

**VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA DE
SOLDADURA DE FILETE SOBRE PERFILES ANGULARES DE ACERO
CALIDAD COMERCIAL A-36**

JULIAN EDUARDO SALAZAR HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2009**

**VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA DE
SOLDADURA DE FILETE SOBRE PERFILES ANGULARES DE ACERO
CALIDAD COMERCIAL A-36**

JULIAN EDUARDO SALAZAR HERNANDEZ

**Trabajo de grado como requisito para optar
al título de Ingeniero Civil**

**Director:
NESTOR IVÁN PRADO GARCÍA
M.I.C. Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL
BUCARAMANGA
ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO
BUCARAMANGA
2009**

DEDICATORIA

A DIOS

Por darme las fuerzas necesarias para la culminación de mis estudios, la posibilidad de haber estudiado y lograr dar un paso adelante para lograr las metas propuestas.

A MIS PADRES

Por haberme brindado la oportunidad de estudiar y por los esfuerzos realizados para culminar con éxito mis estudios superiores, por educarme para ser un profesional de bien, por sus consejos y la compañía brindada durante el transcurso de la carrera.

AGREDECIMEINTOS

A Dios por ayudarme y acompañarme siempre

A mis padres Julio Adolfo Salazar y Flor María Hernández por darme la posibilidad de estudiar y apoyarme a escalar las metas para llegar al objetivo propuesto.

A mis hermanos Álvaro Javier, Y Diana María por darme el apoyo en los momentos difíciles.

Al Ingeniero Néstor Iván Prado García, quien fue mi director de tesis, por haberme brindado su apoyo en el entendimiento y realización de este trabajo y sobretodo por compartir sus conocimientos.

Al ingeniero Rafael Ortiz, por su colaboración y apoyo a lo largo de mi estadía en la Universidad.

A la ingeniera Claudia Patricia Retamoso Llamas, por su colaboración y apoyo a lo largo de mi estadia en la Universidad.

A la Tec. Luz Marina Torrado Gómez, por su colaboración en la supervisión y operación de la máquina universal, durante todas las pruebas.

A la Universidad Pontifica Bolivariana de Bucaramanga, la escuela de ingeniería civil y sus profesores, por haberme brindado la oportunidad de prepararme como persona y como profesional para beneficio propio y de la sociedad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
JUSTIFICACIÓN	
1. OBJETIVOS	
1.1 Objetivo general	
1.2 Objetivos específicos	
2. MARCO TEORICO	16
2.1 Soldadura de arco sumergido “SAS”	17
2.2 Soldadura de arco protegido “SAP”	18
2.3 Diseño de Soldadura de filete	19
2.4 Estado Límite de Fractura	21
2.5 Estado Límite de Fluencia	22
2.6 Estado Límite de Cortante en Perno	23
3. METODOLOGIA	25
3.1 Primera etapa	25
3.1.1 Determinación del Ángulo a utilizar	27
3.1.2 Determinación de las resistencias de los cordones de soldadura	27
3.1.3 Conexión Probeta – Platina	29
3.1.3.1 Chequeo por estado Límite de Fluencia	30
3.1.3.2 Chequeo por estado Límite de Fractura	30
3.1.3.3 Chequeo por estado Límite de Cortante en perno	31
3.1.4 Conexión Platina – Ángulo	32
3.1.4.1 Chequeo por estado Límite de Fluencia	33
3.1.4.2 Chequeo por estado Límite de Fractura	33
3.1.4.3 Chequeo por estado Límite de Cortante en perno	34

3.2 segunda etapa	35
3.2.1 Planteamiento del sistema	36
3.2.2 Proceso de fabricación	37
3.2.3 Proceso de montaje del sistema	40
3.3 Tercera etapa	43
3.3.1 Resultados obtenidos	44
3.3.1.1 Cordón de soldadura de 65 mm de longitud	44
3.3.1.2 Falla por cortante en perno	45
3.3.1.3 Cordón de soldadura de 75 mm de longitud	48
3.3.1.4 Cordón de soldadura de 85 mm de longitud	49
3.3.1.5 Cordón de soldadura de 85 mm de longitud	50
3.3.1.6 Cordón de un pase de soldadura de 63.5 mm de longitud (transversal)	51
3.3.1.7 cordón de dos pases de soldadura de 63.5 mm de longitud (transversal)	52
3.3.2 Análisis de resultados	53
3.3.2.1 Comparación entre el Pn teórico y el Pn real	53
3.3.2.1.1 cordón longitudinal de 65 mm	53
3.3.2.1.2 cordón longitudinal de 75 mm	53
3.3.2.1.3 cordón longitudinal de 85 mm	54
3.3.2.1.4 cordón longitudinal de 100 mm	54
3.3.2.1.5 cordón transversal sencillo de 63.5 mm	54
3.3.2.1.6 cordón transversal doble de 63.5 mm	54
3.3.3 Análisis general y propuestas	57
3.3.3.1 Cordones longitudinales	58
3.3.3.2 Cordones transversales	60
4. CONCLUSIONES	61
5. RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFIA	65

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1. Soldadura de filete.	16
Figura N° 2. Posiciones de soldadura del S.A.S	17
Figura N° 3. Posiciones de soldadura del S.A.P	18
Figura N° 4. Soldadura de filete.	19
Figura N° 5. Soldadura de filete (Caras iguales)	20
Figura N° 6. Soldadura de filete (Caras desiguales)	21
Figura N° 7. Soldadura de filete (Longitud del Cordón)	21
Figura N° 8. Conexión tipo aplastamiento y corte	23
Figura N° 9. Relación de L y W en el perfil angular soldado	26
Figura N° 10. Longitud de cordón de soldadura	27
Figura N° 11. Geometría de la platina originalmente	37
Figura N° 12. Geometría de platina parte superior después de corte	38
Figura N° 13. Geometría de platina parte inferior después de soldada	39
Figura N° 14. Cambios en la geometría de platina parte superior	47
Figura N° 15. Cambios en la geometría de perfil angular	47

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla N° 1. Tabla de tamaño mínimo de soldadura	19
Tabla N° 2. Tabla de tamaño máximo de soldadura	20
Tabla N° 3. Resumen chequeos de resistencia	35
Tabla N° 4. Tabla de comparación de resultados	56
Tabla N° 5. Diámetros presentados en los cordones de soldadura Longitudinales.	59
Tabla N° 6. Medidas de las gargantas de soldadura de cordones transversales	60

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica N° 1. Gráfica de comportamiento de falla, CT-65	44
Gráfica N° 2. Gráfica de falla por cortante en perno	45
Gráfica N° 3. Gráfica de comportamiento de falla, CT-75	48
Gráfica N° 4. Gráfica de comportamiento de falla, CT-85	49
Gráfica N° 5. Gráfica de comportamiento de falla, CT-100	50
Gráfica N° 6. Gráfica de comportamiento de falla, CT-3/32	51
Gráfica N° 7. Gráfica de comportamiento de falla, CT-3/16	52
Gráfica N° 8. Gráfica de confrontación de resistencias teórica Vs real, cordones longitudinales	57
Gráfica N° 9. Gráfica de confrontación de resistencias teórica Vs real, cordones transversales	57

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto N° 1. Conexión Probeta – Platina	29
Foto N° 2. Conexión Platina – Angulo	32
Foto N° 3. Planteamiento del sistema	36
Foto N° 4. Corte de las platinas metálicas	38
Foto N° 5. Proceso de soldadura de platinas con perfiles angulares	39
Foto N° 6. Máquina Universal de la Universidad Pontificia Bolivariana	40
Foto N° 7. Mordazas utilizadas	40
Foto N° 8. Juego de platina, mordaza y pernos utilizados	41
Foto N° 9. Perfil angular	41
Foto N° 10. Montaje del sistema en la máquina universal	42
Foto N° 11. Ruptura de ct -65	44
Foto N° 12. Proceso de aumento de diámetro de perforaciones	46
Foto N° 13. Ruptura de ct-75	48
Foto N° 14. Ruptura de ct-85	49
Foto N° 15. Ruptura de ct-100	50
Foto N° 16. Ruptura de ct-3/32	51
Foto N° 17. Ruptura de ct-3/16	52
Foto N° 18. Garganta de soldadura	58
Foto N° 19. Garganta de soldadura	58

RESUMEN

TITULO: VERIFICACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA DE SOLDADURA DE FILETE SOBRE PERFILES ANGULARES DE ACERO CALIDAD COMERCIAL A-36

AUTOR: JULIÁN EDUARDO SALAZAR HERNANDEZ

FACULTAD: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR: NÉSTOR IVÁN PRADO GARCÍA

En este trabajo básicamente se diseñaron, elaboraron y sometieron a falla uniones soldadas de diferente longitud, agrupadas en tres casos, en total 11 conjuntos de piezas metálicas unidas mediante soldadura de filete, con el fin de pasar a la práctica y al contexto real, situaciones de falla que se habían planteado previamente por medio de cálculos teóricos, para de esta forma analizar diversos factores que intervienen en todo el proceso de la unión de dos piezas metálicas mediante la soldadura de filete y la influencia de estos factores en el resultado final.

La metodología utilizada para la ejecución de este trabajo fue desarrollada en tres etapas, cada una de ellas consiste en lo siguiente:

En la primera etapa en la primera etapa se diseñaron las piezas, se calcularon las resistencias para cada uno de los estados límites que intervenían.

En la segunda etapa se fabricó cada una de las piezas diseñadas previamente, y se montó el sistema como tal.

En la tercera etapa se realizan las pruebas de falla, se obtienen los resultados, se analiza y concluye.

Por lo anteriormente expuesto, este proyecto busca contribuir al mejoramiento del análisis en el diseño de uniones metálicas por medio de la soldadura de filete

PALABRAS CLAVES: soldadura de filete, longitud de soldadura, comparación de resultados experimentales y teóricos.

ABSTRACT

TITLE: EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE RESISTANCE WELDING OF STEAK ON QUALITY STEEL PROFILES ANGULAR COMMERCIAL A-36

AUTHOR: JULIÁN EDUARDO SALAZAR HERNANDEZ

FACULTY: INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR: NÉSTOR IVÁN PRADO GARCÍA

This work is basically designed, developed and submitted to fault welds of different lengths, grouped in three cases, a total of 11 sets of metal parts together by welding fillet, in order to pass the practical and real context, situations fault that had been raised previously by means of theoretical calculations, thus analyzing various factors involved in the process of joining two metal parts by welding fillet and influence of these factors on the outcome.

The methodology used for the execution of this work was developed in three stages, each of which consists of the following:

In the first stage in the first stage is designed pieces, the resistances were calculated for each state limits involved.

In the second stage was made each of the previously designed parts and assembles the system itself.

In the third stage of testing fails, the results are obtained, analyzed and concluded.

For the foregoing reasons, this project seeks to contribute to the improvement of the analysis in the design of joining materials by welding fillet.

KEYWORDS: welding of fillet weld length, comparison of theoretical and experimental results.

INTRODUCCIÓN

En la ejecución de una obra civil es muy probable la utilización de piezas o estructuras metálicas y una de las formas más comunes de unir dichas piezas o elementos es la soldadura, por eso es fundamental el estudio de esta práctica ya que proporciona elementos de seguridad para el diseño de las estructuras.

Cuando se habla de una conexión soldada generalmente se relaciona con cierta seguridad y un grado de confianza, por que se creeria que las piezas soldadas no se van a separar y van a cumplir a cabalidad con las fuerzas a las que son sometidas. Pero, qué pasaría si al momento de hacer el cordón de soldadura los resultados indiquen que el margen entre lo que se diseña y el punto de falla, no es tan grande, al punto de no ser seguro? o existen otros factores que intervienen en el proceso los cuales no son tenidos en cuenta?

Por lo tanto, con este trabajo se hace una confrontación de los resultados obtenidos mediante cálculos teóricos y los experimentales arrojados en el laboratorio, y de esta forma analizar la conexión soldada típica en perfiles angulares de acero A-36 mediante un cordón de soldadura de filete con electrodo 6011, que es el más utilizado comercialmente en el ámbito estructural.

Conociendo ésta situación se busca con la ejecución del presente proyecto obtener y compartir una información confiable o base de datos, al momento de diseñar y ejecutar la práctica de la soldadura de filete, no se generen dudas con respecto a este.

JUSTIFICACIÓN

Las estructuras metálicas tienen muchas ventajas para cierto tipo de construcciones, tales como edificios, puentes vehiculares y peatonales, bodegas, de este modo, es importante conocer a fondo los detalles de empalme de uniones metálicas por medio de la soldadura de filete, analizando factores como la resistencia de la conexión mediante los cordones de soldadura.

Es importante saber en qué porcentaje son verídicos los cálculos con respecto a la realidad, de esta forma se conocen las posibles ventajas o desventajas de este tipo de unión y si favorece o no para el desarrollo de un próximo proyecto.

Este trabajo de investigación tiene como limitante el número de piezas falladas, por restrictivos económicos en esta ocasión se trabajó con 11 piezas, queriendo agrupar 3 pruebas de falla en cada caso longitudinal, y 2 pruebas de cordones transversales.

Once piezas no se puede considerar como una medida estadística, pero si nos dará una tendencia hacia el comportamiento de dichas resistencias, sugerimos de tal modo a masificar el número de muestras en próximos trabajos, variando no solamente la longitud del cordón de soldadura sino factores como: los electrodos, el numero de probetas de la misma longitud y el ancho del ángulo.

Por lo anteriormente expuesto, este proyecto busca contribuir al mejoramiento del análisis en el diseño de uniones metálicas por medio de la soldadura de filete, del mismo modo dejar registros de prácticas hechas en el laboratorio, los cuales se compararán con valores teóricos, para de este modo analizar y plasmar conclusiones de los comportamientos observados en este trabajo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Confrontar la resistencia real frente a la resistencia teórica de cordones de soldadura de filete en conexiones de perfiles angulares de acero.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar las conexiones soldadas a ensayar.
- Fabricar a escala real las diferentes conexiones a ensayar.
- Determinar la capacidad real de carga de las diferentes conexiones a ensayar.
- Determinar la capacidad teórica de carga de cada una de las conexiones a ensayar.
- Elaborar y analizar las diferentes gráficas de la variación de la resistencia teórica vs real de acuerdo a las variables planteadas.
- Analizar y determinar los factores que inciden en la resistencia final de la soldadura de filete.

2. MARCO TEORICO

La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico, permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de otro metal fundido.

Actualmente es posible aprovechar las grandes ventajas que la soldadura ofrece, ya que los temores de fatiga e inspección se han eliminado casi por completo. Pruebas han demostrado que las soldaduras de filete son más resistentes a la tensión y a la compresión que al corte

La soldadura actualmente presenta varias ventajas como: la economía, por que su uso permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado, otra ventaja es que tiene una zona de aplicación mucho mayor que los tornillos o pernos, además las estructuras soldadas son más rígidas, porque los miembros por lo general están soldados directamente uno a otro.

En el ámbito estructural son comúnmente utilizados dos procesos de soldadura, el proceso de soldadura de arco sumergido (S.A.S) y el proceso de soldadura de arco protegido. (S.A.P)¹

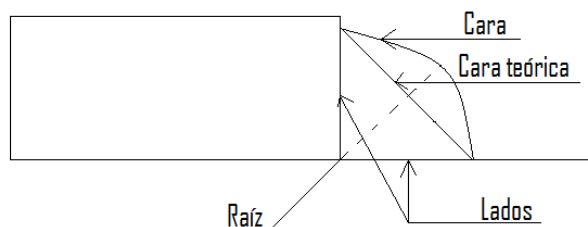


Figura Nº 1: Soldadura de filete.²

¹ Tomado de DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON LRFD, T. Segui William

² Gráfico tomado de DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON LRFD, T. Segui William

2.1 SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO “SAS” (SUMERGED ARC WELDING “SAW”)³

Este es un proceso en el cual el calor es aportado por un arco eléctrico generado entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo.

El arco eléctrico mencionado está sumergido en una capa de fundente granulado que lo cubre totalmente protegiendo el metal depositado durante la soldadura. De aquí el nombre del proceso.

Una ventaja del proceso es que, estando el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas sin chispeo o arrastre de aire. Este proceso ofrece las siguientes características:

- Mayor agarre.
- No forma escoria.
- Ofrece una soldadura de mayor resistencia al impacto y la corrosión.
- Puede ser utilizada en posición plana y horizontal.

La posición es un factor que incide en la calidad de la conexión soldada. A continuación se ilustra las posiciones plana y horizontal.⁴

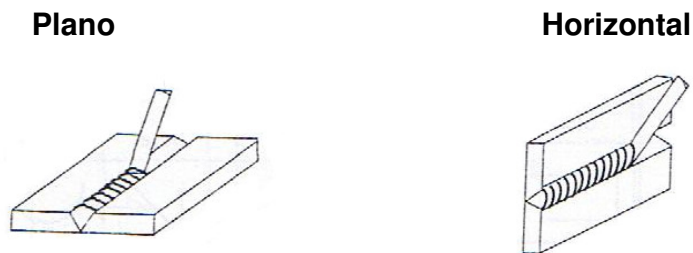


Figura N°2. Posiciones de soldadura del S.A.S

³ Tomado de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

⁴ Gráfico tomado de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

2.2 SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDO “SAP” (SHIELD METAL ARC WELDING ELECTRODES “SMAW”)⁵

Este proceso de soldadura es el más usual en todos ámbitos de la metalmecánica y por supuesto en el ramo estructural y ofrece las siguientes características:

- Más usual
- Forma escoria
- Requiere electrodos
- Puede ser utilizado en todas las posiciones.

La posición es un factor que incide en la calidad de la conexión soldada. A continuación se ilustra todas las posiciones.

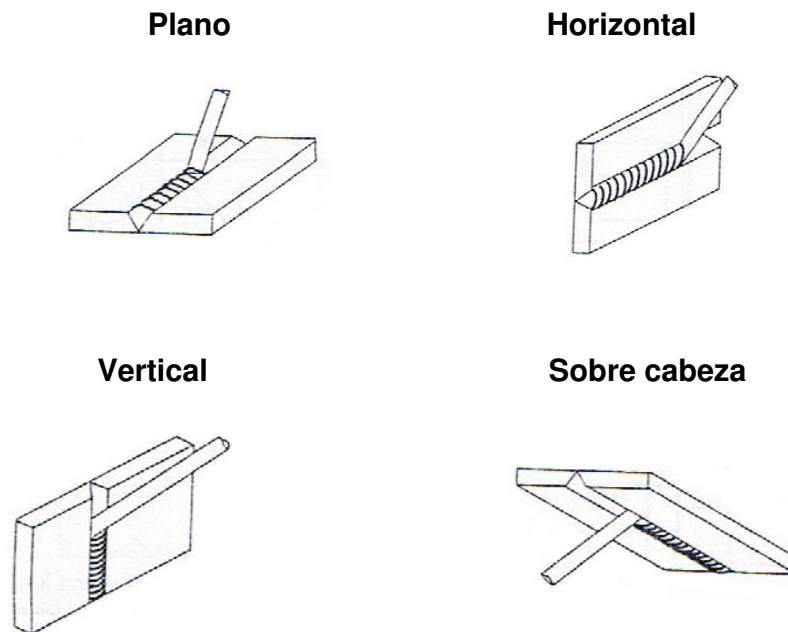


Figura N°3 Posiciones de soldadura del S.A.P.⁶

⁵ Tomado de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

⁶ Gráficas extraídas de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

2.3 Diseño de Soldadura de filete

Las soldaduras tipo filete son usadas para juntar perpendicularmente zonas de piezas metálicas tales como esquinas y las juntas "T", son básicamente triangulares vistas desde su sección.

La soldadura fundida es puesta en una esquina formada por la característica de la unión de dos piezas fundiéndose con el metal base para formar unión.⁷

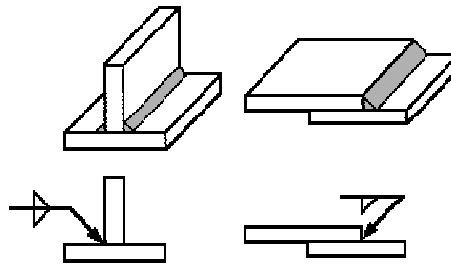


Figura N° 4: Soldadura de filete.⁸

En el proceso de soldadura de arco protegido se debe escoger el diámetro del electrodo a utilizar dependiendo de los espesores a conectar. En las tablas N°1 y N°2 se especifican el tamaño mínimo y tamaño máximo del diámetro de electrodo de soldadura a emplear.

TAMAÑO MINIMO DE SOLDADURA⁹

Espesor del material (mayor espesor)	Tamaño mínima de soldadura de filete.
$t \leq 1/4''$	1/8''
$1/4'' < t \leq 1/2''$	3/16''
$1/2 < t \leq 3/4''$	1/4''
$t < 3/4''$	5/16''

Tabla N° 1. Tabla de tamaño mínimo de soldadura.

⁷ Tomado de DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON LRFD, T. Seguí William

⁸ Gráficas extraídas de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

⁹ Tabla extraída de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

TAMAÑO MÁXIMO DE SOLDADURA¹⁰

Espesor del material	Tamaño Máximo de soldadura de filete
$t < 1/4''$	Igual espesor al material o pieza
$t \geq 1/4''$	$t - 1/16''$

Tabla Nº 2. Tabla de tamaño máximo de soldadura

Por su parte, la carga nominal que resiste el cordón de soldadura se determina con la siguiente ecuación:

$$\Phi P_n = \Phi F_w A_w \quad (Ec.1)$$

Donde:

$$\Phi = 0.75$$

$$F_w = 0.60 F_{exx} (1.0 + 0.5 \text{ Sen}^{1.5} \Theta)$$

Θ = Angulo entre el eje longitudinal del cordón de soldadura y la dirección de la fuerza.

A_w = Área de la garganta de la soldadura.

A_w = Garganta efectiva * longitud del cordón.

La cara perpendicular del triángulo es dibujada a la izquierda del símbolo, si las dos caras de la soldadura son las mismas, solo se da una medida.

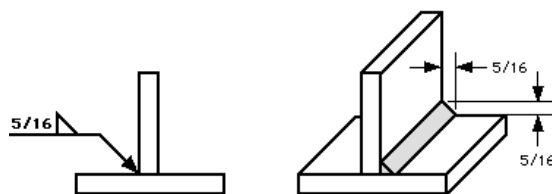


Figura Nº 5. Soldadura de filete (Caras iguales)¹¹

¹⁰ Tabla extraída de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

¹¹ Gráficas extraídas de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

Si la soldadura no tuviera las caras iguales (no es tan común) entonces las dimensiones son dadas.

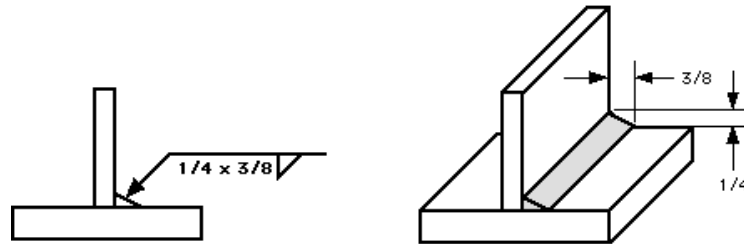


Figura Nº 6. Soldadura de filete (Caras desiguales)¹²

Para soldaduras interrumpidas, el largo de cada cordón de soldadura y los espacios, son indicados en el símbolo siendo separados por un guión y el largo del cordón de soldadura va seguido de la dimensión de centro a centro del espacio.

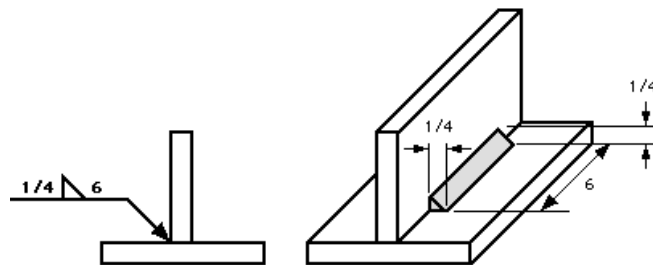


Figura Nº 7. Soldadura de filete (Longitud del Cordón)

2.4 ESTADO LIMITE DE FLUENCIA

¹² ¹² Gráficas extraídas de STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL

Es el encargado de evitar alargamiento excesivo del miembro. Ya que este factor puede reducir de manera significativa la función hábil del elemento. El estado límite de fluencia se debe chequear a lo largo de la sección.

En la NSR – 98 (F.2-14) se expresa la ecuación para calcular la carga por estado límite de fluencia para miembros a tensión ¹³

$$P_n = f_y A_g$$

(Ec.2)

Donde:

P_n = Carga nominal que puede soportar el miembro

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero y su valor es 248 MPa para acero A-36

A_g = Área total de la sección transversal del miembro

2.5 ESTADO LÍMITE DE FRACTURA

En el estado límite de fractura se determina la resistencia cuando se dá la falla a lo largo de los orificios del miembro, teniendo en cuenta que la falla se dá el área de la sección transversal es el área neta del miembro.

Según lo establecido en la NSR 98 (F.2 -14) la resistencia de diseño de un miembro a tensión por fractura se determinará así¹⁴:

$$P_n = f_u * A_e$$

(Ec.3)

Donde:

A_e = Área efectiva del miembro

F_u = Resistencia última del acero

P_n = Carga nominal o máxima que puede soportar el miembro

¹³ Tomado de NSR – 98 (F 2 – 13)

¹⁴ Tomado de NSR – 98 (F 2 – 14)

Para determinar el **Ae** se debe tener en cuenta, que el menor valor entre el área Neta (**An**) y (**0.85Ag**), escogiendo el menor de ellos para el diseño.

Calculamos el área neta de la siguiente manera:

$$\mathbf{An = Ag - Aagujeros} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

Aagujeros: Área de los agujeros o el equivalente a multiplicar el diámetros de agujero por el espesor del miembro

An: Área de la sección transversal del miembro

Ag: Área completa o total de la sección transversal del miembro

2.6 ESTADO LIMITE CORTANTE EN PERNO

Para comprender de forma más clara lo que ocurre en la conexión durante este tipo de falla se puede observar esta figura.¹⁵

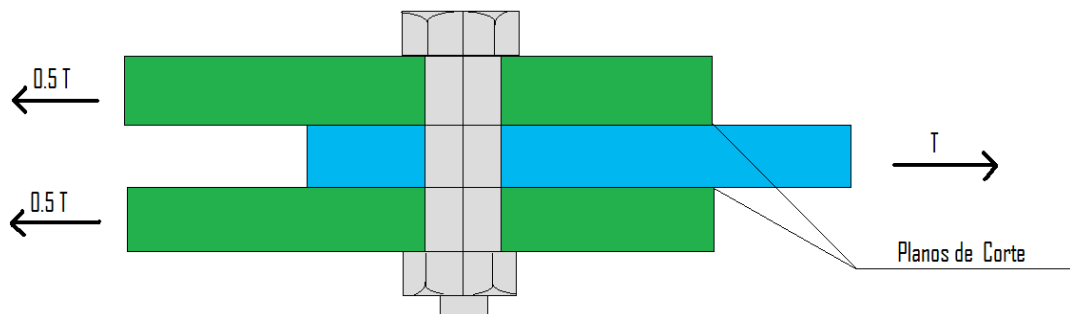


Figura Nº 8 Conexión tipo Aplastamiento y Cortante

Si la fuerza por cortante supera la fuerza por fricción, se produciría en deslizamiento que podría producir la falla del perno.

$$\mathbf{Fv = 0.6 Fu} \quad (\text{Ec.5})$$

¹⁵ Tomada de NSR – 98 (F 2.10.3.1)

F_u = Resistencia ultima del perno

F_v = Esfuerzo cortante del perno

En este caso se dan dos posibilidades.

- Que el plano de atravesase el perno
- Que el plano de corte NO atravesase el perno

En el caso de que el plano atravesase la resistencia se calcula de esta manera:

$$R = 0.6 F_u (0.8 A_b) \quad (Ec.6)$$

Donde:

A_b = Área transversal del perno

En el caso de que el plano NO atravesase el perno, la resistencia se calcula de esta manera:

$$R = 0.6 F_u A_b \quad (Ec.7)$$

Todos los pernos no están sometidos a la misma carga, por este motivo se realiza un promedio de distribución de carga, dando la resistencia promedio de los pernos un 80 % de la distribución de carga.

Para determinar este tipo de falla en los pernos se establece utilizar la siguiente expresión:

$$R_u = m A_b F_v \quad (Ec.8)$$

Donde:

m: números de planos presente en la unión (1 o 2)

De la anterior ecuación lo único a tener en cuenta es la variación en el **Fv** que se determina así:

Si atraviesa el perno

$$\mathbf{Fv = 0.4 Fu} \quad (\text{Ec.9})$$

Si no atraviesa el perno

$$\mathbf{Fv = 0.5 Fu} \quad (\text{Ec.10})$$

3. METODOLOGÍA

La metodología para desarrollar el presente trabajo se realizó en tres etapas.

3.1. PRIMERA ETAPA

Esta etapa consiste en la recolección de información sobre el tema y en el diseño de las diferentes probetas, platinas, pernos y cordones de soldadura a ensayar buscando que la falla ocurra en los cordones de soldadura.

Se ensayaron diferentes cordones de soldadura clasificándolos en 3 casos, según su longitud, estos son:

- 1) $1.5 w > L \geq w$
- 2) $2 w > L \geq 1.5 w$
- 3) $L \geq 2 w$

Teniendo en cuenta que

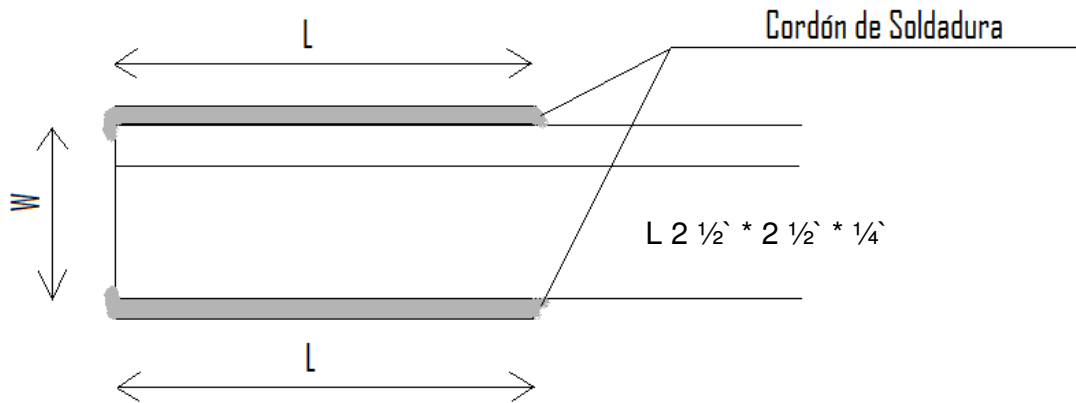


Figura N° 9. Relación de L y W en el perfil angular soldado.

W del ángulo utilizado = $(2\ 1/2'' * 2.54\text{cms}) = 6.35\text{cm} = 64\ \text{mm}$.

De este modo, los cordones de soldadura del primer caso $1.5\ w > L \geq w$ fueron:

L1 = 65 mm

L2 = 75 mm

L3 = 85 mm

Los cordones de soldadura del segundo caso $2\ w > L \geq 1.5\ w$ fueron:

L5 = 100 mm

L6 = 110 mm

L7 = 120 mm

Los cordones de soldadura del tercer caso $L \geq 2W$ fueron:

L7 = 130 mm

L8 = 140 mm

L9 = 150 mm

Se ensayaron 2 conexiones transversales cuya longitud será la de la sección transversal del ángulo, con uno y dos pases de cordones de soldadura respectivamente

L10 = 65 mm (Un pase de cordón de soldadura)

L11 = 65 mm (Dos pases de cordón de soldadura)

3.1.1 DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO A UTILIZAR

Para la ejecución de esta investigación se utilizará un perfil angular de $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$, puesto que ofrece la resistencia necesaria según las fuerzas de tensión a la que someterá dicha pieza, según los estados límites que se explican a continuación.

3.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS RESISTENCIAS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA

Se analizaron longitudes posibles con espesores de soldadura de $\frac{1}{8}$ " y $\frac{3}{32}$ " por ser comercialmente viables y ofrecer resistencias cercanas a las que se buscan con esta investigación. Después de un análisis y teniendo en cuenta que el diámetro $\frac{3}{32}$ " brinda una menor resistencia se ha decidido trabajar con este diámetro.

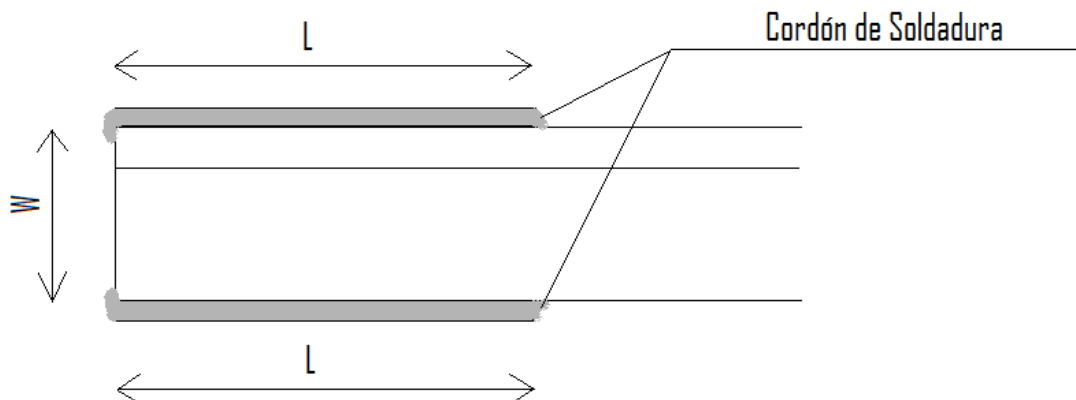


Figura N° 10. Longitud del cordón de soldadura

L = Longitud de Cordón de soldadura.

W= Longitud transversal del Angulo.

W del ángulo usado en esta investigación: 63.5 mm

$$P_n = F_w A_w \quad (Ec.11)$$

Donde:

P_n = Resistencia nominal del cordón de soldadura.

$F_w = 0.6 * F_{exx} (1.0 + 0.5 \text{sen}^{1.5} \Theta)$, $F_{exx} = 420$ MPa, para acero comercial A-36

A_w = Área de la garganta de soldadura.

A_w = espesor de la garganta efectiva * longitud del cordón de soldadura

Los resultados arrojados según los casos planteados fueron los siguientes:

1) $1.5 w > L \geq w$

$$P_n = 0.6 * 420 \times 10^3 * 0.707 * 4.1 * 65 * 2/100^3$$

$$P_n = 94.96 \text{ KN.}$$

2) $2 w > L \geq 1.5 w$

$$P_n = 0.6 * 420 \times 10^3 * 0.707 * 4.1 * 100 * 2/100^3$$

$$P_n = 146.09 \text{ KN.}$$

3) $L \geq 2 w$

$$P_n = 0.6 * 420 \times 10^3 * 0.707 * 4.1 * 130 * 2/100^3$$

$$P_n = 189.30 \text{ KN}$$

3.1.3 CONEXIÓN MORDAZA – PLATINA

La conexión entre la mordaza y la platina es pernada, debido a que las mordazas hacen parte del equipamiento del laboratorio, por lo tanto su conexión es a través de pernos para garantizar su reutilización.



Foto N° 1. Conexión Probeta - Platina

Las mordazas en sus extremos constan de dos hileras, cada una de estas cuentan con tres perforaciones para pernos de diámetro de $\frac{1}{2}$ ". Para la realización de las pruebas de laboratorio fue necesario anclar a la maquina universal las mordazas en la parte superior e inferior de la máquina.

3.1.3.1 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA

El valor de la resistencia por fluencia para efectos de esta investigación debe superar los 146,09 KN. que resistirá el cordón soldado de mayor longitud.

El estado límite de Fluencia se chequea mediante la siguiente expresión.

$$P_n = F_y A_g$$

Donde:

P_n = Resistencia nominal

F_v = Tensión de fluencia del acero

A_g = Área de la sección transversal del miembro

$$P_n = 248000 * 12 * 3/8 * 2.54/100^2$$

$$P_n = 283,46 \text{ KN} > 146,09 \text{ KN} \quad \underline{\text{ok}}$$

3.1.3.2 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FRACTURA

El valor de la resistencia por fractura para efectos de esta investigación debe superar los 146,09 KN. que resistirá el cordón soldado de mayor longitud.

Se tiene que:

$$\text{Area neta (A}_n\text{): } 12 - [(2 * (1/2 + 1/16) * 2.54) * (3/8 * 2.54)]$$

$$A_n: 8.71 \text{ cms}^2$$

$$\text{Área Total (A}_g\text{): } 3/8 * 12 * 2.54$$

$$A_g: 11.43 \text{ cms}^2$$

$$0.85A_g: 9.71 \text{ cms}^2$$

Luego el área efectiva será el menor valor entre el **A_n** y **0.85 A_g**

$$\text{Área efectiva (A}_e\text{): } 8.71 \text{ cms}^2$$

$$P_u = F_u A_e$$

Donde:

A_e = Área efectiva del miembro

F_u = Resistencia última del acero

$$P_n = 400000 * 8.71/100^2$$

$$P_n = 348,4 \text{ KN}$$

$$P_n = 348,4 \text{ KN} > 146,09 \text{ KN} \quad \underline{\text{ok}}$$

3.1.3.3 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE CORTANTE EN PERNO.

En esta investigación se busca que la falla se produzca en el cordón de soldadura, por lo menos en la teoría eso es lo que se busca.

De esta forma se debe diseñar un sistema en donde todas las fuerzas actuantes sean mayores a la resistencia que ofrecen los cordones de soldadura.

Luego la resistencia de la conexión pernada debe sobrepasar los 146,09 KN que resistirá el cordón soldado de mayor longitud.

La conexión entre la platina y la mordaza es pernada, esta conexión debe tener una resistencia que exceda ampliamente la resistencia del cordón de soldadura más largo para buscar que la falla precisamente se dé por la soldadura.

$$R_u = m A_b F_v$$

Donde:

m: número de planos presente en la unión (1 o 2), en este caso 2

Se sabe que el sistema de este proyecto contempla que la unión entre la platina y la mordaza sea doble, esto quiere decir que habrá en esta sección dos superficies de contacto por lo que “m” será igual a 2.

Para elevar la resistencia última del cortante en perno se trabaja con pernos A – 490 (grado 8).

$$R_u : 2 * 0.4 * 1035 \times 10^3 * 1.27 / 100^2 * 4$$

$$R_u : 420.6 \text{ KN.}$$

$$R_u = 420.6 \text{ KN} > 146,09 \text{ KN} \quad \underline{\text{ok}}$$

3.1.4 CONEXIÓN PLATINA – ÁNGULO

La conexión entre la platina y el ángulo en la parte superior se contempla pernada y en la inferior es soldada, la idea básicamente es que la unión pernada resista ampliamente más que la parte soldada y que la falla se produzca por el cordón de soldadura, este el motivo por el cual el diseño de la conexión.

La sección soldada que se presenta en la parte inferior varía la longitud de los cordones de soldadura a medida que vayan transcurriendo los ensayos de falla.

A continuación se presenta la conexión Platina – Ángulo.



Foto N° 2. Conexión Platina – Ángulo

3.1.4.1 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA

El valor de la resistencia por fluencia para efectos de esta investigación debe superar los 146,9 KN que resistirá el cordón soldado de mayor longitud.

$$P_n = F_y A_g$$

Donde:

P_n = Resistencia nominal

F_y = tensión de fluencia del acero

A_g = área de la sección transversal del miembro

$$P_n : 248000 * 7.67/100^2$$

$$P_n : 190,2 \text{ KN} > 146,09 \text{ KN}$$

3.1.4.2 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FRACTURA

El valor de la resistencia por fractura para efectos de esta investigación debe superar los 146,9 KN que resistirá el cordón soldado de mayor longitud. Y precisamente se desea que falle la conexión soldada.

Para el chequeo del estado límite de fractura en el ángulo.

Se tiene que:

$$A_n : 7.67 - [(1 * (1/2 + 1/16) * 2.54) * (1/4 * 2.54)]$$

$$A_n : 6.76 \text{ cm}^2$$

$$U : 1 - x/L$$

$$X : 1.82$$

$$L : 7 \text{ cms}$$

$$U : 0.74$$

$$A_e = U A_n$$

$$A_e = 5.00 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 400000 * 5.00/100^2$$

$$P_n = 200 \text{ KN} > 146,9 \text{ KN} \quad \underline{\text{ok}}$$

3.1.4.3 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE CORTANTE EN PERNO

Ya que se busca que la falla se produzca en el cordón de soldadura, se debe garantizar que los pernos resistan la tensión necesaria.

De esta forma se obliga a diseñar un sistema en donde todas las fuerzas actuantes sean mayores a la resistencia que ofrecen los cordones de soldadura. Luego la resistencia de la conexión pernada debe sobrepasar los 110.3 KN que resistirá el cordón soldado de mayor longitud.

La conexión entre la platina y el ángulo en la parte superior es pernada, esta conexión debe tener una resistencia que exceda ampliamente la resistencia del cordón de soldadura más largo para buscar que la falla precisamente se dé por la soldadura, en la parte inferior.

Se sabe que el sistema de este proyecto contempla que la unión entre la platina y el ángulo es sencilla, esto quiere decir que habrá en esta sección una superficie de contacto por lo que "m" será igual a 1.

Para elevar la resistencia última del cortante en perno se trabaja con pernos A – 490 (grado 8).

$$R_u = m A_b F_v$$

$$R_u = 0.4 * 1035 \times 10^3 * 1.27/100^2 * 3$$

$$R_u = 157.7 \text{ KN} > 146,9 \text{ KN} \quad \underline{\text{ok}}$$

A manera de resumen se tabulan los resultados teóricos obtenidos en el diseño de la probeta teniendo en cuenta todos los estados límites.

Estado Límite\Conexión	Pn (KN)	
	Mordaza – Platina	Platina – Ángulo
Fluencia	283,46	190,2
Fractura	348,4	200
Cortante en Perno	420.6	157.7
Cordón de soldadura	No aplica	146,9

Tabla N°3. Resumen chequeos de resistencia

3.2 SEGUNDA ETAPA

Básicamente el proyecto en ésta etapa se dedica a la fabricación de las diferentes piezas metálicas diseñadas en la primera etapa, al montaje del sistema como tal y a la realización de los ensayos de falla, los cuales se llevan a cabo en la maquina universal del laboratorio de Materiales y Estructuras del bloque I de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

En esta etapa se hace uso de servicios a los que tienen acceso los estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana, para los procesos de corte de las platinas, soldadura de los perfiles angulares con las platinas, ensamblaje del sistema, montura del mismo y falla de las probetas diseñadas.

3.2.1 PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA.

El sistema se planteó de la siguiente manera.

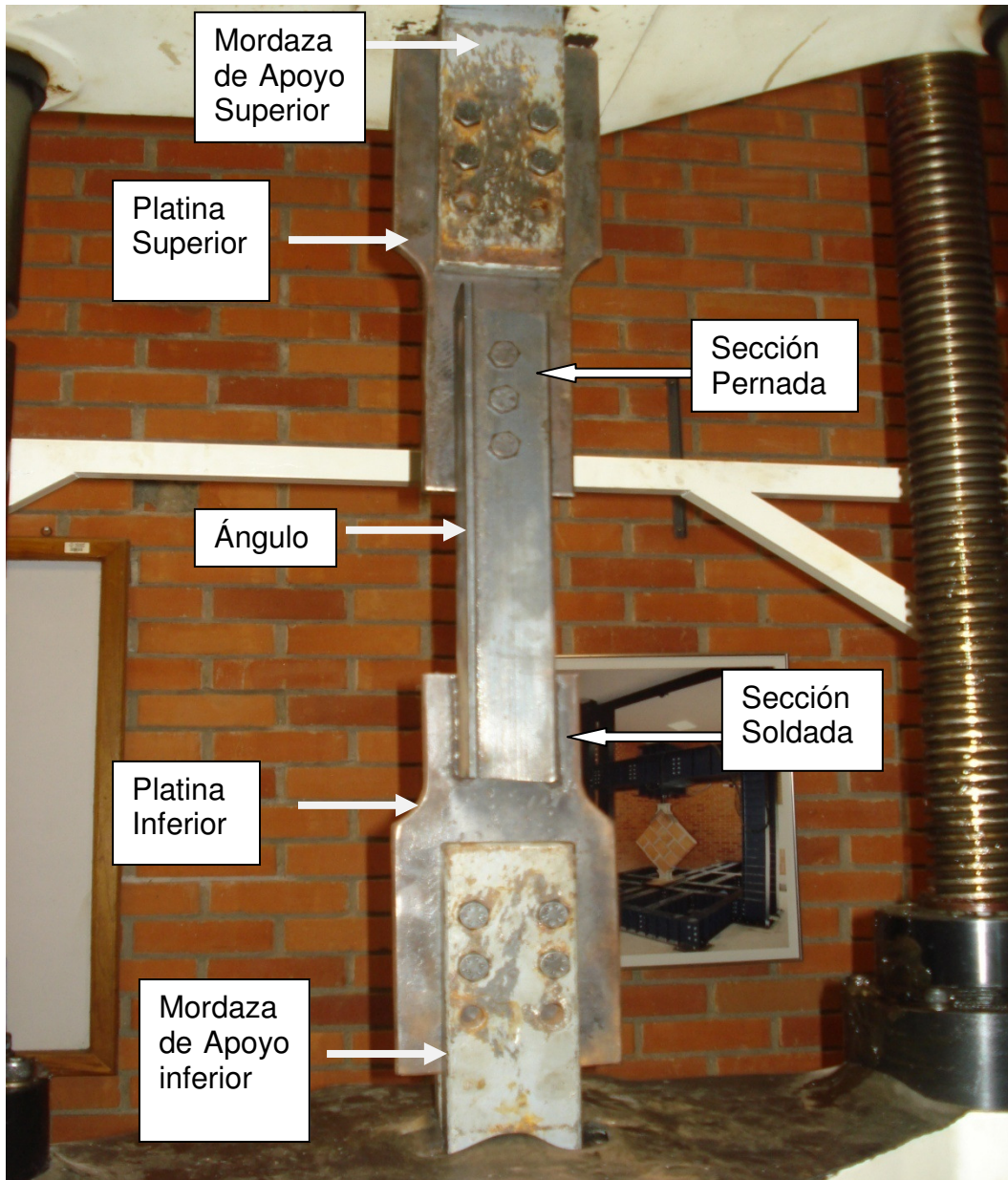


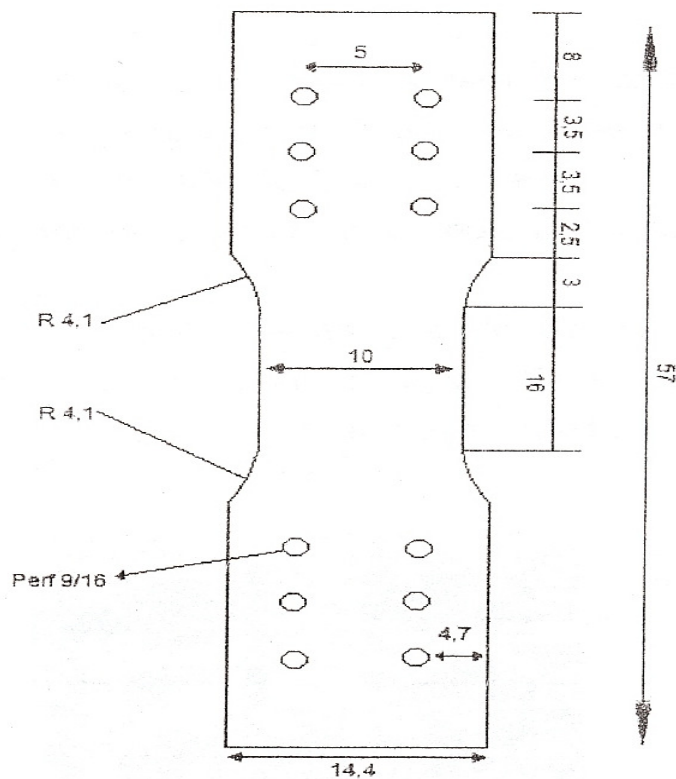
Foto N°3. Planteamiento del sistema

3.2.2 PROCESO DE FABRICACIÓN

Para llevar a cabo este proyecto es necesario utilizar 5 platinas y 4 mordazas metálicas las cuales fueron diseñadas, construidas e implementadas en la ejecución de un trabajo de investigación realizado previamente.

Además de esto, para la ejecución de este proyecto utilizamos un perfil angular de acero de dimensiones $2\frac{1}{2}'' \times 2\frac{1}{2}'' \times \frac{1}{4}''$ y cordón de soldadura 6011 de diámetro $\frac{3}{32}''$.

Las dimensiones de las placas son las siguientes:



Medidas expresadas en cms

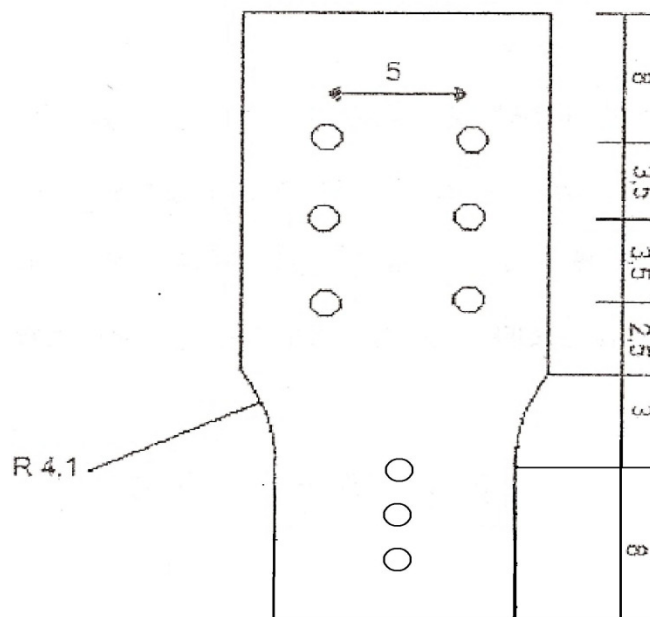
Figura Nº 11. Geometría de la platina originalmente

Se procede a hacer un corte transversal en la mitad de la placa, quedando como resultado 10 nuevas placas con un largo de 28.5 cm.



Foto N° 4. Corte de las platinas metálicas

Luego del corte la pieza metálica superior queda como se ilustra a continuación



Medidas expresadas en cms

Figura N° 12. Geometría de platina parte superior después de corte.

Al tener las platinas a la medida deseada se procede a hacer la unión de cada una de ellas con el perfil angular por medio de cordones de soldadura de diferente longitud.



Foto N° 5. Proceso de soldadura de platinas con perfiles angulares

Después de ser soldada la platina con el ángulo la pieza metálica inferior queda como se ilustra a continuación.

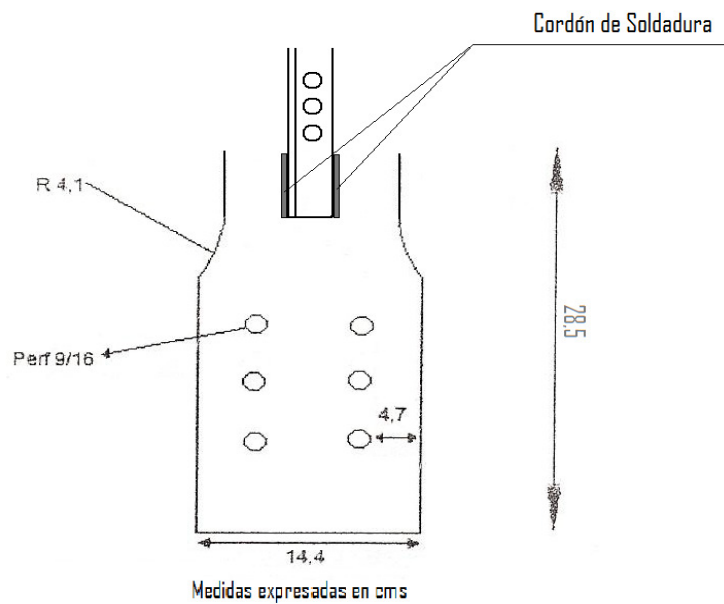


Figura N° 13. Geometría de platina parte inferior después de soldada.

3.2.3 PROCESO DE MONTAJE DEL SISTEMA

Para el montaje del sistema como tal, se requiere los siguientes equipos: La maquina universal, probetas o mordazas, placas, pernos y los perfiles angulares.



Foto N° 6. Máquina Universal de la Universidad Pontificia Bolivariana



Foto N° 7. Mordazas utilizadas



Foto N° 8. Juego de platina, mordaza y pernos utilizados



Foto N° 9. Perfil angular

Se introducen las probetas en la máquina universal protegidas por unos pequeños rectángulos metálicos en lamina de 1/2" (panelitas) tanto en la parte superior como inferior para no causar daños a la máquina debido a la tensión efectuada por esta.

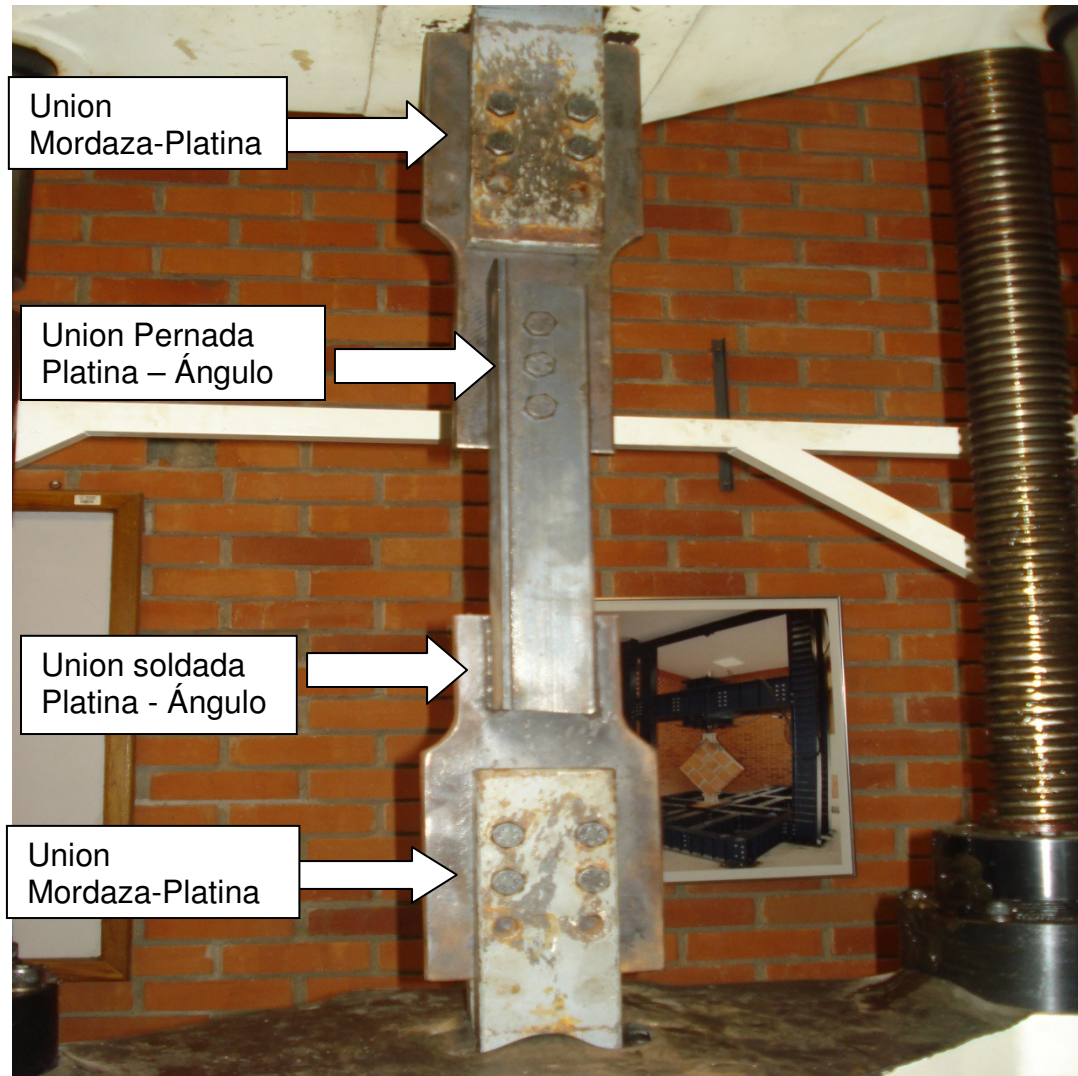


Foto N° 10. Montaje del sistema en la máquina universal

Cuando se instalan las mordazas y se aseguran, se procede a unir las con las platinas, por medio de un juego de cuatro pernos de $\frac{1}{2}$ " de diámetro, (grado 8) de alta resistencia tanto en la parte superior como en la inferior.

La unión entre la platina y el ángulo en la parte superior se hace por medio de un juego de 3 pernos de diámetro de $\frac{1}{2}$ ", (grado 8) de alta resistencia y en la parte inferior la unión se da mediante cordones de soldadura.

De esta forma cuando el montaje está asegurado, se aplica la tensión por medio de la máquina universal, hasta llevar a la falla por parte del cordón de soldadura, obteniendo el valor de la carga nominal y el gráfico de la carga aplicada vs longitud del cordón de soldadura.

3.3 TERCERA ETAPA

En esta última etapa se analizan, tabulan y grafican los resultados obtenidos en el laboratorio con el fin de procesarlos y confrontarlos con respecto a los valores teóricos, y de ésta manera poder plasmar las conclusiones sobre las conexiones de perfiles angulares con soldadura de filete utilizando electrodos 6011 y diámetro 3/32" ensayados en este trabajo.

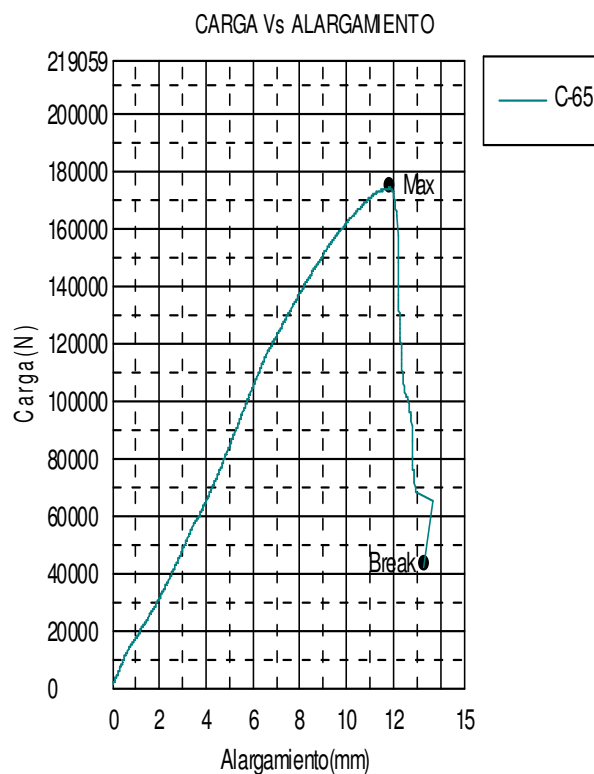
Es una etapa de análisis y estudio de los comportamientos observados, se busca descifrar las tendencias de falla sucedidas en las pruebas y corroborar en el caso de que coincidan con lo que se espera ó sugerir cambios en la forma de calcular estos comportamientos, en el caso de que no concuerden con los experimentales.

3.3.1 RESULTADOS OBTENIDOS

Después de realizar los ensayos de falla de cada una de las uniones en la Maquina universal, los resultados obtenidos se presentan a continuación.

3.3.1.1 CORDÓN DE SOLDADURA DE 65 mm DE LONGITUD

Para la muestra unida por medio del cordón de soldadura de 65 mm de longitud este fue su comportamiento.



Gráfica N° 1. Gráfica de comportamiento de falla, ct-65

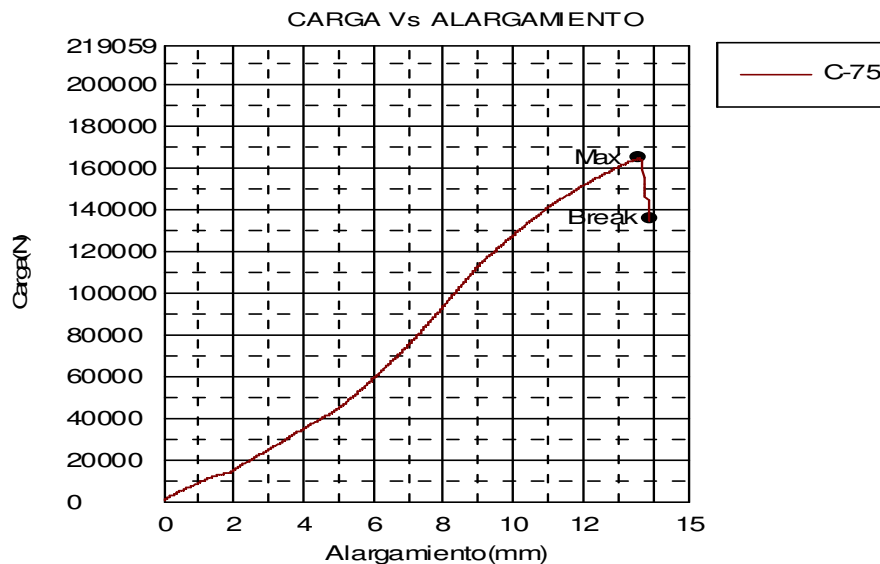


Foto N° 11. Ruptura de ct -65

La falla se produjo por el cordón de soldadura, cuando la maquina universal aplicaba una fuerza de tensión de 175,16 KN. El primer cordón en el que se produce la falla fue el cordón que une la platina con el borde del perfil angular que no tiene la aleta (borde libre).

3.3.1.2 FALLA POR CORTANTE EN PERNO

Para la muestra unida por medio del cordón de soldadura de 75 mm de longitud surge un comportamiento que no se esperaba, debido a que los cordones de soldadura resistieron mucho más de lo que se tenía previsto, la falla en la unión de la piezas se produjo por el estado límite de cortante en perno, cuando se ejercía una fuerza de tensión de 165,14 KN, precisamente la fuerza de tensión que se tenía prevista para este estado límite fue de 157,7 KN. Lo que nos confirma que la resistencia del estado límite de cortante en perno que obtuvimos mediante cálculos teóricos y la arrojada en el laboratorio tiene gran similitud. La gráfica que se obtuvo de la falla fue la siguiente.



Gráfica N° 2. Gráfica de falla por cortante en perno

Por cuenta de este suceso, se obliga a replantear las resistencias de todos los estados límites que intervienen en el proceso para buscar precisamente que la falla se produzca por el cordón de soldadura, sabiendo ahora que este valor será mucho más alto que el obtenido mediante los cálculos teóricos.

Por dicho motivo, y después de calcular nuevamente los estados límites, se decide que la unión pernada Placa – Ángulo no tendrá 3 pernos sino 4 y se aumenta el diámetro del perno de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{3}{4}$ ", elevando la resistencia por dicho estado límite de 157,7 KN. a 471,96 KN. Este valor no se considera exagerado ya que aún falta por ensayar los cordones de soldadura más largos.

Para dicho proceso se debió aumentar el diámetro de las perforaciones tanto en los ángulos restantes como en la placa que los recibirá.



Foto N° 12. Proceso de aumento de diámetro de perforaciones

La unión Platina –Ángulo, ahora y debido a lo sucedido, pasa de tener 3 perforaciones a tener 4.

A continuación se muestran los cambios en la platina.

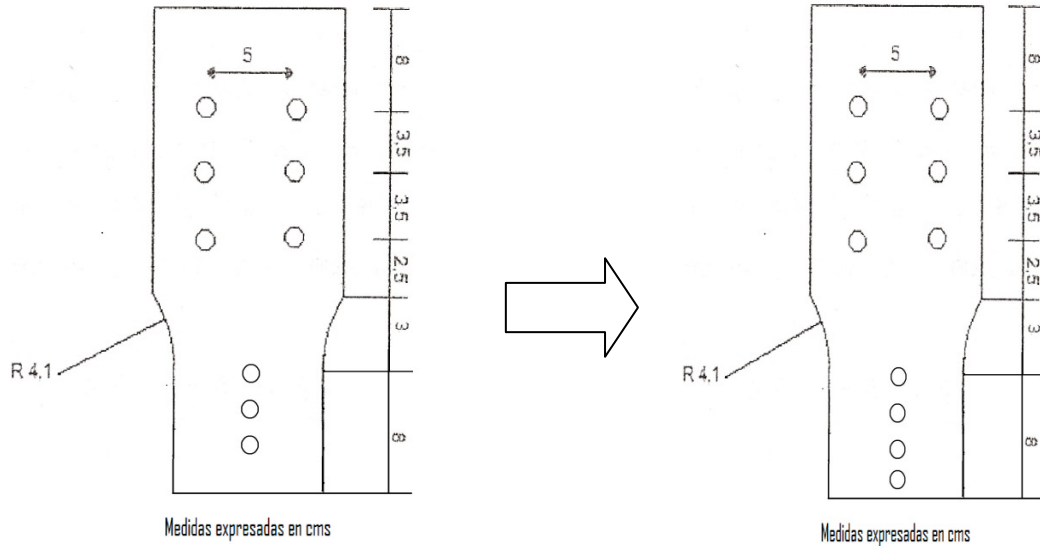


Figura N° 14. Cambios en la geometría de platina parte superior

El mismo cambio ocurre en el perfil soldado.

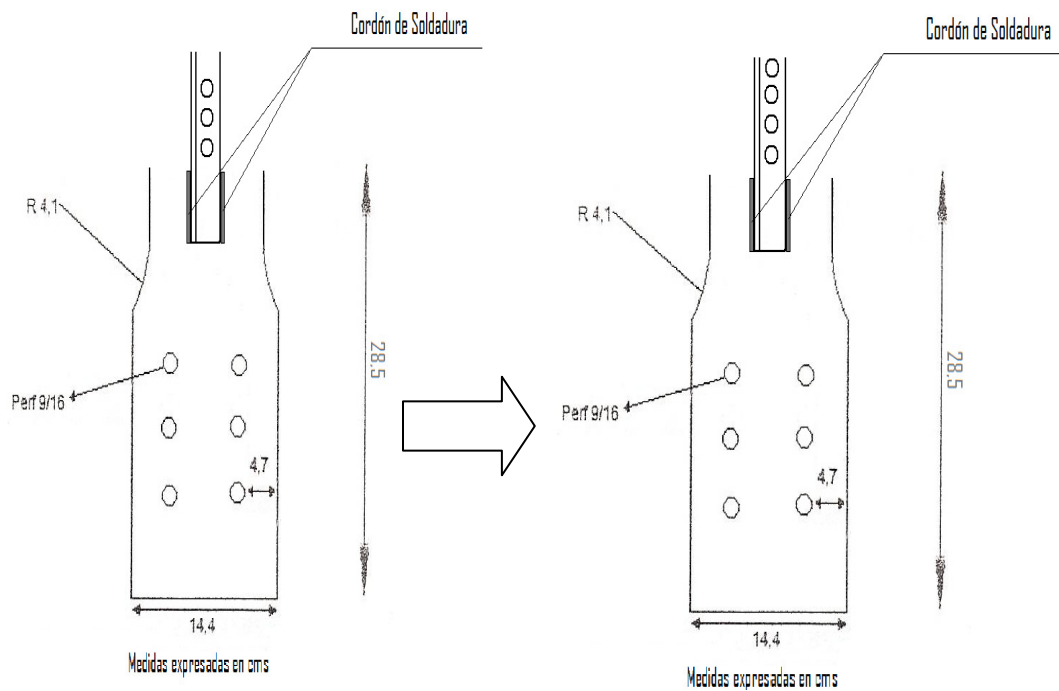
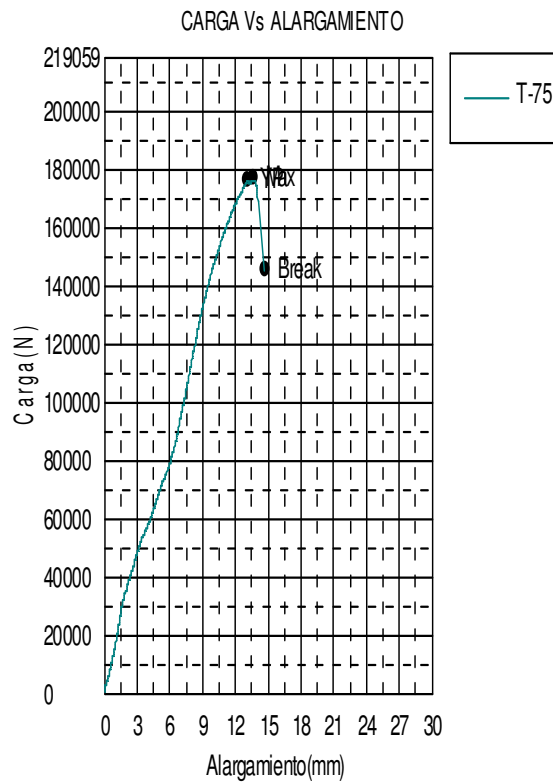


Figura N° 15. Cambios en la geometría de perfil angular

3.3.1.3 CORDÓN DE SOLDADURA DE 75 mm DE LONGITUD

Para la muestra unida por medio del cordón de soldadura de 75 mm de longitud este fue su comportamiento.



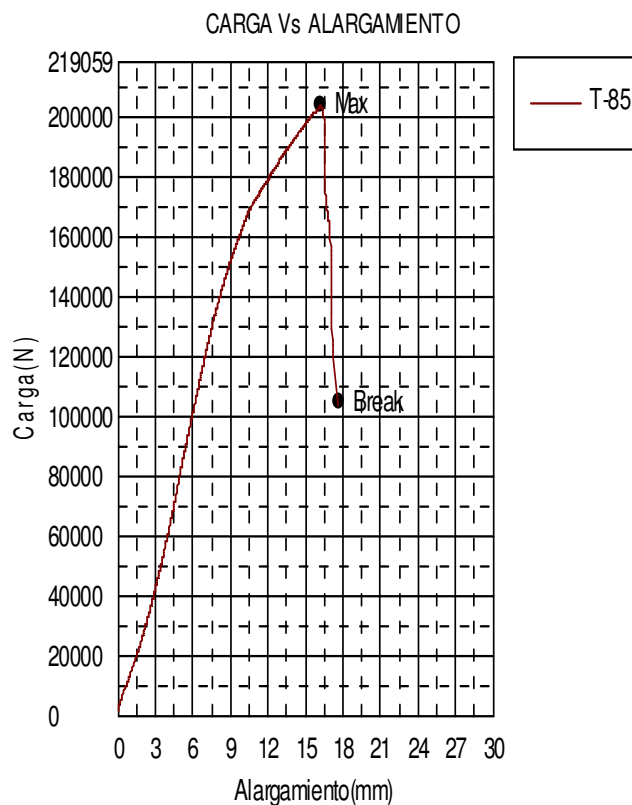
Gráfica N° 3. Gráfica de comportamiento de falla, ct-75

Foto N° 13. Ruptura de ct-75

La falla se produjo por el cordón de soldadura, cuando la máquina universal aplicaba una fuerza de tensión de 177,31 KN. El primer cordón en el que se produce la falla fue el cordón que une la platina con el borde del perfil angular que no tiene la aleta (borde libre).

3.3.1.4 CORDÓN DE SOLDADURA DE 85 mm DE LONGITUD

Para la muestra unida por medio del cordón de soldadura de 85 mm de longitud este fue su comportamiento.



Gráfica N° 4. Gráfica de comportamiento de falla, ct-85

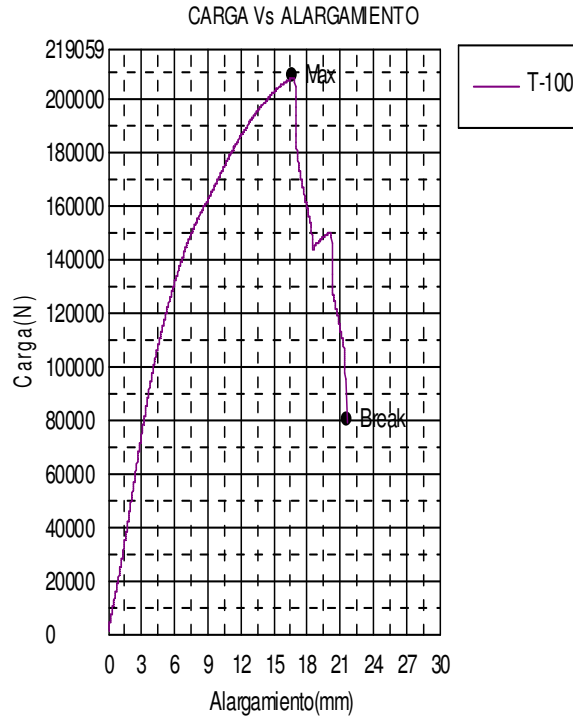


Foto N° 14. Ruptura de ct-85

La falla se produjo por el cordón de soldadura, cuando la máquina universal aplicaba una fuerza de tensión de 204,74 kN. El primer cordón en el que se produce la falla fue el cordón que une la platina con el borde del perfil angular que no tiene la aleta (borde libre).

3.3.1.5 CORDÓN DE SOLDADURA DE 100 mm DE LONGITUD

Para la muestra unida por medio del cordón de soldadura de 100 mm de longitud este fue su comportamiento.



Gráfica N° 5. Gráfica de comportamiento de falla, ct-100



Foto N° 15. Ruptura de ct-100

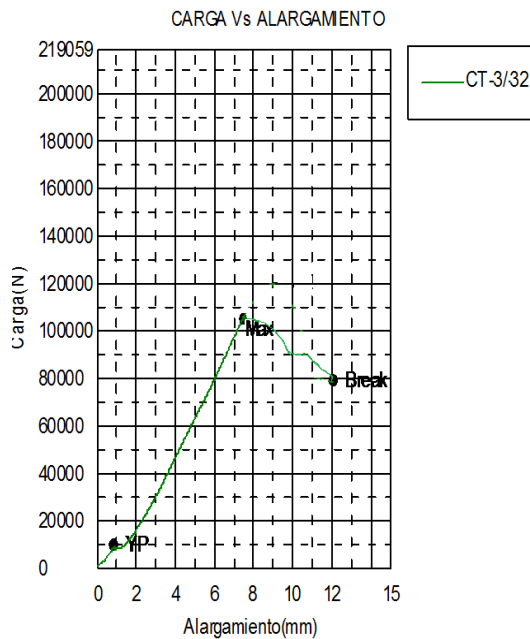
La falla se produjo por el estado límite de fractura en el ángulo, cuando la máquina universal aplicaba una fuerza de tensión de 208,78 kN.

Nuevamente la falla se producía por un estado límite que no era el cordón de soldadura, en este caso falló el ángulo por el estado límite de Fractura, estaba previsto mediante cálculos previos que la resistencia por este estado límite sería de 208,6 kN y se produjo la falla precisamente cuando la máquina universal ejercía una fuerza de tensión de 208,78 kN, lo que corrobora lo acertado que es la ecuación con la que se determina este estado límite.

Debido a que el ángulo utilizado falla por el estado límite de fractura cuando se le aplica una fuerza de tensión de 208,6 KN, se hace imposible continuar con las prácticas de falla para los cordones de 110 mm, 120mm, 130mm, 140mm y 150mm, pues seguramente fallarían por el estado límite de fractura tal como sucedió con el ángulo de 100 mm, por tal motivo se procede a continuar con las prácticas de falla de cordones transversales de uno y dos pases de soldadura.

3.3.1.6 CORDÓN DE UN PASE DE SOLDADURA DE 63.5 mm DE LONGITUD (TRANSVERSAL)

Para la muestra unida por medio del cordón sencillo de soldadura de 63.5 mm de longitud este fue su comportamiento.



Gráfica N° 6. Gráfica de comportamiento de falla, ct-3/32

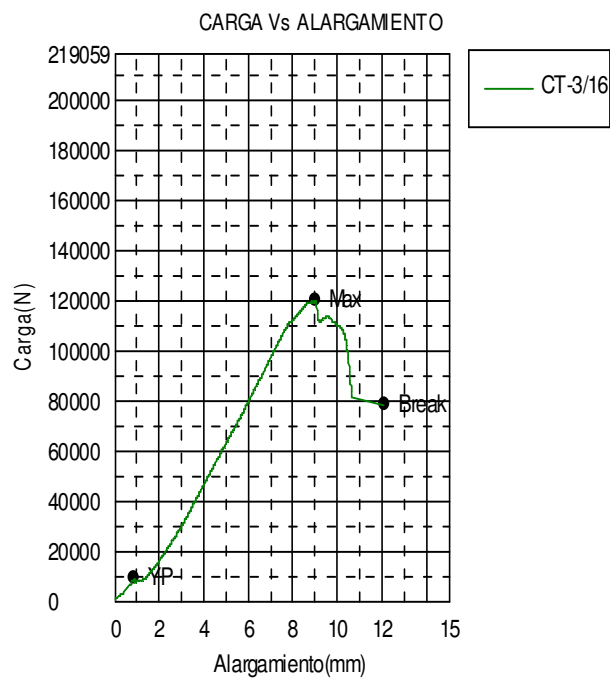


Foto N° 16. Ruptura de ct-3/32

La falla se produjo por el cordón de soldadura, cuando la maquina universal aplicaba una fuerza de tensión de 104,48KN.

3.3.1.7 CORDÓN DE DOS PASES DE SOLDADURA DE 63.5 mm DE LONGITUD (TRANSVERSAL)

Para la muestra unida por medio del cordón doble de soldadura de 63.5 mm de longitud este fue su comportamiento.



Gráfica N° 7. Gráfica de comportamiento de falla, ct-3/16



Foto N° 17. Ruptura de ct-3/16

La falla se produjo por el cordón de soldadura, cuando la maquina universal aplicaba una fuerza de tensión de 120,42 KN.

3.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se analizan los diferentes resultados obtenidos en las prácticas, con el fin de llegar a determinar una tendencia en el comportamiento de falla.

3.3.2.1 COMPARACIÓN ENTRE EL PN TEÓRICO Y EL PN REAL

Un claro objetivo de esta investigación fue llegar a comparar el Pn teórico con el experimental, de este modo saber si los resultados obtenidos en el laboratorio son similares a los que se obtiene a través de la teoría.

3.3.2.1.1 CORDÓN LONGITUDINAL DE 65 mm

Tipo de falla = Cordón de soldadura

Pn Teórico (0,707)

$$0.6 * 420 \times 10^3 * 0.707 * 4.1 * 65 * 2 / 100^3 = 94,96 \text{ KN.}$$

Pn Teórico

$$0.6 * 420 \times 10^3 * 1 * 4.1 * 65 * 2 / 100^3 = 134.31 \text{ KN.}$$

Pu Real = 175,16 KN.

% de Error (Pn teórico- Resistencia Real)/Pn teórico = 30.4%

3.3.2.1.2 CORDÓN LONGITUDINAL DE 75 mm

Tipo de falla = Cordón de soldadura

Pn Teórico (0,707)

$$0.6 * 420 \times 10^3 * 0.707 * 4.1 * 75 * 2 / 100^3 = 109.51 \text{ KN.}$$

Pn Teórico

$$0.6 * 420 \times 10^3 * 1 * 4.1 * 75 * 2 / 100^3 = 154.98 \text{ KN.}$$

Pu Real = 177,31 KN.

% de Error (Pn teórico- Resistencia Real)/Pn teórico = 14.4%

3.3.2.1.3 CORDÓN LONGITUDINAL DE 85 mm

Tipo de falla = Cordón de soldadura

Pn Teórico (0,707)

$$0.6 * 420 \times 10^3 * 0.707 * 4.1 * 85 * 2 / 100^3 = 124.18 \text{ KN.}$$

Pn Teórico

$$0.6 * 420 \times 10^3 * 1 * 4.1 * 85 * 2 / 100^3 = 175.64 \text{ KN.}$$

Pu Real = 204,74 Kn

% de Error (Pn teórico- Resistencia Real)/Pn teórico) = 16.56%

3.3.2.1.4 CORDÓN LONGITUDINAL DE 100 mm

Tipo de falla = Estado limite de Fractura en el Ángulo

Pn Teórico por estado limite de fractura en ángulo = 208,6 KN.

Pu Real = 208,78 KN.

% de Error = 0,1 %

3.3.2.1.5 CORDÓN TRANSVERSAL SENCILLO DE 63.5 mm

Tipo de falla = Cordón de soldadura

Pn Teórico (0,707)

$$0.6 * 420 \times 10^3 * (1 + 0.5 \text{ Sen}^{1.5} 90) * 0.707 * 3.6 * 63.5 * 2 / 100^3 = 57.94 \text{ KN.}$$

Pn Teórico

$$0.6 * 420 \times 10^3 * (1 + 0.5 \text{ Sen}^{1.5} 90) * 1 * 3.6 * 63.5 * 2 / 100^3 = 81.95 \text{ KN.}$$

Pu Real = 104,48 KN.

% de Error (Pn teórico- Resistencia Real)/Pn teórico) = 27.4%

3.3.2.1.6 CORDÓN TRANSVERSAL DOBLE DE 63.5 mm

Tipo de falla = Cordón de soldadura

Pn Teórico (0,707)

$$0.6 * 420 \times 10^3 * (1 + 0.5 \text{ Sen}^{1.5} 90) * 0.707 * 4.4 * 63.5 * 2 / 100^3 = 70.81 \text{ KN.}$$

Pn Teórico

$$0.6 * 420 \times 10^3 * (1 + 0.5 \text{ Sen}^{1.5} 90) * 1 * 4.4 * 63.5 * 2 / 100^3 = 100.18 \text{ KN.}$$

Pu Real = 120,42 KN.

% de Error (Pn teórico- Resistencia Real)/Pn teórico) = 20.26%

Longitud del cordón de soldadura	Tipo de falla	Pn teórico (KN) 0.707*esp	Pn teórico (KN) 1*esp	Pu Real (KN)	% error
65 mm	Cordón de soldadura	94.96	134.31	175,16	30.4
75 mm	Cortante en perno	157,7		165,14	4,72
75 mm	Cordón de soldadura	109.51	154.98	177,31	14.4
85 mm	Cordón de soldadura	124.18	175.64	204,74	16.56
100mm	Fractura en el ángulo	208.6		208,78	0,1
100mm	Cordón de soldadura	146.09	206.64	208,78	
63.5 mm (sencillo)	Cordón de soldadura	57.94	81.95	104,48	27.4
63.5 mm (doble)	Cordón de soldadura	70.81	100.18	120,42	20.26

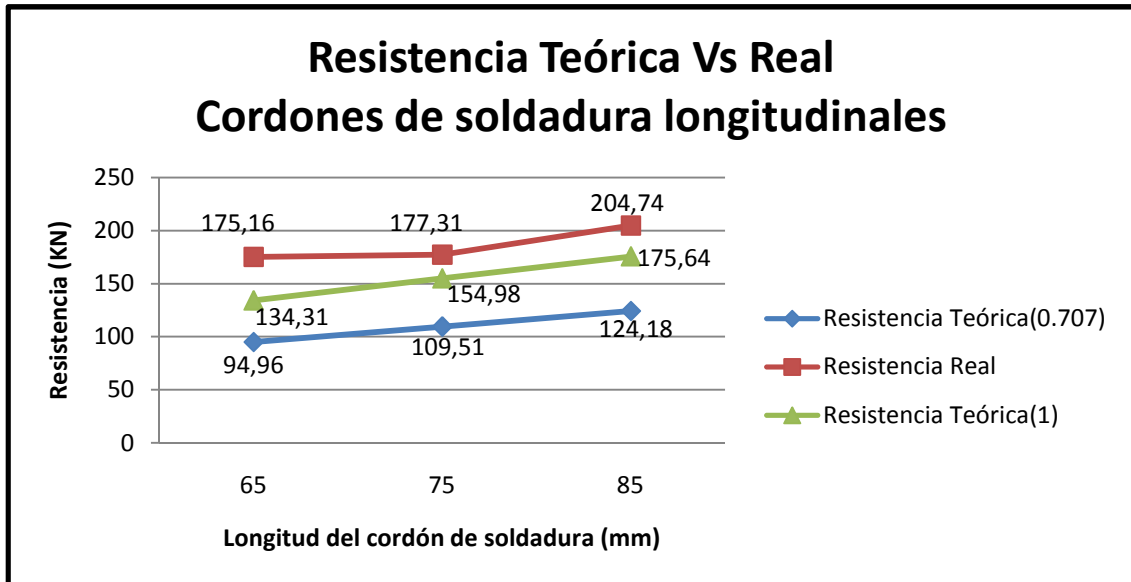
Tabla Nº 4. Tabla de comparación de resultados

Es conveniente saber que en la práctica, los cordones de soldadura más utilizados son precisamente los que están en el caso donde $w \leq L \leq 1.5w$, afortunadamente este fue este el caso que se alcanzó a fallar completamente todas las probetas, gracias a que las resistencias de los cordones de soldadura en la práctica se mantuvieron en un margen inferior a la de los demás estados límites, tales como: fluencia, fractura y cortante en perno.

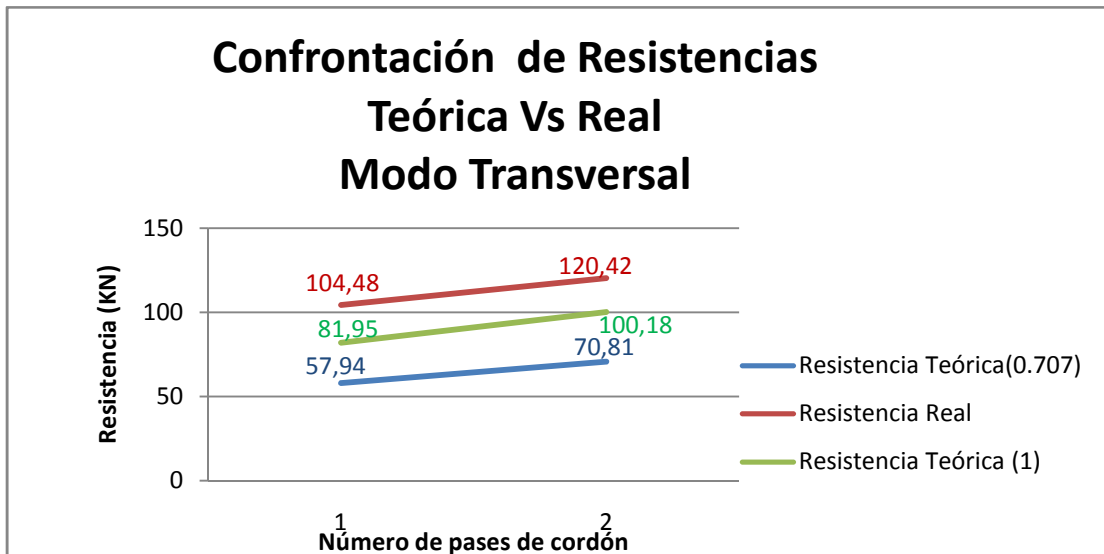
Por otra parte, llama mucho la atención la precisión que se presenta en la confrontación de los resultados teóricos y experimentales de los estados límites de Fractura y de Cortante en perno, esto confirma que las fórmulas utilizadas para hallar estas resistencias teóricas, describen bien este comportamiento y tienen mucha confiabilidad.

3.3.3 ANÁLISIS GENERAL Y PROPUESTAS

Al graficar los resultados obtenidos se obtiene lo siguiente:



Gráfica N° 8. Gráfica de confrontación de resistencias Teórica Vs Real, cordones longitudinales



Gráfica N° 9. Gráfica de confrontación de resistencias Teórica Vs Real, cordones transversales

Se observa gráficamente que el valor de las resistencias calculadas teóricamente se acerca al comportamiento que tiene el cordón de soldadura en la realidad, lo que nos confirma la confianza en la forma de obtener dicho valor teórico.

3.3.3.1 CORDONES LONGITUDINALES

A continuación se ilustran fotos indicando la dimensión aproximada de la garganta del cordón de soldadura de las muestras ensayadas.



Foto N° 18. Garganta de soldadura



Foto N° 19. Garganta de soldadura

Después de medir los valores representativos de las gargantas de cada uno de los cordones de soldadura, se ha sacado un promedio de todos los valores obtenidos.

Medida No.	65 mm (mm)	75mm (mm)	85mm (mm)
m1	4	3	3
m2	3	5	4
m3	4	4	5
m4	5	5	4
m5	4	4	5

Tabla N° 5. Diámetros presentados en los cordones de soldadura longitudinales.

Se obtiene un promedio de cada una.

m.prom	4.1	4.2	4.2
--------	------------	------------	------------

Promediando nuevamente se obtiene 4,16 mm como ancho general de las gargantas de soldadura.

Claramente queda demostrado que difícilmente se puede garantizar que el espesor del filete diseñado se lleve a la realidad sin sufrir cambios, lo que varía la resistencia del cordón de soldadura, ya que este espesor incide directamente en dicha resistencia.

Se puede pensar que en el momento de la soldadura, el material puede sufrir una variación por factores tales como, la velocidad con la que el soldador haga el pase de soldadura, la calibración y constancia en el amperaje del transformador utilizado en el proceso de soldadura, y la calidad de la varilla de soldadura.

3.3.3.2 CORDONES TRANSVERSALES

Datos de medición de gargantas de cordones de soldadura transversal

Medida No.	63,5(mm) SENCILLO	63,5 (mm) DOBLE
m1	3	5
m2	3	5
m3	5	4
m4	3	5
m5	4	3

Tabla Nº 6. Medidas de las gargantas de soldadura de los cordones transversales

Al promediar se obtiene:

m. promedio	3,6	4.4
-------------	------------	------------

Nuevamente obtenemos diferencias en las medidas obtenidas experimentalmente y las que se esperaban, se corrobora que difícilmente se puede garantizar que el espesor del filete diseñado se lleve a la realidad sin sufrir cambios, lo que varía la resistencia del cordón de soldadura ya que este espesor incide directamente en dicha resistencia.

Cabe resaltar que los diseños se realizaron sin tomar el factor de seguridad (Φ), teniendo en cuenta que estos resultados se comparan con los resultados obtenidos experimentalmente.

4. CONCLUSIONES

- Después de realizar las pruebas se puede concluir que la ecuación con la que se determina la resistencia del cordón de soldadura, tiene un comportamiento favorable y cercano al real.
- Se concluye que resulta difícil garantizar que el espesor del filete diseñado se lleve a la realidad sin sufrir cambios, lo que varía la resistencia del cordón de soldadura, ya que este espesor incide directamente en dicha resistencia.
- El éxito para que las medidas diseñadas de los espesores de los filetes se puedan llevar a la realidad dependen de factores tales como: La habilidad y experiencia del soldador, la calidad de los equipos utilizados para el proceso de soldadura tales como el transformador, la velocidad con la que el soldador efectúe el pase de soldadura.
- Se concluyó que el método de unión de dos piezas metálicas mediante soldadura de filete es un procedimiento seguro teniendo en cuenta que el operario no ha sido homologado recientemente.
- En los estados límites de cortante en perno y fractura en ángulo, los resultados obtenidos son muy cercanos a los esperados mediante cálculos teóricos, lo que demuestra experimentalmente que las resistencias obtenidas teóricamente tienen alto grado de confiabilidad.

- Además de la longitud, la resistencia del cordón de soldadura puede variar dependiendo de factores tales como el diámetro de la varilla de soldadura, la presencia de humedad en la varilla, el transformador con el cual se realiza el proceso de soldadura, la superficie sobre la cual se aplica el cordón y la presencia o ausencia de humedad en el cordón de soldadura, si se llegara a presentar humedad en la varilla de soldadura al momento de hacer la fundición, esto generaría poros o vacíos en el cordón, lo que disminuiría la resistencia final.
- Mientras la falla se produjo por el cordón de soldadura, ésta siempre se originó por el borde del perfil angular donde no tiene la aleta (Borde libre), lo que confirma la excentricidad entre de la línea de acción de la fuerza y el eje centroidal del perfil angular.
- A pesar que no se pudo llevar a cabo la totalidad de las pruebas que estaban programadas, se puede afirmar que se cumplió satisfactoriamente con el propio del trabajo de investigación en confrontar los resultados teóricos con los obtenidos de forma experimental.
- Con base a la experiencia obtenida mediante este trabajo, se concluye que para poder experimentar a la falla cordones de soldadura de longitudes mayores a 100 mm, es necesario trabajar con un perfil angular de mayor área o con uniones Platina – Platina directamente, teniendo en cuenta que el espesor de las platinas debe ser considerable.

RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia realizar nuevos proyectos de investigación de la resistencia de cordones de soldadura de filete procurando hacer pruebas de falla al mayor número de piezas posibles, variando factores como longitudes, electrodos y diámetro de varillas de soldadura.
- Se recomienda hacer un trabajo de investigación sobre el comportamiento de las resistencias en uniones pernadas, ya que resulta interesante la similitud entre los valores teóricos y prácticos en esta investigación.
- Se recomienda hacer un trabajo de investigación sobre el comportamiento de las resistencias de perfiles angulares en el estado límite de fractura, ya que se considera llamativa la cercana aproximación entre los valores teóricos y prácticos en este trabajo de investigación.
- Resultaría aconsejable realizar futuros proyectos de investigación en obras construidas, a manera de tomar datos estadísticos de las diferencias entre los espesores de garganta soldadura diseñados y los reales y su incidencia en el comportamiento de dichas estructuras.
- Resulta conveniente buscar la manera de ensayar conexiones soldadas con electrodos 6011 y 7018 con diámetro de 1/8", debido a que son los electrodos y diámetro más usados en el campo de la metalmecánica.

- Se recomienda buscar la forma de ensayar los cordones de soldadura que cumplan la condición $1.5 w > L \geq w$ y $L \geq 2w$ para confrontar si presentan el mismo comportamiento de las probetas ensayadas en este trabajo de investigación.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Brockenbrough Roger L., Frederick S Merrit, MANUAL DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO, McGraw Hill, 2^{da} edición, Tomo I.
- ✓ McCormac, Jack C. DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO, método ASD. 4^{ta} edición. México: Alfaomega.2003
- ✓ T.Seguí William, DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO CON LRFD, 2^{da} edición, editorial Thomson.
- ✓ Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo – Resistente NSR -98. Tomo II, F.2.10.5.2 – Resistencia de diseño de elementos de conexión a tensión. Colombia: 3R, editores.1998
- ✓ Englekirk, R. STEEL STRUCTURES. CONTROLLING BEHAVIOR THROUGH DESIGN
- ✓ Salmon Charles G., Johnson. John E, STEEL STRUCTURES DESIGN AND BEHAVIOR, fourth Edition, Prentice Hall.
- ✓ Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design. (LRFD), American Institute of Steel Construction Inc (AISC), 1998.
- ✓ Gonzales Ortiz Gerson Andrés, Determinación experimental del comportamiento del porcentaje de eficiencia en placas de acero comercial A – 36 sometidas a esfuerzos de tensión, fase I, 2005

