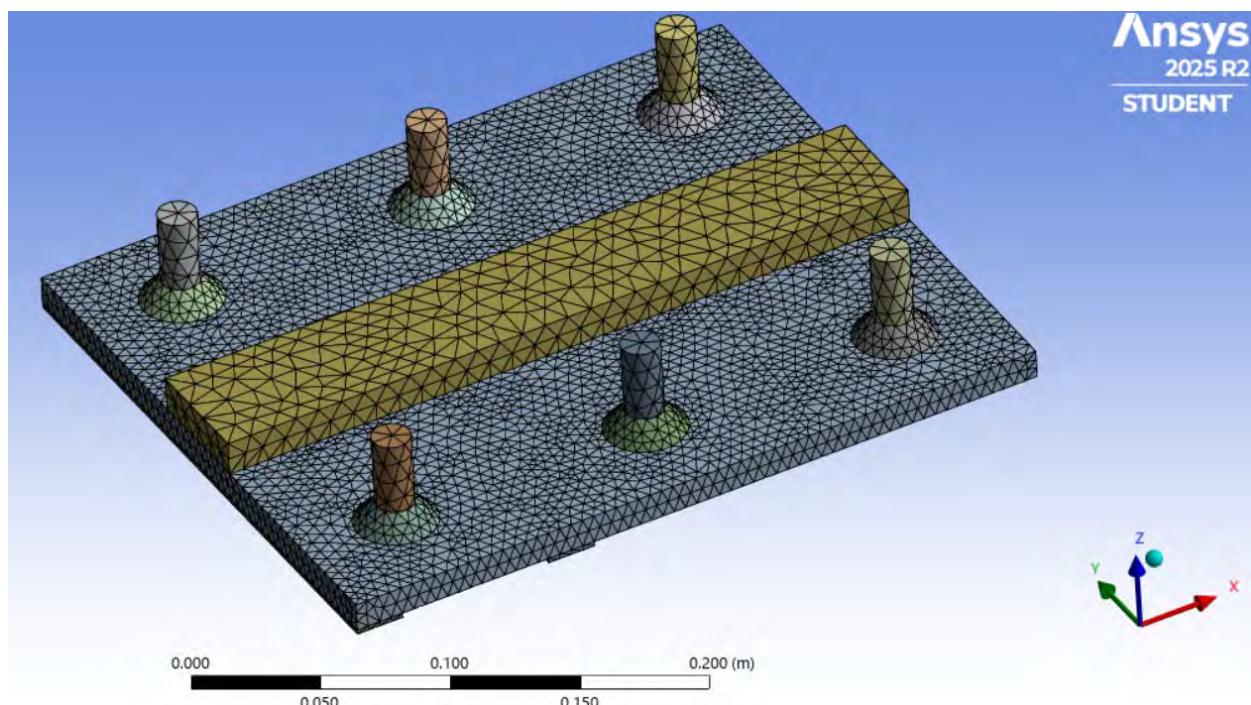
4.3.3.1 Carga de Sismo X-X

En la carga de sismo se tiene R_x (Fuerza cortante) de -3721.20 Kg, 7360.13 Kg

(Fuerza Axial) y un momento de 867.88 Kg m. La deformación de la plancha metálica en la dirección Z se restringe, pero solo para solicitudes de compresión, las solicitudes de tracción no tienen una restricción en la dirección Z.

Figura 229

Modelo analítico de la conexión no convencional

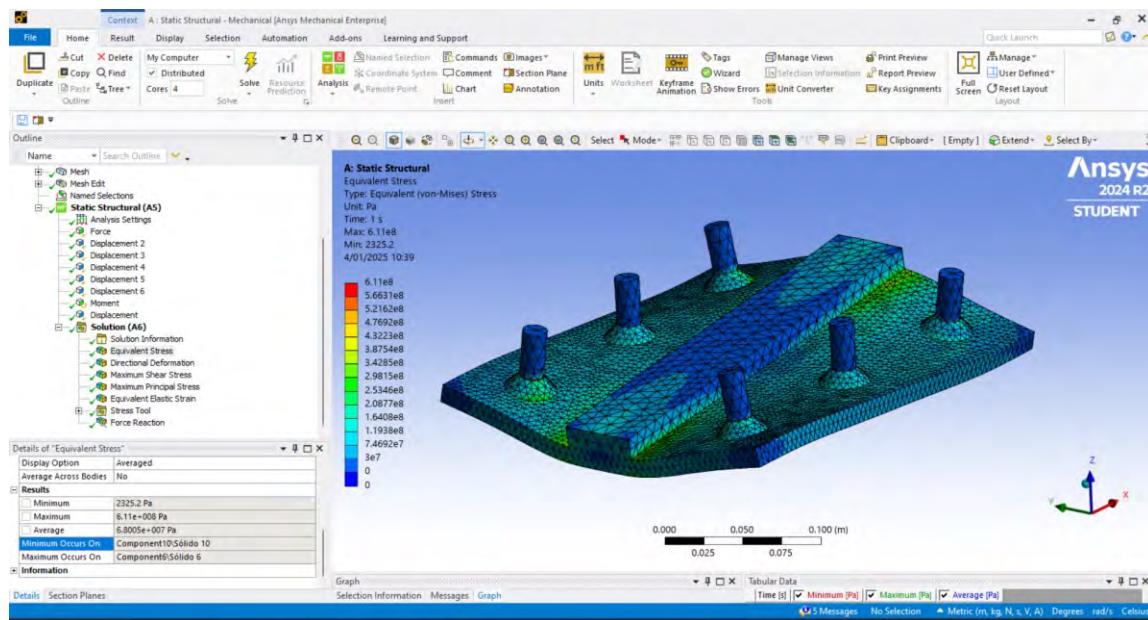


Nota. En la figura se muestra que la plancha metálica tiene restricción de desplazamiento para la deformación en la dirección Z.

Los datos que se extraen son los esfuerzos internos (Von Misses), esfuerzo máximo de corte, deformación unitaria y factores de seguridad considerando el esfuerzo de fluencia de cada material.

Figura 230

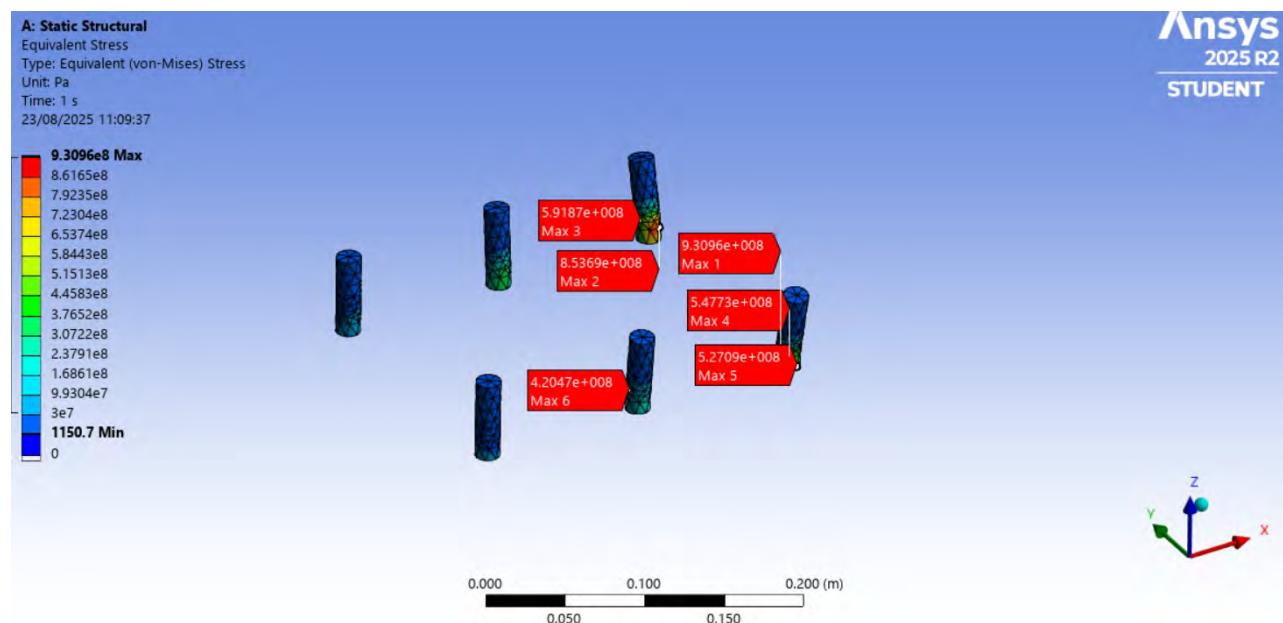
Esfuerzos internos de sismo X-X (Von Mises) en la conexión no convencional



Nota. En la figura se muestra en una escala de colores los esfuerzos que se producen por la aplicación de la fuerza interna equivalente al Sismo X-X y se tiene una concentración de esfuerzos en la zona de contacto libre entre la plancha metálica y la barra corrugada de la zona con deformación de extracción.

Figura 231

Detalle de esfuerzo internos (Von Mises) en la barra corrugada por Sismo X-X



Nota. En la figura se muestra en una escala de colores los esfuerzos que se producen y existe una concentración de esfuerzo en la zona de contacto libre entre la plancha metálica y la barra corrugada en el lado de deformación de extracción.

En la zona donde se localiza el máximo esfuerzo solo existe una zona focalizada por lo que la conexión no presenta una falla global, solo una falla local como se observa en la Figura 232.

Figura 232

Esfuerzos internos de Von Misses producido por Sismo X-X en la barra corrugada

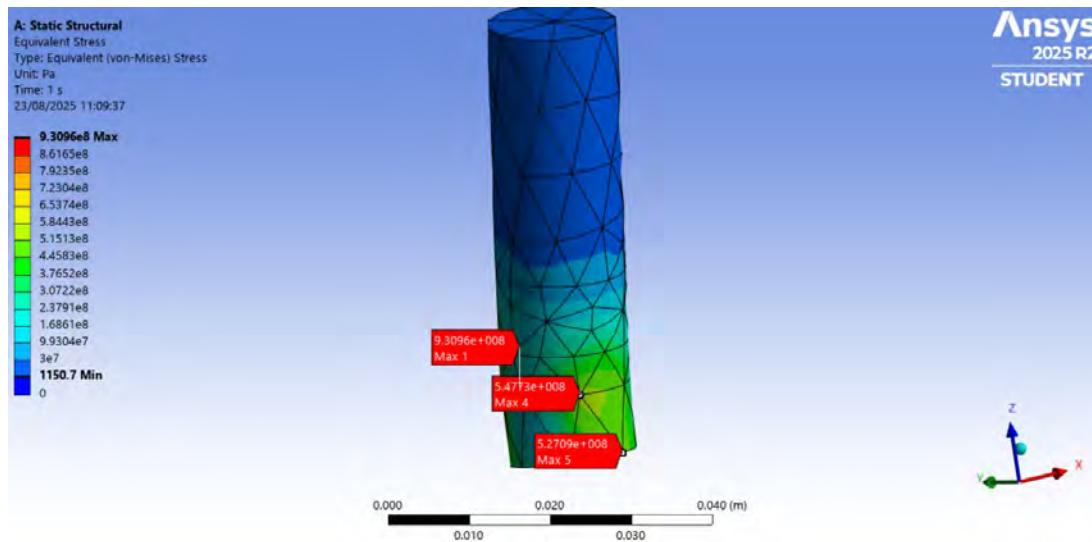


Figura 233

Esfuerzo interno de corte Máximo producido por Sismo X-X en la barra corrugada

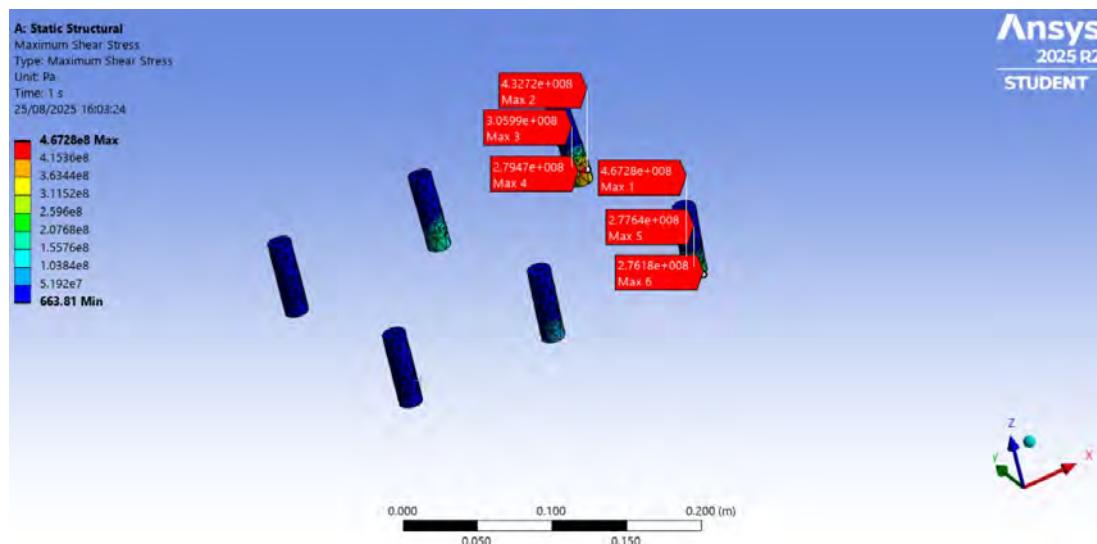
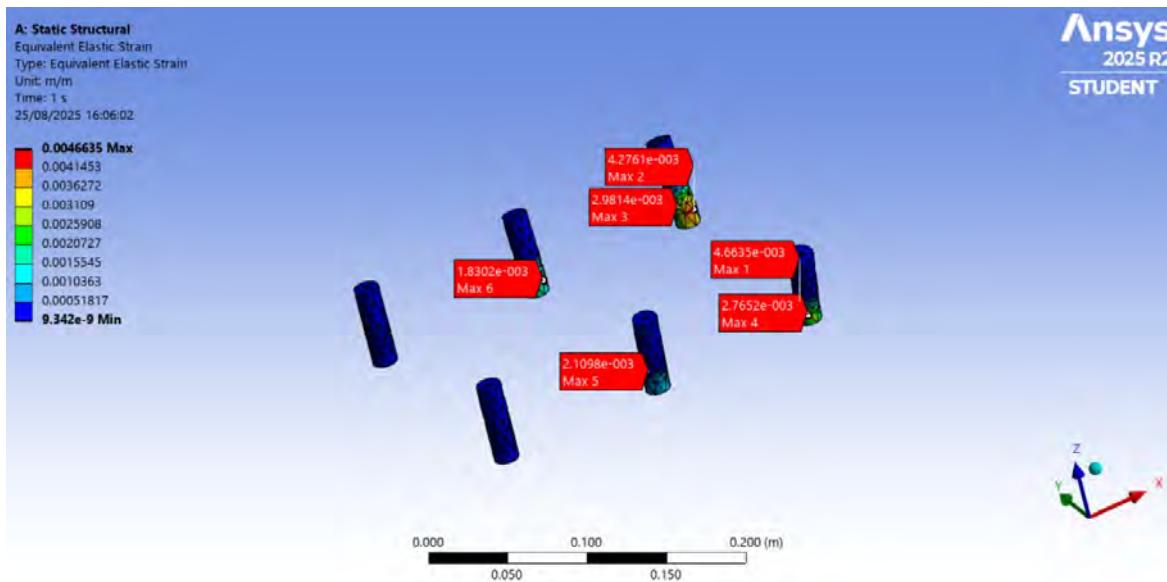


Figura 234

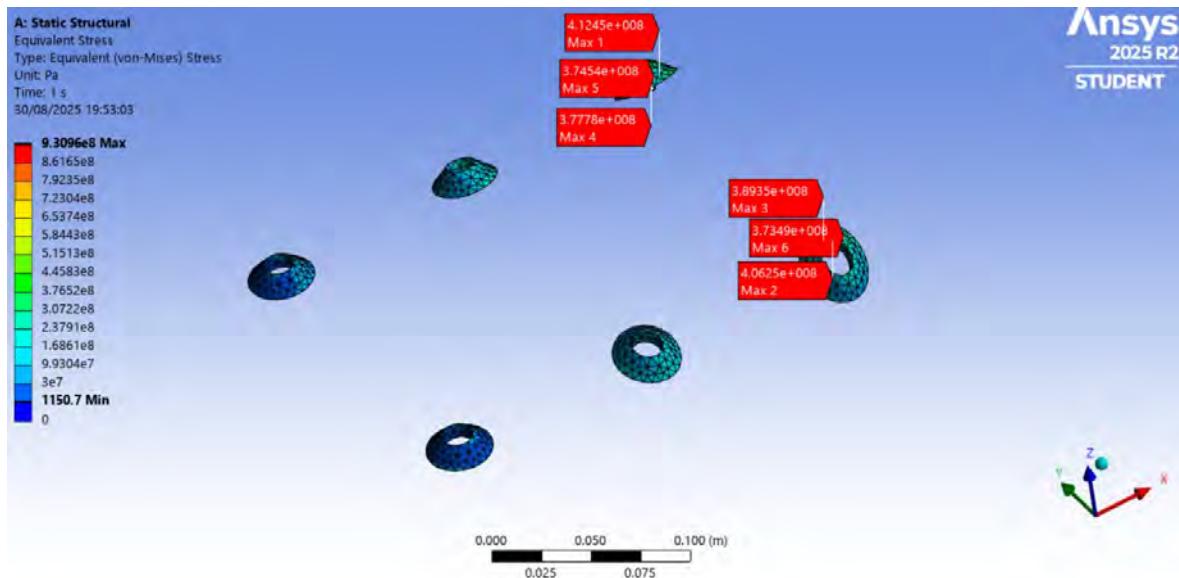
Deformación Unitaria producido por Sismo X-X en la barra corrugada



Para mostrar el esfuerzo interno y la deformación unitaria en el cordón de soldadura se oculta todas las demás piezas en el modelo analítico de la conexión.

Figura 235

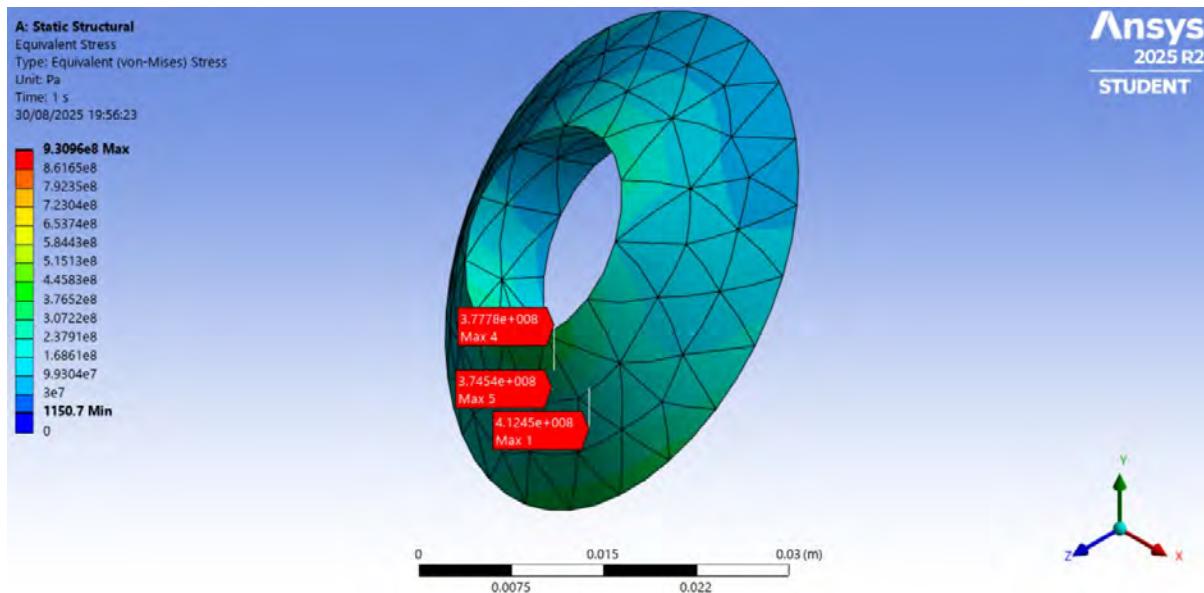
Esfuerzo internos (Von Mises) en los cordones de soldadura por Sismo X-X



Nota. En la figura se muestra en una escala de colores los esfuerzos que se producen en el cordón de soldadura, el esfuerzo producido en el cordón de soldadura es menor al ocasionado en la zona libre de contacto entre la barra corrugada y la plancha metálica ASTM A36.

Figura 236

Esfuerzo internos (Von Mises) focalizado en el cordón de soldadura por Sismo X-X



Nota. En la figura se muestra en una escala de colores los esfuerzos que se producen en el cordón de soldadura, se presenta el esfuerzo máximo en dos zonas claramente diferenciadas que es la zona de contacto entre el cordón de soldadura con las otras piezas.

Figura 237

Esfuerzo máximo de corte focalizado en el cordón de soldadura por Sismo X-X

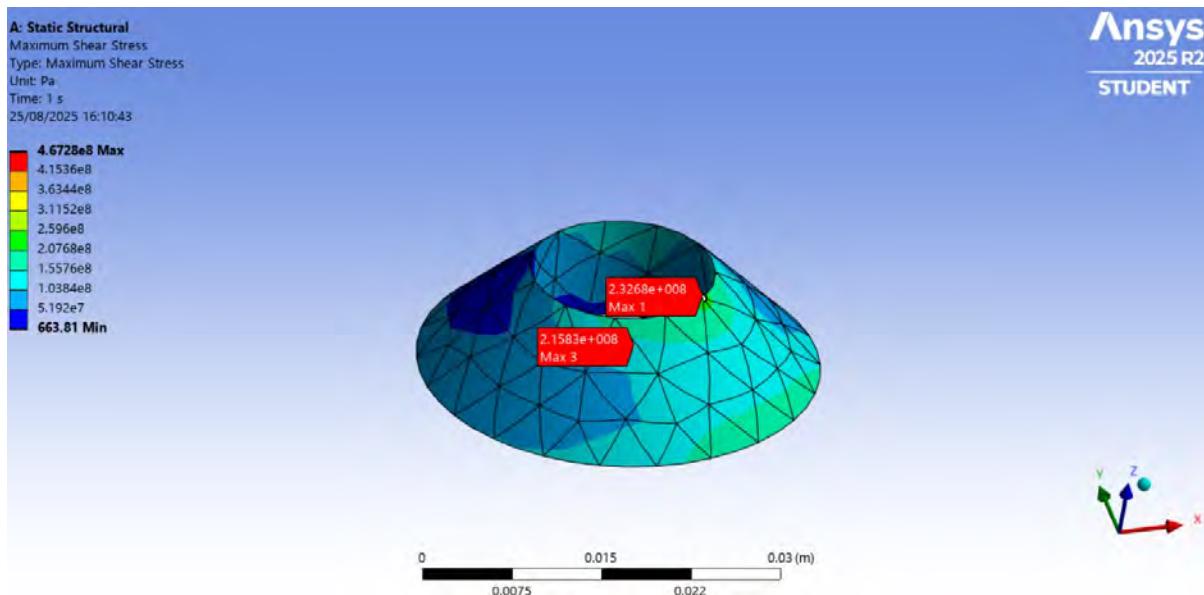
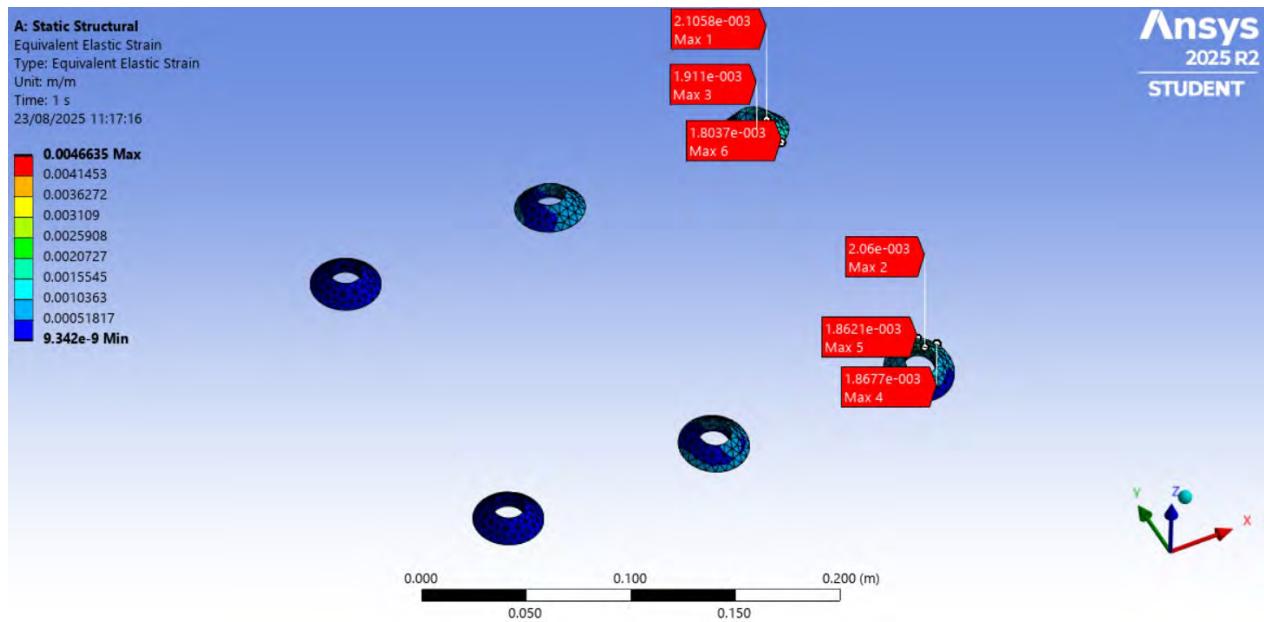


Figura 238

Deformación Unitaria producido por Sismo X-X en el cordón de soldadura

**Figura 239**

Esfuerzo internos (Von Mises) en la plancha metálica producida por Sismo X-X

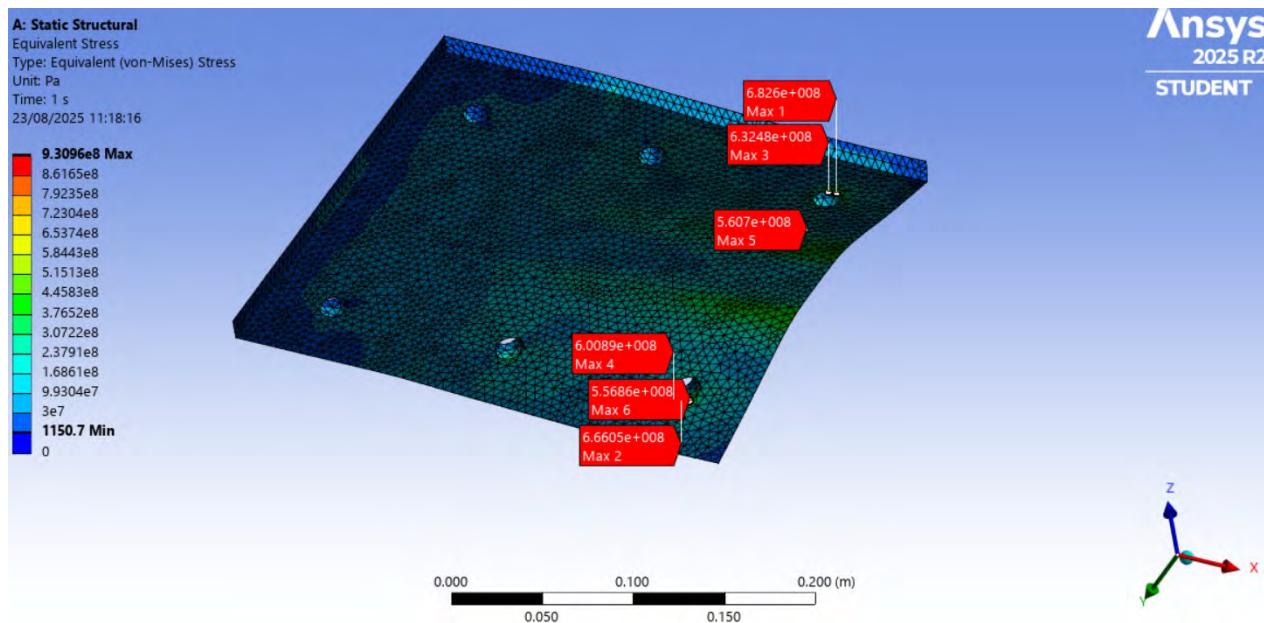


Figura 240

Esfuerzo internos (Von Mises) focalizado en la plancha metálica por Sismo X-X

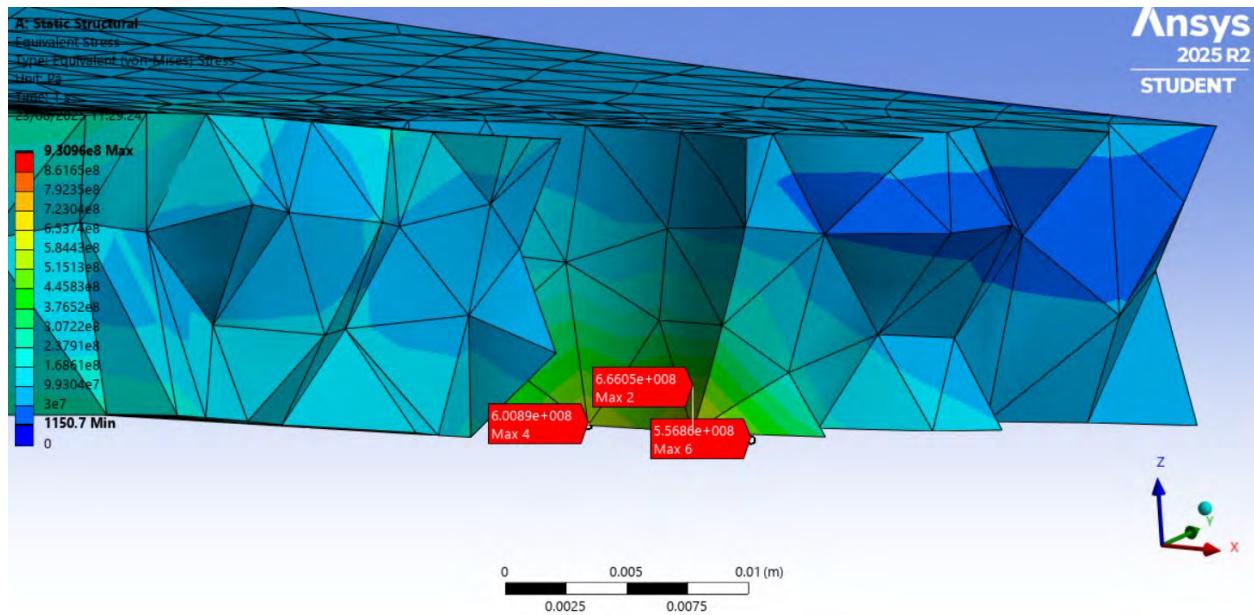
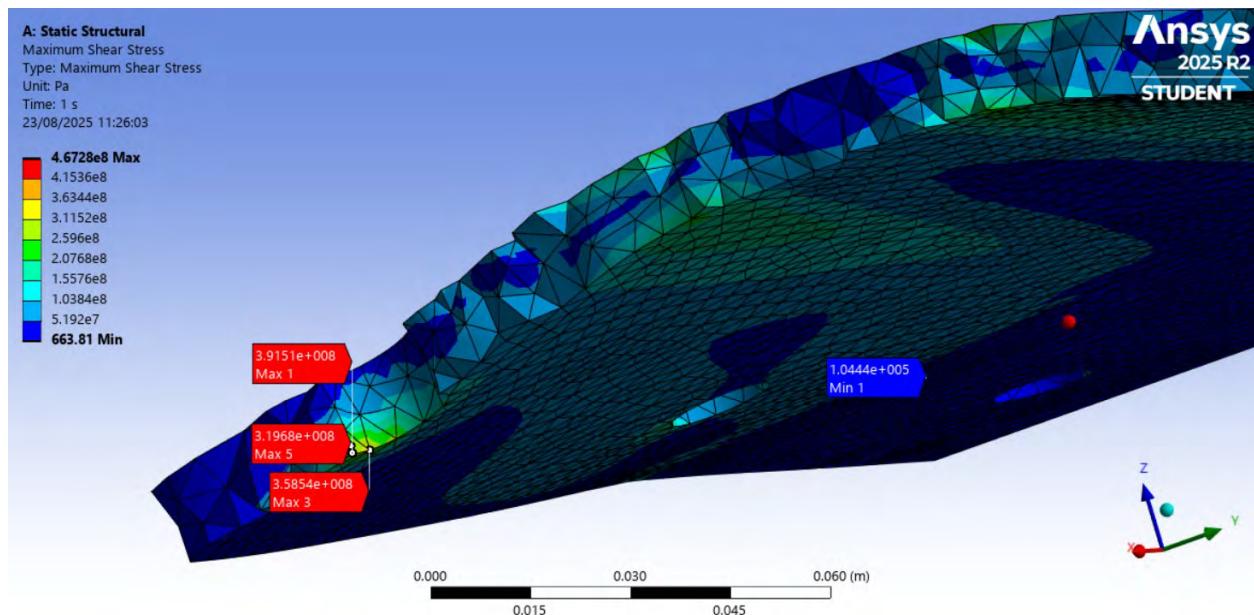


Figura 241

Esfuerzo máximo de corte focalizado en la plancha metálica por Sismo X-X



4.3.3.2 Carga de Viento W1

Para realizar la aplicación de la carga externa equivalente producido por el sismo W1 se realiza la conversión de unidades para facilitar el ingreso de datos de fuerza y momento en el software Ansys en el módulo de análisis estático estructural. Realizando el análisis correspondiente se debe aplicar -1837.06Kg en la dirección x-x, 6254.35 Kg en la dirección z-z y un momento de 3620.63 Kg m como se muestra en la Figura 242.

Figura 242

Fuerzas internas en el apoyo no convencional producido por la carga W1

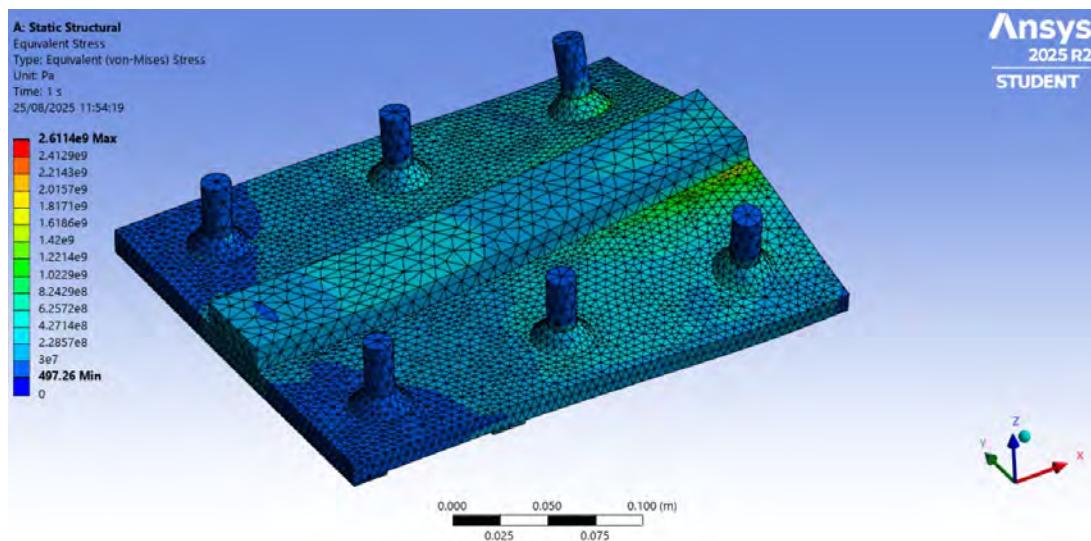


Figura 243

Esfuerzo equivalente de Von Mises en la plancha metálica para carga de viento W1

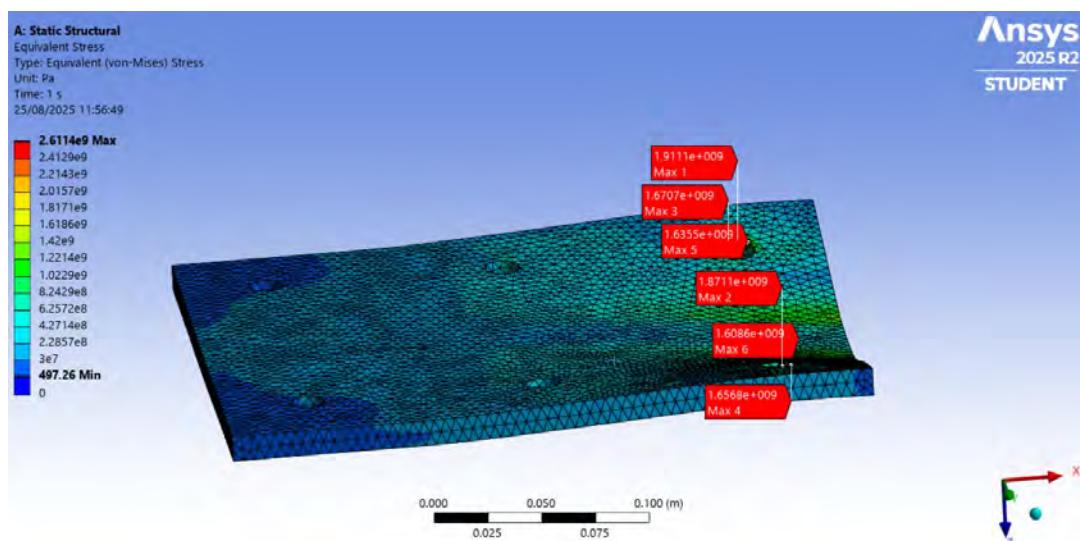
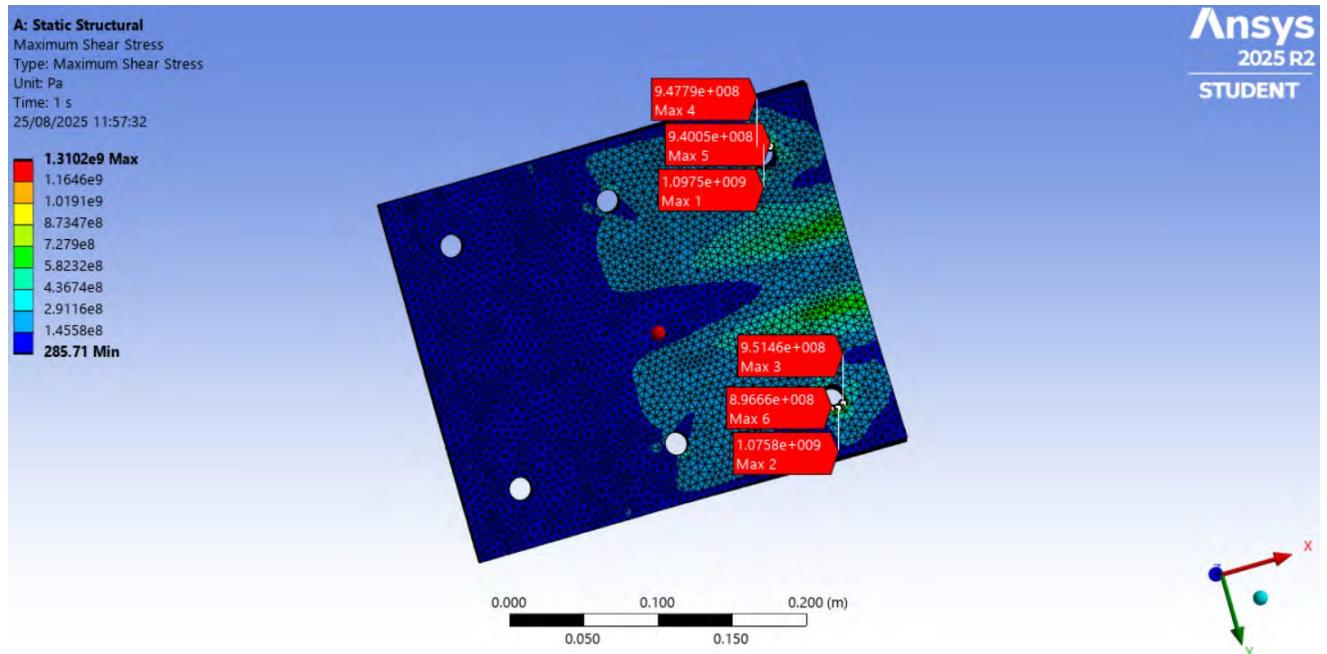


Figura 244

Esfuerzo de corte en la plancha metálica por carga de viento W1

**Figura 245**

Deformación unitaria de la plancha metálica ASTM A36 producido por carga de viento W1

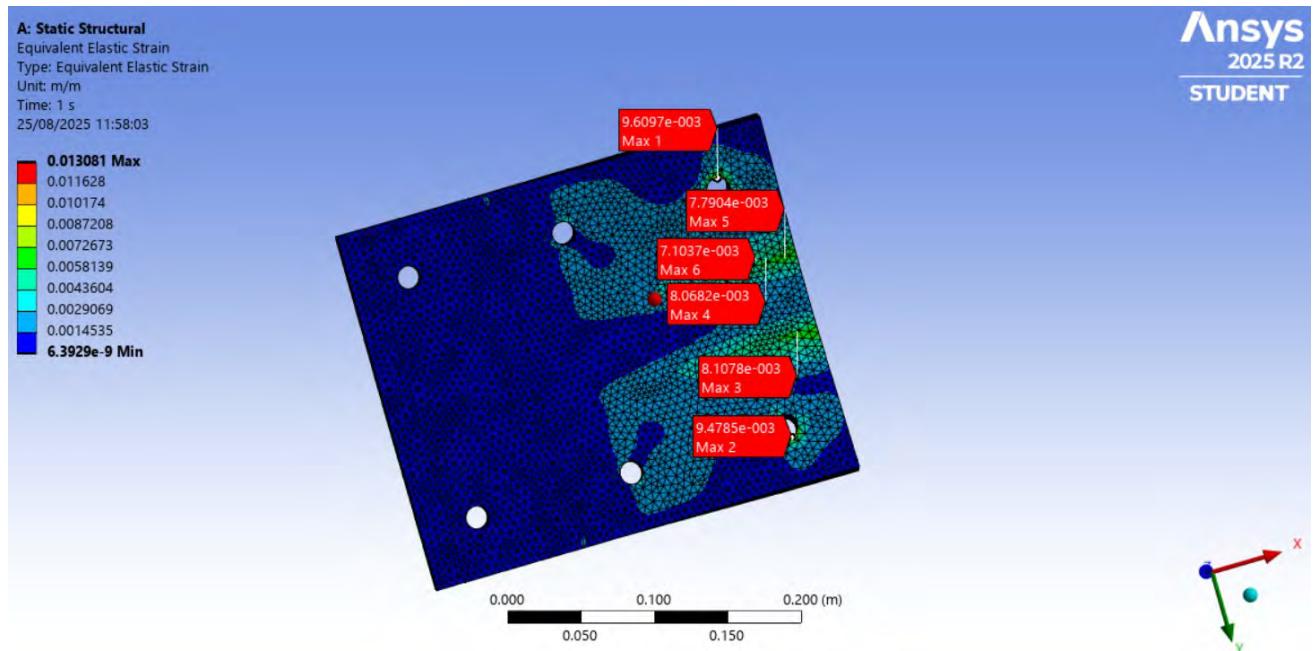
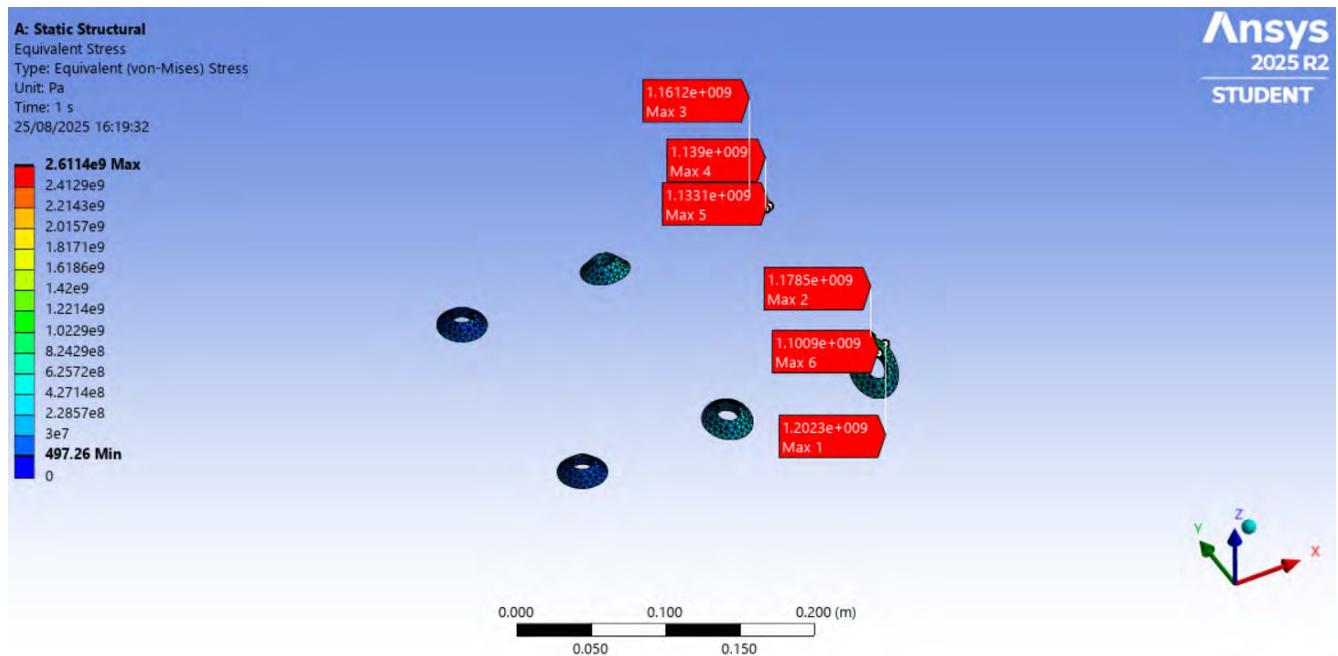


Figura 246

Esfuerzo equivalente de Von Mises en el cordón de soldadura para carga W1

**Figura 247**

Esfuerzo de corte en el cordón de soldadura producido por carga de viento W1

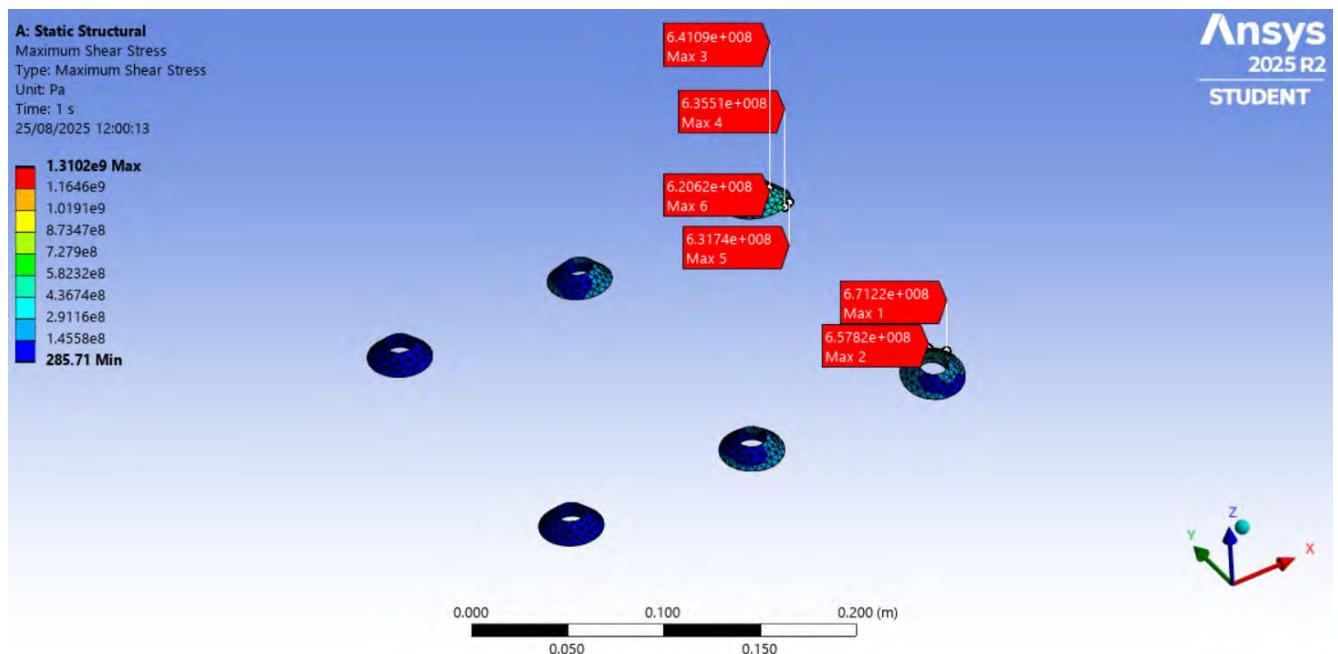
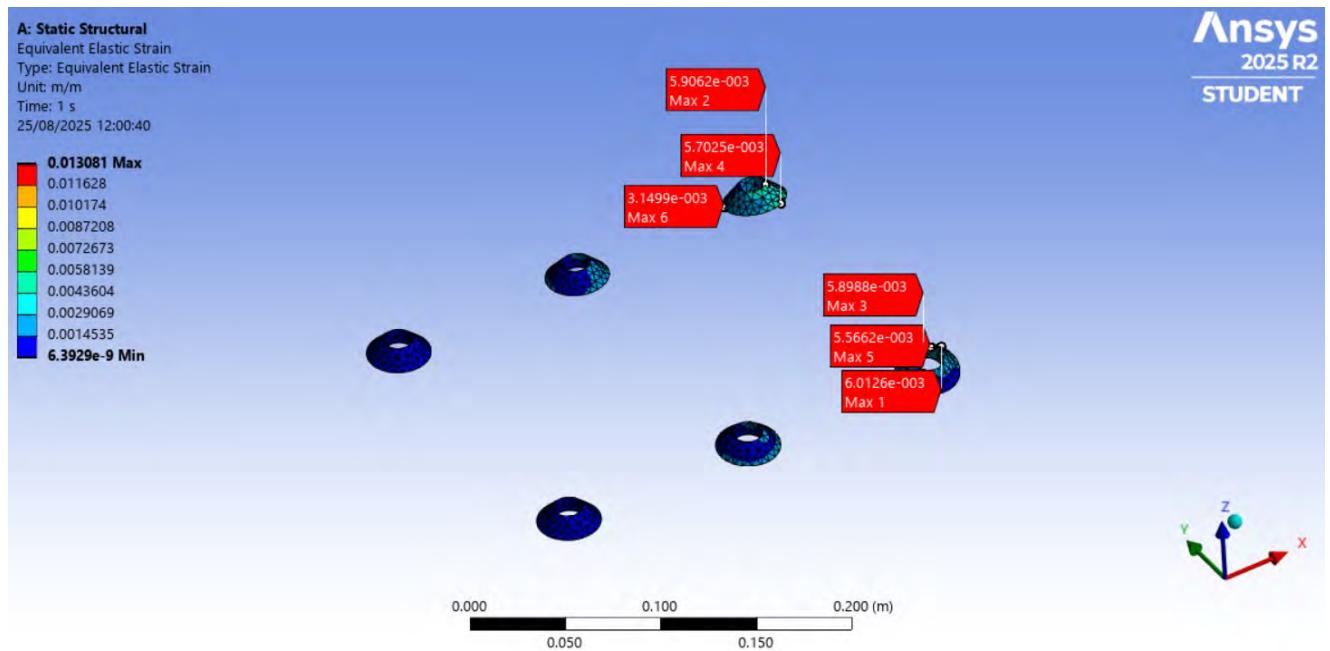


Figura 248

Deformación unitaria en el cordón de soldadura por carga de viento W1

**Figura 249**

Esfuerzo equivalente de Von Mises en la barra corrugado por carga de viento W1

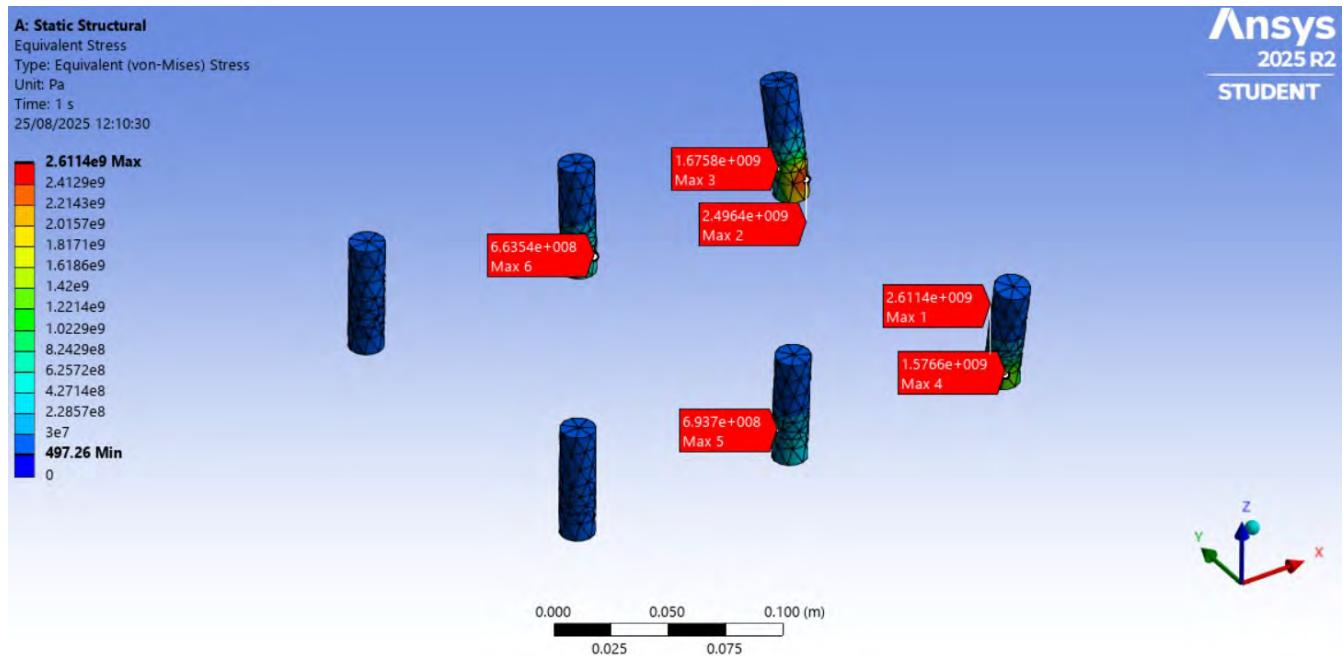
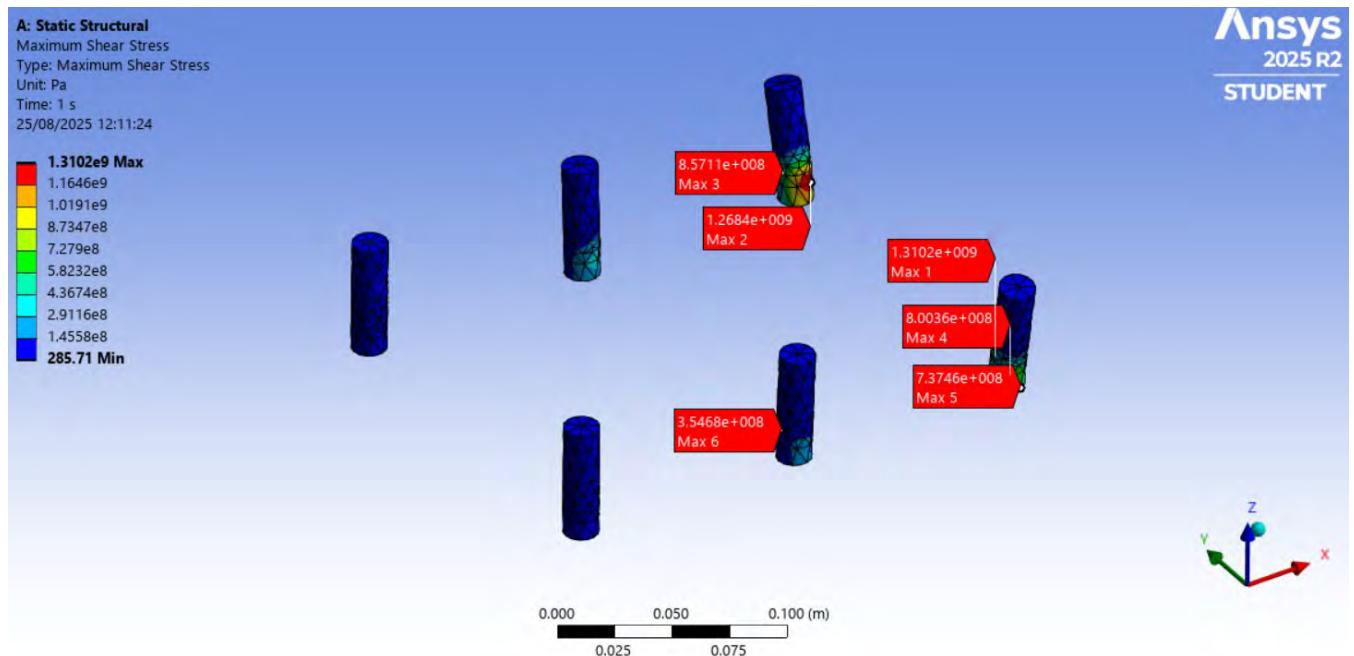
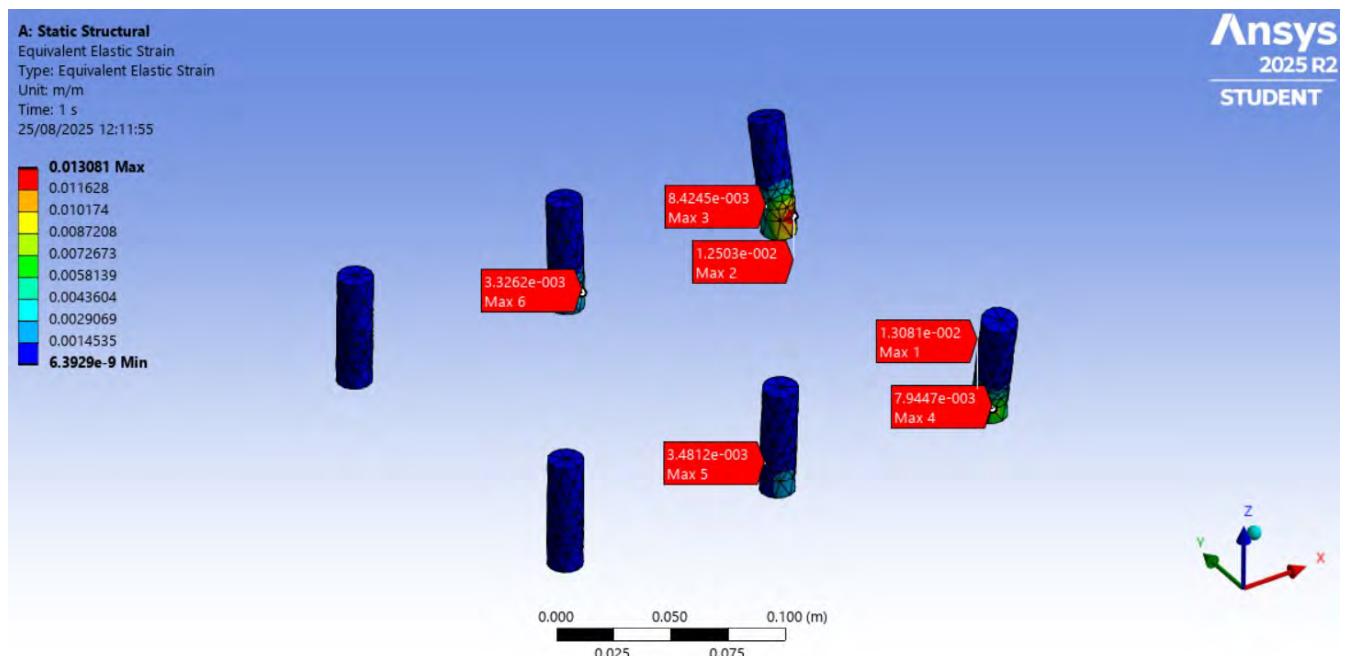


Figura 250*Esfuerzo de corte en la barra corrugada producido por viento W1***Figura 251***Deformación unitaria en la barra corrugada producido por viento W1*

Se logra apreciar que los esfuerzos se concentran en la zona donde no hay contacto entre barra corrugada y plancha metálica ASTM A36 por la restricción de movimiento.

4.3.3.3 Carga de Viento W2

Para realizar la aplicación de la carga externa equivalente producido por el sismo W2 se realiza la conversión de unidades para facilitar el ingreso de datos de fuerza y momento en el software Ansys en el módulo de análisis estático estructural. Realizando el análisis correspondiente se debe aplicar -1503.07Kg en la dirección x-x, 3195.32 Kg en la dirección z-z y un momento de 1030.02 Kg m como se muestra en la Figura 252.

Figura 252

Fuerzas externas equivalentes producido por viento W2 en el grupo de conexiones

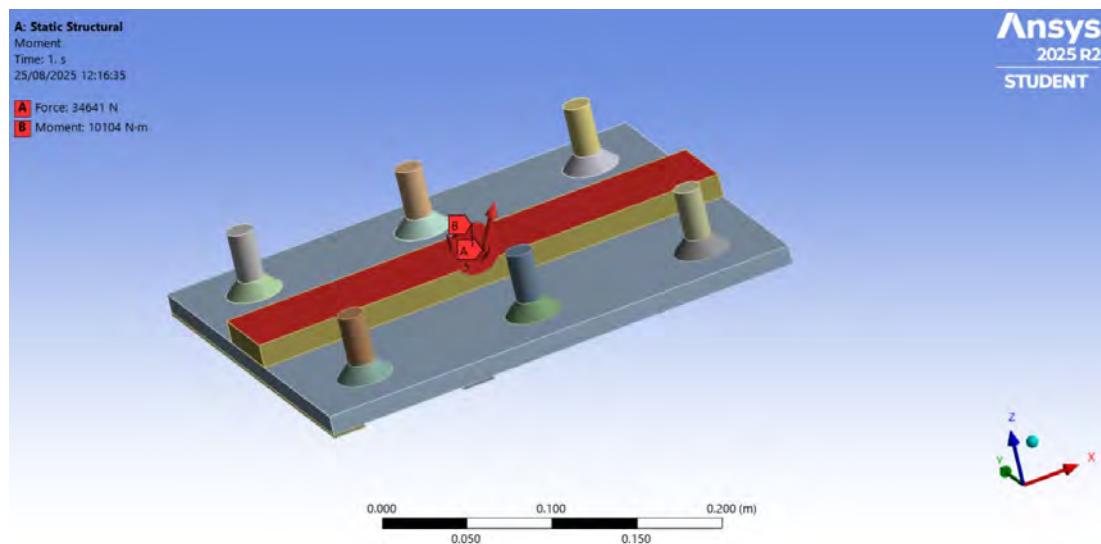
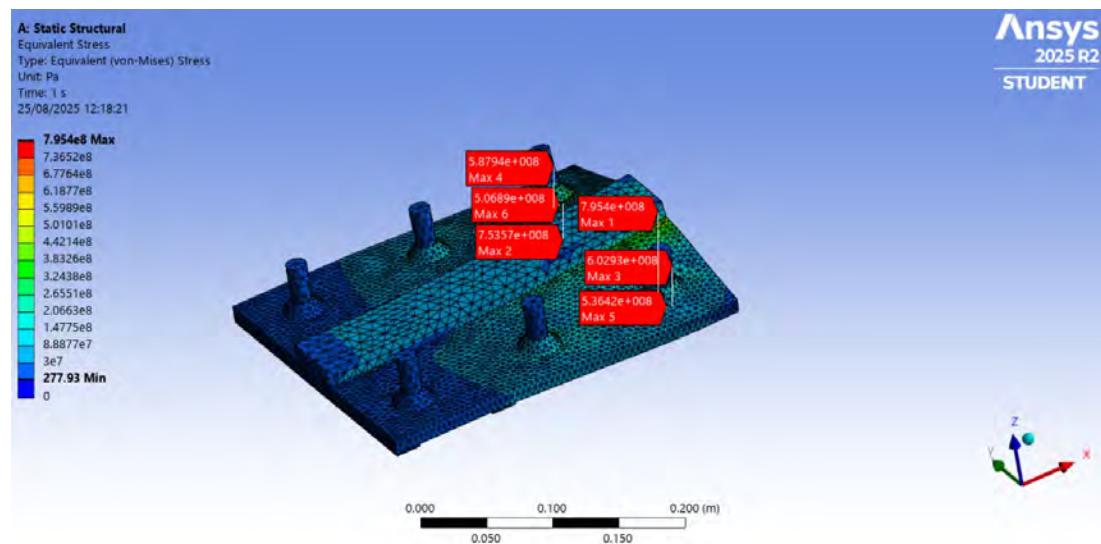


Figura 253

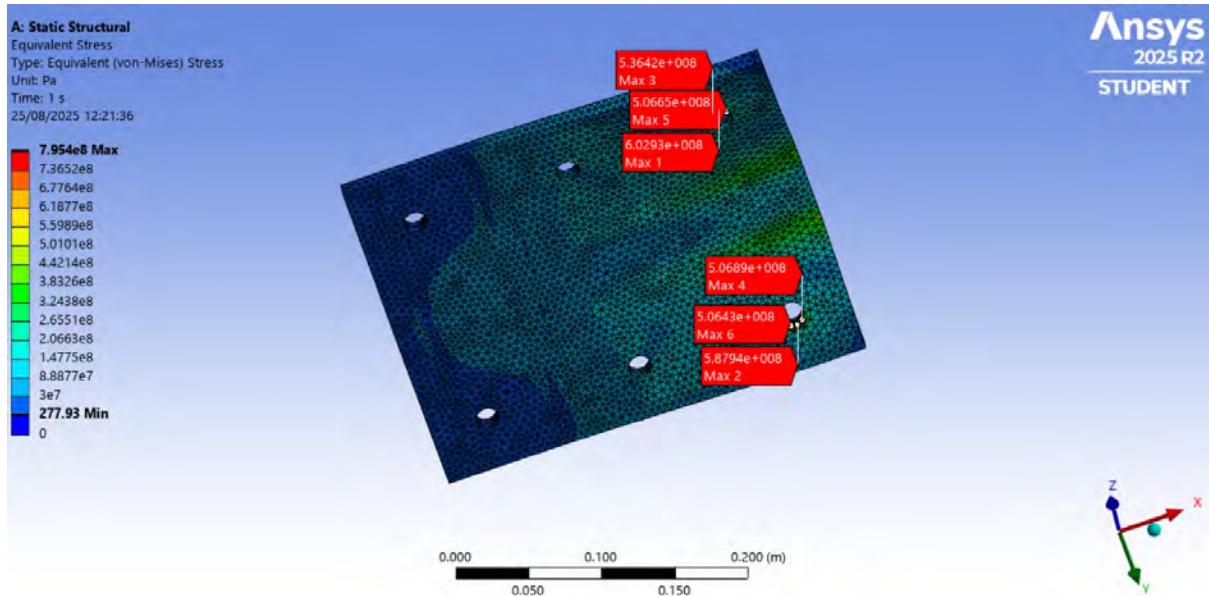
Esfuerzo equivalente de Von Mises en el grupo de conexiones producido por el viento W2



Se presenta una concentración de esfuerzo en la conexión de elementos disimiles y en la abertura sin conexión que se ocasiona por el modelamiento son holgura de la perforación.

Figura 254

Esfuerzo equivalente de Von Mises en la plancha metálica por la carga W2



En la plancha metálica se presenta una concentración de esfuerzos en las perforaciones y en la zona de contacto entre el elemento rígido que similar la cercha metálica.

Figura 255

Esfuerzo de corte en la plancha metálica producido por la carga W2

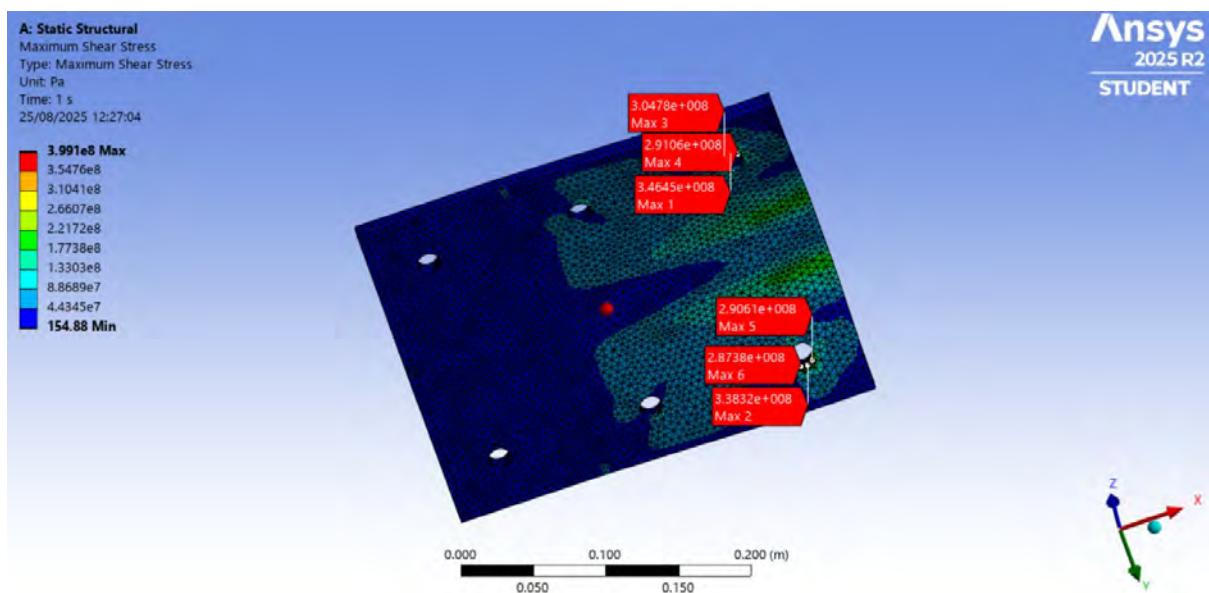
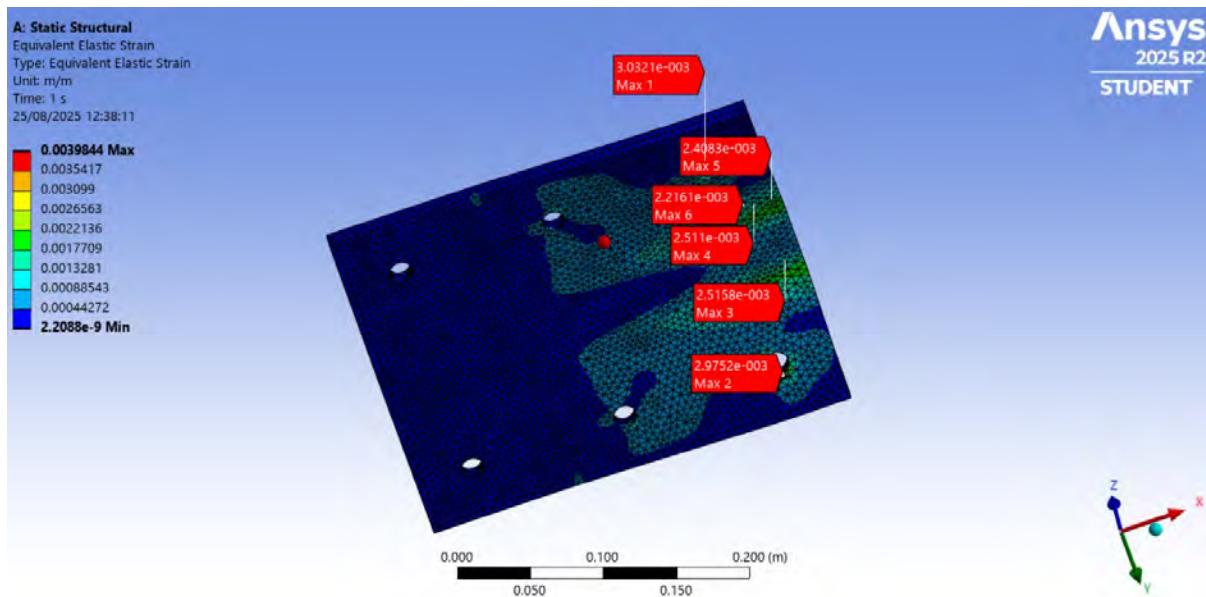


Figura 256

Deformación unitaria en la plancha metálica producido por la carga W2



En el cordón de soldadura se presenta una concentración de esfuerzos según el criterio de falla de Von mises en la zona de contacto con la barra corrugada y esta se intensifica en la zona más alejada del centroide geométrico de la conexión.

Figura 258

Esfuerzo de corte en el cordón de e soldadura producida por el viento W2

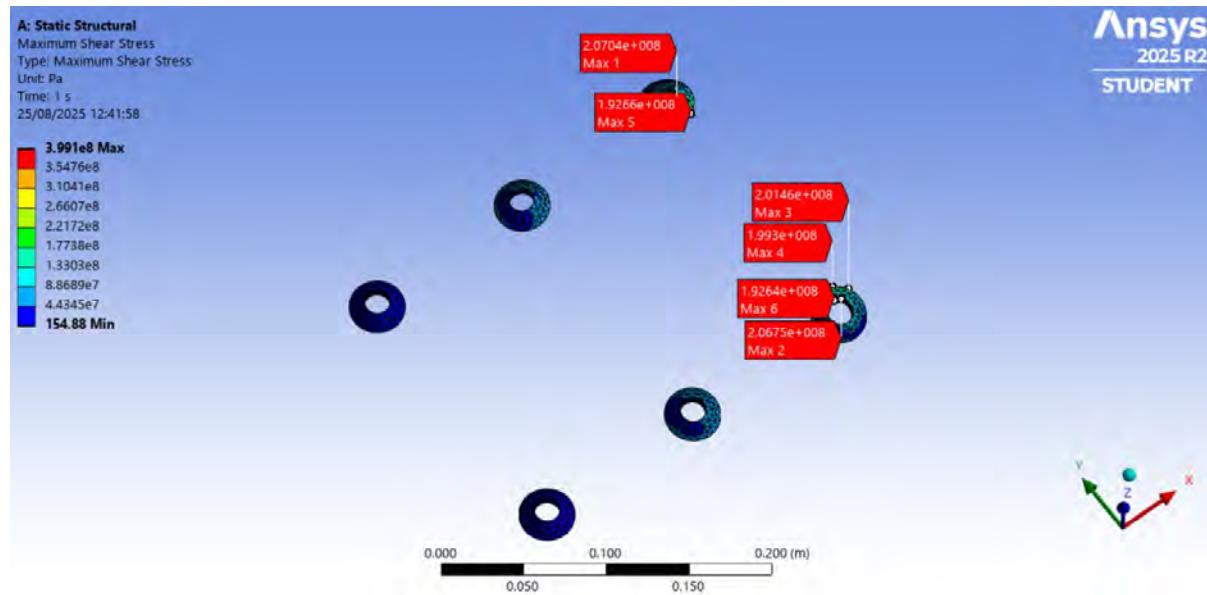


Figura 259

Deformación unitaria producida por la carga de viento W2 en el cordón de soldadura

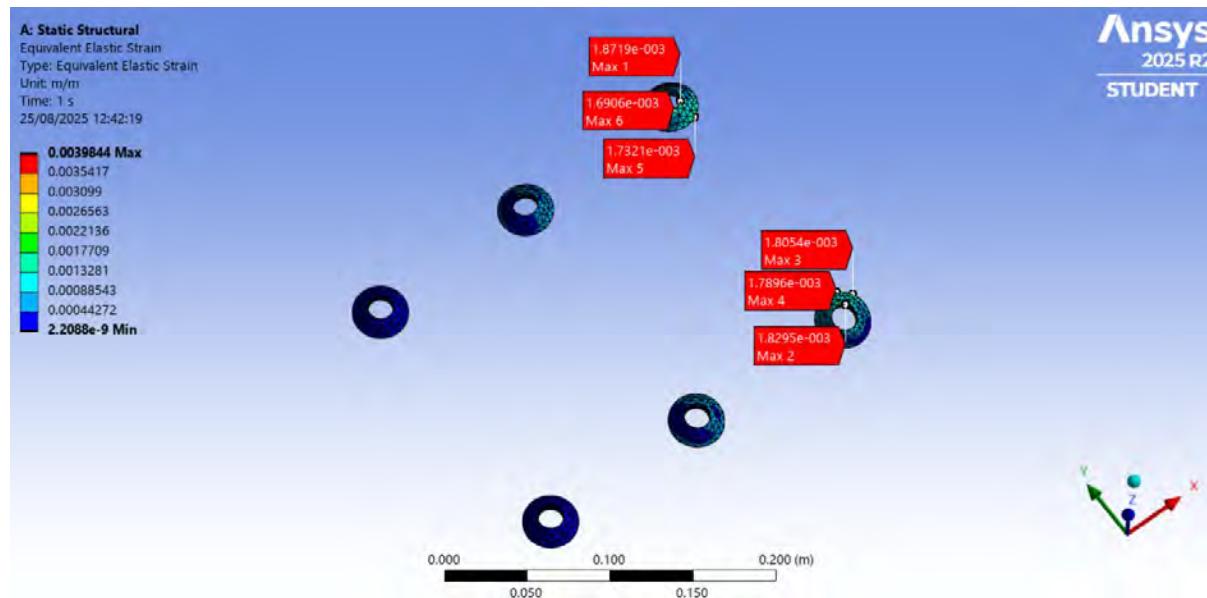
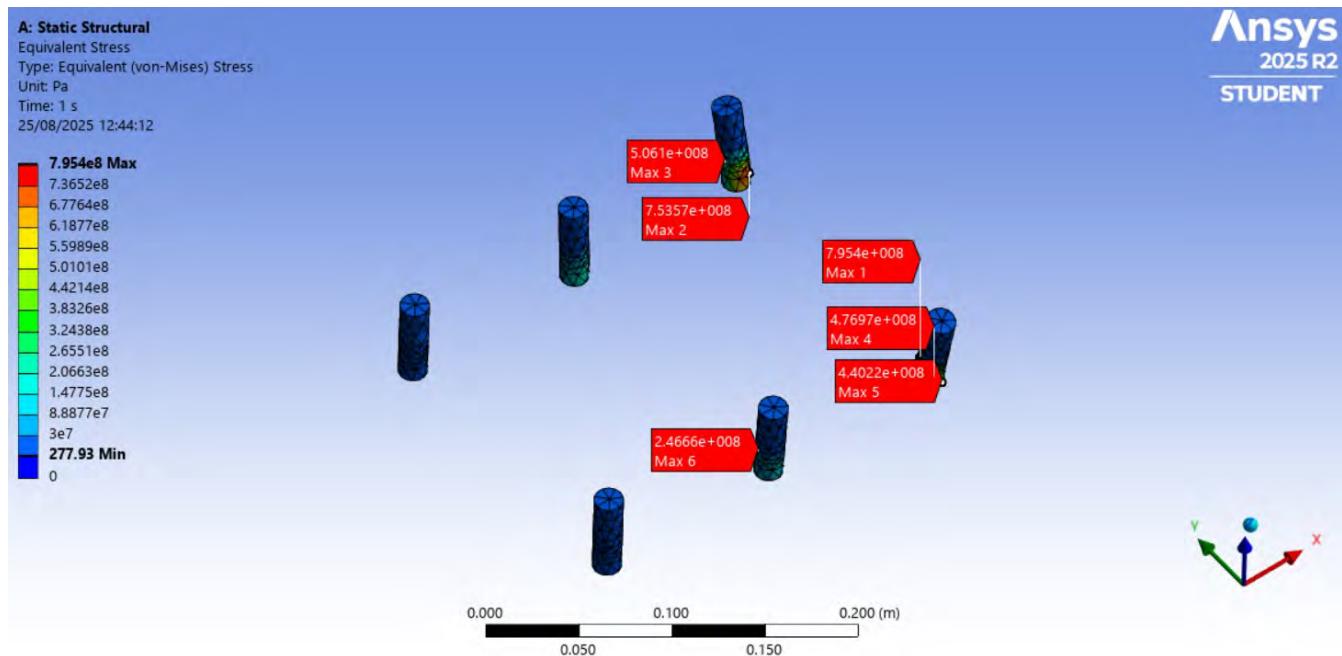


Figura 260

Esfuerzo equivalente de Von Mises en la barra corrugada por carga W2

**Figura 261**

Esfuerzo máximo de corte en la barra corrugada producido por la carga W2

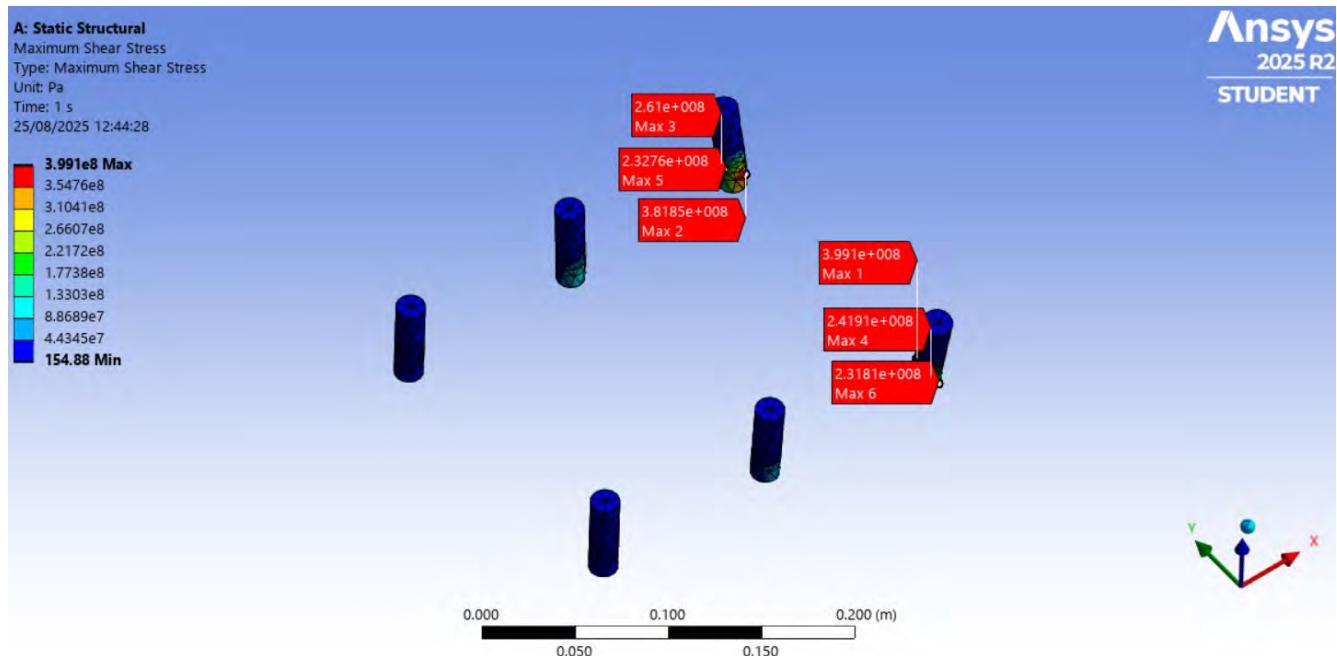
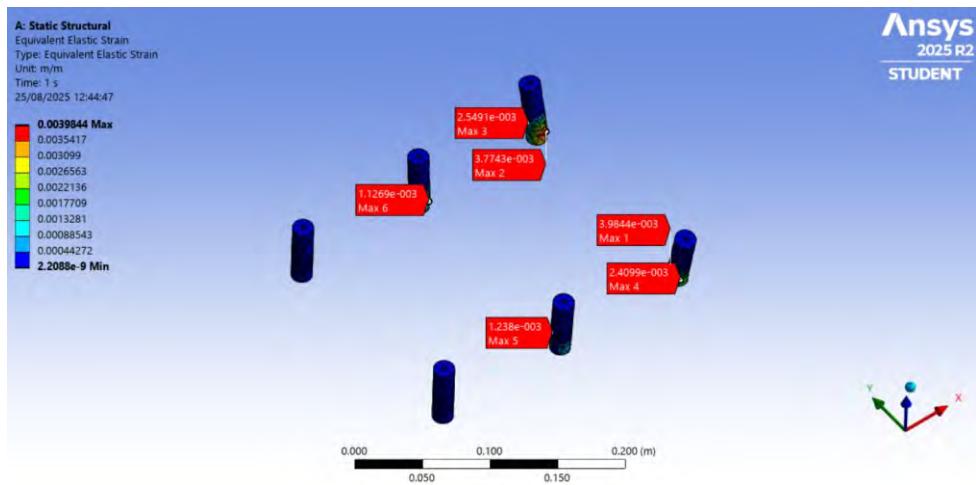


Figura 262

Deformación unitaria en la barra corrugada producido por la carga W2



En la barra corrugada se tiene una concentración de esfuerzo concentrándose en la zona donde no existe ningún tipo de conexión entre la plancha metálica y la barra corrugada.

4.3.3.4 Carga de Nieve

De manera similar que en la aplicación de las anteriores cargas se aplica una carga de 5249.13Kg en la dirección x-x, -5491.42 Kg en la dirección z-z y un momento de 641.91 Kg m. El cambio de signos en la fuerza en la dirección x-x y el momento flector es debido a que en solo uno de los lados se tiene la restricción de movimiento para fuerzas de compresión.

Figura 263

Esfuerzo equivalente de Von Mises en la barra corrugada por la carga de nieve

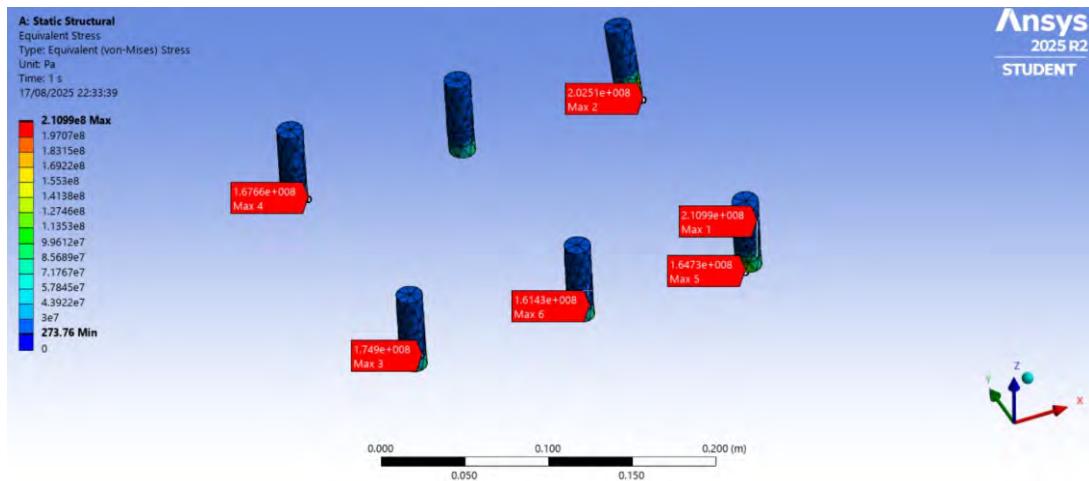
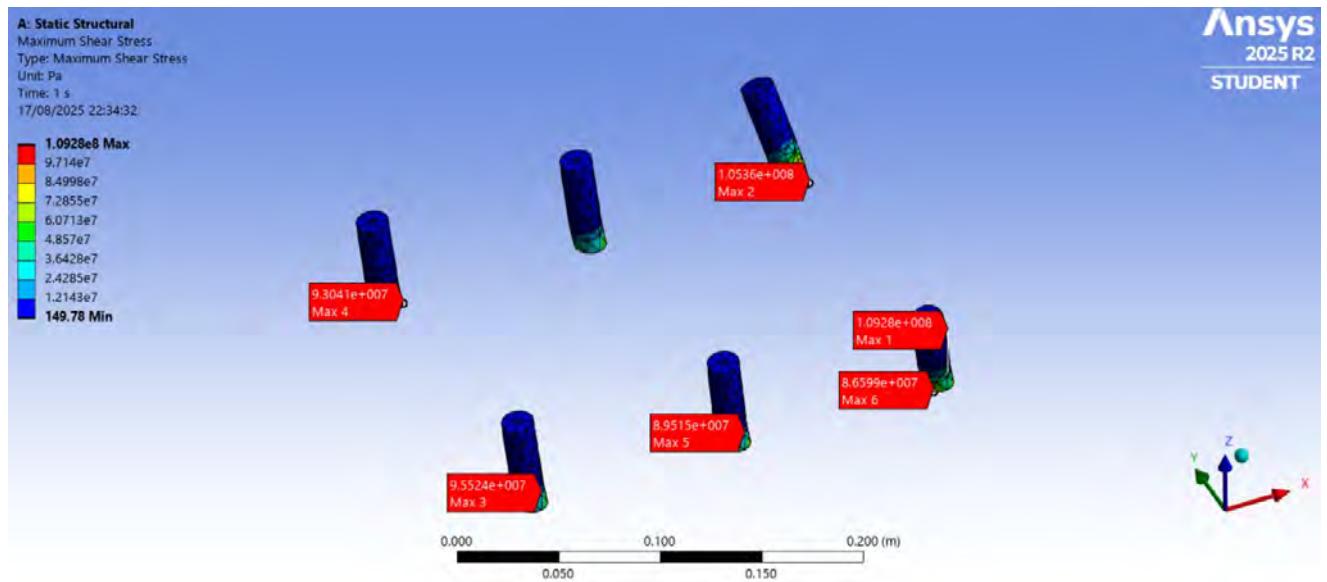


Figura 264

Esfuerzo de corte máximo en la barra corrugada producido por carga de nieve

**Figura 265**

Deformación unitaria en la barra corrugada producido por la carga de nieve

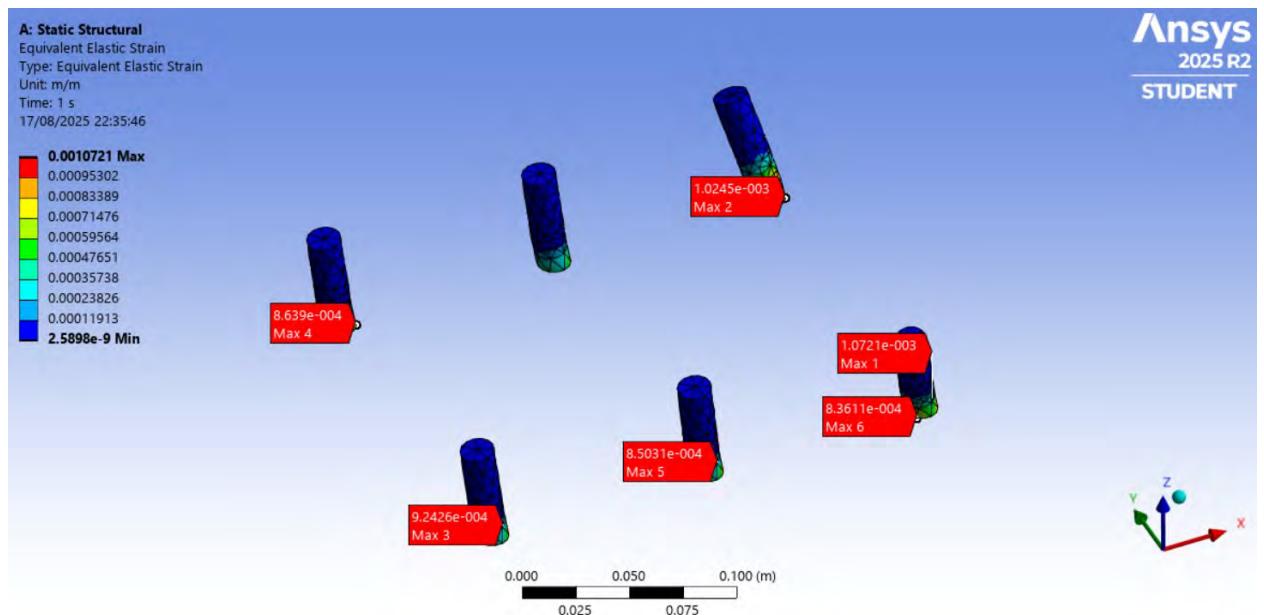
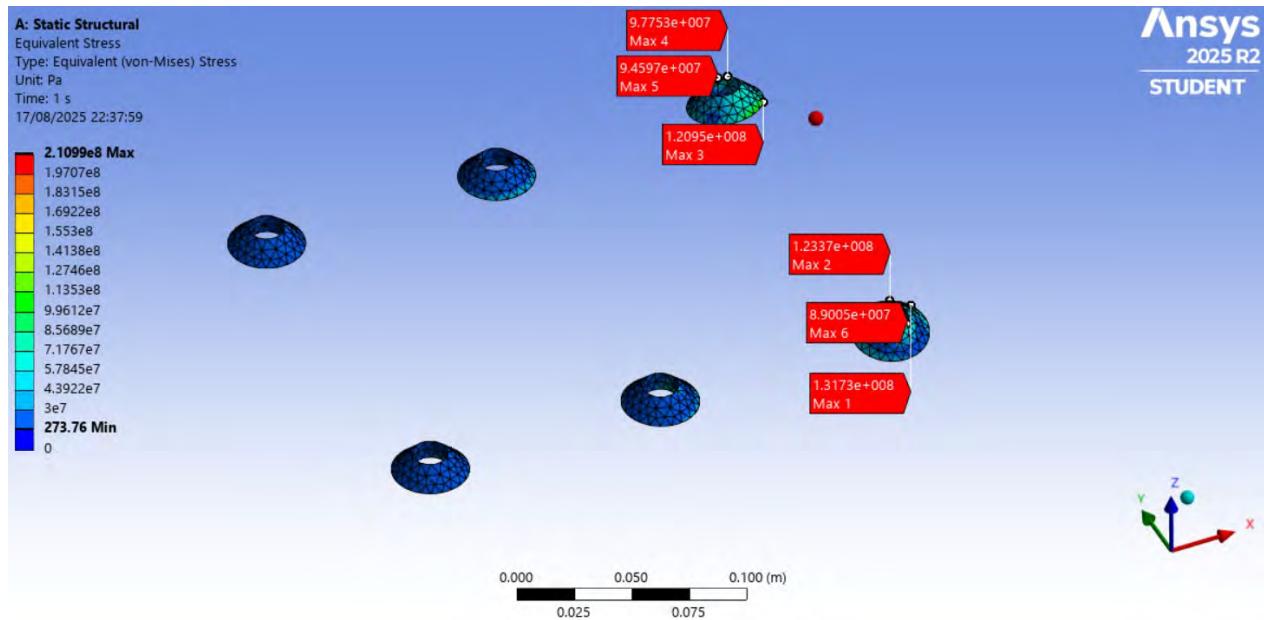


Figura 266

Esfuerzo equivalente de Von Mises en el cordón de soldadura producido por la carga de nieve

**Figura 267**

Esfuerzo máximo de corte en el cordón de soldadura producido por la carga de nieve

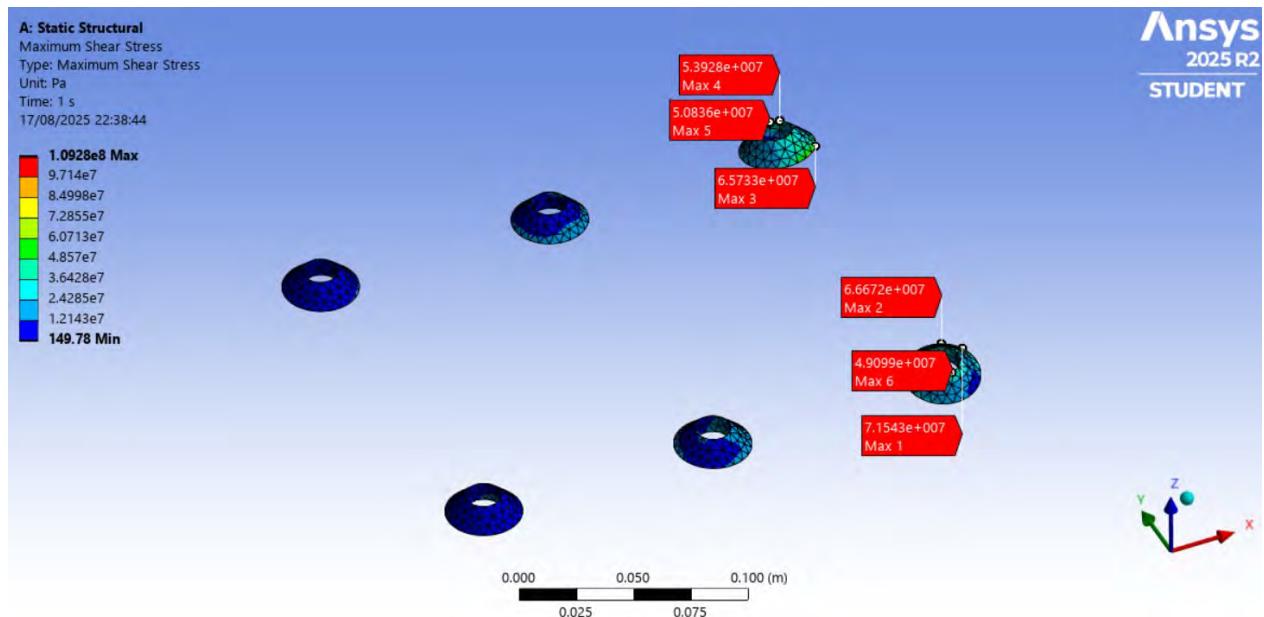
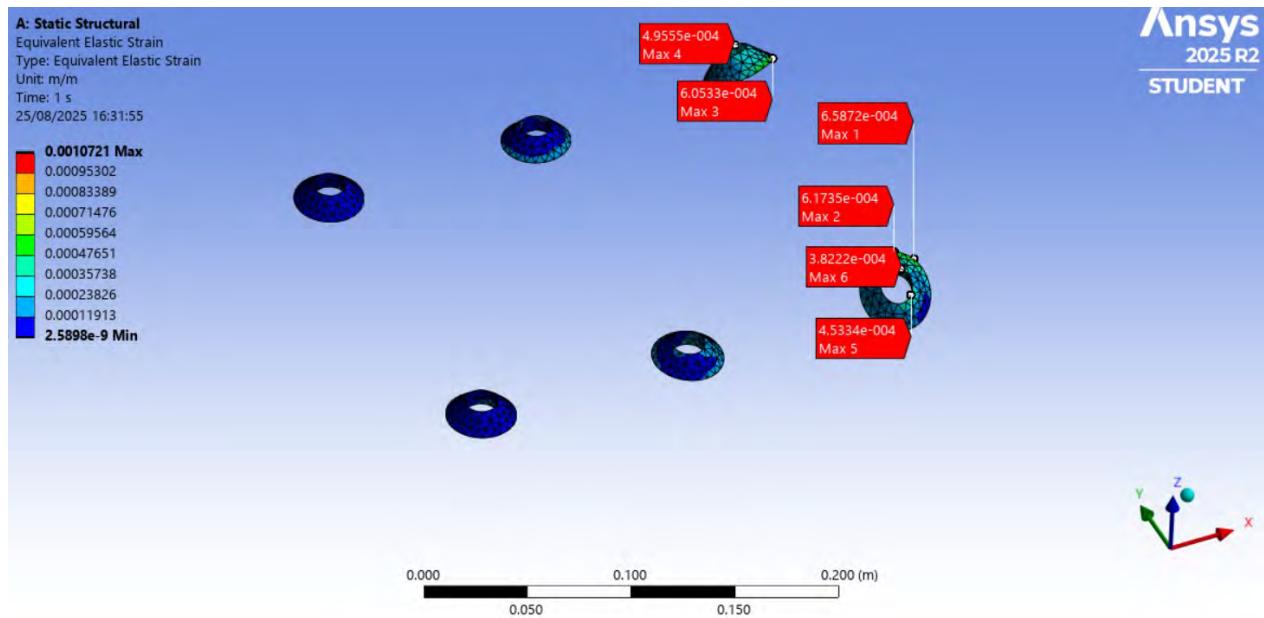


Figura 268

Deformación unitaria del cordón de soldadura producido por la carga de nieve

**Figura 269**

Esfuerzo equivalente de Von Mises en la plancha metálica por la carga de nieve

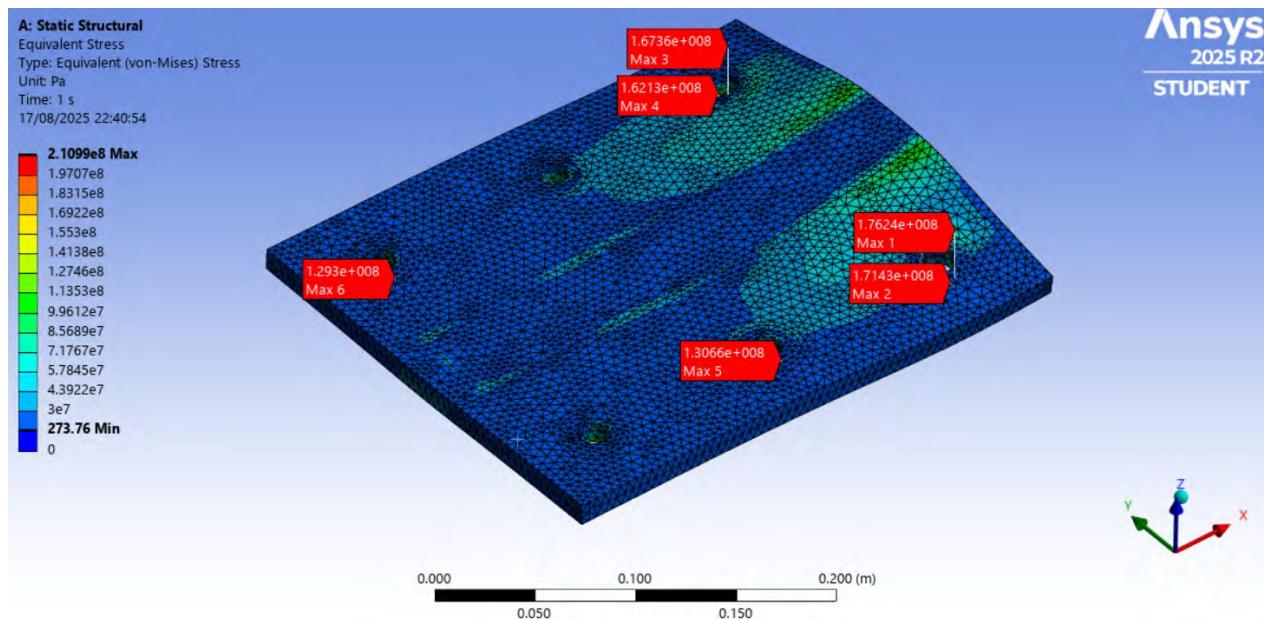
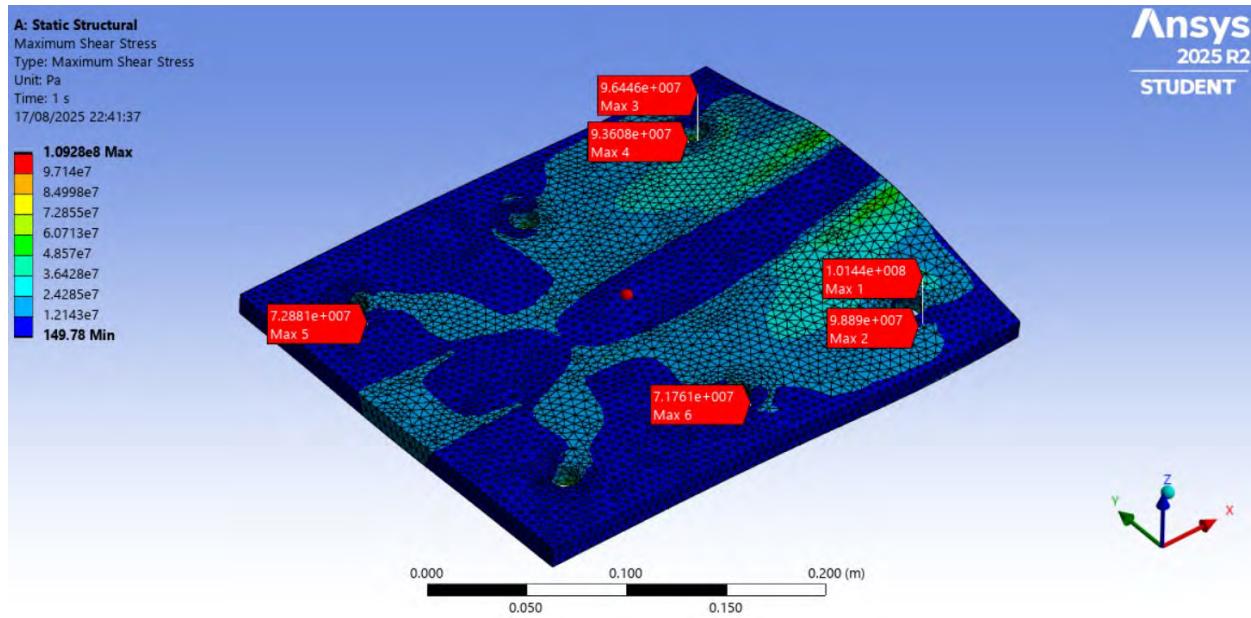
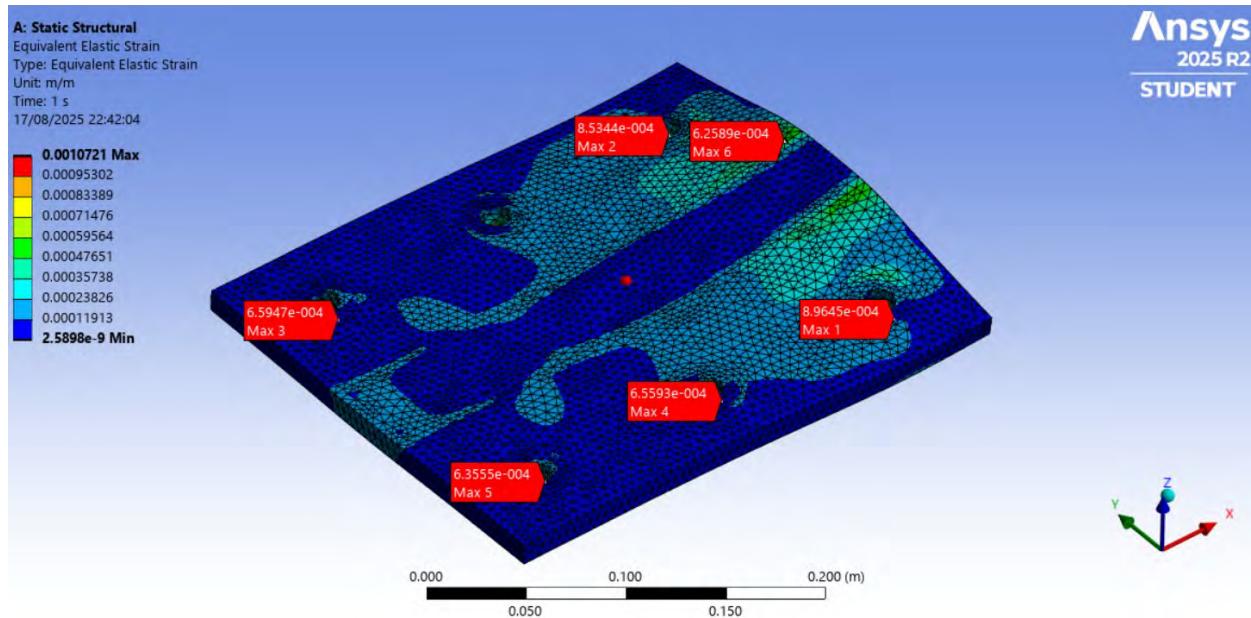


Figura 270

Esfuerzo de corte máximo en la plancha metálica producido por la carga de nieve

**Figura 271**

Deformación unitaria de la plancha metálica producido por la carga de nieve



CAPITULO 5 Discusión, Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Discusión

5.1.1 Determinación de las Propiedades Mecánicas de la Conexión Disímil

Realizando el análisis de las muestras ensayadas se ha extraído datos importantes con respecto al comportamiento del cordón de soldadura que se emplea para unir dos materiales disímiles. Resaltando que la resistencia de la unión de dos materiales disímiles con electrodo E6011 alcanza hasta una resistencia promedio de 57% de 60KSI y en el caso de las muestras realizadas con el cordón de soldadura E7018 alcanza hasta una resistencia promedio de 65% de 70KSI.

En la Tabla 28 se muestra la resistencia o esfuerzo ultimo alcanzado por las muestras ensayadas pseudo tracción.

5.1.1.1 Resultados de Ensayo de Pseudo tracción

Tabla 28

Esfuerzo ultimo de las muestras ensayadas a pseudo tracción

Muestra	Carga Ultima	Esfuerzo ultimo	Área
G1M1	9381.19 Kg	1761.95 kg/cm ²	5.32 cm ²
G1M2	10417.19 Kg	1923.48 kg/cm ²	5.42 cm ²
G1M3	9146.23 Kg	1679.80 kg/cm ²	5.44 cm ²
G1M4	7949.20 Kg	1593.84 kg/cm ²	4.99 cm ²
G2M1	11147.48 Kg	3058.92 kg/cm ²	3.64 cm ²
G2M2	10167.26 Kg	2451.77 kg/cm ²	4.15 cm ²
G2M3	14527.19 Kg	2976.41 kg/cm ²	4.88 cm ²
G2M4	12979.99 Kg	2648.50 kg/cm ²	4.90 cm ²
G3M1	9994.90 Kg	2022.99 kg/cm ²	4.94 cm ²
G3M2	9914.61 Kg	1545.95 kg/cm ²	6.41 cm ²
G3M3	10244.83 Kg	1891.65 kg/cm ²	5.42 cm ²
G3M4	6434.20 Kg	1166.13 kg/cm ²	5.52 cm ²
G4M1	14436.93 Kg	3282.44 kg/cm ²	4.40 cm ²

Muestra	Carga Ultima	Esfuerzo ultimo	Área
G4M2	13905.32 Kg	3023.36 kg/cm ²	4.60 cm ²
G4M3	14640.59 Kg	3367.23 kg/cm ²	4.35 cm ²
G4M4	14599.77 Kg	3223.67 kg/cm ²	4.53 cm ²

Nota. En la tabla se muestra que las muestras realizadas con plancha metálica de $\frac{1}{4}$ " alcanza una menor resistencia que las muestras realizadas con plancha metálica de $\frac{1}{2}$ " debido a la excesiva deformación que se alcanza en la plancha metálica más delgada.

Tabla 29

Resistencia promedio alcanzada por cada grupo experimental a tracción

Muestra	Carga Ultima	Esfuerzo ultimo	fu/fy	Promedio
G1M1	9381.19 Kg	1761.95 kg/cm ²	0.42	
G1M2	10417.19 Kg	1923.48 kg/cm ²	0.46	
G1M3	9146.23 Kg	1679.80 kg/cm ²	0.40	0.41
G1M4	7949.20 Kg	1593.84 kg/cm ²	0.38	
G2M1	11147.48 Kg	3058.92 kg/cm ²	0.62	
G2M2	10167.26 Kg	2451.77 kg/cm ²	0.50	
G2M3	14527.19 Kg	2976.41 kg/cm ²	0.60	0.57
G2M4	12979.99 Kg	2648.50 kg/cm ²	0.54	
G3M1	9994.90 Kg	2022.99 kg/cm ²	0.48	
G3M2	9914.61 Kg	1545.95 kg/cm ²	0.37	
G3M3	10244.83 Kg	1891.65 kg/cm ²	0.45	0.39
G3M4	6434.20 Kg	1166.13 kg/cm ²	0.28	
G4M1	14436.93 Kg	3282.44 kg/cm ²	0.67	
G4M2	13905.32 Kg	3023.36 kg/cm ²	0.61	
G4M3	14640.59 Kg	3367.23 kg/cm ²	0.68	0.65
G4M4	14599.77 Kg	3223.67 kg/cm ²	0.65	

Nota. En la tabla se muestra la resistencia promedio alcanzada por cada grupo experimental donde la mínima resistencia alcanzada es para el grupo experimental G3 y la resistencia más optimista es alcanzada por el grupo experimental G4 elaborada con plancha metálica de $\frac{1}{2}$ " y cordón de soldadura E7018.

El grupo experimental G1 y G3 no presenta una fluencia enmarcada en el gráfico de esfuerzo deformación. El grupo experimental G2 y G4 presenta una marcada zona de fluencia de la conexión que se verifica en el gráfico de esfuerzo deformación.

5.1.1.2 Resultados de Ensayo de corte

Tabla 30

Resistencia promedio alcanzada por cada grupo experimental para solicitudación de corte

Muestra	Carga Ultima (Kg)	Área (cm ²)	Esfuerzo Ultimo (Kg/cm ²)	fu/fy
M-1	20901.97	1.98	5280.07	1.26
M-2	19137.50	1.98	4834.35	1.15
M-3	19549.82	1.98	4938.50	1.18
M-4	17965.87	1.98	4538.38	1.08
M-5	20058.29	1.98	5066.95	1.21
M-6	19365.66	1.98	4891.98	1.16
M-7	19741.68	1.98	4986.97	1.19
M-8	19215.52	1.98	4854.06	1.16

Nota. En la tabla se muestra la resistencia promedio alcanzada por las muestras alcanzo un máximo de 1.26 del esfuerzo de fluencia de 60KSI y una resistencia mínima a corte de 1.08 de la resistencia a la fluencia del acero ASTM A615.

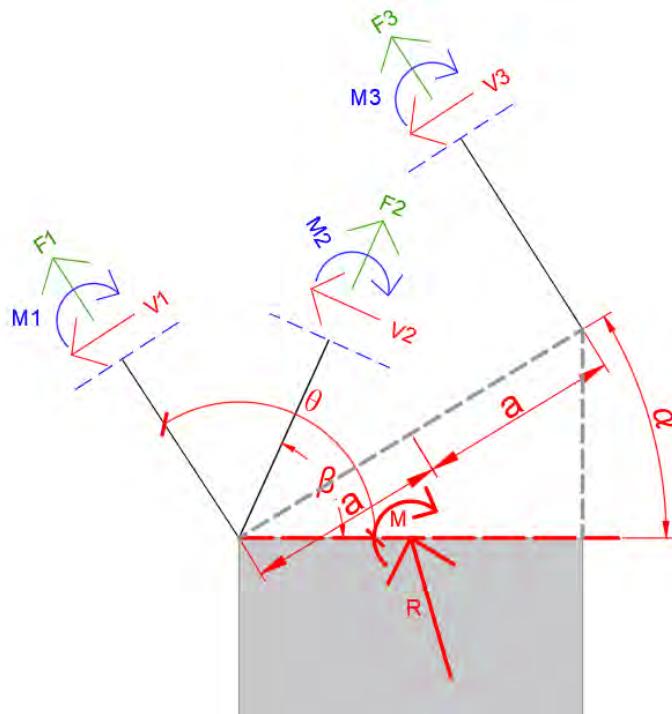
Se verifica que los materiales ensayados tienen mejores propiedades mecánicas que los especificados por el fabricante no teniendo que modificar los límites establecidos por el fabricante por un margen de seguridad del material.

5.1.2 Carga Externa más Crítica

Para determinar la carga más crítica se determina la fuerza equivalente de la carga axial, momento flector y fuerza cortante que se transmite a la conexión entre la columna y la cercha metálica de perfiles tubulares para la carga de viento, sismo y nieve los cuales son unificados en una sola fuerza y un momento equivalente como se muestra en la Figura 272.

Figura 272

Nomenclatura de fuerza equivalente de las fuerzas internas



El procedimiento para determinar las fuerzas internas transmitidas a la conexión entre la columna y la cercha de acero es mediante la aplicación de las fuerzas externas en el software SAP 2000, donde se localiza el eje con la presencia de cargas internas mayores. El eje más desfavorable según el análisis de las diversas cargas externas evaluadas es el eje que se aproxima a la mitad de la proyección en planta de la estructura.

Analizando las fuerzas internas que corresponde a la carga eventual de sismo, viento y de nieve del eje central que se extrae del software SAP 2000 y su sumatoria en una fuerza equivalente se tiene la siguiente tabla:

Tabla 31

Fuerza equivalente de fuerzas internas de las cargas eventuales

Tipo de Carga	Rx	Ry	M
Carga de sismo X-X	-3721.20 Kg	7360.13 Kg	867.88 Kg m

Tipo de Carga	Rx	Ry	M
Carga de sismo Y-Y	-17.29 Kg	48.58 Kg	4.50 Kg m
Carga de viento W1	-1837.06 Kg	6254.35 Kg	3620.63 Kg m
Carga de viento W2	-1503.07 Kg	3195.32 Kg	1030.02 Kg m
Carga de nieve	5249.13 Kg	-5491.42 Kg	641.91 Kg m

En la tabla se muestra un resumen de todas las cargas eventuales donde el sismo en la dirección Y-Y es mínima por lo que se podría descartar el análisis sísmico en la dirección ortogonal al plano que contiene la cercha de acero.

Para determinar cuál es la carga eventual más crítica se obtiene la resultante de Ry y Rx y luego se determina la excentricidad de cada caso, las cargas eventuales con Ry con signo negativo se especifican con el símbolo (C) que indica compresión y en el caso de ser positivos se indica la letra (T) que indica tracción.

Tabla 32

Fuerza interna equivalente de sismo, viento y nieve

Carga eventual	Resultante C o T	Momento	Excentricidad
Carga de sismo X-X	8247.35 Kg (T)	867.88 Kg m	0.11 m
Carga de viento W1	6518.57 Kg (T)	3620.63 Kg m	0.56 m
Carga de viento W2	3531.19 Kg (T)	1030.02 Kg m	0.29 m
Carga de nieve	7596.65 Kg (C)	641.91 Kg m	0.08 m

Según la Tabla 32 no se puede establecer la carga crítica en base a una comparación simple de las fuerzas internas equivalentes por lo que se recurre a los esfuerzos internos provocadas por las cargas eventuales que se determina en la simulación del grupo de conexiones disimiles que corresponde a la fase 3.

Tabla 33*Esfuerzos internos y deformación unitaria ocasionada por las cargas eventuales*

Carga	Esfuerzo Interno (Equivalente Von Mises)	Esfuerzo Cortante Máximo	Deformación Unitaria
Carga de sismo X-X	3857.69 kg/cm ²	2176.28 kg/cm ²	0.0019
Carga de viento W1	11245.24 kg/cm ²	6277.99 kg/cm ²	0.0055
Carga de viento W2	3431.94 kg/cm ²	1936.47 kg/cm ²	0.0017
Carga de nieve	1232.09 kg/cm ²	669.15 kg/cm ²	0.0006

Nota. En la tabla se muestra que la carga externa más crítica en una cobertura tipo arco en espacios deportivos es la carga de viento y como segunda carga más crítica se tiene a la carga de sismo.

5.1.3 Modelo analítico de una conexión no convencional

El desarrollo del modelo analítico simplificado de un grupo de conexiones disimiles se desarrolla en dos partes:

- La primera parte consiste en determinar el esfuerzo promedio en cada área de contacto de soldadura entre la barra corrugada y el cordón de soldadura del modelo analítico basado en elementos finitos de tipo sólido que se simula en el software Ansys de la conexión no convencional.
- En la segunda parte se realiza la calibración del modelo analítico simplificado en base a una comparación de los esfuerzos internos que se obtiene del modelo analítico elaborado de Ansys y el modelo analítico simplificado que se elabora en SAP 2000.

5.1.3.1 Determinación de Esfuerzo Promedio en el Modelo Analítico con Elementos Finitos

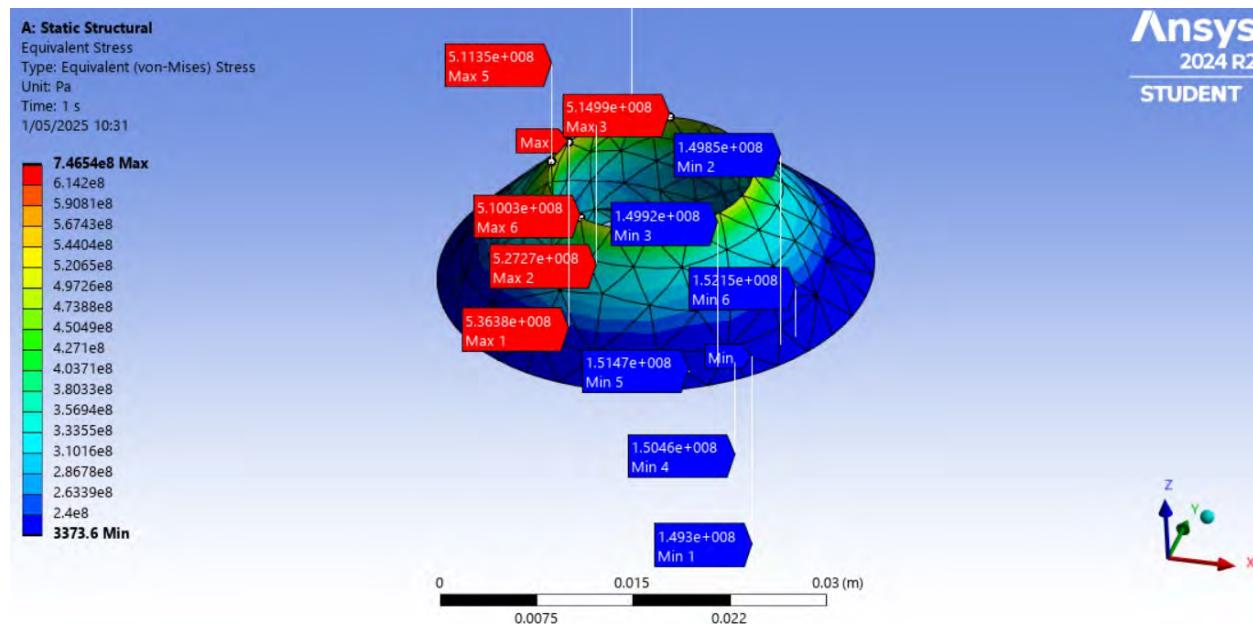
El modelo analítico de un grupo de conexiones disimiles (Conexión no convencional) es un modelo analítico corregido según a las muestras ensayadas a corte y pseudo tracción en la fase 1 y simulaciones de la fase 2. En los ensayos que se realizan existe mayor reducción de propiedades mecánicas en el ensayo de tracción motivo por el cual se pondrá un énfasis especial al cordón de soldadura y no a la barra corrugada.

La calibración del modelo analítico se realiza mediante un factor de ajuste que se obtiene mediante un minucioso análisis de esfuerzo máximo “m” y esfuerzo promedio “n” de la simulación de la fase 02 y los ensayos experimentales de la fase 01 en el grupo experimental G4 que son muestras realizadas con electrodo E7018, plancha metálica de 1/2" y barra corrugada de 5/8".

La preferencia de solo usar el grupo experimental G4 es debido al mejor comportamiento estructural en la fase 01 y la fase 02, la elección también es motivada por las condiciones de uso locales en el distrito de Huancarani.

Figura 273

Esfuerzo máximo equivalente Von Misses en el cordón de soldadura



Nota. Para el cordón de soldadura del grupo experimental G4 se tiene un esfuerzo máximo de $5467.69 \frac{Kg}{cm^2}$, este esfuerzo se ajusta a un esfuerzo promedio de acuerdo al ensayo experimental de las muestras experimentales G4.

Para determinar el factor de equivalencia previamente se establece una distribución de esfuerzos que permite determinar la ecuación de equivalencia entre el esfuerzo y el tamaño de soldadura.

Tabla 34

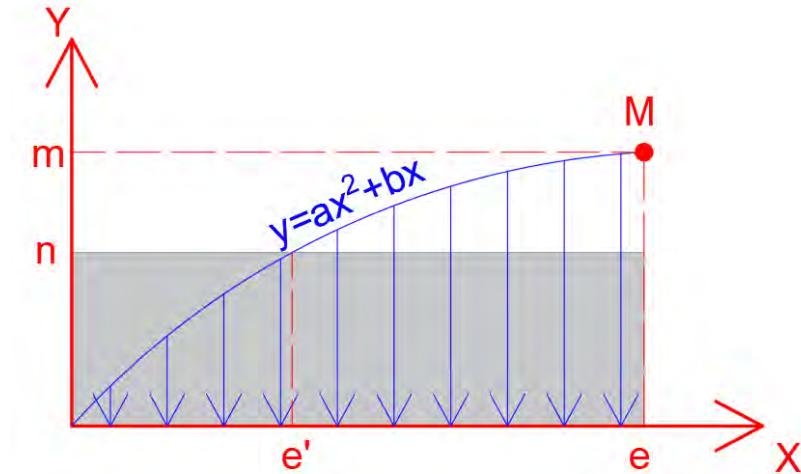
Parámetros para determinar la distribución de esfuerzos en el cordón de soldadura

Parámetro	Valor
e	0.90 cm
m	5467.69 kg/cm ²
n	3224.18 kg/cm ²

Parámetro	Valor
a	-3632.10
b	9344.09

Figura 274

Distribución de esfuerzos en el cordón de soldadura en función del tamaño de soldadura



Nota. La letra “n” corresponde al esfuerzo promedio, la “m” al esfuerzo máximo, “e” corresponde al tamaño de soldadura y “ e’ ” corresponde a la altura donde se da el esfuerzo promedio. El área gris rectangular tiene la misma área que el área encerrada debajo de la curva $y = ax^2 + bx$.

A continuación, se muestra la ecuación de distribución de esfuerzos en un cordón de soldadura:

$$y = \frac{3m - 6n}{e^2} x^2 + \frac{6n - 2m}{e} x$$

Donde

$$m \rightarrow \text{Esfuerzo maximo en } \frac{Kg}{cm^2}$$

$$n \rightarrow \text{Esfuerzo promedio en } \frac{Kg}{cm^2}$$

$$e \rightarrow \text{Tamaño de soldadura en cm}$$

En base a los resultados de los ensayos en la fase 01 y la simulación de la fase 02 para el grupo experimental G4 se tiene la distribución de esfuerzo en el cordón de soldadura que permite ajustar el esfuerzo máximo al esfuerzo promedio mediante la evaluación de la función de distribución de esfuerzos en el punto e' .

$$\frac{m}{n} = \frac{1 + 6w^2 - 6w}{3w^2 - 2w} \quad w = \frac{e'}{e}$$

Donde

$m \rightarrow$ Esfuerzo maximo en $\frac{Kg}{cm^2}$

$n \rightarrow$ Esfuerzo promedio en $\frac{Kg}{cm^2}$

$w \rightarrow$ Relación de $\frac{e'}{e}$ adimensional

$e' \rightarrow$ Tamaño de soldadura hasta la ubicacion del esfuerzo promedio en cm

$e \rightarrow$ Tamaño de soldadura en cm

Luego de determinar la ecuación se realiza un análisis con las fuerzas externas aplicadas en el grupo de conexiones disimiles en el elemento más desfavorable que es el cordón de soldadura. Con la relación m/n definida se establece en base a los resultados experimentales y las simulaciones de la conexión disímil una extrapolación del comportamiento estructural en un análisis de grupo de conexiones disimiles y se tiene los factores de seguridad y la deformación unitaria que sufre una conexión no convencional.

Tabla 35*Esfuerzo promedio actuante y FS en el grupo de conexiones disimiles*

Carga	Esfuerzo Interno (Equivalente Von Misses)	Esfuerzo Cortante Máximo	Deformación Unitaria	Esfuerzo Interno Promedio (Von Misses)	Esfuerzo Interno Promedio (Cortante máximo)	FS Von Misses (Promedio)	FS Cortante Maximo (Promedio)
	$\frac{Kg}{cm^2}$	$\frac{Kg}{cm^2}$		$\frac{Kg}{cm^2}$	$\frac{Kg}{cm^2}$		
Carga de sismo X-X	3857.69	2176.28	0.0019	2276.40	1284.21	1.42	2.51
Carga de viento W1	11245.24	6277.99	0.0055	6635.74	3704.60	0.49	0.87
Carga de viento W2	3431.94	1936.47	0.0017	2025.16	1142.70	1.59	2.82
Carga de nieve	1232.09	669.15	0.0006	727.04	394.86	4.43	8.17

Nota. Los factores de seguridad varían de 1.42 a 8.17 para las solicitudes eventuales de sismo, viento y nieve en la dirección. Para la carga de viento W1 no se alcanza un factor de seguridad aceptable, pero realizando un análisis detallado para esta solicitud se determina que solo un par de conexiones disimiles ubicados en el extremo falla y el resto de las conexiones se mantiene dentro del rango de seguridad mayor a 1.25, es decir no ocurre una falla global para la conexión sino solo una falla local con referencia al grupo de conexiones disimiles.

5.1.3.2 Validación de Modelo Analítico Simplificado

La validación se realiza mediante una comparación de esfuerzos internos que se distribuye a cada cordón de soldadura obtenido mediante el modelo analítico con elementos finitos en Ansys y el modelo analítico simplificado que idealiza cada cordón de soldadura como un apoyo fijo.

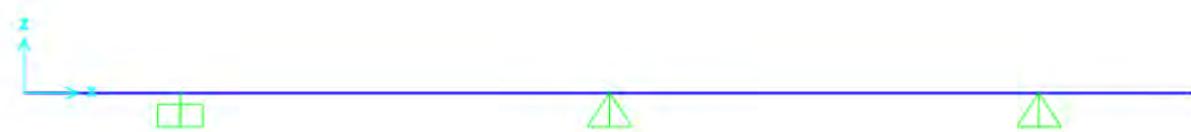
Para desarrollar el modelo analítico simplificado se realiza el análisis estructural en el software de SAP 2000 hasta desarrollar una modelo que guarde concordancia con la simulación del grupo de conexiones en el software Ansys, luego de realizar la calibración de apoyos, fuerza interna equivalente, tipo de análisis y el área efectiva de soldadura se obtiene las siguientes consideraciones de modelamiento:

- La fijación del cordón de soldadura anular se idealiza como un apoyo fijo.

En la simulación de la conexión en el software SAP 2000, se idealiza en primera instancia al cordón de soldadura más alejado y sometido a tracción como un apoyo empotrado, el resto de cordón de soldadura se idealiza como un apoyo fijo como se muestra en la Figura 275.

Figura 275

Modelo analítico simplificado preliminar de las conexiones



Los resultados de las recciones muestran un concentración muy excesiva en el apoyo empotrado que se aleja del valor obtenido en modelo analítico tridimensional con geometrías tipo sólido, se cambia la idealización de todos los cordones de soldadura a un apoyo fijo y se restringe el análisis a un plano bidimensional.

El esfuerzo promedio que actúa en la reacción mas alejado y sometida a tracción presenta para todas las fuerzas eventuales una variación porcentual uniforme con respecto a la simulación en el software Ansys, por lo que se mantiene la elección de considerar al cordón de soldadura como un apoyo fijo.

- La plancha metálica se idealiza como un elemento tipo barra

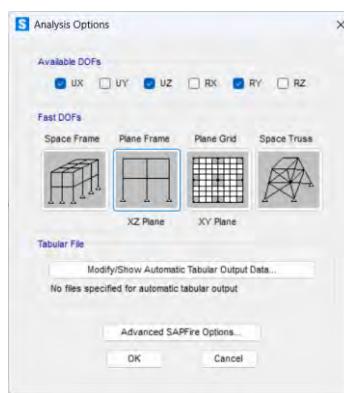
La sección de la barra que representa la plancha metálica no tiene un indicador representativo debido a que el análisis que se realiza en el software SAP 2000 es de análisis estructural y no un análisis de diseño que permita identificar esfuerzos internos. Los resultados de las reacciones se calibran de acuerdo a los resultados que se obtiene de la simulación del grupo de conexiones en el software Ansys.

- El análisis estructural se configura para un análisis bidimensional.

Cuando se realiza la simulación en la software SAP 2000 del grupo de conexiones disimiles se restringe que el análisis sea en el plano bidimensional para evitar errores en la simulación que se originan por un rotulas que no tiene restriccción en el tridimensional.

Figura 276

Configuración del análisis bidimensional en SAP 2000



- Las fuerzas internas equivalentes se idealizan como una carga distribuida.

Para simular las fuerzas internas equivalentes se considera de manera inicial como un fuerza puntual que actúa en el centro de la conexión obteniendo una concentración de

la reacción solo en la parte central, motivo por el cual se descarta la forma de aplicación.

Figura 277

Idealización de la fuerza interna equivalente



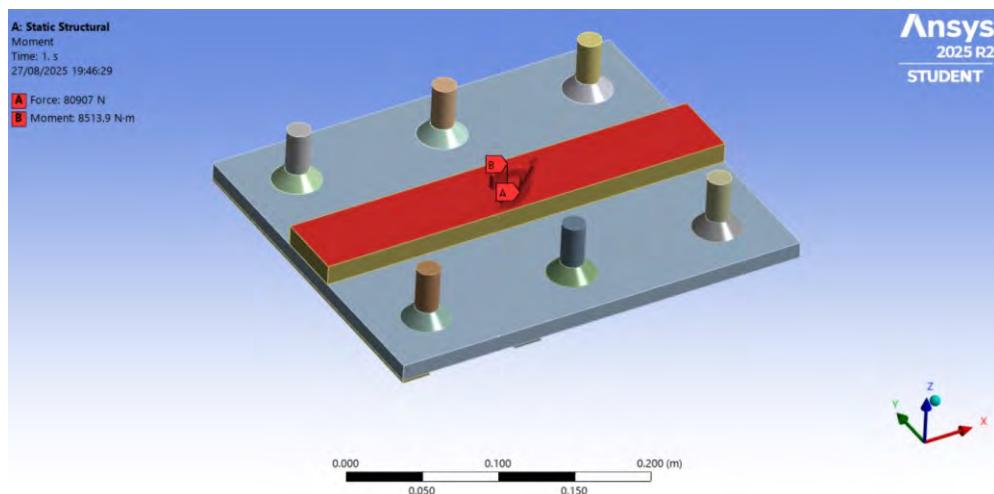
En un segundo intento de mantener una correcta correlación con la simulación en el software Ansys se distribuye la fuerza interna equivalente en toda la longitud del apoyo, con esta simulación se obtiene un distribución de reacciones que se distribuye en los tres apoyos con un pico en el apoyo más alejado y sometido a tracción, por esta coherencia se define que la forma que más se acerca a la idealización de la fuerza interna equivalente es una fuerza distribuida

- El momento flector equivalente se aplica en el centro geométrico de la plancha metálica.

El momento flector se aplica en el centroide de la barra que idealiza la plancha metálica debido a la convención del grafico de fuerza interna equivalente de la Figura 272.

- El área efectiva del cordón de soldadura varia de 0.40 a 0.55 del cordón de soldadura

Debido a que en la realidad la fuerza interna equivalente genera momentos en los 3 ejes principales (M_x, M_y, M_z) por la excentricidad de la ubicación de la carga.

Figura 278*Excentricidades de la fuerza interna equivalente*

Nota. La figura muestra que la fuerza interna equivalente tiene excentricidad ex y ez , si se omitiera el momento flector también se debe considerar una excentricidad ey .

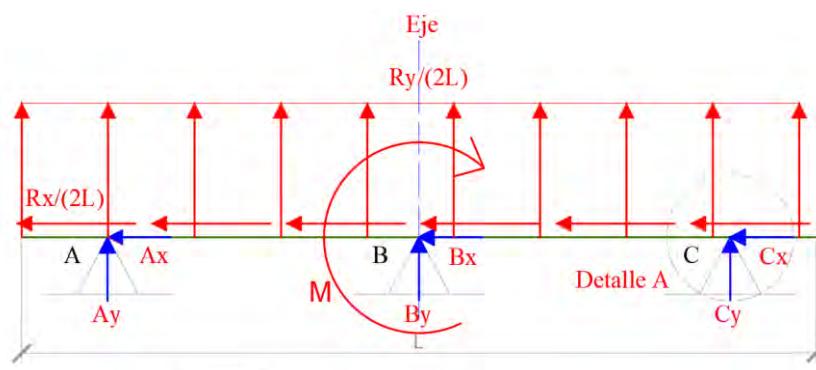
La configuración tridimensional de excentricidades no se puede simular en un análisis bidimensional, por lo tanto, se recurre a un factor de ajuste que afecta al área efectiva que resiste el cordón de soldadura en estricto cuidado de que la variación con la simulación en el software Ansys sea menor a 5%.

Carga	Factor	Área Efectiva (cm ²)	Ay (kg)	Ax (kg)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Variación Esfuerzo Promedio
Carga de sismo X-X	0.55	2.49	3103.84	589.48	1247.45	-2.86 %
Carga de viento W1	0.55	2.49	9189.595	290.845	3693.36	-0.30 %
Carga de viento W2	0.55	2.49	2831.885	237.985	1138.15	-0.40 %
Carga de nieve	0.50	2.26	615.205	831.11	367.43	-6.95 %

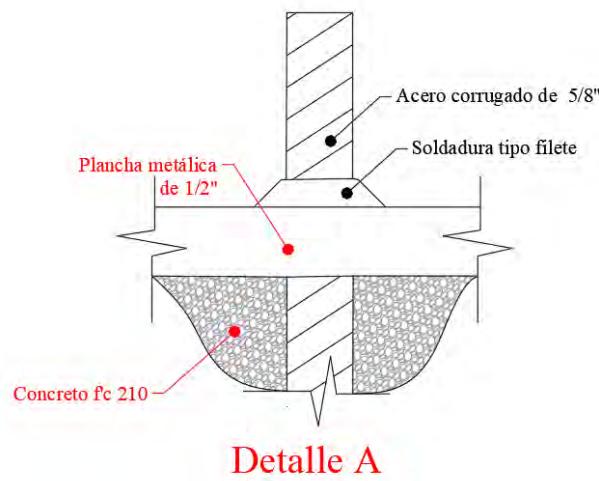
Nota. El esfuerzo promedio de referencia del modelo analizado en el software Ansys es el criterio de falla de Tresca, el área neta corresponde a un tamaño de soldadura de 9mm, Ay y Ax representan las reacciones en el cordón de soldadura mas alejado y sometido a tracción del grupo de cordones de soldadura.

5.2 Conclusiones

- El modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural en una conexión no convencional (Grupo de conexiones disímiles) para evaluar o garantizar la seguridad del conjunto estructural ante cargas eventuales se puede desarrollar en función de ensayos experimentales, simulaciones locales de la conexión disímil y grupo de conexiones disímiles. El modelo analítico de una conexión no convencional se puede simplificar de la siguiente manera:



Donde R_y , R_x y M corresponde a la fuerza equivalente de las fuerzas internas de la cercha de acero.



El esfuerzo resistente promedio de cada conexión depende del tamaño de soldadura y en base a los ensayos experimentales y las simulaciones locales de la conexión disímil se estima como:

$$R_n = 0.655F_{xx}A_{we} \quad A_{we} = 1.1\pi R w$$

F_{xx} → Resistencia del electrodo

w

→ Tamaño de soldadura en la zona en contacto con la barra corrugada

R → Radio de la barra corrugada

A_{we} → Área efectiva de soldadura

R_n → Resistencia nominal

- Las propiedades mecánicas de la conexión de plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura tipo filete tiene las siguientes características mecánicas para los diferentes grupos experimentales:

- ✓ Grupo experimental G1 alcanza una resistencia a la tracción de 9223.45 Kg y un esfuerzo de 1739.77 kg/cm² que representa el 41.4% de 60KSI.
- ✓ Grupo experimental G2 alcanza una resistencia a la tracción de 12205.48 Kg y un esfuerzo de 2783.90 kg/cm² que representa el 56.6% de 60KSI.
- ✓ Grupo experimental G3 alcanza una resistencia a la tracción de 9147.14 Kg y un esfuerzo de 1656.68 kg/cm² que representa el 39.44% de 70KSI.
- ✓ Grupo experimental G4 alcanza una resistencia a la tracción de 14395.65 Kg y un esfuerzo de 3224.18 kg/cm² que representa el 65.50% de 70KSI.

- La resistencia a corte de una conexión disímil se representa mediante la resistencia a corte de la barra corrugada ASTM A615 de 5/8" obteniendo un valor

promedio de 9746.02 Kg y un esfuerzo promedio de 4923.91 kg/cm² lo que representa una resistencia a corte de 17% mayor al esfuerzo de fluencia de 60KSI.

- La carga más crítica para una conexión no convencional es la carga de viento debido a que muestra el menor factor de seguridad en relación con las demás fuerzas eventuales.

5.3 Recomendaciones

- Para mejorar la adherencia del cordón de soldadura en la barra corrugada ASTM A615 con la plancha metálica ASTM A36 se debe emplear electrodo de bajo hidrogeno E7018 con una temperatura de almacenamiento de 30°C a 140 °C acompañado de un precalentamiento de 150°C a 260 °C de las piezas.
- Se debe tomar con cuidado los resultados obtenidos ya que el estudio fue realizado para la zona geográfica del distrito de Huancarani.
- Se debe tomar énfasis de que los resultados fueron obtenidos con muestras que no han sido totalmente limpiadas, para muestras con gran cuidado de limpieza se podría mejorar el factor de seguridad.
- Todos los ensayos realizados en las muestras de conexión disímil simulan la situación real de la conexión por lo que no se hizo una limpieza adecuada de las piezas a soldar.
- En la discretización de los elementos estructurales que se desarrolla en el módulo de análisis estructural de Ansys se debe tener cuidado en el tamaño de la malla de refinamiento, ya que para tamaños grandes se podría presentar resultados erróneos.

Referencias Bibliográficas

- American Institute of Steel Construction. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*.
- American Society of Civil Engineers. (2022). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures* (ASCE/SEI 7-22). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784415788>
- American Welding Society. (2020). *AWS D1.1/1.1M*.
- Aslam, K. (2014). *Structural Analysis* (Fifth Edition). Cengage Learning.
- ASTM A36. (2014). *Standard Specification for Carbon Structural Steel*.
- ASTM A615. (2012). *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement*.
- AWS A2.4. (2020). *Standard Symbols for Welding, Brazing, and Nondestructive Examination*.
- AWS A5.1. (2012). *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*.
- AWS D1.4. (2018). *Structural Welding Code Steel Reinforcing Bars*.
- Beer, F., Johnston, R., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2013). *Mecánica de Materiales* (6th ed.). McGRAW-HILL.
- Chura Aguilar, E. R., & Mamani Bonifacio, T. A. (2018). *ENSAYOS DE CONEXIÓN PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA POR BLOQUE DE CORTE, DE ACUERDO A LAS NTE E-090 Y AISC*. Universidad Privada de Tacna.
- Elías Mora, C. del R., & Mariscal Blanco, M. (2014). *Determinación de propiedades mecánicas de perfiles estructurales de acero negro con uniones soldadas utilizando la máquina universal de ensayos*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Esquicha Larico, E. D. (2018). *Soldabilidad disímil de los aceros ASTM A36 y A615 por el proceso Smaw para obtener productos de calidad*.

- Flores, C. E. (2002). *Soldadura al arco eléctrico SMAW*. Recuperado el.
- Hassoun, M. N., & Al-Manaseer, A. (2020). *Structural Concrete: Theory and Design* (7th ed.). John Wiley & Sons.
- Jeffus, L. (2009). *Soldadura. Principios y aplicaciones* (Vol. 3). Editorial Paraninfo.
- McCormac, J., & Csernak, S. (2013). *Diseño de Estructuras de Acero* (5th ed.).
- Molera Solá, P. (1992). *Soldadura industrial: clases y aplicaciones* (Vol. 56). Marcombo.
- P. Beer, F., E. Johnston, R., DeWolf, J. T., & F. Masurek, D. (2012). *Mecanica de Materiales*.
- Pekkari, B. (2004). ESAB 1904-2004 A Century of Inovation in Welding & Cutting. *Svetsaren The ESAB Welding and Cutting Journal*, 59, 11–11.
- Portillo Davila, E. G. (2018). *Influencia de la humedad del aire en los electrodos de soldadura SMAW y su incidencia en la calidad de los productos soldados*.
- Rivera Vargas, W. E., & Romeo Palacios, P. A. (2016). *Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero NTP 341.031 de Ø 5/8, en junta traslapada y a tope, para concreto armado*.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la investigación*. MacGraw-Hill/Interamericana.
- <https://books.google.com.pe/books?id=BNGjAQAAQAAJ>
- Sharma, A., Saraswat, M., Vimal, J., & Chaturvedi, R. (2023). Quenching's effect on a single-V butt welded joint made of mild steel's impact resistance. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.796>
- Ulloa Vásquez, W. S., & Yupanqui Uriol Geovanni, C. E. (2018). *EFFECTO DE LA POSICIÓN DE SOLDEO EN LA SOLDABILIDAD DE BARRAS CORRUGADAS DE ACERO ASTM A 615*.

Vega, V., Padilla, E., & Gonzales, O. (1999). Realización de la Tabla Tecnológica de un

Acero Grado 60. *Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM* .

Zapata Baglietto, L. F. (n.d.). *DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO*.

Anexos

5.3.1 Matriz de Consistencia

Tabla 36

Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DE OBJETIVOS	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICAS
¿Cuál es el modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural de una conexión no convencional en espacios deportivos del distrito de Huancarani para evaluar o garantizar la seguridad del conjunto estructural ante la acción de cargas eventuales de sismo, viento o nieve y preservar la vida y salud de los usuarios?	Determinar un modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural de la conexión no convencional en espacios deportivos del distrito de Huancarani para evaluar o garantizar la seguridad del conjunto estructural ante la acción de cargas eventuales de sismo, viento o nieve y preservar la vida y salud de los usuarios.	Se puede plantear un modelo analítico que permita estimar la respuesta estructural de una conexión no convencional en espacios deportivos del distrito de Huancarani basados en ensayos experimentales y simulaciones virtuales en el software ANSYS de pruebas corte y tracción focalizados de la conexión no convencional para evaluar o garantizar la seguridad de las conexiones estructurales en la aplicación de cargas eventuales de sismo, viento o nieve.
1.- ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la conexión de plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura tipo filete?	1.-Determinar las propiedades mecánicas de la unión entre plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura anular tipo filete.	1.- Las propiedades mecánicas del cordón de soldadura entre plancha metálica y barra corrugada poseen una resistencia al corte igual al cortante de la sección de barra corrugada y la resistencia a tracción es igual a la garganta de la soldadura anular tipo filete por la resistencia del electrodo.
2.- ¿Cuál es la carga eventual más crítica para una conexión no convencional?	2.- Determinar la carga eventual más crítica para una conexión no convencional.	2.- La carga eventual de viento es más crítica que la carga de sismo y de nieve para una conexión no convencional.

5.3.2 Operacionalización de Variables

5.3.3 Problema general

Tabla 37

Operacionalización de variables problema general

Problema	Variable	Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos
PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es el modelo analítico que permite estimar la respuesta estructural en una conexión no convencional para evaluar o garantizar la seguridad del conjunto estructural ante cargas eventuales?	DEPENDIENTE	Respuesta estructural	Son los esfuerzos internos y deformaciones ocasionado por una solicitud eventual de sismo, viento o nieve en una conexión no convencional.	Esfuerzo	Esfuerzos internos	Software Ansys
				Deformación	Deformación Unitaria	Software Ansys
	INDEPENDIENTE	Propiedades mecánicas de la conexión disímil	Es la resistencia a corte o tracción de la conexión de cordón de soldadura anular tipo filete que une la plancha metálica ASTM A36 perforada con la barra corrugada ASTM A615, esta conexión tiene una resistencia al corte y tracción definido en las propiedades mecánicas de la plancha metálica, la barra corrugada y el electrodo empleado.	Resistencia	Resistencia al corte	Maquina Universal INSTRON 600DX
				Resistencia	Resistencia a la tracción	Maquina Universal INSTRON 600DX
		Solicitud eventual crítica	Es la aplicación externa de fuerzas eventuales de sismo, viento o nieve en la conexión no convencional, se realiza su aplicación de manera independiente y se utiliza la más crítica.	Fuerza o momento	Fuerzas Laterales y Momentos externos equivalentes	Software SAP 2000

5.3.4 Problema específico 1

Tabla 38

Operacionalización de variables problema específico 1

Problema	Variable	Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos
PROBLEMA ESPECIFICO 1 ¿Cuáles son las propiedades mecánicas de la conexión de plancha metálica ASTM A36 y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura tipo filete?	DEPENDIENTE	Propiedades mecánicas de la conexión disímil	Es la resistencia máxima de corte y tracción que posee una conexión de plancha metálica ASTM A36 perforada y barra corrugada ASTM A615 unido mediante un cordón de soldadura anular tipo filete.	Resistencia	Resistencia al corte	Maquina Universal INSTRON 600DX
				Resistencia	Resistencia a la tracción	Maquina Universal INSTRON 600DX
	INDEPENDIENTE	Plancha metálica	Es una lámina de acero LAC con dimensiones comerciales de 1.2m x 2.4 m con diferentes espesores conformado por acero estructural ASTM A36.	Resistencia	Esfuerzo de fluencia	Ficha técnica
				Longitud	Espesor	Vernier
		Cordón de soldadura	Un cordón de soldadura es una interfaz que permite unir dos metales separados, la resistencia del cordón de soldadura depende del tamaño del cordón y del tipo de electrodo empleado. El electrodo es un elemento indispensable para realizar el proceso de soldadura SMAW.	Dimensiones	Tamaño de soldadura	Weld Fillet Gauge
					Largo	—
					Diámetro	Ficha técnica
		Barras de acero corrugado	Son barras de acero que se utiliza en el refuerzo longitudinal de columnas de concreto armado.	Electrodo	Resistencia a la tracción	Ficha técnica
					Tipo de recubrimiento	Ficha técnica

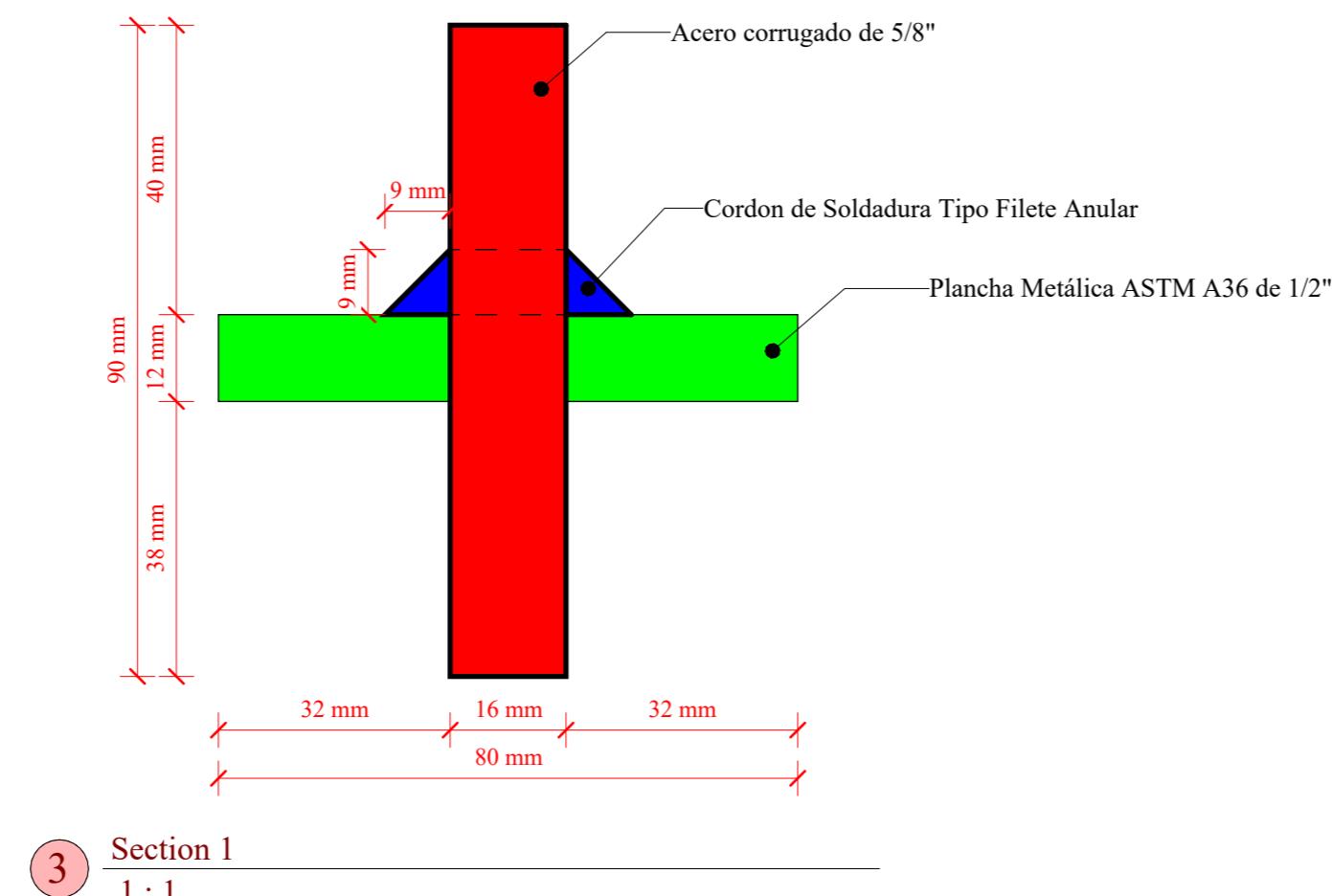
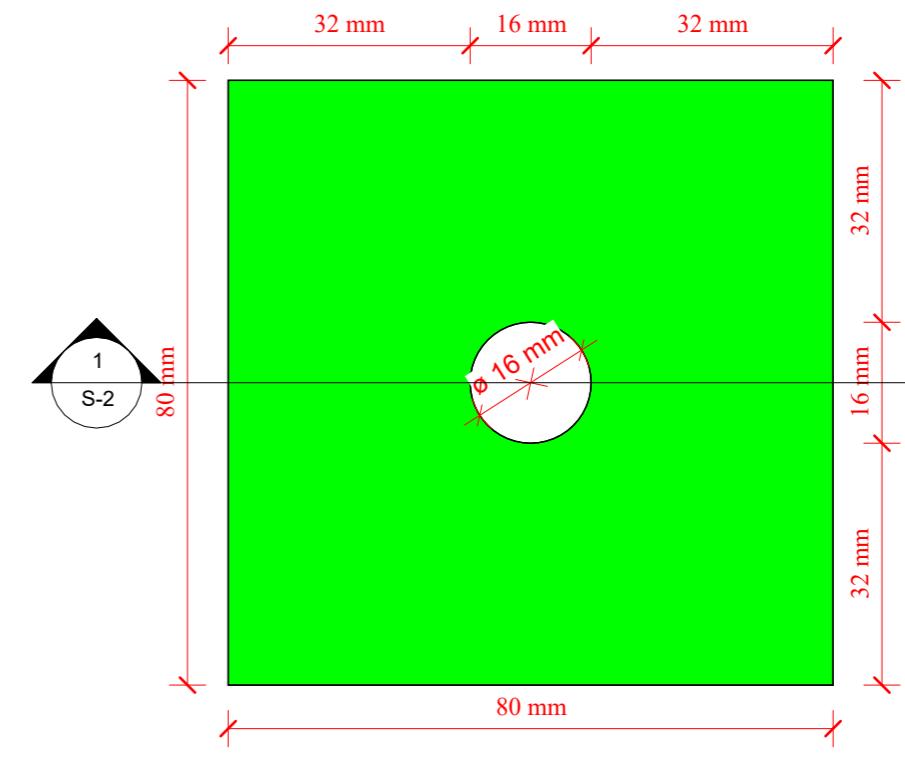
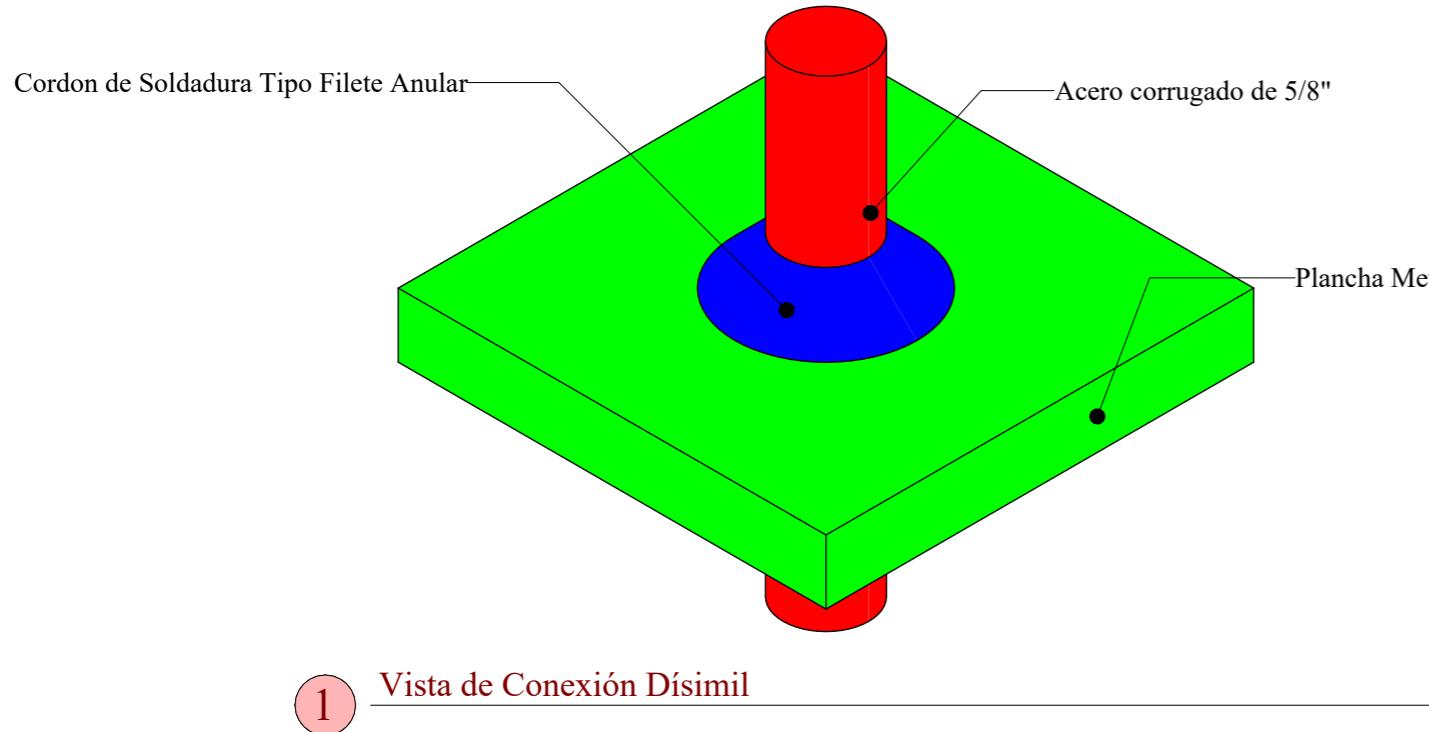
5.3.5 Problema específico 2

Tabla 39

Operacionalización de variables de problema específico 2

Problema	Variable	Denominación	Definición	Dimensión	Indicador	Instrumentos
PROBLEMA ESPECIFICO 2 ¿Cuál es la carga eventual más crítica para una conexión no convencional?	DEPENDIENTE	Solicitud eventual crítica	Es la aplicación externa de fuerzas eventuales de sismo, viento o nieve, la solicitud eventual crítica es la carga eventual con valores mayores de fuerzas internas adyacente a la conexión no convencional.	Fuerza o momento	Fuerzas Laterales y Momentos externos equivalentes	Cuadro comparativo de fuerzas cortantes, axiales y momentos flectores
		Carga eventual de sismo	Son cargas eventuales ocasionadas por la aceleración del suelo, se utiliza un análisis modal espectral que emplea un espectro inelástico de respuesta para determinar las fuerzas internas.	Fuerza interna	Gráfico de fuerzas internas cortante, axial y momento flector	Software SAP 2000
	INDEPENDIENTE	Carga eventual de viento	Son carga de succión y presión que se producen en una estructura, esta carga es variable con la altura de la construcción y su ubicación.	Fuerza interna	Gráfico de fuerzas internas cortante, axial y momento flector	Software SAP 2000
		Carga eventual de nieve	Son cargas ocasionadas por la acumulación de nieve en la cobertura.	Fuerza interna	Gráfico de fuerzas internas cortante, axial y momento flector	Software SAP 2000

5.3.6 Plano de Detalle de Muestra para Prueba de Pseudotraccion



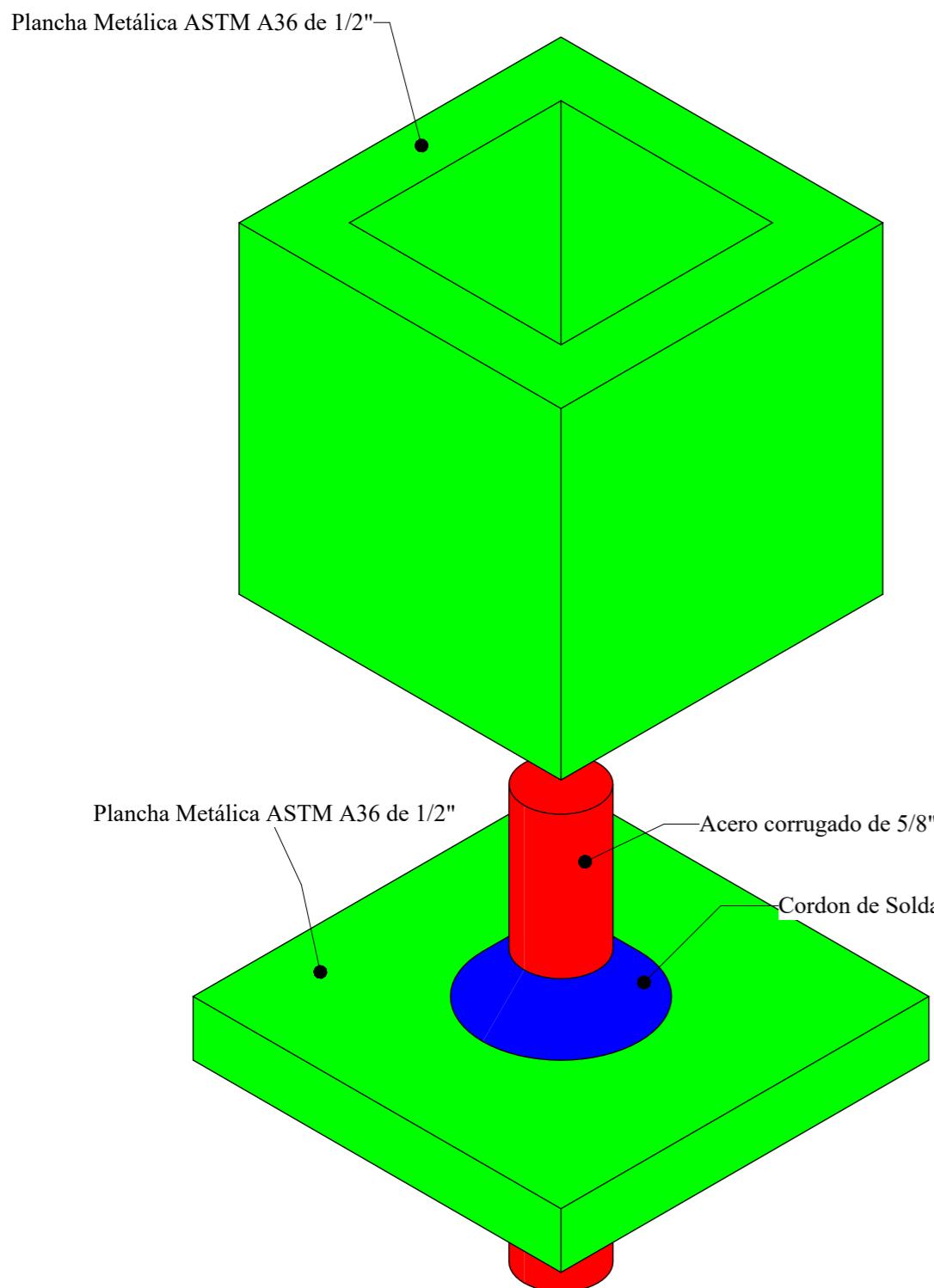
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: CAPACIDAD DE RESPUESTA
ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE CONEXIONES NO
CONVENCIONALES DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO Y
CERCHAS DE ACERO TIPO ARCO EN ESPACIOS DEPORTIVOS
DEL DISTRITO DE HUANCARANI

DETALLE DE MUESTRA PARA PRUEBA DE
PSEUDO TRACCION

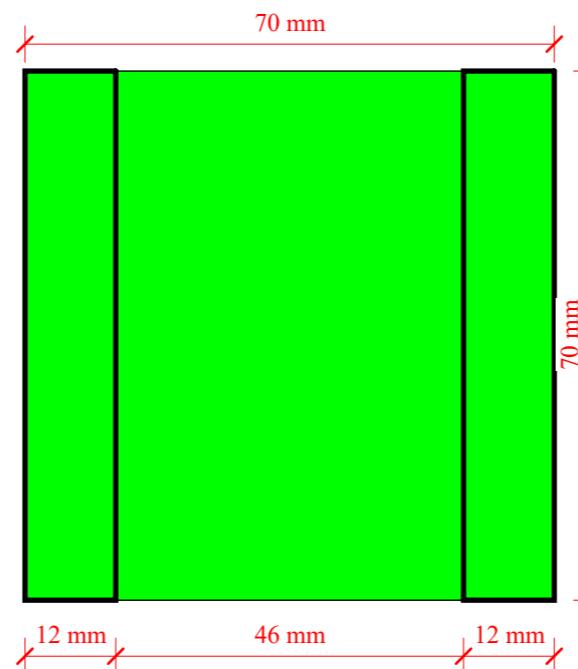
Autor: Romeo Cocompi Manutuppa
Escala 1/1

S-1

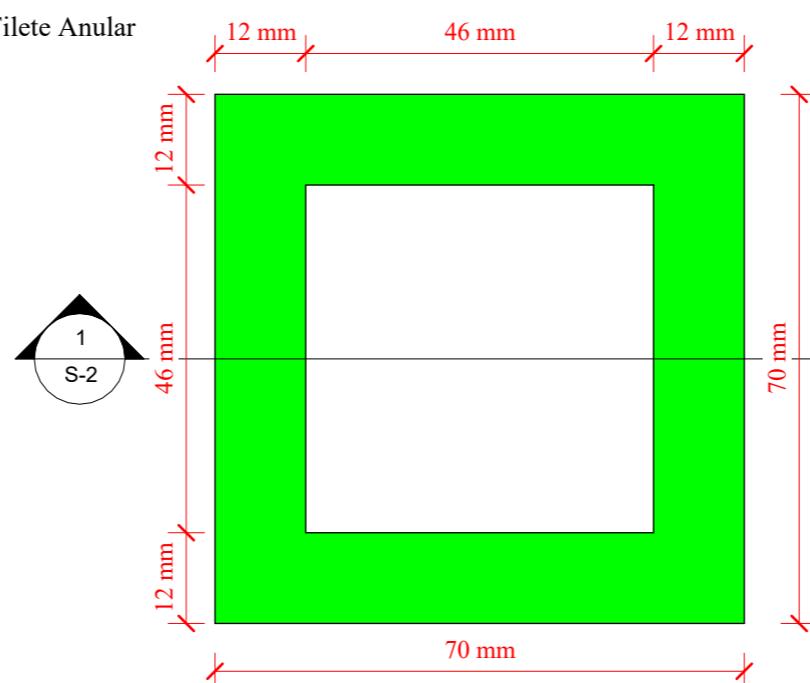
5.3.7 Plano de Acoplador Prismático para Ensayo de Pseudo Tracción



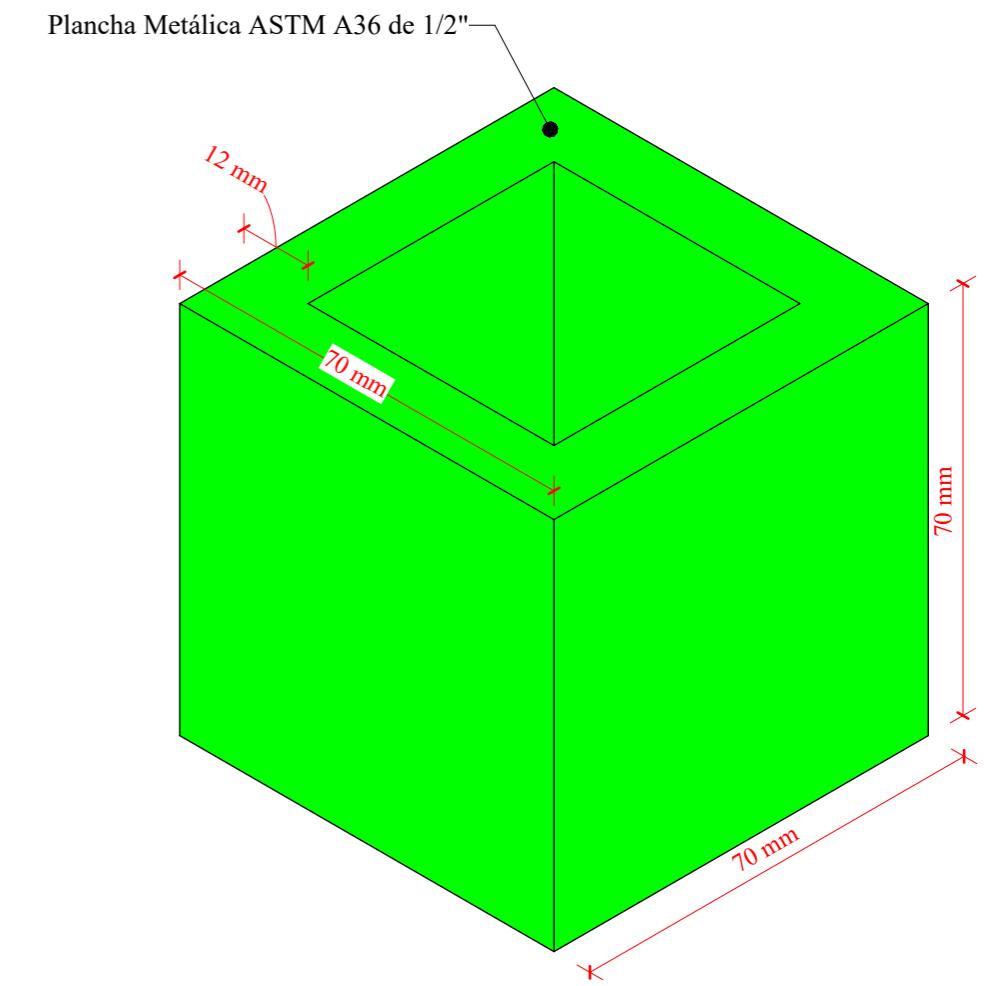
4 Muestra y acoplador prismático



1 Corte de Acoplador Prismático
1 : 1



3 Vista en planta de acoplador prismático
1 : 1



2 Vista Isométrica de Acoplador Prismático



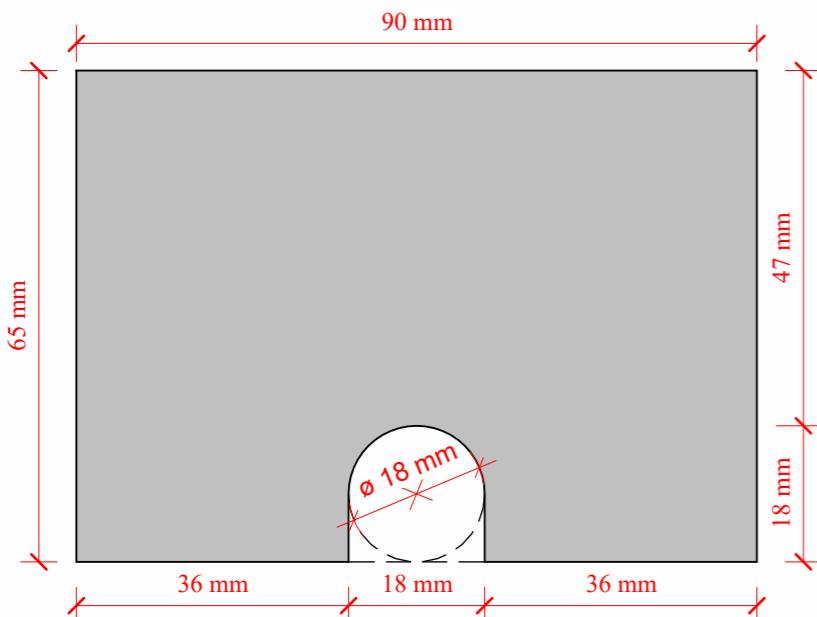
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: CAPACIDAD DE RESPUESTA ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE CONEXIONES NO CONVENCIONALES DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO Y CERCHAS DE ACERO TIPO ARCO EN ESPACIOS DEPORTIVOS DEL DISTRITO DE HUANCARANI

DETALLE DE ACOPLADOR PRISMÁTICO

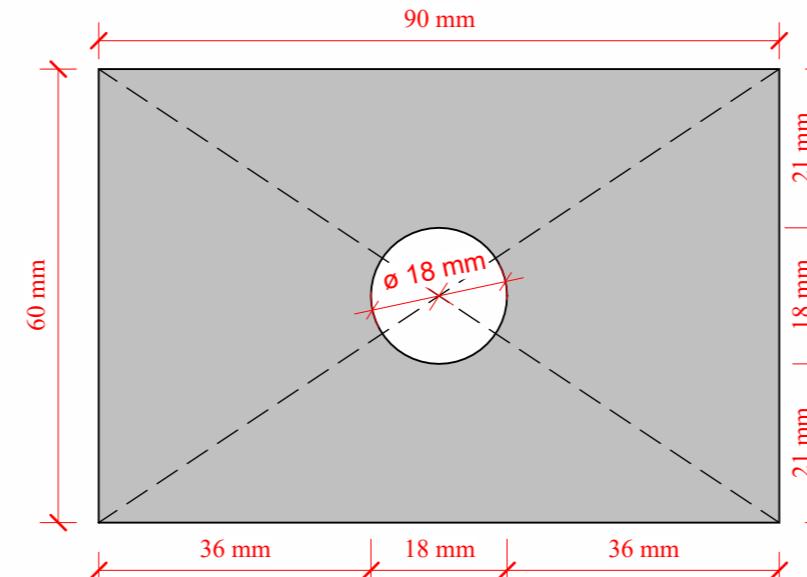
Autor: Romeo Cocompi Manutuppa
Escala 1/1

S-2

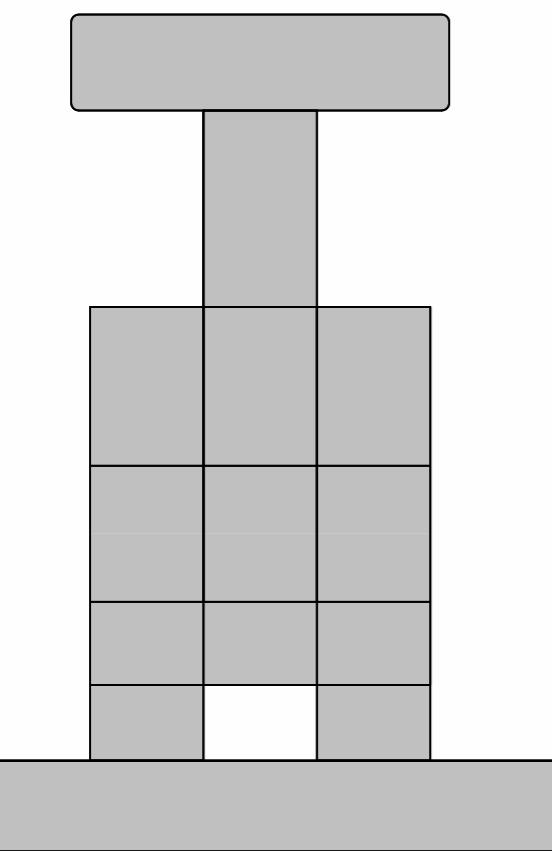
5.3.8 Plano de Acoplador de Corte



1 Detalle de Gillotina
1 : 1

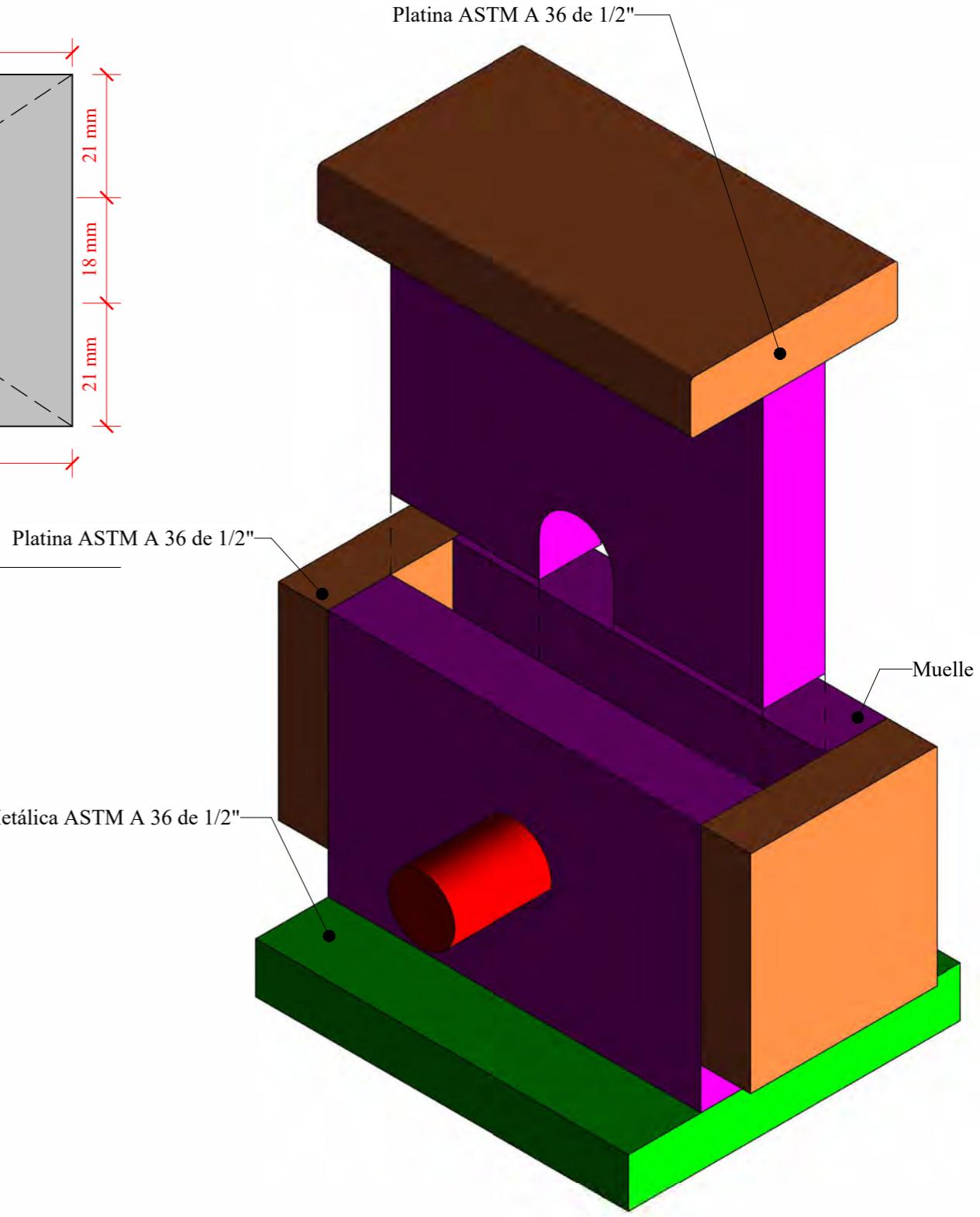


2 Detalle de Soportes
1 : 1



4 Section 2
1 : 1

5 Section 3
1 : 1



3 Vista Isométrica



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN: CAPACIDAD DE RESPUESTA
ESTRUCTURAL Y MODELO ANALÍTICO DE CONEXIONES NO
CONVENCIONALES DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO Y
CERCHAS DE ACERO TIPO ARCO EN ESPACIOS DEPORTIVOS
DEL DISTRITO DE HUANCARANI

PLANO DE ACOPLADOR
DE CORTE

Autor: Romeo Cocompi Manuttupa
Escala 1/1

S-3

5.3.9 Certificado de Uso de Laboratorio



**CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

HACE CONSTAR:

Que el tesista; conductor a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil; Bach. **ROMEO CCOMPI MANUTTUPA**, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: **"CAPACIDAD DE RESPUESTA ESTRUCTURAL Y MODELO ANALITICO DE CONEXIONES ESTRUCTURALES DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO Y CERCHAS DE ACERO TIPO ARCO CON PERFILES TUBULARES EN ESPACIOS DEPORTIVOS DEL DISTRITO DE HUANCARANI"**.

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Especificación estándar para barras de acero y carbono deformadas y planas para refuerzo de hormigón. Ensayo de corte directo	ASTM A615	08
02	Prueba de compresión de materiales metálicos (temperatura ambiente)	ASTM E9	16

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 23 de agosto del 2024



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Luz Marlene Nieto Palomino
Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio

5.3.10 Certificado de Calibración INSTRON 600DX



Certificado de Calibración

TC - 17188 - 2023

Proforma : 22876A

Fecha de emisión: 2023-08-31

Página : 1 de 2

Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Dirección : Av. De La Cultura 773 Cusco - Cusco**Instrumento de medición : MÁQUINA DE ENSAYO UNIVERSAL**
Marca : INSTRON
Modelo : 600DX-B1-C3A-G1F
Nº de Serie : 600DXR4565
Alcance de indicación : 61182 kgf
Resolución : 1 kgf
Procedencia : U.S.A.
Identificación : No Indica
Ubicación : Laboratorio de Mecanica de Suelos y Materiales
Fecha de Calibración : 2023-08-28

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Lugar de calibración

Instalaciones de UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

Método de calibración

La calibración se efectuó por comparación directa tomando como referencia la norma UNE-EN ISO 376. Calibración de los instrumentos de medida de fuerza utilizados para la verificación de las máquinas de ensayo uniaxial.

Condiciones de calibración

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	20,4 °C	20,1 °C
Humedad Relativa	34,6 %HR	35,7 %HR

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

**Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316**

Certificado : TC - 17188 - 2023
Página : 2 de 2**Trazabilidad**

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de AEP TRANSDUCERS	Celda de carga de capacidad 3 MN Modelo CLFlex Indicador digital modelo MP6plus	LAT 093 9623F
Patrón de Referencia del DM-INACAL	Manómetro Digital 0 bar a 700 bar Clase de Exactitud 0,05	LFP-C-049-2023 Abril 2023

Resultados de calibración

RESULTADOS			
INDICACIÓN DEL EQUIPO BAJO CALIBRACIÓN	INDICACIÓN DEL PATRÓN	ERROR	INCERTIDUMBRE
kgf	kgf	kgf	kgf
2 185	2 215,0	-30,0	0,6
5 090	5 127,5	-37,5	0,7
10 002	10 040,2	-38,2	0,7
15 042	15 081,7	-39,7	0,7
20 150	20 193,1	-43,1	0,7
25 169	25 212,5	-43,5	0,8
30 135	30 181,8	-46,8	0,8
35 060	35 108,5	-48,5	0,9
40 081	40 130,9	-49,9	0,9

Observaciones

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

Incertidumbre expandida ULa incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.**FIN DEL DOCUMENTO**