

**VERIFICACIÓN Y COMPARACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA  
DE SOLDADURA DE FILETE 6011 vs. FILETE 7018 SOBRE PLATINAS  
DE ACERO CALIDAD COMERCIAL A-36**

**OMAR RUIZ RUEDA  
EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FLORIDABLANCA  
2011**

**VERIFICACIÓN Y COMPARACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA  
DE SOLDADURA DE FILETE 6011 vs. FILETE 7018 SOBRE PLATINAS  
DE ACERO CALIDAD COMERCIAL A-36**

**OMAR RUIZ RUEDA  
EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO**

**TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARA  
OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR:  
NÉSTOR IVÁN PRADO GARCÍA  
M.I.C. INGENIERO CIVIL**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
FLORIDABLANCA  
2011**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darnos los sentidos y la vida para poder desarrollar nuestros talentos y anhelos del corazón.

A nuestros Padres Ignacio Ruiz, Teresa Rueda, Luz Marina Roncancio y Germán Gómez por el apoyo incondicional a través de nuestra vida.

A nuestras familias por darnos ánimos cuando lo necesitamos.

A nuestro Director de Proyecto el Ingeniero Néstor Iván Prado por apoyarnos y darnos sus conocimientos y experiencia profesional.

A la Ingeniera Claudia Retamoso por orientarnos en los momentos que más lo necesitamos.

A los encargados de Laboratorios la Ingeniera Luz Marina Torrado, Don Eli, Nuestro Soldador Luwvin y Don Vicente por su tiempo prestado.

A los miembros del comité de Trabajos de Grado, Personal de los diferentes departamentos que requerimos en algún momento su ayuda, profesores, amigos y compañeros, que han permitido de esta maravillosa experiencia se haga realidad.

### **A DIOS**

*Señor Gracias por la Bendición recibida, ese regalo maravilloso que es la vida, los talentos otorgados, por las personas que pusiste en nuestro camino a nuestras familias, profesores, amigos, compañeros y por todo lo que nos tienes preparado en el transcurso de nuestro caminar.*

### **A NUESTRAS FAMILIAS**

*A mis tías por el apoyo total e incondicional, su tiempo y paciencia otorgada, a mi Madre por ser lo que siempre fuiste.*

### **Edgar**

*A mi Madre por estar ahí cuando siempre la necesite, a mi Padre que a la distancia y su silencio me apoyo y a mis hermanos por apoyarme en los momentos difíciles. Y en especial a mis Hijos por ser el motor y el aliento que me lleva a realizar las cosas, por ustedes lo hago.*

### **Omar**

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
JUSTIFICACIÓN	
1. OBJETIVOS	
1.1. Objetivo General	
1.2. Objetivos Específicos	
2. MARCO TEÓRICO.....	17
2.1. Soldadura de Arco Sumergido “S.A.S” (Submerged Arc Welding “SAW”).....	18
2.2. Soldadura de Arco Protegido “S.A.P” (SHIELD METAL ARC WELDING ELECTRODES “SMAW”)	19
2.3. Clasificación e Identificación de los Electrodo.....	20
2.4. Diseño de Soldadura de Filete.....	23
2.5. Estado Limite de Fluencia.....	26
2.6. Estado Limite de Fractura.....	26
2.7. Área Limite Cortante en Perno.....	27
3. METODOLOGÍA.....	29
3.1. Primera Etapa.....	29
3.1.1. Determinación de los Materiales a Utilizar.....	31
3.1.1.1. Platinas a Utilizar.....	31
3.1.1.2. Resistencia de los Cordones de Soldadura.....	31
3.1.1.3. Conexión Mordaza – Platina (Pernada).....	34
3.1.1.3.1. Chequeo por Estado Límite de Fluencia.....	35
3.1.1.3.2. Chequeo Estado Limite de Fractura.....	36
3.1.1.3.3. Chequeo Estado Limite Cortante en Perno.....	37
3.1.1.4. Conexión Platina (Pernada) – Platina (Soldada).....	37
3.1.1.4.1. Chequeo por Estado Límite de Fluencia.....	38
3.1.1.4.2. Chequeo Estado Limite de Fractura.....	38
3.1.1.4.3. Chequeo Estado Limite Cortante en Perno.....	39
3.1.1.5. Tabla con Todos los Estados Limites Teóricos.....	39
3.1.2. Proceso de Fabricación.....	40
3.1.3. Proceso de Montaje al Sistema.....	43

3.2. Segunda Etapa.....	45
3.2.1. Resultados Obtenidos.....	45
3.2.1.1. Soldadura 6011.....	45
3.2.1.1.1. Primer Caso $w \leq L < 1.5w$ .....	45
3.2.1.1.2. Segundo Caso $1.5w \leq L < 2w$ .....	47
3.2.1.1.3. Tercer Caso $2w \leq L$ .....	48
3.2.1.1.4. Transversal.....	49
3.2.1.2. Soldadura 7018.....	50
3.2.1.2.1. Primer Caso $w \leq L < 1.5w$ .....	50
3.2.1.2.2. Segundo Caso $1.5w \leq L < 2w$ .....	52
3.2.1.2.3. Transversal.....	54
3.2.2. Análisis de Resultados.....	55
3.2.2.1. Relación de Fuerzas de la Soldadura 6011 - Soldadura 7018, del Pn Teórico – Pn Experimental...	55
3.2.2.2. Relación del % de Error de la Soldadura 6011 – Soldadura 7018, del Pn Teórico – Pn Experimental...	57
3.2.2.3. Relación de los Cordones de la Soldadura 6011 – Soldadura 7018.....	58
3.2.2.4. Relación de los Cordones Promedios de la Soldadura 6011 – Soldadura 7018, Antes del Ensayo y Después	61
3.2.2.5. Relación de Fuerzas de la Soldadura 6011 – Soldadura 7018, del Pn Teórico Real (Después de Ensayo) – Pn Experimental.....	62
3.2.2.6 Relación del % de Error de la Soldadura 6011 – Soldadura 7018, del Pn Teórico Real (Después de Ensayo) – Pn Experimental.....	66
3.2.2.7 Relación de las Deformaciones de la Soldadura 6011 - Soldadura 7018.....	67
4. CONCLUSIONES.....	69
5. RECOMENDACIONES.....	72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla No 1 Tipo de Revestimiento, Corriente y Polaridad.....	22
Tabla No 2 Tabla de Tamaño Mínimo de Soldadura.....	23
Tabla No 3 Tabla de Tamaño Máximo de Soldadura.....	24
Tabla No 4 Relación Estado Limite - Conexión.....	39
Tabla No 5 Tipo de Falla – Relación Pn Teórico Vs. Experimental.....	50
Tabla No 6 Tipo de Falla – Relación Pn Teórico Vs. Experimental.....	55
Tabla No 7 Relación Pn Teórico vs. Pn Experimental de Soldadura 6011 - 7018.....	56
Tabla No 8 Relación % Error vs. Pn Longitudes de los Cordones de Soldadura 6011 - 7018.....	58
Tabla No 9 Relación de los Espesores Obtenidos Antes – Longitud de los Cordones de Soldadura 6011.....	60
Tabla No 10 Relación de los Espesores Obtenidos Después – Longitud de los Cordones de Soldadura 6011.....	60
Tabla No 11 Relación de los Espesores Obtenidos Antes– Longitud de los Cordones de Soldadura 7018.....	60

Tabla No 12 Relación de los Espesores Obtenidos Después – Longitud de los Cordones de Soldadura 7018.....	61
Tabla No 13 Relación de los Espesores Promedio Antes y Después de cada Ensayo.....	61
Tabla No 14 Relación Pn Teórico Real vs. Pn Experimental de Soldadura 6011 - 7018.....	63
Tabla No 15 Relación % Error Real vs. Pn Longitudes de los Cordones de Soldadura 6011 - 7018.....	66
Tabla No 16 Relación de los Esfuerzos de los Cordones de Soldadura 6011 – 7018 para cada Longitud usada...	67
Tabla No 17 Relación de las Deformaciones de los Cordones de Soldadura 6011 – 7018 para cada Longitud usada...	67



## LISTA DE GRAFICAS

		<b>Pág.</b>
Gráfico No 1	Relación de Fuerzas Cordones de Soldadura 6011-7018 e Datos Teóricos con Espesor 3/16” .....	34
Gráfica No 2	Comportamiento de la Falla de L1 para 6011.	45
Gráfica No 3	Comportamiento de la Falla de L2 para 6011.	46
Gráfica No 4	Comportamiento de la Falla de L3 para 6011.	46
Gráfica No 5	Comportamiento de la Falla de L4 para 6011.	47
Gráfica No 6	Comportamiento de la Falla de L5 para 6011.	47
Gráfica No 7	Comportamiento de la Falla de L6 para 6011.	48
Gráfica No 8	Comportamiento de la Falla de L7 para 6011.	48
Gráfica No 9	Comportamiento de la Falla Transversal para 6011.....	49
Gráfica No 10	Comportamiento de la Falla de L1 para 7018.	51
Gráfica No 11	Comportamiento de la Falla de L2 para 7018.	51
Gráfica No 12	Comportamiento de la Falla de L3 para 7018.	51
Gráfica No 13	Comportamiento de la Falla de L4 para 7018.	52
Gráfica No 14	Comportamiento de la Falla de L5 para 7018.	53
Gráfica No 15	Comportamiento de la Falla de L6 para 7018.	53
Gráfica No 16	Comportamiento de la Falla Transversal para 7018.....	54
Gráfica No 17	Relación de las Fuerzas Teóricas – Experimentales.....	57
Gráfica No 18	Relación % de Error – Longitud de Soldadura.	58
Gráfica No 19	Relación Experimental – Teórica arrojado por el Ensayo.....	64
Gráfica No 20	Relación Teórica – Teórica arrojado por el Ensayo.....	65
Gráfica No 21	Relación de los Esfuerzos con las Deformaciones en la soldadura 6011 - 7018.....	68

## LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura No 1	Soldadura de Filete.....	17
Figura No 2	Posiciones de soldadura del S.A.S.....	18
Figura No 3	Posiciones de soldadura del S.A.P.....	19
Figura No 4	Nomenclatura de los Electrodo para Acero....	21
Figura No 5	Soldadura de Filete...	23
Figura No 6	Soldadura de Filete (Caras Iguales)...	24
Figura No 7	Soldadura de Filete (Caras Desiguales)...	25
Figura No 8	Soldadura de Filete (Longitud Del Cordón)...	25
Figura No 9	Conexión tipo Aplastamiento y Cortante...	27
Figura No 10	Longitud y Separación de los Cordones Soldados.	30
Figura No 11	Geometría de la Platina Mordaza-Pernada...	40
Figura No 12	Geometría de la Platina Mordaza – Soldada...	41
Figura No 13	Geometría de la Platina Pernada - Soldada...	42

## LISTA DE FOTOS

		Pág.
Foto No 1	Conexión Mordaza – Platina.....	35
Foto No 2	Conexión Platina (Pernada) – Platina (Soldada)...	38
Foto No 3	Corte de las Platinas con Oxicorte.....	41
Foto No 4	Tamaño de las Perforaciones de los Pernos a Usar.	42
Foto No 5	Espesor de los Pernos a Usar.....	43
Foto No 6	Elementos Usados en la Soldadura.....	43
Foto No 7	Maquina Universal – Montaje del Sistema.....	44
Foto No 8	Platina con Soldadura 6011 – con Soldadura 7018.	44
Foto No 9	Pernos de 4" * 1/2" y 2" * 1/2" del Sistema - Mordazas.	44
Foto No 10	Platina Soldada Antes del Ensayo – Platina Después de Ensayada de Frente – Platina Después de Ensayada de Perfil.....	46
Foto No 11	Platina Fallada por Fractura en Platina 2" * 1/2"....	49
Foto No 12	Platina Antes del Ensayo – Platina Ensayada.....	50
Foto No 13	Platina Después de Ensayada.....	52
Foto No 14	Platina Fallada por Fractura en Platina 2" * 1/2"....	53
Foto No 15	Platina Ensayada.....	54
Foto No 16	Espesor Teórico Real de la Longitud de Soldadura 5 medidas.....	59



## RESUMEN

- TITULO:** VERIFICACIÓN Y COMPARACIÓN EXPERIMENTAL DE LA RESISTENCIA DE SOLDADURA DE FILETE 6011 vs. FILETE 7018 SOBRE PLATINAS DE ACERO CALIDAD COMERCIAL A-36.
- AUTOR:** OMAR RUIZ RUEDA  
EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO
- FACULTAD:** INGENIERÍA CIVIL
- DIRECTOR:** NÉSTOR IVÁN PRADO GARCÍA

En este proyecto se diseñaron, elaboraron y se sometieron a falla uniones con soldadura de diferentes longitudes; se utilizaron dos tipos de soldadura aprobadas por la Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR – 98. Se agruparon en tres rangos por longitud de la soldadura y el caso de la soldadura transversal, se ensayaron en total 20 conjuntos de piezas metálicas por electrodo. Este trabajo se desarrollo a través de 2 etapas, cada una de ellas consiste en lo siguiente: En la primera etapa se diseñaron las piezas, calculándose las resistencias para cada uno de los estados límites que intervenían, y se determinó el número de ensayos a trabajar por el método estadístico de población desconocida; En la segunda etapa, se fabricaron cada una de las conexiones diseñadas, montando y desarrollando las pruebas de falla, obtención de resultados, análisis de los mismos y conclusiones del proceso. Por lo anterior con este proyecto se busca realizar un aporte para mejorar el análisis de los diseños de uniones metálicas por medio de soldadura de filete.

**PALABRAS CLAVE:** Soldadura, Filete, Platinas Metálicas, Electrodo, Acero A-36.



## ABSTRACT

**TITLE:** VERIFICATION AND EXPERIMENTAL COMPARISON OF STRENGTH OF WELD FILLET 6011 Vs WELD FILLET 7018 QUALITY STEEL PLATES OF COMMERCIAL QUALITY A-36.

**AUTHOR:** OMAR RUIZ RUEDA  
EDGAR LEONARDO GÓMEZ RONCANCIO

**FACULTY:** CIVIL ENGINEERING

**DIRECTOR:** NESTOR IVAN GARCIA PRADO

In this Project its design, develop and subjected to failure of Weld unions with Weld of differents lengths; It use two types of weld aprobbed by the standards of Colombia “Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR – 98”. This grouped in three ranges for Weld lenght and the case of transversal weld, It tested a set of twenty (20) pieces of steel plates for electrode. This work its developed in two stages, each of them consists of: In the first stage it is design the pieces, it calculate strength for each of one of the limits stage that intervened, and determinate the number of tests to do for the stadistical method of unknown poblacion; In the second stage, it is fabricated each of the design conection, mounting and developing the test of failure, analysis of results and conclusions of the process. Fort he previous thing this proyect seeks to realize a contribution to improve the analysis of the designs of metallic unions by means of weld of filet.

**KEY WORD:** Weld, fillet, Steel Plates, electrode, steel A-36.

## INTRODUCCIÓN

Como todos los problemas planteados en este caso, se fórmula la comparación de la calidad de la conexión con soldadura por electrodos 6011 con los electrodos 7018, en todo diseño se obtiene un resultado teórico, el cual genera seguridad y confianza, por cuanto son las condiciones que coloca la Norma NSR – 98, las piezas soldadas no se separan y cumplen a cabalidad con los diseños realizados y soportan las fuerzas a las que son sometidas. Pero, surge la pregunta, que pasaría si al momento de realizar los cordones de soldadura en los elementos a trabajar 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; y además lleva a preguntar ¿cuál de las dos conexiones es la más apropiada a usar, si es que existe alguna diferencia?

Por lo tanto, se plantea hacer una confrontación de los resultados arrojados en pruebas de laboratorio simulando la realidad de un diseño con los resultados obtenidos en la teoría para una conexión soldada en platinas, y de esta manera constatar las diferencias en lo que concierne a la resistencia de la unión de dos piezas de acero A-36 mediante un cordón de soldadura de filete con electrodo 6011 y otro electrodo 7018, los más utilizados comercialmente en el ámbito estructural.

## JUSTIFICACIÓN

Las estructuras metálicas en su pleno crecimiento y apogeo en todo el Mundo pero especialmente para el caso Colombia, tiene muchas ventajas en las construcciones de todo tipo, entre las que más se destacan edificios, puentes, bodegas, entre otros.

Por esto y por otras razones más 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 relación se encuentran los resultados teórico con los experimentales, así de esta forma conocer las ventajas o desventajas de este sistema constructivo y así con los resultados obtenidos poder comparar con otros estudios realizados para un mismo proyecto a realizar y determinar cuál de los dos sistemas es el más adecuado para realizar en cualquier tipo de proyecto donde se pueda implementar.

Diversos factores que son tenidos en cuenta en la unión de metales por medio de la soldadura serán objeto de este trabajo, buscando pautas para mejorar el análisis y de ser posible tener en cuenta nuevos factores de incidencia.

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 los resultados experimentales de la conexión de soldadura de electrodos 6011 vs. Soldadura de electrodos 7018 en platinas de acero A-36.

### **1.2. Objetivos Específicos.**

- Diseñar las conexiones soldadas a ensayar.
- Fabricar a escala las diferentes conexiones a ensayar.
- Determinar la capacidad experimental de carga de las diferentes conexiones a ensayar.
- Determinar la capacidad teórica de carga de cada una de las conexiones a ensayar.
- Realizar las diferentes gráficas de la variación de la resistencia teórica vs. experimental de acuerdo a las variables planteadas.
- Comparar las soldaduras mencionadas con respecto a su carga y deformación.



## 2. MARCO TEÓRICO

La soldadura es un proceso en 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 una ventaja aprovechar las propiedades que tiene la soldadura de filete, ya que los temores de fatiga e inspección se han eliminado 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 presenta muchas ventajas entre las que más se destacan:

- \* La economía: porque su uso permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado.
- \* La Aplicación: la zona de aplicación es mucho mayor que la pernada, además son más rígidas porque los miembros por lo general se encuentran soldados directamente uno con el 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.)<sup>1</sup>.

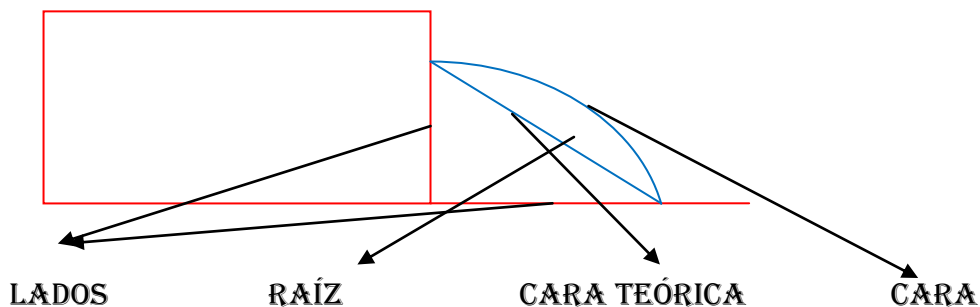


Figura No 1: Soldadura de Filete<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tomado de Diseño de Estructuras de Acero con LRFD, T Segui William.

<sup>2</sup> Figura tomado de Diseño de Estructuras de Acero con LRFD, T Segui William.

## 2.1 SOLDADURA DE ARCO SUMERGIDO “SAS” (SUMERGED ARC WELDING “SAW”)<sup>3</sup>

Este es un proceso mediante el cual el calor es aportado mediante 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 se desprende el nombre del proceso de soldadura.

Una ventaja del proceso es que, está el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas sin chispeo o arrastre de aire.

Este proceso de soldadura ofrece las siguientes características:

- Mayor penetración.
- Mayor agarre.
- No forma escoria.
- Se trabaja en planta o taller directamente.
- 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.

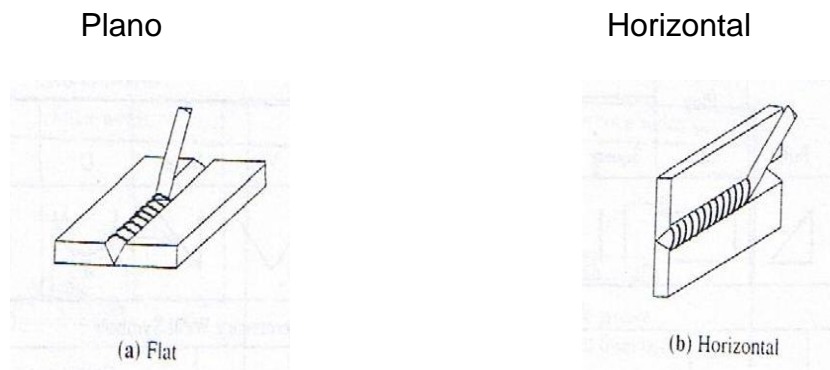


Figura No 2 Posiciones de soldadura del S.A.S.<sup>4</sup>

<sup>3</sup>Tomado de Structures Design and Behavior, Salmon Charles G, Johnson. John E Steel.

<sup>4</sup>Imágenes tomadas de Steel Structures. Design and Behavior, pagina 200.

## 2.2 SOLDADURA DE ARCO PROTEGIDO “SAP” (SHIELD METAL ARC WELDING ELECTRODES “SMAW”)<sup>5</sup>.

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

- Más usual
- Forma escoria
- Requiere electrodos
- Se trabaja en planta y en obra
- Puede ser utilizada 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.

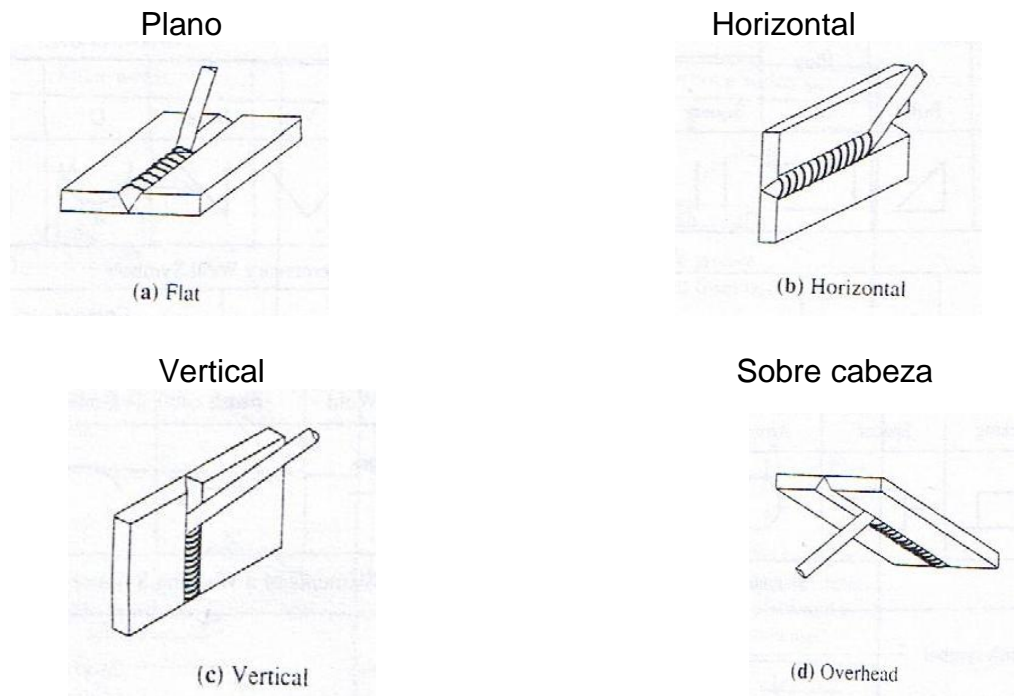


Figura No 3 Posiciones de soldadura del S.A.P.<sup>6</sup>

<sup>5</sup>Tomado de Structures Design and Behavior, Salmon Charles G, Johnson. John E Steel.

<sup>6</sup>Imágenes tomadas de Steel Structures. Design and Behavior, página 200.

## 2.3 CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS<sup>7</sup>

Debido a la gran cantidad de electrodos que se fabrican para efectuar trabajos específicos, es necesario saber qué métodos de identificación existe, como se clasifican y para qué trabajo específico fueron diseñados. Hay muchas maneras de clasificar los electrodos, entre ellas tenemos: Clasificación por color según norma internacional. El método más sencillo de identificar a un electrodo corriente es por el color de su revestimiento y un código de colores (extremo del electrodo) que ha sido establecido para los grandes grupos de la clasificación por normalización internacional.

Clasificación de los electrodos según su revestimiento: Se distinguen básicamente los siguientes tipos de revestimientos:

CELULÓSICOS, RUTÍLICOS, MINERALES, BÁSICOS y HIERRO EN POLVO

\* **CLASIFICACIÓN CELULÓSICOS:** Son llamados así por el alto contenido de celulosa que llevan en el revestimiento, siendo sus principales características:

- 9 - Máxima penetración
- 10- Solidificación rápida
- 11- Buenas características de resistencia
- 12- Elasticidad y ductilidad
- 13- Presentación regular

\* **CLASIFICACIÓN RUTÍLICOS:** Se denominan así por el alto contenido de rutilo (óxido de titanio) en el revestimiento, y sus principales características son:

- 14- Penetración mediana a baja
- 15- Arco suave
- 16- Buena presentación
- 17- Buena resistencia

\* **CLASIFICACIÓN MINERALES:** Los principales componentes del revestimiento de estos electrodos son óxidos de hierro y manganeso siendo sus cualidades más relevantes:

- 18- Buena penetración
- 19- Buena apariencia del depósito
- 20- Buenas propiedades mecánicas

---

<sup>7</sup>Tomado de <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/clasificacion-identificacion-electrodos>.

-21- Altas velocidades de deposición

\* CLASIFICACIÓN BÁSICOS O BAJO HIDRÓGENO: Su nombre se debe a la ausencia absoluta de humedad ( Hidrógeno ) en su revestimiento, y sus características principales son:

- 22- Alta ductilidad
- 23- Máxima resistencia en los depósitos
- 24- Alta resistencia a los impactos a baja temperatura
- 25- Depósitos de calidad radiográfica
- 26- Penetración mediana a alta

\* CLASIFICACIÓN HIERRO EN POLVO: A esta clasificación pertenecen todos los electrodos cuyo revestimiento contiene una cantidad balanceada de hierro en polvo, siendo sus cualidades más importantes:

- 27- Se aumenta el rendimiento del electrodo
- 28- Suaviza la energía del arco
- 29- Se mejora la presentación del cordón
- 30- Mejora la ductilidad

#### CLASIFICACIÓN AWS-ASTM

Debido a que hay muchos tipos diferentes de electrodos en el mercado, puede resultar muy confuso escoger los correctos para el trabajo que se va a ejecutar. Como resultado la AWS (American Welding Society) estableció un sistema numérico aceptado y utilizado por la industria de la soldadura.

Se especifican cuatro o cinco dígitos con la letra E al comienzo, detallados a continuación:



Figura No 4 Nomenclatura de los Electrodos para Acero<sup>8</sup>

- a. Prefijo E de electrodo para acero.
- b. Resistencia a la tracción mínima del depósito en miles de libras por pulgada cuadrada (Lb. /pul<sup>2</sup>).
- c. Posición Soldar.
  - c-1. Toda Posición.
  - c-2. Plana Horizontal.

<sup>8</sup>Figura Tomado de <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/clasificacion-identificacion-electrodos>.

d. Tipo de revestimiento, Corriente eléctrica y Polaridad a usar según tabla.

ULTIMO DÍGITO	CARACTERÍSTICAS ÚLTIMO DÍGITO	CORRIENTE ELÉCTRICA	POLARIDAD
	TIPO DE REVESTIMIENTO		
0	Celulósico Sódico	CC	PI
1	Celulósico Potásico	CA – CC	PI
2	Rutílico Sódico	CA – CC	PD
3	Rutílico Potásico	CA – CC	PD – PI
4	Rutílico + Hierro en polvo	CA – CC	PD – PI
5	Bajo hidrógeno sódico	CC	PI
6	Bajo hidrógeno Potásico	CA – CC	PI
7	Mineral + Hierro en polvo	CA – CC	PD – PI
8	Bajo hidrógeno + Hierro en polvo	CA – CC	PI

Tabla No 1: Tipo de Revestimiento, Corriente y Polaridad.<sup>9</sup>

CC : Corriente continúa  
 CA : Corriente alterna  
 PD : Polaridad Directa (Electrodo negativo)  
 PI : Polaridad invertida (Electrodo positivo)

EJEMPLO: Ver Tabla No 1.

\* Electrodo E.6011 (AWS-ASTM)

E = Electrodo para acero dulce.  
 60 = 60.000 Lb. /pul2 de resistencia a la tracción.  
 1 = Para soldar en toda posición.  
 2 = Revestimiento Celulósico Potásico para corriente alterna y corriente continua polaridad invertida.

\* Electrodo E.7018 (AWS-ASTM)

E = Electrodo para acero dulce.  
 70 = 70.000 Lb. /pul2 de resistencia a la tracción.  
 1 = Para soldar en toda posición.  
 8 = Revestimiento de Bajo Hidrogeno + Hierro en Polvo para corriente alterna y corriente continua polaridad invertida.

<sup>9</sup>Tabla tomada de <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/clasificacion-identificacion-electrodos>.

## 2.4 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.<sup>10</sup>

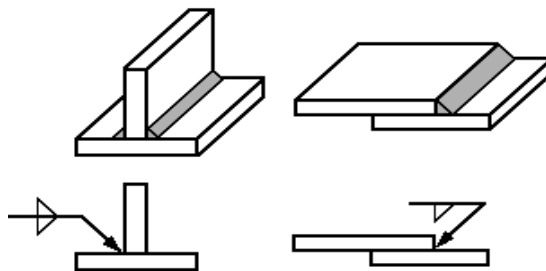


Figura No 5: Soldadura de Filete.<sup>11</sup>

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 siguientes tablas se especifican el tamaño mínimo y tamaño máximo del diámetro de electrodo de soldadura a emplear.

### TAMAÑO MÍNIMO DE SOLDADURA

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

Tabla No 2: Tabla de Tamaño Mínimo de Soldadura.<sup>12</sup>

<sup>10</sup>Tomado de Diseño de Estructuras de Acero con LRFD, T Segui William.

<sup>11</sup> Imagen tomada de [www.drweld.com/filete\\_simbolo.htm](http://www.drweld.com/filete_simbolo.htm).

<sup>12</sup> Tabla extraída de Structures Design and Behavior, Salmon Charles G, Johnson. John E Steel.

## TAMAÑO MÁXIMO DE SOLDADURA

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

Tabla No 3: Tabla de Tamaño Máximo de Soldadura.<sup>13</sup>

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

$$\Phi P_n = \phi * F_w * A_w \quad (\text{Ec.1})^{14}$$

De donde,

$$\phi = 0.75$$

$$F_w = 0.60 F_{exx} (1.0 + 0.5 \text{ Sen}^{1.5}\theta) \quad (\text{Ec.2})^{15}$$

$\theta$  = Angulo entre el eje longitudinal del cordón de soldadura y la dirección de la fuerza.

$A_w$  = Área de la garganta de la soldadura

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.

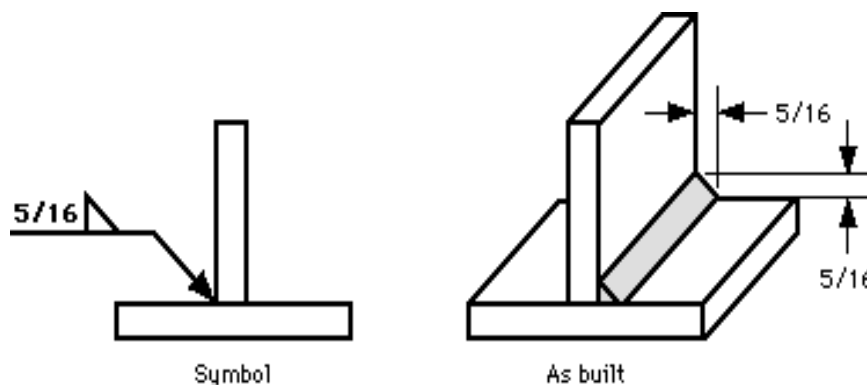


Figura No 6: Soldadura de Filete (Caras Iguales).<sup>16</sup>

<sup>13</sup> Tabla extraída de Structures Design and Behavior, Salmon Charles G, Johnson. John E Steel.

<sup>14</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>15</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>16</sup> Imagen tomada de [www.drweld.com/filete\\_simbolo.htm](http://www.drweld.com/filete_simbolo.htm).



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

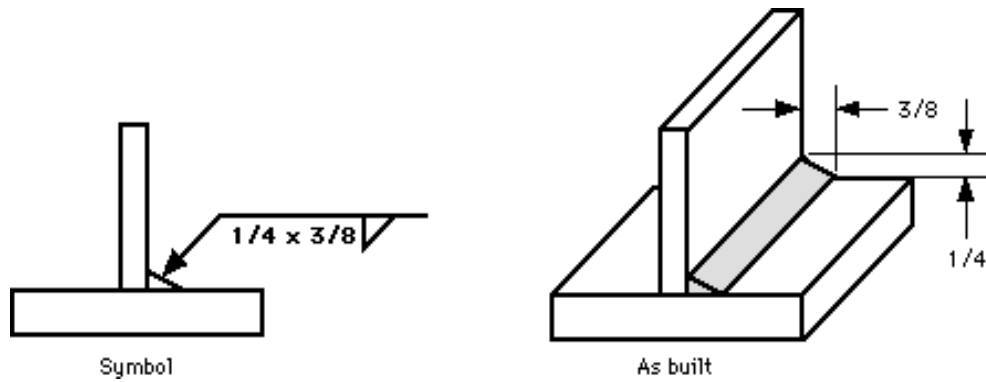


Figura No 7: Soldadura de Filete (Caras Desiguales).<sup>17</sup>

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.

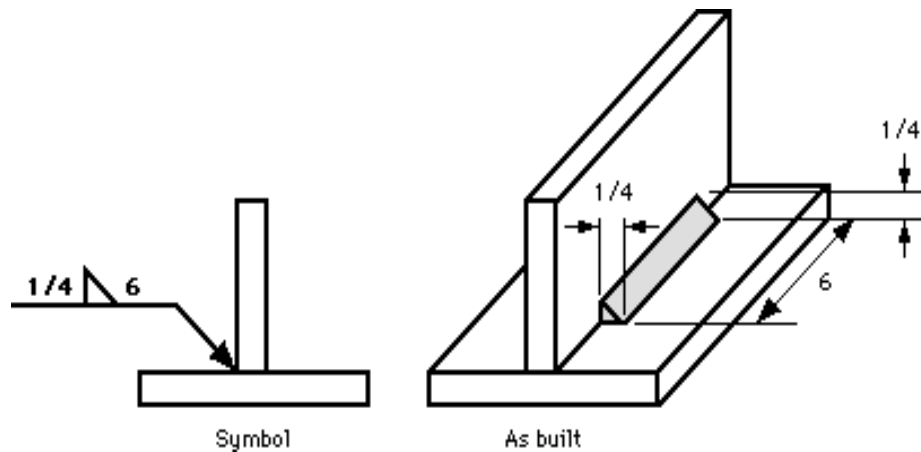


Figura No 8: Soldadura de Filete (Longitud Del Cordón).<sup>18</sup>

<sup>17</sup> Imagen tomada de [www.drweld.com/filete\\_simbolo.htm](http://www.drweld.com/filete_simbolo.htm).

<sup>18</sup> Imagen tomada de [www.drweld.com/filete\\_simbolo.htm](http://www.drweld.com/filete_simbolo.htm).

## 2.5 ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA

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 se debe chequear a lo largo de la sección.

En la NRS – 10 (F.2.13) se expresa la ecuación para calcular la carga por estado límite de fluencia para miembros a tensión:

$$P_n = F_y * A_g \quad (\text{Ec.2})^{19}$$

Donde:

**P<sub>n</sub>** = Carga Nominal que puede soportar el miembro.

**F<sub>y</sub>** = Esfuerzo de fluencia del acero y su valor es 248 MPa para acero A36

**A<sub>g</sub>** = Área total de la sección transversal del miembro.

## 2.6 ESTADO LÍMITE DE FRACTURA

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

Según lo establecido en la NSR – 10 (F.2.14) la resistencia de diseño de un miembro a tensión por fractura se determinara así:

$$P_n = F_u * A_e \quad (\text{Ec.3})^{20}$$

Donde:

**P<sub>n</sub>** = Carga Nominal que puede soportar el miembro.

**F<sub>u</sub>** = Resistencia ultima del acero.

**A<sub>e</sub>** = Área efectiva del miembro.

---

<sup>19</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>20</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

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

$$\mathbf{An = Ag - A \text{ de los Agujeros}} \quad \mathbf{(Ec.4)^{21}}$$

Donde:

**Agujeros** = El equivalente a multiplicar el número de agujeros por el diámetro del agujero por el espesor del miembro.

**An** = Área de la sección transversal del miembro.

**Ag** = Área completa o total de sección transversal del miembro.

## 2.7 ÁREA LÍMITE CORTANTE EN PERNO.

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

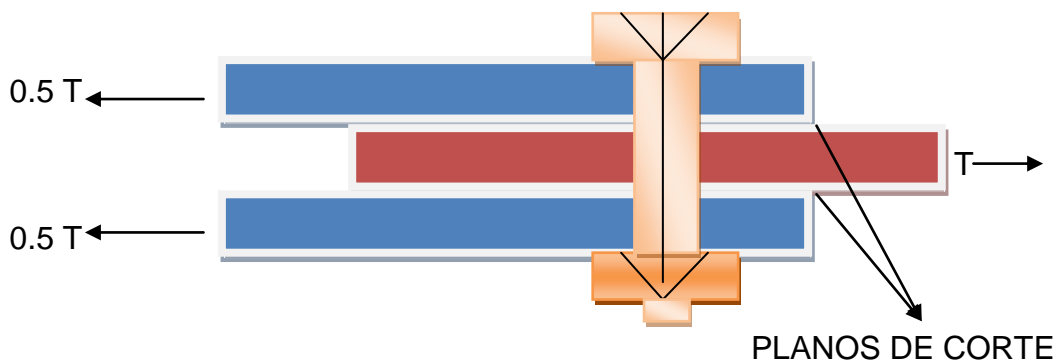


Figura No 9: Conexión tipo Aplastamiento y Cortante.<sup>22</sup>

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

<sup>21</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>22</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010 (F2.10.3.1).

$$F_v = 0.6 F_u \quad (\text{Ec.6})^{23}$$

Donde se presentan 2 posibilidades.

1. Que el plano de corte atravesase el plano.

$$R = 0.6 F_u * (0.8 A_b) \quad (\text{Ec.7})^{24}$$

2. Que el plano de corte no atravesase el plano.

$$R = 0.6 F_u * A_b \quad (\text{Ec.8})^{25}$$

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

Para determinar esta falla en los pernos se utiliza la siguiente expresión:

$$R_u = m * A_b * F_v \quad (\text{Ec.9})^{26}$$

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

- Si Atraviesa el Perno

$$F_v = 0.4 F_u \quad (\text{Ec.10})^{27}$$

- No Atraviesa el Perno

$$F_v = 0.5 F_u \quad (\text{Ec.11})^{28}$$

Donde:

**R** = Resistencia del Perno.

**M** = Números de planos presentes en la unión (1 o 2).

**A<sub>b</sub>** = Área transversal del Perno.

**F<sub>u</sub>** = Resistencia Ultima del Perno.

**F<sub>v</sub>** = Esfuerzo Cortante del Perno.

---

<sup>23</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>24</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>25</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>26</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>27</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

<sup>28</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

### 3. METODOLOGÍA

La metodología para desarrollar el presente trabajo se realizará en dos etapas:

**3.1. Primera Etapa:** Esta etapa consiste en la recolección de información sobre el tema y en el diseño de las diferentes probetas a ensayar buscando que la falla ocurra en los cordones de soldadura; fabricar los diferentes elementos llevando esta al Laboratorio y realizando las pruebas en la Máquina Universal.

Se ensayaron diferentes cordones de soldadura para cada electrodo, clasificado para los 3 casos, según su longitud; y 1 de manera transversal.

Donde se determinó 3 muestras por caso donde se puede hacer una comparación racional, dado por el factor económico ya que los autores asumieron los costos totales del proyecto, porque los resultados estadísticos de población desconocida arrojados nos dio 16 muestras por rango, con un total 48 muestras por electrodo, es decir un gran total de 96 muestras para desarrollar el proyecto algo imposible de costear.

- 1)  $w \leq L < 1.5w$
- 2)  $1.5w \leq L < 2w$
- 3)  $2w \leq L$  <sup>29</sup>

En donde,

w = Separación de los cordones  
L = Longitud de los cordones

---

<sup>29</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

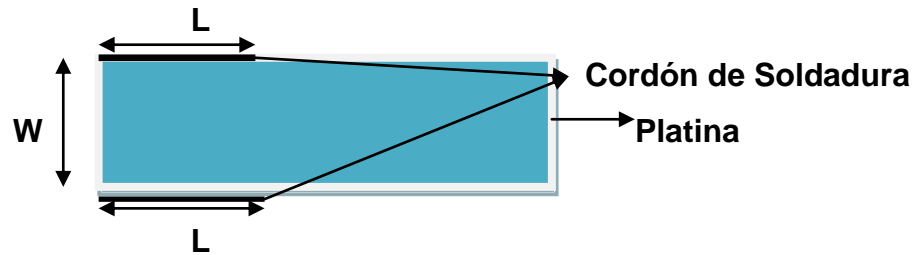


Figura No 10: Longitud y Separación de los Cordones Soldados.

Teniendo en cuenta las limitantes en el proyecto, la primera la capacidad útil de Carga de la Maquina Universal Instalada en la Universidad Pontificia Bolivariana y donde se van a realizar todos los ensayos, de 45 Toneladas, nos lleva a escoger platinas de amplitudes menores a la longitud del cordón de soldadura máxima arrojada de  $105 \text{ mm}^{30}$  (Salazar,2009) y la segunda es el espesor máximo de las platinas ya que las mordazas que tiene la máquina universal son de  $5/8''$ .

Teniendo en cuenta la distancia máxima del cordón de soldadura se calcula que el ancho de la platina no debe ser superior al rango mayor a ensayar;  $2w = 105 \text{ mm}$ , despejando se obtiene un valor de  $w = 52,5 \text{ mm}$ , pasando este valor a pulgadas es aproximadamente  $2,07''$ . Con estas dos limitantes, se determina utilizar platinas de espesores menores o iguales a  $1/2''$ .

Viendo los resultados de las limitantes y teniendo en cuenta la máxima separación entre cordones, se toman 2 pulgadas como el valor máximo de la separación, siendo la relación de los rangos así:

**$W = 2'' * 25,4 \text{ mm} = 50,8 \text{ mm}$ , se aproxima a 51 mm.**

<sup>30</sup> Tomado de Verificación Experimental de la resistencia de Soldadura de Filete sobre Perfiles Angulares de acero calidad comercial A -36. Trabajo de Grado. Julian Salazar. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

A continuación, se observa la relación de los tres valores tomados para los casos a ensayar, donde se tuvo en cuenta el valor inferior y superior de cada caso y uno promedio entre ambos, y todos los valores se aproximaron a valores múltiplos de 5, por la dificultad en la medición en el momento de colocar la soldadura.

$$1) w \leq L < 1.5w$$

$$L1 = 55 \text{ mm}$$

$$L2 = 65 \text{ mm}$$

$$L3 = 75 \text{ mm}$$

$$2) 1.5w \leq L < 2w$$

$$L4 = 80 \text{ mm}$$

$$L5 = 90 \text{ mm}$$

$$L6 = 100 \text{ mm}$$

$$3) 2w \leq L$$

$$L7 = 105 \text{ mm}$$

$$L8 = 115 \text{ mm}$$

$$L9 = 125 \text{ mm}$$

La transversal = 51 mm = w

### **3.1.1 DETERMINACIÓN DE LOS MATERIALES A UTILIZAR.**

#### **3.1.1.1 PLATINAS A UTILIZAR.**

Para la ejecución de este proyecto, se utilizaron platinas con espesor de  $\frac{1}{2}$ ", puesto que es la de mayor espesor permitido en los limitantes mencionados.

#### **3.1.1.2 RESISTENCIAS DE LOS CORDONES DE SOLDADURA.**

Teniendo en cuenta el espesor tomado se observa en las tablas No2 y No3 donde se hace relación al Tamaño Mínimo y Máximo de soldadura y se obtiene  $\frac{3}{16}$ " y  $\frac{7}{16}$ "; el tamaño mínimo de soldadura es  $\frac{3}{16}$ ", por cuanto se obtuvo en los cálculos una menor resistencia.

$$P_n = F_w * A_w \quad (\text{Ec.12})^{30}$$

**Pn** = Resistencia Nominal del Cordón de Soldadura.

**Fw** = Fuerza que ejerce el cordón de soldadura.

**Fw** =  $0.6 * F_{exx} (1.0 + 0.5 \text{ sen}^{1.5} \theta)$ , donde  $F_{exx} = 420$  Mpa para 6011 y para 7018  $F_{exx} = 490$  Mpa, para Acero Comercial A-36.

**Aw** = Área de la Garganta de Soldadura.

**Aw** = Espesor de la Garganta Efectiva \* Longitud del Cordón de Soldadura.

PARA SOLDADURA 6011

1)  $w \leq L < 1.5w$

**L1** = 55 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 55 * 2 / 100^3 = 131.94 \text{ KN.}$

**L2** = 65 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 65 * 2 / 100^3 = 155.94 \text{ KN.}$

**L3** = 75 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 75 * 2 / 100^3 = 179.93 \text{ KN.}$

2)  $1.5w \leq L < 2w$

**L4** = 80 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 80 * 2 / 100^3 = 191.92 \text{ KN.}$

**L5** = 90 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 90 * 2 / 100^3 = 215.91 \text{ KN.}$

**L6** = 100 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 100 * 2 / 100^3 = 239.90 \text{ KN.}$

3)  $2w \leq L$

**L7** = 105 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 105 * 2 / 100^3 = 251.90 \text{ KN.}$

**L8** = 115 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 115 * 2 / 100^3 = 275.88 \text{ KN.}$

**L9** = 125 mm

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 125 * 2 / 100^3 = 299.87 \text{ KN.}$

---

<sup>30</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.



TRANSVERSAL

**L = 50.8 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 4.76 * 50.8 * 2 / 100^3 = 121.87 \text{ KN.}$

PARA SOLDADURA 7018

1)  $w \leq L < 1.5w$

**L1 = 55 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 55 * 2 / 100^3 = 153.93 \text{ KN.}$

**L2 = 65 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 65 * 2 / 100^3 = 181.92 \text{ KN.}$

**L3 = 75 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 75 * 2 / 100^3 = 209.92 \text{ KN.}$

2)  $1.5w \leq L < 2w$

**L4 = 80 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 80 * 2 / 100^3 = 223.92 \text{ KN.}$

**L5 = 90 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 90 * 2 / 100^3 = 251.90 \text{ KN.}$

**L6 = 100 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 100 * 2 / 100^3 = 279.89 \text{ KN.}$

3)  $2w \leq L$

**L7 = 105 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 105 * 2 / 100^3 = 293.88 \text{ KN.}$

**L8 = 115 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 115 * 2 / 100^3 = 321.87 \text{ KN.}$

**L9 = 125 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 125 * 2 / 100^3 = 349.86 \text{ KN.}$

TRANSVERSAL

**L = 50.8 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.76 * 50.8 * 2 / 100^3 = 142.18 \text{ KN.}$

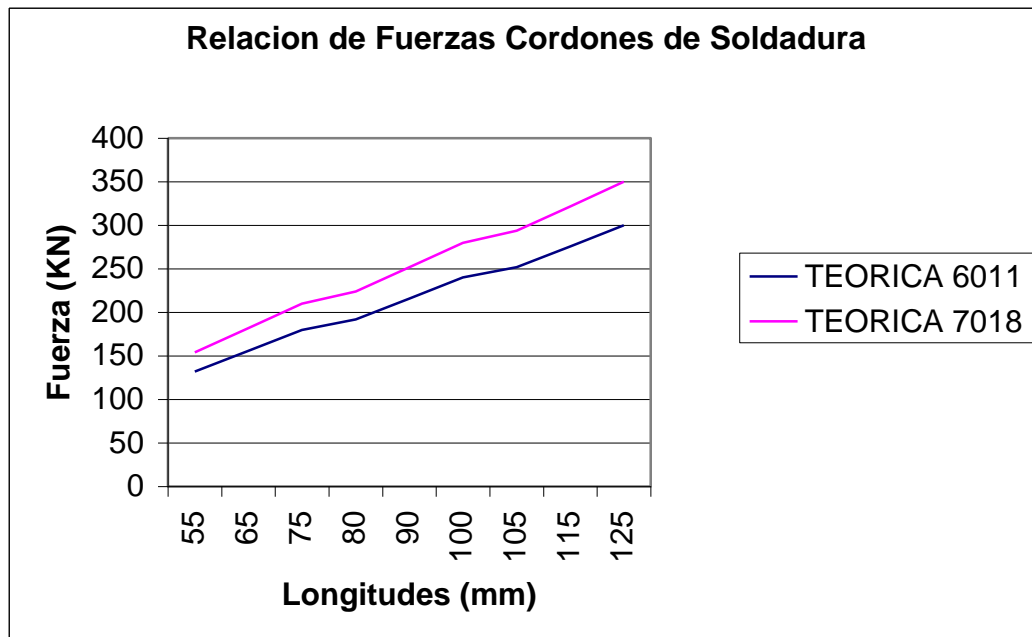


Grafico No 1: Relación de Fuerzas Cordones de Soldadura 6011-7018 e Datos Teóricos con Espesor 3/16".

En esta relación se observa que la variación es constante y muy parecida donde lo que marca la diferencia es la fuerza del cordón de la soldadura y por ende la 7018 va ser la mayor.

### 3.1.1.3 CONEXIÓN MORDAZA – PLATINA (PERNADA).

La conexión de la mordaza a la platina es pernada, debido a que las mordazas de la Máquina Universal, tienen su conexión con pernos para poder garantizar su reutilización y además se utilizan un máximo de 6 pernos ya que su diseño así lo limita.



Foto No 1: Conexión Mordaza – Platina.

Las mordazas en sus extremos constan de dos hileras, cada una con tres perforaciones para pernos de diámetro de 1/2 Pulgada. Para la realización de los ensayos fue necesario anclar las mordazas en la maquina tanto en la parte superior como la inferior.

Para la Platina que va conectada se tomo un  $w < l$  de la soldada, y su valor es de 101.6 mm.

### 3.1.1.3.1 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA.

El estado límite por fluencia se chequea mediante la siguiente expresión:

$$P_n = F_y * A_g \quad (\text{Ec.13})^{31}$$

---

<sup>31</sup> Tomado de la Norma Colombiana Sismo Resistente del 2010.

Donde:

**Pn** = Resistencia Nominal.

**Fy** = Tensión de Fluencia del Acero.

**Ag** = Área de la Sección Transversal del Miembro.

Se determina los valores y deben ser superiores al límite mayor de los rangos, es decir para la soldadura **6011** su valor es de **251.90 KN** y para **7018** su valor es de **293.88 KN**; siempre asumiremos el valor más alto para la relación de los valores que nos arrojen los diferentes cálculos dados para cada caso necesario.

Como el que controla es del Área menor en el caso particular será la platina de  $\frac{1}{2}$ " controla ya que el área de las mordazas de  $\frac{5}{8}$ " es mayor, ya que son dos conexiones.

$$Pn = 248000 * 10.16 * \frac{1}{2} * 2.54 / 100^2 = 320 \text{ KN}$$

$$Pn = 320 \text{ KN} > 293.88 \text{ KN. Cumple.}$$

### 3.1.1.3.2 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FRACTURA.

El valor de la resistencia por fractura está dado por la función:

$$Pu = Fu * Ae$$

Donde se tiene que;

$$\text{Área Neta (An)} = [10.16 - (2 * (\frac{1}{2} + \frac{1}{16}) * 2.54)] * (\frac{1}{2} * 2.54)$$

$$An = 9.27 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Área Total (Ag)} = \frac{1}{2} * 10.16 * 2.54$$

$A_g = 12.90 \text{ cm}^2$ , donde  $0.85A_g = 12.90 * 0.85 = 10.97 \text{ cm}^2$ .

Luego el Área Efectiva será el menor entre  $A_n$  y  $0.85A_g$ .

**Área Efectiva ( $A_e$ ) =  $9.27 \text{ cm}^2$ .**

**$P_n = F_u * A_e = 400000 * 9.27 / 100^2$**

**$P_n = 370.97 \text{ KN} > 293.88 \text{ KN}$ . Cumple.**

### **3.1.1.3.3 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE CORTANTE EN PERNO.**

En este proyecto se busca que la falla se produzca por la soldadura, ya que las conexiones de la mordaza a la platina es pernada, esta conexión debe exceder la resistencia tomada como mayor en el punto **3.1.3.1**.

Para nuestro ensayo se tomaron pernos de A – 490 de  $\frac{1}{2}$  **Grado 8 Gutenberg**.

Para este caso se utilizaran las Ec.9 y Ec.10, mencionadas en el punto 2.6. Quedando de esta manera:

**$R_u = 2 * 0.4 * 1035 * 10^3 * 1.27 / 100^2 * 4$**

**$R_u = 420.41 \text{ KN} > 293.88 \text{ KN}$ . Cumple.**

### **3.1.1.4 CONEXIÓN PLATINA (PERNADA) – PLATINA (SOLDADA).**

Es la conexión dada de la parte inferior del montaje como muestra la foto No 2 en la máquina universal. En esta conexión se realizan los cálculos para la información pero se sabe que por las limitantes señaladas en la primera etapa de la metodología a seguir no cumplirán con el valor máximo necesitado; realizando las pruebas se corre el riesgo de que el material de la platina soporte el valor de la carga, por lo menos en el segundo caso de las mordazas desarrolladas, ya que los cálculos de las longitudes de la soldadura están mencionadas en el punto 3.1.2.



Foto No 2: Conexión Platina (Pernada) – Platina (Soldada).

#### 3.1.1.4.1 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FLUENCIA.

$$P_n = 248000 * 5.08 * \frac{1}{2} * 2.54 / 100^2 = 320 \text{ KN}$$

**$P_n = 160 \text{ KN} > 293.88 \text{ KN}$ . No Cumple.**

**(Solo se espera cumplir en L2 de 6011 y L1 de 7018).**

#### 3.1.1.4.2 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE FRACTURA.

$$\text{Área Neta (A}_n\text{)} = [5.08 - (2 * (\frac{1}{2} + \frac{1}{16}) * 2.54)] * (\frac{1}{2} * 2.54)$$

$$A_n = 2.82 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Área Total (A}_g\text{)} = \frac{1}{2} * 5.08 * 2.54$$

$$A_g = 6.45 \text{ cm}^2, \text{ donde } 0.85A_g = 6.45 * 0.85 = 5.48 \text{ cm}^2.$$

Luego el Área Efectiva será el menor entre  $A_n$  y  $0.85A_g$ .

**Área Efectiva (A<sub>e</sub>) = 2.82 cm<sup>2</sup>.**

$$P_n = F_u * A_e = 400000 * 2.82 / 100^2$$

**$P_n = 112.90 \text{ KN} > 293.88 \text{ KN}$ . No Cumple.**

### 3.1.1.4.3 CHEQUEO POR ESTADO LÍMITE DE CORTANTE EN PERNO.

En esta conexión se utilizaron 3 pernos de A – 490 de ½ **Grado 8 Especial Caterpillar**.

$$R_u = 1 * 0.4 * 1200 * 10^3 * 1.27 / 100^2 * 3$$

$$R_u = 182.88 \text{ KN} > 293.88 \text{ KN. No Cumple.}$$

(Solo se espera cumplir en L3 de 6011 y L2 de 7018).

### 3.1.1.5 TABLA CON TODOS LOS ESTADOS LÍMITES TEÓRICOS.

ESTADO LIMITE / CONEXIÓN	Pn (KN)	
	MORDAZA / PLATINA	PLATINA PLATINA /
FLUENCIA	320	160
FRACTURA	370.97	112.90
CORTANTE EN PERNO	420.41	182.88
CORDÓN DE SOLDADURA	NO APLICA	293.88

Tabla No 4: Relación Estado Limite - Conexión.

En esta tabla se muestra los valores de las resistencias teóricas arrojadas para cada uno de los límites dados en nuestras probetas y el color en rojo nos muestra los valores que se encuentran por debajo del rango máximo de soldadura  $L \geq 2 W$ .

### 3.1.2 PROCESO DE FABRICACIÓN.

Para desarrollar esta investigación fue necesario comprar un kilo de soldadura 6011 y un kilo de soldadura 7018 de diámetro 3/32", además se compro una platina de 0.5 mts x 2.44 mts x 1/2", de donde se lograron obtener 6 Platinas de 0.32 mts \* 4" \* 1/2", usadas para la conexión mordaza-pernada, 20 Platinas de 0.32 mts \* 4" \* 1/2", usadas para la conexión pernada-soldada y 20 Platinas 0.35 mts \* 2" \* 1/2", usadas para la conexión soldada-mordaza.

Para un Área total de material = **1.17 mts<sup>2</sup>**.

$$4 * 0.32 * 4 * 2.54 / 100 = 0.10 \text{ mts}^2$$

$$20 * 0.35 * 4 * 2.54 / 100 = 0.71 \text{ mts}^2$$

$$20 * 0.32 * 2 * 2.54 / 100 = 0.33 \text{ mts}^2$$

A continuación se muestran las dimensiones de las platinas creadas para el desarrollo de los diferentes ensayos.

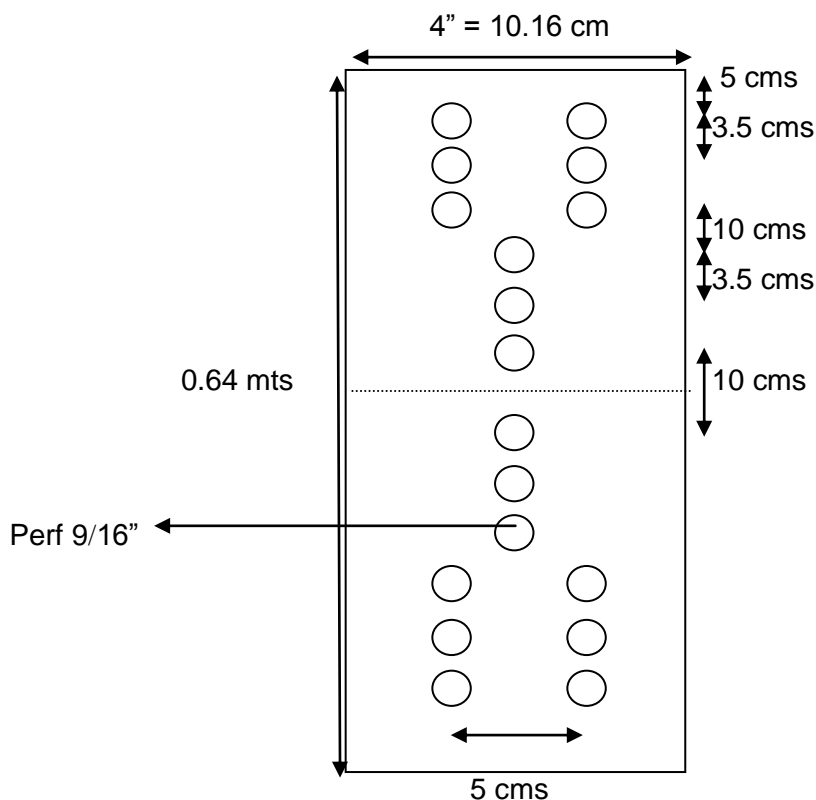


Figura No 11: Geometría de la Platina Mordaza-Pernada.



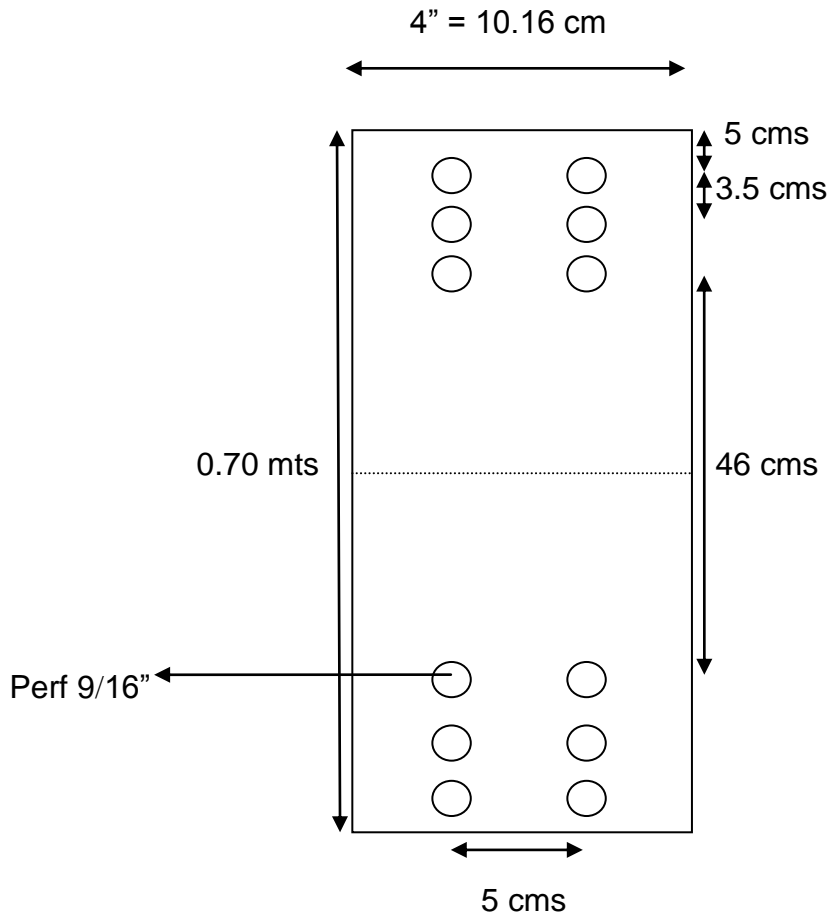


Figura No 12: Geometría de la Platina Mordaza - Soldada.



Foto No 3: Corte de las Platinas con Oxicorte.

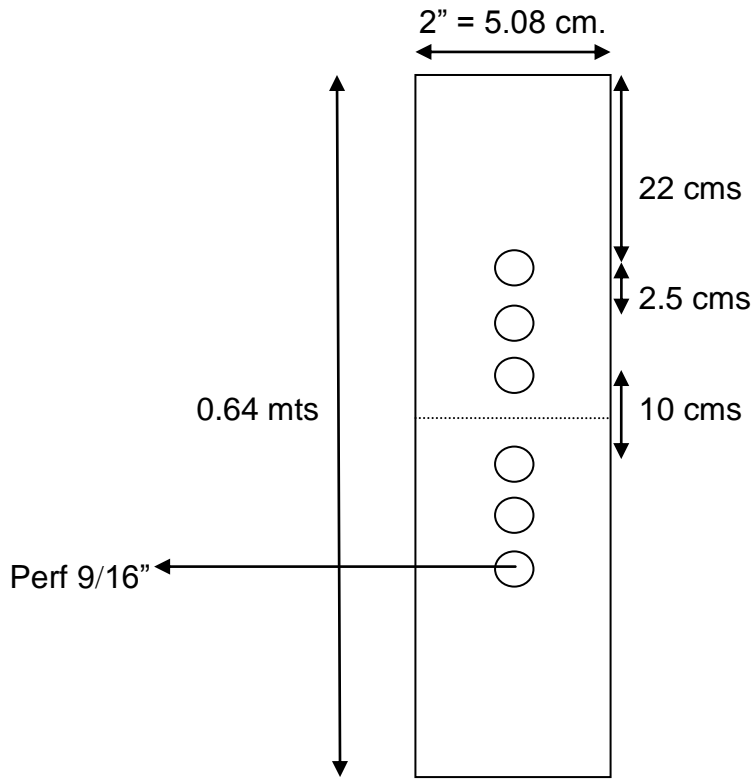


Figura No 13: Geometría de la Platina Pernada - Soldada.

Al tener los moldes, mostrados anteriormente se procede a cortarlos por la mitad y se realizan las uniones por medio de los cordones de soldadura de las longitudes antes mencionadas.



Foto No 4: Tamaño de las Perforaciones de los pernos a usar.



Foto No 5: Espesor de los Pernos a Usar.



Foto No 6: Elementos Usados en la Soldadura<sup>32</sup>.

### 3.1.3 PROCESO DE MONTAJE AL SISTEMA.

Para el montaje se requiere de todos los elementos a utilizar que son: La Máquina Universal, Las Mordazas, Las Platinas y Los Pernos.



Foto No 7: Maquina Universal – Montaje del Sistema.



Foto No 8: Platina con Soldadura 6011 – con Soldadura 7018.



Foto No 9: Pernos de 4" \* 1/2" y 2" \* 1/2" del Sistema - Mordazas.

**3.2 Segunda Etapa:** En esta etapa, los resultados obtenidos en el laboratorio se tabularán y se graficarán para realizar su respectivo análisis con respecto a los valores teóricos y de ésta manera poder plasmar las conclusiones sobre las conexiones de platinas con soldadura de filete utilizando electrodos 6011 y 7018 ensayadas en este trabajo y a su vez la correlación de los tipos de soldaduras usadas comercialmente.

### 3.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS.

#### 3.2.1.1 SOLDADURA 6011

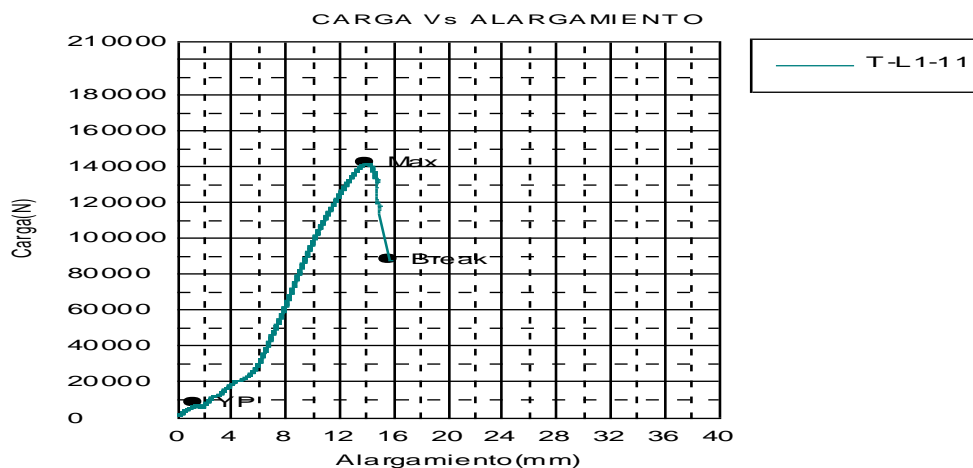
El comportamiento para el electrodo 6011 fue el siguiente dado por los siguientes resultados:

##### 3.2.1.1.1 Primer Caso $w \leq L < 1.5w$

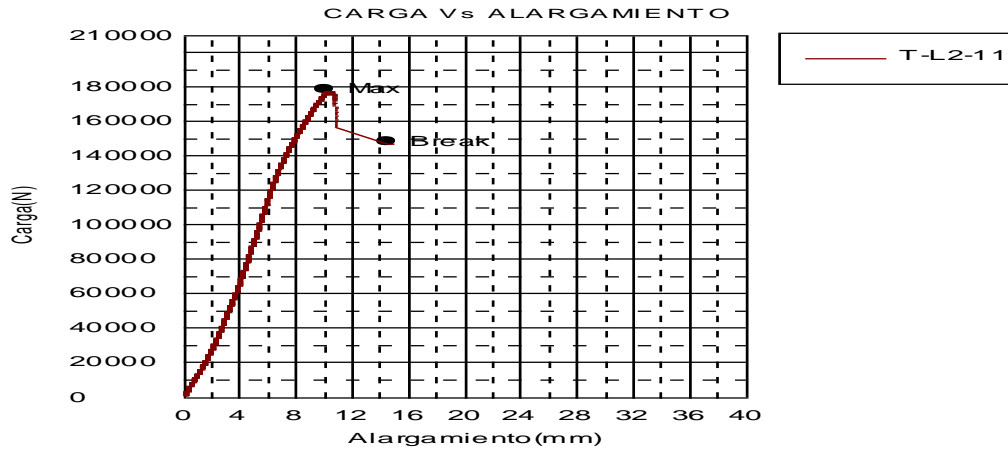
En los tres valores tomados para este caso, fallo por la soldadura.

Cuyos Valores son:

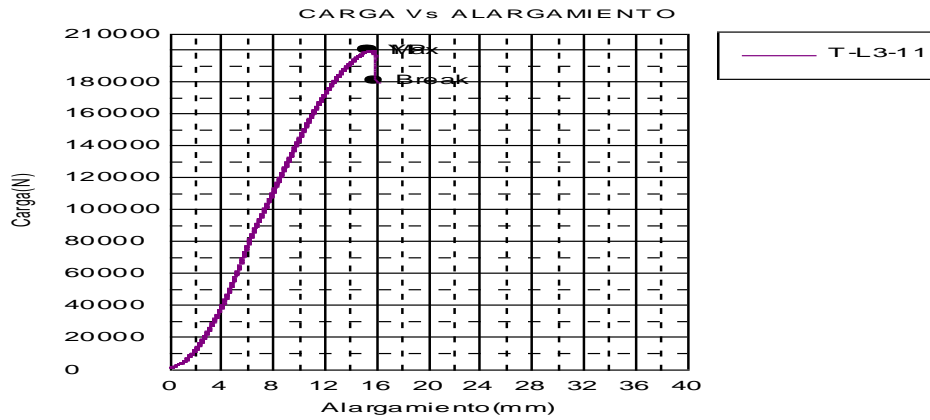
$P_n - L1 = 142.10 \text{ KN}$ ,  $P_n - L2 = 178.00 \text{ KN}$  y  $P_n - L3 = 199.95 \text{ KN}$ .



Gráfica No 2: Comportamiento de la Falla de L1 para 6011.



Gráfica No 3: Comportamiento de la Falla de L2 para 6011.



Gráfica No 4: Comportamiento de la Falla de L3 para 6011.



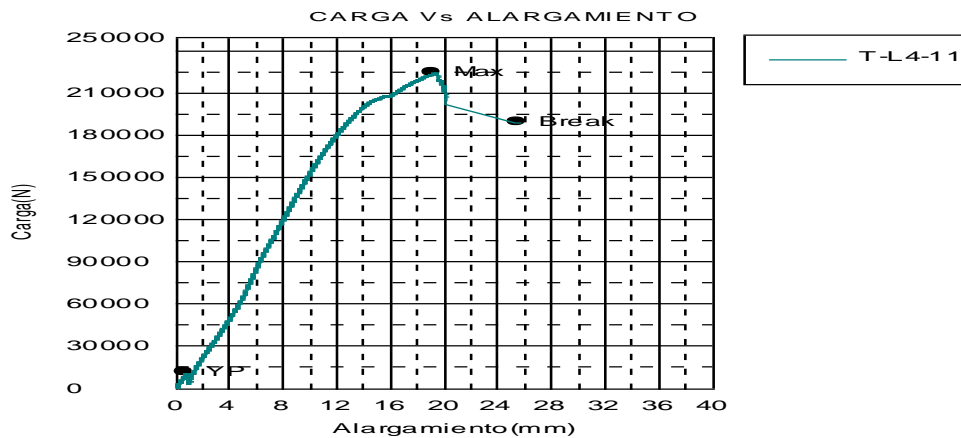
Foto No 10: Platina Soldada Antes del Ensayo – Platina Después de Ensayada de Frente – Platina Después de Ensayada de Perfil.

### 3.2.1.1.2 Segundo Caso $1.5w \leq L < 2w$

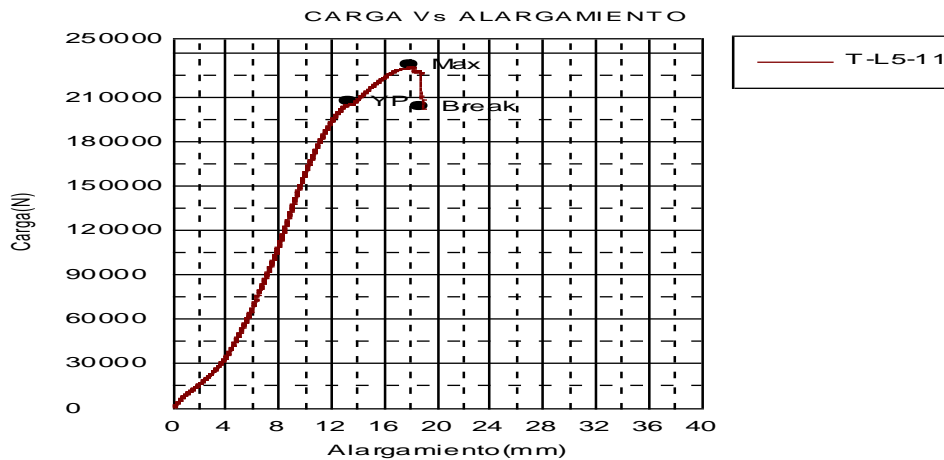
En los tres valores tomados para este caso, la falla se presentó por la soldadura.

Cuyos Valores son:

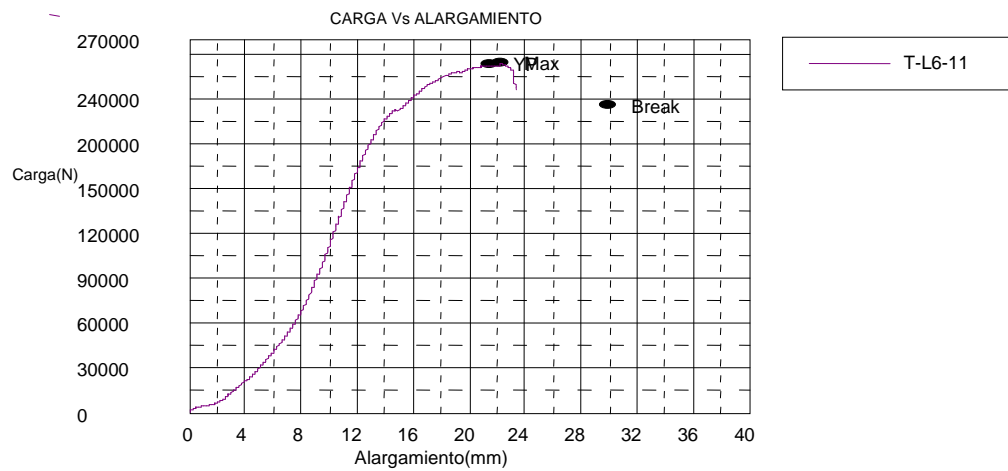
$P_n - L4 = 224.69 \text{ KN}$ ,  $P_n - L5 = 231.16 \text{ KN}$  y  $P_n - L6 = 252.69 \text{ KN}$ .



Gráfica No 5: Comportamiento de la Falla de L4 para 6011.



Gráfica No 6: Comportamiento de la Falla de L5 para 6011.

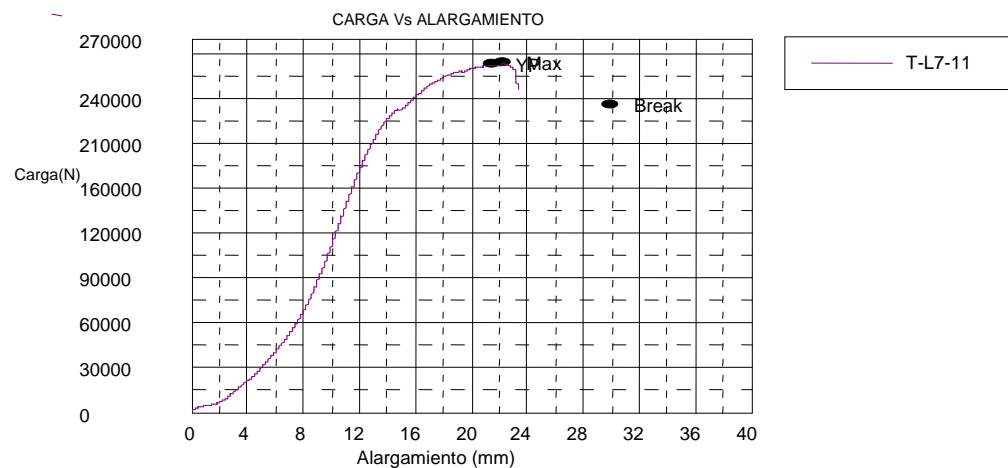


Gráfica No 7: Comportamiento de la Falla de L6 para 6011.

### 3.2.1.1.3 Tercer Caso $2w \leq L$

En el primer valor tomado para este caso, la falla se presentó por Fractura en Placa, luego no se aplica para los demás datos. Cuyos Valores son:

$$P_n - L7 = 254.35 \text{ KN.}$$



Gráfica No 8: Comportamiento de la Falla de L7 para 6011.





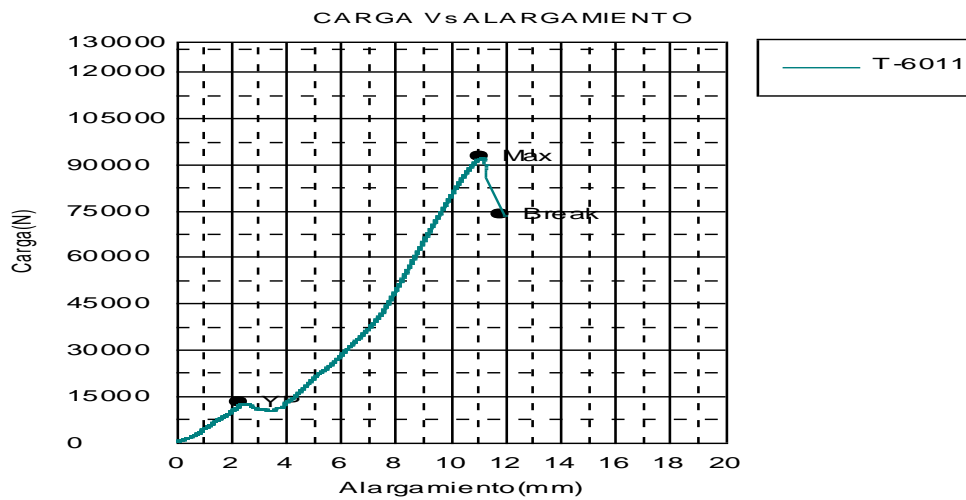
Foto No 11: Platina Fallada por Fractura en Platina 2" \* 1/2".

### 3.2.1.1.4 Transversal

El valor tomado para este caso, la falla se presentó por la soldadura.

Cuyo Valor es:

$P_n - \text{Transversal} = 92.64 \text{ KN}$ ,



Gráfica No 9: Comportamiento de la Falla Transversal para 6011.



Foto No 12: Platina Antes del Ensayo – Platina Ensayada.

<i>Longitudes</i>	<i>Tipo de Falla</i>	<i>Pn Teórico</i>	<i>Pn Experimental</i>
55 mm	<b>Soldadura</b>	131.94	142.10
65mm	<b>Soldadura</b>	155.94	178.00
75mm	<b>Soldadura</b>	179.93	199.95
80mm	<b>Soldadura</b>	191.92	224.69
90mm	<b>Soldadura</b>	215.91	231.16
100mm	<b>Soldadura</b>	239.90	252.69
105mm	<b>Fractura</b>	251.90	254.35
115mm	<b>No Aplica</b>	-	-
125mm	<b>No Aplica</b>	-	-
<i>Transversal</i>	<b>Soldadura</b>	121.87	92.64

Tabla No 5: Tipo de Falla – Relación Pn Teórico vs. Experimental.

En la tabla se muestra los valores arrojados antes del ensayo a través del cálculo teórico y además el valor real obtenido experimentalmente con el tipo de falla dado para los casos del electrodo 6011.

### 3.2.1.2 SOLDADURA 7018

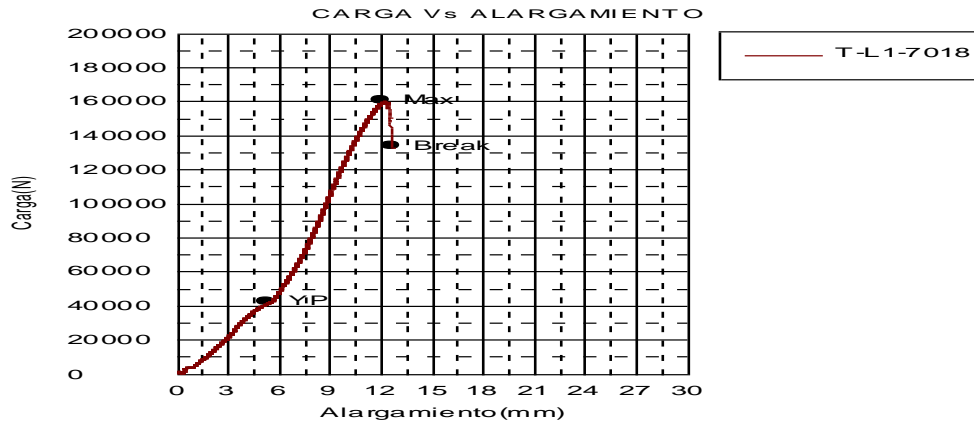
El comportamiento para el electrodo 7018 fue el siguiente dado para los siguientes resultados:

#### 3.2.1.2.1 Primer Caso $w \leq L < 1.5w$

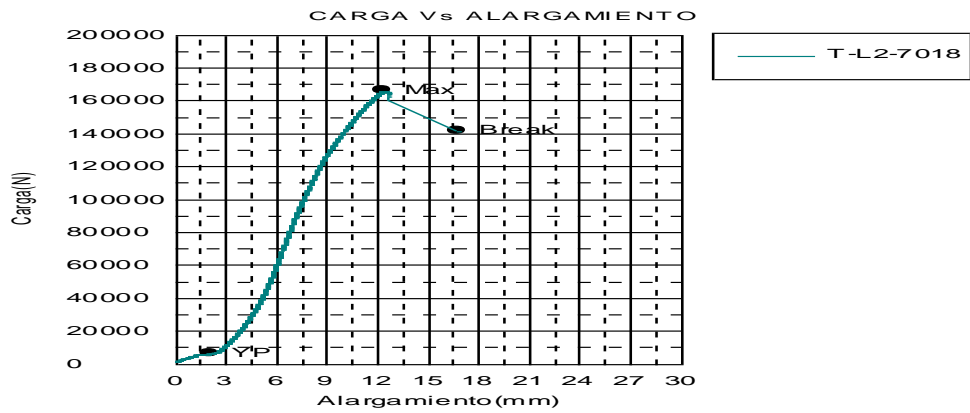
En los tres valores tomados para este caso, la falla se presentó por la soldadura.

Cuyos Valores son:

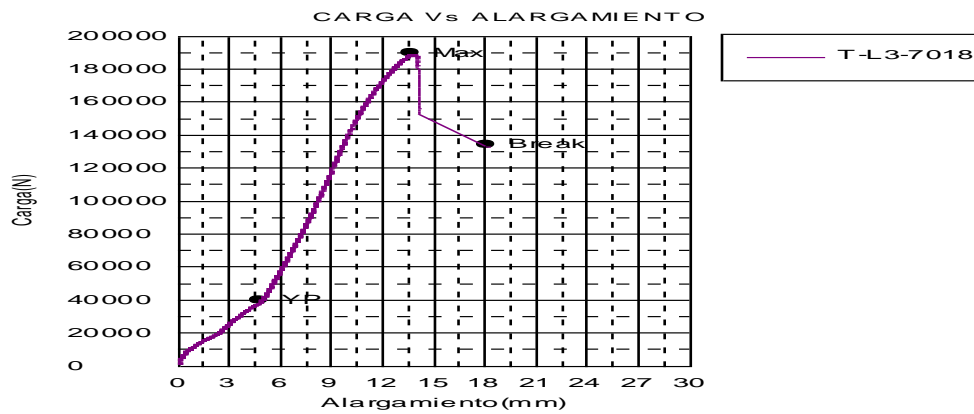
$P_n - L1 = 160.58 \text{ KN}$ ,  $P_n - L2 = 166.14 \text{ KN}$  y  $P_n - L3 = 189.38 \text{ KN}$ .



Gráfica No 10: Comportamiento de la Falla de L1 para 7018.



Gráfica No 11: Comportamiento de la Falla de L2 para 7018.



Gráfica No 12: Comportamiento de la Falla de L3 para 7018.

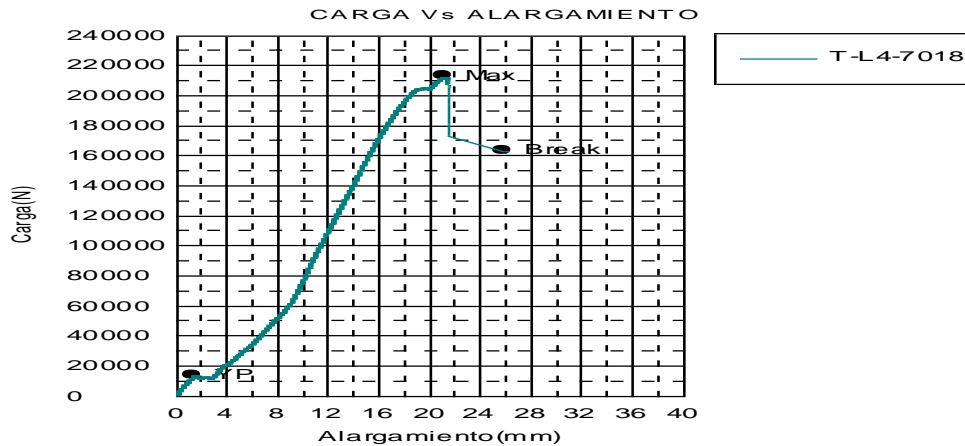


Foto No 13: Platina Después de Ensayada.

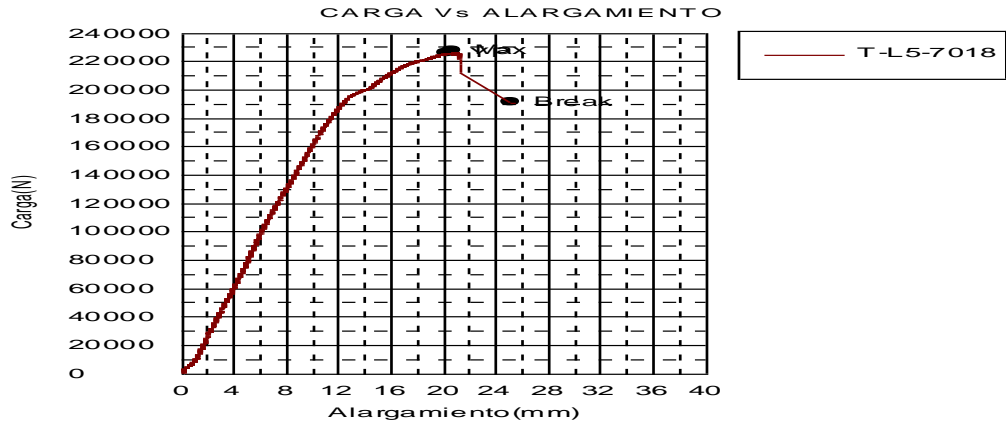
### 3.2.1.2.2 Segundo Caso $1.5w \leq L < 2w$

En el último valor tomado para este caso, la falla se presentó por Fractura en Placa, los demás fueron por la falla en la soldadura. Cuyos Valores son:

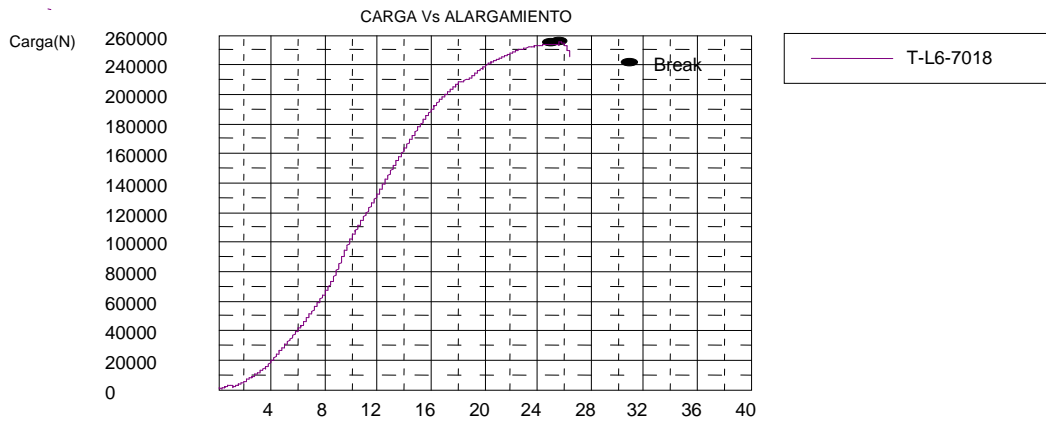
$P_n - L_4 = 212.73$ ,  $P_n - L_5 = 227.17$  y  $P_n - L_6 = 255.06$  KN.



Gráfica No 13: Comportamiento de la Falla de L4 para 7018.



**Gráfica No 14: Comportamiento de la Falla de L5 para 7018.**



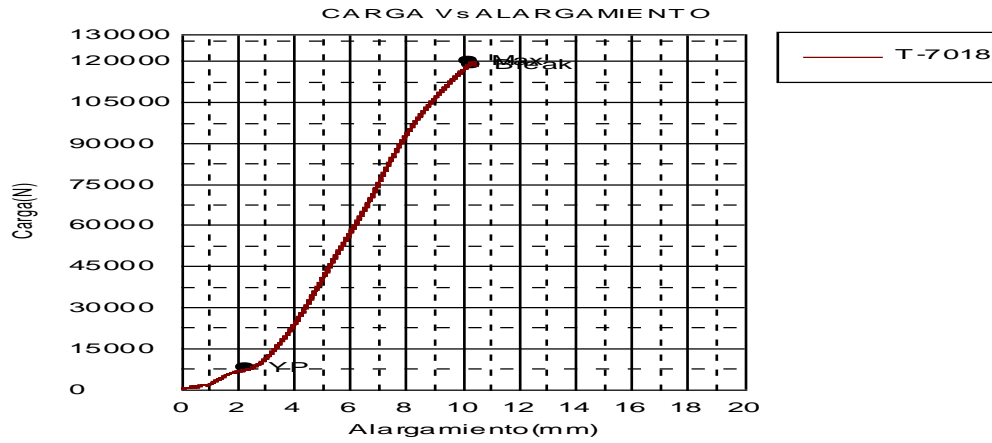
**Gráfica No 15: Comportamiento de la Falla de L6 para 7018.**



**Foto No 14: Platina Fallada por Fractura en Platina 2" \* 1/2".**

### 3.2.1.2.3 Transversal

El valor tomado para este caso, la falla se presentó por la soldadura.  
Cuyo Valor es:  
 $P_n - \text{Transversal} = 120.15 \text{ KN}$ ,



Gráfica No 16: Comportamiento de la Falla Transversal para 7018.



Foto No 15: Platina Ensayada.

<i>Longitudes</i>	<i>Tipo de Falla</i>	<i>Pn Teórico</i>	<i>Pn Experimental</i>
<i>55 mm</i>	<b>Soldadura</b>	153.93	160.58
<i>65mm</i>	<b>Soldadura</b>	181.92	166.14
<i>75mm</i>	<b>Soldadura</b>	209.92	189.38
<i>80mm</i>	<b>Soldadura</b>	223.92	212.73
<i>90mm</i>	<b>Soldadura</b>	251.90	227.17
<i>100mm</i>	<b>Fractura</b>	279.89	255.06
<i>105mm</i>	<b>No Aplica</b>	-	-
<i>115mm</i>	<b>No Aplica</b>	-	-
<i>125mm</i>	<b>No Aplica</b>	-	-
<i>Transversal</i>	<b>Soldadura</b>	142.18	120.15

Tabla No 6: Tipo de Falla – Relación Pn Teórico vs. Experimental.

En la tabla se muestra los valores arrojados antes del ensayo a través del cálculo teórico y además el valor real obtenido experimentalmente con el tipo de falla dado para los casos del electrodo 7018.

### 3.2.2 ANALISIS DE RESULTADOS.

#### 3.2.2.1 RELACIÓN DE FUERZAS DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018, DEL Pn TEORICO - Pn EXPERIMENTAL.

Los valores aquí mostrados nos dan la pauta del comportamiento que se esperaba teóricamente con espesores del cordón de soldadura de acuerdo al diámetro de las varillas usadas que en nuestro caso son 3/32” y el resultado experimentalmente.

A continuación los valores calculados y obtenidos de las fuerzas teóricamente (T) y experimentalmente (E), para cada tipo de electrodo.

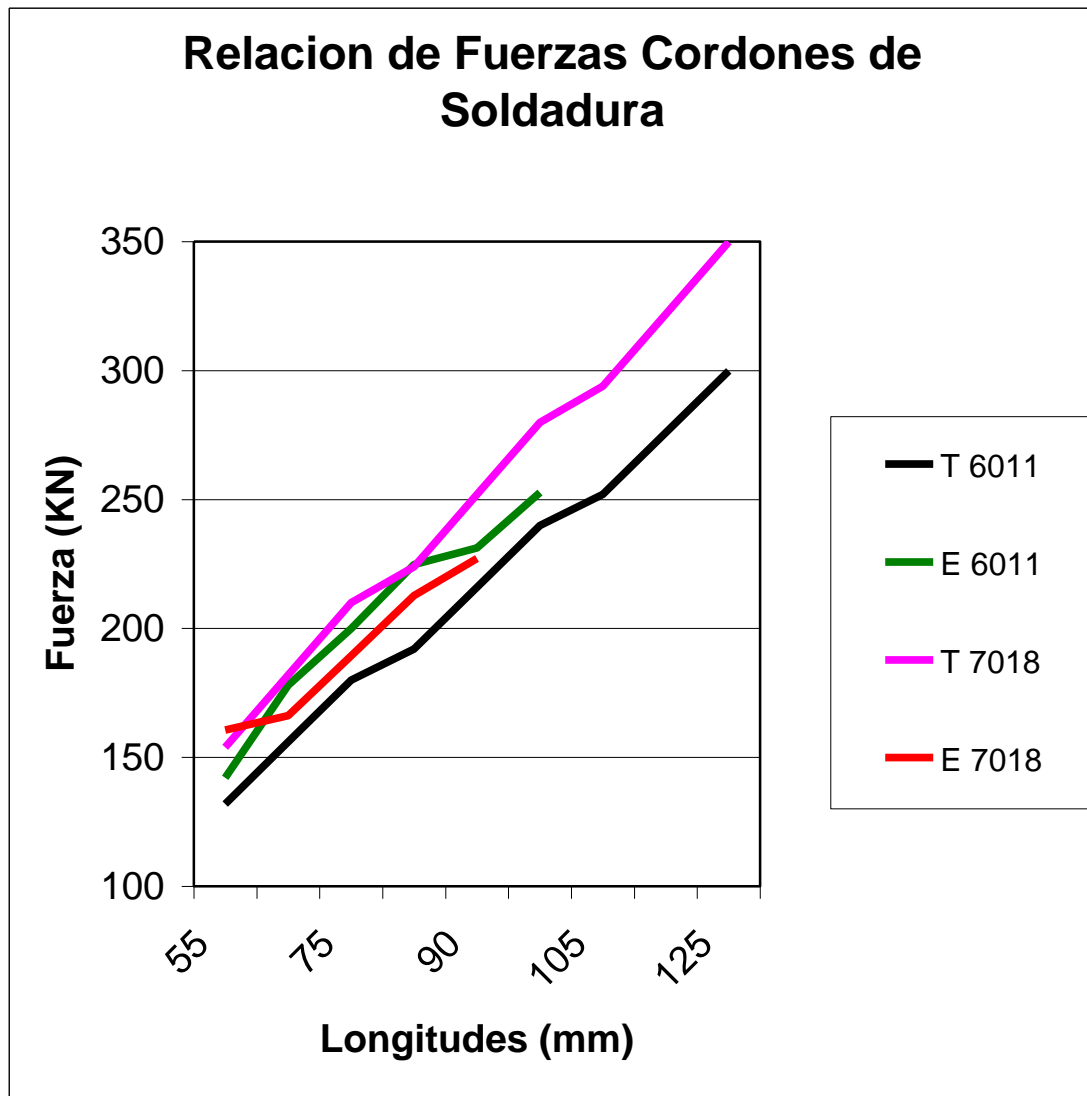
<i>Longitudes</i>	<i>Pn Teórico 6011</i>	<i>Pn Experimental 6011</i>	<i>Pn Teórico 7018</i>	<i>Pn Experimental 7018</i>
<i>55 mm</i>	131.94	142.10	153.93	160.58
<i>65mm</i>	155.94	178.00	181.92	166.14
<i>75mm</i>	179.93	199.95	209.92	189.38
<i>80mm</i>	191.92	224.69	223.92	212.73
<i>90mm</i>	215.91	231.16	251.90	227.17
<i>100mm</i>	239.90	252.69	279.89	255.06
<i>105mm</i>	251.90	254.35	-	-
<i>Transversal</i>	121.87	92.64	142.18	120.15

Tabla No 7: Relación Pn Teórico vs. Pn Experimental de Soldadura 6011 - 7018.

Cabe notar que en esta gráfica se muestra el comportamiento que tiene la resistencia real de los cordones de soldaduras donde se destaca que el electrodo 6011 mantiene su tendencia de aumento en la resistencia y directamente proporcional a la longitud de la soldadura y adicional cercana a la teórica del electrodo 7018 según cálculos tomados con la ecuación 12 de este libro donde los valores teóricos son cercanos a los valores experimentales dando una confiabilidad en los diseños.

En cambio, el electrodo 7018 sus valores tendieron a dar valores por debajo de los resultados esperados en determinación teórica, dando a primera vista una conclusión poco confiable en los resultados esperados.





Gráfica No 17: Relación de las Fuerzas Teóricas - Experimentales.

#### 3.2.2.2 RELACIÓN DEL % DE ERROR DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018, DEL Pn TEORICO – Pn EXPERIMENTAL.

$$\% \text{ Error} = \frac{(\text{Valor Absoluto } (P_n \text{ Teórico} - P_n \text{ Experimental}))}{P_n \text{ Teórico}} * 100 \%$$

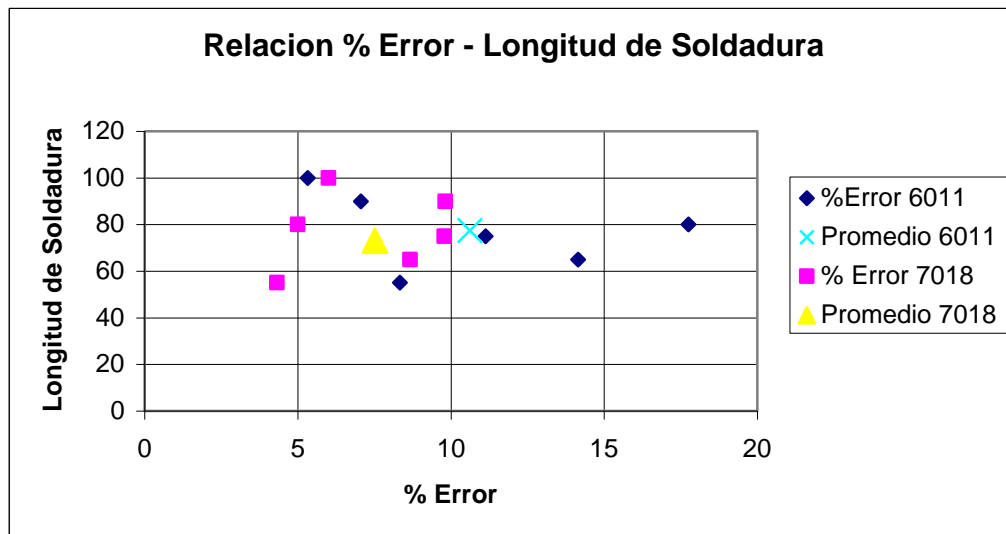
<i>Longitudes</i>	<b>% DE ERROR 6011</b>	<b>% DE ERROR 7018</b>
<i>55 mm</i>	8.33	4.32
<i>65mm</i>	14.15	8.67 *
<i>75mm</i>	11.13	9.79 *
<i>80mm</i>	17.75	5.00 *
<i>90mm</i>	7.06	9.82 *
<i>100mm</i>	5.33	No Aplica
<i>105mm</i>	No Aplica	No Aplica
<i>Transversal</i>	23.99 *	15.49 *

Tabla No 8: Relación % Error vs. Pn Longitudes de los Cordones de Soldadura 6011 - 7018.

\* Corresponden al % error donde su valor Pn obtenido experimentalmente es mayor que Pn teórico de diseño.

Como se puede verificar el porcentaje de error en la soldadura 6011 se mantiene con una tendencia directamente proporcional a la longitud del cordón de soldadura, donde los valores máximos se encuentran en el primer rango.

Para los valores del electrodo 7018 el comportamiento es mucho más variado, ya que en la mayoría de los casos el valor experimental es menor que el diseñado y el teórico.



Gráfica No 18: Relación % de Error – Longitud de Soldadura.

### 3.2.2.3 RELACIÓN DE LOS CORDONES DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018.

En las fotografías se observan la diferente toma de dimensiones realizadas a las muestras y la relación de los valores tomados antes y después del ensayo, obteniendo promedio de los 5 valores tomados al azar por cada muestra.

Se aprecian valores para la soldadura 6011 y la soldadura 7018.



Foto No 16: Espesor Teórico Real de la Longitud de Soldadura  
5 medidas.

Se tomaron las medidas de los resultados obtenidos del espesor de los cordones de soldadura antes de cada ensayo y después del mismo, dando como resultado los siguientes valores para cada electrodo usado.

<b>Medida</b>	<b>55 mm</b>	<b>65mm</b>	<b>75mm</b>	<b>80mm</b>	<b>90mm</b>	<b>100mm</b>	<b>Tras</b>
m1	0.54	0.52	0.55	0.57	0.60	0.61	0.51
m2	0.53	0.56	0.54	0.59	0.59	0.58	0.56
m3	0.55	0.51	0.59	0.53	0.52	0.56	0.53
m4	0.53	0.54	0.50	0.52	0.53	0.54	0.52
m5	0.54	0.57	0.52	0.53	0.51	0.55	0.55
<b>m.prom</b>	<b>0.538</b>	<b>0.54</b>	<b>0.54</b>	<b>0.548</b>	<b>0.55</b>	<b>0.57</b>	<b>0.53</b>

Tabla No 9: Relación de los Espesores Obtenidos Antes – Longitud de los Cordones de Soldadura 6011.

<b>Medida</b>	<b>55 mm</b>	<b>65mm</b>	<b>75mm</b>	<b>80mm</b>	<b>90mm</b>	<b>100mm</b>	<b>Trans</b>
m1	0.51	0.52	0.48	0.51	0.50	0.47	0.50
m2	0.53	0.49	0.50	0.49	0.49	0.48	0.55
m3	0.50	0.50	0.49	0.53	0.46	0.52	0.52
m4	0.53	0.52	0.50	0.52	0.53	0.44	0.51
m5	0.50	0.47	0.48	0.53	0.51	0.50	0.54
<b>m.prom</b>	<b>0.51</b>	<b>0.50</b>	<b>0.49</b>	<b>0.52</b>	<b>0.50</b>	<b>0.48</b>	<b>0.52</b>

Tabla No 10: Relación de los Espesores Obtenidos Después – Longitud de los Cordones de Soldadura 6011.

<b>Medida</b>	<b>55 mm</b>	<b>65mm</b>	<b>75mm</b>	<b>80mm</b>	<b>90mm</b>	<b>Trans</b>
m1	0.59	0.62	0.55	0.61	0.60	0.58
m2	0.58	0.59	0.59	0.59	0.59	0.56
m3	0.57	0.61	0.59	0.63	0.62	0.57
m4	0.60	0.57	0.60	0.62	0.63	0.59
m5	0.58	0.59	0.62	0.63	0.61	0.55
<b>m.prom</b>	<b>0.58</b>	<b>0.60</b>	<b>0.59</b>	<b>0.62</b>	<b>0.61</b>	<b>0.57</b>

Tabla No 11: Relación de los Espesores Obtenidos Antes– Longitud de los Cordones de Soldadura 7018.

<b>Medida</b>	<b>55 mm</b>	<b>65mm</b>	<b>75mm</b>	<b>80mm</b>	<b>90mm</b>	<b>Trans</b>
m1	0.49	0.42	0.35	0.51	0.38	0.38
m2	0.48	0.39	0.39	0.49	0.39	0.37
m3	0.47	0.41	0.39	0.43	0.40	0.39
m4	0.50	0.37	0.40	0.42	0.42	0.35
m5	0.48	0.39	0.42	0.43	0.40	0.43
<b>m.prom</b>	<b>0.48</b>	<b>0.40</b>	<b>0.39</b>	<b>0.52</b>	<b>0.40</b>	<b>0.38</b>

Tabla No 12: Relación de los Espesores Obtenidos Después – Longitud de los Cordones de Soldadura 7018.

### 3.2.2.4 RELACIÓN DE LOS CORDONES PROMEDIOS DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018, ANTES DEL ENSAYO Y DESPUES DEL MISMO.

<b>Medida</b>	<b>Antes 6011</b>	<b>D.6011</b>	<b>Antes 7018</b>	<b>D.7018</b>
m. Prom. Total	0.548	0.50	0.60	0.438
m. Transversal	0.53	0.52	0.57	0.38
m. Teórica	0.44	0.44	0.44	0.44

Tabla No 13: Relación de los Espesores Promedio Antes y Después de cada Ensayo.

Como se puede constatar difícilmente se puede garantizar que el espesor del filete diseñado se lleve a la realidad sin sufrir cambios, lo que puede variar la resistencia del cordón de soldadura, ya que su espesor incide directamente en la resistencia de la misma.

Entre los motivos que se puede mencionar en el momento de aplicar la soldadura sufre variaciones, como lo son: la velocidad de aplicación, la calibración y la posición de la misma ya que se asume que se hace a 90° de la probeta a soldar.

Ahora tomamos el valor promedio del cordón para la soldadura 6011 de 50 mm, transversal es de 52 mm y para 7018 de 43.8 mm, transversal es de 38 mm, estos valores lo remplazamos en la (Ec.12) y tomamos el resultado dado como el nuevo teórico.

### 3.2.2.5 RELACIÓN DE FUERZAS DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018, DEL Pn TEORICO REAL (Después de ensayo) - Pn EXPERIMENTAL.

PARA SOLDADURA 6011

1)  $w \leq L < 1.5w$

**L1 = 55 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 55 * 2 / 100^3 = 138.59 \text{ KN.}$

**L2 = 65 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 65 * 2 / 100^3 = 163.80 \text{ KN.}$

**L3 = 75 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 75 * 2 / 100^3 = 189.00 \text{ KN.}$

2)  $1.5w \leq L < 2w$

**L4 = 80 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 80 * 2 / 100^3 = 201.60 \text{ KN.}$

**L5 = 90 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 90 * 2 / 100^3 = 226.80 \text{ KN.}$

**L6 = 100 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 100 * 2 / 100^3 = 252.00 \text{ KN.}$

3)  $2w \leq L$

**L7 = 105 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.00 * 105 * 2 / 100^3 = 264.60 \text{ KN.}$

TRANSVERSAL

**L = 50.8 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 420 * 10^3 * 5.20 * 50.8 * 2 / 100^3 = 133.14 \text{ KN.}$

PARA SOLDADURA 7018

1)  $w \leq L < 1.5w$

**L1 = 55 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.38 * 55 * 2 / 100^3 = 141.64 \text{ KN.}$

**L2 = 65 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.38 * 65 * 2 / 100^3 = 167.40 \text{ KN.}$

**L3 = 75 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.38 * 75 * 2 / 100^3 = 193.16 \text{ KN.}$

2)  $1.5w \leq L < 2w$

**L4 = 80 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.38 * 80 * 2 / 100^3 = 206.04 \text{ KN.}$

**L5 = 90 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.38 * 90 * 2 / 100^3 = 231.79 \text{ KN.}$

**L6 = 100 mm**

Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 4.38 * 100 * 2 / 100^3 = 257.55 \text{ KN.}$

### TRANSVERSAL

**L = 50.8 mm**

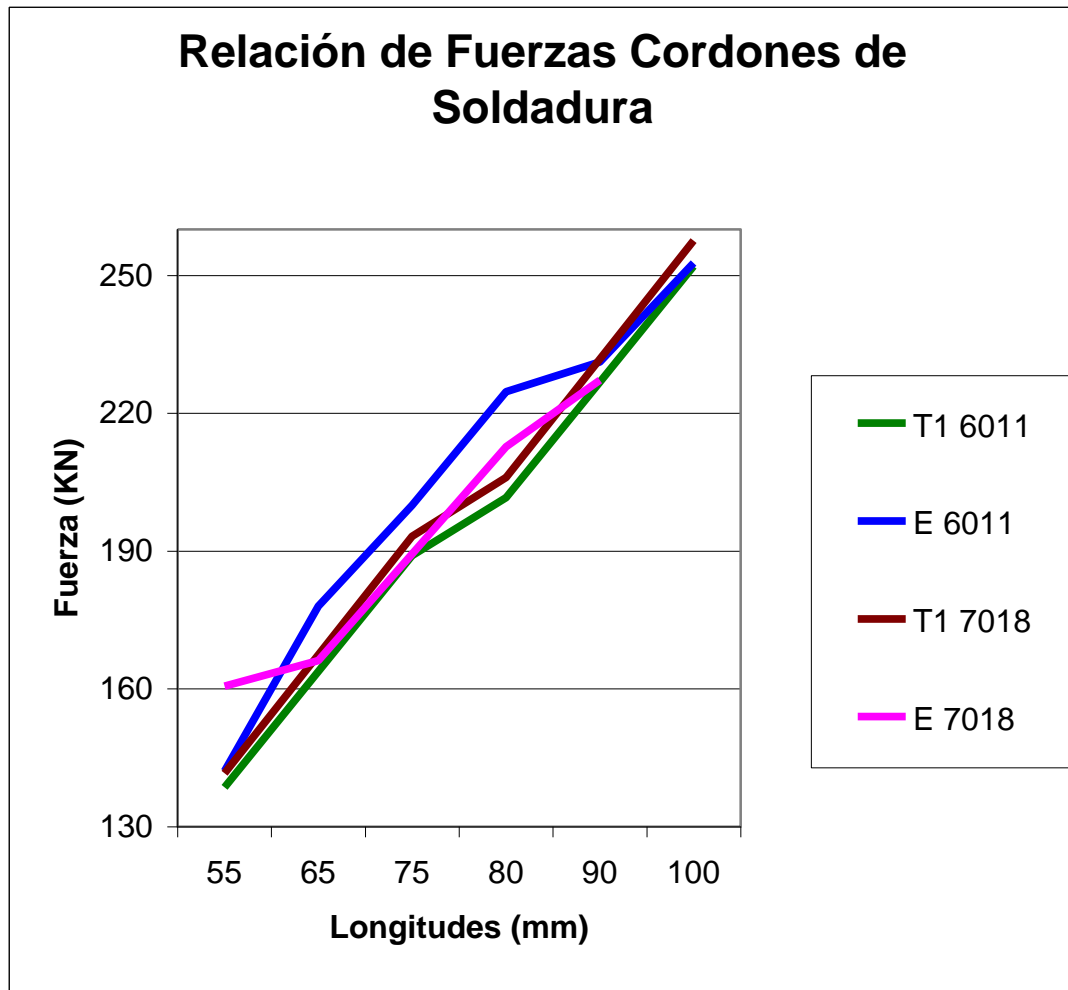
Donde,  $P_n = 0.6 * 490 * 10^3 * 3.80 * 50.8 * 2 / 100^3 = 113.51 \text{ KN.}$

<i>Longitudes</i>	<i>Pn Teórico 6011</i>	<i>Pn Experimental 6011</i>	<i>Pn Teórico 7018</i>	<i>Pn Experimental 7018</i>
<i>55 mm</i>	138.59	142.10	141.64	160.58
<i>65mm</i>	163.80	178.00	167.40	166.14
<i>75mm</i>	189.00	199.95	193.16	189.38
<i>80mm</i>	201.60	224.69	206.04	212.73
<i>90mm</i>	226.80	231.16	231.79	227.17
<i>100mm</i>	252.00	252.69	257.55	255.06
<i>105mm</i>	264.60	254.35	-	-
<i>Transversal</i>	133.14	92.64	113.51	120.15

Tabla No 14: Relación Pn Teórico Real vs Pn Experimental de Soldadura 6011 - 7018.

En esta tabla se ilustran los valores teóricos reales, es decir los espesores de los cordones de soldadura que quedaron después del ensayo tomando 5 valores y luego su promedio entre estos para generalizar el proceso de los cálculos.

A continuación se muestra la relación entre los valores Teóricos (T1) dados por la muestra y promedio de las medidas de los espesores de los cordones de soldadura, con el valor Experimental (E) dado por la maquina universal, dado por cada electrodo de soldadura.



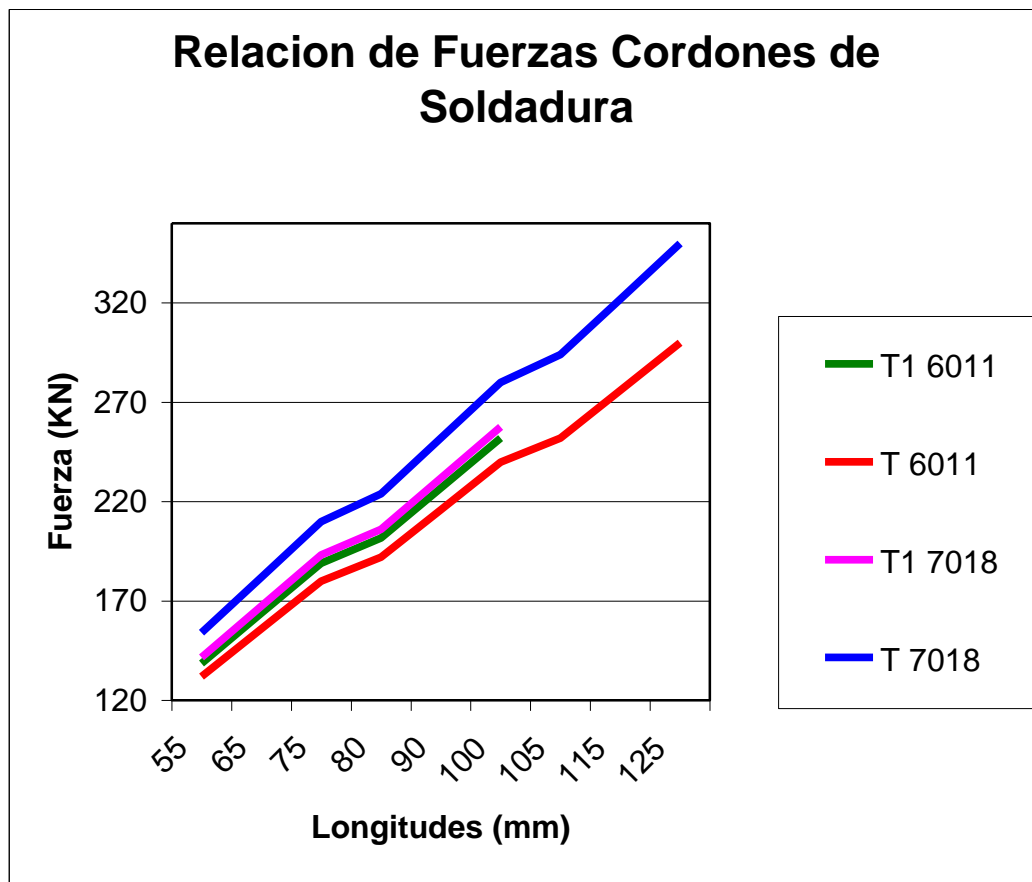
Gráfica No 19: Relación Experimental – Teórica arrojado por el Ensayo.

En esta gráfica se puede apreciar la relación entre las fuerzas dadas por el experimento y calculadas con los espesores promedios después del ensayo realizado, en donde se confirma la apreciación dada en la primera comparación realizada con la teórica antes del ensayo y el valor dado por el experimento. Se aprecia la confiabilidad de los valores determinados teóricamente van a ser inferiores al resultado final, detalle importante de tener en cuenta en el diseño de una estructura con conexiones soldadas con



electrodos 6011, por su parte a pesar que mejoraron los resultados con el electrodo 7018 se mantiene una tendencia de dispersión variada con rangos compartidos por encima y por debajo de los valores experimentales con los valores teóricos esperados.

Permitiendo dar un criterio de seguridad para el uso más frecuente de electrodos de soldadura 6011 muy apesar que la resistencia del electrodo de soldadura 7018 es mayor.



Gráfica No 20: Relación Teórica – Teórica arrojado por el Ensayo.

En esta gráfica se relaciona los valores de las fuerzas de los diseños teóricos dados por el cordón de soldadura de las tablas N°2 y N°3; y los valores teóricos arrojados por la medida promedio de los cordones de soldadura tomados por el calibrador, con las longitudes de los rangos ya establecidos, donde nos confirma lo que hasta ahora se ha mantenido la tendencia de que el valor teórico esperado para el electrodo 6011 con respecto al valor teórico

de diseño mantuvo su mejoría en los valores, cosa que no sucedió con el electrodo 7018 donde en vez de mejorar bajo su valor y muy a pesar de su disminución, no alcanzó los valores experimentales quedando por encima o muy cercanos al mismo.

### 3.2.2.6 RELACIÓN DEL % DE ERROR DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018, DEL Pn TEORICO REAL (Después del ensayo) - Pn EXPERIMENTAL.

$$\% \text{ Error} = \frac{\text{Valor Absoluto (Pn Teórico Real} - \text{Pn Experimental))} * 100 \%}{\text{Pn Teórico Real}}$$

<i>Longitudes</i>	<b>% DE ERROR Real 6011</b>	<b>% DE ERROR Real 7018</b>
<i>55 mm</i>	2.53	13.37
<i>65mm</i>	8.67	0.75 *
<i>75mm</i>	5.79	1.96 *
<i>80mm</i>	11.45	3.25
<i>90mm</i>	19.22	1.99 *
<i>100mm</i>	0.27	No Aplica
<i>105mm</i>	No Aplica	No Aplica
<i>Transversal</i>	30.42 *	5.85

Tabla No 15: Relación % Error Real vs Pn Longitudes de los Cordones de Soldadura 6011 - 7018.

\* Estos datos fueron los que el valor experimental es menor que el teórico.

Como se puede verificar el porcentaje de error en la soldadura 6011 se mantiene con una tendencia directamente proporcional a la longitud del cordón de soldadura, donde los valores máximos se encuentran en el segundo rango.

Para los valores del electrodo 7018 el comportamiento es mucho más variado, ya que nos arroja valores por debajo al esperado en los diseños.

### 3.2.2.7 RELACIÓN DE LAS DEFORMACIONES DE LA SOLDADURA 6011 - SOLDADURA 7018

Para determinar la deformación de un elemento es necesario obtener el modulo de Elasticidad (E) del elemento y el esfuerzo ultimo del elemento.

La Ecuación a usar para Deformación = Esfuerzo / Modulo de Elasticidad.  
Donde el modulo de elasticidad E = 200 GPa.

A continuación se relación los esfuerzos arrojados por la maquina universal para cada uno de los electrodos y rangos tomados.

LONGUITUD DE SOLDADURA (mm)	ESFUERZO (N/mm <sup>2</sup> ) 6011	ESFUERZO (N/mm <sup>2</sup> ) 7018
55	174.07	263.56
65	291.28	279.78
75	355.39	263.62
80	374.04	322.64
90	401.30	377.10
100	406.64	No Aplica
Transversal	582.50	936.38

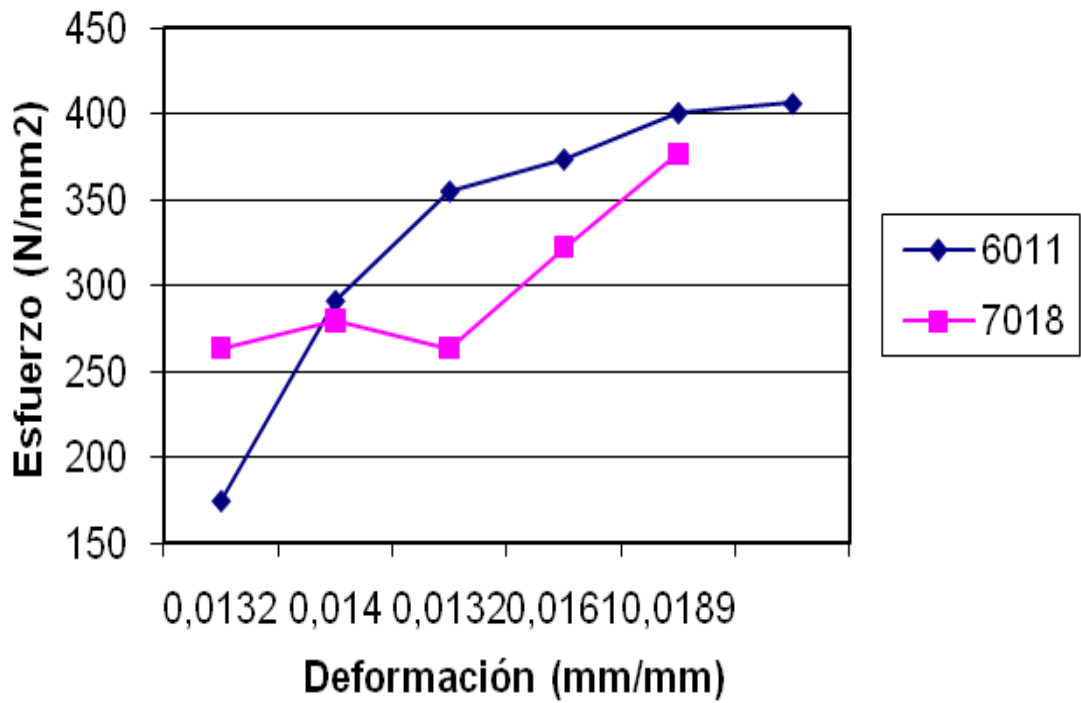
Tabla No 16: Relación de los Esfuerzos de los Cordones de Soldadura 6011 – 7018 para cada Longitud usada.

Desarrollando los cálculos con la formula anterior quedarían los resultados como se muestra en la siguiente tabla así:

LONGUITUD DE SOLDADURA (mm)	DEFORMACION (mm/mm) 6011	DEFORMACION (mm/mm) 7018
55	0.0087	0.0132
65	0.0146	0.0140
75	0.0178	0.0132
80	0.0187	0.0161
90	0.0201	0.0189
100	0.0203	No Aplica
Transversal	0.0291	0.0468

Tabla No 17: Relación de las Deformaciones de los Cordones de Soldadura 6011 – 7018 para cada Longitud usada.

### Relación de los Esfuerzos con las Deformaciones en la Soldadura 6011 - 7018



Gráfica No 21: Relación de los Esfuerzos con las Deformaciones en la soldadura 6011 - 7018.

#### 4. CONCLUSIONES

- ✓ Después de realizadas las pruebas de laboratorio se determina que la ecuación que se utiliza para calcular la resistencia de los cordones de soldadura, tiene un comportamiento favorable y cercano al real o experimental.
- ✓ Se observó que en los casos de las placas diseñadas no alcanzan a cumplir el límite máximo de soldadura  $L > 2w$ , para los dos tipos de electrodos usados.
- ✓ De los aspectos interesantes de los resultados experimentales es que el diseño con electrodos de soldadura 6011 en elementos metálicos es más confiable, ya que los elementos como los pernos o las mismas placas o platinas son prediseñadas, en cambio el cordón se realiza en el lugar a trabajar en la mayoría de los casos.
- ✓ Luego de analizar los resultados entre los dos electrodos usados y aprobados por la norma colombiana para conexiones soldadas, y muy a pesar que la resistencia teórica del electrodo 7018 es mayor a la del electrodo 6011, sorpresivamente se obtuvo un porcentaje mayor de confiabilidad de resistencia a la falla del electrodo 6011, ya que una de las características importantes de este tipo de electrodo es la manera de aplicación, permitiendo una adherencia más fuerte entre los dos metales soldados, por eso se dice su característica de aplicación es de Raíz.
- ✓ Después de hacerle un seguimiento a la conexión soldada de los elementos a experimentar y de contar con un soldador de experiencia y de la calificación 1 A, siempre se encuentran variaciones en los espesores en todos los cordones de soldadura, así se trate de aplicar

con la misma velocidad de aplicación relativamente similar para todas las platinas.

- ✓ La anterior afirmación define que es difícil garantizar que el espesor del filete diseñado se lleve a la realidad sin sufrir cambios, lo que varía la resistencia ya que el espesor es el factor directo de la misma.
- ✓ Otro aspecto a destacar es que no se cumplen es el espesor teórico vs espesor experimental de los cordones de soldadura ya que el teórico se rige con unos valores dados en la Tabla No 2: Tabla de Tamaño Mínimo de Soldadura y Tabla No 3: Tabla de Tamaño Máximo de Soldadura, respectivamente, donde se definen los rangos de los cordones aplicables a las conexiones soldadas.
- ✓ 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, la calidad en la misma, el transformador con el que se realiza el proceso de la soldadura, la superficie en la cual se aplica la soldadura, si hay o no presencia de escoria o oxidación de la superficie del material y la presencia o ausencia de humedad en la varilla de soldadura en el momento de hacer la fundición, generando poros o vacíos en el cordón de soldadura variando así la resistencia de la misma.
- ✓ Podemos sugerir que es más confiable los resultados esperados en el electrodo de soldadura 6011, ya que se encuentra muy por encima de los cálculos obtenidos teóricamente antes del ensayo, y los valores en el electrodo de soldadura 7018 la tendencia de los resultados arrojó valores por debajo de los cálculos obtenidos teóricamente antes del ensayo.
- ✓ Tomando en cuenta la limitante que se tenía con respecto a la capacidad de la maquina Universal de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, de un valor de 500 KN de los cuales por recomendaciones del fabricante de no pasarla del 90 % de su capacidad es decir 450 KN, se obstaculiza la posible realización de ensayos para poder determinar si las observaciones anteriormente

nombradas mantienen su tendencia a mayores longitudes de soldadura y de espesores del mismo.

- ✓ A lo anterior se suma el hecho importante de la relación del ancho del material  $W$ , ya que la longitud de la soldadura depende de este dato, y con la capacidad instalada como se puede aumentar el espesor sin disminuir su anchura  $W$ , y así comparar los porcentajes de error si se mantienen o varían en mayor proporción.
- ✓ De los aspectos difíciles de controlar y que son limitantes es la calidad del material de las láminas ensayadas, pues muy a pesar que se adquirió media lámina para mantener la homogeneidad del material, no poder controlar que todas las láminas del mercado mantendrán la misma tendencia en el comportamiento de la resistencia de su material ( $F_y$ ) a la hora del ensayo.
- ✓ En el momento de la soldadura, el material depositado y zonas vecinas a la unión, alcanzan temperaturas muy altas, que al enfriarse se contraen. Si las contracciones no están impedidas por los elementos que rodean la soldadura, se originan deformaciones tales como acortamientos o deformaciones angulares, para evitar las deformaciones de este tipo la soldadura debe efectuarse sin que se aporte excesivo calor.
- ✓ La calidad de los electrodos (Tensión de rotura, límite elástico, alargamiento de rotura y resiliencia) debe ser similar a la del material base. Si los electrodos presentan excesiva resistencia, producirán una unión defectuosa.

## 5. RECOMENDACIONES

- ✓ Es importante desarrollar más ensayos variando los espesores de los materiales respetando su anchura  $W$  y manteniendo su homogeneidad.
- ✓ Se recomienda realizar ensayos con el mismo espesor del material y dimensiones desarrolladas en este proyecto pero con espesores de soldadura de uso comercial, para verificar si la tendencia del % Error se mantiene producido por los valores dados teóricamente con relación al experimental.
- ✓ A lo anterior también se aconseja desarrollar ensayos con materiales del mismo espesor pero de diferente lámina para determinar si se mantiene su tendencia y su homogeneidad en los resultados de la recomendación anterior.
- ✓ Tener en cuenta mecanismos que lleven al mejoramiento de la calidad en la aplicación de los cordones de soldadura en el sitio de trabajo, ya que el mayor limitante en estas aplicaciones son las humanas y este método es estructuralmente muy efectivo pero también implica desgaste en el soldador que lo realiza llevando así en un factor que incida en la calidad de su aplicación.
- ✓ Lo anterior lleva a sugerir un seguimiento no solo en los espesores de la soldadura como algo generalizado, sino como una alternativa adicional en el tiempo con relación a las horas trabajadas de un operador y la calidad de su aplicación, factor que al final marca una variación de la resistencia de la soldadura.



- ✓ Resultaría conveniente conseguir apoyo de instituciones o empresas privadas para el desarrollo de investigaciones, ya que el número de muestras es una limitante debido al factor económico.
  
- ✓ Con el punto anterior se podría empezar a desarrollar ensayos para el primer rango  $L < 1.5 W$  determinado para los cordones de soldadura y luego solo valores para el segundo rango dado para los cordones de soldadura  $1.5 W \leq L < 2 W$  y comparar las tendencias de los dos rangos si se mantienen o varían.
  
- ✓ Para evitar fisuras o grietas en las soldaduras, se deben usar electrodos adecuados y evitar un enfriamiento de la soldadura demasiado rápido, especialmente en piezas de espesores considerables que no hayan sido precalentadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ Análisis y diseño de estructuras metálicas Método LRFD, Editorial Alfa omega, McCormack.
- ✓ Diseño de estructuras metálicas con LRFD, Segunda edición, Editorial Thompson, William Seguí.
- ✓ Steel Structures. Controlling behavior through design, John Wiley & Sons. Robert Englekirk.
- ✓ Steel Structures. Design and behavior, fourth Edition, Prentice Hall. Charles G. Salmon y John E. Johnson.
- ✓ Norma Colombiana Sismo Resistente 2010 (NSR-10), Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS).
- ✓ Manual of Steel Construction, Load & Resistance Factor Design. (LRFD), American Institute of Steel Construction Inc (AISC), 1998.
- ✓ Proyecto de Grado Verificación Experimental de la Resistencia de la Soldadura sobre Perfiles Angulares de Acero A-36 (UPB. 2009 Julián Salazar).
- ✓ Estadística para Ingenieros, capítulo 8 y 9 segunda edición, Editorial Wilson, Montgomery.

### ➤ *Direcciones electrónicas*

\* [http://www.drweld.com/filete\\_simbolo.htm](http://www.drweld.com/filete_simbolo.htm) (Gráficos extraídos)

\* <http://www.mailxmail.com/curso-soldadura-arco-manual-electrico-fundamentos/clasificacion-identificacion-electrodos>.