



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL
CORTE EN JUNTAS TIPO T EN ACERO ASTM A36, CON
SOLDADURA DE FILETE BAJO PROCESO SMAW**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR

MARCO PATRICIO ACUÑA SALTOS

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL
CORTE EN JUNTAS TIPO T EN ACERO ASTM A36, CON
SOLDADURA DE FILETE BAJO PROCESO SMAW**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTOR: MARCO PATRICIO ACUÑA SALTOS

DIRECTOR: Ing. CARLOS OSWALDO SERRANO AGUIAR

Riobamba – Ecuador

2022

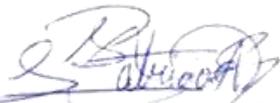
© 2022, Marco Patricio Acuña Saltos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, MARCO PATRICIO ACUÑA SALTOS, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de diciembre del 2022



Marco Patricio Acuña Saltos

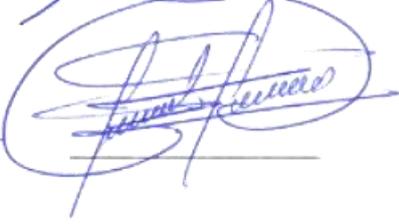
020186513-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA MECÁNICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL CORTE EN JUNTAS TIPO T CON SOLDADURA DE FILETE BAJO PROCESO SMAW EN ACERO ASTM A36**, realizado por: **MARCO PATRICIO ACUÑA SALTOS**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-12-23
Ing. Carlos Oswaldo Serrano Aguiar DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-12-23
Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-12-23

DEDICATORIA

A Dios primeramente por permitirme escribir estas líneas y tener la inmensa alegría de poder dedicarles a mis padres Patricio Acuña y Teresa Saltos, que con una máscara de soldar y bajo una mesa de coser era el niño más feliz del mundo. A mis hermanas Patricia y Estefanía, a mis sobrinos/as que con su inocencia me enseñaron a ver lo bonito de la vida. A mi novia por estar ahí en aquellas veces que quería dejarlo todo.

A todos aquellos que un día me dijeron que no lo lograría se los dedico con todo mi corazón, bendiciones.

¡De niño jugaba a ser soldador, ahora juego a ser el mejor!

Patricio

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de agradecer a todas aquellas personas que contribuyeron en el desarrollo y culminación de este proyecto.

A mis padres Patricio y Teresa que siempre y en todo momento confiaron en mi e incondicionalmente siempre recibí su apoyo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial a la prestigiosa Carrera de Mecánica por darme la oportunidad de forjarme como Ingeniero Mecánico.

Un agradecimiento muy especial a NDT SMART por su valiosa colaboración en el desarrollo de este proyecto técnico.

A mi tutor Ing. Carlos Serrano, asesor Ing. Geovanny Novillo, por su valioso aporte en cada etapa de este proyecto.

Patricio

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
RESUMEN	xiv
SUMMARY.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Planteamiento del problema	2
1.3.	Justificación	3
1.4.	Objetivos	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	5
2.1.	Acero estructural	5
2.2.	Acero ASTM A36	5
2.3.	Propiedades y características de los aceros	6
2.3.1.	<i>Propiedades mecánicas</i>	6
2.3.2.	<i>Resistencia</i>	6
2.3.3.	<i>Elasticidad</i>	6
2.3.4.	<i>Plasticidad</i>	7
2.3.5.	<i>Tenacidad</i>	7
2.3.6.	<i>Dureza</i>	7
2.3.7.	<i>Resiliencia</i>	7
2.3.8.	<i>Soldabilidad</i>	7

2.4.	Ventajas del acero ASTM A36	8
2.5.	Soldadura	8
2.6.	Procesos de soldadura.....	9
2.7.	Proceso de soldadura SMAW.....	9
2.8.	Máquina de soldar por arco eléctrico.....	10
2.9.	Electrodo revestido para proceso SMAW.....	11
2.10.	Electrodo E-6011.....	13
2.11.	Tipos De juntas soldadas.....	14
2.12.	Posiciones de soldadura.....	15
2.13.	Simbología de la soldadura	19
2.14.	Defectos y discontinuidades en la soldadura.....	21
2.14.1	<i>Penetración incompleta</i>	22
2.14.2	<i>Sobre espesor o sobre monta</i>	22
2.14.3	<i>Porosidad</i>	22
2.14.3.1.	<i>Porosidad agrupada</i>	23
2.14.3.2.	<i>Porosidad alineada</i>	23
2.14.4.	<i>Inclusiones de escoria</i>	23
2.14.5	<i>Mordeduras</i>	24
2.14.6	<i>Socavaciones</i>	24
2.14.7	<i>Salpicaduras</i>	24
2.14.8	<i>Golpe de arco</i>	25
2.14.9	<i>Fisuras</i>	25
2.14.10.	<i>Laminaciones</i>	26
2.15.	Soldadura de filete.....	26
2.15.1.	<i>Longitud efectiva</i>	27
2.15.2.	<i>Longitud mínima</i>	27
2.15.3.	<i>Longitud efectiva máxima</i>	27
2.15.4.	<i>Cálculo de la garganta efectiva</i>	28
2.15.5.	<i>Área efectiva</i>	28
2.15.6.	<i>Tamaños mínimos de soldadura de filete</i>	28
2.16.	Resistencia de la soldadura de filete.....	30
2.17.	Soldadura de filete transversal.....	30
2.18.	Soldadura de filete longitudinal.....	31
2.19.	Inspección de calidad en la soldadura.....	31
2.19.1.	<i>Personal técnico para ensayos no destructivos</i>	32
2.20.	Ensayos no destructivos en la soldadura.....	32

2.20.1	<i>Inspección visual</i>	32
2.20.2.	<i>Tintas penetrantes</i>	33
2.20.3.	<i>Partículas magnéticas</i>	33
2.21	Tipos de conexiones de cierta limitación en viga columna	34
2.22	Análisis estructural mediante ANSYS	34
2.22.1.	<i>Método de elementos finitos</i>	35
2.22.2.	<i>Explicit Dynamics</i>	35
2.22.3.	<i>Parámetros de calidad del mallado</i>	36
2.22.4.	<i>Energía Hourglass</i>	37

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	39
3.1.	Materiales, equipos e instrumentos utilizados	39
3.1.1.	<i>Selección del material base</i>	39
3.1.2.	<i>Selección del material de aporte</i>	39
3.1.3.	<i>Cortadora “amoladora”</i>	40
3.1.4.	<i>Selección del proceso de soldadura</i>	41
3.1.5.	<i>Equipo de soldadura</i>	41
3.1.6.	<i>Instrumentos para realizar inspección visual</i>	42
3.1.7.	<i>Instrumentos para realizar inspección mediante tintas penetrantes</i>	42
3.1.8.	<i>Instrumentos para realizar inspección mediante partículas magnéticas</i>	43
3.1.9.	<i>Máquina universal de ensayos Tinius Olsen Super L</i>	43
3.2.	Selección de los espesores a utilizar	44
3.3.	Resistencia de diseño de las soldaduras	46
3.3.1.	<i>Área efectiva en la soldadura de filete</i>	46
3.3.2.	<i>Resistencia de diseño (LRFD) de la soldadura de filete según AISC 360</i>	47
3.3.3.	<i>Resistencia de diseño (LRFD) de la soldadura de ranura según AISC 360</i>	48
3.4.	Unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos	49
3.4.1.	<i>Selección de las uniones viga columna de la primera planta de la Unidad Educativa</i>	50
3.4.1.1.	<i>Conexiones a momento</i>	53
3.4.1.2.	<i>Conexiones simples</i>	53
3.4.2.	<i>Filosofía del diseño de soldadura entre la unión viga columna</i>	53

3.4.3.	<i>Cálculo de conexiones a momento totalmente restringidas para la primera planta de la Unidad Educativa</i>	54
3.4.4.	<i>Resistencia de la soldadura a tensión</i>	55
3.4.5.	<i>Resistencia de la soldadura a cortante</i>	56
3.4.5.1.	<i>Espesor de soldadura requerido</i>	57
3.4.5.2.	<i>Excentricidad para unión no precalificada entre viga columna.....</i>	59
3.4.5.3.	<i>Momento unitario de soldadura de la sección T</i>	58
3.4.6.	<i>Cálculo de esfuerzos resultantes del grupo de soldadura de la sección T</i>	59
3.4.6.1.	<i>Centro de gravedad de la sección T</i>	60
3.5.	Dimensiones de las probetas para los ensayos a corte en la soldadura de filete.....	65
3.6.	Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)	67
3.7.	Preparación de las probetas	68
3.7.1.	<i>Corte de las probetas.....</i>	68
3.7.2.	Probeta de prueba utilizando un espesor de 6 milímetros	70
3.7.2.1.	<i>Resistencia al corte de la soldadura de filete en la probeta de prueba.....</i>	70
3.8.	Dimensiones de la soldadura de filete	71
3.8.1.	<i>Probeta de cuatro milímetros</i>	73
3.8.2.	<i>Probeta de seis milímetros</i>	74
3.8.3.	<i>Probeta de ocho milímetros.....</i>	75
3.9.	Preparación de cupones	75
3.10.	Soldadura en los cupones.....	76
3.11.	Ensayos no destructivos	78
3.11.1.	<i>Ensayo mediante inspección visual</i>	78
3.11.2.	<i>Ensayo mediante tintas penetrantes</i>	80
3.11.3.	<i>Ensayo mediante partículas magnéticas</i>	81
3.12.	Cálculo teórico de la resistencia al corte en las soldaduras de filete según AISC 360	83
3.12.1.	<i>Resistencia al corte de la soldadura de filete para la probeta de 4 mm...</i>	83
3.12.2.	<i>Resistencia al corte de la soldadura de filete para la probeta de 6 mm ..</i>	84
3.12.3.	<i>Resistencia al corte de la soldadura de filete para la probeta de 8 mm...</i>	85
3.13.	Ensayos destructivos en las probetas	85
3.13.1.	<i>Proceso de montaje de los cupones en la máquina universal.....</i>	86
3.14.	Modelación de la soldadura de filete de los cupones en ANSYS.....	87
3.14.1.	<i>Definición del problema</i>	87

3.14.2.	<i>Preproceso</i>	88
3.14.2.1.	<i>Definición del material</i>	88
3.14.2.2.	<i>Geometría SpaceClaim</i>	89
3.14.2.3.	<i>Conexiones (contacts, joints)</i>	90
3.14.2.4.	<i>Mallado del modelo</i>	91
3.14.2.5.	<i>Definición del solver</i>	92
3.14.3	<i>Proceso</i>	92
3.14.4	<i>Post proceso</i>	94
3.15	Análisis de costos	94
3.15.1.	<i>Costos directos</i>	95
3.15.1.1.	<i>Materiales</i>	95
3.15.1.2.	<i>Costo de equipos y herramientas</i>	95
3.15.1.3.	<i>Costo de mano de obra</i>	96
3.15.1.4.	<i>Costo de transporte</i>	96
3.15.1.5.	<i>Costo total directo</i>	96
3.15.2.	<i>Costos indirectos</i>	96

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE	
4.1.	RESULTADOS	98
	Resultado de la resistencia de la soldadura en la unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos	98
4.1.1.	<i>Comprobación de la razón demanda capacidad de los puntos críticos perimetrales de la unidad educativa de tres pisos</i>	100
4.1.2.	<i>Comprobación de la razón demanda capacidad de los puntos críticos internos de la unidad educativa de tres pisos</i>	100
4.2.	Resultado del cupón de prueba utilizando un espesor de 6 mm	101
4.3.	Resultado de los ensayos no destructivos	103
4.3.1.	<i>Resultado de inspección visual</i>	103
4.3.2.	<i>Resultado del ensayo de tintas penetrantes</i>	103
4.3.3.	<i>Resultado del ensayo de partículas magnéticas</i>	103

4.4.	Resultado del ensayo a tracción de la soldadura de filete que actúa al cortante en los cupones	104
4.4.1.	<i>Comparación de resultados de la resistencia al corte de la soldadura de filete entre la resistencia teórica y experimental</i>	107
4.4.2.	<i>Porcentaje de error entre la resistencia teórica y resistencia experimental.....</i>	107
4.4.3.	<i>Comprobación de la resistencia experimental con el cortante de la soldadura de filete de acuerdo con la tabla 4.3 de la AWS D1.1:2020...</i>	108
4.4.3.1.	<i>Factor de resistencia al cortante en las probetas de 4 milímetros</i>	108
4.4.3.2.	<i>Factor de resistencia al cortante en las probetas de 6 milímetros</i>	110
4.4.3.3.	<i>Factor de resistencia al cortante en las probetas de 8 milímetros</i>	111
4.5.	Resultado de la simulación en ANSYS	114
4.5.1.	<i>Resultado de la simulación de la probeta de 4 milímetros en ANSYS ...</i>	114
4.5.2.	<i>Resultado de la simulación de la probeta de 6 milímetros en ANSYS</i>	115
4.5.3.	<i>Resultado de la simulación de la probeta de 8 milímetros en ANSYS</i>	116
4.5.4.	<i>Validación de la simulación mediante la energía de Hourglass</i>	116
4.6.	Extrapolación de resultados	118
4.6.1.	<i>Combinación N°1 entre placa base de 8mm y placas de los extremos de</i>	
4.6.2.	<i>4mm</i>	119
4.6.3.	<i>Combinación N°2 entre placa base de 8mm y placas de los extremos de</i>	
4.6.4.	<i>6mm</i>	120
4.6.5.	<i>Combinación N°3 entre placa base de 6mm y placas de los extremos de</i>	
4.6.6.	<i>4mm</i>	121
4.7.	<i>Combinación N°4 entre placa base de 6mm y placas de los extremos de</i>	
	<i>8mm</i>	122
	<i>Combinación N°5 entre placa base de 4mm y placas de los extremos de</i>	
	<i>6mm</i>	123
	<i>Combinación N°6 entre placa base de 4mm y placas de los extremos de</i>	
	<i>8mm</i>	124
	<i>Discusión de resultados.....</i>	126
	CONCLUSIONES	128
	RECOMENDACIONES	129
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Composición química del acero ASTM A36	5
Tabla 2-2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	5
Tabla 3-2: Características de los electrodos más utilizados.....	12
Tabla 4-2: Requerimientos para metales de relleno con soldadura.....	13
Tabla 5-2: Composición química del metal depositado.....	14
Tabla 6-2: Características típicas del metal depositado	14
Tabla 7-2: Tipos de juntas soldadas.....	15
Tabla 8-2: Soldaduras de filete.	19
Tabla 9-2: Tamaños mínimos para la soldadura de filete.	29
Tabla 1-3: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36	40
Tabla 2-3: Propiedades mecánicas del E-6011	40
Tabla 3-3: especificaciones técnicas de la amoladora 5" 1100W GWS S11-125.....	41
Tabla 4-3: Especificaciones técnicas de la soldadora inverter arcweld 200i-ST DV	42
Tabla 5-3: Resistencia de diseño para soldadura de filete.	47
Tabla 6-3: Resistencia de diseño para soldadura de ranura.	48
Tabla 7-3: Factores de retardo de cortante para conexiones a miembros en tensión	50
Tabla 8-3: Detalles de la junta soldada de filete precalificada.....	51
Tabla 9-3: Dimensiones de los cupones.....	52
Tabla 10-3: Datos para la probeta de prueba	53
Tabla 11-3: Parámetros de soldadura que se utilizó en los cupones.	59
Tabla 12-3: Propiedades del acero ASTM A36.	71
Tabla 13-3: Propiedades del electrodo E-6011.	71
Tabla 14-3: Fuerzas de cada probeta que se aplicó.....	76
Tabla 15-3: Dimensiones de los puntos críticos perimetrales de la primera planta.	79
Tabla 16-3: Dimensiones de los puntos críticos internos de la primera planta.....	80
Tabla 17-3: Extracción de la tabla 10.3 de momento polar y módulos de sección para grupos de soldadura.....	85
Tabla 18-3: Propiedades de sección T del grupo de soldadura de patín superior y alma de la viga principal de los nodos perimetrales.	87
Tabla 19-3: Esfuerzos de soldadura que se producen en la sección T de los puntos perimetrales.	88
Tabla 20-3: Resistencias de diseño requerida de cada viga de los puntos internos.	90
Tabla 21-3: Dimensiones de los puntos críticos internos de la primera planta.....	90
Tabla 22-3: Propiedades de sección de las vigas internas de la primera planta.....	91

Tabla 23-3: Esfuerzos de soldadura que se producen en la sección T de los puntos internos. ..	91
Tabla 24-3: Costos de materiales	92
Tabla 25-3: Costo de máquinas, herramientas e instrumentos.....	93
Tabla 26-3: Costos de mano de obra.....	93
Tabla 27-3: Costos de transporte	93
Tabla 28-3: Costo total directo.....	93
Tabla 29-3: Costos indirectos	94
Tabla 30-3: Costo total.....	94
Tabla 1-4: Ensayo a corte de la soldadura de filete para probetas de 4 mm.	97
Tabla 2-4: Ensayo a corte de la soldadura de filete para probetas de 6 mm.	98
Tabla 3-4: Ensayo a corte de la soldadura de filete para probetas de 8 mm.	99
Tabla 4-4: Comparación entre el ϕR_n teórico y R_n experimental	100
Tabla 5-4: Error porcentual real entre ϕR_n teórico y R_n experimental	101
Tabla 6-4: Comprobación de resultados experimentales de la soldadura de filete de acuerdo con la tabla 4.3 de la AWS D1.1 (2020, P.32)	102
Tabla 7-4: Porcentaje de error entre la Fuerza experimental y la Fuerza de simulación en las probetas.....	107
Tabla 8-4: Resumen de fuerzas en la combinación de cupones.....	118
Tabla 9-4: Propiedades de la columna.	119
Tabla 10-4: Propiedades de la viga principal.....	119
Tabla 11-4: Comprobaciones de los puntos críticos perimetrales de la soldadura por capacidad.	120
Tabla 12-4: Comprobaciones de los puntos críticos internos de la soldadura por capacidad. .	121

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Clasificación de los procesos de soldadura.....	9
Ilustración 2-2: Diagrama esquemático del proceso de soldadura SMAW.....	10
Ilustración 3-2: Equipo de soldadura por arco metálico.....	11
Ilustración 4-2: Partes del electrodo revestido.	12
Ilustración 5-2: Clasificación AWS A5.1.....	12
Ilustración 6-2: Soldadura en posición plana.	15
Ilustración 7-2: Soldadura en posición horizontal.....	16
Ilustración 8-2: Soldadura en posición vertical.	16
Ilustración 9-2: Soldadura en posición sobre cabeza.	16
Ilustración 10-2: Posiciones de soldadura de ranura en placas.	17
Ilustración 11-2: Posiciones de soldadura de ranura en tuberías.....	17
Ilustración 12-2: Posiciones de soldadura de filete en placas.	18
Ilustración 13-2: Posiciones de soldadura de filete.	18
Ilustración 14-2: Denominación de los tipos de soldadura.	19
Ilustración 15-2: Ubicación estándar de los elementos de la simbología en soldadura.....	21
Ilustración 16-2: Penetración incompleta.....	22
Ilustración 17-2: Sobre espesor.	22
Ilustración 18-2: Poros en el cordón.....	23
Ilustración 19-2: Mordeduras.	24
Ilustración 20-2: Socavado.....	24
Ilustración 21-2: Salpicadura excesiva.	25
Ilustración 22-2: Golpe de arco.	25
Ilustración 23-2: Fisura en la soldadura.	26
Ilustración 24-2: Laminación en láminas	26
Ilustración 25-2: Planos y esfuerzos a cortante en la soldadura de filete.	27
Ilustración 26-2: Terminología de la soldadura de filete del proceso SMAW.....	29
Ilustración 27-2: Soldaduras de filete.....	30
Ilustración 28-2: Soldadura de filete cargadas transversalmente.	31
Ilustración 29-2: Longitud mínima de soldaduras de filete longitudinales en el extremo de la placa.	31
Ilustración 30-2: Curvas típicas momento-rotación.	34
Ilustración 31-2: a) Elemento sólido lineal, b) elemento solido parabólico.....	37
Ilustración 1-3: Amoladora BOSCH	41
Ilustración 2-3: Soldadora inverter arcweld 200i-ST DV.....	42

Ilustración 3-3: Instrumentos para la inspección visual	42
Ilustración 4-3: Kit de tintas penetrantes.....	43
Ilustración 5-3: Kit para inspección mediante partículas magnéticas	43
Ilustración 6-3: Máquina Universal.....	44
Ilustración 7-3: Vista de corte del pórtico de fachada de la Unidad Educativa de tres pisos. ...	45
Ilustración 8-3: Dimensiones de viga principal y columna.	45
Ilustración 9-3: Identificación del material base y material de aporte.	45
Ilustración 10-3: Longitud y área efectiva de una soldadura de filete	45
Ilustración 11-3: Espécimen de prueba para tracción.....	49
Ilustración 12-3: Soldadura de filete para unión traslapada y unión en T respectivamente	51
Ilustración 13-3: Corte para conformar las probetas.	52
Ilustración 14-3: Dimensiones de los cupones para espesores de 4, 6, 8 mm	53
Ilustración 15-3: Probeta de prueba ensayada al corte en las soldaduras de filete.	54
Ilustración 16-3: Fuerza que actúa en la placa menor.	55
Ilustración 17-3: Preparación de cupones.....	59
Ilustración 18-3: Cupones de 4 mm.	60
Ilustración 19-3: Cupones de 6 mm.	60
Ilustración 20-3: Cupones de 8 mm.	61
Ilustración 21-3: Medición de espesores.	62
Ilustración 22-3: Control de garganta:.....	62
Ilustración 23-3: Longitud de soldadura.	62
Ilustración 24-3: Inspección post soldadura.	63
Ilustración 25-3: Aplicación de tinta penetrante.	64
Ilustración 26-3: Ampliación del revelador.....	64
Ilustración 27-3: Aplicación pintura de contraste WCP-81.	65
Ilustración 28-3: Aplicación de partículas Magnéticas.	65
Ilustración 29-3: Todos los cupones ensayados mediante NDT.	66
Ilustración 30-3: Montaje de probeta de 4 mm.	69
Ilustración 31-3: Montaje de probeta de 6 mm.	69
Ilustración 32-3: Montaje de probeta de 8 mm.	70
Ilustración 33-3: Geometría y definición de cada elemento.....	72
Ilustración 34-3: Asignación del material a las placas	72
Ilustración 35-3: Asignación del material a los cordones de soldadura	72
Ilustración 36-3: Aplicación de "contacts-bonded".....	73
Ilustración 37-3: Restricción de placa superior e inferior	73
Ilustración 38-3: Probeta de 4mm, detalles del mallado y modelo geométrico.	74
Ilustración 39-3: Probeta de 6mm, detalles del mallado y modelo geométrico.	75

Ilustración 40-3: Probeta de 8 mm, detalles del mallado y modelo geométrico.	75
Ilustración 41-3: Solución computacional, probeta de 4 mm.....	76
Ilustración 42-3: Solución computacional, probeta de 6 mm.....	77
Ilustración 43-3: Solución computacional, probeta de 8mm.....	77
Ilustración 44-3: Soldadura en la unión viga columna.	78
Ilustración 45-3: Puntos críticos de las uniones viga columna.....	79
Ilustración 46-3: Dimensiones de la columna.	80
Ilustración 47-3: Dimensiones de la viga.	81
Ilustración 48-3: Análisis de los esfuerzos presentes en la garganta de la soldadura.	82
Ilustración 49-3: Soldadura en T, cargada a cortante más tensión.	83
Ilustración 50-3: Ubicación de la excentricidad (acogiendo el criterio de conexiones no precalificadas)	85
Ilustración 51-3: Nomenclatura del grupo de soldadura de la sección T	86
Ilustración 1-4: Probeta de prueba.....	95
Ilustración 2-4: Diagrama esfuerzo vs deformación de la probeta de prueba.	96
Ilustración 3-4: Cupones de 4mm después del ensayo a tracción.	98
Ilustración 4-4: Cupones de 6mm después del ensayo a tracción	99
Ilustración 5-4: Cupones de 8mm después del ensayo a tracción	100
Ilustración 6-4: Evidencia del corte en la soldadura de filete en el cupón de 4mm.	103
Ilustración 7-4: Fuerza registrada en el cupón de 4 mm.	103
Ilustración 8-4: Evidencia del corte en la soldadura de filete en el cupón de 6mm.	104
Ilustración 9-4: Fuerza registrada en el cupón de 6 mm.	104
Ilustración 10-4: Evidencia del corte en la soldadura de filete en el cupón de 8 mm.	105
Ilustración 11-4: Fuerza registrada en el cupón de 8 mm.	105
Ilustración 12-4: Esfuerzo máximo registrado en el cupón de 4mm.....	106
Ilustración 13-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, cupón de 4mm.....	108
Ilustración 14-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, cupón de 6mm.....	108
Ilustración 15-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, cupón de 8mm.....	109
Ilustración 16-4: Resumen de energías, probeta de 4mm.....	110
Ilustración 17-4: Resumen de energías, probeta de 6mm.....	110
Ilustración 18-4: Resumen de energías, probeta de 8mm.....	111
Ilustración 19-4: Denominación de placas para la combinación de resultados.	111
Ilustración 20-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °1	112
Ilustración 21-4: Fuerza aplicada en la combinación N°1.....	112
Ilustración 22-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °2	113
Ilustración 23-4: Fuerza aplicada en la combinación N°2.....	113
Ilustración 24-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °3	114

Ilustración 25-4: Fuerza aplicada en la combinación N°3.....	114
Ilustración 26-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °4	115
Ilustración 27-4: Fuerza aplicada en la combinación N°4.....	115
Ilustración 28-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °5	116
Ilustración 29-4: Fuerza aplicada en la combinación N°5.....	116
Ilustración 30-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °6	117
Ilustración 31-4: Fuerza aplicada en la combinación N°6.....	117
Ilustración 32-4: Unión viga columna.....	118
Ilustración 33-4: Simbología de soldadura.....	121

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PLANO APROBADO DE LAS DIMENSIONES DE LAS PROBETAS.
- ANEXO B:** WPS (ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA)
- ANEXO C:** WPQ (CALIFICACIÓN DE LA HABILIDAD DEL SOLDADOR)
- ANEXO D:** REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL
- ANEXO E:** REPORTE DE INSPECCIÓN MEDIANTE TINTAS PENETRANTES
- ANEXO F:** REPORTE DE INSPECCIÓN MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS
- ANEXO G:** INFORME DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES.
- ANEXO H:** REPORTE DE ANSYS PROBETA DE 4 MILÍMETROS
- ANEXO I:** REPORTE DE ANSYS PROBETA DE 6 MILÍMETROS
- ANEXO J:** REPORTE DE ANSYS PROBETA DE 8 MILÍMETROS
- ANEXO K:** VISTA DE PLANTA DEL PRIMER PISO DE LA UNIDAD EDUCATIVA
- ANEXO M:** HOJA ELECTRÓNICA PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A LA SOLDADURA EN LA UNIÓN VIGA COLUMNA DE UNA UNIDAD EDUCATIVA DE TRES PISOS.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo la evaluación experimental de la resistencia al corte en soldaduras de filete en acero ASTM A36 bajo el proceso SMAW. La geometría de los cupones se los realizó conforme a lo establecido en la norma ASME IX parte QB y se aplicó el código de soldadura AWS D1.1 2020. Se realizó experimentalmente nueve cupones de diferentes espesores de 4, 6 y 8 milímetros mediante un ensayo a tracción y se realizó una simulación en ANSYS para obtener la validación de los cupones ensayados. Se verificó las soldaduras mediante cálculo manual y una hoja electrónica “Excel” de las uniones entre viga columna, se tomó en cuenta puntos críticos periféricos e internos de la primera planta de una unidad educativa de tres pisos donde las conexiones periféricas están sometidas a cortante más tensión mientras que las conexiones internas están sometidas a cortante. El proceso de soldadura se respaldó con un WPS, una vez aplicado los cordones de soldadura se realizaron ensayos mediante tintas penetrantes, partículas magnéticas e inspección visual a fin de descartar defectos. Se calculó el error porcentual de la resistencia al corte entre el valor teórico y valor experimental donde se obtuvieron errores del 2,13%, 1,04% y 9,5% para los cupones de 4, 6 y 8 milímetros respectivamente, se validó en ANSYS a través del principio de la energía de Hourglass en donde también se tuvieron errores por debajo del 10%. Se concluye que la unión típica que se realiza entre viga columna en nuestro medio no es lo adecuado, sin embargo, mediante los ensayos experimentales que se realizaron en los cupones extraídos de las dimensiones geométricas de las uniones viga columna se determinó que la capacidad de la soldadura es mayor a la demanda solicitada. Se recomienda hacer uso de conexiones precalificadas.

Palabras claves: <RESISTENCIA AL CORTE> <PROCESO SMAW> <ANSYS>
<HOURLASS> <ACERO ASTM A36>

0144-DBRA-UPT-2023



SUMMARY

This work had as objective the experimental evaluation of the resistance to cutting in fillet welds in ASTM A36 steel with SMAW process. The geometry of the coupons was carried out in accordance with the provisions of the ASME IX part QB standard and the AWS D1.1 2020 welding code was applied. Nine coupons of different thicknesses of 4, 6 and 8 mm were experimentally made through a test tensile and a simulation was carried out in ANSYS to obtain the validation of the tested coupons. The welds were verified by manual calculation and an "Excel" electronic sheet of the joints between the beam column, peripheral and internal critical points of the first floor of a three-story educational unit were taken into account. The peripheral connections are subjected to shear plus tension while the internal connections are under shear. The welding process was supported with a WPS. Once the weld seams were applied, tests were carried out using penetrating inks, magnetic particles and visual inspection in order to rule out defects. The percentage error of the resistance to cutting between the theoretical value and the experimental value was calculated, where errors of 2,13%, 1,04% and 95% were obtained for the coupons of 4, 6 and 8 mm respectively. It was validated in ANSYS through the principle of the energy of Hourglass where there were also errors below 10%. It is concluded that the typical union that is made between beam-column in our environment is not adequate. However, through the experimental tests that were carried out on the coupons extracted from the geometric dimensions of the beam-column joints. It was determined that the capacity of the welding is greater than the requested demand. It is recommended to use of pre-qualified connections.

Keywords: <CUT RESISTANCE> <FILLET WELD> <ASTM A36 STEEL> <SMAW PROCESS> <ANSYS (SOFTWARE)>



Lic. Sandra Paulina Porrás Pumalema
C.I.0603357062

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de integración curricular presenta un proceso de evaluación experimental de la resistencia al corte en juntas tipo T con soldadura de filete bajo el proceso SMAW en acero ASTM A36, en nuestro país actualmente las construcciones en estructura metálica han abarcado un gran campo ocupacional y profesional, en donde las uniones de los elementos estructurales dependiendo de diferentes factores como el diseño estructural, el funcionamiento, el uso que se le vaya a destinar se pueden emplear de dos maneras ya sea mediante soldadura o pernos, en algunos casos se pueden utilizar las dos maneras anteriormente mencionadas, en esta investigación se evaluará la resistencia al corte en las soldaduras de filete mediante el proceso de soldadura SMAW. La soldadura de filete se utiliza tanto para juntas tipo T o juntas traslapadas, cabe mencionar que la soldadura de filete siempre está presente en las diferentes construcciones metálicas con una mayor aplicación en las uniones entre viga columna.

En el presente trabajo se evaluó experimentalmente el comportamiento de la soldadura de filete en cupones de ensayo a tracción según la norma ASME sección IX parte QB y seguidamente se validaron los resultados experimentales mediante ANSYS para posteriormente realizar el cálculo manual de la soldadura y la elaboración de una hoja electrónica de las uniones periféricas y uniones internas de la primera planta de una unidad educativa de tres pisos.

Para evaluar experimentalmente la resistencia al corte en soldaduras de filete en acero ASTM A36 bajo el proceso SMAW, primeramente, se prepararon los cupones de acuerdo con la norma ASME sección IX parte QB seguido a ello se procedió con la aplicación de la soldadura en los cupones en donde se realizaron ensayos no destructivos y ensayos destructivos para de esta manera obtener los resultados experimentales de los cupones y poder validarlos mediante ANSYS, luego de ello se verificó mediante cálculo manual y una hoja electrónica la resistencia al corte entre viga columna de ciertas uniones periféricas e internas.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

Uno de los aspectos más importantes en el diseño de estructuras de acero es la elección adecuada de las diversas uniones estructurales para brindar seguridad a dichas estructuras. La solución de como conectar ciertos elementos estructurales depende de muchos factores, tales como, criterio y experiencia del estructuralista, del fabricante y del constructor, una estructuración desde la concepción del proyecto, forma y tamaño de piezas a conectar, la magnitud y distribución de los esfuerzos actuantes en los elementos estructurales afectados, tipo de unión (soldada o empernada), y características físicas y químicas del material de los miembros estructurales (Chazaro, 2019, p. 2). La soldadura de filete es la utilizada con más frecuencia, especialmente para cargas ligeras, por ser las más económicas, ya que requiere de poca preparación del material de la placa. Además, se ha demostrado experimentalmente, que la soldadura de filete es más resistente a la tracción y a la compresión que al corte. Aunque una longitud de soldadura pueda cargarse en cualquier dirección en cortante, compresión o tracción, un filete de soldadura es más débil en cortante y por tanto siempre se supondrá que falla por cortante sobre un plano a través de la garganta de la soldadura (Guachón, 2009, p.39).

El área efectiva de una soldadura de filete se considera como la longitud de soldadura multiplicada por la garganta efectiva. La garganta efectiva de una soldadura de filete es la menor distancia de la nariz hasta la superficie de la soldadura, el tamaño mínimo del espesor de soldadura de filete no será menor que el que se requiere para resistir las fuerzas calculadas, ni menor que el tamaño que se muestra en tablas de acuerdo a la norma AWS D1.1 (Guachón, 2009, p. 42)

1.2. Planteamiento del problema

En la actualidad en nuestro país las construcciones en estructura metálica han alcanzado un gran crecimiento en el sector de la construcción, donde se han efectuado edificaciones tanto privadas como públicas que no presentan un método de construcción adecuado en las uniones viga columna, por lo que se pretende aportar con una validación de datos entre valores teóricos y valores experimentales de la resistencia al corte de la soldadura de filete que está presente en dichas uniones. Dicha unión es la encargada de resistir los esfuerzos de corte y momentos flectores que se transfiere de la viga a la columna donde las alas y alma son soldadas directamente. Vale la pena

aclarar que la soldadura directa entre viga columna no es lo correcto sin embargo se lo sigue realizando, lo adecuado es utilizar conexiones precalificadas.

1.3. Justificación

En la actualidad las construcciones en estructura metálica han aumentado considerablemente y han abarcado un gran campo como construcciones de viviendas, colegios, hospitales, residencias, edificios, etc., aportando en el desarrollo del país sin embargo no se ha evaluado experimentalmente algo que es muy importante a la hora de hacer una unión entre viga columna que es la soldadura de filete bajo el proceso SMAW, en este tipo de uniones la soldadura de filete actúa al cortante.

Con la realización de este estudio se pretende obtener los resultados experimentales realizadas a probetas de acero ASTM A36, para ello contamos con normas de referencia que establecen procedimientos de soldadura que cumplan con los requisitos para su posterior evaluación mediante ensayos destructivos aplicadas a las probetas anteriormente mencionadas, como principales normas se tendrá la AWS D1.1:2020 “Sociedad Americana de Soldadura”, ASME:2019 sección IX – parte QB “Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos”, AISC 360:2010 “Instituto Americano de Construcción en Acero”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar experimentalmente la resistencia al corte en juntas tipo T con soldadura de filete bajo el proceso SMAW en acero ASTM A36.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar los espesores de las probetas para los ensayos destructivos.
- Obtener las probetas en acero ASTM A36 utilizando el proceso SMAW, de acuerdo con la norma ASME sección IX – parte QB.
- Calcular manualmente la resistencia a corte en soldaduras de filete en T con aplicación a las uniones viga columna y elaborar una hoja de cálculo que se validará con aplicación a una unidad educativa de tres pisos.
- Evaluar mediante ensayos no destructivos en la soldadura de las probetas, de acuerdo a la norma AWS D1.1 a fin de descartar defectos en la soldadura.
- Ensayar a corte en la soldadura de las probetas mediante ensayos destructivos.
- Validar mediante software basado en elementos finitos, los resultados obtenidos manualmente y experimentalmente de la resistencia al corte en las soldaduras de filete de las probetas ensayadas.
- Analizar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO

En el presente capítulo se hace un breve repaso de las definiciones del acero estructural ASTM A36, el proceso de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido (SMAW) y el uso de ANSYS.

2.1. Acero estructural

La sección de aceros estructurales es una de la gama más grande ya que tienen una gran variedad de usos y formas, centrándonos en esta familia de aceros estructurales, son productos cuya característica principal es la de asegurar una excelente propiedad mecánica tales como (límite elástico, resistencia a la tracción, alargamiento, tenacidad, resistencia a la fatiga, etc.). El bajo contenido de carbono hace que se aumenten la gama de diseños realizables con estos materiales. A continuación, se detallará más sobre el acero estructural normalizado por la norma ASTM A36, el cual es el material a usar en este trabajo de tesis.

2.2. Acero ASTM A36

La ASTM A36 (1997, p.1) menciona que la especificación de la norma cubre formas, placas y barras de acero al carbono de calidad estructural para el uso en las construcción de puentes, edificios remachados, atornillados o soldados, y para fines estructurales; cuando se vaya a soldar el acero, se utilizará un procedimiento de soldadura adecuado para el grado del acero y el uso o servicio previsto.

Tabla 1-2: Composición química del acero ASTM A36

Composición Química					
%C	%Mn	%Si	%p	%S	%Cu
0.25	-	0.40	0.04	0.05	0.20

Fuente: (ASTM A36, 1997, p. 2)

Tabla 2-2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A36

Propiedades mecánicas		
Resistencia a la ruptura por tensión, Fu (Mpa)	Esfuerzo de fluencia, Fy (Mpa)	Dureza Brinell (HB)
400 - 550	250	120 - 135

Fuente: (ASTM A36, 1997, p. 2)

El acero ASTM A36 es un material que por sus buenas características y propiedades se ha convertido en el más usado por la industria ecuatoriana utilizado en la construcción de estructuras metálicas, puentes, torres de energía, edificaciones remachadas o soldadas. Este acero es el resultado de la composición de diferentes elementos químicos, siendo el más importante y mayor cantidad el hierro convirtiéndose en el soluto y el de menos presencia el carbón, el cual, no supera el 1,2% en peso de la composición, por lo general, alcanza porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%, lo que facilita el proceso de moldeo de este acero (Altamirano y Calva, 2019, p. 12).

2.3. Propiedades y características de los aceros

Todos los materiales de acero poseen propiedades y características inherentes que los diferencian entre sí, entre las principales propiedades se tienen: eléctricas, magnéticas, mecánicas, químicas físicas y térmicas, como ya se mencionó están en función de su composición (Telenchana, 2013, p.10).

2.3.1. Propiedades mecánicas

En términos de sus propiedades mecánicas, el acero A-36 está diseñado para ser resistente y fuerte. Tiene una resistencia máxima a la tracción de 58,000 a 79.800 libras por pulgada cuadrada (psi) (10.355 a 14.247 kg / cm²). El límite de elasticidad, o la cantidad de presión que se necesita para doblar el acero hasta el punto en que no retorne a su forma original, es de 36.300 psi (6.481 kg/cm²). El alargamiento, o la cantidad de estiramiento del acero es capaz de resistir sin romperse, es del 20%. Las principales propiedades mecánicas del acero:

2.3.2. Resistencia

Es un factor decisivo del acero de responder a eventos extremos. En algunos casos hay cargas no previstas que se aplican a la estructura, pero no son solo un aumento de las cargas consideradas en el cálculo, sino que las estructuras experimentan transiciones inesperadas que llevan a sus elementos al pasar de la compresión a la tracción.

2.3.3. Elasticidad

Es la capacidad de un cuerpo para volver a su forma inicial al dejar de actuar la fuerza que lo deformó (Telenchana, 2013, p.10).

2.3.4. Plasticidad

Es la capacidad de deformación de un metal antes que se rompa; si la deformación se produce por alargamiento se denomina ductilidad y por compresión, se llama maleabilidad. La elasticidad y la plasticidad coexisten, ya que todos los materiales se caracterizan por un comportamiento elástico, hasta cierto punto.

2.3.5. Tenacidad

Un material tenaz puede sufrir cierta deformación al absorber un impacto repentino, mientras que un material muy tenaz poseerá una elevada resistencia a la deformación, así como una elevada ductilidad (habilidad para cambiar de forma sin llegar a quebrarse). La cualidad de tenacidad se opone a la de fragilidad.

2.3.6. Dureza

La dureza define la habilidad de un material para resistir una deformación o cambio permanente cuando está expuesto a peso, o resistencia al corte, al arañado u otras formas de abrasión. Por lo general, cuanto más duro es un material mayor es su resistencia.

2.3.7. Resilencia

Es la capacidad que presentan los materiales para absorber energía por unidad de volumen en la zona elástica (Telenchana, 2013, p.11).

2.3.8. Soldabilidad

La soldabilidad es la facilidad con la que se puede efectuar la unión soldada sin producir propiedades mecánicas indeseables como son la dureza que está relacionada con la fragilidad y la pérdida de ductilidad y tenacidad en un acero; la soldabilidad, es inversamente proporcional al carbono equivalente. Por lo general, los aceros con bajos valores de CE (por ejemplo, de 0.2 a 0.3) poseen una soldabilidad excelente, pero cuando este valor excede de 0.40, la soldabilidad en términos de la susceptibilidad al agrietamiento o el aumento de la dureza por templado, disminuye considerablemente (Diaz, 2009, p. 51-52).

Es la capacidad de un metal o combinación de metales para ser soldados bajo condiciones de fabricación en un diseño específico y apropiado de una estructura y para desempeñar satisfactoriamente el servicio deseado (Ruiz, 1993, p.12).

2.4. Ventajas del acero ASTM A 36

- *Alta resistencia.* - la alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras en relación al concreto, esto es de gran importancia en puentes de grandes claros.
- *Uniformidad.* – las propiedades de los aceros no cambian apreciablemente con el tiempo como en el caso de las estructuras de concreto reforzado.
- *Durabilidad.* – si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado duraran indefinidamente.
- *Ductilidad.* – la ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión, la naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- *Tenacidad.* – los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades y que esta no le afecte en su totalidad.
- *Facilidad.* – gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches.
- *Prefabricación.* – tiene la posibilidad de prefabricar elementos estructurales disminuyendo de esta manera el tiempo de construcción.
- *Rapidez de montaje.* – por su fácil maniobrabilidad usando equipos pesados como plumas, grúas, brazos hidráulicos, etc., se optimiza el tiempo de manera significativa al ensamblar los elementos estructurales.
- *Económica.* – para las construcciones metálicas el valor de este tipo de acero es el más económico y el más utilizado en la industria de la construcción

2.5. Soldadura

Una soldadura se produce cuando las piezas separadas de material que se van a unir se combinan y forman una pieza al ser calentadas a una temperatura lo suficientemente alta como para causar ablandamiento o fusión y fluyen juntas. Se puede utilizar o no presión para unir las piezas, la presión sola puede ser suficiente para forzar a que las piezas de material separadas se combinen

y formen una sola pieza, cuando es necesario se agrega material de aportación para formar una soldadura completa en la junta (Jeffus, 2009, p. 5).

2.6. Procesos de soldadura

Una forma íntima de lograr el contacto íntimo de dos o más superficies metálicas para la producción de una soldadura por medio de calor y/o presión, es someter las mismas a una presión recíproca; si ésta es de magnitud adecuada, será capaz de romper las capas de óxido y humedad por lo que podrá deformar la superficie, logrando así el contacto necesario. Este proceso puede o no ser asistido por energía térmica, debe de tenerse en cuenta que la temperatura del proceso debe mantenerse por debajo del punto de fusión de los materiales que intervienen. Otro camino para lograr la soldadura es emplear energía térmica para fundir localmente los metales que se desean unir, son múltiples las posibilidades de aplicación de estos procesos de soldadura. Su campo de aplicación depende del material a soldar, de su espesor, de los requisitos que debe satisfacer la soldadura y del tipo de construcción. La selección del proceso más favorable, adecuado y económico de soldadura es en base al conocimiento de tal manera para obtener una soldadura sana. Los procesos de soldadura más populares son la soldadura con oxiacetileno (OAW), la soldadura por arco metálico protegido (SMAW), con frecuencia llamada soldadura con electrodo, la soldadura por arco bajo gas protector con electrodo de tungsteno (GTAW), la soldadura por arco bajo gas protector metálico (GMAW), la soldadura por arco con núcleo de fundente (FCAW), la soldadura por arco sumergido (SAW) (Jeffus, 2009, p.8).

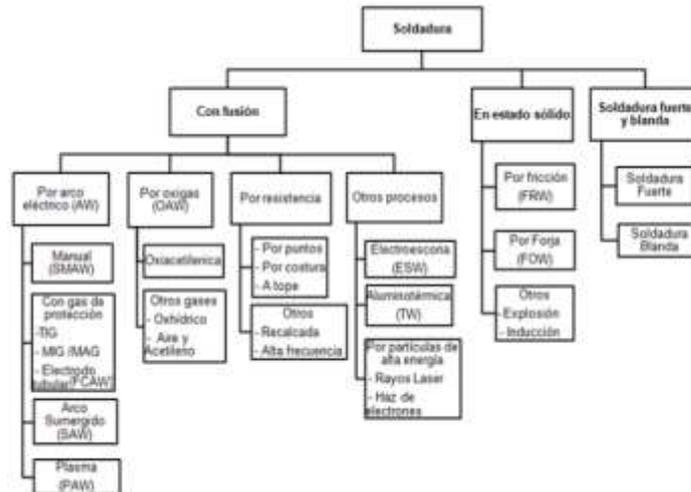


Ilustración 1-2: Clasificación de los procesos de soldadura

Fuente: (Telenchana, 2013, p.32)

2.7. Proceso de soldadura SMAW

Fue el primer método aplicado con grandes resultados, consiste en la utilización de un electro con un determinado recubrimiento, según sea las características específicas, se hace circular un

determinado tipo de corriente eléctrica, ya sea esta de tipo alterna o directa. Se establece un corto circuito entre el electrodo y el material base que se desea soldar o unir, al iniciar el arco eléctrico se genera una atmosfera que permite la protección del proceso para evitar la penetración de humedad y posibles elementos contaminantes.

La selección de un material de aporte para una determinada unión de soldadura se basa fundamentalmente en la igualación de resistencia y la similitud de composición química del metal base, la igualación de resistencia es frecuentemente aplicada en la soldadura de aceros estructurales mientras que la similitud de composición química se aplica en aceros aleados que ofrecen propiedades específicas relacionadas con su funcionamiento, a lo anteriormente dicho, el electrodo revestido usado en el proceso de soldadura, es un metal de aporte que consiste en una varilla metálica recubierta por una combinación de materiales.

La AWS, ASME, ASTM, establecen normas para la selección de electrodos revestidos, entre las especificaciones e incluyen: Propiedades mecánicas, físicas y químicas del metal depositado, dimensiones y porcentaje de aleación (Flores, 2016, p.2).



Ilustración 2-2: Diagrama esquemático del proceso de soldadura SMAW

Fuente: (Flores, 2016, p.2)

2.8. Máquina de soldar por arco eléctrico

Son máquinas eléctricas, de las cuales se exige además de la suficiente potencia las características favorables y necesarias para el fácil encendido y mantenimiento del arco eléctrico, características que son indispensables para una buena soldadura. Una vez iniciado el arco, debe permitir una conversión automática e instantánea del voltaje en vacío a un voltaje de trabajo, que permita mantener el arco “voltaje de trabajo es el que proporciona la maquina cuando el arco esta encendido; varía de 17 a 45 voltios”, la máquina debe permitir la regulación de la intensidad de corriente o amperaje necesario para soldar; ese amperaje varía según el diámetro, espesor de la pieza, posición del trabajo, diámetro del electrodo, condiciones de trabajo, etc. Además de las

características señaladas, una fuente de poder o máquina de soldar debe reunir las condiciones de resistencia y solidez, que le permita trabajar aun estando sometida a las más duras exigencias y según las condiciones en que se desenvuelven la labor del soldador (Oerlikon, 2003, p.27).

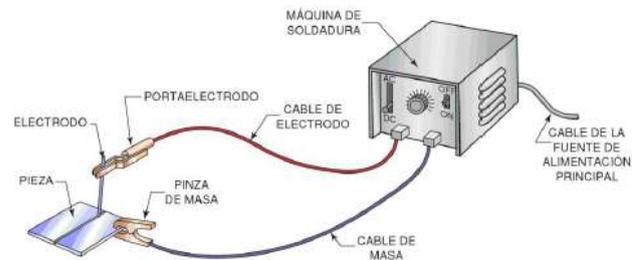


Ilustración 3-2: Equipo de soldadura por arco metálico protegido

Fuente:(Jeffus, 2009, p.10)

2.9. Electrodo revestido para proceso SMAW

El electrodo consiste en un núcleo o varilla metálica, rodeado por una capa de revestimiento, donde el núcleo es transferido hacia el metal base a través de una zona eléctrica generada por la corriente de soldadura; el revestimiento del electrodo, que determina las características mecánicas y químicas de la unión, está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que cumplen las siguientes funciones:

- Producir gases protectores para evitar la contaminación atmosférica y gases ionizantes para dirigir y mantener el arco.
- Producir escoria para proteger el metal ya depositado hasta su solidificación.
- Suministrar materiales desoxidantes, elementos de aleación y hierro en polvo (INDURA, 2007, p.29).

Para poder realizar el proceso de soldadura al arco eléctrico con electrodo recubierto, se dispone de una gran diversidad de tipos de electrodos, cada uno de ellos se selecciona en base al material de que está constituido su núcleo, así como por su tipo de recubrimiento y además por el diámetro del electrodo. La AWS. (American Welding Society) ha normalizado su diseño y utilización (Flores, 2016, p.4).

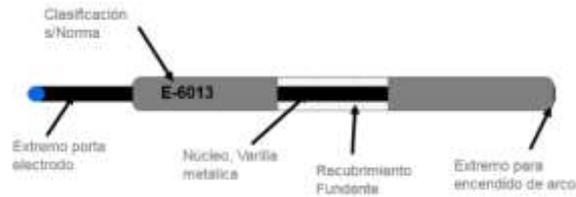


Ilustración 4-2: Partes del electrodo revestido

Fuente: (INDURA, 2007, p.40)

Para poder realizar este proceso de soldadura al arco con electrodo revestido, se dispone de una gran diversidad de tipos de electrodos, cada uno de ellos se selecciona en base al material del que está constituido su núcleo, así como por su tipo de recubrimiento y además por el diámetro del electrodo. La AWS. (American Welding Society) ha normalizado su diseño y utilización.



Ilustración 5-2: Clasificación AWS A5.1 para electrodos.

Fuente: (Altamirano y Calva, 2019, p.17)

En la construcción de estructuras de acero estructural A36, los electrodos más utilizados son:

Tabla 3-2: Características de los electrodos más utilizados

Electrodo	Resistencia especificada a la tracción		Esfuerzo de fluencia del metal base	
	Fu (ksi)	Fu (kg/cm ²)	Fy (ksi)	Fy (kg/cm ²)
E 60	60	4230	≤ 42	≤ 2960
E 70	70	4930	≤ 55	≤ 3870

Fuente: (Guachón, 2009, p.29)

Según AISC 360, J2-6, la elección del electrodo para uso de soldaduras con penetración completa, con el área efectiva sujeta a tracción normal deberá cumplir completamente con los

requerimientos para metales de relleno con soldadura dados en AWS D1.1 (Capa Guachón, 2009, p.29).

Tabla 4-2: Requerimientos para metales de relleno con soldadura.

Metal base		Material de soldadura
A36 \leq 3/4 pulg de espesor		Electrodos de 60 & 70 ksi
A36 \leq 3/4 pulg	A572 (Gr. 50 & 55)	SMAW: Soldadura de acero con electrodo protegido: E7015, E7018, E7028
	A913 (Gr. 50)	
A588*	A992	
A1011	A1018	Otros procesos: Electrodos 70 ksi
A913 (Gr. 60 & 65)		Electrodo 80 ksi
* Para resistencia a la corrosión ver AWS D1.1 sección 3.7.3		

Fuente: (AISC 360, 2010, p.117)

Se deberá tener en cuenta que en las soldaduras el material del electrodo deberá contar con propiedades del material base, si las propiedades son comparables se puede decir que el metal de aportación es compatible.

2.10. Electrodo E-6011

El electrodo 6011 posee un revestimiento de tipo celulósico diseñado para ser usado de corriente alterna, pero también se le puede usar con corriente continua, electrodo positivo. La rápida solidificación del metal depositado facilita la posición de la soldadura en posición vertical y sobre cabeza, el arco puede ser dirigido fácilmente en todas las posiciones de soldadura, permitiendo altas velocidades de deposición (soldadura), las características del electrodo E-6011 es un electrodo ideal para soldar aceros dulces o al carbono, es un electrodo que se puede utilizar en todas las posiciones de soldadura, la corriente es continua electrodo positivo (CCEP), o a su vez corriente alterna. El uso de este electrodo es apto para ser utilizado en todas las aplicaciones de soldadura en acero al carbono en donde sus aplicaciones típicas son: cordón de raíz en cañerías, cañerías de oleoductos, reparaciones generales, estructuras metálicas, planchas galvanizadas, embarcaciones, estanques, obras de construcción; su almacenamiento es a temperatura ambiente (INDURA, 2014, p.1).

Tabla 5-2: Composición química del metal depositado

Composición química del metal depositado	
C	0.11%
Mn	0.41%
Si	0.23%
P	0.010%
S	0.017%

Fuente: (INDURA, 2014, p.1)

Tabla 6-2: Características típicas del metal depositado

Características típicas del metal depositado	
Límite de fluencia	424 Mpa
Resistencia a la tracción	495 Mpa
Agrietamiento en 50 mm	27%
Energía Absorbida	34 J a - 30 °C

Fuente: (INDURA, 2014, p.1)

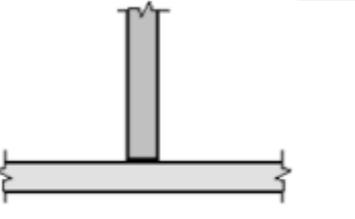
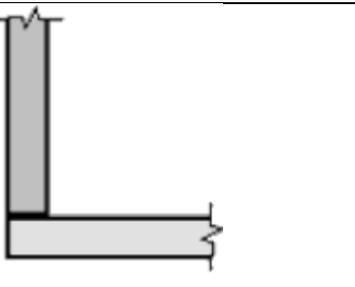
2.11. Tipos de juntas soldadas

Los tipos de juntas se aplican de acuerdo al tipo de conexión soldada que deben estar diseñadas para cumplir con los requisitos de resistencia y rigidez o flexibilidad de las especificaciones generales (AWS D1.1, 2020, p. 23).

Cada junta se diferencia debido al ángulo o por el tipo de bisel que presenta, los tipos de juntas dependen de factores como el tamaño, la forma de los miembros que conforman la junta, el tipo de carga la cantidad de área en la junta para soldar y el costo relativo del tipo de soldadura (Telenchana, 2013, p. 42).

Existen dos tipos de juntas que se pueden aplicar en perfiles de planchas metálicas o tuberías estas pueden ser de junta tipo ranura o junta tipo filete, cada una tiene su denominación en el caso de ranura se representa por la letra “G” mientras que, en el caso de filete se representa con la letra “F”; esto nos ayudara a identificar en los planos de detalle el tipo de junta y la posición que se va a utilizar acompañado de un número identificando el tipo de posición de soldadura.

Tabla 7-2: Tipos de juntas soldadas.

Junta a tope	
Junta en T	
Junta de traslape	
Junta de esquina	
Junta de borde	

Fuente: (Telenchana, 2013, p.43)

2.12. Posiciones de soldadura

En la ejecución del cordón de soldadura, aparecen piezas que no pueden ser colocadas en posición cómoda para el soldador, en estas posiciones hacemos uso correcto del movimiento del electrodo para obtener una soldadura de calidad; según el plano de referencia son establecidas cuatro posiciones (Wetsarco, 2015, p.38).

- Posición plana, es aquella en que la soldadura está debajo de la mano y el metal se deposita sobre un plano horizontal, la ejecución de los cordones en esta posición es más fácil y económica.

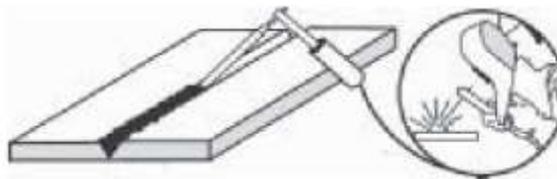


Ilustración 6-2: Soldadura en posición plana.

Fuente: (Oerlikon, 2003, p.56)

- b) Posición horizontal, los elementos a soldar se colocan de manera vertical y el cordón se ejecuta horizontalmente.

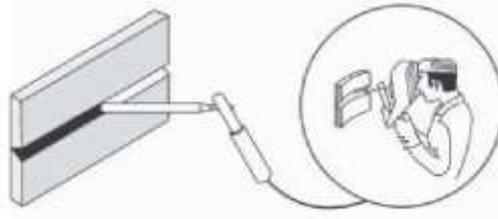


Ilustración 7-2: Soldadura en posición horizontal.

Fuente: (Oerlikon, 2003, p.57)

- c) Posición vertical, los elementos a soldar se colocan de manera vertical y los cordones también se ejecutan siguiendo la dirección de un eje vertical, la soldadura puede hacerse en forma ascendente o descendente.

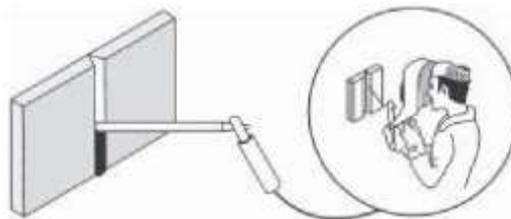


Ilustración 8-2: Soldadura en posición vertical.

Fuente: (Oerlikon, 2003, p.57)

- d) Posición sobre cabeza, los elementos a soldar están colocadas horizontalmente y la soldadura se ejecuta por debajo, es una posición inversa de la posición plana.

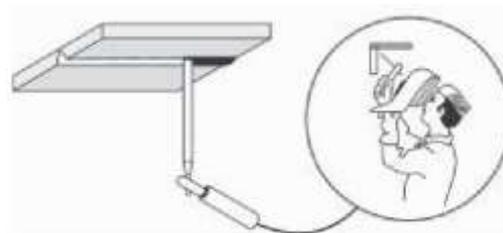


Ilustración 9-2: Soldadura en posición sobre cabeza.

Fuente: (Oerlikon, 2003, p. 57)

Las posiciones de soldadura se refieren directamente a la posición del eje de soldadura en los diferentes planos de soldar, en soldadura existen normas y códigos que rigen las diferentes

posiciones vigentes para ejecutar trabajos en diferentes materiales y perfiles, entre los más destacados están las posiciones en planchas y tuberías, todas las posiciones exigen un mínimo de conocimiento y habilidad del soldador para lograr su ejecución (Oerlikon, 2003, p.56).

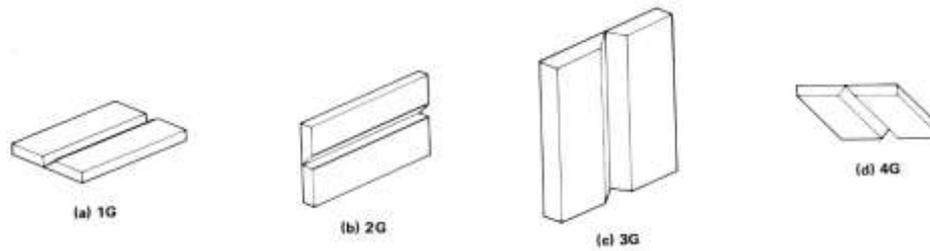


Ilustración 10-2: Posiciones de soldadura de ranura en placas.

Fuente: (ASME IX, 2019, p.189)

Como se muestra en la ilustración 6-2 la posición de soldadura 5G es igual o similar a la posición 3G la diferencia es que en la posición 5G se aplica una combinación con 1G y 4G debido a que el depósito de soldadura es una tubería, mientras que la posición 6G es una combinación de todas las posiciones de soldadura, su aplicación de soldadura es en la tubería con una inclinación de 45° respecto al plano horizontal y vertical.

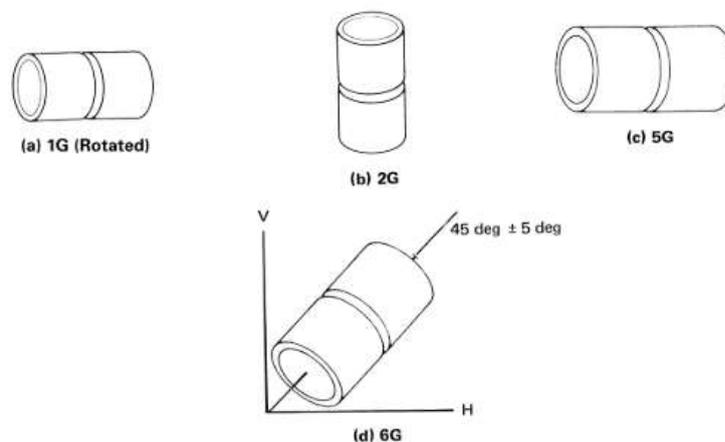


Ilustración 11-2: Posiciones de soldadura de ranura en tuberías.

Fuente: (ASME IX, 2019, p.189)

Para planchas, se denomina soldadura de filete se llama así debido a la forma de su sección transversal, las posiciones de soldadura son las cuatro posiciones mencionadas anteriormente.

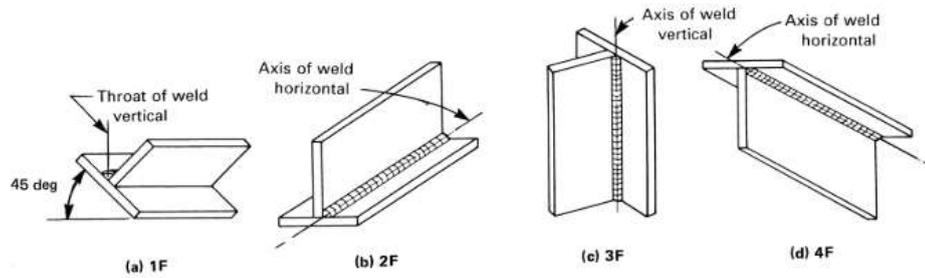


Ilustración 12-2: Posiciones de soldadura de filete en placas.

Fuente: (ASME IX, 2019, p.190)

La soldadura de filete está presente en las diferentes uniones o juntas que pueden existir en las diferentes construcciones, se muestra en la ilustración 14-2 la soldadura de filete para diferentes intervalos de grados, la posición de soldadura de filete se determinará de acuerdo a la inclinación que pueda existe entre el electrodo y el plano vertical o horizontal.

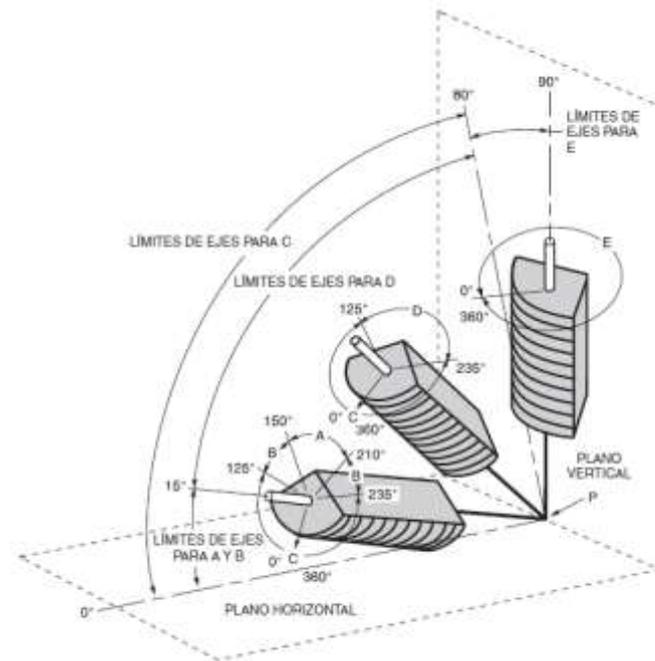


Ilustración 13-2: Posiciones de soldadura de filete.

Fuente: (AWS D1.1, 2020, p.161)

La denominación de los tipos de soldadura que pueden estar presentes en las diferentes uniones entre elementos se muestra a continuación en la ilustración 15-2.

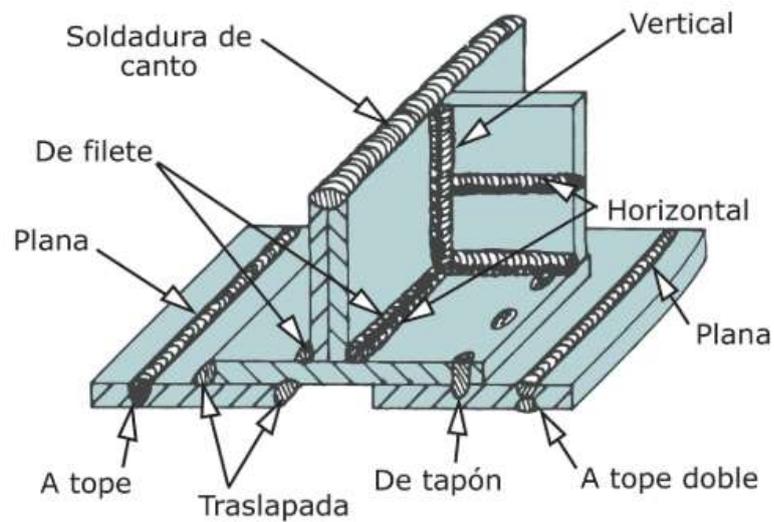


Ilustración 14-2: Denominación de los tipos de soldadura.

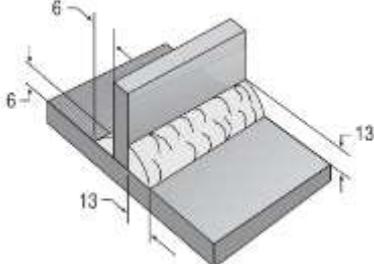
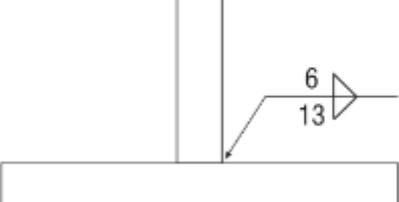
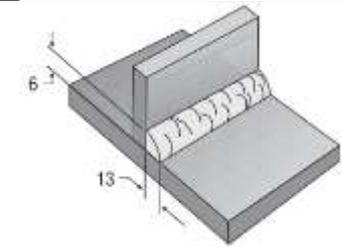
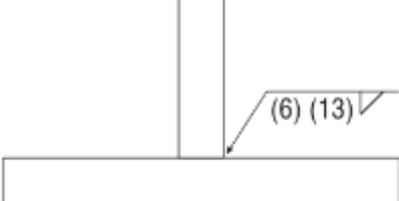
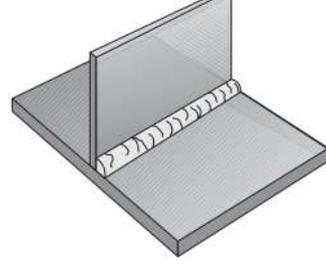
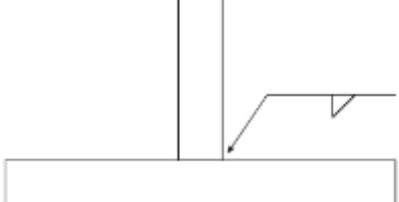
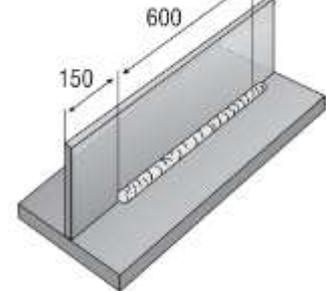
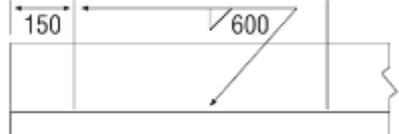
Fuente: (Rodríguez, 2001, p. 33)

2.13. Simbología de la soldadura

La simbología es la especificación de trabajos de soldadura es una forma clara, precisa y ordenada de entregar información de operación, existe para ello una simbología estándar que ha sido adoptada para la mayoría de procesos de soldadura (INDURA, 2007, p.18).

Tabla 8-2: Soldaduras de filete.

Tamaño de un filete	<p>Diagrama 3D que muestra una soldadura de filete en un ensamblaje de L. Una línea de dimensión indica un tamaño de 8 mm para el filete.</p>	<p>Diagrama 2D que muestra una soldadura de filete en un ensamblaje de L. Una línea de dimensión indica un tamaño de 8 mm para el filete.</p>
Tamaño de dos filetes iguales	<p>Diagrama 3D que muestra una soldadura de filete en un ensamblaje de L. Una línea de dimensión indica un tamaño de 13 mm para el filete.</p>	<p>Diagrama 2D que muestra una soldadura de filete en un ensamblaje de L. Una línea de dimensión indica un tamaño de 13 mm para el filete.</p>

Tamaño de dos filetes diferentes		
Tamaño de un filete de tamaño diferente		
Filete continuo		
Longitud de un filete		

Fuente: (INDURA, 2007, p.19)

La simbología de soldadura se aplica en todos los procesos de soldadura existentes, se detallan en los planos para un mejor entendimiento del personal encargado de aplicar la soldadura en los diferentes tipos de uniones que existen, para ello se muestra una ilustración que detalla todas las características que debe contener la simbología de soldadura.

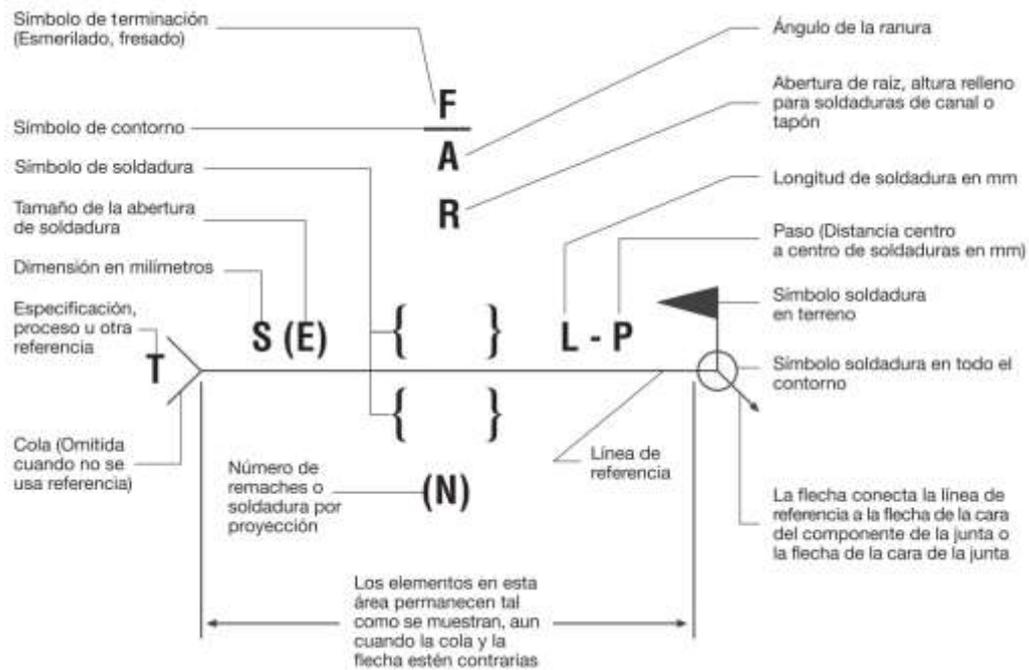


Ilustración 15-2: Ubicación estándar de los elementos de la simbología en soldadura.

Fuente: (INDURA, 2007, p.18)

2.14. Defectos y discontinuidades en la soldadura

Defecto es toda discontinuidad o indicación de una discontinuidad que por su tamaño, forma o localización ha excedido los límites de aceptación establecidos por el código, norma o especificación aplicable.

Discontinuidad es la falta de homogeneidad o interrupción en la estructura física normal de un material, también puede ser una deficiencia en la configuración física de una pieza, parte o componente, las discontinuidades pueden ser relevantes y no relevantes, donde las discontinuidades relevantes es aquella que por su tamaño, forma o localización requiere de ser interpretada y evaluada, mientras que, una discontinuidad no relevante es aquella que por su tamaño, forma o localización requiere de ser interpretada, pero no es necesario evaluarla (Diaz, 2009, p.85).

En todos los métodos de Ensayos no Destructivos se producen indicaciones en forma directa o indirecta, las cuales deben ser correctamente interpretadas antes de obtener Información útil.

Existe una gran tendencia por parte de los inspectores, de confundir los términos "interpretación" y "evaluación". Actualmente, éstos se refieren a dos etapas completamente diferentes en el proceso de inspección, por lo que requieren distintas categorías de conocimiento y de experiencia.

El término "interpretar" una indicación significa predecir qué tipo de discontinuidad puede ser la causa que la origina. La "evaluación" es posterior a la interpretación y consiste en comparar las características de la indicación o de la posible discontinuidad con los requisitos establecidos por las normas de calidad aplicables (Díaz, 2009, p.83).

Existen defectos internos y externos, los defectos externos son falta de penetración, sobre espesor del cordón, cordón irregular, mordeduras, salpicaduras, cráteres, fisuras, poros; mientras que, los defectos internos son zonas duras, inclusiones metálicas, porosidad, soplado de arco.

2.14.1. Penetración incompleta

Se presenta cuando el arco eléctrico no logra fundir uno o los dos lados de la cara de la raíz. La penetración incompleta puede presentarse en ranuras soldadas por uno o por ambos lados e indeseable cuando la raíz de la soldadura va a estar sujeta a esfuerzos de tensión o dobléz, ya que las áreas no fundidas permiten la concentración de esfuerzos que podrían causar una fractura sin deformación apreciable (Díaz, 2009, p.93).



Ilustración 16-2: Penetración incompleta.

Fuente: (INDURA, 2007, p.25)

2.14.2. Sobre espesor o sobre monta

Se denomina así al exceso de material que sobre sale en la cara o raíz de la soldadura, el sobre espesor del cordón supone un gasto inútil de material y da al cordón de soldadura un aspecto demasiado abultado, que en realidad debilita la junta (Solà, 1992, p.115).

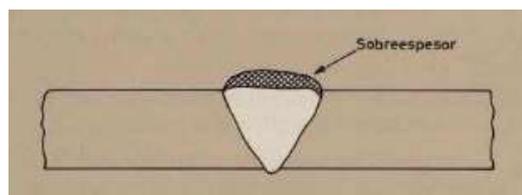


Ilustración 17-2: Sobre espesor.

Fuente: (Solà, 1992, p.115)

2.14.3. Porosidad

Son cavidades formadas por gas atrapado durante la solidificación del metal. Los poros generalmente tienen forma más o menos esférica pero también pueden ser alargados. Cuando la porosidad no es excesiva o el tamaño de los poros son pequeños, su presencia no es crítica debido a que no tienen bordes agudos que pudieran causar concentraciones de esfuerzo (Diaz, 2009, p.91).

2.14.3.1. Porosidad agrupada

Son los grupos localizados de poros separados por longitudes considerables de metal de soldadura sano. Pueden ser causados por un mal inicio o terminación inadecuada del paso de soldadura, otra causa es el soplo de arco que se puede evitar o disminuir al reducir la intensidad de la corriente directa o bien cuando es posible, soldando con corriente alterna; cambiando la conexión del cable al otro extremo de la pieza de trabajo o haciendo conexiones en varios puntos (Diaz, 2009, p.91).

2.14.3.2. Porosidad alineada

Es una serie de poros alineados que siguen una trayectoria más o menos recta, frecuentemente a lo largo de los límites del metal de soldadura con el metal base, los límites entre cordones o cerca de la raíz de la soldadura; puede ser causada por contaminantes que reaccionan químicamente y genera gases en las zonas contaminadas (Diaz, 2009, p.91).



Ilustración 18-2: Poros en el cordón de soldadura.

Fuente: (Diaz, 2009, p.92)

2.14.4. Inclusiones de escoria

Es material sólido no metálico que queda atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Las causas de las inclusiones pueden ser un mal diseño o mala preparación de la junta, una limpieza deficiente entre cordones. Para evitar la presencia de inclusiones de escoria se debe preparar adecuadamente la junta, corregir los contornos que

podrían dificultar el acceso completo del arco, evitar ángulos de ranura muy cerrados y asegurar la remoción completa de escoria antes de depositar el siguiente cordón (Díaz, 2009, p.95).

2.14.5. Mordeduras

Las mordeduras son canales y hundimientos producidos en la zona donde empieza el sobre espesor entre el cordón y los bordes de las piezas. Son debidas a movimientos inadecuados del electrodo y reducen la sección resistente; este defecto puede remediarse, en parte, dando una pasada de relleno una vez acabada la soldadura (Solà, 1992, p.115).

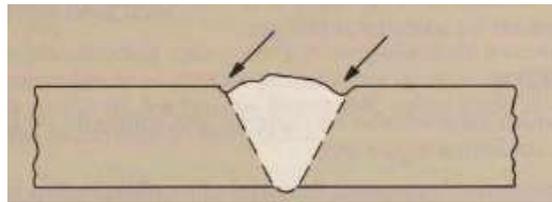


Ilustración 19-2: Mordeduras.

Fuente: (Solà, 1992, p.116)

2.14.6. Socavaciones

Es la erosión provocada por el arco eléctrico y puede presentarse en la interfase entre el metal de aporte y el metal de base o entre dos cordones de soldadura. Es una discontinuidad lineal y su aceptación o rechazo dependerá de su profundidad y de su longitud ya que su presencia crea una muesca que actúa como un concentrador de esfuerzos y reduce la sección efectiva afectando la resistencia de la junta, particularmente a los esfuerzos de fatiga, estas fallas pueden presentarse por un manejo defectuoso del electrodo, selección inadecuada del tipo de electrodo, corriente muy elevada (INDURA, 2007, p.26).

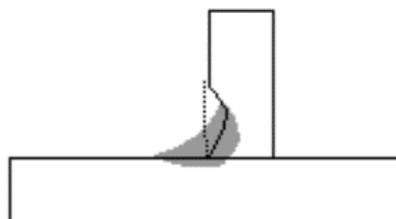


Ilustración 20-2: Socavado.

Fuente: (INDURA, 2007, p. 26)

2.14.7. Salpicaduras

Un depósito de soldadura debe quedar libre de salpicaduras, lo que sucede cuando gran cantidad de gotas pequeñas de metal fundido caen en la superficie del metal base adyacente al depósito.

Las causas de lo anterior son: amperaje muy alto, electrodo inadecuado, polaridad incorrecta, soplo magnético, ángulo incorrecto de inclinación del electrodo, electrodo y metal base húmedos (Wetsarco, 2015, p.152).

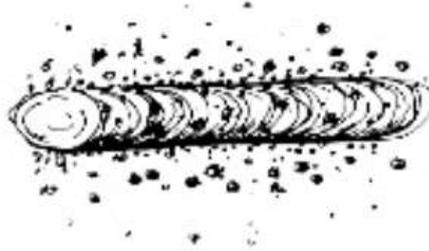


Ilustración 21-2: Salpicadura excesiva.

Fuente: (INDURA, 2007, p.23)

2.14.8. Golpe de arco

Son discontinuidades que se producen intencional o accidentalmente, cuando se establece el arco eléctrico entre la pieza de trabajo y el electrodo, fuera del área de metal de soldadura permanente (Diaz, 2009, p.101).



Ilustración 22.2: Golpe de arco.

Fuente: (Diaz, 2009, p.101)

2.14.9. Fisuras

Son grietas de tamaño muy reducido, imposibles de detectar visualmente para ello se aplica ensayos no destructivos más avanzados, se pueden originar en frío o en caliente y con el tiempo o con el servicio se pueden propagar, El agrietamiento, cualquiera que sea su forma u origen se pueden presentar en diferentes lugares del depósito (Wetsarco, 2015, p.156).

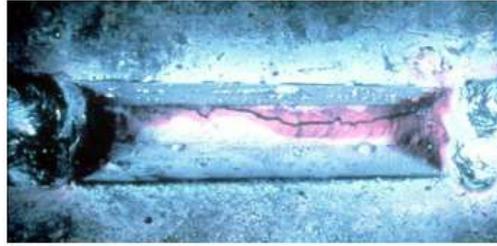


Ilustración 23-2: Fisura en la soldadura.

Fuente: (Diaz, 2009, p.89)

2.14.10. Laminaciones

Discontinuidades planas, generalmente extendidas y paralelas a la superficie de laminación, que se encuentran en el área central de productos laminados, tales como placas, laminas y perfiles, las laminaciones se forman como resultado de porosidades, cavidades de contracción o inclusiones no metálicas en el lingote original a partir del cual se fabricó el producto laminado; el proceso de laminado provoca que tales discontinuidades se unan, extiendan, crezcan y adquieran forma plana en la parte central del espesor de la pieza (Diaz, 2009, p.102).

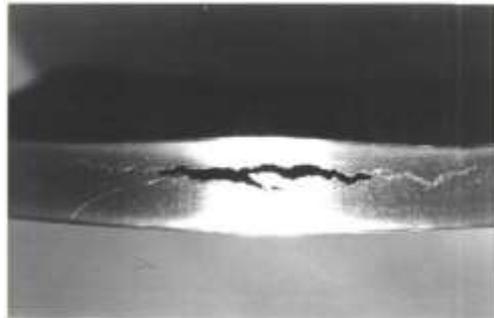


Ilustración 24-2: Laminación en láminas de acero.

Fuente: (Diaz, 2009, p.103)

2.15. Soldadura de filete

La práctica común en el diseño de la soldadura es despreciar el esfuerzo normal y basar el tamaño de la junta, en la intensidad del esfuerzo cortante medio. En el área de la garganta de la soldadura a 45° de los catetos. Esta es la mínima área del cordón por donde tiene que fallar a corte (Planos de corte de la soldadura en la garganta). Se observa que, en la soldadura a filete con cordones alineados paralelos a la carga, el esfuerzo cortante ocurre a lo largo de la garganta, paralelo a la dirección de la carga. En cambio, en la soldadura alineada en forma transversal a la carga, el

esfuerzo cortante ocurre a 45°, actuando en forma perpendicular al eje del filete. (Ringegni, 2013, p.5-6).

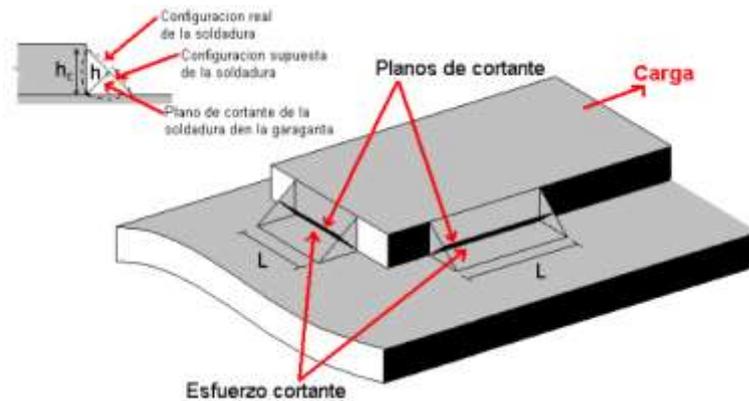


Ilustración 25-2: Planos y esfuerzos a cortante en la soldadura de filete.

Fuente: (Ringegni, 2013, p.6)

2.15.1. Longitud efectiva (soldadura recta)

La longitud efectiva de una soldadura en filete recta debe ser la longitud total del filete de tamaño completo, incluyendo los remates. No se debe suponer una reducción en la longitud efectiva en los cálculos de diseño a fin de permitir el cráter de comienzo o detención de la soldadura (AWS D1.1, 2020, p.19).

2.15.2. Longitud mínima

La longitud mínima de una soldadura en filete debe ser al menos cuatro veces el tamaño nominal, o se deberá tener en cuenta que el tamaño efectivo de la soldadura no exceda el 25% de su longitud efectiva (AWS D1.1, 2020, p. 19).

2.15.3. Longitud efectiva máxima

En las soldaduras en filete con carga final con una longitud de hasta 100 veces la dimensión de la pierna, se permite tomar la longitud efectiva igual a la longitud real. Cuando la longitud de las soldaduras en filete con carga final sea mayor de 100 pero no más de 300 veces el tamaño de la soldadura, la longitud efectiva debe determinarse multiplicando la longitud real por el coeficiente de reducción β (AWS D1.1, 2020, p. 19).

$$\beta = 1.2 - 0.2 \left(\frac{L}{100w} \right) \leq 1.0 \quad \text{ec. (1 - 2)}$$

Donde:

β = coeficiente de reducción

L = longitud real de la soldadura con carga final, pulgadas [mm]

w = tamaño de la pierna de la soldadura, pulgadas [mm]

Cuando la longitud exceda de 300 veces el tamaño de la pierna, la longitud efectiva debe tomarse como 180 veces el tamaño de la pierna.

2.15.4. Cálculo de la garganta efectiva

En las soldaduras de filete la garganta efectiva debe tomarse como la distancia más corta desde la raíz de la junta hasta la cara de la soldadura de una soldadura diagramática de 90°. En las soldaduras en ángulos agudos entre 60° y 80° y las soldaduras en ángulos obtusos mayores de 100°, el tamaño de la pierna de la soldadura requerido para proporcionar la garganta efectiva específica debe calcularse tomando en cuenta la geometría (AWS D1.1, 2020, p.19).

De acuerdo a AISC 360(2010, p.389), la garganta efectiva de una soldadura de filete no incluye el refuerzo de la soldadura, ni ninguna penetración más allá de la raíz de la soldadura. Algunos procedimientos de soldadura producen una penetración constante más allá de la raíz de la soldadura. Esta penetración contribuye a la resistencia de la soldadura. Sin embargo, es necesario demostrar que el procedimiento de soldadura a utilizar produce esta mayor penetración. En la práctica, esto se puede hacer inicialmente cortando transversalmente las placas de desagüe de la junta. Una vez hecho esto, no se requieren más pruebas, siempre que no se cambie el procedimiento de soldadura.

2.15.5. Área efectiva

El área efectiva de una soldadura de filete se considera como la longitud de soldadura efectiva multiplicada por la garganta efectiva. La garganta efectiva de una soldadura de filete es la menor distancia de la nariz hasta la superficie de la soldadura (AWS D1.1, 2020, p.20).

2.15.6. Tamaños mínimos de soldaduras en filete

El tamaño mínimo de la soldadura en filete, a excepción de las soldaduras en filete que se usan para reforzar soldaduras en ranura, debe ser como se muestra en la Tabla 8.2. El tamaño mínimo de la soldadura en filete se debe aplicar en todos los casos, a menos que los planos de diseño especifiquen soldaduras de un tamaño más grande (AWS D1.1, 2020, p.193).

Tabla 9-2: Tamaños mínimos para la soldadura de filete.

Base Metal Thickness (T) ^a		Minimum Size of Fillet Weld ^b	
in	mm	in	mm
$T \leq 1/4$	$T \leq 6$	1/8 ^c	3 ^c
$1/4 < T \leq 1/2$	$6 < T \leq 12$	3/16	5
$1/2 < T \leq 3/4$	$12 < T \leq 20$	1/4	6
$3/4 < T$	$20 < T$	5/16	8

Fuente: (AWS D1.1, 2020, p.207)

El análisis y diseño de la soldadura de filete se fundamenta en la suposición de que la sección transversal de la soldadura es un triángulo rectángulo a 45°, por tanto, cualquier refuerzo, que puede ser por penetración o con material agregado fuera de la hipotenusa del triángulo, son despreciados.

El tamaño de un filete de soldadura se designa por w y es la longitud de uno de los dos lados iguales de esta sección transversal. Los tamaños estándar de las soldaduras se designan en incrementos de 1/16 de pulgada.

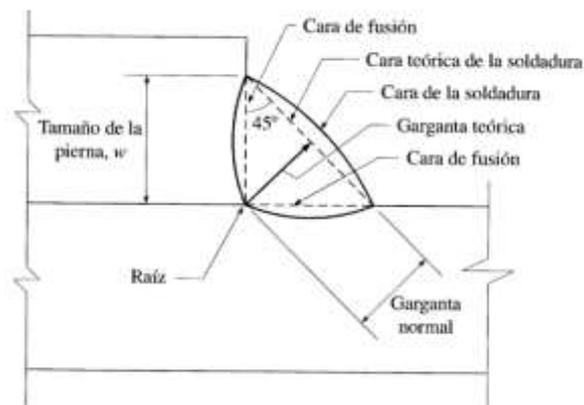


Ilustración 26-2: Terminología de la soldadura de filete del proceso SMAW.

Fuente: (Guachón, 2009, p.39)

Para las soldaduras de filete realizadas con el proceso de arco metálico protegido, la garganta es la distancia perpendicular de la esquina o raíz de la soldadura a la hipotenusa y es igual a 0.707 veces el tamaño de la soldadura. Las soldaduras de filete no deben diseñarse con un esfuerzo mayor que el esfuerzo de diseño de los miembros adyacentes a la conexión. Si la fuerza externa

de tracción o compresión y aplicada al miembro es paralela al eje de la soldadura, la resistencia de diseño de ésta no debe exceder la resistencia de diseño axial del miembro (Guachón, 2009, p.40).

2.16. Resistencia de la soldadura en filete

El esfuerzo en una soldadura es igual a la carga P dividida entre el área de la garganta efectiva de la soldadura. Varios análisis han determinado que los filetes transversales son un tercio más resistente que los longitudinales, debido a que los filetes transversales el esfuerzo se reparte más uniformemente en la longitud total, mientras que en los longitudinales el esfuerzo se reparte en forma dispareja por la presencia de deformaciones en la longitud de la soldadura; en general los miembros traccionados se encuentran enlazados por una combinación de cordones longitudinales con un cordón transversal, de tal modo que en la resistencia de la conexión cada tipo colabora en función de sus características (Guachón, 2009, p.28).

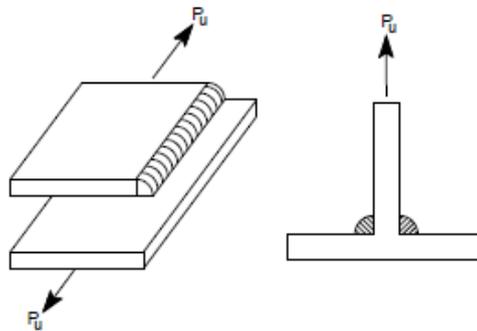
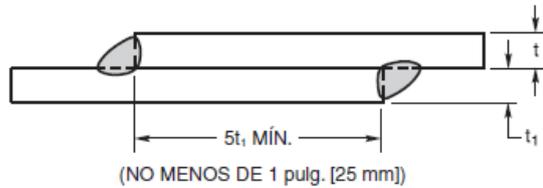


Ilustración 27-2: Soldaduras de filete.

Fuente: (Guachón, 2009, p.28).

2.17. Soldadura en filete transversal

Las soldaduras en filete transversales en juntas traslapadas que transfieren esfuerzos entre piezas cargadas axialmente deben estar soldadas con doble filete, excepto donde la deflexión de la junta esté suficientemente restringida para impedir la apertura bajo carga (AWS D1.1, 2020,1. p.24).



Nota: t = miembro con más espesor, t_1 = miembro más delgado.

Ilustración 28-2: Soldadura de filete cargadas transversalmente.

Fuente: (AWS D1.1, 2020, p.55)

2.18. Soldadura de filete longitudinal

Si se usan soldaduras en filete longitudinales solas en juntas traslapadas de conexiones de extremo de barras planas o miembros de placa, la longitud de cada soldadura en filete no debe ser menor que la distancia perpendicular entre ellas. El espaciado transversal de soldaduras en filete longitudinales utilizado en conexiones de extremo no debe exceder de 16 veces el espesor de la pieza conectada más delgada, excepto que se realice una provisión adecuada (mediante soldaduras intermedias de tapón o en ranura) para prevenir el pandeo o la separación de las piezas. Las soldaduras en filete longitudinal se pueden hacer en los bordes del miembro o en ranuras. El diseño de conexiones que usen soldaduras en filete longitudinal para miembros que no sean secciones transversales de barras planas deben cumplir con lo dispuesto en las especificaciones generales de diseño (AWS D1.1, 2020, p.24).

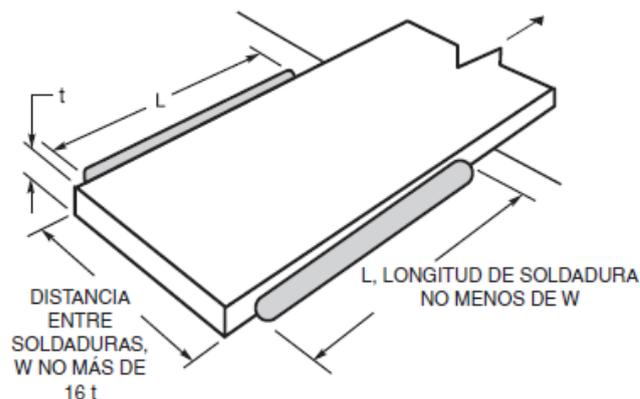


Ilustración 29-2: Longitud mínima de soldaduras de filete longitudinales en el extremo de la placa.

Fuente: (AWS D1.1, 2020, p.56)

2.19. Inspección de calidad en la soldadura

Los profesionales responsables de la Inspección de Soldadura para el Control de Calidad (PCC) podrán ser Inspectores de soldadura certificados por la AWS (inspectores CWI), o en su defecto Ingenieros Mecánicos, Industriales o Civiles quienes tendrán un título de tercer o cuarto nivel en tecnología de la soldadura o inspección de soldadura. Todos ellos deberán estar familiarizados con las Normas ANSI/AWS D1.1 y ANSI/AWS D1.8 para el diseño sísmico de edificios (NEC - SE - AC, 2015, p. 97).

2.19.1. Personal técnico para ensayos no destructivos

De acuerdo a la NEC - SE - AC (2015, p.98) los técnicos encargados de los Ensayos No Destructivos (END) deberán ser calificados como se indica a continuación:

Los criterios de aprobación deberán cumplir o exceder los Criterios de la Sociedad Americana para Ensayos No Destructivos: SNT TC-1a. Práctica Recomendada para el Entrenamiento y Calificación del Personal de Ensayos No Destructivos.

Los Ensayos de Partículas Magnéticas (MT) y los ensayos de tintas penetrantes (PT) para la Garantía de Calidad pueden ser ejecutados sólo por Técnicos Certificados como Nivel II por la Agencia que los contrata o certificados como ASNT Nivel III a través de pruebas realizadas por la ASNT y certificados por la Agencia que los contrata (NEC - SE - AC, 2015, p.97-98).

2.20. Ensayos no destructivos en la soldadura

Para la selección de los ensayos requeridos es necesario:

(a) Identificar los ensayos aplicables según código. - Una vez soldada la junta se procede a seleccionar los ensayos acordes al tipo de junta, ya sea junta de filete o a tope para las platinas o junta de ranura o a tope para las tuberías tal como lo especifica el código seleccionado. Estas pruebas son diseñadas para evaluar el efecto de las técnicas de soldadura y la compatibilidad de los metales base y metales de aporte, algunas de las pruebas comúnmente utilizadas para la calificación de procedimientos son: Tensión, doblez transversal (de cara, raíz y lado) y longitudinal, macroataque, rotura en filetes.

(b) Elaboración y extracción de cupones de prueba. - Las dimensiones necesarias de los cupones de prueba están reglamentadas por el código estipulando la forma final de la unión soldada para así evaluar la efectividad de la soldadura.

(c) Aplicación de los ensayos. - Estos deben ser aplicados una vez sea aprobada la unión soldada por inspección visual y los criterios de aceptación y de aplicación están definidos por los códigos,

para su aplicación se requiere personal con entrenamiento y certificación en cada ensayo aplicable (Niebles y Arnedo, 2009, p. 24).

2.20.1. Inspección visual

La inspección visual (ANSI/AWS, 2000) es un método no destructivo de valioso control del proceso mediante el cual una soldadura desde su fase de preparación hasta su puesta en servicio pueden evaluarse de acuerdo con unos requerimientos aplicables con miras de asegurar la calidad de la soldadura, esta evaluación puede ser llevada a cabo por: en primera instancia por soldadores, supervisores de soldadura, inspectores de soldadura por parte de los contratistas, inspectores de soldadura por parte de los propietarios, o inspectores reguladores.

La inspección visual es desarrollada antes, durante y después de la soldadura y tiene en cuenta aspectos como: I) conformidad con el procedimiento de soldadura especificado para la unión soldada, II) control en la preparación de la junta a soldar, III) verificación de condiciones operativas de: equipos de soldadura (calibrados y en buen estado), materiales de aporte y consumibles, gases, materiales base, IV) calidad del cordón de soldadura de raíz, V) preparación de la raíz de la junta antes de soldar por el otro lado, VI) temperatura de precalentamiento y entre pasadas, VII) secuencia de pases de soldadura, VIII) calidad de los cordones de relleno y presentación de la soldadura, IX) limpieza entre pasadas, X) apariencia, dimensionamiento final de la soldadura, XI) distorsión y deformación generada en la soldadura, XII) tratamiento post soldadura, XIII) otros detalles (Niebles y Arnedo, 2009, p. 24).

2.20.2. Tintas penetrantes

La prueba de líquidos penetrantes es un método de prueba no destructivo para detectar discontinuidades que están abiertas a la superficie, como grietas, costuras, vueltas, cierres en frío, contracción, laminaciones, fugas o falta de fusión y es aplicable a procesos, finales y mantenimiento. pruebas. Se puede utilizar con eficacia en el examen de materiales metálicos no porosos, metales ferrosos y no ferrosos, y de materiales no metálicos como cerámica esmaltada no porosa o totalmente densificada, así como ciertos plásticos no porosos y vidrio (Diaz, 2009, p.163).

2.20.3. Partículas magnéticas

El método de partículas magnéticas se basa en el principio de que las líneas de campo magnético, cuando están presentes en un material ferromagnético, se distorsionarán por un cambio en la

continuidad del material, como un cambio dimensional brusco o una discontinuidad. Si la discontinuidad está abierta o cerca de la superficie de un material magnetizado, las líneas de flujo se distorsionarán en la superficie, una condición denominada "fuga de flujo". Cuando las partículas magnéticas finas se distribuyen sobre el área de la discontinuidad mientras existe la fuga de flujo, se mantendrán en su lugar y la acumulación de partículas será visible en las condiciones de iluminación adecuadas. Si bien existen variaciones en el método de partículas magnéticas, todas dependen de este principio, que las partículas magnéticas se retendrán en los lugares de fuga de flujo magnético (ASTM E 709, 2001, p.3).

2.21. Tipos de conexiones para vigas

Todas las conexiones tienen una cierta limitación, es decir, cierta resistencia a los cambios en los ángulos iniciales formados por los elementos conectados cuando se aplican cargas. Según el nivel de restricción, la especificación AISC (B3.6) clasifica las conexiones como totalmente restringidas (tipo FR) y parcialmente restringidas (tipo PR). Estos dos tipos de conexiones se describen con más detalle a continuación: teórico

1. Las conexiones de tipo FR se conocen comúnmente como conexiones de marco rígido o continuo. Se supone que son lo suficientemente rígidos o tienen un grado de restricción tal que los ángulos originales entre las barras permanecen prácticamente sin cambios bajo carga.
2. Las conexiones de tipo PR tienen una rigidez insuficiente para mantener los ángulos originales sin cambios bajo carga. Se incluyen en esta clasificación las conexiones simples y semirrígidas.

La ilustración muestra un grupo de curvas típicas momento-rotación para estas conexiones. Note que las líneas se curvan porque cuando los momentos aumentan, las rotaciones se incrementan con una mayor rapidez (McCormac y Csernak, 2012, p.529).

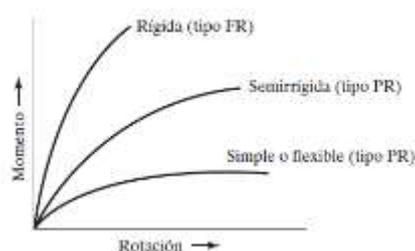


Ilustración 30-2: Curvas típicas momento-rotación.

Fuente: (McCormac y Csernak, 2012, p. 529)

2.22. Análisis estructural mediante ANSYS

ANSYS es un software de propósito general, utilizado para simular interacciones en todas las disciplinas de la física, ingeniería estructural, vibraciones, dinámica de fluidos, transferencia de calor y electromagnetismo. Dicho software se emplea para predecir cómo reacciona un objeto determinado bajo un entorno real de carga (Cañones, 2019, p.21).

En efecto, se trata de un entorno software que continuamente desarrolla nuevas tecnologías enfocadas en la simulación y, con el paso de los años, ha ido adquiriendo otros software para ofrecer un paquete de aplicaciones suficientemente completo, donde pueda unificarse la resolución de problemas ingenieriles complejos (Cárdenas y Mejía, 2018, p.23).

ANSYS Workbench se utiliza para realizar distintos tipos de análisis como: Análisis estructurales, térmicos, de fluidos y electromagnéticos entre otro tipo de análisis. ANSYS Workbench contiene conectividad CAD bidireccional, mallado, mecanismo de actualización a nivel de proyecto, administración de parámetros generalizada y herramientas de optimización integradas (Carrera, 2019, p.62).

2.22.1. Método de elementos finitos

El software de análisis estructural de ANSYS permite resolver complejos problemas de ingeniería estructural basada en análisis de elementos finitos. El método de elementos finitos (MEF en español o FEM en inglés). En términos matemáticos, el Método de Elementos Finitos (MEF) es una técnica numérica para la resolución de problemas descritos como un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales. Utilizando los elementos finitos, se puede analizar cualquier forma, utilizar métodos diferentes para idealizar la geometría y obtener resultados con la precisión deseada. Independientemente de la complejidad del proyecto o del campo de aplicación, los pasos fundamentales en cualquier proyecto de MEF son siempre los mismos, ya sea un análisis estructural, térmico o acústico (Jiménez Rodríguez, 2010, p.21).

El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados “nodos”. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finitos, además un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama “malla”. Los cálculos se realizan sobre la malla de puntos que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. El método de elementos finitos para el análisis de estructuras “MEF” permite obtener una

solución numérica aproximada sobre el comportamiento de diferentes puntos del cuerpo o conjunto de cuerpos sobre el que están actuando fuerzas y momentos externos (Cárdenas y Mejía, 2018, p.23)

2.22.2. *Explicit Dynamics*

Explicit Dynamic se hace cargo cuando lo implícito no es suficiente, para aplicaciones especializadas ANSYS brinda información y resultados confiables. El conjunto de Explicit Dynamics de ANSYS permite capturar la física de eventos de corta duración para productos que se someten a fuerzas dinámicas transitorias altamente no lineales, las herramientas especializadas, precisas y fáciles de usar han sido diseñadas para maximizar la productividad del usuario; con ANSYS se puede obtener información sobre cómo responde una estructura cuando se somete a cargas severas, los algoritmos basados en primeros principios predicen con precisión respuestas complejas, como grandes deformaciones y fallas de materiales, interacciones entre cuerpos y fluidos con superficies que cambian rápidamente. En muchos casos, la precisión de una solución explícita solo se puede verificar mediante la comparación con experimentos físicos (Ansys, 2011, p.2).

Las herramientas de Explicit Dynamics de ANSYS ayudan a los ingenieros a explorar una amplia gama de desafíos:

- Interacciones de cuerpo cambiante, complejas o de corta duración (contacto).
- Cuasi – estático.
- Impactos de alta velocidad e hiper velocidad.
- Cargas severas que dan como resultado una gran deformación del material.
- Falla de materiales.
- Fragmentación de materiales.
- Mecánica de penetración.
- Impacto de desechos espaciales (hiper velocidad).
- Diseño de equipamiento deportivo.
- Procesos de fabricación con respuesta plástica no lineal.
- Simulación de prueba de caída.
- Carga explosiva.
- Formación de explosivos.
- Interacciones explosión – estructura (Ansys, 2011, p.3).

2.22.3. *Parámetros de calidad del mallado*

Primero se debe realizar un mallado por defecto, con el cual se podrá saber si el volumen en análisis presenta o no algún tipo de inconveniente dentro de su configuración de modelado, si existiese alguna zona de interferencia, elementos cruzados o elementos sobrepuestos. El diagnóstico de la malla ayuda a evaluar la calidad de la malla, éste incluye la cantidad de nodos en la malla, número de elementos en la malla, valores mínimos y máximos de celda, promedio y desviación estándar para estos tipos de métricas. Los números de nodos y elementos para todo el modelo se informan en el Panel de Diagnóstico de malla después de generar la malla (ANSYS, 2004, p.28).

El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño, a razón de que es uno de los factores primordiales de los que dependen los resultados finales que se obtendrán. Inicialmente el software estima un tamaño de elemento global para el modelo tomando en cuenta su volumen, área de superficie y otros detalles geométricos. El tamaño de malla generada (número de nodos y elementos) depende de la geometría y las cotas del modelo, el tamaño del elemento, la tolerancia de la malla, el control de malla y las especificaciones de contacto.

En las primeras etapas del análisis del proceso donde los resultados aproximados pueden resultar suficientes, se puede especificar un tamaño de elemento mayor para una solución más rápida, luego para obtener una solución más precisa se utiliza un tamaño de elemento más pequeño. Para el modelo se utiliza una malla de sólidos que genera elementos sólidos tetraédricos tridimensionales.

Un elemento tetraédrico lineal, ver figura 31-2 a), se define mediante cuatro nodos angulares conectados por seis aristas rectas. Un elemento tetraédrico parabólico, ver figura 31-2 b), mediante cuatro nodos angulares, seis nodos centrales y seis aristas (Bullón, 2010, p.72).



Ilustración 31-2: a) Elemento sólido lineal, b) elemento sólido parabólico

Fuente: (Bullón, 2010, p.72)

2.22.4. *Energía Hourglass*

El Hourglass es un defecto de deformación con energía cero que oscila a una frecuencia mucho mayor que la respuesta global de la estructura. Las formas de hourglass son estados matemáticos que no son físicamente posibles. Típicamente no poseen rigidez y dan una apariencia de zigzag a la deformación de la malla. Los elementos de integración reducida promueven la deformación con cero energías.

Al realizar un análisis dinámico explícito con elementos de integración reducidos, siempre es importante determinar si los efectos de reloj de arena han degradado significativamente los resultados. Como pauta general, la energía del hourglass no debe exceder el 10% de la energía interna (ANSYS, 2004, p.116).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe el proceso para la obtención de las probetas de tres espesores diferentes y cada espesor cuenta con tres cupones teniendo un total de nueve cupones. La obtención de los cupones y el diseño de la soldadura fue en base a la unión entre viga columna de una unidad educativa de tres pisos, donde se tomó principalmente la dimensión geométrica de la viga principal y las dimensiones de la soldadura efectuada en el alma el cual es el resistente de la fuerza a cortante, una vez tomado en cuenta la longitud de soldadura de filete en el alma de la viga se realizó una probeta de prueba mediante un ensayo a tracción donde la soldadura actúa al cortante para corroborar que el cortante se produce en el material base y no en la soldadura, una vez corroborado la hipótesis mencionada se procedió con la construcción de los nueve cupones ocupando los tamaños mínimos de soldadura de filete que permite utilizar la norma AWS D1.1:2020 para que justamente falle en la soldadura, se presenta el proceso de ensayos no destructivos a fin de descartar defectos en la soldadura y el proceso de ensayos destructivos en los cupones utilizando la máquina universal adicional a ello se realizó una simulación mediante elementos finitos de las cupones ensayados a fin de obtener una validación de los ensayos experimentales, finalmente se realizó una comprobación de acuerdo a la razón demanda capacidad de la resistencia de la soldadura en la unión viga columna mediante cálculos manuales y una hoja electrónica en diferentes puntos críticos perimetrales y puntos críticos internos para de esta manera comprobar la resistencia a corte y momento en los puntos perimetrales y la resistencia a corte en los puntos internos.

3.1. Materiales, equipos e instrumentos utilizados para los ensayos experimentales de los cupones

En esta parte se da una breve explicación de cada material que se utilizó, material base, material de aporte, equipos para el corte de placas y soldadura de estas, NDT (Ensayos no Destructivos, ensayos destructivos mediante el uso de la máquina universal.

3.1.1. Selección del material base

En nuestro país Ecuador existen básicamente tres tipos de acero estructurales utilizados en la construcción como los son ASTM A36, ASTM A572 Gr. 50, ASTM A588, estos aceros son utilizados para la construcción de todo tipo de infraestructura, como son puentes, edificios, hospitales, torres, etc. El material base que se utilizó en esta investigación es el acero ASTM A36

ya que es un material considerado como un acero al carbono estructural, puesto que es el material más utilizado y se aprovecha al máximo en la industria para la construcción de diferentes edificaciones debido a sus grandes bondades que presentan las propiedades químicas y mecánicas que facilitan su proceso constructivo.

Tabla 10-3: Propiedades mecánicas del acero ASTM

Resistencia a la tracción, ksi [MPa]	58-80 [400-550]
Límite de fluencia mínimo, ksi [MPa]	36 [250]
% Alargamiento min. en 8 in [200mm]	20

Fuente: (ASTM A36, 1997, p.3)

3.1.2. Selección del material de aporte

El material de aporte que se utilizó en el proceso de soldadura fue el electrodo de clase E-6011 con un diámetro de 1/8” de marca Indura, es un tipo de electrodo que se puede utilizar en todas las posiciones de soldadura, el fabricante menciona las siguientes características mecánicas.

Tabla 2-3: Propiedades mecánicas del E-6011

Límite de fluencia	424 [MPa], 61 496 [psi]
Resistencia a la tracción	495 MPa, 71 794 [psi]
Agrietamiento en 50 mm	27 %
Energía absorbida	34 J a – 30 °C

Fuente: (INDURA, 2014, p.1)

3.1.3. Cortadora “amoladora”

La amoladora que se utilizó en el proceso de corte es una Amoladora de 5” 1100W GWS 11-125 BOSCH. Mediante el uso de esta herramienta que su función es hacer girar a altas revoluciones un disco abrasivo de corte nos permitió realizar el proceso de cortado de las planchas de acero ASTM A36.



Ilustración 1-3: Amoladora BOSCH

Fuente: Acuña, 2022

Tabla 3-3: especificaciones técnicas de la amoladora 5” 1100W GWS S11-125

Potencia absorbida:	1 100 W
Velocidad de giro en vacío:	11 500 rpm
Diámetro de disco:	125 mm
Potencia útil:	740 W

Fuente: PROFERRET, 2020

3.1.4. Selección del proceso de soldadura

La soldadura es un proceso de unión mediante el cual dos o más metales se unen para formar un solo elemento, el proceso de soldadura será mediante el proceso eléctrico con electrodo revestido (SMAW), debido a que es el proceso más utilizado en la industria y fácil de manipular, bajo costo, flexibilidad, portabilidad y versatilidad. El proceso SMAW es muy flexible en lo que se refiere al espesor del metal que se puede soldar y a las diferentes posiciones de soldadura, se puede soldar desde espesores de 2mm hasta metales de grandes espesores utilizando la misma máquina con diferentes configuraciones de voltaje y amperaje.

3.1.5. Equipo de soldadura

La soldadora que se utilizó en el proceso de soldadura SMAW es la inverter arcweld 200i-ST de marca Lincoln Electric que se aprecia en la ilustración. Esta soldadora permitió la unión de las placas cortadas para conformar los cupones.



Ilustración 2-3: Soldadora inverter arcweld 200i-ST DV

Fuente: Acuña, 2022

A continuación, se aprecia las especificaciones técnicas de la soldadora que se utilizó.

Tabla 4-3: Especificaciones técnicas de la soldadora inverter arcweld 200i-ST DV

Peso	Voltaje/Fase/ Frecuencia	Ciclo de Trabajo	Rango de amperaje	Potencia Nominal	Dimensiones
5.8 kg	220 V 1F – 60 Hz	35% a 200Amp 60% a 155Amp 100% a 120Amp	10-200Amp	6.6 kW	290 x 220 x 470mm

Fuente: Lincoln Electric, 2022

3.1.6. Instrumentos para realizar la inspección visual

Los instrumentos que se utilizó para una inspección total de los cordones de soldadura fueron: galgas para los filetes de soldadura las cuales se utilizó para medir el tamaño de filete, galgas para medir los espesores de las placas. Adicionalmente se utilizó el instrumento denominado pico de loro para medir el espesor de la soldadura, longitud de soldadura, etc.



Ilustración 3-3: Instrumentos para la inspección visual

Realizado por: Acuña, 2022

3.1.7. *Instrumentos para realizar inspección mediante tintas penetrantes*

Los instrumentos que se utilizó para la inspección mediante tintas penetrantes son tres sprays en donde cada spray cumple una función diferente, los cuales son: limpiador E-59A, tinta penetrante VP-30, revelador D-70.



Ilustración 4-3: Kit de tintas penetrantes

Realizado por: Acuña, 2022

3.1.8. *Instrumentos para realizar inspección mediante partículas magnéticas*

Los instrumentos que se utilizó para la inspección mediante partículas magnéticas fueron un limpiador E-59A, Yugo Magnético Parker AC/DC, partículas húmedas visibles MPI-80 con pintura de contraste WCP-81.



Ilustración 5-3: Kit para inspección mediante partículas magnéticas

Realizado por: Acuña, 2022

3.1.9. Máquina Universal de ensayos Tinius Olsen Super L

Esta máquina se utilizará para realizar los respectivos ensayos de resistencia a la tracción en cada uno de los cupones donde las soldaduras de filete actúan al cortante. Funciona mediante un accionamiento hidráulico con una capacidad máxima de 600 KN.



Ilustración 6-3: Máquina Universal.

Fuente: EPN (Escuela Politécnica Nacional)

3.2. Selección de los espesores a utilizar

De acuerdo con el diseño y cálculo estructural efectuado por el profesional a cargo se obtiene las dimensiones de las vigas y columnas en donde se efectuará el cordón de soldadura en la unión simple entre viga y columna. Las vigas de la estructura son construidas como lo establece la AISC 360 (2010, p.37) el cual menciona que son de tipo *built up* miembros armados construidos entre planchas interconectados mediante soldadura por lo que se conforma un perfil tipo IPE de 400x180x6x10 mm; mientras que la columna contiene una dimensión de 300x400x8 mm.

Para el ensayo a corte en la probeta se tomó el espesor de menor medida, en donde el espesor de menor medida lo contiene el alma de la viga que es de 6 mm, las probetas se las realizó con una variación de +/- 2mm es decir obtendremos 3 probetas de diferentes espesores específicamente de 4, 6, 8 mm respectivamente.

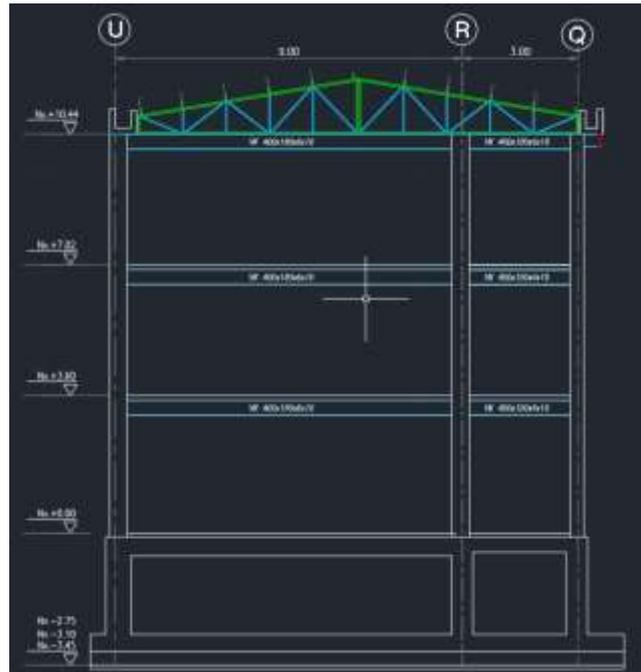


Ilustración 7-3: Vista de corte del pórtico de fachada de la Unidad Educativa de tres pisos.

Fuente: Noboa, 2020

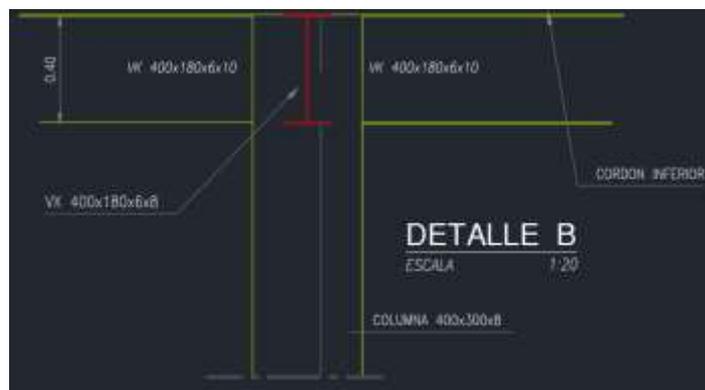


Ilustración 8-3: Dimensiones de viga principal y columna.

Fuente: Noboa, 2020

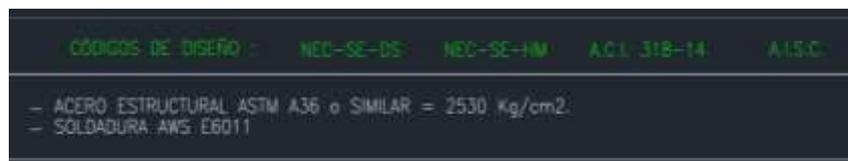


Ilustración 9-3: Identificación del material base y material de aporte.

Fuente: Noboa, 2020

3.3. Resistencia de diseño de las soldaduras

En este punto se estableció los parámetros para calcular las resistencias de la soldadura de filete y de ranura CJP (junta de penetración completa), la resistencia de las soldaduras se calculó de acuerdo con el capítulo J mediante la resistencia de diseño (LRFD) según AISC 360:2010.

3.3.1. Área efectiva en la soldadura de filete

Según el inciso J2,2a de la AISC 360 (2010, p.110), el área efectiva de una soldadura de filete será la longitud efectiva multiplicada por la garganta efectiva. La garganta efectiva de una soldadura de filete debe ser la distancia más corta desde la raíz de la unión y la hipotenusa del triángulo inscrito como se muestra en la ilustración 42.3.

Por lo tanto:

$$A_w = 0,707 w L \quad ec. (3 - 3)$$

Donde:

A_{we} = área efectiva de la soldadura, en pulg² o (mm²)

w = tamaño o pierna del filete de soldadura, en pulg o (mm)

L = longitud efectiva del filete de soldadura, dada por la longitud total del cordón completo, en pulg o (mm).

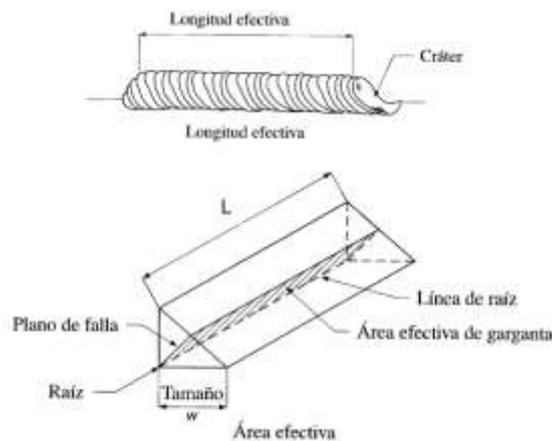


Ilustración 10-3: Longitud y área efectivas de una soldadura de filete.

Fuente: (Guachón, 2009, p.42)

3.3.2. Resistencia de diseño (LRFD) de la soldadura de filete según AISC 360

Según el inciso J2.4 de la AISC 360 (2010, p.113), la capacidad o resistencia de diseño " ΦR_n " de la soldadura de filete, debe ser el menor valor de la resistencia del material base y del metal de soldadura.

Los valores de Φ deben ser tomados de la tabla J2.5 de la AISC 360 (2010, p.114), para el presente caso se tiene el valor:

$$\Phi = 0.75 \text{ (LRFD)}$$

De acuerdo a la tabla J2.5 de la AISC 360 (2010, p.115), para determinar la resistencia nominal cortante del metal de soldadura, se aplican las siguientes ecuaciones:

$$F_{nw} = 0,60 F_{EXX} \quad \text{ec. (4 - 3)}$$

$$\Phi R_n = F_{nw} A_{we} \quad \text{ec. (5 - 3)}$$

Donde:

F_{nw} = esfuerzo nominal del metal de soldadura por unidad de área, en ksi (MPa)

F_{EXX} = número de clasificación del metal de aporte, en ksi (MPa)

A_{we} = área efectiva de la soldadura, in² (mm²)

ΦR_n = capacidad o resistencia al corte de diseño LRFD del metal de soldadura, en lbf (N)

Tabla 5-3: Resistencia de diseño para soldadura de filete.

TABLE J2.5 (continued) Available Strength of Welded Joints, ksi (MPa)					
Load Type and Direction Relative to Weld Axis	Pertinent Metal	ϕ and Ω	Nominal Stress (F_{tens} or F_{shear}) ksi (MPa)	Effective Area (A_{GM} or A_{we}) in. ² (mm ²)	Required Filler Metal Strength Level ^{(a)(b)}
FILLET WELDS INCLUDING FILLETS IN HOLES AND SLOTS AND SKEWED T-JOINTS					
Shear	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$ ^(c)	See J2.2a	
Tension or compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.				
PLUG AND SLOT WELDS					
Shear Parallel to faying surface on the surface on the effective area	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$	See J2.3a	
^(a) For matching weld metal see AWS D1.1/D1.1M, Section 3.3. ^(b) Filler metal with a strength level one strength level greater than matching is permitted. ^(c) Filler metals with a strength level less than matching may be used for groove welds between the webs and flanges of built-up sections transferring shear loads, or in applications where high restraint is a concern. In these applications, the weld joint shall be detailed and the weld shall be designed using the thickness of the material as the effective throat, where $\phi = 0.80$, $\Omega = 1.88$ and $0.60F_{EXX}$ is the nominal strength. ^(d) Alternatively, the provisions of Section J2.4(a) are permitted provided the deformation compatibility of the various weld elements is considered. Sections J2.4(b) and (c) are special applications of Section J2.4(a) that provide for deformation compatibility.					

Fuente: (AISC 360, 2010, p.115)

3.3.3. Resistencia de diseño (LRFD) de la soldadura de ranura según AISC 360

De acuerdo a la tabla J2.5 de la AISC 360 (2010, p.114) menciona que, los estados límites que rigen el diseño de las soldaduras de ranura CJP son dos el estado límite de resistencia del metal de aporte y el estado límite de resistencia del metal base, donde la resistencia de diseño de la soldadura esta dado de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 6-3: Resistencia de diseño para soldadura de ranura.

TABLE J2.5 Available Strength of Welded Joints, ksi (MPa)						
Load Type and Direction Relative to Weld Axis	Pertinent Metal	ϕ and Ω	Nominal Stress (F_{nBM} or F_{nw}) ksi (MPa)	Effective Area (A_{BM} or A_{we}) in. ² (mm ²)	Required Filler Metal Strength Level ^{(a)(b)}	
COMPLETE-JOINT-PENETRATION GROOVE WELDS						
Tension Normal to weld axis	Strength of the joint is controlled by the base metal				Matching filler metal shall be used. For T- and corner joints with backing left in place, notch tough filler metal is required. See Section J2.6.	
Compression Normal to weld axis	Strength of the joint is controlled by the base metal				Filler metal with a strength level equal to or one strength level less than matching filler metal is permitted.	
Tension or compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.				Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.	
Shear	Strength of the joint is controlled by the base metal				Matching filler metal shall be used. ^(c)	
PARTIAL-JOINT-PENETRATION GROOVE WELDS INCLUDING FLARE V-GROOVE AND FLARE BEVEL GROOVE WELDS						
Tension Normal to weld axis	Base	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	F_u	See J4	Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.	
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a		
Compression Column to base plate and column splices designed per Section J1.4(1)	Compressive stress need not be considered in design of welds joining the parts.					
Compression Connections of members designed to bear other than columns as described in Section J1.4(2)	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4		
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a		
Compression Connections not finished-to-bear	Base	$\phi = 0.90$ $\Omega = 1.67$	F_y	See J4		
	Weld	$\phi = 0.80$ $\Omega = 1.88$	$0.90F_{EXX}$	See J2.1a		
Tension or compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.					
Shear	Base	Governed by J4				
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{EXX}$	See J2.1a		

Fuente: (AISC 360, 2010, p.115)

$$F_{nw} = 0.90 * (0,6 * F_{EXX}) * t_e * L_W \quad ec. (6 - 3)$$

$$F_{nBM} = 0.90 * (0,6 * F_{yBM}) * t_e * L_W \quad ec. (7 - 3)$$

Donde:

F_{nw} = resistencia de diseño (a tensión) del metal de soldadura.

F_{nBM} = resistencia de diseño del material base (a tensión).

F_{EXX} = resistencia del electrodo E6011. 424 MPa = 4323.6 kgf/cm².

F_{yBM} = esfuerzo de fluencia del material base 36 ksi = 2531.05 kgf/cm².

t_e = espesor efectivo de la garganta de la soldadura de ranura, espesor del patín.

L_W = longitud de la soldadura de ranura en el patín.

3.4. Dimensiones de las probetas para los ensayos a corte en la soldadura de filete

En este punto tomando como referencia las dimensiones de la viga principal y las dimensiones de la soldadura de filete que actúa al cortante, se procedió a la obtención de probetas para realizar el ensayo a tracción donde la soldadura de filete actúa al cortante.

Las dimensiones de las probetas se elaboraron de conformidad a lo establecido en las normas ASME:2019 sección IX parte QB-150 figura QB-462.1(c), AISC 360:2010 tabla D3.1 caso 4. La soldadura en las probetas se realizará de acuerdo con la norma AWS D1.1:2020 y conforme al (WPS) Especificación del Procedimiento de Soldadura.

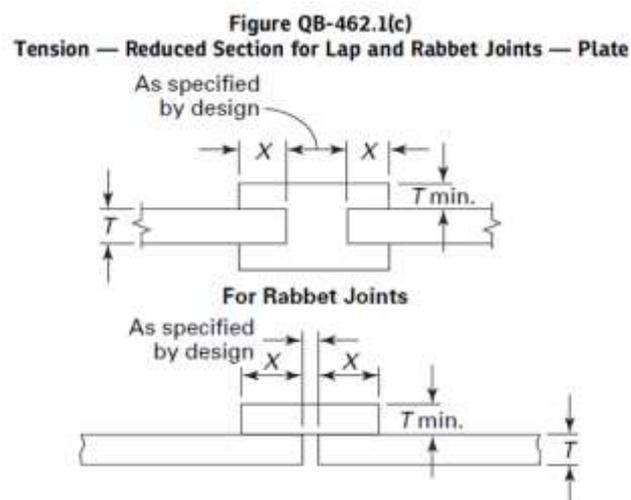


Ilustración 11-3: Espécimen de prueba para tracción.

Fuente: ASME IX, 2009, p.257.

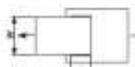
De acuerdo con lo mostrado en la ilustración 50-3, se tiene dos espesores T y T mínimo en donde se utilizará el espesor de menor medida, el valor del menor espesor será tomado de la unión viga columna como se muestra en la ilustración 39-3.

Se realizará 9 cupones para los ensayos a corte en la soldadura, donde los espesores de los cupones serán de 4, 6 y 8 mm; los espesores de la placa inferior y placa superior serán del mismo valor.

De acuerdo a la Tabla D3.1 expuesto en AISC 360 (2010, p.28) las dimensiones de los cupones serán de acuerdo al caso 4, lo cual se lo interpreta de dos maneras.

- El traslape de la longitud “ l ” tiene que ser mayor o igual a dos veces la longitud del ancho de la placa “ w ”
- La longitud de la soldadura “ l ” tiene que ser mayor o igual a dos veces el ancho de la placa “ w ”

Tabla 7-3: Factores de retardo de cortante para conexiones a miembros en tensión

TABLE D3.1 Shear Lag Factors for Connections to Tension Members			
Case	Description of Element	Shear Lag Factor, U	Example
1	All tension members where the tension load is transmitted directly to each of the cross-sectional elements by fasteners or welds (except as in Cases 4, 5 and 6).	$U = 1.0$	
2	All tension members, except plates and HSS, where the tension load is transmitted to some but not all of the cross-sectional elements by fasteners or longitudinal welds or by longitudinal welds in combination with transverse welds. (Alternatively, for W, M, S and HP, Case 7 may be used. For angles, Case 8 may be used.)	$U = 1 - \bar{x}/l$	
3	All tension members where the tension load is transmitted only by transverse welds to some but not all of the cross-sectional elements.	$U = 1.0$ and $A_n =$ area of the directly connected elements	
4	Plates where the tension load is transmitted by longitudinal welds only.	$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	

Fuente: AISC 360, 2010, p.28.

De acuerdo a AWS D1.1 (2020, p.19), menciona que la longitud mínima de una soldadura en filete debe ser al menos cuatro veces el tamaño nominal, o se deberá tener en cuenta que el tamaño efectivo de la soldadura no exceda el 25% de su longitud efectiva.

3.5. Especificación del procedimiento de soldadura (WPS)

La soldadura de filete es un tipo de soldadura que siempre está presente en las diferentes construcciones se aplica tanto en juntas traslapadas o juntas tipo T para las diferentes posiciones que existen.

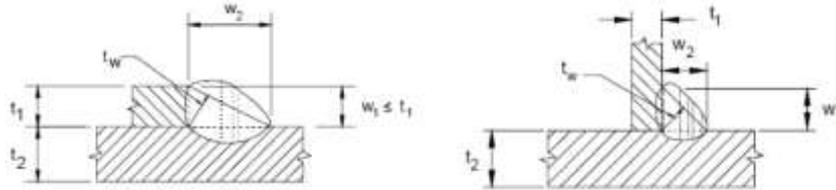


Ilustración 12-3: Soldadura de filete para unión traslapada y unión en T respectivamente

Fuente: (AISI, 2016, p.101)

Es necesario que para cada aplicación de soldadura se sustente bajo un WPS en este caso se utilizó un WPS pre calificado de acuerdo los requerimientos que se muestran en la norma (AWS D1.1, 2020, p.121). Ver Anexo B.

Tabla 8-3: Detalles de la junta soldada de filete precalificada

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness T_1 or T_2	Joint Design/Geometry			Allowed Welding Positions	Notes
			Root Opening	Tolerances			
				As Detailed	As Fit-Up		
SMAW	TC-F12	< 3	R = 0	+1/16, -0	3/16 max.	All	a, b, d
	TC-F12a	≥ 3			5/16 max.		a, b, d
	L-F12	< 3			3/16 max.		a, b, c
	L-F12a	≥ 3			5/16 max.		a, b, c
GMAW FCAW	TC-F12-GF	< 3	R = 0	+1/16, -0	3/16 max.	All	a, b, d
	TC-F12a-GF	≥ 3			5/16 max.		a, b, d
	L-F12-GF	< 3			3/16 max.		a, b, c
	L-F12a-GF	≥ 3			5/16 max.		a, b, c
SAW	TC-F12-S	< 3	R = 0	+1/16, -0	3/16 max.	F, H	a, b, d
	TC-F12a-S	≥ 3			5/16 max.		a, b, d
	L-F12-S	< 3			3/16 max.		a, b, c
	L-F12a-S	≥ 3			5/16 max.		a, b, c

Fuente: (AWS D1.1, 2020, p.121)

3.6. Preparación de las probetas

El proceso para la preparación es de nueve probetas específicamente tres probetas por cada espesor de 4, 6 y 8 milímetros, adicionalmente se utilizó una probeta de prueba con los datos que se detallan en la tabla 16-3 para determinar si el corte se produce en la soldadura o en el material base.

3.6.1. Corte de las probetas

El corte de las planchas es del acero ASTM A36 para posteriormente conformar las probetas será mediante la utilización de una amoladora.



Ilustración 13-3: Corte para conformar las probetas.

Realizado por: Acuña, 2022

Se adjunta una tabla con las dimensiones de las probetas, la placa N°1 son las placas de los extremos mientras que la placa N°2 es la placa del centro.

Tabla 9-3: Dimensiones de los cupones

Probetas	Espesor (mm)	Dimensiones				N° Cupones		
		Long x ancho (mm)	Uni.	Long x ancho (mm)	Uni.			
Cupón 1	4	Placas N°1	290 x 40	2	Placa N°2	250 x 90	1	3
Cupón 2	6		290 x 40	2		250 x 90	1	3
Cupón 3	8		290 x 40	2		250 x 90	1	3
Cupón de prueba	6		290 x 40	2		250 x 90	1	1

Realizado por: Acuña, 2022

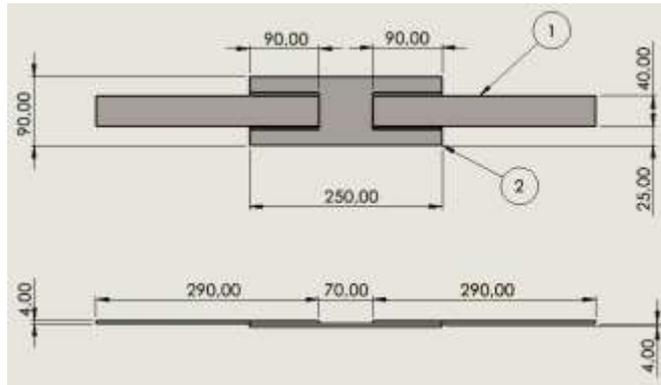


Ilustración 14-3: Dimensiones de los cupones para espesores de 4, 6, 8 mm

Realizado por: Acuña, 2022

3.6.2. Probeta de prueba utilizando un espesor de 6 milímetros

El cupón de prueba se realizó en base a la soldadura de filete con una longitud efectiva de 360 milímetros aplicada en una cara del alma de la viga que se une a la columna de la unidad educativa de tres pisos (ver tabla 18-3), para verificar en que parte de la probeta sufre el corte ya sea en el material base o en la soldadura de filete; teniendo en cuenta que son cuatro cordones de soldadura con una longitud efectiva de 90 milímetros y un tamaño de filete de 5 milímetros.

3.6.2.1. Resistencia al corte de la soldadura de filete en la probeta de prueba

Tabla 10-3: Datos para la probeta de prueba

Datos:	
Material	A36
Fy del material	36 ksi
Fu del material	58 ksi
Electrodo	E 6011
Tamaño filete "w"	5 mm
Garganta	0,707*w
Longitud de soldadura	90 mm
Número de cordones	4

Realizado por: Acuña, 2022

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

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

$$F_{nw} = 0.60 * (60)$$

$$F_{nw} = 36 \text{ ksi}$$

$$A_{we} = 0,707 * w * L * 4$$

$$A_{we} = 0,707 * 5 * 90 * 4$$

$$A_{we} = 1272,6 \text{ mm}^2$$

$$A_{we} = 1,97 \text{ plg}^2$$

$$R_n = 36 \text{ 000 psi} * 1,97 \text{ plg}^2$$

$$R_n = 70 \text{ 920 lbf}$$

Revisión de la relación: longitud / tamaño de la soldadura o filete (L/w)

$$\frac{L}{w} = \frac{90}{5} = 18 < 100 ; \text{No se reduce resistencia de soldadura } \beta = 1,0$$

Resistencia de diseño LRFD: $\Phi = 0,75$

$$\Phi R_n = 0,75 * 70 \text{ 920 lbf}$$

$$\Phi R_n = 53 \text{ 190 lbf, ó } 236 \text{ 600,91 N}$$



Ilustración 15-3: Probeta de prueba ensayada al corte en las soldaduras de filete.

Realizado por: Acuña, 2022

3.7. Dimensionamiento de la soldadura de filete

Para el dimensionamiento de la soldadura de filete se tomó en cuenta el espesor de la probeta, el tamaño mínimo de filete, garganta efectiva, y longitud siendo la longitud la variable a encontrar debido a que si se utiliza una longitud excesiva el fallo se produce en el material base, esta longitud encontrada será la longitud máxima debido a que se utilizó los valores mínimos del tamaño de filete y los valores máximos a la tracción tanto del material base como del material de aporte, sin embargo, se tiene una longitud mínima de soldadura que es la cual se utilizó puesto

que, al utilizar la longitud máxima es muy probable que el corte se produzca en el material base o en la soldadura.

$$fv = \frac{F}{A} \quad \text{ec. (13 - 3)}$$

Donde:

fv = esfuerzo máximo al corte del material base, según (ASTM A36, 1997, p.3).

A = área de la sección transversal de la placa menor que conforma el cupón.

F = fuerza que actúa en la menor placa del cupón.

Por consiguiente, se determinó la fuerza que actúa en el área de la sección transversal de la menor placa que es en donde va a estar sujeta la mordaza de la máquina universal, esta fuerza será reemplazada en el esfuerzo que se produce en los cordones de soldadura a fin de encontrar la longitud máxima.

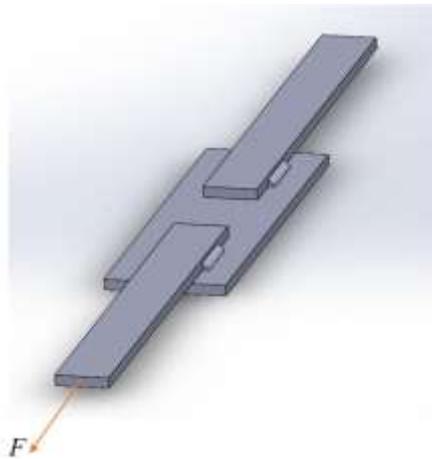


Ilustración 16-3: Fuerza que actúa en la placa menor.

Realizado por: Acuña, 2022

Una vez que se encontró la fuerza que actúa en cada placa se determinó la longitud máxima de la soldadura de filete de acuerdo a la fórmula para el cortante que actúa en las soldaduras de filete que es el 0.30 por la clasificación de resistencia a la tracción del metal de aporte como lo menciona la tabla 4.3 de la AWS D1.1(2020, p.32), adicionalmente se tomó en cuenta el valor de la garganta efectiva, tamaño mínimo de filete.

$$0,30 fv = \frac{F}{A} \quad \text{ec. (14 - 3)}$$

Donde:

$0.30 fv$ = esfuerzo al corte para soldaduras de filete, según (AWS D1.1, 2020, p.32).

F = fuerza que actúa en la menor placa del cupón.

A = área efectiva de la soldadura.

3.7.1. Probeta de 4 milímetros

Datos para la placa menor:

Material:	A36
Fu “resistencia ultima a la tracción” (ASTM A36, 1997, p.3):	80 ksi
Ancho de la placa:	40 mm = 1,57 plg
Espesor de la placa:	4 mm = 0,157 plg

$$fv = \frac{F}{A}$$

$$F = fv * A$$

$$F = 80\,000 \left[\frac{lbf}{plg^2} \right] * (0,157 * 1,57) [plg^2]$$

$$F = 19\,719,2 [lbf]$$

Mediante el uso de la ecuación (7-3), se determina la longitud máxima del cordón de soldadura para los cupones de 4 milímetros.

Por lo tanto:

Datos para el cordón de soldadura:

Electrodo:	E 6011
Diámetro del electrodo	1/8 plg
Fu “resistencia ultima a la tracción” (INDURA, 2014, p.1):	71 794 psi
Espesor cupón:	4mm = 0,157 plg
Longitud min. Soldadura:	40mm = 1,57 plg
Tamaño min. Filete "w" tabla 7.7 (AWS D1.1, 2020, p.207):	3 mm = 0,118 plg
Garganta:	0,707*w
Longitud máx. Soldadura:	incógnita
Número de cordones:	4

$$A = \frac{F}{0,30 fv}$$

$$\text{donde, } A = 4 * \text{garganta} * L$$

$$4 * 0,707(0,118)[plg] * L = \frac{19\,719,2 [lbf]}{0,30 * 71\,794 \left[\frac{lbf}{plg^2} \right]}$$

$$L = 2,74 [plg]$$

$$L = 70 [mm]$$

3.7.2. Probeta de 6 milímetros

Datos para la placa menor:

Material:	A36
Fu “resistencia ultima a la tracción” (ASTM A36, 1997, p.3):	80 ksi
Ancho de la placa:	40 mm = 1,57 plg
Espesor de la placa:	6 mm = 0,236 plg

$$fv = \frac{F}{A}$$

$$F = fv * A$$

$$F = 80\,000 \left[\frac{lbf}{plg^2} \right] * (0,236 * 1,57) [plg^2]$$

$$F = 29\,641,6 [lbf]$$

Mediante el uso de la ecuación (7-3), se determina la longitud máxima del cordón de soldadura para los cupones de 6 milímetros.

Por lo tanto:

Datos para el cordón de soldadura:

Electrodo:	E 6011
Diámetro del electrodo	1/8 plg
Fu “resistencia ultima a la tracción” (INDURA, 2014, p.1):	71 794 psi
Espesor cupón:	6mm = 0,236 plg
Longitud min. Soldadura:	40mm = 1,57 plg
Tamaño min. Filete "w" tabla 7.7 (AWS D1.1, 2020, p.207):	3 mm = 0,118 plg
Garganta:	0,707*w
Longitud máx. Soldadura:	incógnita
Número de cordones:	4

$$A = \frac{F}{0,30 fv}$$

donde, el $A = 4 * garganta * L$

$$4 * 0,707(0,118)[plg] * L = \frac{29\,641,6 [lbf]}{0,3 * 71\,794 \left[\frac{lbf}{plg^2} \right]}$$

$$L = 4,1 [plg]$$

$$L = 104 [mm]$$

3.7.3. Probeta de 8 milímetros

Datos para la placa menor:

Material:	A36
Fu “resistencia ultima a la tracción” (ASTM A36, 1997, p.3):	80 ksi
Ancho de la placa:	40 mm = 1,57 plg
Espesor de la placa:	8 mm = 0,315 plg

$$fv = \frac{F}{A}$$

$$F = fv * A$$

$$F = 80\,000 \left[\frac{lbf}{plg^2} \right] * (0,315 * 1,57) [plg^2]$$

$$F = 39\,564 [lbf]$$

Mediante el uso de la ecuación (7-3), se determina la longitud máxima del cordón de soldadura para los cupones de 8 milímetros.

Por lo tanto:

Datos para el cordón de soldadura:

Electrodo:	E 6011
Diámetro del electrodo	1/8 plg
Fu “resistencia ultima a la tracción” (INDURA, 2014, p.1):	71 794 psi
Espesor cupón:	8mm = 0,315 plg
Longitud min. Soldadura:	40mm = 1,57 plg
Tamaño min. Filete "w" tabla 7.7 (AWS D1.1, 2020, p.207):	5 mm = 0,196 plg
Garganta:	0,707*w
Longitud máx. Soldadura:	incógnita
Número de cordones:	4

$$A = \frac{F}{0,30 fv}$$

donde, el $A = 4 * garganta * L$

$$4 * 0,707(0,196)[plg] * L = \frac{39\,564 [lbf]}{0,3 * 71\,794 \left[\frac{lbf}{plg^2} \right]}$$

$$L = 3,31 [plg]$$

$$L = 84 [mm]$$

3.8. Preparación de los cupones

Se prepararon los cupones mediante la utilización de prensas sujetando las placas a la mesa de trabajo como se muestra en la ilustración 48-3, para evitar que exista una separación entre las

placas y a fin de descartar movimientos entre las mismas; este proceso se realizó en todos los cupones.



Ilustración 17-3: Preparación de cupones.

Realizado por: Acuña, 2022

3.9. Soldadura en los cupones

El proceso de soldadura que se utilizó es el proceso SMAW E-6011, el personal encargado que realizó la soldadura es personal calificado para la aplicación en este proceso, en posición 1F. Se aplicó la soldadura de acuerdo con la especificación de procedimiento de soldadura (WPS). Ver anexo B.

Tabla 11-3: Parámetros de soldadura que se utilizó en los cupones.

Probetas		PASES	PROCESO	ELECTRODO (CLASE)	DIÁMETRO DEL ELECTRODO (in)	AMPS.	VOLTS.	VEL. cm/min	POLARIDAD
Probeta de 4 mm	Cupón N° 1	1	SMAW	E-6011	1/8	85	22	15	inversa
	Cupón N°2	1	SMAW	E-6011	1/8	85	22	15	Inversa
	Cupón N°3	1	SMAW	E-6011	1/8	85	21.5	15	Inversa
Probeta de 6 mm	Cupón N° 1	1	SMAW	E-6011	1/8	92	22	15	Inversa
	Cupón N°2	1	SMAW	E-6011	1/8	92	23	15	Inversa
	Cupón N°3	1	SMAW	E-6011	1/8	92	22	15	Inversa
Probeta de 8 mm	Cupón N° 1	1	SMAW	E-6011	1/8	105	23	11.5	Inversa
	Cupón N°2	1	SMAW	E-6011	1/8	105	23.5	11.5	Inversa
	Cupón N°3	1	SMAW	E-6011	1/8	105	23.5	11.5	inversa

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 18-3: Cupones
de 4 mm.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 19-3: Cupones
de 6 mm.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 20-3: Cupones
de 8 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

3.10. Ensayos no destructivos

Una vez que se soldaron todos los cupones se realizó los ensayos no destructivos en los cupones mediante personal certificado bajo la practica recomendada SNT-TC-1A de la (ASNT, 2016, p.4). Se realizó tres ensayos no destructivos que son importantes para la elaboración de los cupones, en donde cada ensayo cumplió una función importante, los cuales se detallan a continuación.

3.10.1. Ensayo mediante inspección visual

La inspección visual se realizó antes, durante y después de la soldadura como lo establece la norma AWS B1.11 (2000, p.2), el examen visual revela únicamente fallas en la superficie el cual es una indicación valiosa de la calidad de la soldadura.

Mediante la utilización de galgas calibradas se mide los espesores de los cupones, longitud de soldadura, tamaño de pierna, defectos o discontinuidades en la superficie que se visualizan con la vista humana.



Ilustración 21-3: Medición de espesores.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 22-3: Control de garganta:



Ilustración 23-3: Longitud de soldadura.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 24-3: Inspección post soldadura.

Realizado por: Acuña, 2022

3.10.2. Ensayo mediante tintas penetrantes

La inspección mediante tintas penetrantes se realizó después de que la soldadura se haya enfriado por completo, con la ayuda de tres spray se aplica este método, primeramente se aplica un limpiador en la superficie para retirar cualquier impureza que afecte en el resultado, una vez esté completamente seco y libre de cualquier impureza se aplica una tinta penetrante está actuara de 5 a 7 minutos en la soldadura a fin de concentrarse en los puntos donde exista defectos o discontinuidades una vez haya pasado el tiempo de concentración se retira el exceso de tinta y por último se aplicó un revelador el cual actuara por el principio de capilaridad el cual detecta y revela si existe o no algún defecto o discontinuidad en la soldadura de filete.



Ilustración 25-3: Aplicación de tinta penetrante.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 32-3: Ampliación del revelador.

Realizado por: Acuña, 2022

3.10.3. Ensayo mediante partículas magnéticas

El examen de partículas magnéticas se realizó después de los ensayos VT y PT con la finalidad de poder descartar grietas, fisuras y otras discontinuidades en o cerca del cordón de soldadura; se aplicó sobre la superficie limpia, sin escoria, óxido o proyecciones, se aplicó el limpiador E59A, se utilizó un equipo Yugo Magnético Parker, AC/DC, SN: 15611, se empleó partículas negras

húmedas visibles MPI-80 con pintura de contraste WCP-81; aplicadas durante la magnetización (continuo), tipo de corriente DC pulsado, la dirección de campo es longitudinal, dos magnetizaciones en X respecto al cordón, la fuerza de campo magnético es de 40 lb con polos separados de 6 pulgadas.



Ilustración 33-3: Aplicación pintura de contraste WCP-81.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 34-3: Aplicación de partículas Magnéticas.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 35-3: Todos los cupones ensayados mediante NDT.

Realizado por: Acuña, 2022

3.11. Cálculo teórico de la capacidad o resistencia al corte en las soldaduras de filete

Se determinó el valor teórico de la resistencia al corte en la soldadura de filete para cada grupo de probetas, su valor obtenido será comparado con el valor experimental. La resistencia al corte se calculó de acuerdo con los valores y dimensiones tomados de los cordones de soldadura de cada cupón y se los reemplazó con el uso de las ecuaciones 3, 4 y 5 del presente capítulo.

3.11.1. Resistencia al corte de la soldadura de filete para la probeta de 4 mm

Datos:

Material	A 36
Electrodo	E 6011
F _{exx}	495 MPa o 71.794 ksi
Espesor cupón	4mm = 0.157 plg
Longitud cordón "l"	40mm = 1.57 plg
Tamaño filete "w" tabla 7.7 AWS D1.1:2020	3 mm = 0.118 plg
Garganta efectiva "g"	0,707*w
Número de cordones "N"	4

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

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

$$F_{nw} = 0.60 * (495 \times 10^6) [N/m^2]$$

$$A_{we} = g * l * N [m^2]$$

$$A_{we} = (0.707 * 3 * 40 * 4)[mm^2] * \frac{1[m^2]}{(1000 mm)^2}$$

$$R_n = 0.60 * (495 \times 10^6) [Pa] \left[\frac{N}{m^2} \right] * (0.707 * 3 * 40 * 4) [mm^2] * \frac{1[m^2]}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 100\,789.92 \text{ N}$$

Revisión de la relación: longitud / tamaño de la soldadura o filete (L/w)

$$\frac{L}{w} = \frac{40}{3} = 13.3 < 100 ; \text{No se reduce resistencia de soldadura } \beta = 1.0$$

Resistencia de diseño LRFD: $\Phi = 0.75$

$$\Phi R_n = 0.75 * 100\,789.92 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 75\,592.44 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 16\,993.86 \text{ lbf}$$

3.11.2. Resistencia al corte de la soldadura de filete para la probeta de 6 mm

Datos:

Material	A 36
Electrodo	E 6011
F _{EXX}	495 MPa o 71.794 ksi
Espesor cupón	6mm = 0.236 plg
Longitud cordón "l"	45mm = 1.77 plg
Tamaño filete "w" tabla 7.7 AWS D1.1:2020	3 mm = 0.118 plg
Garganta efectiva "g"	0,707*w
Número de cordones "N"	4

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

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

$$F_{nw} = 0.60 * (495 \times 10^6) [N/m^2]$$

$$A_{we} = g * l * N [m^2]$$

$$A_{we} = (0.707 * 3 * 45 * 4) [mm^2] * \frac{1[m^2]}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 0.60 * (495 \times 10^6) [Pa] \left[\frac{N}{m^2} \right] * (0.707 * 3 * 45 * 4) [mm^2] * \frac{1[m^2]}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 113\,388.66 \text{ N}$$

Revisión de la relación: longitud / tamaño de la soldadura o filete (L/w)

$$\frac{L}{w} = \frac{40}{3} = 13.3 < 100 ; \text{No se reduce resistencia de soldadura } \beta = 1.0$$

Resistencia de diseño LRFD: $\Phi = 0.75$

$$\Phi R_n = 0.75 * 113\,388.66 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 85\,041.49 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 19\,118.1 \text{ lbf}$$

3.11.3. Resistencia al corte de la soldadura de filete para la probeta de 8 mm

Datos:

Material	A 36
Electrodo	E 6011
F _{EXX}	495 MPa o 71.794 ksi
Espesor cupón	8mm = 0.315 plg
Longitud cordón "l"	38mm = 1.50 plg
Tamaño filete "w" tabla 7.7 AWS D1.1:2020	5 mm = 0.196 plg
Garganta efectiva "g"	0,707*w
Número de cordones "N"	4

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

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

$$F_{nw} = 0.60 * (495 \times 10^6) [N/m^2]$$

$$A_{we} = g * l * N [m^2]$$

$$A_{we} = (0.707 * 5 * 38 * 4) [mm^2] * \frac{1 [m^2]}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 0.60 * (495 \times 10^6) [Pa] \left[\frac{N}{m^2} \right] * (0.707 * 5 * 38 * 4) [mm^2] * \frac{1 [m^2]}{(1000 \text{ mm})^2}$$

$$R_n = 159\,584.04 \text{ N}$$

Revisión de la relación: longitud / tamaño de la soldadura o filete (L/w)

$$\frac{L}{w} = \frac{40}{5} = 8 < 100 ; \text{No se reduce resistencia de soldadura } \beta = 1.0$$

Resistencia de diseño LRFD: $\Phi = 0.75$

$$\Phi R_n = 0.75 * 159\,584.04 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 119\,688.03 \text{ N}$$

$$\Phi R_n = 26\,906.94 \text{ lbf}$$

3.12. Ensayos destructivos en las probetas

El ensayo que se aplicó a los cupones es un ensayo a tracción en la cual la soldadura de filete actúa al cortante, el valor que se obtuvo será la carga máxima registrada y así poder comparar con los resultados teóricos de la resistencia al corte. Adicionalmente el valor que se obtuvo experimentalmente en la soldadura de filete será comparado y justificado como lo menciona la tabla 4.3 para soldadura de filete de acuerdo a la norma (AWS D1.1, 2020, p.32).

3.12.1. *Proceso de montaje de los cupones en la máquina universal*

Se colocó cada cupón en la máquina universal sujetando correctamente las placas externas de los cupones con las mordazas, la mordaza superior sujeta la placa superior manteniéndola fija, mientras que la mordaza inferior sujeta la placa inferior para que realice un desplazamiento hacia abajo para de esta manera los cupones estén sometidos a tracción y la soldadura de filete actúe al cortante.



Ilustración 36-3: Montaje de probeta de 4 mm.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 37-3: Montaje de probeta de 6 mm.

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 32-3: Montaje de probeta
de 8 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

3.13. Modelación de la soldadura de filete de los cupones en ANSYS.

Cuando se trabaja con elementos finitos, el motor de cálculo del (MEF) se aproxima a la solución deseada, por ejemplo (deformaciones o tensiones) para todo el modelo mediante el “ensamblaje” de soluciones simples para elementos individuales, desde la perspectiva de la metodología del (MEF), podemos considerar los siguientes pasos:

- Definición del problema
- Preproceso
- Proceso
- Post proceso

3.13.1. Definición del problema

El objetivo principal de la modelación de la soldadura de filete de las probetas es validar los resultados que se obtuvo experimental mediante una simulación que nos permite identificar el corte que se produce en la soldadura de filete para ello se hace el uso de elementos finitos ANSYS, el complemento que se utilizó para la simulación es Explicit Dynamics.

3.13.2. Preproceso

El análisis empezó con la geometría representada por un modelo tridimensional generado mediante un programa de diseño, esta geometría debe ser apta para obtener una malla de elementos finitos correcta y razonablemente pequeña.

3.13.2.1. Definición del material

Se ocupó las características y propiedades mecánicas de dos materiales diferentes debido a que el material base es un acero ASTM A36 y el material de aporte es un electrodo celulósico de clase E-6011.

Tabla 12-3: Propiedades del acero ASTM A36.

Properties of Outline Row 3: ASTM A36			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7850	kg m ⁻³
4	Tensile Yield Strength	3.5E+08	Pa
5	Tensile Ultimate Strength	4E+08	Pa
6	Specific Heat Constant Pressure, C _p	482	J kg ⁻¹ C ⁻¹
7	Johnson Cook Strength		
8	Strain Rate Correction	First-Order	
9	Initial Yield Stress	1.8E+08	Pa
10	Hardening Constant	2E+08	Pa
11	Hardening Exponent	0.26	
12	Strain Rate Constant	0.022	
13	Thermal Softening Exponent	1	
14	Melting Temperature	1526	C
15	Reference Strain Rate (/sec)	1	

Realizado por: Acuña, 2022

Tabla 13-3: Propiedades del electrodo E-6011.

Properties of Outline Row 4: E6011			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	7850	kg m ⁻³
4	Tensile Yield Strength	4.24E+08	Pa
5	Tensile Ultimate Strength	4.99E+08	Pa
6	Specific Heat Constant Pressure, C _p	482	J kg ⁻¹ C ⁻¹
7	Johnson Cook Strength		
8	Strain Rate Correction	First-Order	
9	Initial Yield Stress	1.8E+08	Pa
10	Hardening Constant	2E+08	Pa
11	Hardening Exponent	0.26	
12	Strain Rate Constant	0.022	
13	Thermal Softening Exponent	1	
14	Melting Temperature	1537,9	C
15	Reference Strain Rate (/sec)	1	

Realizado por: Acuña, 2022

3.13.2.2. Generación del modelo geométrico mediante SpaceClaim

ANSYS SpaceClaim permite crear, editar o modificar geometría importada, sin la complejidad asociada con los sistemas CAD tradicionales, la geometría de las placas de acero ASTM A36 y el detalle de la soldadura de filete que se muestra en la ilustración 66-3, a cada elemento que conforma la probeta se la definió con un nombre tanto para las placas como para la soldadura de filete (placa superior, placa inferior, placa base, weld 1, weld 2, weld 3 y weld 4) esto nos ayuda para definir los contactos, joints.

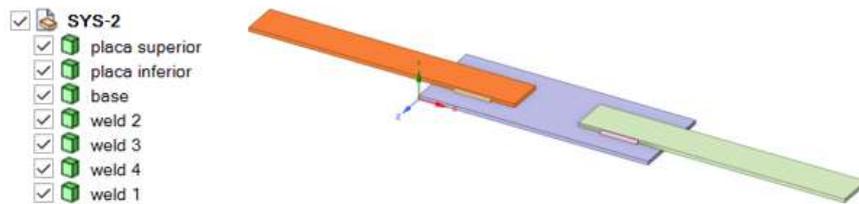


Ilustración 38-3: Geometría y definición de cada elemento

Realizado por: Acuña, 2022

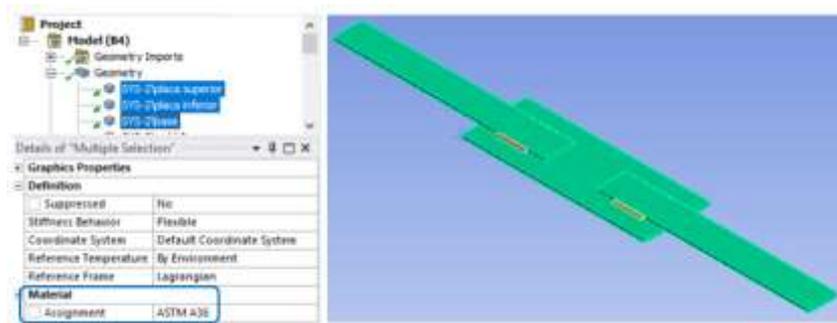


Ilustración 39-3: Asignación del material a las placas

Realizado por: Acuña, 2022



Ilustración 40-3: Asignación del material a los cordones de soldadura

Realizado por: Acuña, 2022

3.13.2.3. Restricciones de desplazamiento y giro

Dentro de las conexiones se tiene lo que es los “contacts-bonded” y “joints”, la forma en que se comportan las referencias en contacto es permanecer conectadas; los bonded se aplican entre las caras de las placas teniendo en cuenta que es un contacto sin rozamiento, también se aplicó entre las caras de la soldadura de filete y las caras de las placas según sea la referencia de contacto.

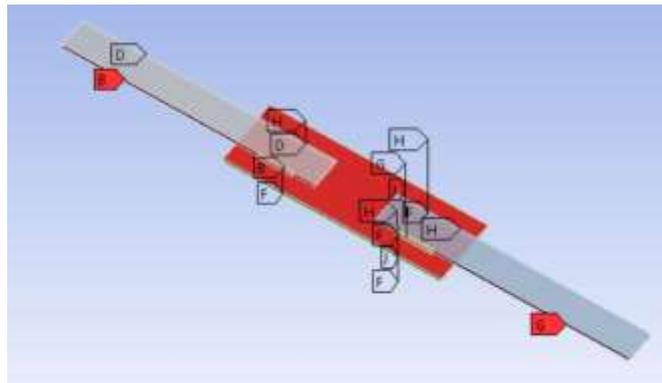


Ilustración 41-3: Aplicación de "contacts-bonded"

Realizado por: Acuña, 2022

En los “joints” se seleccionó cual va a ser la parte de referencia y la parte móvil, así mismo se definió la parte deformable siendo la placa inferior y la parte rígida siendo la placa superior; se colocó esta restricción para de esta manera obtener la tracción y ocasioné el corte en la soldadura de filete al momento de aplicar la fuerza.

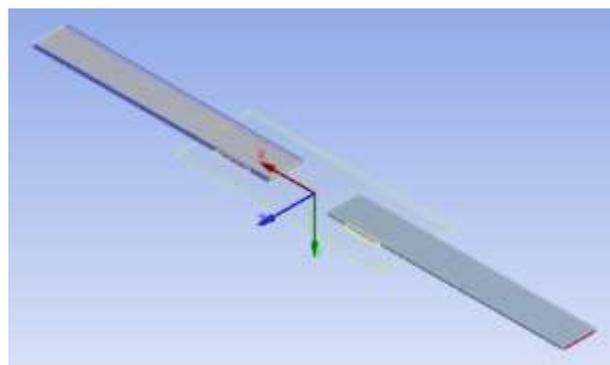


Ilustración 42-3: Restricción de placa superior e inferior

Realizado por: Acuña, 2022

Se colocó un eje de coordenadas con el objetivo de colocar la parte rígida y la parte donde se aplica la fuerza para generar la tracción a la probeta.

3.13.2.4. Mallado del modelo

ANSYS (2004, p.29) menciona que, evite las formas degeneradas de elementos sólidos y capas (como una capa triangular o un sólido tetraédrico). Por lo general, son demasiado rígidas y menos precisas que las formas cuadriláteras y hexaédricas. Trate de lograr una malla con tamaños de elementos uniformes (es decir, evite áreas con elementos relativamente pequeños). Una gran diferencia en los tamaños de los elementos puede causar un tamaño de paso de tiempo mínimo pequeño y, por lo tanto, un tiempo de ejecución prolongado.

Se generó la malla de los cupones, donde se ocupó la elección que esta por default ya que Explicit Dynamics sugiere que no es aceptable utilizar elementos tetraédricos ni pirámides; Explicit Dynamics ofrece al momento de mallar, herramientas estadísticas que establecen el grado de compatibilidad de los resultados con respecto al mundo real.

De acuerdo a la geometría de las probetas las herramientas que se usó en el software son las que se muestra en la siguiente ilustración y se obtuvo un mallado sumamente fino con una malla de 2mm sobre todo el elemento, esto significa que el modelo se dividió en zonas de 2 mm^2 para que el software resuelva el modelo matemático y evitar errores al momento de la simulación, el mallado que se utilizó es el mismo para los tres espesores diferentes de cada probeta que se utilizó específicamente de 4, 6 y 8 milímetros.

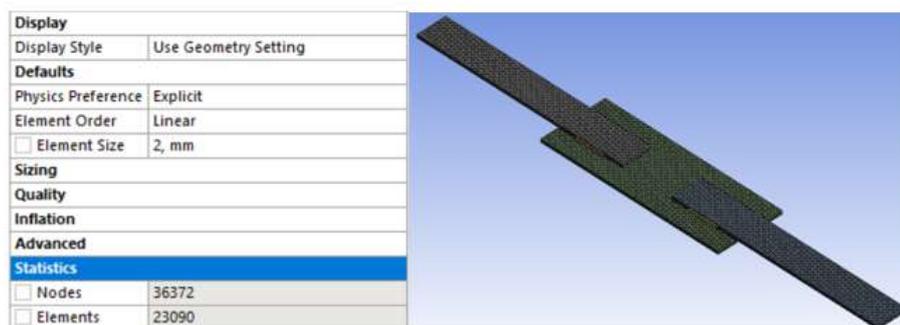


Ilustración 43-3: Probeta de 4mm, detalles del mallado y modelo geométrico.

Realizado por: Acuña, 2022

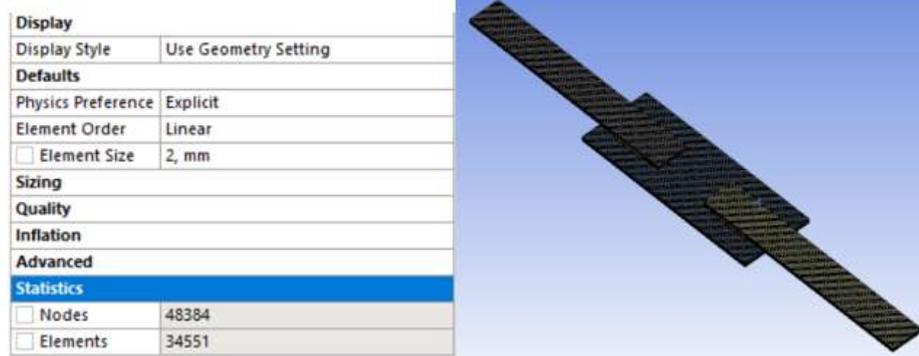


Ilustración 44-3: Probeta de 6mm, detalles del mallado y modelo geométrico.

Realizado por: Acuña, 2022

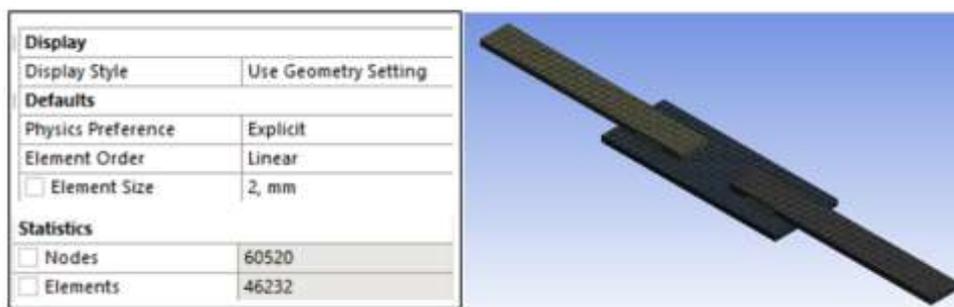


Ilustración 45-3: Probeta de 8 mm, detalles del mallado y modelo geométrico.

Realizado por: Acuña, 2022

3.13.2.5. Definición del solver

Explicit Dynamics es la opción válida cuando se simula la respuesta dinámica de fenómenos físicos altamente transitorios y altamente no lineales (Ansys, 2011, p.2).

El Analysis Settings (configuración de análisis), se trabajó bajo ciertas condiciones, esto depende del comportamiento y variación de las fuerzas externas e internas, las propiedades mecánicas de los elementos involucrados, tipos de fuerza, condiciones de contacto, mismas que pueden variar en función del tiempo, según el tiempo de su solución pueden ser del tipo implícito o explícito, para la presente simulación en el que las condiciones del problema son dinámicas se aplican los modelos de resolución explícita.

3.13.3. Proceso

En la solución computacional se utilizó el complemento Explicit Dynamics de ANSYS debido a las características de aplicación, para la solución computacional se tomó la consideración de dos

puntos importantes: definir la posición fija en un extremo del cupón y colocar la fuerza en el otro extremo del cupón para que de esta manera se efectúe la tracción y se produzca el corte en la soldadura de filete. La fuerza aplicada en cada cupón de la simulación será de acuerdo con el promedio de las tres fuerzas que se obtuvo experimentalmente de cada espesor que se ensayó; la fuerza que se aplicó en la simulación fue superior a la experimental, este proceso de simulación se lo realizó en las tres probetas de diferente espesor específicamente de 4, 6 y 8 milímetros.

Tabla 14-3: Fuerzas de cada probeta que se aplicó en la simulación

Probetas	Fuerza aplicada (Newtons)
Probeta de 4 mm	79 200 N
Probeta de 6 mm	94 300 N
Probeta de 8 mm	119 900 N

Realizado por: Acuña, 2022

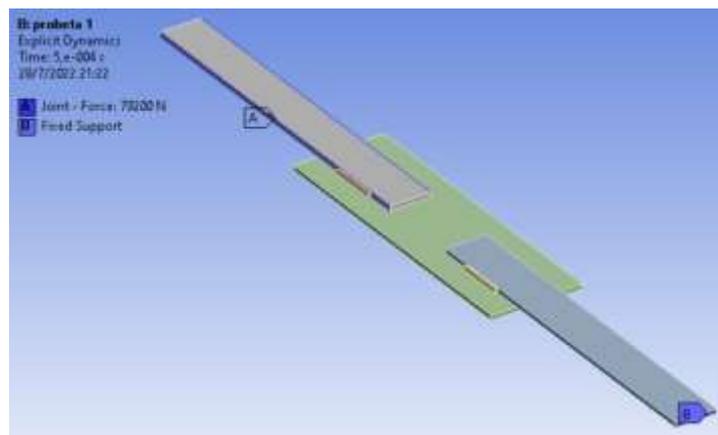


Ilustración 46-3: Solución computacional, probeta de 4 mm

Realizado por: Acuña, 2022

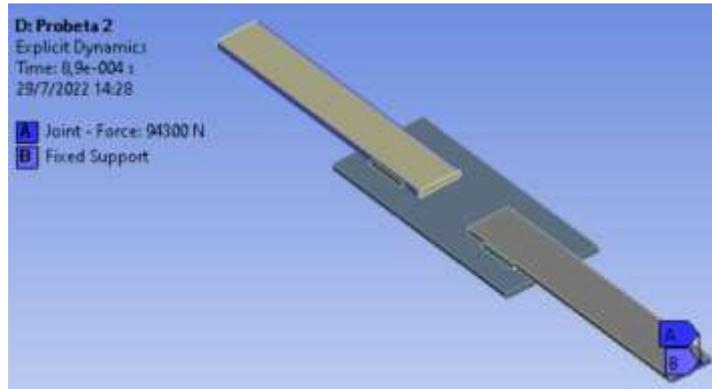


Ilustración 47-3: Solución computacional, probeta de 6 mm

Realizado por: Acuña, 2022

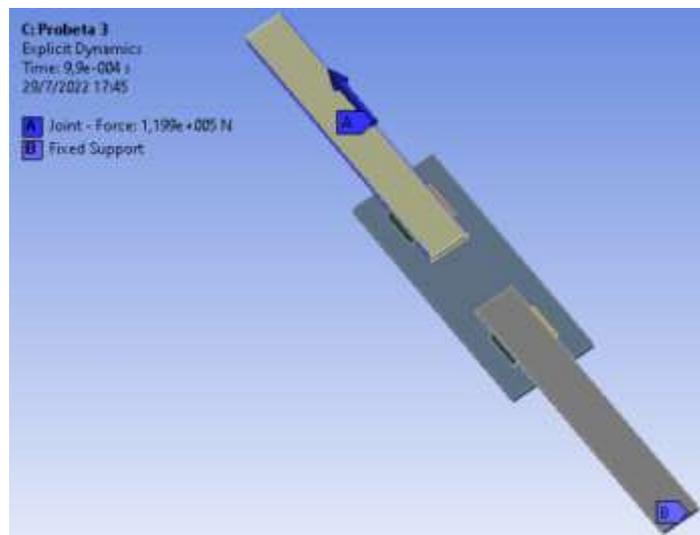


Ilustración 48-3: Solución computacional, probeta de 8mm

Realizado por: Acuña, 2022

3.13.4. *Post proceso*

Para el análisis de resultados, después de que se realizó todo el proceso de preparación, validación y ejecución del ensayo, se presenta los resultados mediante ilustraciones después de ejecutar el estudio, el análisis de resultados se presenta en el capítulo IV de este proyecto técnico, el resultado de la simulación se validará mediante la definición del Hourglass.

Además, se obtuvieron los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad de cada cupón ensayado.

3.14. Unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos

En este punto se analizó el diseño que existe de una unión viga columna donde los elementos de dicha unión están sometidos a momentos y cargas gravitacionales, en la cual la soldadura fue aplicada directamente entre los elementos estructurales anteriormente mencionados.

De acuerdo a la AISC 360 (2010, p.12) menciona que, se pueden permitir dos tipos de uniones a momento, totalmente restringidas y parcialmente restringidas. Una unión totalmente restringida deberá tener suficiente resistencia y rigidez para mantener el ángulo entre los elementos conectados en los estados límites de resistencia.

Como se apreció en las ilustraciones 38-3 y 39-3 el diseño de la unión viga columna no presenta un detalle de una conexión precalificada por lo cual la soldadura se aplicó directamente a los miembros estructurales para de esta manera obtener una unión totalmente restringida como se muestra en la ilustración 41-3. Adicionalmente para el diseño de la soldadura en la unión viga columna se realizó una hoja electrónica para verificar la razón demanda capacidad de la unión soldada. Ver anexo M.

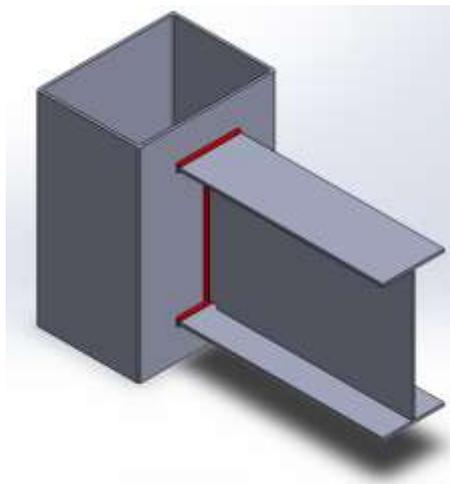


Ilustración 49-3: Soldadura en la unión viga columna.

Realizado por: Acuña. 2022

3.14.1. Selección de las uniones viga columna de la primera planta de la Unidad Educativa

En este punto se escogieron uniones donde las vigas son críticas tanto en los pórticos resistentes a momento y pórticos gravitacionales, se las consideró críticas debido a que, las vigas que se ubican en el pórtico perimetral son las de mayor longitud, son las vigas cargadoras y es justamente

el pórtico perimetral el que resiste el sismo, mientras que en los pórticos gravitacionales tiene la unión de vigas principales. Ver anexo M (vista de planta del primer piso de la unidad educativa)



Ilustración 50-3: Puntos críticos de las uniones viga columna.

Fuente: Noboa, 2022

Se presenta un resumen con las dimensiones de las vigas que se conectan a los puntos críticos señalados, donde h representa la distancia libre en la que se puede aplicar el cordón de soldadura a los dos lados del alma de la viga.

Tabla 15-3: Dimensiones de los puntos críticos perimetrales de la primera planta.

Puntos críticos	Vigas principales	Dimensiones de las vigas principales					
		Longitud (mm)	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	$h=d-2tf$ (mm)
P1	U7'-R7'	9000	450	6	180	10	430
	U7'-U6	4150	400	6	180	10	380
P2	U5-R5	9000	450	6	180	10	430
	U5-U6	4500	400	6	180	10	380
	U5-U4	4500	400	6	180	10	380
P3	R1-R2	6000	400	6	180	10	380
	R1-Q1	3000	400	6	180	10	380
	R1-S1	3000	400	6	180	10	380

Realizado por: Acuña, 2022

Tabla 16-3: Dimensiones de los puntos críticos internos de la primera planta.

Puntos críticos	Vigas principales	Dimensiones de las vigas principales					
		Longitud (mm)	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	h=d-2tf (mm)
P4	R3-S3	3000	400	6	180	10	380
	R3-Q3	3000	400	6	180	10	380
	R3-R4	4150	400	6	180	10	380
	R3-R2	3000	400	6	180	10	380
P5	R6-U6	9000	450	6	180	10	430
	R6-Q6	3000	400	6	180	10	380
	R6-R7'	4150	400	6	180	10	380
	R6-R5	4500	400	6	180	10	380

Realizado por: Acuña, 2022

Los datos de diseño de la columna y la viga principal se muestran a continuación:

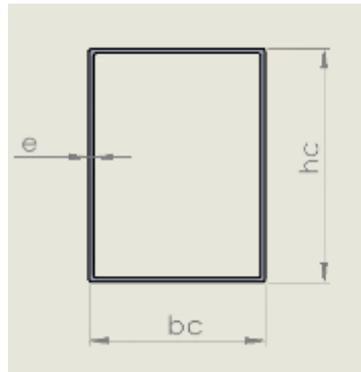


Ilustración 51-3: Dimensiones de la columna

Realizado por: Acuña, 2022

Dimensiones de la columna de sección rectangular:

Base “bc” 300 mm

Altura “hc” 400 mm

Espesor “e” 8 mm

Dimensiones de la viga principal perfil tipo IPE:

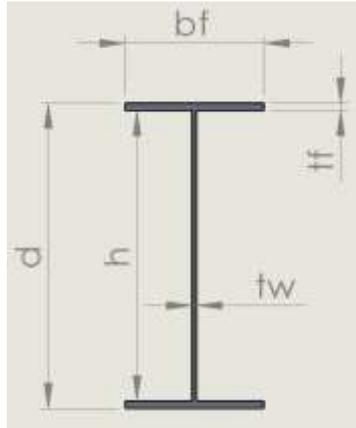


Ilustración 52-3: Dimensiones de la viga

Realizado por: Acuña, 2022

Longitud total de la sección transversal de la viga: d	400 mm
Espesor del alma: t_w	6 mm
Longitud del patín: b_f	180 mm
Espesor del patín: t_f	10 mm
Distancia libre entre los patines de la viga: h	380 mm

3.14.1.1. Conexiones a momento

Las conexiones a momento son aquellas que deben ser diseñadas a fuerzas combinadas de momento y corte.

3.14.1.2. Conexiones simples

Las conexiones simples son aquellas que son diseñadas como flexibles y se las dimensiona para reacciones de corte.

3.14.2. Configuración de la soldadura de filete entre la unión viga columna

Se analizó mediante la ilustración (74-3) que es lo que comúnmente se realiza en nuestro país, la práctica común en el diseño de la soldadura es despreciar el esfuerzo normal y basar el tamaño de la junta, en la intensidad del esfuerzo cortante.

En el área de la garganta de la soldadura a 45° de los catetos, esta es la mínima área del cordón por donde tiene que fallar el corte (planos de corte de la soldadura en la garganta) (Ringegni, 2013, p.6).

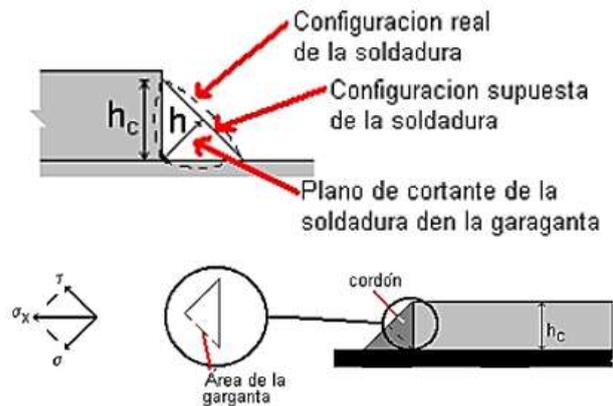


Ilustración 53-3: Análisis de los esfuerzos presentes en la garganta de la soldadura

Fuente: (Ringegni, 2013, p.6)

3.14.3. Resistencia de la soldadura a tensión

Posteriormente se calculó la resistencia a tensión de las soldaduras de ranura de penetración completa que están presentes en los patines de las vigas. Que deben soportar las fuerzas para tensión o compresión normal al área efectiva.

$$F_{nw} = 0,90 * (0,6 * F_{EXX}) * t_e * L_W \quad ec(4 - 3)$$

$$F_{nBM} = 0,90 * (0,6 * F_{yBM}) * t_e * L_W \quad ec(5 - 3)$$

Donde:

F_{nw} = resistencia de diseño (a tensión) del metal de soldadura.

F_{nBM} = resistencia de diseño del material base (a tensión).

F_{EXX} = resistencia del electrodo E6011. 424 MPa = 4323.6 kgf/cm².

F_{yBM} = esfuerzo de fluencia del material base 36 ksi = 2531.05 kgf/cm².

t_e = tf espesor del patín.

L_W = bf longitud de soldadura en el patín.

Entonces:

La resistencia de diseño del metal de soldadura.

$$F_{nw} = 0,90 * (0,6 * F_{EXX}) * t_e * L_W$$

$$F_{nw} = 0,9 * (0,6 * 4323,6 \text{ kgf/cm}^2) * (1 * 18) \text{ cm}^2$$

$$F_{nw} = 42\,025,4 \text{ kgf}$$

$$F_{nw} = 42,025 t$$

La resistencia de diseño del material base.

$$F_{nBM} = 0,90 * (0,6 * F_{yBM}) * t_e * L_W$$

$$F_{nBM} = 0,90 * (0,6 * 2531,05 \text{ kgf/cm}^2) * (1 * 18) \text{ cm}^2$$

$$F_{nBM} = 24 601,81 \text{ kgf}$$

$$F_{nBM} = 24,6 t$$

Por consiguiente:

$$F_{nw} > F_{nBM}$$

De acuerdo con los cálculos efectuados, la resistencia de diseño de la soldadura es mayor a la resistencia del material base. Por lo que se demuestra que el diseño de la junta patín columna está controlado debido a que el esfuerzo de fluencia del material base controla el diseño por sobre el esfuerzo de fluencia del electrodo.

3.14.4. Resistencia de la soldadura a cortante

Para la aplicación entre unión viga columna que se tomó como modelo la ilustración (74-3) en el presente proyecto técnico se realizó el siguiente análisis, en vista de que el patín superior del cordón de soldadura asumido como una sección está a tensión y flexión y el patín inferior estaría a flexión y compresión, se trabajó únicamente con la sección T que trabaja de la siguiente manera, patín superior a “tensión más flexión”, el alma de la viga a “cortante más flexión”, como se muestra en la ilustración (79-3).

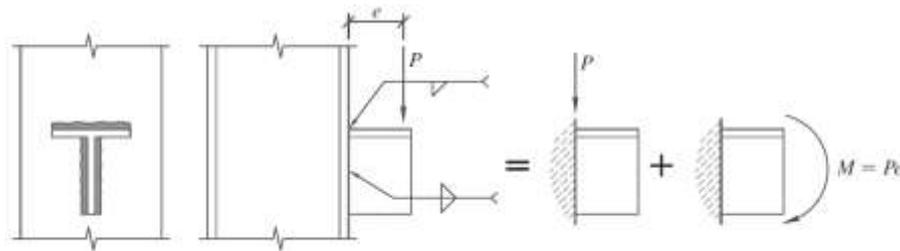


Ilustración 54-3: Soldadura en T, cargada a cortante más tensión

Fuente: (Aghayere y Vigil, 2009, p. 480)

De acuerdo a Abi y Jason (2009, p.480) menciona que, una carga que se aplica a un grupo de soldadura que no está en el plano del grupo de soldadura ilustración (47-3) produce componentes de esfuerzo cortante y tensión en el grupo de soldadura. La carga excéntrica aplicada se resuelve en un componente de cortante directo igual a la carga aplicada, P, y un momento igual a Pe. Usando

una unidad de ancho para el espesor de la soldadura, los componentes de tensión son los siguientes:

Componente de cortante directo:

$$f_p = \frac{P}{l} \quad \text{ec. (6 - 3)}$$

Componente de tensión debido a momentos:

$$f_m = \frac{P * e}{S} \quad \text{ec. (7 - 3)}$$

Donde:

P = carga aplicada.

e = excentricidad.

l = longitud total de soldadura en el grupo.

S = módulo de sección del grupo de soldadura.

El esfuerzo de soldadura resultante se encuentra sumando los componentes de cortante y tensión que mediante el principio de Von Mises el esfuerzo resultante se expresa de la siguiente manera:

$$f_r = \sqrt{(f_p)^2 + (f_m)^2} \quad \text{ec. (8 - 3)}$$

3.14.4.1. Resistencia o capacidad de la soldadura a corte

Una vez que se encontró el esfuerzo de soldadura resultante se puede determinar el tamaño de soldadura, donde (Abi y Jason, 2009, p.464) menciona que, el tamaño de soldadura se expresa comúnmente como un espesor de dieciseisavos de pulgada. Por ejemplo, un tamaño de soldadura de $w=1/4$ in podría expresarse como cuatro dieciseisavos de pulgada o simplemente como D4. Según la tabla J2.5 de la (AISC 360, 2010, p.115) el factor de reducción de resistencia para corte es $\phi=0,75$. Combinando esto con una fuerza de electrodo de uso común de $F_{EXX} = 60$ ksi, por lo tanto la ecuación queda definida de la siguiente manera, que a su vez también se define como la capacidad de la soldadura al cortante.

$$\phi R_n = (0,75)(0,6)(F_{EXX}) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \left(\frac{D}{16} \right) L \quad (9 - 3)$$

Donde:

ϕR_n = resistencia o capacidad de la soldadura a corte.

D = tamaño de soldadura en dieciseisavos de pulgada.

L = longitud de soldadura.

3.14.4.2. Excentricidad para una unión no precalificada entre viga columna

Cómo se mostró en la ilustración (47-3), existe una excentricidad que se aplica en la unión viga columna de acuerdo al caso que está planteado, para ello se utilizó la ilustración (80-3) del capítulo de conexiones de la (AISC 358, 2010, p.76)

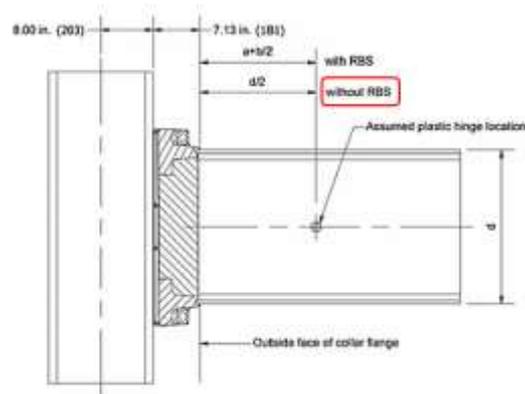


Ilustración 55-3: Ubicación de la excentricidad (acogiendo el criterio de conexiones no precalificadas)

Fuente: (AISC 358, 2010, p. 76)

De acuerdo con lo que se detalla en la ilustración (80-3) para una conexión no precalificada la ubicación de la excentricidad rótula plástica se ubica a una distancia tomada como la mitad de la altura “d” de la viga que se conecta con la columna, es decir la excentricidad es igual a:

$$e = \frac{d}{2} \quad \text{ec. (10 - 3)}$$

3.14.4.3. Momento unitario de soldadura de la sección T

Conforme al grupo de soldadura de la sección T se visualiza en la tabla 26-3 el módulo de sección que se utilizó para el presente caso.

Tabla 17-3: Extracción de la tabla 10.3 de momento polar y módulos de sección para grupos de soldadura

Weld Group	Center of Gravity, in. x, y	Section Modulus, in. ³		I_p (or J), in. ⁴
		S_{top}	S_{bot}	
	$\frac{b}{2} \frac{d^2}{b + 2d}$	$\frac{2bd + d^2}{3}$	$\frac{d^2(2b + d)}{3(b + d)}$	$\frac{(b + 2d)^3}{12} - \frac{d^2(b + d)^2}{(b + 2d)}$

Fuente: (Aghayere y Vigil, 2009, p. 476)

3.14.5. Cálculo de esfuerzos resultantes del grupo de soldadura en la sección T

En la ilustración (81-3) se aprecia la nomenclatura del grupo de soldadura de sección T, que es donde está presente la demanda de la soldadura y a la cual debe existir una capacidad para dicha demanda, por lo tanto, la razón demanda capacidad determinara la eficiencia teórica de la soldadura.

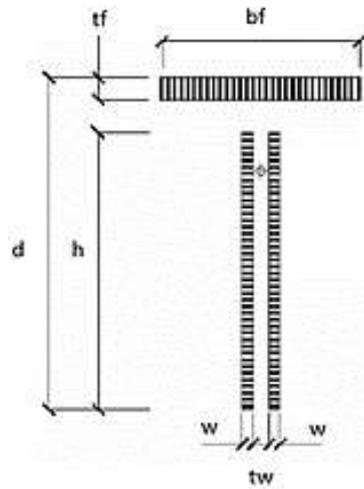


Ilustración 56-3: Nomenclatura del grupo de soldadura de la sección T

Fuente: (Uniones, 2022, p.68)

3.14.5.1. Centro de gravedad de la sección T

Con los datos que se muestran en la tabla 17-3 del presente capítulo se obtiene el centro de gravedad respecto a x – y; aplicando las propiedades de la sección que se mostró en la tabla (24-3) se tiene que:

$$\bar{x} = \frac{b}{2} \quad ec.(11 - 3)$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d} \quad ec(12 - 3)$$

3.14.5.2. Momento Unitario de la sección T

Con los datos que se muestran en la tabla (24-3) del presente capítulo se obtiene el momento unitario de la sección T donde únicamente se varió el peralte “d” ya que no se tomó en cuenta el espesor del patín inferior, mientras que para “h” si se tomó en cuenta el peralte completo de la viga, y aplicando las propiedades de la sección que se muestra en la tabla (27-3).

Tabla 18-3: Propiedades de sección T del grupo de soldadura de patín superior y alma de la viga principal de los nodos perimetrales.

Vigas principales	Dimensiones de las vigas principales						Propiedades de la sección T (soldadura)			
	Longitud (mm)	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	h=d-2tf (mm)	\bar{x} (mm)	\bar{y} (mm)	S_{top} (mm ²)	S_{bot} (mm ²)
U7'-R7'	9000	440	6	180	10	430	90	182,64	117333,33	83268,82
U7'-U6	4150	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
U5-R5	9000	440	6	180	10	430	90	182,64	117333,33	83268,82
U5-U6	4500	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
U5-U4	4500	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R1-R2	6000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R1-Q1	3000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R1-S1	3000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53

Realizado por: Acuña, 2022

Los valores de la tabla 18-3 se obtuvieron aplicando la hoja excel del anexo K, el valor del módulo de la sección para los posteriores cálculos se utilizó el S_{top} debido a que representa el módulo de sección de los cordones de soldadura que actúan en el patín superior y a los lados del alma de la viga.

La longitud de la soldadura será la sumatoria de dos veces la longitud del alma de la viga más la longitud del patín superior de la viga.

Se tomó los datos de la primera viga U7'-R7', en la cual se determinó los valores de f_p , f_m y f_r , donde este último esfuerzo calculado será comparado con la capacidad de la soldadura a cortante utilizando la ecuación (9-3) como los describe (Abi y Jason, 2009, p.464).

- *Componente de cortante directo:*

$$f_p = \frac{P}{l}$$

$$f_p = \frac{9,054 \text{ t}}{1,04 \text{ m}}$$

$$f_p = 8,706 \text{ t/m}$$

- *Componente de tensión debido a momentos:*

$$f_m = \frac{P * e}{S_{top}}$$

$$e = \frac{d}{2} = \frac{440}{2}$$

$$e = 220\text{mm} \text{ ó } 0,22\text{m}$$

Entonces:

$$f_m = \frac{9,054 \text{ t} * 0,22 \text{ m}}{117333,33 \text{ mm}^2 * \left(\frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}\right)^2}$$

$$f_m = 16,976 \text{ t/m}$$

Por lo tanto, el esfuerzo de soldadura resultante es:

$$f_r = \sqrt{(8,706)^2 + (16,976)^2}$$

$$f_r = 19,078 \text{ t/m}$$

Se realizaron los cálculos que se muestran para todas las vigas principales, los cuales se detalla en la tabla (28-3)

Tabla 19-3: Esfuerzos de soldadura que se producen en la sección T de los puntos perimetrales.

Vigas principales	Resistencias requeridas		Propiedades del grupo de soldadura			Esfuerzos de soldadura en la sección T		
	Vu (cortante de diseño)		Long. Soldadura (patín superior más el alma)	Módulo de sección del grupo de soldadura	Excentricidad	Cortante directo	Tensión debido a momentos	Esfuerzo de soldadura resultante
	(kgf)	(t)	L (cm)	S (mm ²)	e (mm)	fp (t/m)	fm (t/m)	fr (t/m)
U7'-R7'	9054	9,054	104	117333,33	220	8,706	16,976	19,078
U7'-U6	8290	8,290	94	97500	195	8,819	16,58	18,779
U5-R5	8944	8,944	104	117333,33	220	8,600	16,77	18,846
U5-U6	8467	8,467	94	97500	195	9,007	16,934	19,180
U5-U4	8307	8,307	94	97500	195	8,837	16,614	18,818
R1-R2	8821	8,821	94	97500	195	9,384	17,642	19,982
R1-Q1	4524	4,524	94	97500	195	4,813	9,048	10,248
R1-S1	4367	4,367	94	97500	195	4,646	8,734	9,892

Realizado por: Acuña, 2022

La soldadura está sujeta a tensión debido a flexión y cortante, este fenómeno concuerda con el principio de combinación de esfuerzos expresado por Abi y Jason (2009, p.415)

$$\left(\frac{fp}{\phi Rn}\right)^2 + \left(\frac{fm}{Fnw}\right)^2 = 1,0 \quad (13 - 3)$$

Donde:

fp = componente de cortante directo.

ϕRn = capacidad a corte de la soldadura.

f_m = componente de tensión debido a momentos.

F_{nw} = capacidad a tensión debido a momentos de la soldadura.

Se procedió a calcular la ϕR_n , en la cual se utilizó la ecuación (9-3)

$$\phi R_n = (0,75)(0,6)(F_{EXX}) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \left(\frac{D}{16} \right) L$$

La capacidad a corte de la soldadura se la dejará expresada en unidades de toneladas por cada metro, debido a que la tabla (19-3) mantiene unidad es de toneladas por cada metro (t/m); el electrodo E-6011 que se utilizó, dicho electrodo tiene una resistencia a la tensión de 60 000 psi o 42 272.643 t/m.

Para el tamaño de soldadura se tomó en cuenta el espesor mínimo del material base y apoyándose en la tabla (9-2) tamaños mínimos para la soldadura de filete de acuerdo a (AWS D1.1, 2020, p. 220), donde el tamaño mínimo debe ser de 1/4 in, y como se mencionó en el inciso 3.4.4.1 se lo expresa como $D = 4$ teniendo en cuenta que al dividir D para 16in se tiene 1/4 in también se lo puede dejar expresado como 0.006 m.

Adicionalmente la longitud de soldadura se detalló en la tabla (19-3).

Teniendo en cuenta estas aclaraciones se tienen que:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= (0,75)(0,6)(F_{EXX}) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) \left(\frac{D}{16} \right) L \\ \phi R_n &= (0,75)(0,6) \left(42\,272,643 \frac{\text{t}}{\text{m}^2} \right) \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right) (0,006 \text{ m})(1,04 \text{ m}) \\ \phi R_n &= 83,92 \text{ t} \end{aligned}$$

Una vez que se obtiene la capacidad del grupo de soldadura sección T, esta capacidad será comparada con la demanda de cada punto crítico externo, la comprobación de la razón demanda capacidad del grupo de soldadura de sección T, se muestran en el capítulo IV.

- Para los puntos críticos internos de la primera planta que se señaló en la ilustración (75-3), los cuales se muestran detallados en la tabla (19-3).

Los puntos críticos internos se encuentran trabajando de acuerdo a como lo menciona la NEC - SE - AC (2015, p. 19), se refiere a aquellos nodos en los cuales han sido diseñados para resistir solamente cargas verticales es decir forman parte de pórticos gravitacionales.

Tabla 20-3: Resistencias de diseño requerida de cada viga de los puntos internos.

Puntos críticos	Vigas principales	Resistencias requeridas	
		Vu (cortante de diseño)	
		(kgf)	(t)
P4	R3-S3	4157	4,157
	R3-Q3	4202	4,202
	R3-R4	8185	8,185
	R3-R2	4277	4,277
P5	R6-U6	9058	9,058
	R6-Q6	4205	4,205
	R6-R7'	8127	8,127
	R6-R5	8552	8,552

Fuente: Noboa, 2022

Tabla 21-3: Dimensiones de los puntos críticos internos de la primera planta.

Puntos críticos	Vigas principales	Dimensiones de las vigas principales					
		Longitud (mm)	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	h=d-2tf (mm)
P4	R3-S3	3000	400	6	180	10	380
	R3-Q3	3000	400	6	180	10	380
	R3-R4	4150	400	6	180	10	380
	R3-R2	3000	400	6	180	10	380
P5	R6-U6	9000	450	6	180	10	430
	R6-Q6	3000	400	6	180	10	380
	R6-R7'	4150	400	6	180	10	380
	R6-R5	4500	400	6	180	10	380

Realizado por: Acuña, 2022

De acuerdo con lo descrito en la filosofía de diseño de la soldadura en la sección 3.4.4 y 3.4.5 se obtuvieron las propiedades y esfuerzos de soldadura para la sección de soldadura tipo T, los cuales se muestran en las tablas (21-3) y (22-3).

Tabla 22-3: Propiedades de sección de las vigas internas de la primera planta.

Vigas principales	Dimensiones de las vigas principales						Propiedades de sección T (soldadura)			
	Longitud (mm)	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	h=d-2tf (mm)	\bar{x}	\bar{y}	S _{top} (mm ³)	S _{bot} (mm ³)
R3-S3	3000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R3-Q3	3000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R3-R4	4150	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R3-R2	3000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R6-U6	9000	440	6	180	10	430	90	182,64	117333,33	83268,82
R6-Q6	3000	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R6-R7'	4150	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53
R6-R5	4500	390	6	180	10	380	90	158,44	97500	66710,53

Realizado por: Acuña, 2022

Los valores de las tablas (22-3) y (23-3) se obtuvieron aplicando la hoja excel del anexo M, el valor del módulo de la sección para los posteriores cálculos se utilizó el S_{top} debido a que representa el módulo de sección de los cordones de soldadura que actúan en el patín superior y a los lados del alma de la viga.

Se utilizaron las ecuaciones 6, 7 y 8 del presente capítulo donde se obtuvieron los resultados del componente de cortante directo, componente de tensión debido a momentos y el esfuerzo de soldadura resultante respectivamente.

La longitud de la soldadura será la sumatoria de dos veces la longitud del alma de la viga más la longitud del patín superior de la viga.

Tabla 23-3: Esfuerzos de soldadura que se producen en la sección T de los puntos internos.

Vigas principales	Resistencias requeridas		Propiedades del grupo de soldadura			Esfuerzos de soldadura en la sección T		
	Vu (cortante de diseño)	Long. Soldadura (patín superior más dos veces el alma)	Módulo de sección del grupo de soldadura.	Excentricidad	Cortante directo	Tensión debido a momentos	Esfuerzo de soldadura resultante	
								(kgf)
R3-S3	4157	4,157	94	97500	195	4,422	8,314	9,417
R3-Q3	4202	4,202	94	97500	195	4,470	8,404	9,519
R3-R4	8185	8,185	94	97500	195	8,707	16,370	18,542
R3-R2	4277	4,277	94	97500	195	4,550	8,554	9,689
R6-U6	9058	9,058	104	117333,333	220	8,710	16,984	19,087
R6-Q6	4205	4,205	94	97500	195	4,473	8,410	9,526
R6-R7'	8127	8,127	94	97500	195	8,646	16,254	18,410
R6-R5	8552	8,552	94	97500	195	9,098	17,104	19,373

Realizado por: Acuña, 2022

Una vez que se obtiene la capacidad del grupo de soldadura sección T, esta capacidad será comparada con la demanda de cada punto crítico interno, la comprobación de la razón demanda capacidad del grupo de soldadura de sección T, se muestran en el capítulo IV.

3.15. Análisis de costos

Los costos que se generó en el presente trabajo se realiza un análisis de costos directos e indirectos como se muestra a continuación:

3.15.1. Costos directos

Para el presente trabajo se considera costos directos a los materiales utilizados en la construcción de los cupones, insumos, equipos, herramientas e instrumentos utilizados, mano de obra y transporte.

3.15.1.1. Materiales

En esta sección se describe los materiales que se utilizó.

Tabla 24-3: Costos de materiales

Ítem.	Descripción	Unidad	Peso	Cantidad	Costo unitario (\$)	Subtotal (\$)
1	Plancha de acero ASTM A36: 1000x110x4 mm	kg	3,45	4	2,68	36,98
2	Plancha de acero ASTM A36: 1000x110x6 mm	kg	5,18	4	2,68	55,53
3	Plancha de acero ASTM A36: 1000x110x8 mm	kg	6,91	4	2,68	74,08
4	Electrodos Indura E-6011. 1/8"	kg	1	5	4,5	22,5
5	Discos de corte para metal de 5"	u	-	15	2	30
6	Discos de desbaste para metal de 5"	u	-	1	2	2
7	Grata trenzada de 4"	u	-	1	5	5
					Total	226,09

Realizado por: Acuña, 2022

3.15.1.2. Costo de equipos y herramientas

Tabla 25-3: Costo de máquinas, herramientas e instrumentos

Ítem	Descripción	Horas-Equipo	Costo x hora (\$)	Subtotal (\$)
1	Amoladora	7	8	56
2	Soldadora	5	15	75
3	Galgas para inspección visual	2	20	40
4	Kit de tintas para inspección mediante tintas penetrantes	3	25	75
5	Kit de partículas y yugo magnético Inspección mediante partículas magnéticas	3	30	90
6	Máquina universal	9	6,16	55,44
			Total	391,44

Realizado por: Acuña, 2022

3.15.1.3. Costo de mano de obra

Tabla 26-3: Costos de mano de obra

Ítem.	Descripción	Horas-Hombre	Costo x hora (\$)	Subtotal (\$)
1	maestro cortador	7	7.5	52,50
2	maestro soldador	5	18	90
			Total	142,50

Realizado por: Acuña, 2022

3.15.1.4. Costo de transporte

Tabla 27-3: Costos de transporte

Ítem.	descripción	Subtotal (\$)
1	Transporte	40

Realizado por: Acuña, 2022

3.15.1.5. Costo total directo

Tabla 28-3: Costo total directo

Descripción	Subtotal (\$)
Materiales	226,09
Maquinas, herramientas e instrumentos	391,44
Mano de obra	142,50
Transporte	40
Total	800,03

Realizado por: Acuña, 2022

3.15.2. Costos indirectos

Se consideró como costos indirectos a los costos ingenieriles como la elaboración del WPS (Especificación del Procedimiento de Soldadura), WPQ (Calificación de la Habilidad del Soldador), informes de los ensayos no destructivos, además se incluyó un precio de imprevistos.

Tabla 29-3: Costos indirectos

Descripción	Costo total USD (\$)
Ingenieriles	300
Imprevistos	30
Utilidad	0
Total	330

Realizado por: Acuña, 2022

3.15.3. Costo total

El costo total del presente proyecto representa la suma total entre los costos directos e indirectos, como se muestra en la tabla 30-3.

Tabla 30-3: Costo total

Descripción	Costo total USD (\$)
Costos directos	800,03
Costos indirectos	330
Total	1130,03

Realizado por: Acuña, 2022

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Considerando que el objetivo principal del presente proyecto es la evaluación experimental de la resistencia al corte en soldaduras de filete, se consideró la fabricación de nueve cupones variando específicamente el espesor del cupón, tamaño de filete y longitud de la soldadura.

En este capítulo se presenta los resultados que se obtuvo de los NDT (ensayos no destructivos) y ensayos destructivos (ensayo a tracción) que se aplicó en todos los cupones. Se presenta una verificación empírica en donde se comparan tanto entre los resultados teóricos y experimentales de la resistencia al corte en soldaduras de filete de los cupones, se demostró que los resultados experimentales cumplieron con lo especificado en la norma AWS D1.1:2020. Adicionalmente se presenta la comparación entre los resultados experimentales de los cupones y los resultados de la simulación en la cual se validó la simulación en ANSYS mediante la energía del Hourglass. Finalmente se presenta la razón demanda capacidad de las puntos críticos perimetrales y puntos críticos internos de la primera planta de la unidad educativa de tres pisos.

4.1. Resultado del cupón de prueba utilizando un espesor de 6 milímetros

Una vez que se ensayó el cupón de prueba teniendo en cuenta que cada soldadura de filete tiene una longitud de 90 mm y un tamaño de filete de 5 mm, el resultado fue que la resistencia al corte en la soldadura de filete fue superior al metal base; ya que el cortante actuó sobre el metal base con una carga máxima registrada de 96 896.313 Newtons



Ilustración 1-4: Probeta de prueba
después del ensayo.

Realizado por: Acuña, 2022

La resistencia de la soldadura al cortante de la probeta de prueba fue de 236 945.61 N (ver inciso 3.7.2.1)

Para obtener el esfuerzo a la cual sufrió el corte la probeta, se utilizó la fórmula del esfuerzo.

$$fv = \frac{F}{A}$$

Donde:

fv = esfuerzo al corte que sufrió la probeta.

F = fuerza última registrada en el ensayo.

A = área de la sección transversal de la placa menor.

Por lo tanto:

$$fv = \frac{236\,945.61\text{ N}}{(40 * 6)\text{mm}^2}$$

$$fv = 987.27\text{N/mm}^2$$

$$fv = 407.735\text{ MPa, ó } 59.135\text{ Ksi}$$

A continuación, se muestra el diagrama esfuerzo vs deformación con los datos de la probeta de prueba, el cual el material base al sobre pasar el esfuerzo de fluencia y llegar a su esfuerzo último se produjo la ruptura.

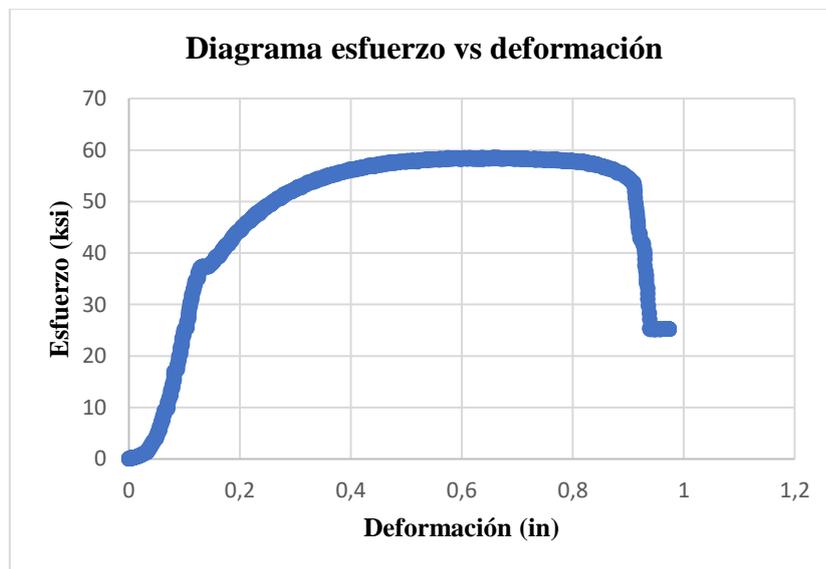


Ilustración 2-4: Diagrama esfuerzo vs deformación de la probeta de prueba.

Realizado por: Acuña, 2022

4.2. Resultado de los ensayos no destructivos

Se realizó tres ensayos no destructivos los cuales fueron inspección visual, tintas penetrantes y partículas magnéticas, a fin de descartar defectos o discontinuidades en la soldadura; en cada ensayo se aplicó el procedimiento según la norma que la rige, una vez tomado los datos se verifico con la norma AWS D1.1:2020 quien determina si se acepta o se rechaza la soldadura.

4.2.1. Resultado de inspección visual

Una vez que se ejecutó el procedimiento de inspección visual de acuerdo a la AWS B1.11 (2000, p.2), y comprobado con el numeral 8.9 de la AWS D1.1 (2020, p.219), la soldadura de todas las probetas es aceptada. (Ver anexo D)

4.2.2. Resultado del ensayo de tintas penetrantes

Una vez que se ejecutó el procedimiento mediante tintas penetrantes de acuerdo a la ASTM E 165 (2012, p.3), y comprobado con el numeral 8.10 de la AWS D1.1 (2020, p.219), la soldadura de todas las probetas es aceptada. (Ver anexo E)

4.2.3. Resultado del ensayo de partículas magnéticas

Una vez que se ejecutó el procedimiento mediante partículas magnéticas de acuerdo a la ASTM E 709 (2001, p.3), y comprobado con el numeral 8.10 de la AWS D1.1 (2020, p.219), la soldadura de todas las probetas es aceptada. (Ver anexo F)

4.3. Resultado del ensayo a tracción de la soldadura de filete que actúa al cortante en los cupones

El resultado se obtuvo por parte del Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional es el siguiente.

Donde: FJS: falla en la junta soldada / FMB: falla en el material base

Tabla 1-4: Ensayo a corte de la soldadura de filete para probetas de 4 mm.

Id	Carga máxima registrada		Obs.
	lbf	N	
M22.054.01	16 541	73 578	FMB
M22.054.02	16 687	74 226	FJS
M22.054.03	16 689	74 235	FJS

Fuente: EPN-Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones

Realizado por: Acuña, 2022

Se evidenció claramente el corte que se produjo en la soldadura de filete, donde el promedio de la carga máxima registrada fue de $F = 16\ 639\ \text{lbf}; 74\ 013\ \text{N}$

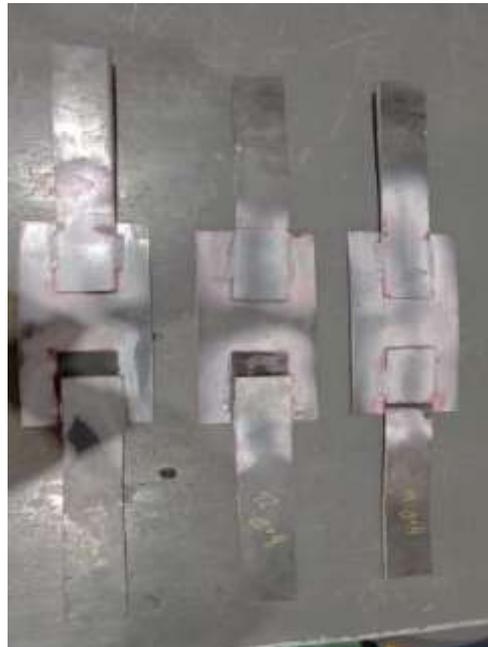


Ilustración 3-4: Cupones de 4mm después del ensayo a tracción.

Realizado por: Acuña, 2022

Tabla 2-4: Ensayo a corte de la soldadura de filete para probetas de 6 mm.

Id	Carga máxima registrada		Obs.
	lbf	N	
M22.054.04	20 417	90 820	FJS
M22.054.05	20 772	92 401	FJS
M22.054.06	16 765	74 573	FJS

Fuente: EPN-Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones

Realizado por: Acuña, 2022

Se evidenció claramente el corte que se produjo en la soldadura de filete, donde el promedio de la carga máxima registrada fue de $F = 19\ 318\ \text{lbf}; 85\ 931.33\ \text{N}$



Ilustración 4-4: Cupones de 6mm después del ensayo a tracción

Realizado por: Acuña, 2022

Tabla 3-4: Ensayo a corte de la soldadura de filete para probetas de 8 mm.

Id	Carga máxima registrada		Obs.
	lbf	N	
M22.054.07	23 985	106 689	FJS
M22.054.08	24 467	108 834	FJS
M22.054.09	25 265	112 384	FJS

Fuente: EPN-Laboratorio de análisis de esfuerzos y vibraciones

Realizado por: Acuña, 2022

Se evidenció claramente el corte que se produjo en la soldadura de filete, donde el promedio de la media de la carga máxima registrada fue de $F = 24\ 572.33$ lbf; $109\ 302.33$ N



Ilustración 5-4: Cupones de 8mm después del ensayo a tracción

Realizado por: Acuña, 2022

4.3.1. Comparación de resultados de la resistencia al corte de la soldadura de filete entre la resistencia teórica y experimental

La comparación de resultados se realizó entre los valores teóricos que se obtuvo de la resistencia al corte y los valores experimentales que se obtuvo en el ensayo a corte en la soldadura de filete, se utiliza un solo valor tanto para el valor teórico como para el valor experimental ya que en el caso de los valores teóricos los valores que se obtuvieron es válido para los tres cupones de cada espesor respectivamente; mientras que en los valores experimentales se utiliza la media de la carga máxima registrada de cada espesor.

Tabla 4-4: Comparación entre el ϕR_n teórico y R_n experimental

Probetas	Espesor (mm)	ϕR_n teórico (N)	R_n experimental (N)	ϕR_n teórico (lbf)	R_n experimental (lbf)
Probeta N°1	4	75 992.44	74 013	17 083.78	16 638.78
Probeta N°2	6	85 041.49	85 931.33	19 118.09	19 318.13
Probeta N°3	8	119 688.03	109 302.33	26 906.94	24 572.14

Realizado por: Acuña, 2022

4.3.2. Porcentaje de error entre la resistencia teórica y resistencia experimental

Se calcula el error porcentual real entre la resistencia al corte teórica y resistencia al corte experimental de acuerdo con los valores registrados en la tabla 44-4.

Tabla 5-4: Error porcentual real entre ϕR_n teórico y R_n experimental

Probetas	espesor (mm)	% Error
Probeta N°1	4	2.13
Probeta N°2	6	1.03
Probeta N°3	8	9,5

Realizado por: Acuña, 2022

De acuerdo con los errores porcentuales mostrados en la tabla 44-4, se obtuvo un error promedio del 4.22%.

4.3.3. *Comprobación de la resistencia experimental con el cortante en la soldadura de filete de acuerdo con la tabla 4.3 de la AWS D1.1:2020*

Se comprobó la soldadura de filete del ensayo experimental de los cupones de acuerdo con lo que describe la tabla 4.3 y al inciso 4.6.4 de la AWS D1.1 (2020, p.21) el cual menciona que, los esfuerzos calculados en el área efectiva de las juntas soldadas no deben exceder los esfuerzos admisibles que se muestran en la tabla 4.3.

Según el manual de INDURA (2014, p.1) la resistencia a la tracción del electrodo E-6011 es de (495 MPa) o (71 794 psi), donde el 30% de la resistencia a la tracción del electrodo mencionado representa los (148,5 MPa) o (21 538 psi).

Se procedió a calcular el esfuerzo en la soldadura de filete de cada cupón ensayado.

4.3.3.1. *Comprobación de los esfuerzos de la soldadura de filete de acuerdo con la tabla 4.3 de la AWS D1.1*

Cupón N°1 con una carga registrada de 16 541 lbf.

“A” representa el área de la soldadura multiplicado por cuatro ya que en el cupón existen cuatro cordones de soldadura.

$$fv_{exp} = \frac{F}{A}$$

Donde:

fv_{exp} = esfuerzo cortante en la soldadura de filete.

A = área de la soldadura.

F = carga máxima registrada en el ensayo experimental.

$0.30 * fv_{E6011} = 21\ 538$ psi.

$$fv_{exp} = \frac{16541 \text{ lbf}}{1,052 \text{ in}^2}$$

$$fv_{exp} = 15723 \text{ psi}$$

Por lo tanto:

$$fv_{exp} \leq 0.30 * fv_{E6011}$$

$$15723 \text{ psi} \leq 21538 \text{ psi}$$

Se realizó el mismo procedimiento para todos los cupones ensayados, se muestra la tabla (45-4) de los cálculos realizados.

Tabla 6-4: Comprobación de resultados experimentales de la soldadura de filete de acuerdo con la tabla 4.3 de la AWS D1.1 (2020, P.32)

Probetas ensayadas al corte en la soldadura de filete		Carga máxima registrada (Lbf)	fv_{exp} (psi)	$0.30 * fv_{E6011}$ (psi)	$fv_{exp} \leq 0.30 * fv_{E6011}$	
					SI	NO
Probeta de 4 mm. (A=1.052in ²)	Cupón N° 1	16 541	15 723	21 538	x	
	Cupón N°2	16 687	15 862	21 538	x	
	Cupón N°3	16 689	15 864	21 538	x	
Probeta de 6 mm. (A=1.059in ²)	Cupón N° 1	20 417	19 279	21 538	x	
	Cupón N°2	20 772	19 614	21 538	x	
	Cupón N°3	16 765	15 831	21 538	x	
Probeta de 8 mm. (A=1.061in ²)	Cupón N° 1	23 985	22 606	21 538		x
	Cupón N°2	24 467	23 060	21 538		x
	Cupón N°3	25 265	23 812	21 538		x

Realizado por: Acuña, 2022

4.4. Resultado de la simulación en ANSYS

En este apartado se muestra los resultados de las simulaciones y validaciones que se realizó a las respectivas probetas de ensayo a corte de la soldadura de filete, donde el valor que se obtuvo experimentalmente es validado en el software ANSYS y se utilizó el complemento Explicit Dynamics.

El valor con él se obtuvo el corte en las soldaduras de filete en las simulaciones es comparado con el valor que se obtuvo experimentalmente, y se alcanzó errores porcentuales por debajo del 10%.

Finalmente, el resultado que se obtuvo al finalizar la simulación también se analizó con el principio del hourglass donde ANSYS (2004, p.116) menciona que, al realizar un análisis Explicit Dynamics la energía del Hourglass no debe exceder el 10% de la energía interna.

4.4.1. Resultado de la simulación de la probeta de 4 milímetros en ANSYS

El valor de la fuerza que se registró en la simulación para que la soldadura de filete falle al cortante fue de 79 200 Newtons.

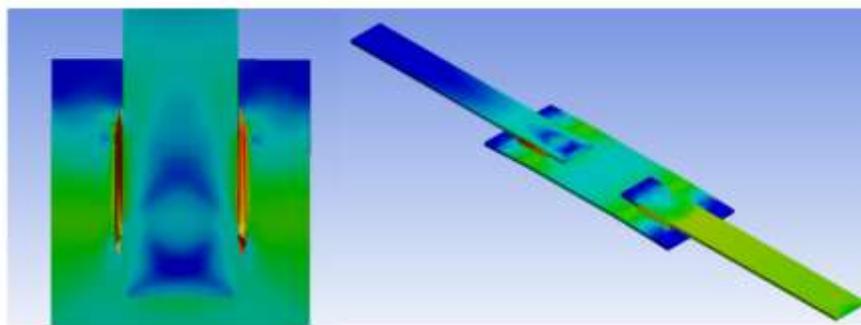


Ilustración 6-4: Evidencia del corte en la soldadura de filete en el cupón de 4mm.

Realizado por: Acuña, 2022

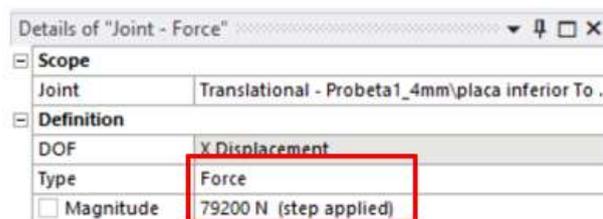


Ilustración 7-4: Fuerza registrada en el cupón de 4 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

4.4.2. Resultado de la simulación de la probeta de 6 milímetros en ANSYS

El valor de la fuerza que se registró en la simulación para que la soldadura de filete falle al cortante fue de 94 300 Newtons.

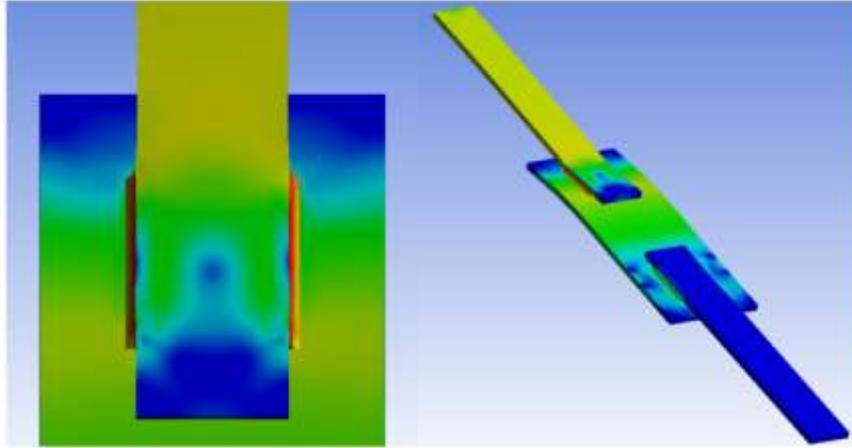


Ilustración 8-4: Evidencia del corte en la soldadura de filete en el cupón de 6 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

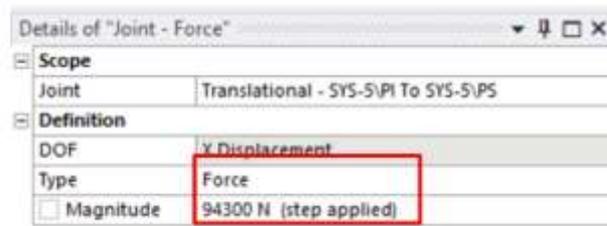


Ilustración 9-4: Fuerza registrada en el cupón de 6 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

4.4.3. Resultado de la simulación de la probeta de 8 milímetros en ANSYS

El valor de la fuerza que se registró en la simulación para que la soldadura de filete falle al cortante fue de 119 900 Newtons.

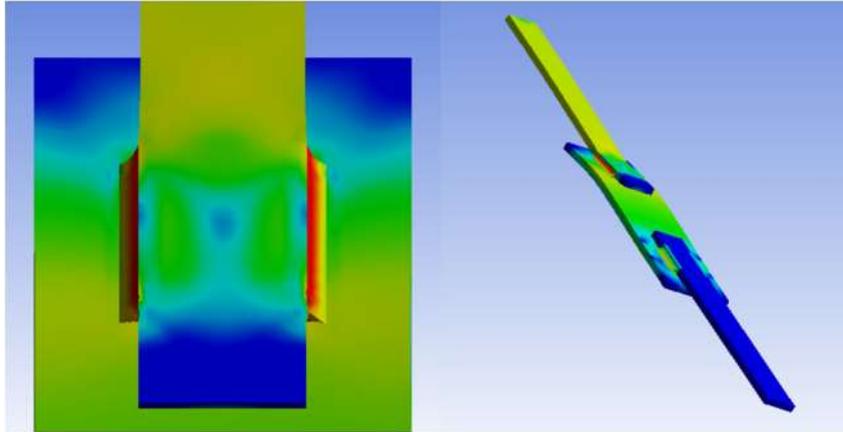


Ilustración 10-4: Evidencia del corte en la soldadura de filete en el cupón de 8 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

Details of "Joint - Force"	
<input type="checkbox"/> Scope	
Joint	Translational - SYS-4\PI To SYS-4\PS
<input type="checkbox"/> Definition	
DOF	X Displacement
Type	Force
<input type="checkbox"/> Magnitude	1,199e+005 N (step applied)

Ilustración 11-4: Fuerza registrada en el cupón de 8 mm.

Realizado por: Acuña, 2022

4.4.4. Comprobación del corte de la soldadura en los cupones simulados

En este punto se analizó el máximo esfuerzo registrado en la simulación que en este caso es la demanda y por otra parte la capacidad de la soldadura que está presente en los cupones, para poder decir que el cortante existe en la soldadura la demanda tiene que ser mucho mayor a la capacidad, por lo tanto, se comprobó de la siguiente manera.

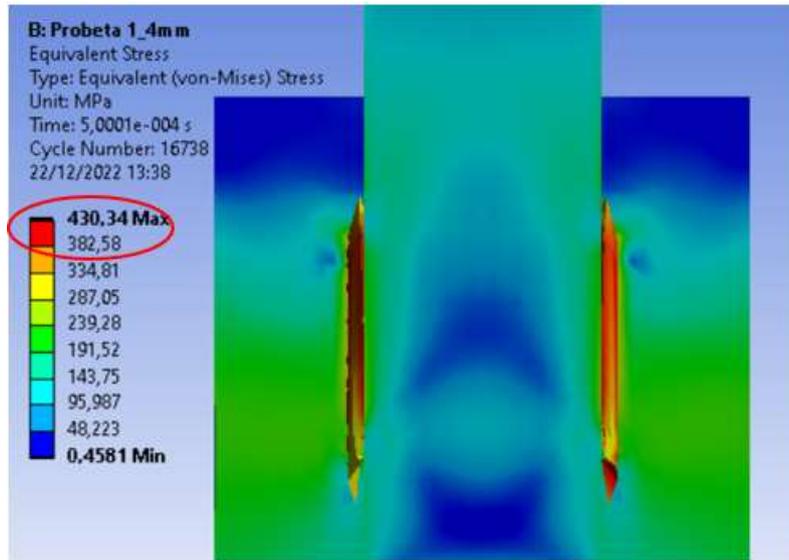


Ilustración 12-4: Esfuerzo máximo registrado en el cupón de 4mm

Realizado por: Acuña, 2022

$$\sigma' > \sigma_{soldadura}$$

$$\sigma_{soldadura} = \phi Rn$$

$$\phi Rn = \frac{(0,75)(0,6)(F_{EXX})(g * tw * l)}{A_{we}}$$

Donde:

σ' = demanda o esfuerzo máximo registrado de Von Mises

$\sigma_{soldadura} = \phi Rn$ capacidad de la soldadura en los cupones.

F_{EXX} = número de clasificación del metal de aporte

g = garganta de la soldadura de filete

tw = tamaño de filete

l = longitud de soldadura

A_{we} = área de la soldadura.

$$\sigma' = 430,34 \text{ MPa}$$

$$\phi Rn = 222,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{soldadura} = 222,75 \text{ MPa}$$

Por lo tanto:

$$430,34 \text{ MPa} > 222,75 \text{ MPa}$$

Como se apreció en la ilustración 93-4 el esfuerzo máximo registrado en la escala de la simulación fue de 430,34 MPa este esfuerzo registrado superó a la capacidad de la soldadura el cual es de 222,75 MPa, por lo tanto, se concluye que existe la falla en la soldadura, en base a este criterio se comprobó para los cupones de 4, 6 y 8 milímetros, los resultados se muestran en la tabla 46-4.

Tabla 7-4: Porcentaje de error entre la Fuerza experimental y la Fuerza de simulación en las probetas.

Probetas	Ensayo experimental. Carga máxima registrada. (N)	Simulación: ANSYS. Carga máxima registrada. (N)	% Error
Probeta N°1 4mm	74 013	79 200	6,54
Probeta N°2 6mm	85 931.33	94 300	8,87
Probeta N°3 8mm	109 302.33	119 900	8,84

Realizado por: Acuña, 2022

4.4.5. *Esfuerzos de Von Mises y factor de seguridad de los cupones simulados*

Para el factor de seguridad de cada cupón se partió de la teoría de la máxima energía de distorsión o de Von Mises, en la cual el factor de seguridad se establece de la siguiente manera.

De acuerdo a (Vergara et al, 2018, p.3) define el factor de seguridad con la siguiente expresión:

$$FS = \frac{\phi Rn}{\sigma'} < 1$$

Nota: sí el factor de seguridad es menor que uno quiere decir que el fallo existe en la soldadura, es decir existe el corte en la soldadura de filete.

Donde:

FS = factor de seguridad.

ϕRn = capacidad de la soldadura.

σ' = esfuerzo de Von Mises.

A continuación, se presentan los resultados de los esfuerzos de Von Mises y el factor de seguridad de cada cupón simulado en ANSYS.

- **Cupón de 4 milímetros.**

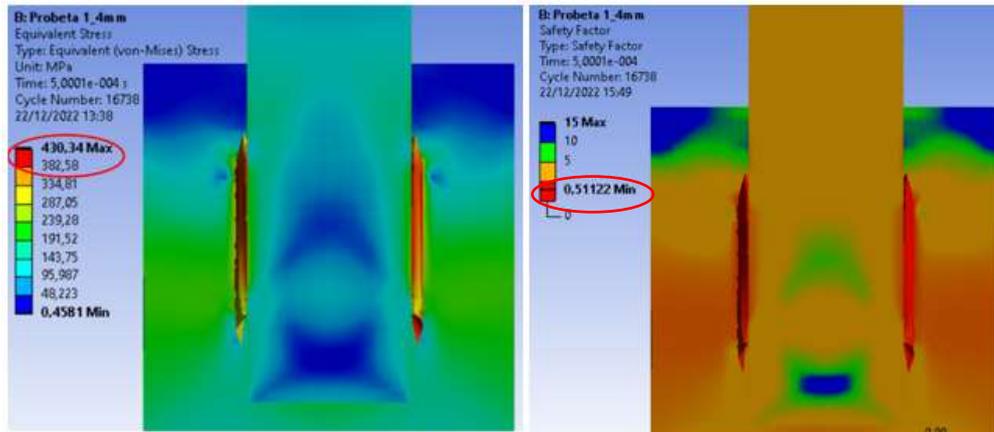


Ilustración 13-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, cupón de 4mm

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 430,34 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{22,75 \text{ MPa}}{430,34 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,5176$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5112 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

- **Cupón de 6 milímetros.**

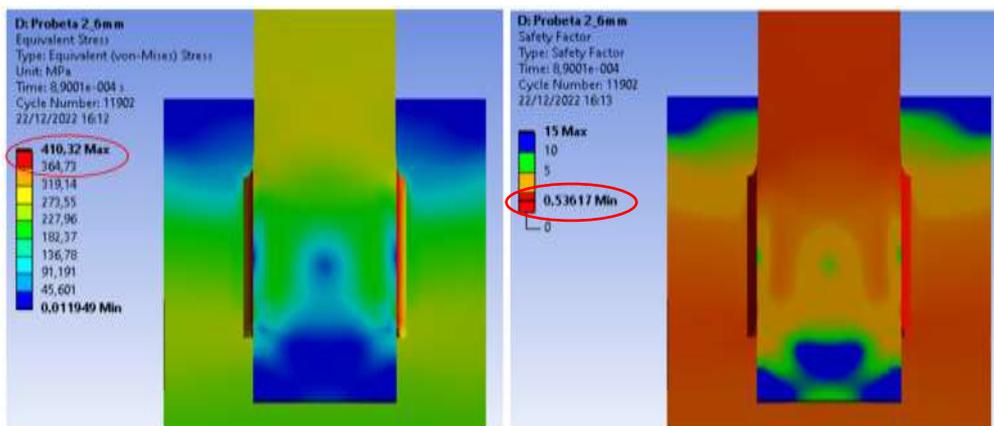


Ilustración 14-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, cupón de 6mm

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 410,32 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{410,32 \text{ MPa}}$$
$$FS = 0,5428$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5361 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

- **Cupón de 8 milímetros.**

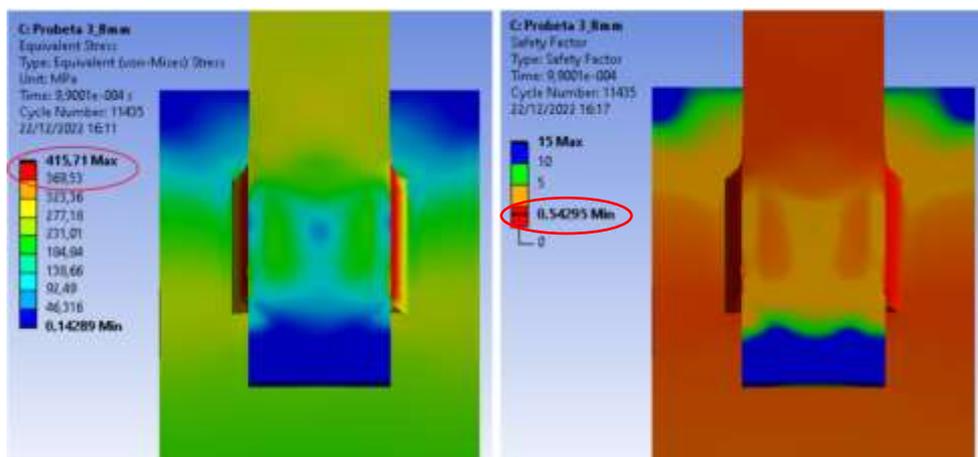


Ilustración 15-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, cupón de 8mm

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 415,71 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{415,71 \text{ MPa}}$$
$$FS = 0,5358$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5429 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

4.4.6. Validación de la simulación mediante la energía de Hourglass

Se analizó con el principio de la energía del hourglass donde ANSYS (2004, p.116) menciona que, al realizar un análisis Explicit Dynamics la energía del hourglass no debe exceder el 10% de la energía interna.

Se analizó la energía del hourglass de la probeta de 4 milímetros, donde se representa claramente que no supera el 10% de la energía interna, ya que el 10% de la energía interna es 52.35 J, y la energía del hourglass aproximadamente está por debajo de los 40 J.

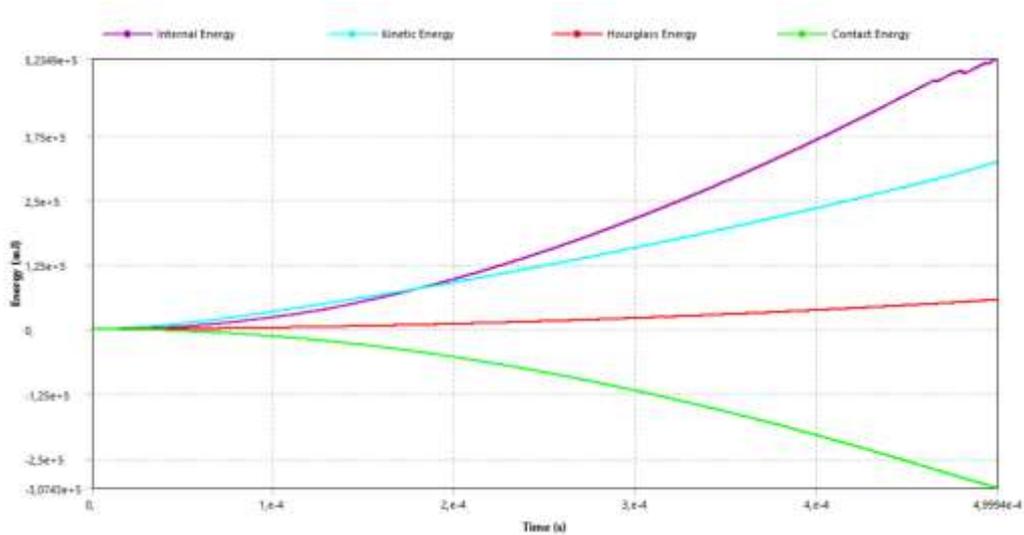


Ilustración 16-4: Resumen de energías, probeta de 4mm.

Realizado por: Acuña, 2022

Se analizó la energía del hourglass de la probeta de 6 milímetros, donde se representa claramente que no supera el 10% de la energía interna, ya que el 10% de la energía interna es 69.7 J, y la energía del hourglass está muy significativa.

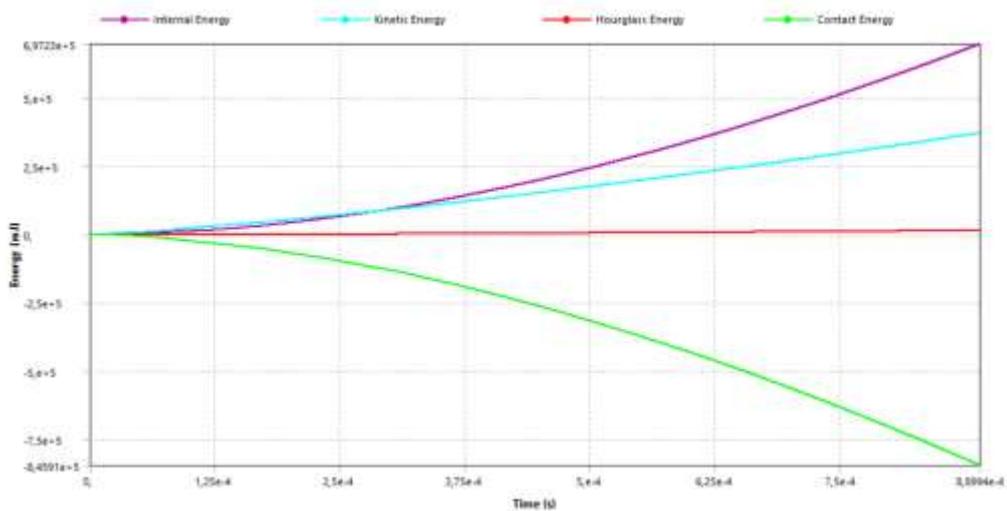


Ilustración 17-4: Resumen de energías, probeta de 6mm.

Realizado por: Acuña, 2022

Se analizó la energía del hourglass de la probeta de 8 milímetros, donde se representa claramente que no supera el 10% de la energía interna, ya que el 10% de la energía interna es 109 180 mJ, y la energía del hourglass es prácticamente cero.

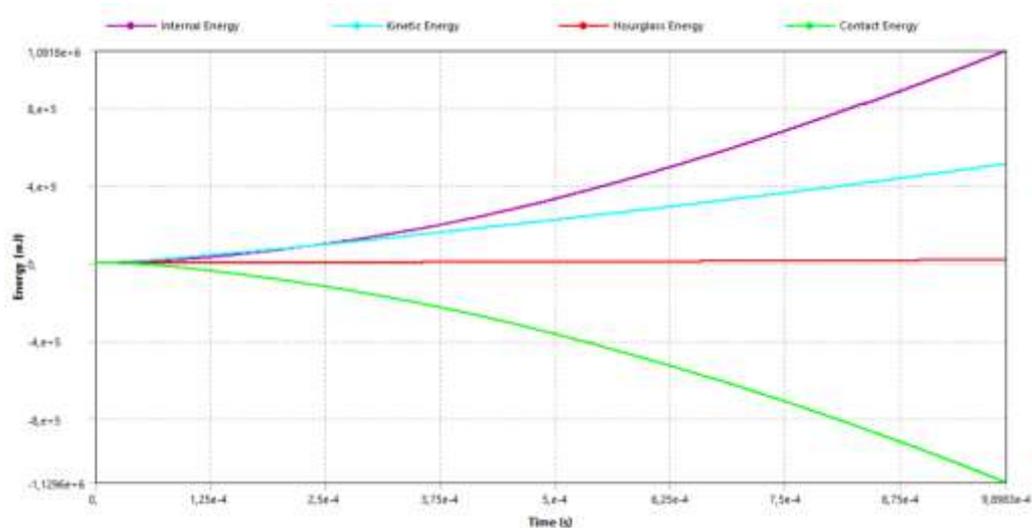


Ilustración 18-4: Resumen de energías, probeta de 8mm.

Realizado por: Acuña, 2022

4.5. Análisis de combinaciones de espesores mediante simulación

Debido a que no se realizaron ensayos experimentales combinando los espesores de los cupones se procedió a encontrar la fuerza máxima con la que se provocaría el corte en las soldadura de filete variando los espesores de los cupones donde se tendrá seis combinaciones diferentes.

De acuerdo con la ilustración 96-4 se denominará a la placa N°1 como placas de los extremos y N°2 como placa base, para de esta manera diferenciar las combinaciones que existen.

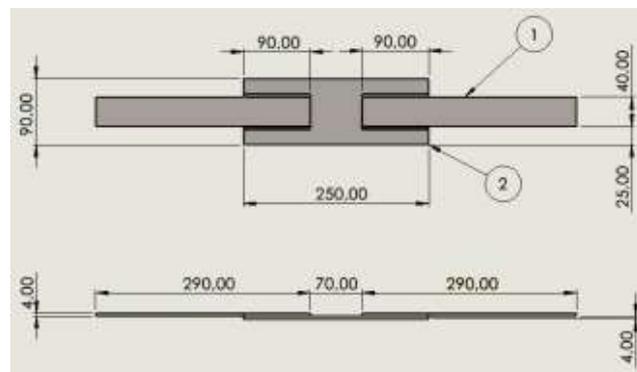


Ilustración 19-4: Denominación de placas para la combinación de resultados.

Realizado por: Acuña, 2022

Se tomó en cuenta el tamaño mínimo de filete que se aplicó a los cupones ensayos debido a que la combinación entre dos espesores diferentes la norma permite el uso de los tamaños mínimos de soldadura, esto determinará la fuerza que se aplicó en la simulación para que exista en el corte en la soldadura y verificar si la fuerza aplicada fue superior o inferior a los cupones ensayos del mismo espesor.

4.5.1. Combinación N°1 entre placa base de 8mm y placas de los extremos de 4mm

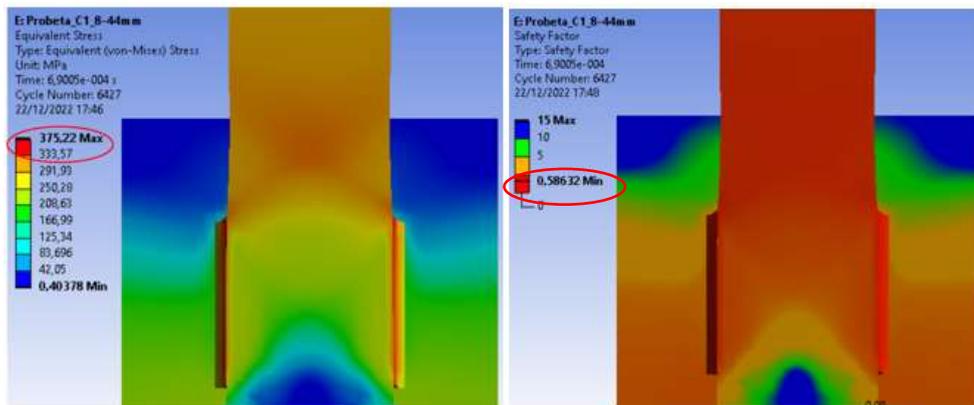


Ilustración 20-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °1
Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 375,22 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{375,22 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,5936$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5863 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

Details of "Joint - Force"	
Scope	
Joint	Translational - SYS-6\PS_4mm To SYS-6\PI_4mm
Definition	
DOF	X Displacement
Type	Force
<input type="checkbox"/> Magnitude	1,24e+005 N (step applied)
Lock at Load Step	Never
Suppressed	No

Ilustración 21-4: Fuerza aplicada en la combinación N°1.

Realizado por: Acuña, 2022

4.5.2. *Combinación N°2 entre placa base de 8mm y placas de los extremos de 6mm*

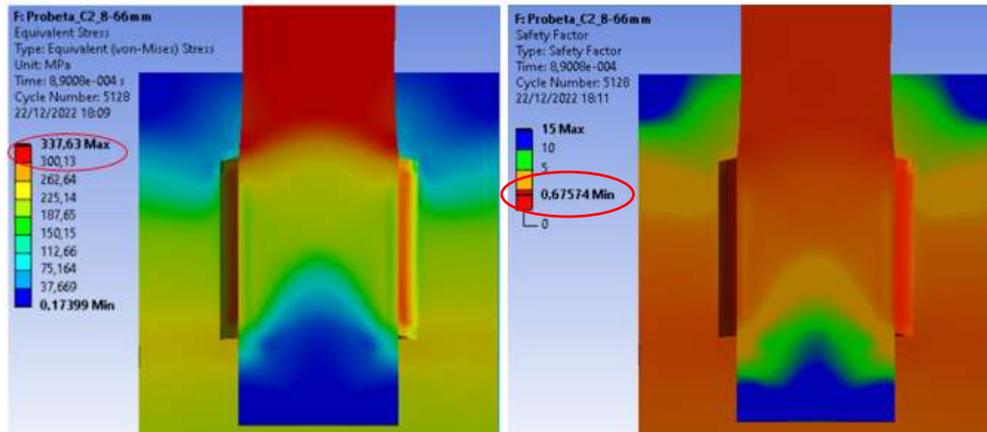


Ilustración 22-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °2

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 337,63 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{337,63 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,6597$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,6757 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

Details of "Joint - Force"	
<input type="checkbox"/> Scope	
Joint	Translational - SYS-7\PI_6mm To SYS-7\PS_6mm
<input type="checkbox"/> Definition	
DOF	X Displacement
Type	Force
<input type="checkbox"/> Magnitude	1,305e+005 N (step applied)
Lock at Load Step	Never
Suppressed	No

Ilustración 23-4: Fuerza aplicada en la combinación N°2.

Realizado por: Acuña, 2022

4.5.3. *Combinación N°3 entre placa base de 6mm y placas de los extremos de 4mm*

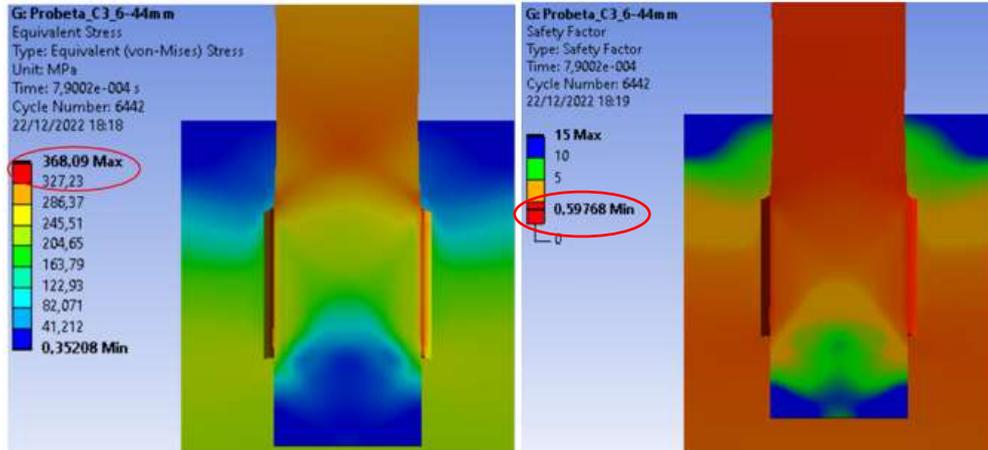


Ilustración 24-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °3

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 368,09 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{368,09 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,6051$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5976 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

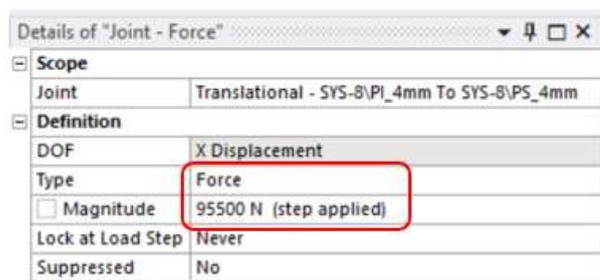


Ilustración 25-4: Fuerza aplicada en la combinación N°3.

Realizado por: Acuña, 2022

4.5.4. Combinación N°4 entre placa base de 6mm y placas de los extremos de 8mm

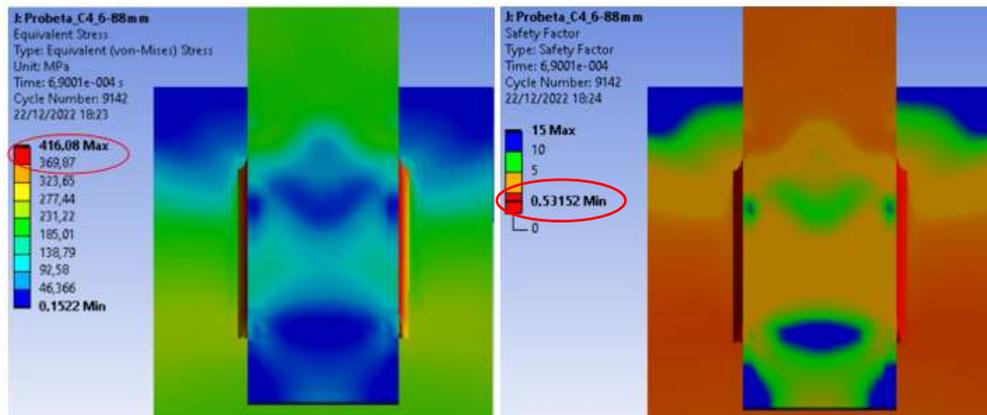


Ilustración 26-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °4

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 416,08 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{416,08 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,5353$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5131 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

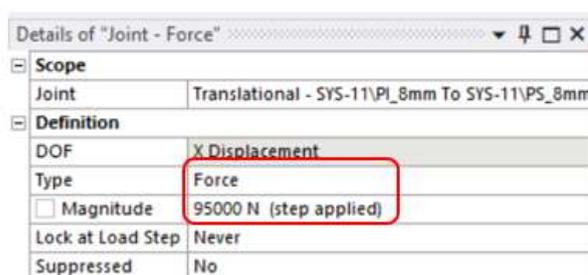


Ilustración 27-4: Fuerza aplicada en la combinación N°4.

Realizado por: Acuña, 2022

4.5.5. *Combinación N°5 entre placa base de 4mm y placas de los extremos de 6mm*

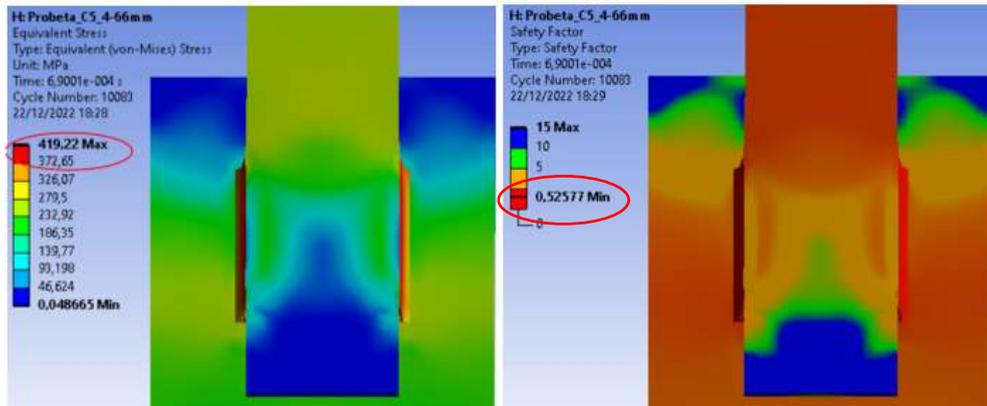


Ilustración 28-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °5

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 419,22 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{419,22 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,5313$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,5257 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

Details of "Joint - Force"	
Scope	
Joint	Translational - SYS-9\PI_6mm To SYS-9\PS_6mm
Definition	
DOF	X Displacement
Type	Force
<input type="checkbox"/> Magnitude	95500 N (step applied)
Lock at Load Step	Never
Suppressed	No

Ilustración 29-4: Fuerza aplicada en la combinación N°5.

Realizado por: Acuña, 2022

4.5.6. Combinación N°6 entre placa base de 4mm y placas de los extremos de 8mm

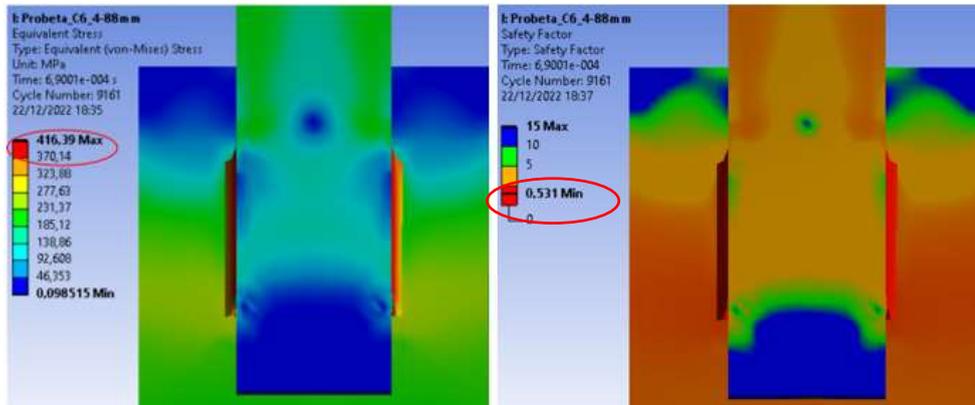


Ilustración 30-4: Esfuerzo de Von Mises y factor de seguridad, combinación N °6

Realizado por: Acuña, 2022

El esfuerzo máximo de Von Mises registrado fue de 416,39 MPa.

Por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$FS = \frac{\phi R_n}{\sigma'} = \frac{222,75 \text{ MPa}}{416,39 \text{ MPa}}$$

$$FS = 0,5349$$

ANSYS establece un factor de seguridad mínimo de 0,531 que es menor a 1 por lo tanto existe el fallo en la soldadura.

Details of "Joint - Force"	
Scope	
Joint	Translational - SYS-10\PS_8mm To SYS-10\PI_8mm
Definition	
DOF	X Displacement
Type	Force
<input type="checkbox"/> Magnitude	80000 N (step applied)
Lock at Load Step	Never
Suppressed	No

Ilustración 31-4: Fuerza aplicada en la combinación N°6.

Realizado por: Acuña, 2022

A continuación, se presenta un resumen de las fuerzas que se aplicaron en la combinación de los cupones.

Tabla 8-4: Resumen de fuerzas en la combinación de cupones.

Combinación de cupones			Carga registrada (N)
Combinación 1	Placa base	8 mm	124000
	Placas externas	4 mm	
Combinación 2	Placa base	8 mm	130500
	Placas externas	6 mm	
Combinación 3	Placa base	6 mm	95500
	Placas externas	4 mm	
Combinación 4	Placa base	6 mm	95000
	Placas externas	8 mm	
Combinación 5	Placa base	4 mm	95500
	Placas externas	6 mm	
Combinación 6	Placa base	4 mm	80000
	Placas externas	8 mm	

Realizado por: Acuña, 2022

4.6. Resultado de la resistencia de la soldadura en la unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos

En este punto se determinó la capacidad del grupo de soldadura de la sección T en la unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos, se tomó en consideración que la unión es restringida mediante la soldadura que existen entre los dos lados del alma y las alas de la viga hacia la columna. Se elaboró una hoja electrónica de la soldadura de filete con validación a la unión entre viga columna de una unidad educativa de tres pisos. Ver anexo M.

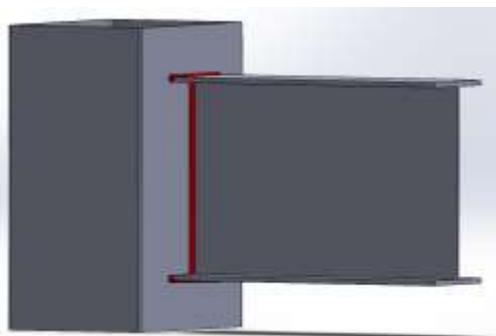


Ilustración 32-4: Unión viga columna

Realizado por: Acuña, 2022

De acuerdo con las dimensiones de la columna se obtuvo las siguientes propiedades:

Tabla 9-4: Propiedades de la columna.

Fy	2531	Kgf/cm ²	Límite de fluencia del acero ASTM A36
Fu	4050	Kgf/cm ²	Límite de rotura del acero ASTM A36
He	3	m	Altura de la columna entre pisos
A	109.44	cm ²	Área
Peso	85.91	kg/m	Peso
Iyy	16699.8	cm ⁴	Inercia en x
Ixx	25992.0	cm ⁴	Inercia en y
Ycg	20	cm	Centroide yy
Xcg	15	cm	Centroide xx
Zyy	1257.02	cm ³	Módulo de sección plástica yy
Zxx	1530.62	cm ³	Módulo de sección plástica xx
rxx	15.41	cm	Radio de giro xx
ryy	12.35	cm	Radio de giro yy

Realizado por: Acuña, 2022

Tabla 10-4: Propiedades de la viga principal.

Fy	2531	Kgf/cm ²	Límite de fluencia del acero ASTM A36
Fu	4050	Kgf/cm ²	Límite de rotura del acero ASTM A36
Lv	4.5	m	Longitud de la viga
A	51.84	cm ²	Área
Peso	40.69	kg/m	Peso
Iyy	778.3	cm ⁴	Inercia en x
Ixx	13896.5	cm ⁴	Inercia en y
Ycg	20	cm	Centroide yy
Xcg	9	cm	Centroide xx
Zxx	785.66	cm ³	Módulo de sección plástica xx
ryy	3.87	cm	Radio de giro yy

Realizado por: Acuña, 2022

4.6.1. Comprobación de la razón demanda capacidad de los puntos críticos perimetrales de la unidad educativa de tres pisos

Una vez que se obtuvieron los resultados de los esfuerzos de soldadura en el grupo de soldadura de la sección T especificado en el inciso 3.4.5, se debe verificar que dichos resultados cumplan de acuerdo con la razón demanda capacidad del grupo de soldadura de sección T.

Tabla 11-4: Comprobaciones de los puntos críticos perimetrales de la soldadura por capacidad.

Vigas principales	Resistencias requeridas			Esfuerzos de soldadura en la sección T			Comprobación	
	Long. Soldadura (patín superior más el alma)	Long. Soldadura (patín superior)	Tamaño de filete	Cortante directo	Tensión debido a momentos	Esfuerzo de soldadura resultante	Capacidad de la soldadura a cortante	Razón demanda capacidad
	L (cm)	L (cm)	D (m)	fp (t/m)	fm (t/m)	fr (t/m)	ϕRn (t/m)	$fr \leq \phi Rn$ (SI/NO)
U7'-R7'	104	18	0,006	8,706	16,976	19,078	83,92	SI
U7'-U6	94	18	0,006	8,819	16,58	18,780	75,85	SI
U5-R5	104	18	0,006	8,600	16,77	18,847	83,92	SI
U5-U6	94	18	0,006	9,007	16,934	19,181	75,85	SI
U5-U4	94	18	0,006	8,837	16,614	18,818	75,85	SI
R1-R2	94	18	0,006	9,384	17,642	19,983	75,85	SI
R1-Q1	94	18	0,006	4,813	9,048	10,248	75,85	SI
R1-S1	94	18	0,006	4,646	8,734	9,893	75,85	SI

Realizado por: Acuña, 2022

Como se muestra en la tabla (50-4) la capacidad de la soldadura está por encima de la demanda por lo que todas las uniones de los puntos críticos perimetrales de la unidad educativa cumplen los requisitos de soldadura entre unión viga columna.

4.6.2. Comprobación de la razón demanda capacidad de los puntos críticos internos de la unidad educativa de tres pisos

De acuerdo con los especificado en el inciso 3.4.5 para los puntos críticos internos de la primera planta de la unidad educativa de tres pisos, la comprobación se muestra en la tabla (51-4)

Tabla 12-4: Comprobaciones de los puntos críticos internos de la soldadura por capacidad.

Vigas principales	Resistencias requeridas			Esfuerzos de soldadura en la sección T			Comprobación	
	Long. Soldadura (patín superior más el alma)	Long. Soldadura (patín superior)	Tamaño de filete	Cortante directo	Tensión debido a momentos	Esfuerzo de soldadura resultante	Capacidad de la soldadura a cortante	Razón demanda capacidad
	L (cm)	L (cm)	D (m)	fp (t/m)	fm (t/m)	fr (t/m)	ϕRn (t/m)	$fr \leq \phi Rn$ (SI/NO)
R3-S3	94	18	0,006	4,422	8,314	9,417	75,85	SI
R3-Q3	94	18	0,006	4,470	8,404	9,519	75,85	SI
R3-R4	94	18	0,006	8,707	16,370	18,542	75,85	SI
R3-R2	94	18	0,006	4,550	8,554	9,689	75,85	SI
R6-U6	104	18	0,006	8,710	16,984	19,087	83,92	SI
R6-Q6	94	18	0,006	4,473	8,410	9,526	75,85	SI
R6-R7'	94	18	0,006	8,646	16,254	18,410	75,85	SI
R6-R5	94	18	0,006	9,098	17,104	19,373	75,85	SI

Realizado por: Acuña, 2022

De acuerdo con los cálculos efectuados el diseño de la soldadura en la unión viga columna utilizando un tamaño de filete (D) y un CJP (junta de penetración completa), las longitudes de soldadura tanto para el patín como para el alma de la viga se muestra en la tabla (50-4) y (51-4), el diseño de la soldadura queda definida como se detalla en la siguiente ilustración (114-4):

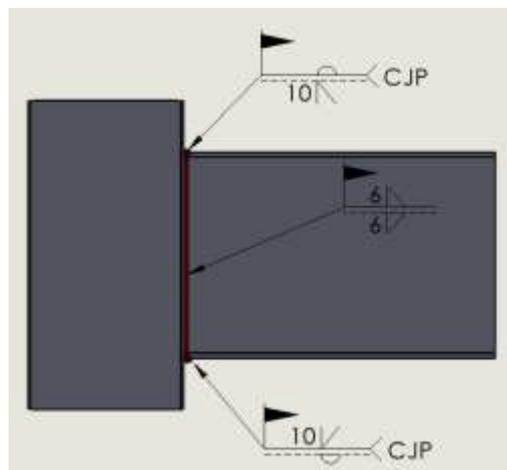


Ilustración 33-4. Simbología de soldadura

Realizado por: Acuña, 2022

Para el diseño de la soldadura en la unión viga columna, se realizó una hoja Excel el cual, al ingresar los datos de las dimensiones de la columna-viga y los requerimientos de las resistencias de diseño de sus respectivas solicitaciones, se muestran la razón demanda capacidad del grupo de soldadura que actúan en la unión viga columna. Dicha presentación se adjunta en el anexo K.

4.7. Discusión de resultados

En esta sección se discute los resultados que se obtuvo de manera experimental los ensayos en todos los cupones de prueba, estos resultados experimentales son comparados con los resultados teóricos, donde la soldadura de filete que se aplicó se validó con la norma de AWS D1.1: 2020; adicionalmente se validó los resultados experimentales con la simulación que se realizó en ANSYS con el complemento Explicit Dynamics, y los resultados que se obtuvo en la simulación se corroboró con la definición del hourglass que menciona ANSYS, 2004. Por lo antes mencionado se tiene las siguientes aclaraciones:

- En las vigas críticas analizadas tanto de las vigas perimetrales que son los pórticos resistentes a momento tanto como las vigas internas que forman parte de los pórticos gravitacionales, se analizó la viga con mayor sollicitación de diseño en el cual la resistencia de diseño de la soldadura demostró que dicho diseño si resiste en condiciones estáticas las cargas que existen en la unión viga columna.
- Entre los valores teóricos de la resistencia al corte de la soldadura de filete y los valores experimentales se obtuvo un porcentaje de error promedio del 4.22%.
- La carga máxima registrada de la soldadura que se obtuvo experimentalmente en todos los cupones de prueba se validó con la definición de la soldadura de filete como lo menciona la tabla 4.3 de la AWS D1.1 (2020, p.32) el cual todos los cupones de 4 y 6 milímetros cumplen con la definición anteriormente citada, los cupones de 8 milímetros no cumplen con la definición esto puede ser a diversos factores que afectan a la soldadura como puede ser la falta de penetración, defectos internos del cordón de soldadura, etc.
- Para la simulación en cada cupón se necesitó una fuerza mayor a la experimental para que se produzca el corte en la soldadura de filete, y se comprobó mediante la capacidad y demanda de la soldadura en la cual la capacidad mucho menor a la demanda por lo tanto si existe el corte en la soldadura, y se validaron las simulaciones con la definición de la energía de Hourglass.
- En cada combinación de espesores mediante ANSYS se tomó en cuenta los valores mínimos del tamaño del filete, al combinar los espesores en la simulación se puede decir que no existe una penetración o fusión de la soldadura en la placa de mayor espesor, esto se debe a que mientras mayor sea el espesor del material base se necesitan valores más altos tanto en

dimensiones geométricas de la soldadura como en rangos de operación de la soldadura que pueden ser amperaje o voltaje.

- Para la estructura analizada la soldadura de filete que actúa directamente en las uniones entre viga columna resiste a las cargas que pueden existir garantizando un comportamiento resistente al corte siempre y cuando se cumpla lo que especifiquen las normas de construcción.
- De acuerdo con el diseño que se obtuvo de la unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos, la soldadura que se aplicó fue totalmente restringida, el diseño por capacidad de la soldadura determinó que primero fallaría el material base y no el material de aporte en este caso el electrodo E-6011.

CONCLUSIONES

- La unión típica que se realiza entre viga columna que ordinariamente se lo realiza en nuestro medio no es lo adecuado, sin embargo, mediante las evaluaciones experimentales que se realizó en los cupones extraídos de las dimensiones geométricas de la unión viga columna de una unidad educativa de tres pisos, se determinó que la capacidad de la soldadura para la estructura analizada es mayor a la demanda solicitada por lo que la unión no va a fallar a corte en condiciones estáticas.
- Al utilizar los tamaños mínimos de filete para el cordón de soldadura claramente se evidenció que a pesar de utilizar los valores mínimos la resistencia de la soldadura al cortante cumple con lo establecido en la norma AWS D1.1, sin embargo, se puede utilizar tamaños de filete que superen el mínimo para de esta manera obtener un mayor grado resistencia al cortante en la uniones viga columna.
- El error porcentual entre los valores experimentales y valores de la simulación mediante ANSYS para los cupones, están en el rango del (5 al 10) % este se debe a que en el cordón de soldadura aplicado en los cupones de la simulación es muy poco probable que pueda ocurrir daños internos o externos que posiblemente pueden tener los cupones reales.
- Se comprobó que el fallo existe en los cordones de soldadura de los cupones simulados, es decir se produce el cortante en la soldadura de filete tanto para los cupones del mismo espesor como para las combinaciones de espesor, se comprobó mediante el factor de seguridad el cual fue menor a uno en todos los cupones simulados.
- Mediante una hoja electrónica se verificó los cálculos obtenidos manualmente de la soldadura que está presente en la unión viga columna de la estructura de la unidad educativa, mismas que para condiciones estáticas cumplen la razón demanda/capacidad.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda para un futuro análisis calcular y comparar entre las resistencias de diseño de las uniones viga columna y las resistencias de diseño de la soldadura se las realice en los niveles superiores de la unidad educativa, en el presente proyecto se analizó únicamente la primera planta debido a que es la más cargada la cual resiste el peso propio de la estructura y las cargas vivas a la cual está sometida.
- Es recomendable aplicar un tipo de ensayo no destructivo más avanzado como lo es ultrasonidos para que de esta manera se pueda identificar si existen defectos internos del cordón de soldadura.
- Para realizar los diferentes tipos de ensayos ya sea NDT y ED en soldadura es obligatorio hacer uso de uno varios WPS (Especificación del Procedimiento de Soldadura), WPQ (Calificación de la Habilidad del Soldador), adicionalmente utilizar materia prima y equipos debidamente calibrados y calificados.
- En la construcción de edificios de acero se utilicen conexiones precalificadas entre viga columna, adicionalmente se verifique que dichas uniones sean bien diseñadas bajo normas de construcción y su ejecución sea mediante personal calificado de acuerdo con un WPS.

BIBLIOGRAFÍA

- AISC 360.** *American Institute of Steel Construction: Specification for Structural Steel Buildings.* Chicago (USA):2010
- AISI S100.** *North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structural Members.* Canadá: 2016
- ALTAMIRANO, M. de los A. y CALVA, J.A.** *Análisis comparativo de la soldabilidad del acero ASTM A36 bajo la norma API 650, con electrodos E6010 mediante proceso de soldadura SMAW y electrodos E71T1 mediante proceso de soldadura FCAW* [en línea]. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. 2019. [Consulta:11 abril 2022]. Disponible en:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/786%0Ahttps://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/786/1/CD-1222.pdf>
- ANSYS.** *LS-DYNA User's Guide* [en línea], 2004. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en:
https://www.academia.edu/31609921/ANSYS_LS_DYNA_Users_Guide
- ANSYS.** *Explicit Dynamics* [en línea], 2011. [Consulta: 11 julio 2022]. Disponible en:
<https://www.ansys.com/resource-center/brochure/ansys-explicit-dynamics>
- ASME IX.** *ASME IX-Welding, Brazing, and Fusing Operators. American Society of Mechanical Engineers* [en línea]. New York-USA, 2019. [Consulta: 18 abril 2022]. Disponible en:
<https://www.asme.org/shop/certification-accreditation>
- ASNT.** *SNT-TC-1A Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing* [en línea]. 2016. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en:
https://www.academia.edu/39320359/SNT_TC_1A_2016_en_espaol
- ASTM A36.** *Standard Specification for Carbon Structural Steel* [en línea] 1997. [Consulta: 11 abril 2022]. Disponible en: <https://pdfslide.net/documents/specification-for-structural-steel-astm-a36.html>
- ASTM E 165.** *Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry* [en línea] 2012. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: https://kupdf.net/download/astm-e165-e165m-12_5a6983f7e2b6f5dc139d26b1_pdf
- ASTM E 709.** *Standard Guide for Magnetic Particle Examination.* [en línea] 2001. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: https://kupdf.net/download/guia-standar-particulas-magneticas-astm-e-709_5a8601b9e2b6f51453dfac8b_pdf
- AWS B1.11.** *Guide for the Nondestructive Inspection of Welds.* [en línea] Miami-Florida (USA), 2000. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/430868028/AWS-B1-11-Visual-Examination-pdf>
- AWS D1.1.** *Structural Welding Code Steel.* [en línea]. 24th. USA. 2020. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.ansi.org/standards/awstd1-1>

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://pubs.aws.org/Download_PDFS/D1_1_D1_1M_2020_PV.pdf

BELTRÁN, S. *DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA PARA LA OBTENCIÓN DE CURVAS ESFUERZO – DEFORMACIÓN MEDIANTE ENSAYOS DE IMPACTO*. [en línea]. Bogotá-Colombia: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, 2012. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/24945>

BULLÓN, W.C. *SIMULACIÓN DE UN PROCESO DE SOLDADURA UTILIZANDO UN MODELO TERMO-MECÁNICO TRIDIMENSIONAL CON PRESCRIPCIÓN DE TEMPERATURA* [en línea]. Lima- Perú: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, 2010. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/923>

CAÑONES, M. *Estudio comparativo entre el módulo de Elementos Finitos de CATIA V5 y ANSYS Workbench*. [en línea]. Sevilla-España: Universidad de Sevilla, 2019. [Consulta: 12 julio 2022]. Disponible en: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/71474/>

CÁRDENAS, F.R. y MEJÍA, I.A. *SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA UNIÓN ENTRE ELEMENTOS METÁLICOS (VIGAS Y COLUMNAS) PARA UNIONES SOLDADAS Y EMPERNADAS DEL PROYECTO DE VIVIENDA LOS CAPULÍES EN LA CIUDAD DE CUENCA* [en línea]. Cuenca-Ecuador: UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA, 2018. [Consulta: 21 abril 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15366>

CARRERA, J.F. *MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA UNIÓN DE DOS CONDUCCIONES A PRESIÓN DE DIFERENTE GEOMETRÍA, APLICANDO EL PROGRAMA ANSYS CFX* [en línea]. Quito-Ecuador: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2019. [Consulta: 14 julio 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20211>

CHAZARO, C. *DISEÑO DE CONEXIONES* [en línea]. Monterrey-México: GERDAU CORSA, 2019. [Consulta: 18 abril 2022]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/467768535/DISEÑO-DE-CONEXIONES>

DIAZ, G. *Inspección y Control de Calidad en la aplicación de Soldadura de elementos estructurales* [en línea]. Instituto Politécnico Nacional, 2009. [Consulta: 18 abril 2022]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/3756/INSPECCIONYCONTROL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

FLORES, C.E. *Soldadura al Arco Eléctrico SMAW* [en línea]. Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2016. [Consulta: 12 abril 2022]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_MEC01.pdf

- GUACHÓN, V.** *Diseño de conexiones Soldadas* [en línea]. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2009. [Consulta: 15 abril 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8497/3/CD-2066.pdf>
- INDURA.** *Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura* [en línea]. Cerrillos-Chile: 2007. [Consulta: 15 abril 2022]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.indura.com.ec/Descargar/Manual%20de%20soldadura?path=%2Fcontent%2Fstorage%2Fec%2Fbiblioteca%2F4597905076cb48238c6638290f8adad8.pdf>
- INDURA.** *Electrodos Para Aceros Al Carbono* [en línea]. 2014. [Consulta: 02 mayo 2022]. Disponible en: www.cryogas.com.co/content/storage/co/biblioteca/be9c677c9a414e56b688f4013da62d07.pdf
- JEFFUS, L.** *Soldadura Principios y Aplicaciones* [en línea]. 5th Edición. Madrid-España, 2009. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=rHynAxzh0iEC>
- JIMÉNEZ RODRÍGUEZ, R.M.** *Estudio y simulación por elementos finitos del comportamiento de discos cerámicos* [en línea]. Cataluña-España: Universitat Politècnica de Catalunya, 2010. [Consulta: 29 junio 2022]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/8943?>
- NEC - SE - AC,** 2015 *ESTRUCTURAS DE ACERO. Norma Ecuatoriana de Construcción. Estructuras de Acero* [en línea]. Quito-Ecuador: NEC, 2015. [Consulta: 23 mayo 2022]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec3.pdf>
- NIEBLES, E.E. y ARNEADO, W.G.** *Procedimientos de soldadura y calificación de soldadores: Una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria Información Tecnológica* [en línea]. Vol. 20(3). Barranquilla-Colombia: Universidad Autónoma del Caribe, 2009. [Consulta: 09 mayo 2022]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000300004
- OERLIKON.** *Manual de Soldadura & Catálogo de Productos* [en línea]. Lima-Perú: EXSA S.A, 2003 [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <https://cupdf.com/document/manual-de-soldadura-oerlikon-5585df9f7180b.html?page=14>
- RINGEGNI, P.** *Cálculo de uniones soldadas* [en línea]. 6th Edición. Buenos Aires-Argentina: Universidad Nacional de La Plata, 2013 [Consulta: 16 mayo 2022]. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Uniones%20soldadas%20sexta%20edicion%202013.pdf>
- RODRÍGUEZ, P.C.,** 2001. *Manual de Soldadura. Soldadura Eléctrica, MIG y TIG* [en línea]. 1a ed. Buenos Aires-Argentina: Librería y Editorial ALSINA, 2001. [Consulta: 10 abril

2022]

Disponible

en:

https://issuu.com/formacionaxarquia/docs/manual_de_soldadura_electrica_mig_y_tig

RUIZ, H. *INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA DE SOLDADURAS* [en línea]. Nuevo León-México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1993. [Consulta: 01 junio 2022] Disponible en: Chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/http://eprints.uanl.mx/276/1/1020070662.PDF

SOLÀ, P.M., 1992. *Soldadura industrial: clases y aplicaciones* [en línea]. Barcelona-España: MARCOMBO BOIXAREU EDITORES, 1992. [Consulta: 09 mayo 2022] Disponible en: <https://books.google.com/books?id=KoEH9EkR48gC&pgis=1>

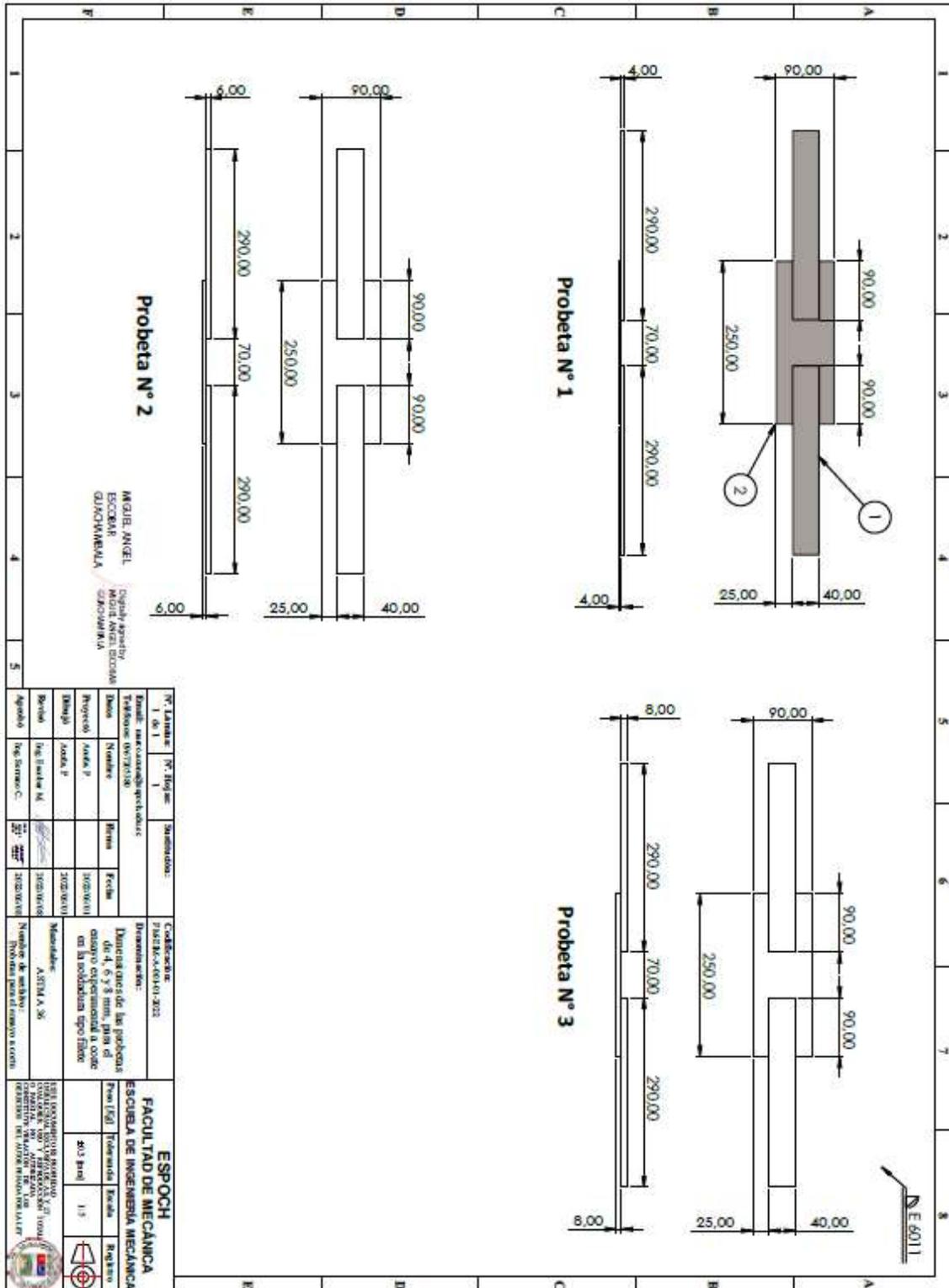
TELENCHANA, J.L. *Análisis De Revestimientos Duros En Uniones Soldadas De Acero Al Carbono a36 Mediante El Proceso Smaw Y Su Incidencia En Las Propiedades Mecánicas* [en línea]. Ambato-Ecuador: Universidad Técnica de Ambato, 2013. [Consulta: 02 mayo 2022] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/71690317/ACERO-A36>

WETSARCO, E. *MANUAL DE SOLDADURA* [en línea]. Bogotá-Colombia: ESAB, 2015. [Consulta: 20 abril 2022] Disponible en: <https://www.freelibros.me/manual/manual-de-soldadura-west-arco>

PILLAJO, J.V y SARMIENTO, E.F. *Diseño de la estructura de acero para un edificio de apartamentos para ser utilizado en la región Litoral del Ecuador* [en línea]. Quito-Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2009. [Consulta: 09 septiembre 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1357>

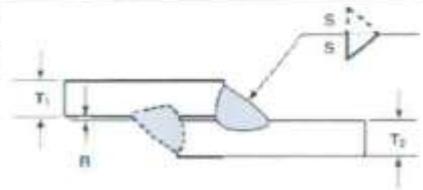
ANEXOS

ANEXO A: PLANO APROBADO DE LAS DIMENSIONES DE LAS PROBETAS.

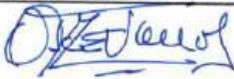


ANEXO B: WPS (ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA)

ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) - PRECALIFICADO							
CLIENTE:	Marco Acuña	Fecha	16/06/2022	WPS N°	L-F12-01-2022	Revisión N°	0
Material Base	ASTM A36	AWS Grupo N°	I	POB N°	Ninguno (Precalificado)		
Soldado a	ASTM A36	AWS Grupo N°	I	Espesor del Material Base			
Placa de Resqueado	N/A			Soldadura de Filletes	(3 - 74) mm		
				Díametro	N/A		
Detalle de la Junta							
Tipo de Junta	Traslapada, en T y Esquina						
Angulo de Bisel	N/A	Luz en la Raíz:	0mm (+2mm)				
Tratamiento Térmico Posterior a la Soldadura							
N/A							
		Base Metal	Joint Design/Geometry				
Working Process	Joint Designation	T₁ or T₂	Root Opening	Tolerances	Allowed Working Positions		
SMAW	L-F12	± 75	3 - 5	-2, -6	All		
Procedimiento							
Pases de Soldadura	Una Pasada		Tamaño de Fillete	Máximo	8mm (2F y 4F), 10mm (1F) y 12mm (3F)		
				Mínimo	3 (1>8), 5 (6<T≤12), 6 (12<T≤20) y 8 (20<T)		
Proceso de Soldadura	SMAW	Tipo	Manual	Posición de Soldadura	1F, 2F, 3F y 4F		
Material de Aborte	Especificación AWS	AS 1	Clasificación AWS	E60XX, E70XX			
Precalentamiento	N/A		Díametro	Desde: 2.4mm (3/32")			
Temperatura entre Pases	N/A			Hasta: 1F 8mm (5/16"), 2F 6.4mm (1/4"), 3F y 4F 4.8mm (3/16")			
Características Eléctricas	Tipo de Corriente y Polaridad			DCSP			
	Amperaje	Rango aplicable definido en la Hoja Técnica emitida por el Fabricante, según el diámetro que se emplee.					
Técnica	Cordón Angosto	Número de Electrodo	Uno a la vez	Angulo del Electrodo	Empuje a 85°		
Escrito por:	Ing. Oscar Cavalles					Fecha	14/06/2022
	Inspector AWS CWI	 Firma		 Oscar Cavalles CWI 10111141 CCI EXP. 11/12/2022			



ANEXO C: WPQ (CALIFICACIÓN DE LA HABILIDAD DEL SOLDADOR)

REGISTRO DE LA CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR (WPQ)			
Nombre	Jorge Anibal Maza	Fecha de la Prueba	10/06/2022
Cedula	170720590-0	Registro N°	WPQ-01
Estampa	W-01	WPS Aplicado	L-F12-01-2022
Cliente	Marco Acuña	Norma Aplicada	AWS D1.1 - 20
Material Base	ASTM A36	AWS Grupo N°	1
Soldado A	ASTM A36	AWS Grupo N°	1
Variables	Valores de la Prueba	Rango Calificado	
Tipo de Junta	Traslapada	Traslapada, en T, Esquina	
Tipo de Soldadura	Filete	Filete	
Material Base	Grupo I	Grupo I	
Espesor de Placa	(4, 6, 8) mm	(3 - 74) mm	
Proceso de Soldadura	SMAW	SMAW	
Tipo	Manual	Manual	
Placa de Respaldo	N/A	N/A	
Material de Aporte	A5.1 (Especificación AWS)	A5.1	
	E6011 (Clasificación AWS)	E6010, E6011, E6013	
	F N° 3	F N° 3, 2, 1	
Posición de Soldadura	2F	1F, 2F	
Número de Electrodo	1	1	
Resultado de los Ensayos			
Inspección Visual	Criterio 6.10.1.2	Aprobado	
Ensayo de Fractura	Criterio 6.23.4	Aprobado	
Ensayo Macrográfico	Criterio 6.10.4	Aprobado	
Certifico que lo registrado en este WPQ es Correcto, que Supervise la Soldadura y que los Ensayos se realizaron según los Numerales 6 de la Norma AWS D1.1 -20			
Escrito por:		 Oscar Cavallos CWI 10111141 QC1 EXP. 11/1/20	15/06/2022
	Ing. Oscar Cavallos Inspector AWS CWI		

ANEXO D: REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL.

REPORTE DE INSPECCIÓN VISUAL A JUNTAS SOLDADAS			
Norma de Referencia	AWS D1.1 - 20	Fecha	10/06/2022
Cliente	Marco Acuña	Material	ASTM A36
Localización de las Soldaduras y Esquema			
 Medición de Espesores: (4, 6 y 8) mm		 No se registraron Mordeduras con una profundidad >1mm	
 Filetes de Longitud 40mm		 Filete 5mm para t 8mm	 Control de Garganta: Concavidad/ Convexidad
Cantidad de Juntas Inspeccionadas		Total Aceptadas	
9		9	
Total Rechazadas		0	
Identificación	Soldador	Area Inspeccionada	Interpretación
P4mm-1	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P4mm-2	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P4mm-3	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P6mm-1	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P6mm-2	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P6mm-3	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P8mm-1	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
P8mm-2	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
P8mm-3	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
Pre examinación	Superficie Limpia: sin Escoria, Oxido o Proyecciones		
Galgas	Universal y Filetes		
Iluminación con linterna: 1500 lux, Luz Ambiental 350 lux			
Tipo de Junta: Traslapada, Tipo de Soldadura: Filetes			
Espesor de Material Base 4mm, se soldaron 4 filetes con pierna 3mm			
Espesor de Material Base 6mm, se soldaron 4 filetes con pierna 3mm			
Post examinación	Espesor de Material Base 8mm, se soldaron 4 filetes con pierna 5mm		
Certifico que lo registrado es Correcto y que los Ensayos a las Soldaduras se realizaron según el Numeral 8 de la Norma AWS D1.1 -20			
Inspeccionado por:	Ing. Oscar Cevallos		Digitally signed by OSCAR CEVALLOS MONTALVO Date: 2022.08.25
	Inspector ASNT Nivel III REG N° 183145		

ANEXO E: REPORTE DE INSPECCIÓN MEDIANTE TINTAS PENETRANTES.

REPORTE DE INSPECCIÓN CON TINTAS PENETRANTES A JUNTAS SOLDADAS

Norma de Referencia	AWS D1.1 - 20	Fecha	10/06/2022
Cliente	Marco Acuña		

Localización de las Soldaduras y Esquema



Cantidad de Juntas Inspeccionadas		Total Aceptadas	Total Rechazadas
9		9	0
Identificación	Soldador	Area Inspeccionada	Interpretación
P4-1	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P4-2	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P4-3	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P6-1	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P6-2	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P6-3	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P8-1	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
P8-2	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
P8-3	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas

Limpieza Previa	Superficie Limpia: sin Escoria, Oxido o Proyecciones; aplicado Limpiador E59A
Iluminación	Con linterna: 1500 lux, Luz Ambiental 350 lux
Temperatura	Superficie a Ensayar: 19°C
Tinta Penetrante	Tipo II - Visibles Met-L-Check VP 30: 5 minutos de Dwell Time
Método de Remoción	Metodo A - Chisquete de Agua y Secado posterior con Paño
Forma de Revelador	Forma e - No Acuoso Met-L-Check D70: 10 minutos de Bleed Out
Limpieza Posterior	Limpiador Met-L-Check E 59A

Certifico que lo registrado es Correcto y que los Ensayos a las Soldaduras se realizaron según el Numeral 8 de la Norma AWS D1.1 -20

Inspeccionado por:	Ing. Oscar Cevallos	 Digitally signed by OSCAR CEVALLOS MONTALVO Date: 2022.08.25
	Inspector ASNT Nivel III REG N° 183145	

ANEXO F: REPORTE DE INSPECCIÓN MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS.

REPORTE DE INSPECCIÓN CON PARTICULAS MAGNETICAS A JUNTAS SOLDADAS

Norma de Referencia	AWS D1.1 - 20	Fecha	10/06/2022
Cliente	Marco Acuña		

Localización de las Soldaduras y Esquema



Cantidad de Juntas Inspeccionadas	Total Aceptadas	Total Rechazadas
9	9	0

Identificación	Soldador	Area Inspeccionada	Interpretación
P4-1	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P4-2	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P4-3	W-01	4 Filetes de Longitud 40mm	Aceptadas
P6-1	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P6-2	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P6-3	W-01	4 Filetes de Longitud 45mm	Aceptadas
P8-1	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
P8-2	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas
P8-3	W-01	4 Filetes de Longitud 38mm	Aceptadas

Pre examinación	Superficie Limpia: sin Escoria, Oxido o Proyecciones; aplicado Limpiador E59A
Equipo	Yugo Magnetico Parker, AC/DC, 5N: 15611
Método de Inspección	Partículas Negras Húmedas Visibles MPI-80 con Pintura de Contraste WCP-81
	Aplicadas durante la Magnetización (Continuo), Tipo de Corriente DC Pulsado
	Dirección de Campo: Longitudinal, 2 magnetizaciones en X respecto al Cordón
Post examinación	Fuerza del Campo Magnético: 40lb con Polos separados 6" Desmagnetización: < 3 Gauss

Certifico que lo registrado es Correcto y que los Ensayos a las Soldaduras se realizaron según el Numeral 8 de la Norma AWS D1.1 -20

Inspeccionado por:	Ing. Oscar Cevallos	 Digitally signed by OSCAR CEVALLOS MONTALVO Date: 2022.07.28 21:55:58 COT
	Inspector ASNT Nivel III REG N° 183145	

ANEXO G: INFORME DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN EL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES.



**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
MECÁNICA**



**LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES**

F01-PE-LAEV-01 Rev.01

INFORME TÉCNICO

LAEV – M22.054 Rev.01

Quito, 21 de junio de 2022

Solicitado por: M.Sc. Carlos Serrano
Persona de contacto: Marco Acuña
Teléfono: 0967205380
Correo: marco.acuna@epoch.edu.ec
Fecha de recepción: 10/06/2022
Fecha de ejecución: 13/06/2022

ORDEN DE TRABAJO N°: DM-OT0059-2022

- 1. MUESTRAS:** Nueve (9) probetas de junta soldada para ensayo de carga.
- 2. GENERALIDADES E IDENTIFICACIÓN DE LAS MUESTRAS:**

La siguiente descripción fue proporcionada por el cliente:

Título de la tesis: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA AL CORTE EN JUNTAS TIPO T CON SOLDADURA DE FILETE BAJO PROCESO SMAW EN ACERO ASTM A36

En la tabla 1 se muestra la identificación de las muestras a ser ensayadas:

Tabla 1. Identificación de las muestras.

Id. cliente	Espesor nominal (mm)	Id. LAEV
T1-T3	4	M22.054.01- M22.052.03
T1-T3	6	M22.054.04- M22.052.06
T1-T3	8	M22.054.07- M22.054.09

3. CONDICIONES AMBIENTALES:

Temperatura: $19,8 \pm 0,9$ °C

Humedad relativa: $56,9 \pm 1,5$ %

4. ENSAYO DE CARGA EN JUNTAS SOLDADAS

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los resultados obtenidos en los ensayos de carga.

Tabla 2. Ensayo de carga (e=4 mm)

Id.	Carga máxima registrada		Obs.
	lbf	N	
M22.054.01	16 541	73 578	FMB
M22.054.02	16 687	74 226	FJS
M22.054.03	16 689	74 235	FJS

Tabla 3. Ensayo de carga (e=6 mm)

Id.	Carga máxima registrada		Obs.
	lbf	N	
M22.054.04	20 417	90 820	FJS
M22.054.05	20 772	92 401	FJS
M22.054.06	16 765	74 573	FJS

Tabla 4. Ensayo de carga (e=8 mm)

Id.	Carga máxima registrada		Obs.
	lbf	N	
M22.054.07	23 985	106 689	FJS
M22.054.08	24 467	108 834	FJS
M22.054.09	25 265	112 384	FJS

* FJA= Falla en la junta soldada

*FMB= Falla en el material base

En el anexo se presentan fotografías del ensayo.

Nota.- Los resultados contenidos en el presente informe corresponden únicamente a las muestras ensayadas por el Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV).

Además, los valores de fuerza que se emiten en el presente documento (y con los que se ha evaluado la conformidad) corresponden a valores corregidos en función del último certificado de calibración del equipo de fuerza y no se ha utilizado el valor de la incertidumbre

	REVISADO POR:	APROBADO POR:
Firma:	 firmado electrónicamente por: JONATHAN FERNANDO CASTRO REVELO	WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO  Firmado digitalmente por WILSON IVAN GUACHAMIN ACERO Fecha: 2022.06.21 11:39:52 -05'00'
Nombre:	Ing. Jonathan Castro, M.Sc.	Ph.D. Wilson Guachamín
Cargo:	ESPECIALISTA DE LABORATORIO	JEFE
LABORATORIO DE ANALISIS DE ESFUERZOS Y VIBRACIONES		

ANEXO H: REPORTE DE ANSYS PROBETA DE 4 MILÍMETROS



Project

First Saved	Monday, July 18, 2022
Last Saved	Friday, July 29, 2022
Product Version	2022 R1
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



- **Material Data**
 - ASTM A36
 - E6011

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (B4)

TABLE 2

Model (B4) > Geometry Imports

Object Name	<i>Geometry Imports</i>
State	Solved

TABLE 3

Model (B4) > Geometry Imports > Geometry Import (B3)

Object Name	<i>Geometry Import (B3)</i>
State	Solved
Definition	
Source	C:\Users\Space_DI\Desktop\t9\t9_files\dp0\SYS-2\DM\SYS-2.scdoc
Type	SpaceClaim
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Compare Parts Tolerance	Tight
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Stitch Tolerance	0,0000001
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

FIGURE 1
Model (B4) > Geometry > Figure 2



Explicit Dynamics (B5)

TABLE 15
Model (B4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics (B5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 16
Model (B4) > Explicit Dynamics (B5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

TABLE 17
Model (B4) > Explicit Dynamics (B5) > Initial Conditions > Initial Condition

Object Name	<i>Pre-Stress (None)</i>
State	Fully Defined
Definition	
Pre-Stress Environment	None Available
Pressure Initialization	From Deformed State



FIGURE 2
Model (B4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Solution Information > Equivalent Stress > Figure



FIGURE 3
Model (B4) > Explicit Dynamics (B5) > Solution (B6) > Solution Information > Equivalent Stress > Figure 2

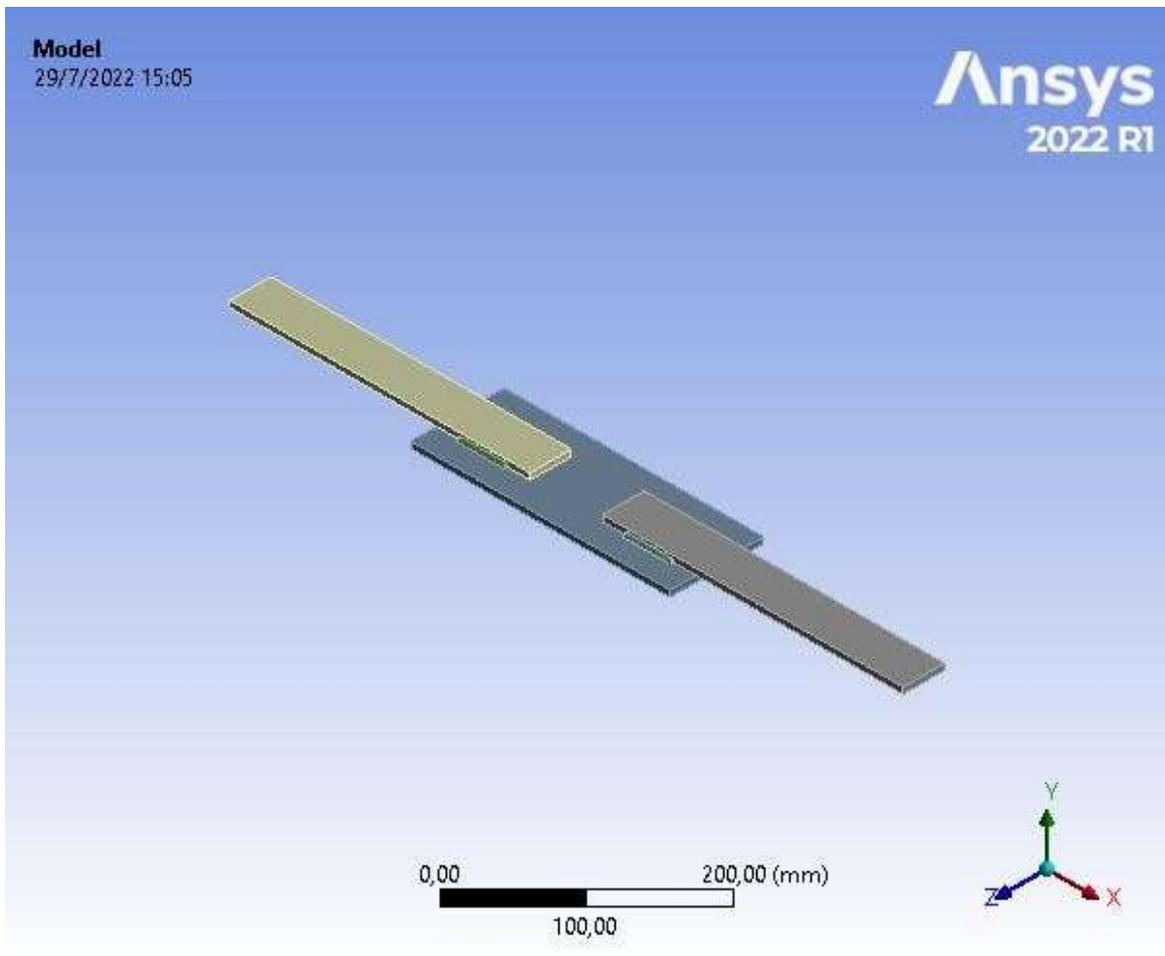


ANEXO I: REPORTE DE ANSYS PROBETA DE 6 MILÍMETROS



Project*

First Saved	Monday, July 18, 2022
Last Saved	Friday, July 29, 2022
Product Version	2022 R1
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



- **Material Data**
 - ASTM A36
 - E6011

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (D4)

TABLE 2

Model (D4) > Geometry Imports

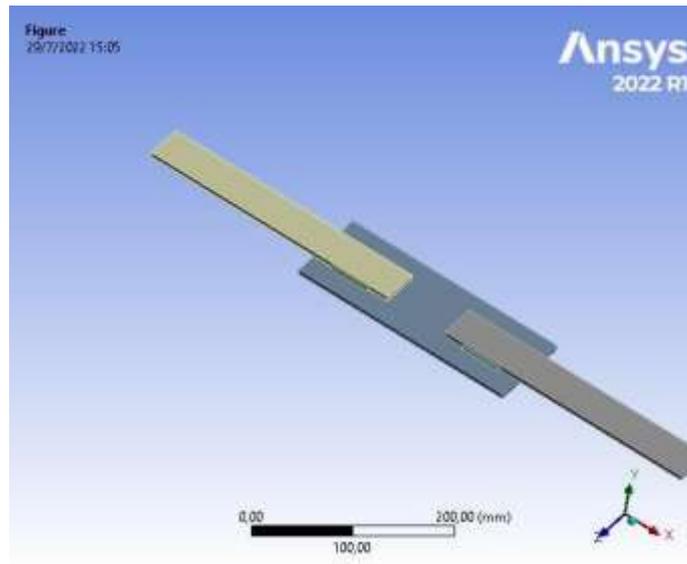
Object Name	<i>Geometry Imports</i>
State	Solved

TABLE 3

Model (D4) > Geometry Imports > Geometry Import (D3)

Object Name	<i>Geometry Import (D3)</i>
State	Solved
Definition	

Source	C:\Users\MULTI METAL_GDA\Desktop\Curso AISC\Ansys Simulaciones OK\t9\t9_files\dp0\SYS-5\DM\SYS-5.scdoc
Type	SpaceClaim
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Compare Parts Tolerance	Tight
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Stitch Tolerance	0,0000001
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes



Explicit Dynamics (D5)

TABLE 15
Model (D4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics (D5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 16
Model (D4) > Explicit Dynamics (D5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

FIGURE 3
Model (D4) > Explicit Dynamics (D5) > Solution (D6) > Solution Information

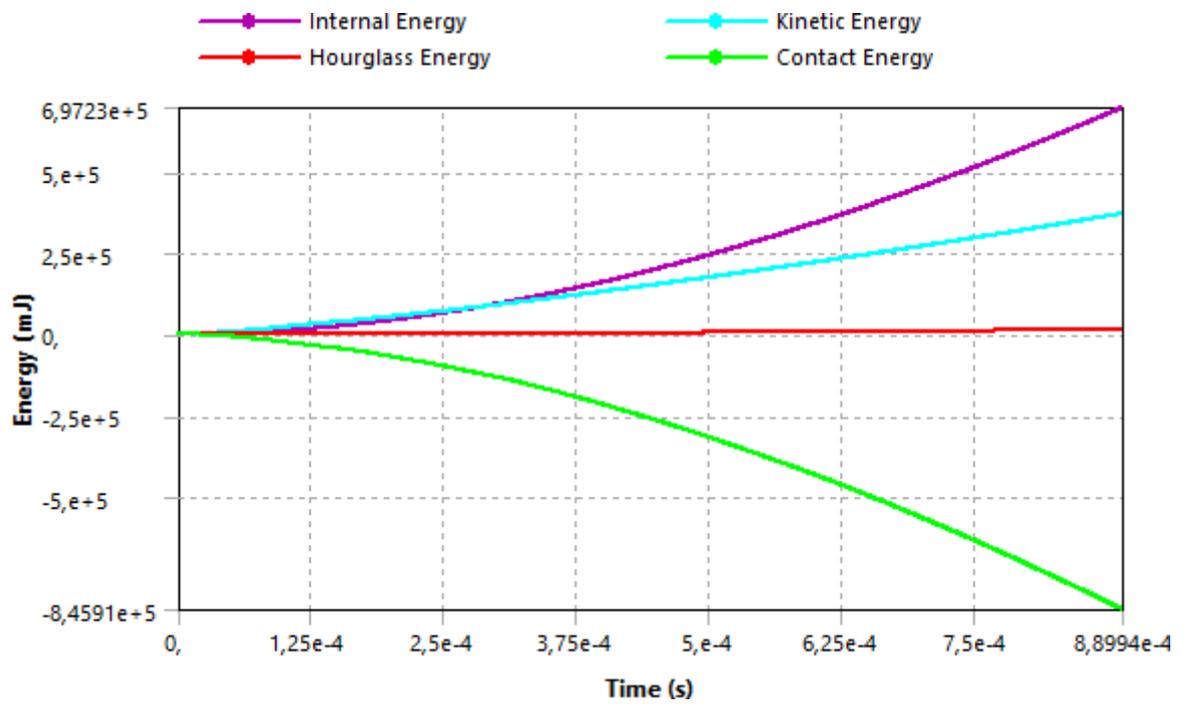


FIGURE 4
Model (D4) > Explicit Dynamics (D5) > Solution (D6) > Solution Information > Equivalent Stress > Figure

D: Probeta 2

Figure

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 8,455e-004 s

Cycle Number: 10679

29/7/2022 15:05

Ansys
2022 R1

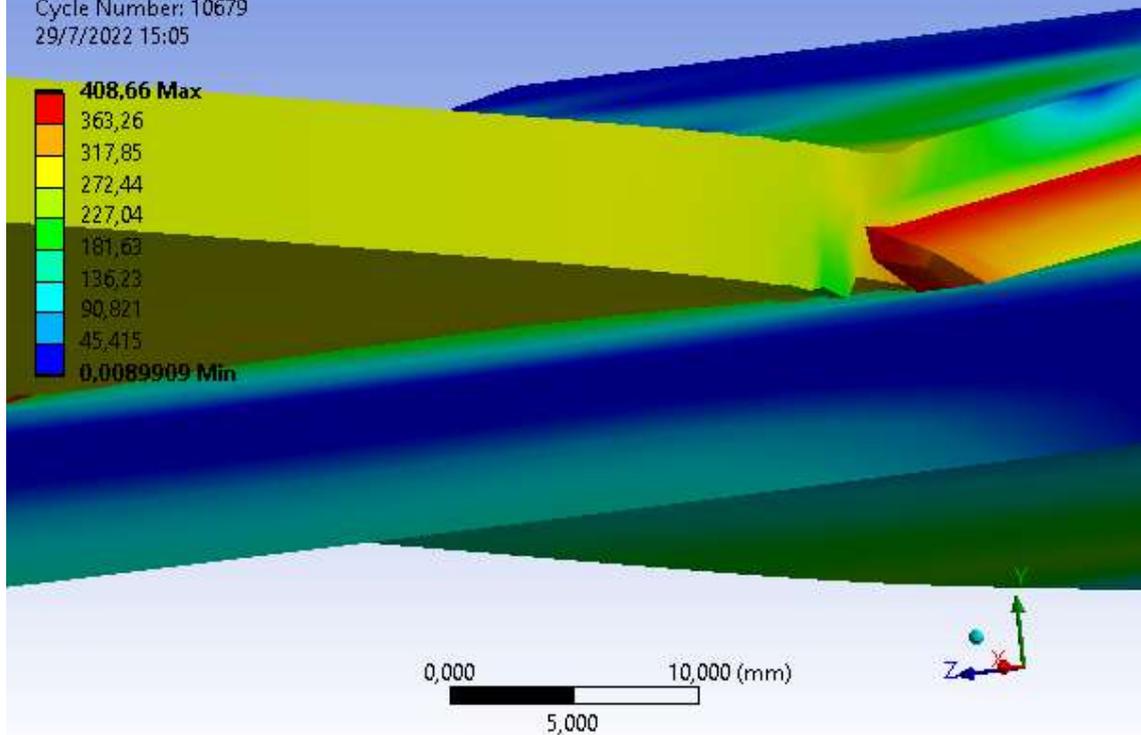


FIGURE 5
Model (D4) > Explicit Dynamics (D5) > Solution (D6) > Solution Information > Equivalent Stress > Figure 2

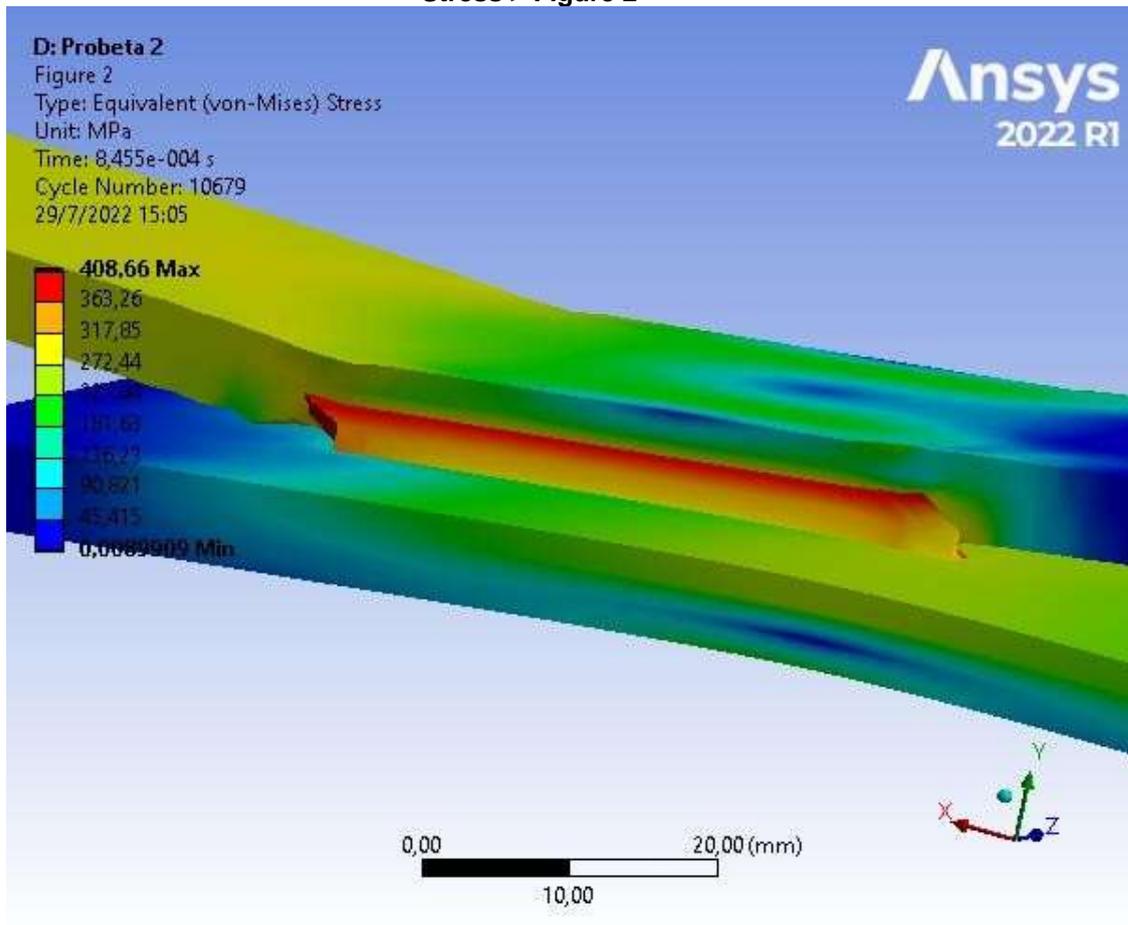
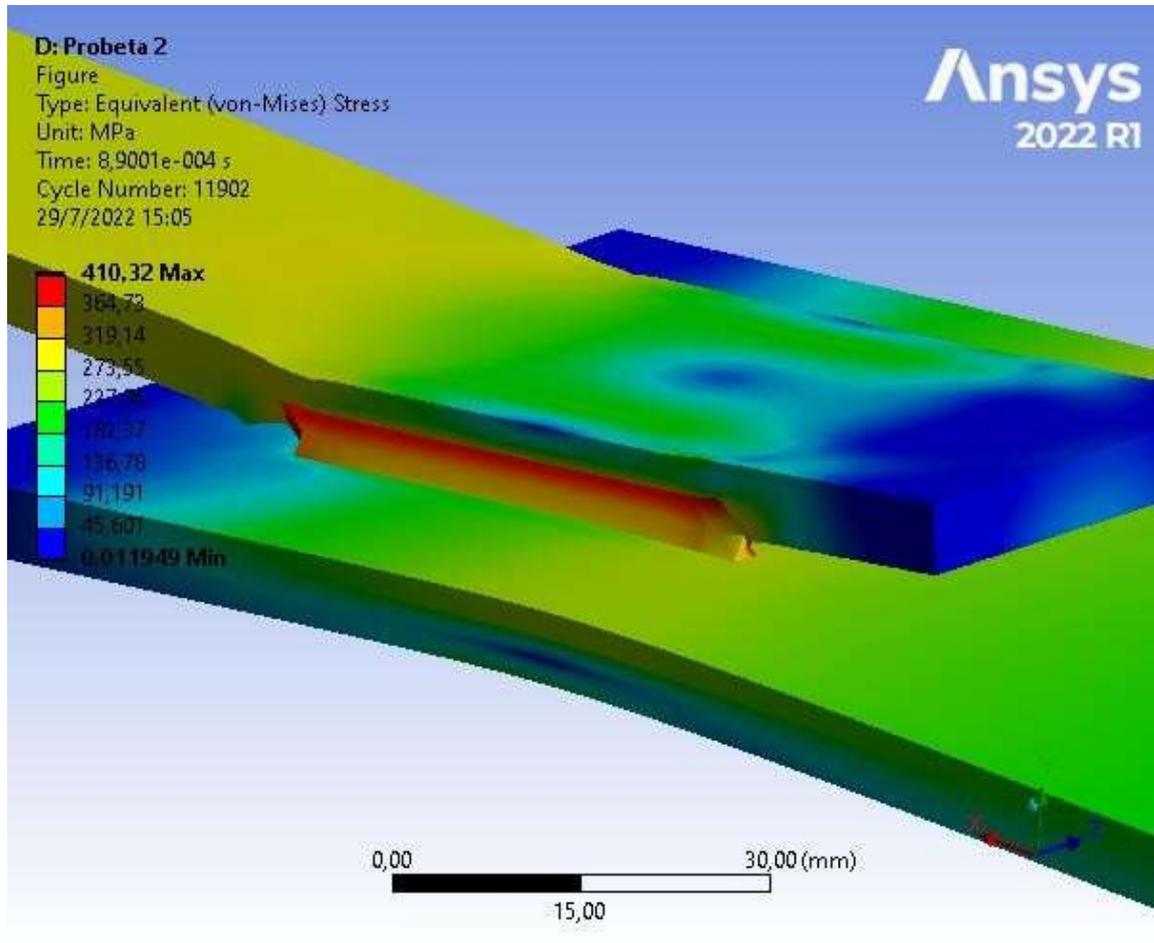


FIGURE 6
Model (D4) > Explicit Dynamics (D5) > Solution (D6) > Shear Stress

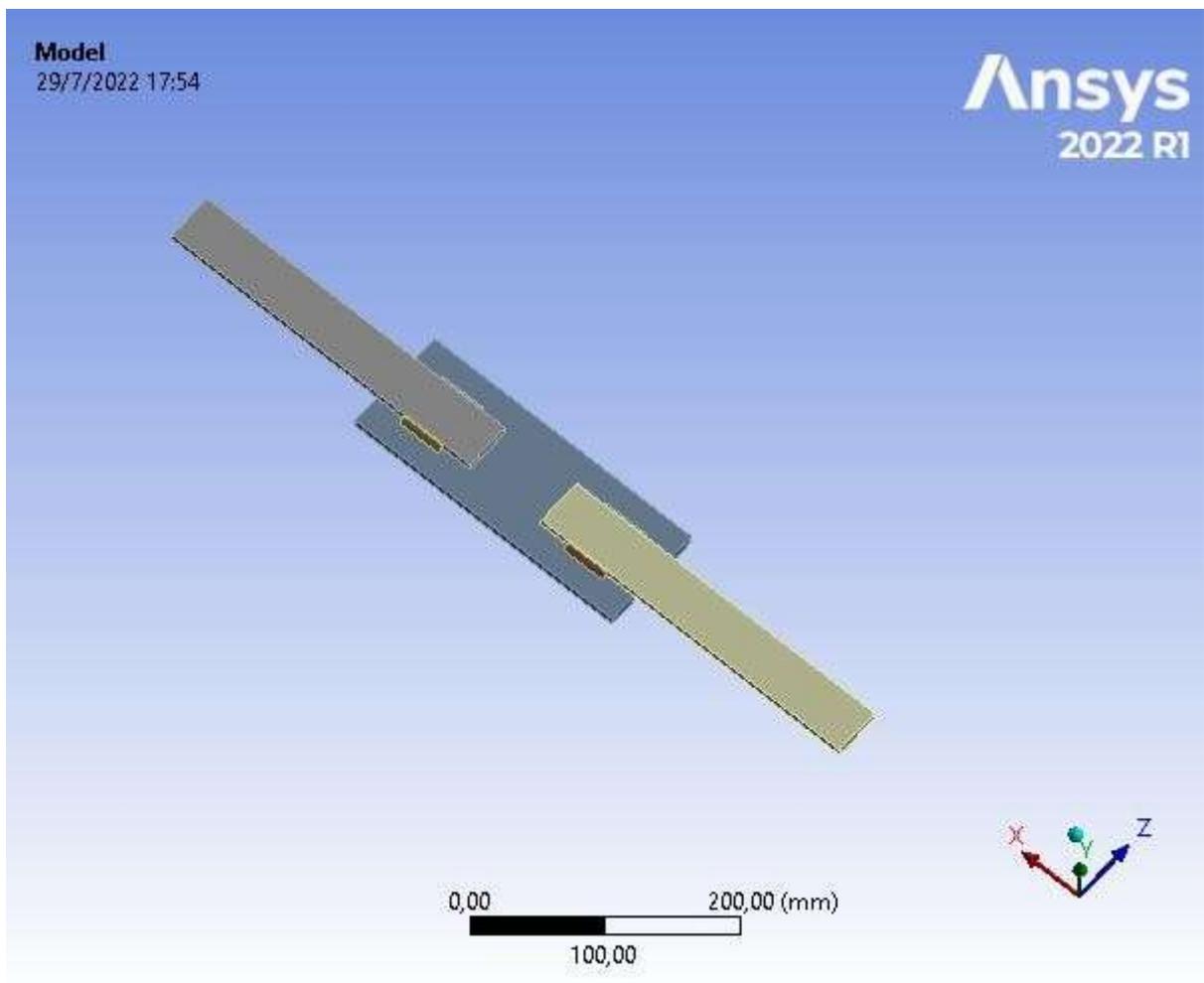


ANEXO J: REPORTE DE ANSYS PROBETA DE 8 MILÍMETROS



Project*

First Saved	Monday, July 18, 2022
Last Saved	Friday, July 29, 2022
Product Version	2022 R1
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



- **Material Data**
 - ASTM A36
 - E6011

Units

TABLE 1

Unit System	Metric (mm, kg, N, s, mV, mA) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

Model (C4)

TABLE 2

Model (C4) > Geometry Imports

Object Name	<i>Geometry Imports</i>
State	Solved

TABLE 3

Model (C4) > Geometry Imports > Geometry Import (C3)

Object Name	<i>Geometry Import (C3)</i>
State	Solved
Definition	

Source	C:\Users\MULTI METAL_GDA\Desktop\Curso AISC\al\t9\t9_files\dp0\SYS-4\DM\SYS-4.scdoc
Type	SpaceClaim
Basic Geometry Options	
Solid Bodies	Yes
Surface Bodies	Yes
Line Bodies	Yes
Parameters	Independent
Parameter Key	
Attributes	Yes
Attribute Key	
Named Selections	Yes
Named Selection Key	
Material Properties	Yes
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	Yes
Coordinate System Key	
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	Yes
Compare Parts On Update	No
Compare Parts Tolerance	Tight
Analysis Type	3-D
Mixed Import Resolution	None
Import Facet Quality	Source
Clean Bodies On Import	No
Stitch Surfaces On Import	None
Stitch Tolerance	0,0000001
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

Explicit Dynamics (C5)

TABLE 15
Model (C4) > Analysis

Object Name	<i>Explicit Dynamics (C5)</i>
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Explicit Dynamics
Solver Target	AUTODYN
Options	
Environment Temperature	22, °C
Generate Input Only	No

TABLE 16
Model (C4) > Explicit Dynamics (C5) > Initial Conditions

Object Name	<i>Initial Conditions</i>
State	Fully Defined

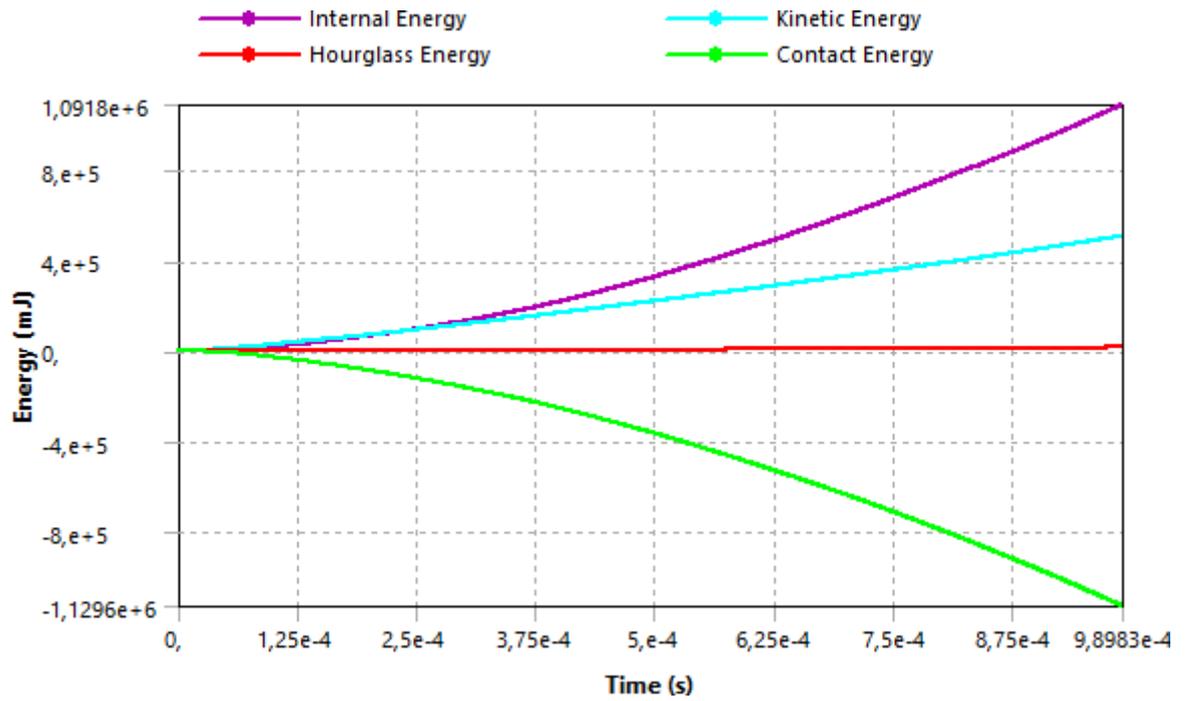


FIGURE 3
 Model (C4) > Explicit Dynamics (C5) > Solution (C6) > Solution Information > Equivalent Stress > Figure

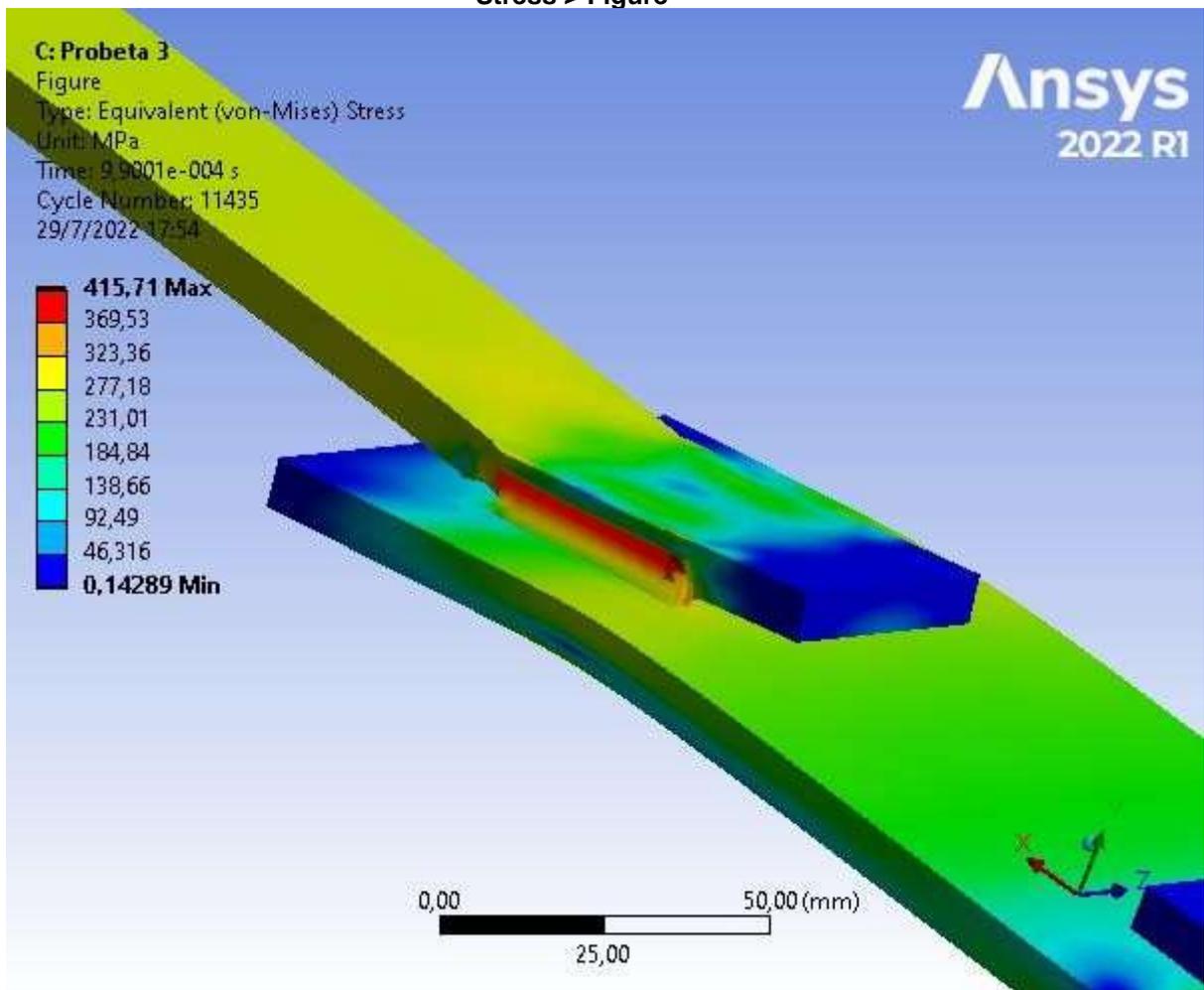
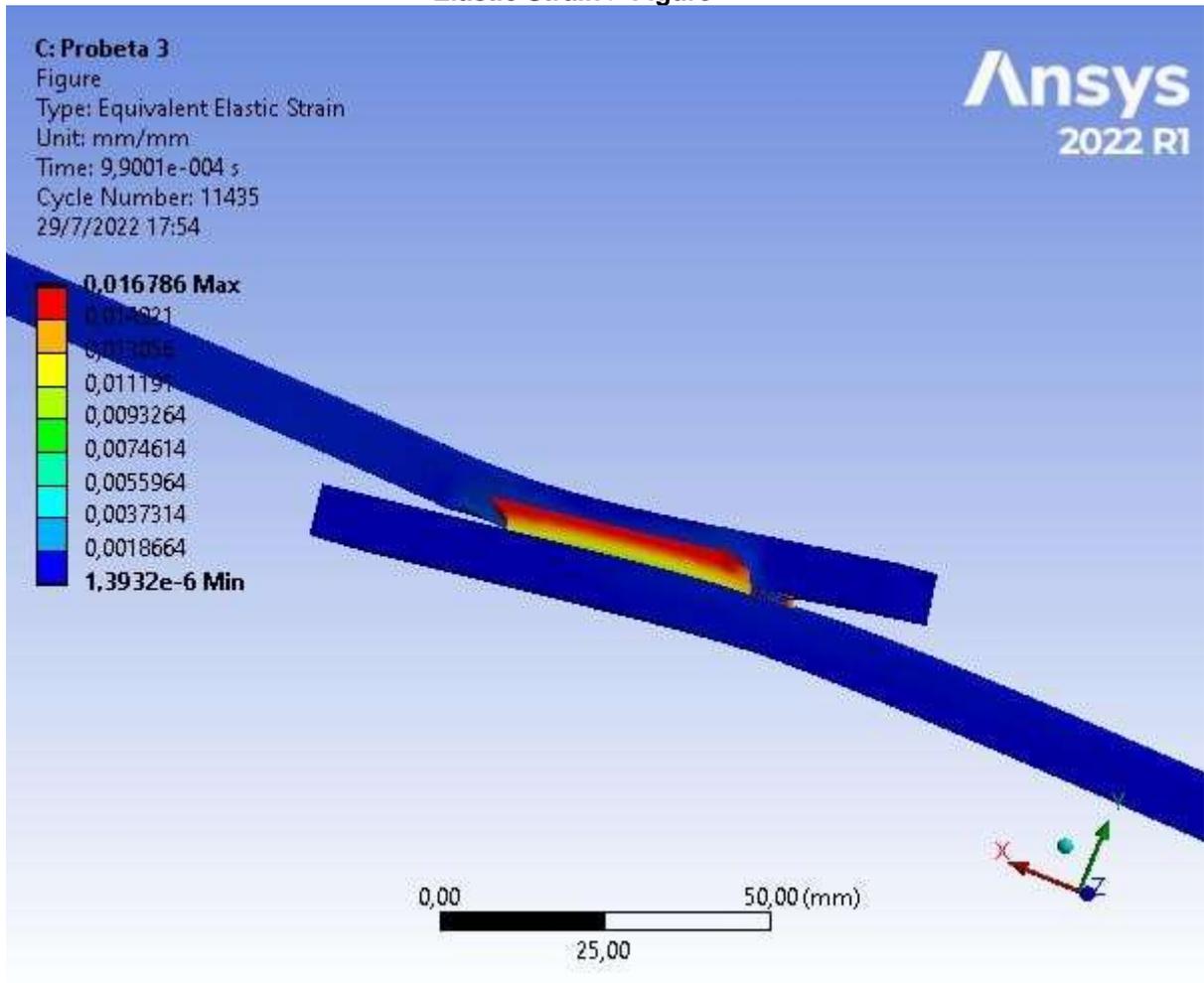
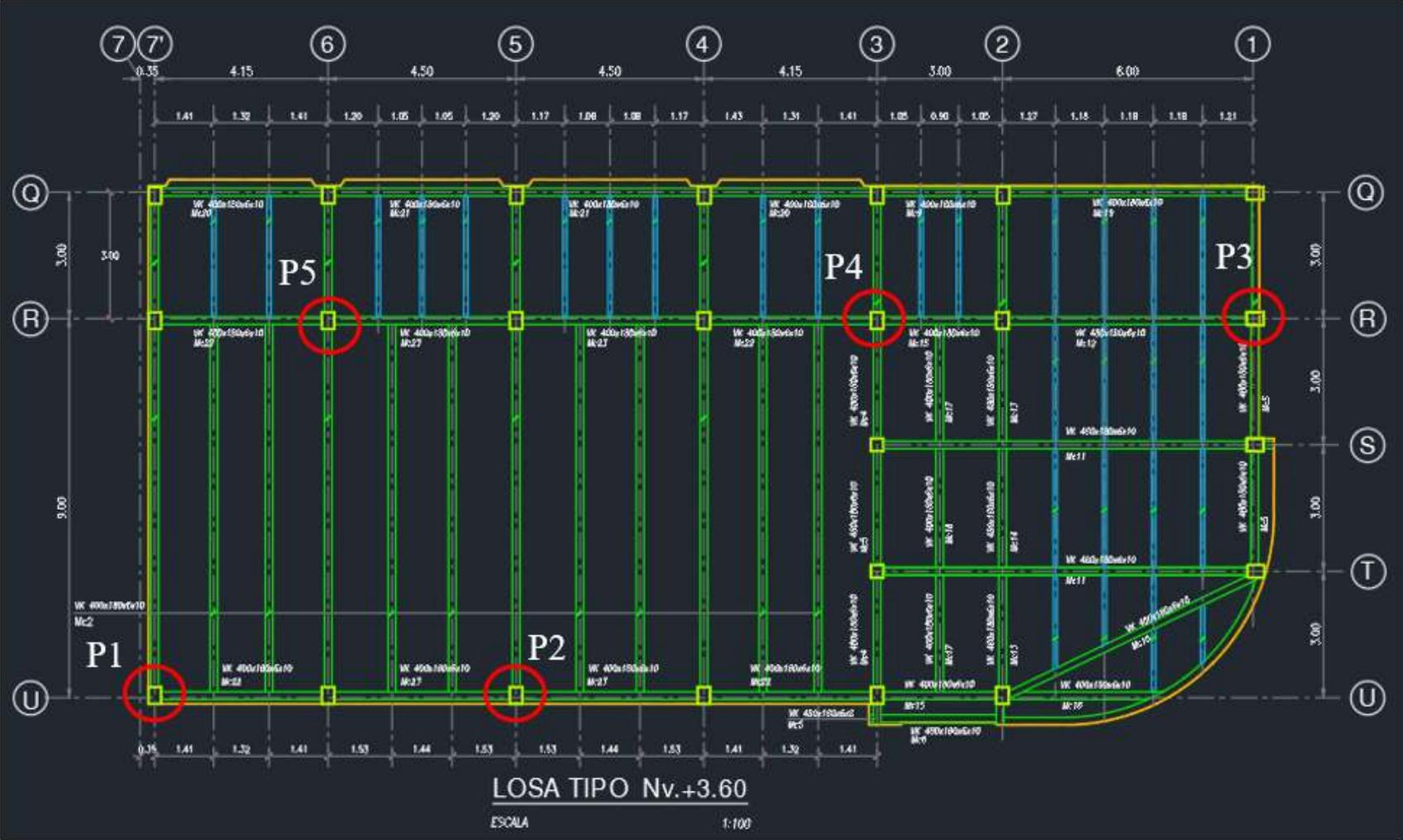


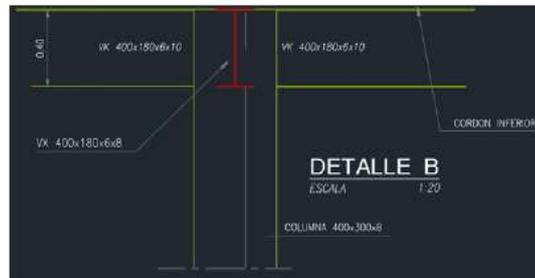
FIGURE 4
Model (C4) > Explicit Dynamics (C5) > Solution (C6) > Solution Information > Equivalent Elastic Strain > Figure



ANEXO K: VISTA DE PLANTA DEL PRIMER PISO DE LA UNIDAD EDUCATIVA.

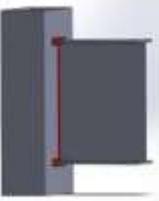
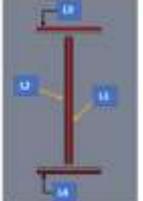


ANEXO M: HOJA ELECTRÓNICA PARA CALCULAR LA RESISTENCIA A LA SOLDADURA EN LA UNIÓN VIGA COLUMNA DE UNA UNIDAD EDUCATIVA DE TRES PISOS.



DETALLE DE LA UNIÓN VIGA COLUMNA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA MECÁNICA											
NOMBRE: Marco Pinedo Anillo Salazar CODIGO: 0206 TEMA: Cálculo de la resistencia a la rotura en la unión viga columna.											
Valores a ingresar Valores de diseño: Valores de resistencia: 											
INFERIOR					SUPERIOR						
VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DEFINICION	FORMA DE	FÓRMULA	VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DEFINICION	FORMA DE	FÓRMULA
COLUMNA					COLUMNA						
bc	30	cm	base columna			A	100,44	cm ²	área		$A = 2b \cdot t + 2 \cdot (d - t) \cdot t$
hc	40	cm	altura columna			Peso	83,91	kg/m	peso		$A \cdot \rho = 0,785$
e	0,8	cm	espesor			I _{yy}	18899,8	cm ⁴	inercia en x	Abaco de Stigler	$\frac{b \cdot e^3}{12}$
Acero	36	ksi	material base			I _{xx}	25932,0	cm ⁴	inercia en y	Abaco de Stigler	$\frac{e^3 \cdot b}{12}$
f _y	2531	kgf/cm ²	límite de fluencia	45704,08		Y _{cg}	20	cm	centroide yy	Abaco de Stigler	$\frac{b \cdot e}{2}$
f _u	4050	kgf/cm ²	límite de rotura	45704,08		X _{cg}	35	cm	centroide xx	Abaco de Stigler	$\frac{e}{2}$
h _e	3,00	m	altura entre pisos			Z _{yy}	1257,00	cm ³	módulo de sección plástica yy		$\frac{b \cdot e^2}{4} \cdot (2 + 3 \cdot \frac{e}{b} - 3 \cdot \frac{e}{b} \cdot \frac{e}{b} - \frac{e}{b} \cdot \frac{e}{b})$
DATOS DE DISEÑO											
N° Pisos	3	u	número de pisos			r _{xx}	18,41	cm	radio de giro xx		$\frac{I_{yy}}{A}$
h _e	3,00	m	altura entre pisos			r _{yy}	12,35	cm	radio de giro yy		$\frac{I_{xx}}{A}$
CM	0,50	t/m ²	carga muerta	ASC-005	(CM) = 0,50 t/m ²	M _{pr}	45814,54	kgf-m	momento probable de la columna	RFEM 3D	
CV	0,20	t/m ²	carga viva	ASC-005	(CV) = 0,20 t/m ²	V _{pc}	30543,29		Cortante probable de la columna	RFEM 3D	
CU	0,02	t/m ²	carga sismica	MEC-32-CG	USG-001-0004-1-16						

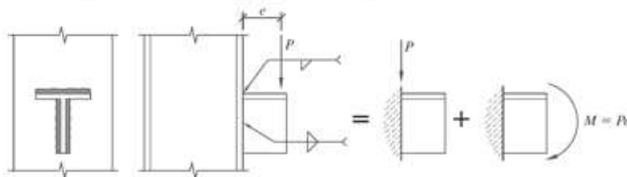
VIGA PRINCIPAL					VIGA PRINCIPAL				
bf	38	cm			A	51,84	cm ²	Área	
tf	6,8	cm			Peso	40,49	kg/m	peso	
h	40	cm			Iyy	776,8	cm ⁴	inercia en y	Alarinas de Stgelo
tw	6,6	cm			Ixx	13096,5	cm ⁴	inercia en x	Alarinas de Stgelo
Acero	S4	ksi			yg	20	cm	centroide y	
fy	2551	kgf/cm ²	límite de fluencia	ASTM A36	yg	9	cm	centroide x	
Fu	4253	kgf/cm ²	límite de rotura	ASTM A36	Zx	785,66	cm ³	módulo de sección plástica x	$S_x = I_x / (h - t_f) = I_x / (2 \cdot \frac{h}{2} - t_f)$
L	4,33	m	longitud de la viga		ry	1,87	cm	radio de giro y	$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$
Vu	8094	kgf	resistencia al corte	Resistencia de la unión estructural	Mpv	28635,23	kgf-m	momento probable de la viga	
Mu	12407	kgf-m	Resistencia a momento	Resistencia de la unión estructural	Vov	12726,76	kgf	Cortante probable de la viga	
NOE DISEÑO					CÁLCULO DE SOLADURAS				
									
g1	0,424	cm	Garganta efectiva de la soldadura del alma	$g = 0,707 \cdot w$ 45C:300	g2	3,0	cm	Garganta efectiva de la soldadura de los patines	
A1	15,27	cm ²	Área efectiva de soldadura en el alma	45C:300	A2	36,00	cm ²	Área efectiva de soldadura en los patines	$A_w = 0,707 \cdot w \cdot L$
Cre 1	70,454	kgf/cm ²	factor de transformación de ksi a kgf/cm ²					$\phi_w = 70,454 \text{ kg/cm}^2$	
φR1	29049,76	kgf	Capacidad o Resistencia a corte de la soldadura en el alma	45C:300	φR2	82177,55	kgf	Capacidad o resistencia a tensión de la soldadura en los patines	$\phi R_1 = 0,75 \cdot A_{we} \cdot F_u$ $\phi R_2 = 0,9 \cdot (A_{w1} + A_{w2}) \cdot F_u$
D/C	44%		Ratio demanda capacidad a corte						
Vu	OK		Comprobación de la resistencia al cortante						
Mu	OK		Comprobación de la resistencia a momento						
DATOS DE LA SOLADURAS									
E	80	ksi	electrodo						
w1	6	mm	tamaño de filar "alma"						
w2	10	mm	tamaño de soldadura "patines"						
L1	180	mm	Long. Soldadura del alma						
L2	180	mm	Long. Soldadura del alma						
L1+2	360	mm	Long. Total soldada en el alma						
L3	180	mm	Long. Soldadura del patin						
L4	180	mm	Long. Soldadura del patin						
L3+4	360	mm	Long. Total soldada en los patines						
φc	0,75		Factor LRFD	45C:300-47	φt	0,75			

COMPROBACIÓN DE CALCULOS MANUALES
 MEDIANTE UNA HOJA DE ELECTRÓNICA DEL
 DISEÑO DE LA SOLDADURA QUE ESTA PRESENTE EN
 EL EDIFICIO DE LA UNIDAD EDUCATIVA DE TRES
 PISOS

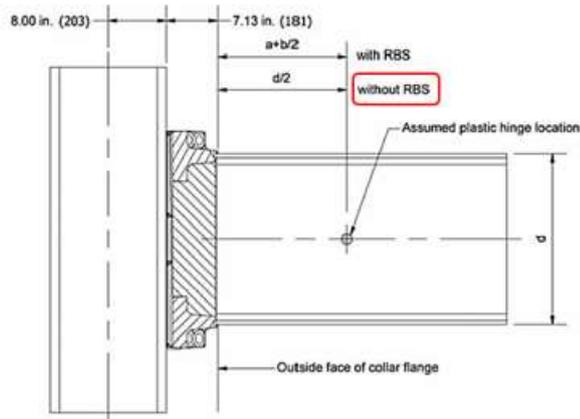


Puntos críticos	Vigas principales	Resistencia requeridas			
		Mu (momento de diseño)		Vu (cortante de diseño)	
		[kgf-m]	[t-m]	[kgf]	[t]
P1	U7-RP	12407	12.407	9054	9.054
	U7-LB	558	0.558	8290	8.290
P2	U5-R5	12131	12.131	8944	8.944
	U5-LB	7736	7.736	8467	8.467
	U5-LR	7801	7.801	8207	8.207
P3	R1-R2	9511	9.511	8821	8.821
	R1-Q1	5179	5.179	4524	4.524
	R1-S1	5275	5.275	4367	4.367

Puntos críticos	Vigas principales	Resistencia requeridas	
		Vu (cortante de diseño)	
		[kgf]	[t]
P4	R3-S3	4257	4.257
	R3-Q3	4202	4.202
	R3-R4	8185	8.185
P5	R3-R2	4277	4.277
	R6-L6	9058	9.058
	R6-Q6	4305	4.305
	R6-R7	8127	8.127
	R6-R5	8552	8.552



Soldadura en T,
 cargada a cortante
 más tensión.
 (Abi y Jason, 2009, p.
 480)



Ubicación de la
 excentricidad
 (acogiendo el criterio
 de conexiones
 precalificadas)
 (AISC 358, 2010,
 p.76)

Weld Group	Center of Gravity, in. x, y	Section Modulus, in. ³		I _y (or J), in. ⁴
		S _{top}	S _{bot}	
	$\frac{b}{2} \frac{d^2}{b + 2d}$	$\frac{2bd + d^2}{3}$	$\frac{d^2(2b + d)}{3(b + d)}$	$\frac{(b + 2d)^3}{12} - \frac{d^2(b + d)^2}{(b + 2d)}$

Módulo de sección
 para el grupos de
 soldadura T (Abi y
 Jason, 2009, p. 476)

Vigas principales	Dimensiones de las vigas principales				Propiedades de sección T	Excentricidad	
	Peralte libre	Espesor del alma	Longitud del patin	Espesor del patin	$\frac{I_{xx} + I_{yy}}{I}$	d/2	
	d (mm)	tw (mm)	bf (mm)	tf (mm)	S top (mm ³)	e (mm)	
P1	U7-R7	440	6	180	10	117333,33	220
	U7-U6	390	6	180	10	97500,00	195
P2	U5-R5	440	6	180	10	117333,33	220
	U5-U6	390	6	180	10	97500,00	195
P3	U5-U4	390	6	180	10	97500,00	195
	R1-R2	390	6	180	10	97500,00	195
P4	R1-Q1	390	6	180	10	97500,00	195
	R1-S1	390	6	180	10	97500,00	195
P5	R3-S3	380	6	180	10	93733,33	190
	R3-Q3	380	6	180	10	93733,33	190
P6	R3-R4	380	6	180	10	93733,33	190
	R3-R2	380	6	180	10	93733,33	190
P7	R6-U6	430	6	180	10	113233,33	215
	R6-Q6	380	6	180	10	93733,33	190
P8	R6-R7	380	6	180	10	93733,33	190
	R6-R5	380	6	180	10	93733,33	190

Componente de cortante directo	$f_p = \frac{P}{I}$	Abi y Jason, 2009
Componente tensión debido a momentos	$f_m = \frac{P * e}{S_{top}}$	Abi y Jason, 2009
Demanda o esfuerzo de soldadura resultante	$f_r = \sqrt{(f_p)^2 + (f_m)^2}$	Abi y Jason, 2009

Vigas principales	L. Soldadura del patin mas el alma	L. Soldadura en el patin superior	Excentricidad	Módulo de sección del grupo de soldadura	Cortante directo	Tensión debido a momentos	Demanda de la soldadura
			ϵ	S top	f_p	f_m	f_r
			mm	(mm ³)	t/m	t/m	t/m
U7-R7	104	18	220	117333,33	8,71	16,98	19,08
U7-U6	94	18	195	97500,00	8,82	16,58	18,78
U5-R5	104	18	220	117333,33	8,60	16,77	18,85
U5-U6	94	18	195	97500,00	9,01	16,93	19,18
U5-U4	94	18	195	97500,00	8,84	16,61	18,82
R1-R2	94	18	195	97500,00	9,38	17,64	19,98
R1-Q1	94	18	195	97500,00	4,81	9,05	10,25
R1-S1	94	18	195	97500,00	4,65	8,73	9,89
R3-S3	94	18	190	93733,33	4,42	8,43	9,52
R3-Q3	94	18	190	93733,33	4,47	8,52	9,62
R3-R4	94	18	190	93733,33	8,71	16,59	18,74
R3-R2	94	18	190	93733,33	4,55	8,67	9,79
R6-U6	104	18	215	113233,33	8,71	17,20	19,28
R6-Q6	94	18	190	93733,33	4,47	8,52	9,63
R6-R7	94	18	190	93733,33	8,65	16,47	18,60
R6-R5	94	18	190	93733,33	9,10	17,34	19,58

Capacidad de la soldadura	$\phi R_n = (0,75)(0,6)(F_{EXX}) \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right) \left(\frac{D}{16}\right) L$	Abi y Jason, 2009	
Donde:	0,75	AISC 360	Factor LRFD ϕ
	F_{EXX}	AISC 360	Resistencia del electrodo
	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	AISC 360	Tamaño de la garganta
	D/16	Abi y Jason, 2009	Tamaño de soldadura en pulgadas
	L	Abi y Jason, 2009	Longitud de la soldadura

Tamaño de filete según AWS D1.1

**Table 7.7
Minimum Fillet Weld Sizes (See 7.13)**

Base Metal Thickness (T) ^a		Minimum Size of Fillet Weld ^b	
in	mm	in	mm
T ≤ 1/4	T ≤ 6	1/8 ^c	3 ^c
1/4 < T ≤ 1/2	6 < T ≤ 12	3/16	5
1/2 < T ≤ 3/4	12 < T ≤ 20	1/4	6
3/4 < T	20 < T	5/16	8

Electrodo	60	ksi	
Factor	704,54	t/m2	factor de transformación de ksi a t/m2

COMPROBACIÓN RAZÓN DEMANDA CAPACIDAD DE LA SOLDADURA

Vigas principales	L. Soldadura del patin mas el alma	Tamaño de filete	Demanda de la soldadura	Capacidad de la soldadura	Razón demanda capacidad
	cm	mm	fr (t)	φRn (t)	fr (t) < φRn (t) (SI/NO)
PUNTOS CRÍTICOS PERIMETRALES					
U7'-R7'	104	6	19,84	83,92	SI
U7'-U6	94	6	17,65	75,85	SI
U5-R5	104	6	19,60	83,92	SI
U5-U6	94	6	18,03	75,85	SI
U5-U4	94	6	17,69	75,85	SI
R1-R2	94	6	18,78	75,85	SI
R1-Q1	94	6	9,63	75,85	SI
R1-S1	94	6	9,30	75,85	SI
PUNTOS CRÍTICOS INTERNOS					
R3-S3	94	6	8,95	75,85	SI
R3-Q3	94	6	9,04	75,85	SI
R3-R4	94	6	17,61	75,85	SI
R3-R2	94	6	9,20	75,85	SI
R6-U6	104	6	20,05	83,92	SI
R6-Q6	94	6	9,05	75,85	SI
R6-R7'	94	6	17,49	75,85	SI
R6-R5	94	6	18,40	75,85	SI

SI	
NO	