

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En el campo de la construcción es práctica común que para lograr continuidad en barras de acero para refuerzo de hormigón, se tenga que recurrir a técnicas como el traslape. Cuando el traslape no es una solución práctica, o no lo permitan los reglamentos de construcción, se recurre a técnicas como los conectores mecánicos y la soldadura con arco eléctrico con electrodo cuando el acero es soldable.

En Bolivia esta última opción no se la aplica a pesar de que cuenta con varias importadoras de acero estructural corrugado soldable, lamentablemente se evita el empleo de la soldadura en los empalmes para la continuidad de la armadura.

Esto se debe a la falta de información o estudios académicos sobre el uso de la soldadura en estos aceros.

En países vanguardistas, el uso de la soldadura es parte vital en la construcción civil, ya que brinda mayores beneficios de diseño, costo y tiempo, además rompe lo convencional dando lugar a nuevas metodologías y uso del hormigón armado.

1.2. Formulación del problema

¿Se podría considerar el uso de la soldadura en los empalmes como una alternativa para lograr la continuidad de la armadura, si se contaría con un estudio basado en normas que garanticen la resistencia y calidad de la misma?

1.3. Sistematización del problema

Variables dependientes

- Elaboración de empalmes con soldadura, uso y metodología de la misma

Variables independientes

- Tipo de acero corrugado.
- Diámetros del acero corrugado.
- Tipo de empalmes elaborados,
- Normas de la soldadura y ensayos de laboratorio.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. General

- Realizar un análisis experimental en aceros de construcción **CA-50 S** soldados por arco eléctrico, para presentar una alternativa del uso o no de la soldadura en empalmes.

1.4.2. Específicos

- Elaborar probetas para calibración del equipo soldador, (colocado de la soldadura de raíz y la soldadura de relleno).
- Elaborar probetas para ensayo a tracción y macro ataque.
- Realizar ensayos de MACRO ATAQUE para determinar la calidad de la soldadura.
- Realizar el ensayo de resistencia a TRACCIÓN en aceros de construcción CA-50 S previamente soldados y no soldados
- Comparar los resultados de resistencia a la tracción de elementos soldados con elementos NO soldados.

1.5. Justificación

1.5.1. Teórica.

Para la valides del presente trabajo de investigación se hará huso de las siguientes normas.

- Para el soldado de las probetas: la norma AWS D1.1/1M: 2010 y AWS D1.4/D1.4M: 2005
- Para el ensayo a tracción: la norma ASTM A 370: American Section of the International Association for Testing Materials

Además todo lo aprendido en las materias cursadas, darán veracidad el presente trabajo.

1.5.2. Metodológica

Para lograr el cumplimiento de los objetivos del estudio se procederá de la siguiente manera:

- Seleccionamos la soldadura por arco eléctrico con electrodos revestidos.
- Seleccionamos diámetros de los aceros de construcción y tipos de empalme para elaborar las probetas.

- Procederemos al soldado de las probetas en aceros de construcción.
- Se hará ensayo de macro ataque y tracción con los siguientes equipos de laboratorio en metalografía y maquina universal (prensa Hamsler)

Posteriormente se analizaran los resultados obtenidos de los ensayos y se hará una comparación con los ensayos de las probetas no soldadas

1.5.3. Práctica

De acuerdo con los objetivos del proyecto de investigación, los resultados obtenidos permiten validar la incorporación o no de una nueva alternativa concreta sobre el uso adecuado de la soldadura en las armaduras del hormigón armado y estructuras metálicas soldadas.

1.6. Hipótesis

Como parte de este estudio surgen las siguientes hipótesis:

- La soldadura por arco eléctrico *no afecta de manera considerable* las propiedades mecánicas de los elementos soldados.
- La falla o ruptura por fuerzas externas en los elementos soldados generalmente *es adyacente al lugar soldado*.

1.7. Alcance del estudio

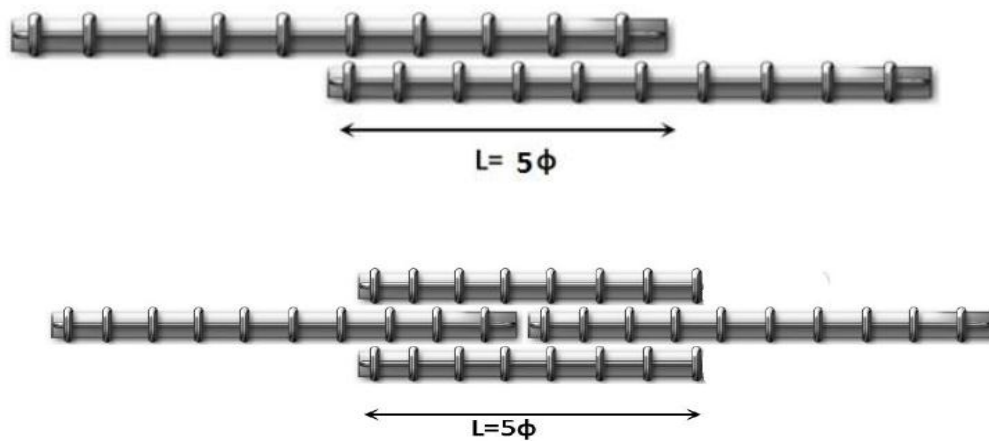
1.7.1. Tipo de estudio

El estudio se regirá en realizar un diagnóstico a la *soldadura por arco eléctrico y su impacto sobre los aceros de construcción CA-50 S* mediante ensayos de CONTROL DE CALIDAD y RESISTENCIA A LA TRACCION.

- **Para el control de calidad de la soldadura**, se empleara el ensayo destructivo de MACRO ATAQUE, con este ensayo podremos determinar la penetración de la soldadura (raíz y de relleno) y la inclusión y la porosidad de la soldadura.
- **Para los ensayos de resistencia**
Para el elemento macizo sometido a tracción se tiene, aceros de construcción **CA-50 S** de 8 mm 10 mm y 12 mm de diámetros respectivamente y las probetas son

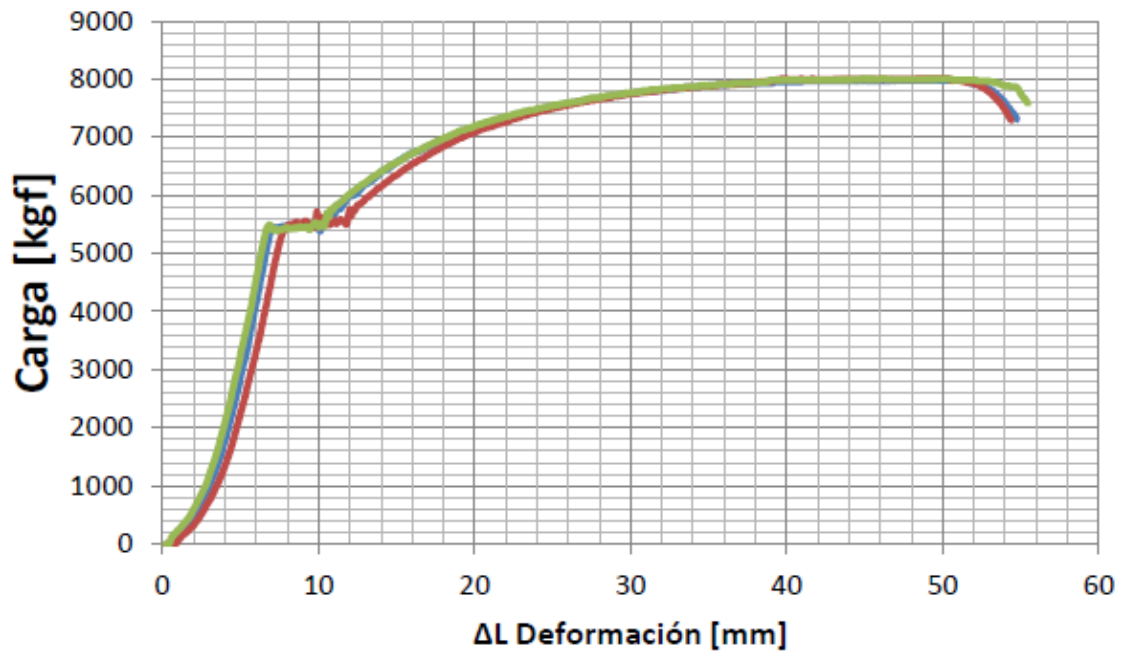
como se muestran en la *figura 1.2*, estos diámetros fueron elegidos de acuerdo a la capacidad del equipo de ensayo a tracción que se tenía a disposición.

(Figura 1.2)



De los ensayos a tracción obtendremos la siguiente gráfica correspondiente a cada una de las probetas

(Figura 1.3)



Además los siguientes valores:

- *Límite de Fluencia del acero de construcción CA-50 S*
- *Resistencia a la tracción del acero de construcción CA-50 S*
- *Alargamiento porcentual del acero de construcción CA-50 S*

El material utilizado para la elaboración de las probetas proviene de la importadora de aceros FERROTUDO la misma cuenta con una gama de aceros y hierros certificados. Se utilizará electrodos de la línea CONARCO

Para los ensayos de control de calidad se lo hará en un taller de soldadura, donde se realizaran las probetas ya que cuenta con todo el equipo necesario.

Para los ensayos de resistencia de la soldadura se utilizara la prensa HAMSLER en la cual se hará el ensayo a tracción y se lo hará en el laboratorio de maderas de la carrera de Ingeniería Forestal

1.8. Lugar del estudio

El presente proyecto se realizara en la ciudad de Tarija provincia Cercado en las inmediaciones del laboratorio de maderas de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en la zona el Tejar y la elaboración de las probetas junto con el ensayo de macro ataque, se lo hará en el taller de soldadura del señor Julián Fernández Beltrán, ubicado en el barrio aeropuerto, pasaje Juan Doraquis.

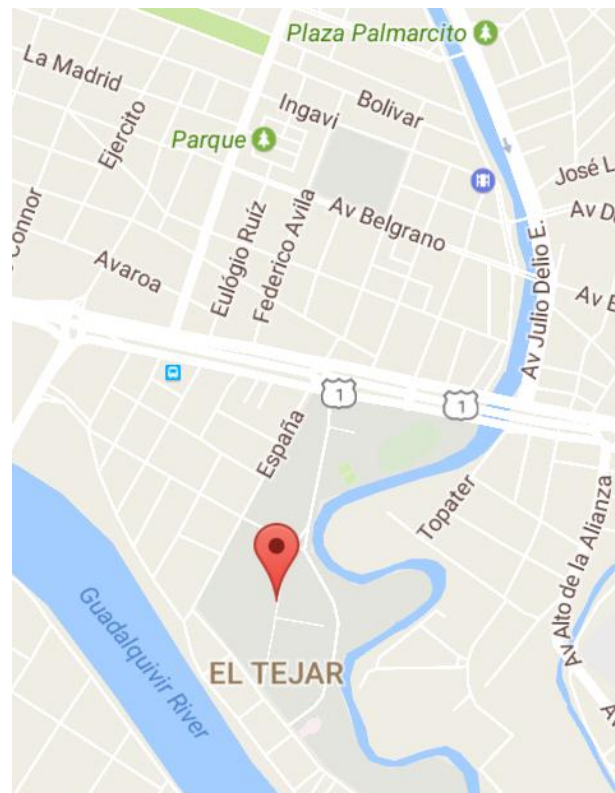
(Figura 1.4 la Tarija la chura)



(Figura 1.5 foto satelital)



(Figura 1.6 Ubicacion por GPS del Campus Universitario)



2. MARCO TEORICO

2.1. La soldadura definición y clasificación.

2.1.1. *Definiciones de soldadura.*

Se llama soldadura a la unión de dos piezas metálicas de igual o parecida composición, de forma que la unión quede rígida y estática. Esto se consigue por fusión o por la aportación de otro metal de enlace.

2.1.2. *Tipos de soldadura por fusión.*

- Soldadura autógena.
- *SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO*



Soldadura autógena



SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO

Los procedimientos de soldadura en arco pueden agruparse en cuatro:

- *SOLDADURA POR ARCO MANUAL CON ELECTRODOS REVESTIDOS.*
- Soldadura por electrodo no consumible protegido.
- Soldadura por electrodo consumible protegido.
- Soldadura por arco sumergido.

2.2. Soldadura por arco manual con electrodo revestido (SMAW o MMA).

La soldadura con electrodo manual constituye el proceso que en la actualidad cuenta con el mayor porcentaje de material depositado por soldadura. La razón de esto lo constituye la gran versatilidad del método, la gran variedad de materiales que el mismo permite soldar, y las excelentes propiedades mecánicas que se obtienen en las juntas soldadas, si

las mismas son ejecutadas adecuadamente. El proceso consiste en el establecimiento de un arco entre el extremo de un electrodo consumible y la pieza que se suelda. De esta manera, el arco provee la energía térmica necesaria para la fusión de la pieza y del electrodo que se emplea como material de aporte.

Inicialmente, se empleó una varilla de alambre desnudo como electrodo. Las soldaduras así obtenidas, aunque adecuadas para ciertos usos, adolecían en general de marcada fragilidad debido al alto contenido de oxígeno y nitrógeno en el depósito. Esto condujo a la idea de proteger el arco de la contaminación de los gases ambientales mediante una atmósfera reductora provista por un recubrimiento que se puede aplicar al electrodo y que, al quemarse en el arco, brindará la protección adecuada. De este modo nacieron los electrodos revestidos como se les conoce actualmente, aunque los recubrimientos han evolucionado de modo de que en muchos casos, la acción protectora del revestimiento se manifiesta no solamente mediante la formación de una atmósfera reductora sino también por la acción de un manto de escoria que interactúa con el metal a alta temperatura.

En la actualidad, las funciones del revestimiento pueden resumirse de la siguiente manera:

- Proteger el arco evitando la contaminación del metal fundido con los gases atmosféricos (especialmente Nitrógeno, Oxígeno e Hidrógeno)
- Proveer una escoria que proteja, refine e interactúe con el metal a alta temperatura, eliminando impurezas e incorporando si es necesario elementos de aleación.
- Proveer elementos cuya volatilización en el arco contribuyan a la estabilidad del mismo (esto es particularmente importante cuando se emplea corriente alterna).
- El revestimiento debe facilitar la soldadura en distintas posiciones: vertical, horizontal y en techo; realizar según su naturaleza, un cordón convexo o cóncavo (soldadura en ángulo interior).

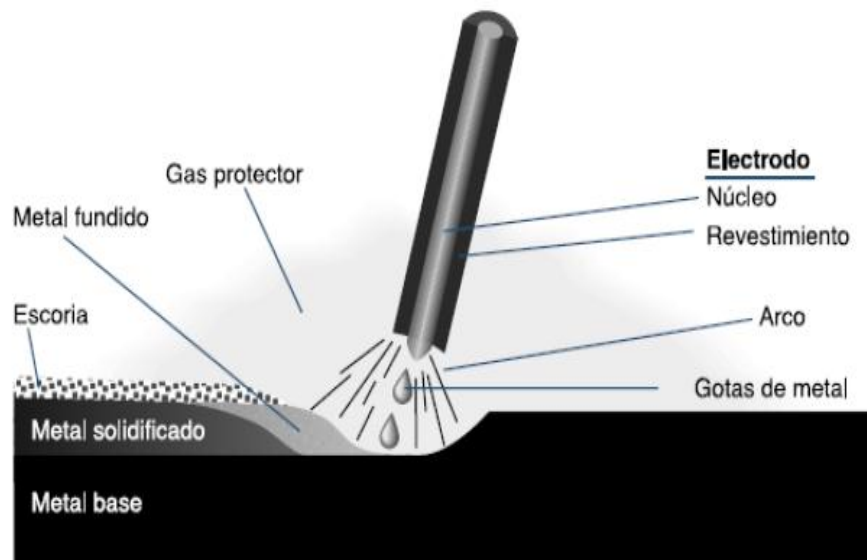
Como se indicó anteriormente, la principal característica del proceso de soldadura por electrodo revestido es la versatilidad.

Con una adecuada formulación del revestimiento es posible soldar cualquier posición. El diámetro de los alambres que constituyen las varillas varían entre 0.8-8 mm

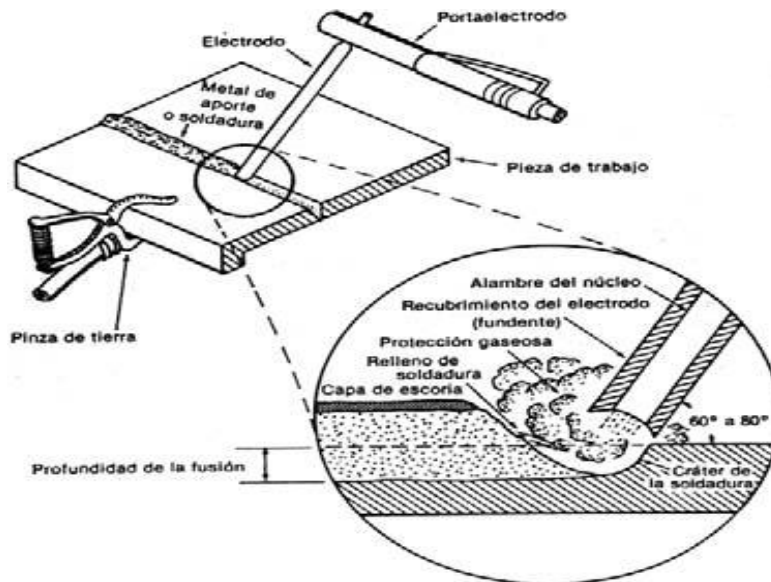
aproximadamente y su longitud entre unos 35-45 cm. El rango de corrientes varía correspondientemente entre 50 y 350 Amps, que es el máximo que un operador puede controlar sin excesivas dificultades.

En electrodos para aceros al carbono y de baja aleación (e incluso en algunos electrodos para acero inoxidable), el alambre empleado es de acero efervescente de bajo carbono (0.1 max. aprox). El agregado de los elementos de aleación al cordón de soldadura se efectúa vía escoria, cargando el revestimiento de los electrodos con las correspondientes ferroaleaciones.

Fig. 2.1 Esquema de soldadura por arco manual con electrodo revestido



(Figura 2.2 Esquema de soldadura por arco manual con electrodo revestido)

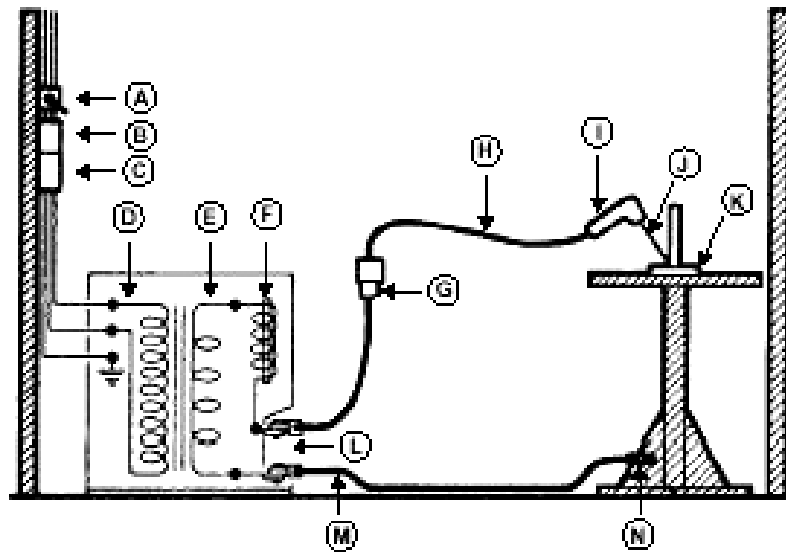


Dentro del campo de la soldadura industrial, la soldadura eléctrica manual al arco con electrodo revestido es la más utilizada. Para ello se emplean máquinas eléctricas de soldadura que básicamente consisten en transformadores que permiten modificar la corriente de la red de distribución, en una corriente tanto alterna como continua de tensión más baja, ajustando la intensidad necesaria según las características del trabajo a efectuar.

A continuación la Fig. 2.3 presenta la instalación segura de un puesto de soldadura.

(Figura 2.3 Instalación segura de un puesto de soldadura)

A Interruptor	H Cable del electrodo
B Toma de corriente	I Porta-electrodo
C Enchufe	J Electrodo
D Bobinado primario	K Pieza
E Bobinado secundario	L Borne de conexión
F Bobinado impedancia	M Cable de toma de tierra
G Conector aislado	N Pinza de tierra



2.3. Electrodo, fabricación.

El material de aporte que se usa en el proceso se conoce como electrodo y consiste en una varilla metálica, generalmente acero, recubierta de un revestimiento concéntrico de flux extruido y seco. La fabricación de electrodos se realiza en dos líneas en paralelo: varilla o alma, y revestimiento.

2.3.1. *Fabricación de la varilla.*

La materia prima, el alambón de 6 a 8 mm de diámetro, que la siderurgia suministra en rollos o bobinas, de aproximadamente 1.000 kg. El fabricante comprueba la composición a partir del análisis químico de un despunte de la bobina y posteriormente ésta pasa a una devanadora protegida por una campana metálica, en donde el alambón se retuerce y desprende el óxido adherido en el tren de laminado en caliente. A esta etapa se le denomina decapado mecánico. Al ser la fabricación de electrodos un proceso continuo, los extremos de cada bobina se empalman por resistencia eléctrica, eliminando las rebabas de la soldadura con muela de esmeril.

Seguidamente el alambón pasa a las cajas de trefilado donde tiene lugar una reducción progresiva de diámetro hasta el deseado, utilizando sustancias lubricantes para facilitar la operación y evitar un endurecimiento del alambre, que le haga quebradizo. A

continuación se desengrasa o se lava con agua el polvo de jabón adherido a su superficie. Los diámetros del alma son normalmente 1.6, 2, **2.5**, 3, 3.25, 4, 5 y 6 mm, siendo los más utilizados los señalados en negrita. Una máquina endereza y corta las varillas a un ritmo entre 580 y 1400 cortes/minuto, en función de su diámetro.

2.3.2. Fabricación del revestimiento.

Para el revestimiento se suelen utilizar hasta cuarenta minerales y sustancias distintas, como arena de zirconio, rutilo, celulosa, caolín, mármol, polvo de hierro, FeSi, FeTi, FeMn, etc. Se realiza un análisis individualizado de la calidad y composición de estos productos.

La selección, origen y dosificación de cada componente que va a intervenir en la composición del revestimiento es un secreto celosamente guardado por los fabricantes. Una vez escogido cada componente, se machaca y criba hasta conseguir la granulometría adecuada y se dosifica mediante un programa de computadora, pasando de un sistema de tolvas específicas de cada producto a una tolva central, donde seguidamente se homogenizan mediante vibradores distribuyéndose después la mezcla en tolvas destinadas a producción.

Para aglutinar la mezcla seca y darle consistencia se agrega silicato sódico o silicato potásico. Una vez obtenida la mezcla húmeda se vierte en una prensa en donde penetra la varilla por un lado saliendo recubierta en toda su longitud por el lado opuesto. Se comprueba la excentricidad del recubrimiento y se cepillan ambos extremos de la varilla revestida. Uno, para el ajuste de la pinza portaelectrodos y el otro, para facilitar el cebado de arco. Se marcan con la identificación del fabricante y el tipo de electrodo según American Welding Society, AWS.

El secado previo se lleva a cabo haciéndolos pasar por un horno de funcionamiento continuo, cuya temperatura se incrementa gradualmente para evitar que se agriete y se desprenda el revestimiento. Para electrodos tipo rutilo normal, el secado previo a una temperatura es de aproximadamente 100 °C es suficiente. Para electrodos básicos, después de este secado previo se pasan a hornos convencionales de aire para darles un secado final a 400-450 °C, con el fin de que el contenido de H₂O a 1.000 °C según AWS,

sea inferior a 0,4%. De esta forma, se asegura que el contenido de hidrógeno sea inferior a 10 cc. por cada 100 gr/metal depositado.

Posteriormente se empaquetan en cajas de cartón o metálicas. Aquéllas suelen protegerse de la humedad con plástico termorretráctil. En general, debe seguirse la regla de que los materiales de aporte deben embalsarse de tal forma que no sufran deterioros, ni se humedezcan, ni se sequen.

2.4. Revestimiento de los electrodos.

2.4.1. *Composición del revestimiento.*

La composición de los revestimientos suele ser muy compleja. Se trata generalmente de una serie de sustancias orgánicas y minerales. En la fabricación de la pasta para el revestimiento suelen intervenir:

- Óxidos naturales: óxidos de hierro, ilemita (50% óxido férrico y 50% óxido de titanio), rutilo (óxido de titanio), sílice (óxido de silicio).
- Silicatos naturales: caolín, talco, mica, feldepasto...
- Productos volátiles: celulosa, serrín...
- Fundentes
- Productos químicos: carbonatos, óxidos...
- Ferroaleaciones: de Mn, Si, Ti...
- Aglomerantes: silicato sódico, silicato potásico.

Sin embargo, la naturaleza, dosificación y origen de los componentes permanece en secreto por parte del fabricante que en la práctica se limita a garantizar la composición química del metal depositado y sus características mecánicas: carga de rotura, límite elástico, alargamiento y resiliencia (tenacidad).

2.5. Funciones del revestimiento y funciones de la escoria.

2.5.1. *Función eléctrica.*

a. Cebado de arco. En general, las sustancias que se descomponen produciendo gases fácilmente dissociables exigen tensiones de cebado de arco más elevadas, debido al calor absorbido en la disociación, que es un proceso endotérmico. Con corriente alterna, se

necesitan tensiones de cebado más altas. Los silicatos, carbonatos, óxidos de Fe, óxidos de Ti, favorecen el cebado y el mantenimiento del arco

b. Estabilidad del arco. La estabilidad del arco depende, entre otros factores, del estado de ionización de los gases comprendidos entre el ánodo y el cátodo. Para un arco en corriente alterna es imprescindible un medio fuertemente ionizado. Por este motivo se añaden al revestimiento, entre otras sustancias, sales de sodio y de potasio.

2.5.2. *Función física.*

Una misión fundamental del revestimiento es evitar que el metal fundido entre en contacto con el oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno del aire, ya sea por la formación de un gas protector alrededor del camino que han de seguir las gotas del metal fundido y después, mediante la formación de una abundante escoria que flota por encima del baño de fusión.

El revestimiento debe ser versátil y permitir generalmente la soldadura en todas las posiciones. En ello interviene dos factores:

- a.** El propio espesor del revestimiento,
- b.** Su naturaleza, que determina la viscosidad de la escoria, que es necesaria para mantener la gota en su lugar a través de su propia tensión superficial y para proteger el baño fundido del contacto con el aire.

El revestimiento del electrodo se consume en el arco con una velocidad lineal menor que el alma metálica del mismo. Como resultado, el recubrimiento queda prolongado sobre el extremo del alma y forma un cráter que sirve para dirigir y concentrar el chorro del arco, disminuyendo sus pérdidas térmicas.

2.5.3. *Función metalúrgica.*

El revestimiento dispone de elementos que se disuelven en el metal fundido con objeto de mejorar las características mecánicas del metal depositado.

2.5.4. *Función de la escoria:*

- Reduce la velocidad de enfriamiento de la soldadura por su efecto aislante;
- Reduce el número de inclusiones en la soldadura, al eliminar un gran número de impurezas;
- Produce en el baño una verdadera micrometalurgia, desoxidando, desnitrurando, desfosforando y desulfurando el metal fundido;
- Aísla el baño de elementos con los que tiene gran afinidad: oxígeno, nitrógeno, hidrógeno ya sea a través de escorias o gases protectores.

2.6. **Características y propiedades de los electrodos.**

La American Welding Society (AWS), clasifica a los electrodos revestidos, para el sistema de soldadura por arco manual, como se especifica en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Clasificación de electrodos revestidos. Ref. “manual de soldadura” AWS

Electrodos para acero al carbono	AWS-A.5.1
Electrodos para aceros de baja aleación	AWS-A.5.5
Electrodos para aceros inoxidable	AWS-A.5.4

2.6.1. *Electrodos para acero al carbono.*

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con los criterios siguientes:

- Tipo de corriente a utilizar.
- Tipo de recubrimiento.
- Posición de soldadura aconsejable.
- Composición química del metal depositado.
- Propiedades mecánicas del metal depositado.

2.6.2. Electrodo para aceros de baja aleación.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con idénticos criterios que los de acero al carbono, e incluyen las clases siguientes:

- Clase A: Aceros al carbono-molibdeno.
- Clase B: Aceros al cromo-molibdeno.
- Clase C: Aceros al níquel.
- Clase D: Aceros al manganeso-molibdeno.
- Clase N: Aceros al níquel-molibdeno.
- Clase G: Aceros de baja aleación, no incluidos en las otras clases.

2.6.3. Electrodo para aceros inoxidables.

Estos electrodos se clasifican de acuerdo con su composición química, propiedades mecánicas y tipo de corriente e incluyen aceros en los que el cromo excede del 4% y el níquel no supera el 37% de la aleación.

2.6.4. Descripción y simbología de los electrodos según AWS.

Las especificaciones más comunes para la clasificación de electrodos según la AWS son las siguientes:

Especificación para electrodos revestidos de acero al carbono, designación AWS: A5.1-91.

Especificación para electrodos revestidos de aceros de baja aleación, designación AWS: A5.5-96.

Especificación para electrodos revestidos de aceros al cromo, y cromo-níquel resistentes a la corrosión, designación AWS: A5.4-92.

Especificación para varillas de aporte en uso oxiacetilénico y/o TIG, designación AWS: A5.2-92.

Especificación para electrodos revestidos para soldaduras de Fe fundido, designación AWS: A5.15-90.

Especificaciones para electrodos continuos y fundentes para Arco Sumergido, designación AWS: A5.17-97.

Especificaciones para electrodos de aceros dulces, para soldadura con electrodos continuos protegidos por gas (MIG), designación AWS: A5.18-93.

En la especificación para aceros al carbono de electrodos revestidos, el sistema de clasificación está basado en la resistencia a la tracción del depósito. La identificación de clasificación, está compuesta de la letra E y cuatro dígitos. (Ver Tabla 2.2).

Tabla 2.2 simbología de los electrodos revestidos

EXXYZ	
Elemento	Significado
E	Electrodo para arco eléctrico
XX	Resistencia a la tensión en lb/in ²
Y	Posición de aplicación: <i>1 Cualquier posición</i> <i>2 Vertical</i> <i>3 Horizontal</i>
Z	Características de la corriente: <i>0 CC invertida</i> <i>1 CC y CA sólo invertida</i> <i>2 CC (directa) y CA</i> <i>3 CC y CA (directa)</i>

Tabla 2.3 extraído de la norma AWS

AWS A5.1-91, Especificación para Electrodo de Acero al Carbono para Soldadura al Arco con Metal Protegido		
Clasificación AWS	Esfuerzo de Tensión Nominal (ksi)	Límite de Fluencia Nominal (ksi)
E6010	60	48
E6011	60	48
E6012	60	48
E6013	60	48
E6019	60	48
E6020	60	48
E6022	60	n/s
E6027	60	48
E7014	70	58
E7015	70	58
E7016	70	58
E7018	70	58
E7024	70	58
E7027	70	58
E7028	70	58
E7018M	70	53 a 72
E7048	70	58

Nota General: n/s = no especificado.

2.7. Recomendaciones de la norma AWS (American Welding Society) para soldaduras.

Esfuerzo en la soldadura La tensión admisible a tracción o compresión en los empalmes a tope directo con juntas de penetración completos y soldaduras acanaladas en V, deberá ser el mismo que la tensión admisible correspondiente al metal base, bajo la condición de que el metal de aporte usado tenga una resistencia a la tracción que a lo menos sea igual a la del material que se está soldando. En soldaduras con cordones longitudinales, el esfuerzo admisible en la sección transversal del filete deberá estar de acuerdo con la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 extraído de la norma AWS

Tipo de soldadura	Tipo de esfuerzo en la soldadura		Tensiones admisibles	Resistencia requerida del metal de aporte
Junta de penetración completa Soldadura de ranura	Tracción normal al área efectiva		Igual que en el metal base	Se deberá utilizar un metal de aporte adecuado, según lo indicado en la Tabla 3.3.
	Compresión normal al área efectiva		Igual que en el metal base	Se deberá utilizar un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o una clasificación (10 ksi [70 Mpa]) menor
	Corte en el área efectiva		0,30 x Resistencia nominal a la tracción del metal de aporte, exceptuando el esfuerzo de corte en el metal base el cual no debe exceder 0,40 x tensión de fluencia del metal base	Se puede utilizar un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor al metal de aporte seleccionado
Con garganta de medio bisel o con bisel en V Soldadura de ranura	Compresión normal al área efectiva	Unión no diseñada al aplastamiento	0,5 X Resistencia nominal a tracción del metal de aporte, exceptuando esfuerzos en el metal base los cuales no deben exceder 0,60 x tensión de fluencia del metal base	Se puede utilizar un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor al metal de aporte seleccionado
		Unión diseñada al aplastamiento	Igual que en el metal base	
	Corte en el área efectiva		0,30 x Resistencia nominal a la tracción del metal de aporte, exceptuando el esfuerzo de corte en el metal base el cual no debe exceder 0,40 x tensión de fluencia del metal base	
	Tracción normal al área efectiva		0,30 x Resistencia nominal a la tracción del metal de aporte, exceptuando el esfuerzo de corte en el metal base el cual no debe exceder 0,60 x tensión de fluencia del metal base	
Soldadura de filete	Corte en el área efectiva		0,30 x Resistencia nominal a la tracción del metal de aporte	Se puede utilizar un metal de aporte con un nivel de resistencia igual o menor al metal de aporte seleccionado

* Para la definición del área neta efectiva ver el punto 3.4

^b Para la fatiga o cargas dinámicas consúltese los códigos actuales de construcción o especificaciones para valores admisibles de cargas

^c El ingeniero debe tener precaución con la resistencia de los alambres soldados en frío, puesto que esta puede reducirse al soldar

^d Para la selección del metal de aporte, véase la Tabla 3.3.

2.8. Áreas, longitudes y espesores efectivos en la soldadura.

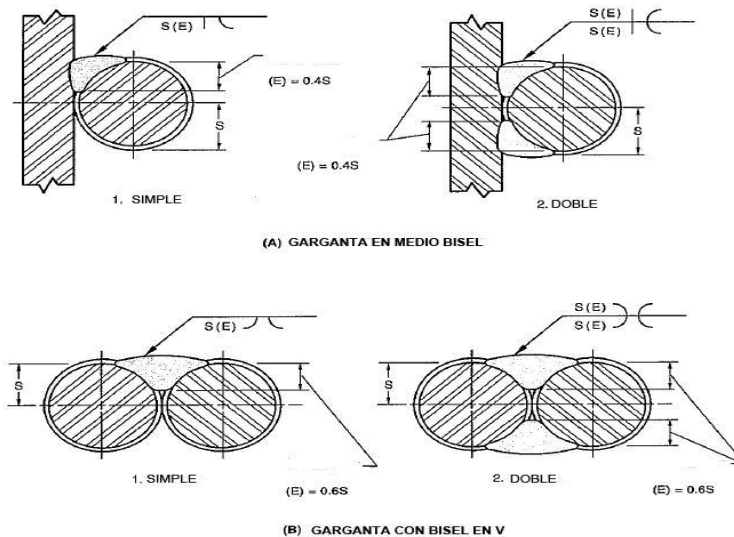
2.8.1. Empalme a tope directo y soldaduras biseladas.

El área transversal efectiva de la soldadura será igual a la sección transversal efectiva de las barras a ser empalmadas. Si las barras a unir son de tamaños diferentes, el área efectiva de la soldadura deberá ser igual a la sección transversal nominal de la menor de las barras.

2.8.2. Soldadura con cordones longitudinales.

El área efectiva de la soldadura deberá ser igual a la longitud del cordón multiplicada por el espesor efectivo de la garganta del filete de soldadura (véase Figura 2.4) El largo mínimo del cordón de soldadura no debe ser menor que dos veces el diámetro de la barra, o dos veces el diámetro de la barra más pequeña si el empalme se realiza entre barras de distinto diámetro. El espesor de la garganta del filete de soldadura no debe ser menor que dos veces el diámetro de la barra, y cuando se unan dos barras de distinto diámetro, esta dimensión deberá ser dos veces el diámetro de la barra más pequeña.

(Figura 2.4 Ancho efectivo para soldaduras de ranura)



Notas:
1. S = Radio de la barra de refuerzo

2.9. Detalles estructurales.

2.9.1. *Excentricidad.*

Cuando se usa un empalme a solapo (Figura 2.7) o un empalme a tope indirecto (Figura 2.6), el hormigón que rodea al empalme deberá ser lo suficientemente colaborante para prevenir fisuras causadas por la tendencia de la junta a deformarse debido a la excentricidad de la carga.

2.9.2. *Tipos de empalmes permitidos.*

Las armaduras pueden ser unidas mediante empalme a tope directo (Figura 2.5), empalme a tope indirecto (Figura 2.6) o empalme soldado a solapo (Figura 2.7); sin embargo; la práctica ha demostrado que es preferible usar empalme a tope directo, excepto para barras número 6 (19 mm) y menores.

2.9.3. *Empalmes a tope directo.*

Se define un empalme a tope directo como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente colineales, realizándose la unión con una completa penetración y fusión de la soldadura en la garganta por ambos lados o por un solo lado. Los empalmes a tope directo se realizarán preferentemente con borde en “V” simple o doble “V” que forme ángulos entre 45 y 60 grados.

2.9.4. *Empalmes a tope indirecto.*

Se define un empalme a tope indirecto como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente colineales, y soldadas con cordones longitudinales a un miembro de empalme común que pueden ser: platinas, ángulos, barras u otro perfil aprobado por un experto.

Los miembros de empalme usados deberán tener un área transversal capaz de entregar a lo menos igual resistencia que las barras a empalmar.

2.9.5. Empalmes a solapo.

Se define un empalme a solapo en forma directa (Figura 2.7 a), como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente paralelos y aproximadamente en el mismo plano, estando las barras en contacto y soldadas por cordones longitudinales. A menos que la junta sea accesible por un solo lado, es preferible realizar la soldadura por ambos lados. Se define un empalme soldado en forma indirecta (Figura 2.7 b) como la unión entre dos barras cuyos ejes son aproximadamente paralelos y aproximadamente en el mismo plano, pero que se sueldan separadamente a una platina de empalme común mediante cordones longitudinales.

Figura 2.5 Soldadura a tope directo

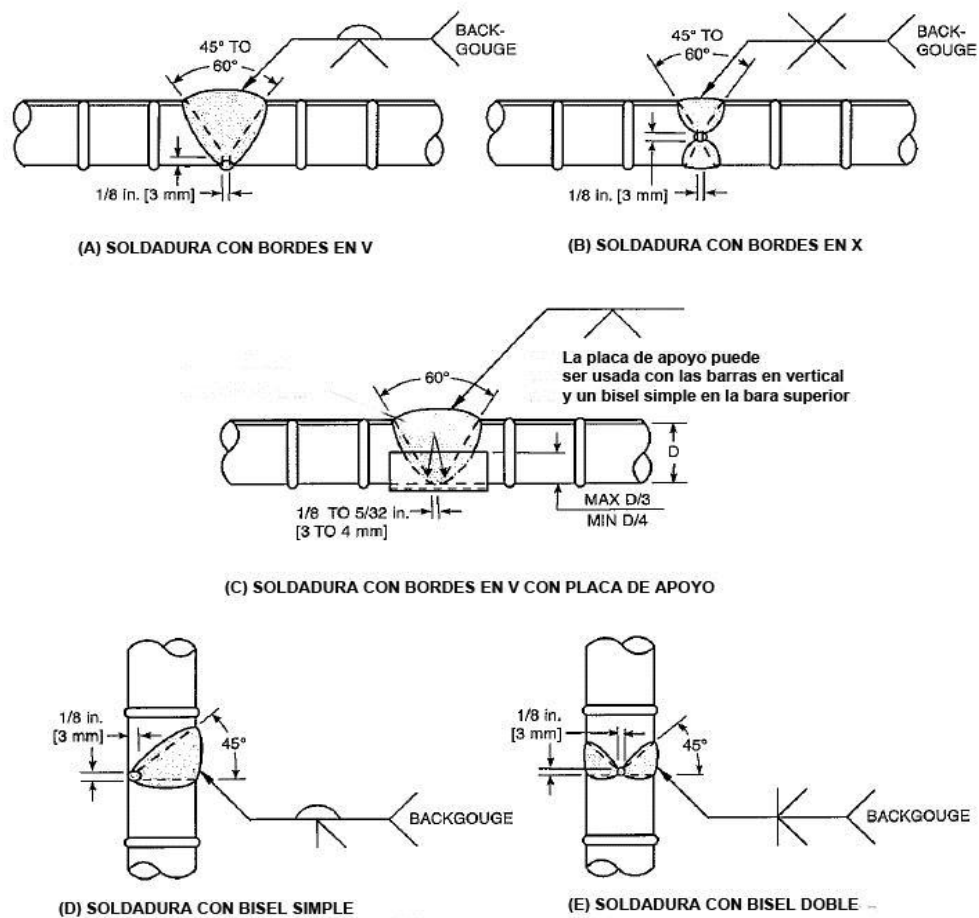
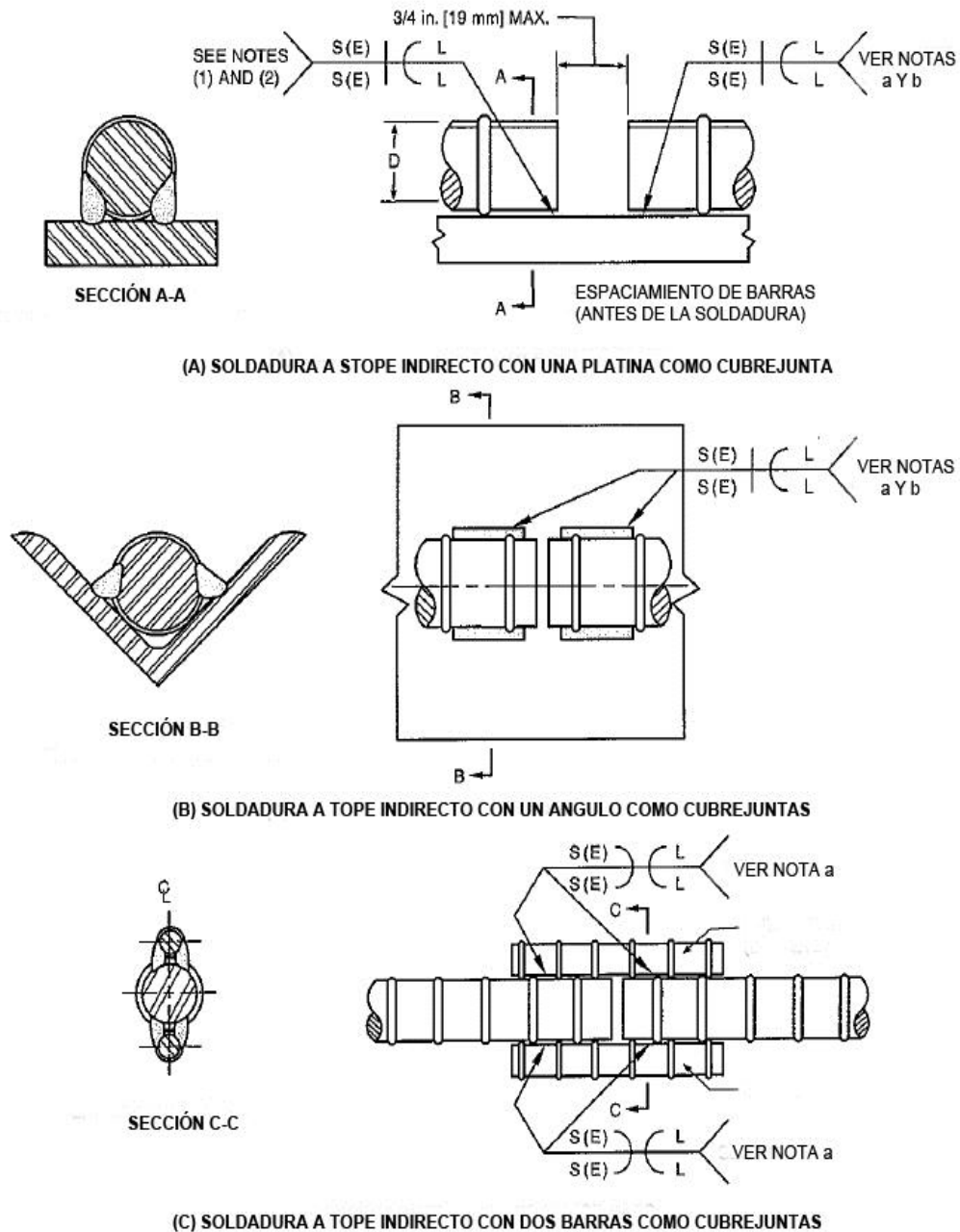


Figura 2.6 Soldadura a tope indirecto



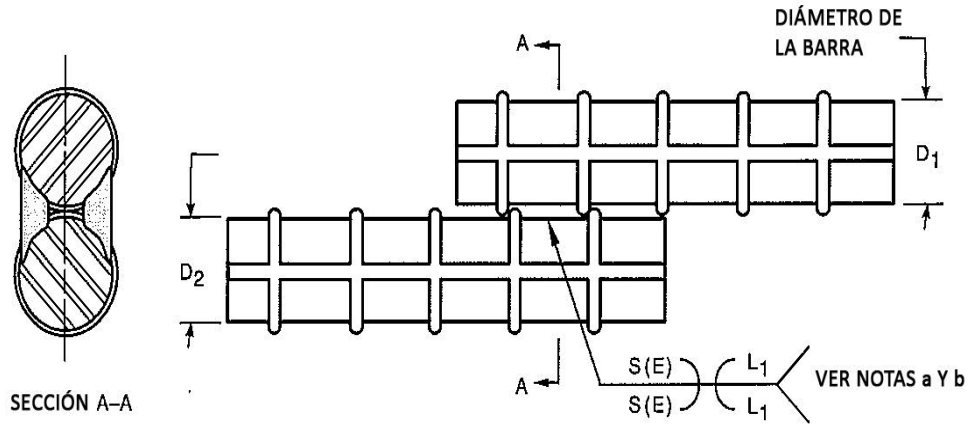
a $L=2D$ (min)

b Se permite la variación de esta soldadura utilizando una soldadura de bisel simple en V, siempre y cuando sea considerada la excentricidad o las restricciones del diseño de la unión.

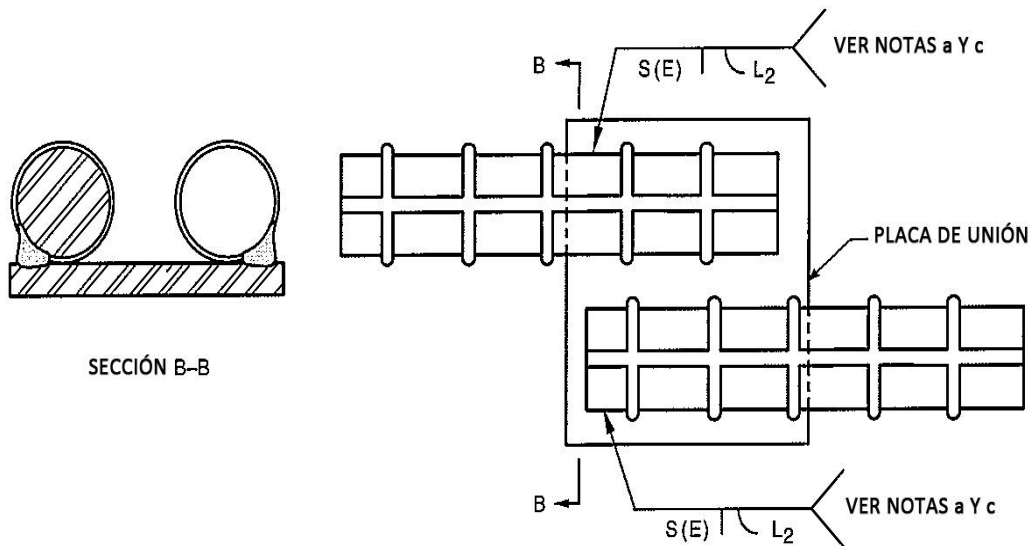
Notas:

1. Espacio entre las barras y la platina podrían variar dependiendo de la magnitud de las deformaciones
2. Las deformaciones mostradas en las vistas son solo ilustrativas.

Figura 2.7 Soldadura de solapo



(A) SOLAPO INDIRECTO CON BARRAS EN CONTACTO



(B) SOLAPO INDIRECTO CON BARRAS SEPARADAS

^a Los efectos de la excentricidad deben ser considerados o restringidos según el diseño de la unión.

^b $L_1 = 2 D_1$ (min); $D_1 \leq D_2$.

^c $L_2 = 2 \times$ diámetro de la barra (min).

Nota: Los espacios entre las barras y la placa pueen variar dependiendo la magnitud de las deformaciones.

2.10. Temperatura de precalentamiento y temperatura de interpasada.

La temperatura de precalentamiento y la temperatura de interpasadas que deben poseer las barras en el proceso de soldadura dependen del carbono equivalente que estas tengan y de su diámetro. La tabla siguiente describe ambas temperaturas en función de las variables recién mencionadas.

Tabla 2.5 Temperatura de precalentamiento y de interpasada

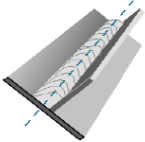
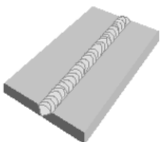

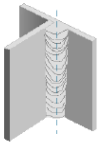
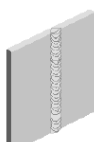

Carbono equivalente (CE)	Tamaño de la barra	Tem. min de precalentamiento y Tem. de interpasada
(%)	(mm)	(°C)
C.E < 0.40	Hasta N° 11 (36 mm)	Ninguna*
	14 a 18 (43 a 57 mm)	10
0.41 < C.E < 0.45	Hasta N° 11 (36 mm)	Ninguna*
	14 a 18 (43 a 57 mm)	40
0.45 < C.E < 0.55	Hasta N° 6 (19 mm)	Ninguna*
	7 a 11 (22 a 36 mm)	10
	14 a 18 (43 a 57 mm)	90
0.55 < C.E < 0.65	Hasta N° 6 (19 mm)	40
	7 a 11 (22 a 36 mm)	90
	14 a 18 (43 a 57 mm)	150
0.65 < C.E < 0.75	Hasta N° 6 (19 mm)	150
	7 a 18 (22 a 57 mm)	200
C.E > 0.75	7 a 18 (22 a 57 mm)	260

(*): Cuando la temperatura del metal base sea inferior a 0°C, se debe precalentar hasta por lo menos 21°C y mantener esta temperatura mínima durante la soldadura.

2.11. Posición de soldadura.

Según la designación ANSI/AWS A3.0-8, las posiciones de soldaduras son:

Figura 2.8 Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWS A3.0-8

En uniones de filete	En uniones de ranura	Uniones de tubería
Plano		
1F	1G	1G
		 La tubería se rota mientras se suelda
Vertical		
2F	2G	2G
		

(Figura 2.9 (Continuación) Posiciones de las soldaduras según ANSI/AWS A3.0-8)

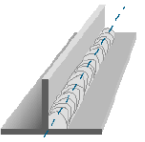
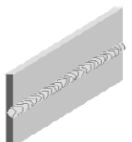

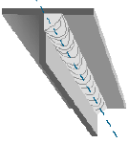

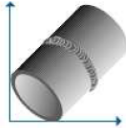
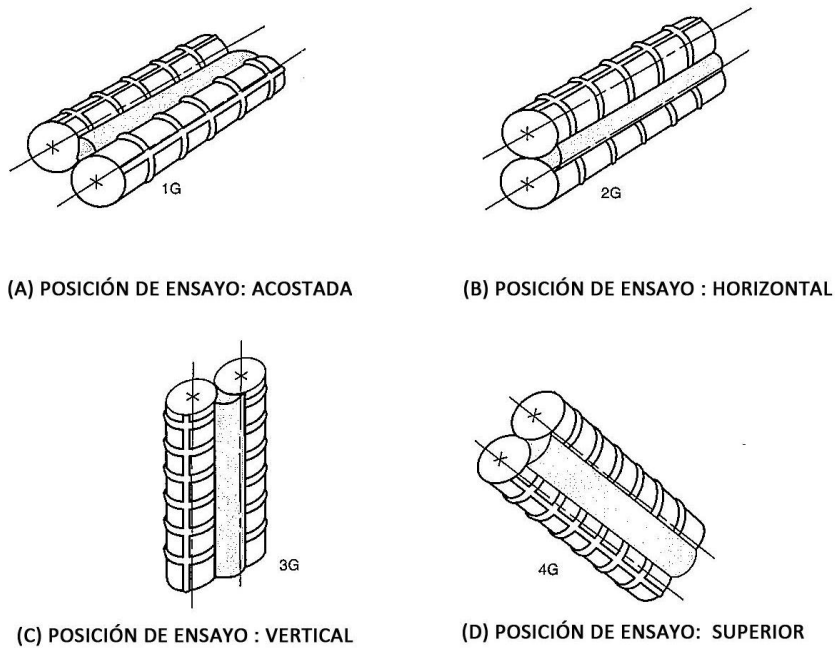
En uniones de filete	En uniones de ranura	Uniones de tubería
Horizontal		
3F	3G	5G
		 La tubería no se rota mientras se suelda
Sobre cabeza		
4F	4G	6G
		

Figura 2.10 soldadora en aceros de construcción



2.12. Aceros soldables.

La American Welding Society define la soldabilidad como la capacidad de un metal a ser soldado, bajo las condiciones impuestas por el diseño y la fabricación de la estructura, para que desempeñe satisfactoriamente el servicio para el cual ha sido proyectado.

La soldabilidad del acero está determinada por las transformaciones de fase que ocurren debido a los drásticos ciclos de calentamiento y enfriamiento que tienen lugar durante la soldadura. Debido al rápido enfriamiento y al valor de su carbono equivalente, se puede producir un endurecimiento total del acero que puede originar la fragilidad del acero y la posible fisuración del mismo. En contraste, si la velocidad de enfriamiento es lenta se puede producir mayor ductilidad y estructuras metalúrgicas de menor fragilidad en la zona afectada por el calor del metal base.

Las propiedades más importantes para la soldabilidad son la ductilidad, la resistencia, la dureza. Estas propiedades son afectadas por factores como la composición química, el tamaño de grano y el espesor de las piezas.

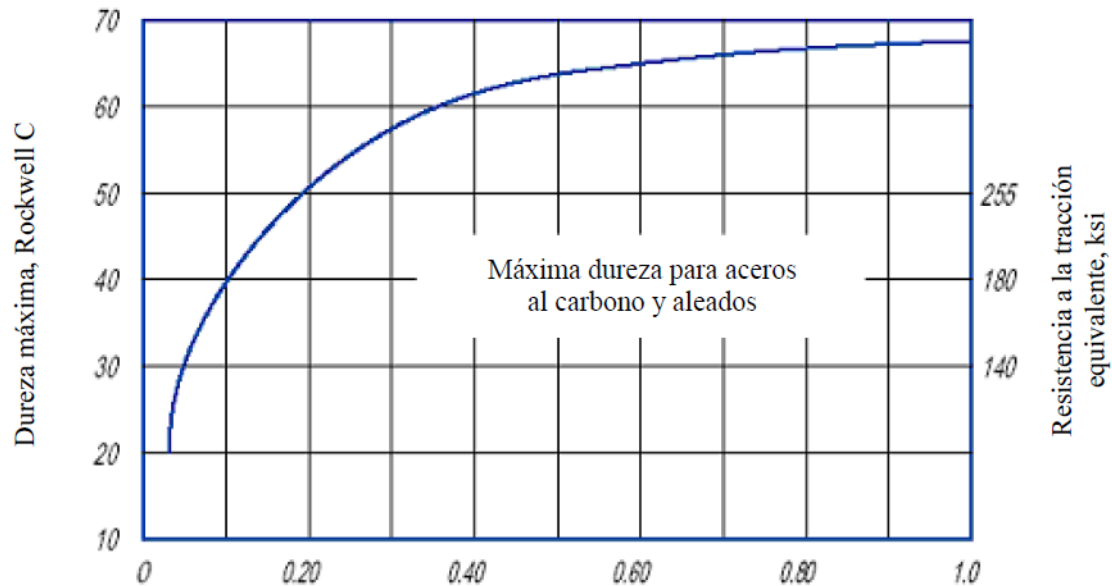
2.12.1. Composición química.

El elemento más importante que afecta la soldabilidad es el carbono, sin embargo, otros elementos también la afectan, y se los puede relacionar a través de la Fórmula de carbono equivalente presentada en ASTM A6:

$$\% CE = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$$

La soldabilidad de un acero mejora mientras disminuye su carbono equivalente. Esta relación se ilustra en la siguiente figura.

Figura 2.11 Influencia del contenido de carbono sobre la máxima dureza del acero.



Durante la soldadura, la zona térmicamente afectada sufre un enfriamiento rápido y consecuentemente se produce un endurecimiento por la conducción de calor desde la soldadura hacia el metal base. En la Figura 2.11, mientras el contenido de carbono se incrementa de 0.10% a 0.20% por peso, el incremento de dureza por el temple se incrementa de 40 a 50 Rockwell C. Usando la relación dureza-resistencia, puede encontrarse que la máxima resistencia a la tensión por temple se incrementa de 180 a 260 ksi. Los procesos de soldadura son diseñados para mantener la soldadura con porcentajes de temple lejos de esos valores máximos. También, los electrodos son usualmente

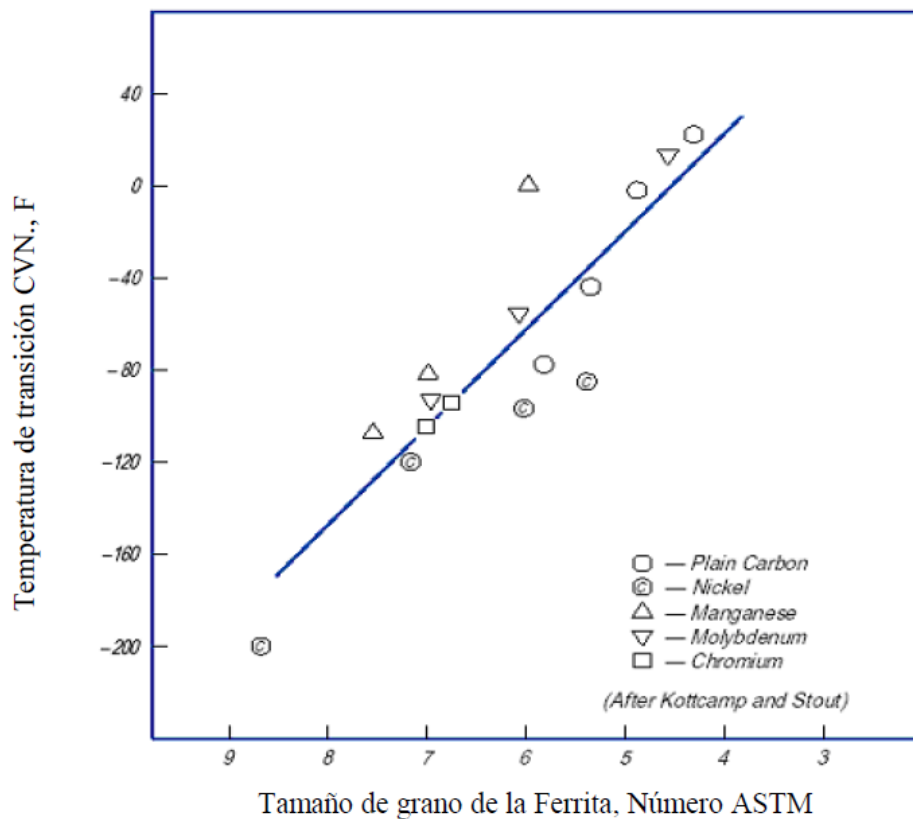
diseñados para depositar metal soldado que contengan porcentajes de carbono entre 0.008 y 0.12 para evitar agrietamientos.

2.12.2. *Tamaño de grano.*

Temperatura de transición CVN, es la temperatura a la cual la energía de impacto sufre una disminución brusca.

El tamaño de grano es la principal variable que afecta la ductilidad y la resistencia al impacto para una amplia variedad de composiciones de aceros como se ilustra en la figura.

Figura 2.12 Efecto del tamaño de grano con la temperatura de transición CVN (Charpy V- Notch)



Al igual que en la zona térmicamente afectada (ZAT) del metal base, en el metal soldado el tamaño de grano también varía y tiene un efecto similar al que ocurre en la ZAT sobre las propiedades de ductilidad y dureza.

En general, la soldabilidad es mejor en aceros que poseen un tamaño de grano fino.

2.12.3. *Espesor.*

En general, a medida que el espesor del metal que va a ser soldado disminuye, la soldabilidad del material mejora.

Mientras el espesor de la sección se incrementa, también lo hace la velocidad de enfriamiento. Debido a su mayor masa, en placas gruesas la extracción de calor es más rápida que en las placas delgadas con una soldadura idéntica, lo que produce que progresivamente los constituyentes metalúrgicos sean más duros y menos dúctiles.

El precalentamiento es la solución más común para reducir la velocidad de temple y la dureza en la soldadura. Las placas pueden ser precalentadas y mantenidas a temperaturas de pocos cientos de grados Fahrenheit antes de la operación de soldadura. Otra solución pueden ser el tratamiento post-calentamiento.

2.13. Ensayos de calificación a la soldadura.

2.13.1. *Ensayos no destructivos.*

Una prueba no destructiva es el examen de un objeto efectuado en cualquier forma que no impida su utilidad futura.

Se emplean para detectar materiales defectuosos antes de ser formados o maquinados, para localizar defectos antes de la puesta en servicio de un máquina, para detectar componentes defectuosos antes de ensamblar, para medir espesores de los materiales, para determinar el nivel de sólido o líquido en recipientes opacos, para identificar y clasificar materiales y para descubrir defectos que pudieran desarrollarse durante el procesamiento o el uso.

Las partes soldadas también se pueden examinar cuando están en servicio, lo que permitirá su remoción previa a la ocurrencia de una falla. Estas pruebas son las siguientes:

ensayo visual, radiografía industrial, partículas magnetizables líquidos penetrantes corrientes parasitas ultrasonido.

2.13.2. Ensayos destructivos.

A la hora de trabajar un material debemos de conocer sus propiedades mecánicas, y saber que estas propiedades mecánicas variarán en función de la velocidad de deformación y de la temperatura a la que se encuentre el cuerpo a ensayar. Los ensayos utilizados para medir estas propiedades mecánicas son los ensayos destructivos de propiedades mecánicas, que determinan las características mecánicas de los materiales en condiciones de esfuerzo y deformación de las piezas o elementos que estarán sometidos durante su funcionamiento real.

Un ensayo destructivo es aquel que deteriora la pieza que inspecciona, pero dependiendo del tipo de ensayo, la pieza experimentara desde una leve marca, a una deformación permanente o incluso su rotura parcial o total.

Se tiene los siguientes ensayos destructivos: ensayo a tracción, compresión, cizalladura, flexión, pandeo, torsión y macro ataque

2.14. Descripción de los ensayos realizados en el presente trabajo.

2.14.1. Macro ataque.

La metalografía consiste en el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. La forma más sencilla de hacer dicho estudio es examinando las superficies metálicas a simple vista, pudiendo determinar de esta forma las características macroscópicas. Este examen se denomina macrográfico del cual se pueden obtener datos sobre los tratamientos mecánicos sufridos por el material (es decir se puede determinar si el material fue trefilado, laminado, forjado, etc.) o comprobar la distribución de defectos (como grietas superficiales, rechupes, partes soldadas, etc). Para el examen macroscópico, dependiendo del estudio a realizar, se utilizan criterios para el tipo de corte a realizar (transversal o longitudinal) para extraer la muestra (por ejemplo un corte transversal para determinar la naturaleza del material, homogeneidad, segregaciones,

procesos de fabricación de caños, etc., y un corte longitudinal: para controlar los procesos de fabricación de piezas, tipo y calidad de la soldadura, etc.).

2.14.1.1. Procedimiento de preparación de una muestra.

Corte transversal: Por lo general, se deben cortar varios trozos pequeños del material a examinar. La ubicación de las muestras y la forma en que se corten afectarán los resultados y su interpretación. Dependiendo del tipo de pieza a examinar se determina el lugar de dónde extraer las muestras. Por ejemplo:

Si se estudian perfiles o barras laminadas, deben extraerse probetas de sus extremos y parte media.

En una varilla de acero estirado en frío se pueden obtener las muestras de tal forma que quede expuesta una sección transversal o una longitudinal, y ambas secciones variarán notablemente su aspecto.

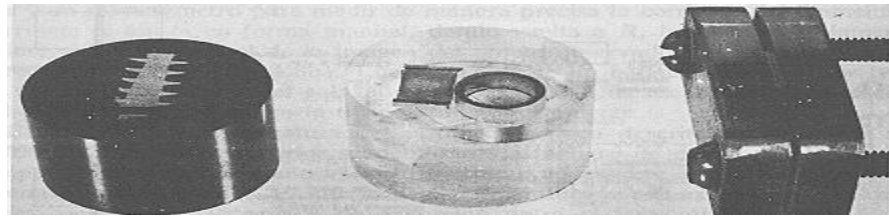
Cuando el material a examinar es blando (acero al carbono recocido, aleaciones blandas de Al o de Cu), el corte se realizará con una sierra a mano y de diente grande (mientras más blando sea el material, más grande debe ser el diente de la sierra a utilizar, con el objeto de que la viruta sea fácilmente extraída de la zona de corte, evitando que al agruparse se adhiera a la superficie a estudiar, falseando la observación posterior). Los materiales duros (aceros aleados, templados, no ferrosos endurecidos) deben cortarse con discos abrasivos muy delgados de carbundum a altas velocidades y gran refrigeración. Los metales frágiles como fundición blanca, aceros templados, bronce ricos en estaño, etc, pueden romperse con golpe de martillo para extraer la probeta. En el caso del acero (y de algunas otras aleaciones), es necesario evitar el calentamiento de la muestra al hacer el corte.

2.14.1.2. Montaje.

Si la muestra que va a examinarse es lo suficientemente grande como para que pueda sujetarse bien con la mano, no es necesario montarla. Siempre que se pueda se eligen probetas de 20 x 20 mm y alturas de 15 mm. No obstante la mayoría de las veces la muestra es demasiado pequeña como para que pueda sostenerse de esta forma (por

ejemplo un tramo de varilla, alambre, lámina), mientras se esmerila o pule. El montaje puede efectuarse de varias maneras. Con sujetadores tipo tenazas (Figura 2.13). La muestra puede también encerrarse en una resina epóxica de dos compuestos, que se solidifican después de que se mezclan; asimismo pueden usarse resinas termoplásticas transparentes. Al emplear esta técnica, la muestra se coloca en el molde con plástico en polvo, luego se aplica presión y calor, hasta que el plástico se suaviza y densifica.

Fig. 2.13 Distintas formas de montaje de una muestra



2.14.1.3. Desbaste grueso.

Este se logra mejor en un esmeril húmedo de banco usando esmeriles de granos 120, 140, 160 (este número resulta de dividir la cantidad de líneas del tamiz –de selección de granos- sobre la superficie del mismo). El objetivo del esmerilado es obtener una superficie plana, libre de toda huella de marcas de herramientas, y en la que todas las marcas del esmerilado sigan la misma dirección (Fig. 2.14). Se puede esmerilar en seco a condición de no producir cambios estructurales por el calentamiento de la muestra. También se deben evitar presiones excesivas que calienten o distorsionen la superficie a observar. Luego, la muestra se lava y se seca antes de pasar a la próxima etapa de esmerilado.

Fig. 2.14 Superficie obtenida luego de un desbaste grueso



2.14.1.4. Desbaste fino.

Este proceso se efectúa utilizando granos cada vez más finos de lija metalográfica para esmerilar. Se utilizan papeles de grano 320 en adelante. La lija se sostiene sobre una superficie plana y dura, que puede ser acero o vidrio, y la muestra se pasa sobre el papel de lija SIN seguir un movimiento rotatorio. Cuando se termina de esmerilar con un papel de lija, las marcas deben estar todas en la misma dirección.

Antes de proseguir con la siguiente lija más fina, deben lavarse la muestra como las manos del operario.

Ahora la muestra debe desplazarse en forma tal que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior. Así, puede verse con claridad si se han eliminado las rayas más gruesas que se hicieron en la operación anterior. El desbaste se da por terminado cuando se obtiene una cara perfectamente plana, con rayas muy finas en toda la superficie, producidas en un solo sentido, por el papel de esmeril de mayor finura. Cuando más blando es el material, mayor es la finura del grano del papel de esmeril utilizado en último término.

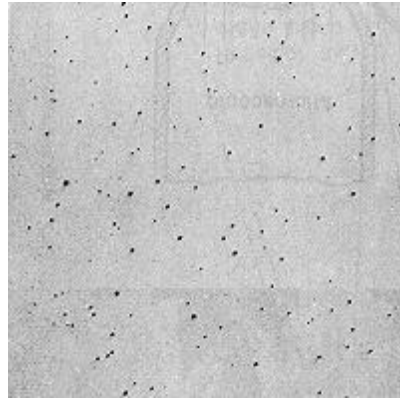
2.14.1.5. Pulido.

Se procede a hacer el pulido solo después de lavar con sumo cuidado tanto las manos como la muestra, a fin de evitar cualquier contaminación en el plato de pulido. Este procedimiento se basa en el uso de un plato cubierto con una tela (o paño), cargada con una suspensión de alúmina (Al_2O_3). Al principio, la muestra se sostiene en una posición sobre la rueda, sin girar la muestra, hasta que se hayan eliminado la mayoría de las rayas anteriores producidas en el desbaste. Luego puede hacerse girar con lentitud en sentido contrario al de rotación de la rueda, hasta que solo puedan verse las marcas de alúmina. La rotación de la muestra reduce a un mínimo el peligro de formación de ranuras.

La muestra se hace girar con lentitud en sentido contrario al de giro de la rueda tendiendo a obtener una superficie especular. Si los pasos descritos se realizan debidamente, este pulido no debe requerir más de dos minutos. Los resultados del pulido pueden mejorarse si esta última etapa de pulido se realiza sobre la rueda girando a baja velocidad. El aspecto

de la superficie debe ser igual al de un espejo; observada al microscopio ésta debe ser semejante a la (Fig. 2.15) donde se observa una superficie brillante con algunos puntos oscuros producto de las inclusiones no metálicas (ej. impurezas de óxidos).

Fig. 2.15 Superficie obtenida luego del pulido final. Los puntos oscuros son inclusiones no metálicas



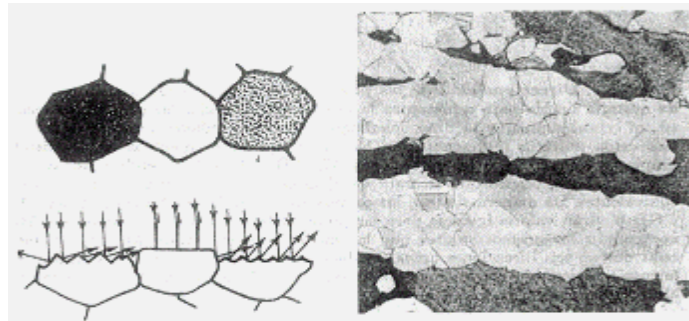
Para pulir aceros dulces (blandos), casi siempre es conveniente usar una alúmina de grano 600. En otros metales y aleaciones pueden lograrse mejores resultados si se acaba con alúmina rebajada, óxido de magnesio, diamante en polvo o cualquier otro tipo de compuesto pulidor que se disponga. El electropulido es adecuado para el acabado de gran número de muestras idénticas, puesto que requieren ajustes y control cuidadoso. Por otro lado alguno de los mejores electrolitos constituye un peligro de explosión.

2.14.1.6. Ataque:

Este permite poner en evidencia la estructura del metal o aleación. Existen diversos métodos de ataque pero el más utilizado es el ataque químico. El ataque químico puede hacerse sumergiendo la muestra en un reactivo adecuado, o pasar sobre la cara pulida un algodón embebido en dicho reactivo. Luego se lava la probeta con agua, se enjuaga con alcohol o éter y se seca en corriente de aire. El fundamento se basa en que el constituyente metalográfico de mayor velocidad de reacción se ataca más rápido y se verá más oscuro al microscopio, y el menos atacable permanecerá más brillante, reflejará más luz y se verá más brillante en el microscopio.

Por otro lado, en los metales con un solo constituyente metalográfico, los límites de grano están sujetos a ataques selectivos, puesto que representan zonas de imperfección cristalina e impurezas que aceleran el ataque local. Además los granos con orientaciones distintas son atacados con diferente intensidad, dado que esta diferencia en la orientación provoca velocidades de ataque diferentes. En la (Fig. 2.16) se observa como varía el aspecto superficial de cada uno de los granos. Se debe evitar el sobreataque, dado que la superficie se puede manchar y tapar la estructura o producirse manchas de corrosión. En caso de que esto sucediera se deberá proceder a un nuevo desbaste y pulido (dependiendo del grado de sobreataque).

Fig. 2.16 Resultado de la incidencia de la luz proveniente del microscopio al ser reflejada en la superficie del metal, con presencia de granos diversamente orientados y bordes de granos



Un reactivo común utilizado para atacar hierros y aceros al carbono en general es el nital, que consiste en 5% de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico (en 100 ml de alcohol etílico 95% agregar 5 ml de HNO₃ concentrado).

Para su aplicación, se toma la muestra con unas pinzas con la cara pulida hacia arriba, se vierte unas gotas de nital sobre la muestra (lavada y secada previamente) asegurándose que el nital cubra toda la cara (con algunos movimientos de la pinza). Por lo común es adecuado de 3 a 5 segundos para que el ataque químico sea adecuado. El nital oscurece la perlita y pone de manifiesto los bordes de la ferrita. Ferrita y cementita blancos y perlita más oscura (laminas claras y oscuras semejante a una impronta digital). Inmediatamente después se lava la muestra con elevada agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca mediante un golpe de aire.

2.14.2. Ensayo de tracción.

2.14.2.1. Equipo utilizado.

El ensayo de tracción se realiza en una máquina universal, formada principalmente de una bancada robusta para darle mejor apoyo y más estabilidad a la máquina cuando aplicamos las cargas durante el ensayo. Dicha bancada forma un conjunto con dos ejes verticales (+Y -Y), que sirven para subir o bajar. Estos dos ejes contienen a otros dos pero perpendicular a ellos, que en algunos casos pueden hacer movimientos horizontales (+X -X), que sirven para ir de derecha a izquierda, donde están fijados los cabezales de sujeción de las probetas. Un grupo hidráulico formado por: un depósito donde se almacena el aceite, un potente motor capaz de desarrollar las cargas establecidas, junto a las tuberías de reparto del aceite que llegan a las botellas hidráulicas donde van fijados los cabezales de sujeción de las probetas. (Foto 2.1)

El registro de las deformaciones debido a la carga actuante, se hará con un *extensómetro mecánico* y todos los cálculos y gráficas con la ayuda de *hojas electrónicas en Excel*

Foto 2.1 Maquina universal Hamsler



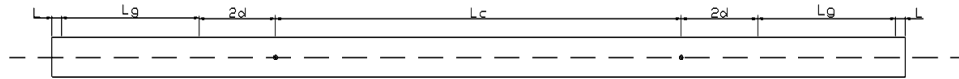
2.14.2.2. Longitud mínima de probetas.

Todas las probetas de ensayo deben presentar la sección completa de la barra corrugada, tal como ha sido conformada.

Las probetas para ensayos de tracción deben ser lo suficientemente largas para proveer 8 pulg. (203.2 mm) de longitud calibrada, una distancia de por lo menos 2 diámetros de

barra entre cada marca de calibración y las mordazas, más una longitud adicional suficiente para llenar las mordazas completamente dejando alguna longitud de exceso que sobresalga más allá de cada mordaza. Un esquema de la probeta se muestra en la (Figura 2.18).

Figura 2.17 esquema de la probeta



Donde:

L: longitud de exceso

Lg: longitud de la mordaza

2d: dos veces el diámetro nominal de la barra corrugada

Lc: longitud calibrada

Tabla 2.6 longitudes mínimas de las probetas

Diámetro de barra	L mm	Lg mm	2d mm	Lc mm	Long. Total mínima
8	6	100	16	203,2	333,2
10	6	100	20	203,2	339,2
12	6	100	24	203,2	345,2

2.14.2.3. Soldado de las probetas.

- **Longitud del cordón.**

La longitud del cordón de soldadura depende de las características mecánicas de la barra y del electrodo. Para determinar la longitud se impone la condición de que la probeta soldada alcance un 100% de la resistencia a tracción de la barra, confiando la transmisión del esfuerzo al cordón.

El procedimiento de empalme por solapo no debe emplearse con diámetros muy gruesos mayores de 25 mm (Jiménez Montoya).

De acuerdo con lo anterior, la longitud del cordón de soldadura se obtiene a partir de las siguientes condiciones:

- Resistencia al corte del cordón de soldadura: $0,65 \cdot a \cdot L \cdot \sigma_{el}$
- Resistencia a tracción de la barra: $A \cdot \sigma_{barra}$

Donde:

L: Longitud total del cordón

a: Espesor del cordón de soldadura; se adopta un valor fijo de $0,2 \varnothing$, siendo \varnothing el diámetro de la barra correspondiente.

A: Área de la sección transversal de la barra.

σ_{el} : Resistencia a la tracción del electrodo

σ_{barra} : Tensión de rotura de la barra.

La resistencia al corte del cordón depositado se considerará del 65 % de la resistencia a tracción del electrodo correspondiente.

Tomando un coeficiente de seguridad de 1,5 y estableciendo la igualdad entre la resistencia a la tracción de la barra y la resistencia al corte del electrodo, se obtiene la siguiente fórmula:

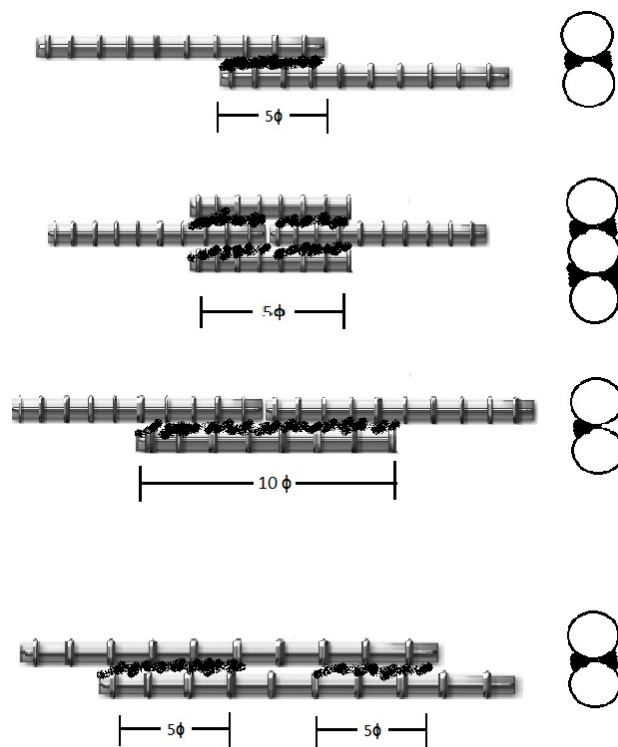
$$L = 9.07 \cdot \frac{\sigma_{barra}}{\sigma_{el}} \cdot \varnothing$$

Para esta memoria se utiliza un valor de, **L=10 \varnothing** en virtud de lo recomendado por normativa Europea y respaldado por el Comité Europeo del Hormigón, y que muestra la utilización de esta medida en diferentes casos, tal como se muestra en la (Figura 2.18).

En este ensayo se realizarán soldaduras de solapo con barras traslapadas, para la cual se deben ubicar una junto a la otra con sus ejes longitudinales lo más paralelamente posible y traslapadas con una longitud igual a la mitad que la calculada por la fórmula anterior.

Posteriormente se deposita la longitud del cordón en dos mitades (una a cada lado) y en sentido contrario, esperando un periodo de tiempo adecuado entre ambos para evitar excesiva transmisión de calor.

Figura 2.18 disposición del soldado



- **Determinación de variables involucradas en el proceso de soldadura.**

De modo de poder cumplir lo indicado en la normativa AWS D1.4 y la normativa AWS D1.1 y con ello lograr “calificar” la soldadura realizada, se deben determinar una serie de parámetros, los cuales inciden directamente en el resultado final logrado. Estos parámetros son los siguientes:

- Proceso de soldadura

- Posición de la soldadura
 - Electrodo a usar
 - Amperaje, voltaje y velocidad de avance
 - Temperatura de precalentamiento e interpasada
 - Forma de colocación de la soldadura
 - Espesor requerido de la soldadura
- **Proceso de soldadura**

Como se ha indicado en anterior mente este será soldadura al arco, también conocida como SMAW.

- **Posición de la soldadura.**

La posición de la soldadura se determina según la Figura 2.11 en este caso para la soldadura a tracción se utiliza la posición 1G, porque es la posición que no exige mayor habilidad al soldador.

- **Electrodos a usar.**

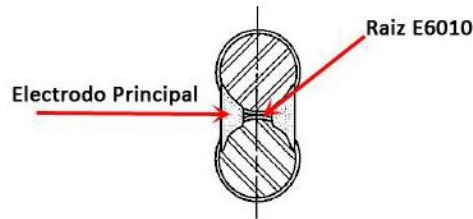
Los electrodos de bajo contenido de hidrógeno son los más adecuados para la soldadura de las armaduras. De este grupo de electrodos es necesario seleccionar aquellos que producen las mejores soldaduras en los aceros estudiados.

Un importante parámetro al momento de elegir un electrodo, es la resistencia a la tracción del metal base y del material de aporte; considerando esto, la resistencia a la tracción de las armaduras debe ser menor que la ofrecida por el material depositado.

- **Raíz de la soldadura.**

Punto de intersección de la soldadura con el metal base, también llamada base de la soldadura, por lo general es el primer filete depositado en una sola pasada, se utilizara el electrodo E6010

Figura 2.19 ubicación de la raíz y del electrodo principal o de relleno



(Figura 2.20 Especificaciones técnicas del fabricante del electrodo, para la raíz)

CONARCO 10 celulósico	
DESCRIPCION / APLICACION	CLASIFICACION
Muy buena penetración para soldadura en toda posición. Electrodo universal para uso en fabricación y montaje donde las condiciones de soldadura no son ideales (óxido, mala preparación de biselés, etc). Apto para soldadura de cañerías y aceros de baja, media y alta presión, gasoductos, soldadura de aceros API 5L X 42, X46, X52, aceros ASTM A 53 grado A/B, A106 A/B, A134 A/B, A139 A/B, A151 A/B, A155 A/B y similares. Caños con y sin costura. Soldaduras de cascos de barcos en chapa naval, chapa estructural de acero al carbono de baja y media resistencia, calderas, recipientes de presión, estructuras de puentes, muelles, edificios y similares.	AWS A5.1 E6010
CARACTERISTICAS OPERATIVAS	COMPOSICION QUIMICA TIPICA DEL METAL DEPOSITADO
CC (+)	C 0,13 % Mn 0,50 % Si 0,20 %
POSICION DE SOLDADURA	PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO (VALORES TIPICOS)
	R 529 MPa Rf 466 MPa Al 29 % CVN(-29 °C) 53 J

○ **Electrodo principal.**

Para el electrodo principal o de relleno se utilizara el electrodo E7018

Figura 2.21 especificaciones técnicas del fabricante para el electrodo principal

CONARCO 18 básico - bajo hidrógeno	
DESCRIPCION / APLICACION	CLASIFICACION
Electrodo con polvo de hierro en su revestimiento y bajo hidrógeno. Escoria básica que deposita cordones de calidad radiográfica. Excelentes propiedades de impacto a bajas temperaturas. Construcciones soldadas de gran responsabilidad, con aceros al C-Mn y de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 560 MPa. Soldadura de aceros hasta 0.45 % de carbono y aceros para uso naval de grados A, D y E. Apto para juntas disimiles entre aceros de bajo carbono y alta resistencia de aceros al C-Mn que deban trabajar a bajas temperaturas (hasta -29 °C) o altas temperaturas (hasta 540 °C).	AWS A5.1 E7018-1
CARACTERISTICAS OPERATIVAS	COMPOSICION QUIMICA TIPICA DEL METAL DEPOSITADO
CC (+)	C 0,08 % Mn 1,25 % Si 0,45 %
POSICION DE SOLDADURA	PROPIEDADES MECANICAS DEL METAL DEPOSITADO (VALORES TIPICOS)
	R 582 MPa Rf 499 MPa Al 29 % CVN (-46 °C) 89 J

- **Amperaje, voltaje y velocidad de avance.**

Estas variables son fundamentales para calibrar los equipos de soldadura utilizados, siendo variables dependiendo el tipo de diámetro de las barras y el tipo de acero. Para poder determinar estas variables se deben realizar ensayos previos y analizar las más adecuadas para el propósito.

- **Temperatura de precalentamiento y de interpasada.**

Las temperaturas de precalentamiento y de interpasada que se aplicarían a las barras que así lo requirieran aparecen en la Tabla 2.7

La temperatura de precalentamiento se logra mediante el uso de un soplete con gas oxiacetilénico, y se controló con tizas térmicas para mantenerla durante la operación.

De modo de evitar una disminución brusca en la unión al enfriarse rápidamente la junta producto de la baja temperatura del ambiente (lo cual produce una unión frágil que compromete la ductilidad esperada en esta unión) se coloca luego de soldada la probeta en un tiesto con cuarzo.

El proceso de soldadura a solapo es bastante más rápido que el que se realiza en el caso de la soldadura a tope, ya que normalmente se depositan 2 o 4 filetes de soldadura (según sea el caso) en una sola capa. También en este tipo de empalmes se realizó un trabajo en serie, aprovechando el tiempo en que se realizaba la soldadura para escorificar las probetas recién soldadas y esperar que se alcanzara la temperatura de interpasada.

Tabla 2, 7 Temperatura de precalentamiento y de interpasada

Carbono equivalente (CE)	Tamaño de la barra	Temp. Mín. de precalentamiento y temp. de interpasada
[%]	[mm]	[°C]
C,E < 0,40	Hasta N°11 (36 mm)	Ninguna*
	14 a 18 (43 a 57 mm)	10
0,41 < C.E < 0,45	Hasta N°11 (36 mm)	Ninguna*
	14 a 18 (43 a 57 mm)	40
0,45 < C.E < 0,55	Hasta N°6 (19 mm)	Ninguna*
	7 a 11 (22 a 36 mm)	10
	14 a 18 (43 a 57 mm)	90
0,55 < C.E < 0,65	Hasta N°6 (19 mm)	40
	7 a 11 (22 a 36 mm)	90
	14 a 18 (43 a 57 mm)	150
0,65 < C.E < 0,75	Hasta N°6 (19 mm)	150
	7 a 18 (22 a 57 mm)	200
C.E > 0,75	7 a 18 (22 a 57 mm)	260

(*): Cuando la temperatura del metal base sea inferior a 0°C, se debe precalentar hasta por lo menos 21°C y mantener esta temperatura mínima durante la soldadura.

- **Forma de colocación de la soldadura.**

El arco debe mantenerse lo más corto posible en todo momento, pudiendo usarse una oscilación muy suave para controlar la forma y ancho del cordón. En soldadura plana no debe oscilarse más de 2,5 veces el diámetro del electrodo.

El cordón de raíz debe hacerse ascendente, con un arco corto y muy poco movimiento en sentido de avance. El electrodo no debe ser movido bruscamente hacia arriba y por ningún motivo alargar el arco. Es preferible para este cordón usar un movimiento en forma de “V”. El electrodo se mantiene un instante en el vértice de la “V” para lograr penetración y remoción de escoria. El largo de la “V” no debe ser mayor de 3,2 mm. El segundo cordón y los sucesivos pueden hacerse con un movimiento oscilatorio de lado a lado,

deteniéndose en los costados para permitir que la escoria atrapada en el primer cordón pueda salir a la superficie.

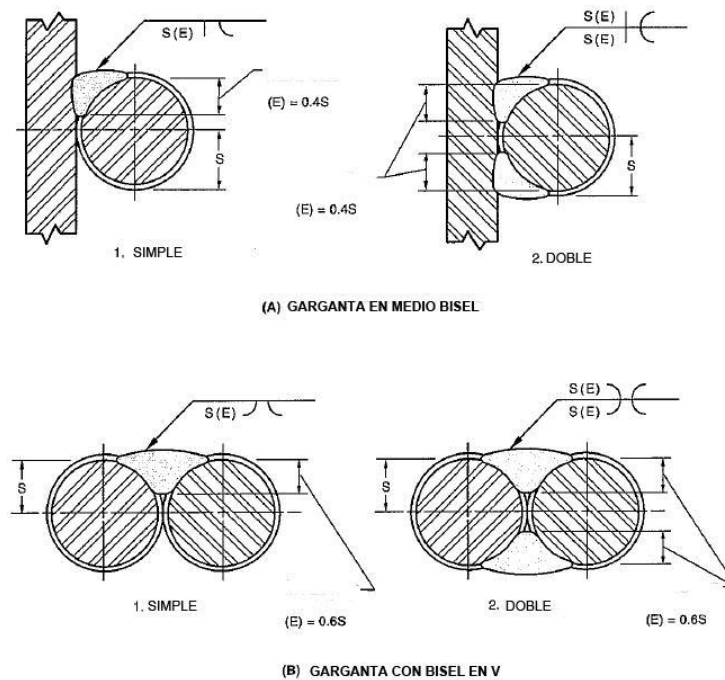
- **Espesor requerido de la soldadura.**

De modo de cumplir lo indicado en la norma AWS D1.4, sobre el ancho efectivo requerido de la soldadura, y que se encuentra estipulado en la Figura 3.1 y en la Figura 2.21, donde el término S, se refiere al radio del diámetro de la barra. Así se tienen los valores indicados en la Tabla 2.8 para el espesor de la soldadura según el tipo de diámetro de la barra

Tabla 2.8 Espesores efectivos requeridos

Diámetro [mm]	8	10	12
$0,6*S$ [mm]	2,4	3	3,6

Figura 2.22 Ancho efectivo requerido para la soldadura



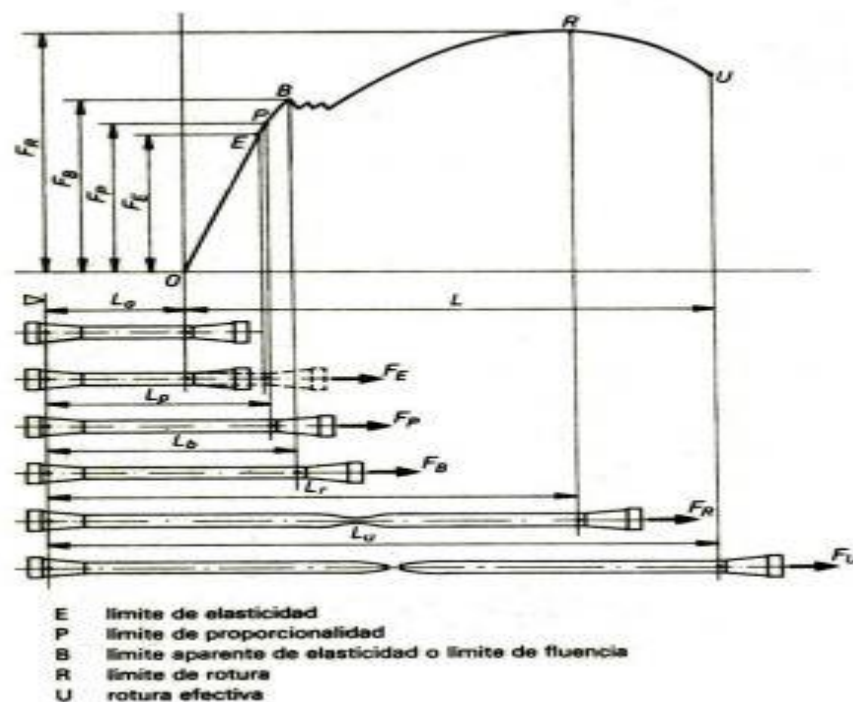
Notas:
1. S=Radio de la barra de refuerzo

2.14.2.4. Descripción de la gráfica esfuerzo deformación.

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produce la rotura de la probeta, con el objetivo de determinar las siguientes propiedades mecánicas: la resistencia mecánica, el límite de elasticidad, el alargamiento y la rotura.

Permite obtener información sobre la capacidad de un material para soportar la acción de cargas estáticas o de cargas que varían lentamente a temperaturas homologas inferiores a 0,5 (parámetro adimensional que se define como el cociente entre las temperaturas de ensayo y de fusión).

Figura 2.23 Diagrama del ensayo de tracción de un metal dúctil



Observando el diagrama del ensayo de tracción de un metal dúctil, podemos destacar los siguientes conceptos:

➤ **Límite de proporcionalidad (recta OP).**

Corresponde al mayor esfuerzo, que es directamente proporcional a la deformación. Es decir, es el mayor esfuerzo en el que la curva en un diagrama carga vs deformación es una línea recta.

La tensión unitaria o carga unitaria σ_P en el punto **P**, se expresa en kgf/mm² o en kgf/cm².

Donde **S₀** es la sección inicial de la probeta en mm² o cm² y **F** es la carga aplicada en ese punto en Newton N.

$$\sigma_P = \frac{F_P}{S_0}$$

➤ **Límite de elasticidad (punto E).**

Es la tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes. La zona **OE** es elástica, al cesar la carga **FE** la probeta recobra su forma original, cualquier carga superior a **FE** producen deformaciones permanentes.

Se expresa en kgf/mm² o en kgf/cm². Donde σ_E es el límite aparente de elasticidad, **F** es la carga expresada en Newton y **S₀** es la sección inicial de la probeta en mm² o cm².

$$\sigma_E = \frac{F_E}{S_0}$$

➤ **Límite aparente de elasticidad o límite de fluencia.**

El tramo **PB** es ligeramente curvo ya que **P** termina la zona de proporcionalidad. El punto **B** es el límite que a pesar de que la deformación crece, la indicación obtenida en el ensayo se para o crece.

Se expresa en kgf/mm² o en kgf/cm². Donde σ_B es el límite aparente de elasticidad, **F** es la carga expresada en Newton y **S₀** es la sección inicial de la probeta en mm² o cm².

$$\sigma_B = \frac{F_B}{S_0}$$

➤ *Carga unitaria de rotura.*

Es la carga máxima **FR**, aplicada durante el ensayo viene expresada en Newton. Se expresa en kgf/mm² o en kgf/cm². Donde **σR** es el límite aparente de elasticidad y **S0** es la sección inicial de la probeta en mm² o cm².

$$\sigma_R = \frac{F_R}{S_0}$$

➤ *Alargamiento.*

Es la longitud que aumenta la probeta hasta que se rompe. Donde **Δ** es el alargamiento, **L0** es la longitud inicial de la probeta (antes del ensayo), y **LU** es la longitud de la probeta estirada (en el momento de rotura), ambas expresadas en milímetros.

$$\Delta = L_U - L_0$$

El alargamiento unitario **ε** es la relación que existe entre el alargamiento **Δ** de la probeta y la longitud inicial **L0**.

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0}$$

➤ *Módulo de elasticidad o módulo de Young.*

Es un tipo de constante elástica, que relaciona una medida relacionada con la tensión, y una medida relacionada con la deformación. Se basa en la ley de Hooke que expresa la relación constante que existe entre los esfuerzos y los alargamientos unitarios. Se representa por la letra **E**, donde **σP** es la tensión unitaria en el límite elástico, ambas expresadas en kgf/mm² o kgf/cm², y **ε** es el alargamiento unitario.

$$E = \frac{\sigma_P}{\varepsilon}$$

3. MATERIALES, INSTRUMENTOS, EQUIPOS Y METODOS

3.1. Resumen del experimento

Seleccionados los diámetros de las *barras corrugadas soldables grado 50 S*, se procederá a la realización de las probetas para hacer los respectivos ensayos. Los diámetros de las barras serán 8 mm 10 mm y 12 mm.

Se tendrá dos tipos de ensayos, macro ataque y ensayo a tracción:

3.1.1. Probetas para ensayo de tracción.

- **Probetas sin soldar**

Se cortaran:

3 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 8 mm.

3 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 10 mm.

3 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 12 mm.

Con estas probetas se verificaran las características mecánicas citadas por el fabricante.

- **Probetas soldadas**

Tendremos dos tipos de empalmes, a solape y a tope indirecto.

El soldado de los empalmes en las probetas, se lo realizara con electrodos:

- E 6010 CONARCO para la soldadura de raíz (primer filete)
- E 7018 CONARCO para la soldadura de relleno (segundo filete)

Se realizará:

5 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 8 mm (soldado a solape).

5 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 10 mm (soldado a solape).

5 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 12 mm (soldado a solape).

También se realizará:

5 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 8 mm (soldado a tope indirecto).

5 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 10 mm (soldado a tope indirecto).

5 probetas de 50 cm de longitud para la barra corrugada CA-50 S de 12 mm (soldado a tope indirecto).

Se tendrá dos tipos de ensayos, macro ataque y ensayo a tracción:

3.1.2. Ensayo Macro ataque.

Con este ensayo podremos observar la penetración de la soldadura (raíz y de relleno) y la inclusión de escoria o discontinuidad en la soldadura.

Procedimiento del ensayo

- Una vez soldadas las probetas se le hará un corte transversal al filete (sección donde se realizó el soldado). Este corte se lo debe realizar con un disco de corte delgado para que no produzca mucha fricción y evitar así el calentamiento excesivo de la probeta en el área donde se realizará el corte.
- Luego se procede al pulido de la sección transversal con diferentes tipos de hojas de lija metálica (*N° 220, N° 360, N°400 y N°1000*), se debe lograr obtener la apariencia de un espejo rustico.
- Posterior al lijado y pulido de la sección transversal donde se realizó el corte a la soldadura, se procederá con el ataque químico con NITAL en la sección ya mencionada.
- El nital consiste en 5% de ácido nítrico concentrado en alcohol etílico (*en 100 ml de alcohol etílico 95%, agregar 5 ml de ácido nítrico concentrado HNO₃*)
- Es recomendable utilizar todos los implementos de seguridad como ser: guantes de cuero, mandil de cuero para proteger quemaduras de las limaduras expulsadas por la amoladora, gafas transparentes de protección para los ojos, botas, y evitar usar la amoladora donde exista líquidos inflamables.

3.1.3. Ensayo de tracción

Con este ensayo obtendremos las propiedades mecánicas de las probetas: límite de fluencia, resistencia a la tracción y alargamiento porcentual.

Todos estos valores saldrán de la gráfica de tensión vs deformación unitaria.

Luego se hará las respectivas comparaciones:

- Comparación con características mecánicas del fabricante (probetas no soldadas).
- Comparación con características mecánicas de las probetas soldadas (probetas soldadas vs probetas sin soldar).

Para la toma de datos como ser fuerzas y deformaciones, contamos con una prensa universal emplazada en el laboratorio de maderas de la carrera de ingeniería forestal.

Todas las probetas serán sometidas a cargas o fuerzas de tracción hasta la ruptura.

3.2. Características de los materiales y la soldadura empleada

3.2.1. Aceros corrugados soldables

Todas las probetas que serán ensayadas son aceros corrugados soldables **Acindar CA-50 S** de procedencia argentina.

Las propiedades mecánicas del fabricante son:

Tabla 3.1 propiedades mecánicas mínimos del fabricante.

Límite de fluencia F_{yK} (MPa)	Resistencia a la tracción F_{tr} (MPa)	Alargamiento %
500	660	8

3.2.2. Electrodo revestidos para el soldado de las probetas

- **Para la soldadura de raíz E-6010 CONARCO**

Muy buena penetración para soldadura en toda posición. Electrodo E-6010 AWS A5.1 (*CONARCO 10 celulósico*).

Universal para uso en fabricación y montaje donde las condiciones de soldadura no son ideales (óxido, mala preparación de biseles, etc.).

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del metal depositado

Límite de fluencia F_{yK} (MPa)	Resistencia a la tracción F_{tr} (MPa)	Alargamiento %
466	529	29

- **Para la soldadura principal o de relleno E-7018 CONARCO**

Electrodo con polvo de hierro en su revestimiento y bajo hidrógeno. E-7018-1 AWS A5.1 (*CONARCO 18 básico - bajo hidrógeno*)

Escoria básica que deposita cordones de calidad radiográfica. Excelentes propiedades de impacto a bajas temperaturas.

Construcciones soldadas de gran responsabilidad, con aceros al C-Mn y de baja aleación con resistencia a la tracción hasta 560 MPa. Soldadura de aceros hasta 0.45 % de carbono y aceros para uso naval de grados A, D y E.

Apto para juntas disímiles entre aceros de bajo carbono y alta resistencia y de aceros al C-Mn que deban trabajar a bajas temperaturas (hasta $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$) o altas temperaturas (hasta $540\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Tabla 3.3 Propiedades mecánicas del metal depositado

Límite de fluencia F_{yK} (MPa)	Resistencia a la tracción F_{tr} (MPa)	Alargamiento %
499	582	29

- **Equipo y materiales usados**

Para la realización del soldado y ensayos de las probetas se usaron los siguientes materiales y equipos.

- Flexo metro.
- Calibrador Vernier.
- Amoladoras grande y pequeña.
- Anteojos protectores.
- Arco soldador de 400 amperes.
- Mascara para soldador con vidrios ahumados.
- Guantes y delantales de cuero.
- Electrodo revestidos (*E 6010 para la raíz y E 7018 para relleno*).
- Cepillo de acero y desescoriador (*para limpiar la escoria de la soldadura*)
- Cronómetro.
- Discos de corte grande y pequeño.
- Lijas de agua para fierro (*N° 220, N° 360, N°400 y N°1000*)
- Alcohol Etílico 96°.
- Ácido Nítrico.
- Jeringa para dosificar. (*95% alcohol etílico + 5% ácido nítrico = Nital*)
- Algodón para hacer un hisopo con el cual se aplica el nital.
- Pinzas para sujetar el algodón.
- Prensa mecánica (*para realizar las probetas para el ensayo de macro ataque*).
- Equipo universal para ensayos de tracción. (*Prensa Hamsler*).
- Extensómetro mecánico (*para medir las deformaciones*)
- Acero de construcción CA-50 S (*para las probetas*)

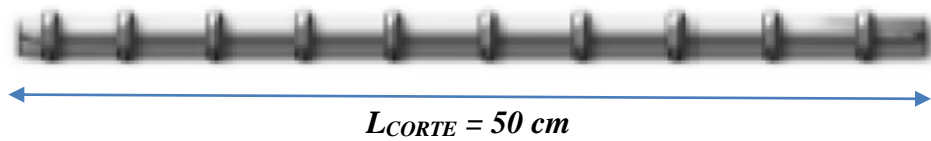
3.3. Diseño de las probetas

3.3.1. Probetas sin soldar

Estas probetas tienen una longitud de 50 cm y se requiere tres probetas de cada diámetro correspondiente.

$$L_{\text{PROBETA}} = L_{\text{CORTE}} = 50 \text{ cm (tres piezas para cada diámetro)}$$

Figura 3.1. Detalle de la longitud de corte para las probetas sin soldar



3.3.2. Probetas soldadas con empalme a solape

Para el diseño de este empalme, se tiene que la longitud del empalme es de $10 \varnothing$ de la barra si solo es soldado un lado del empalme, en nuestro caso todas las probetas serán soldados por ambos lados, por lo mismo se tendría que la longitud del empalme será:

$$5 * \varnothing_{BARRA}.$$

La *longitud de la probeta es de 50 cm*, ver longitudes mínimas (Tabla 2.6).

Para barra corrugada CA-50 S de 8 mm

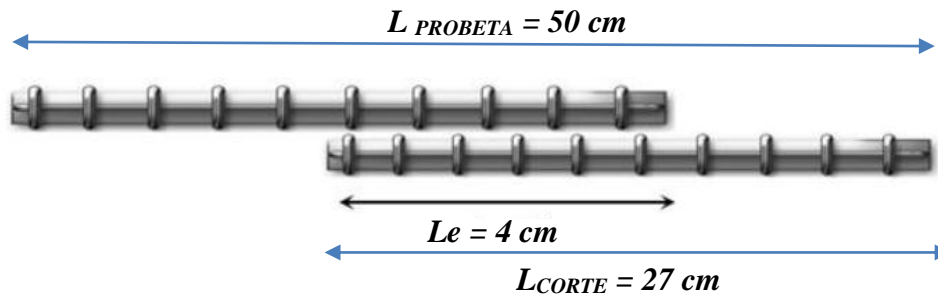
$$L_e = 5 * \varnothing_{BARRA} = 5 * 0.8 \text{ cm}$$

$$L_e = 4 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 25 \text{ cm} + L_e/2 = 25 \text{ cm} + 2 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 27 \text{ cm (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

Figura 3.2. Detalle del empalme y longitud de corte para la barra 8 mm



Para barra corrugada CA-50 S de 10 mm

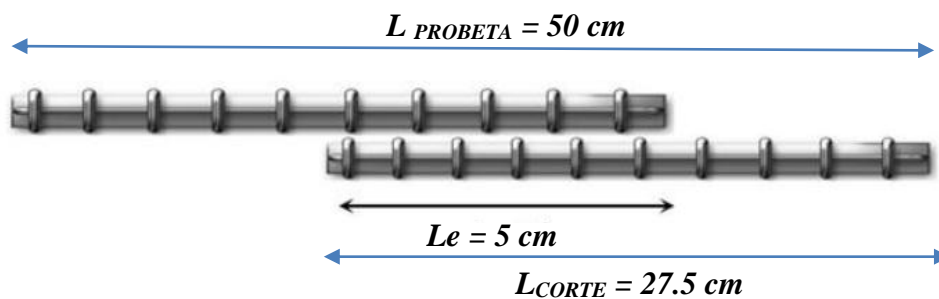
$$L_e = 5 * \varnothing_{BARRA} = 5 * 1 \text{ cm}$$

$$L_e = 5 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 25 \text{ cm} + L_e/2 = 25 \text{ cm} + 2.5 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 27.5 \text{ cm (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

Figura 3.3. Detalle del empalme y longitud de corte para la barra 8 mm



Para barra corrugada CA-50 S de 12 mm

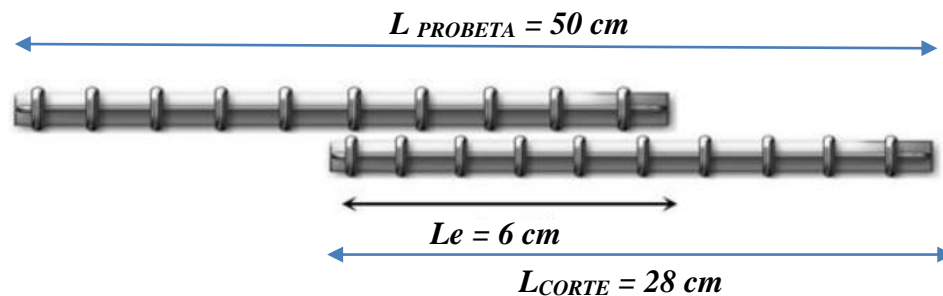
$$L_e = 5 * \varnothing_{BARRA} = 5 * 1.2 \text{ cm}$$

$$L_e = 6 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 25 \text{ cm} + L_e/2 = 25 \text{ cm} + 3 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 28 \text{ cm (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

Figura 3.4. Detalle del empalme y longitud de corte para la barra 12 mm



3.3.3. Probetas soldadas con empalme a tope indirecto con refuerzos

Para este tipo de empalme la longitud de corte será la mitad de la longitud de la probeta y los refuerzos tendrán la longitud del empalme.

Para barra corrugada CA-50 S de 8 mm

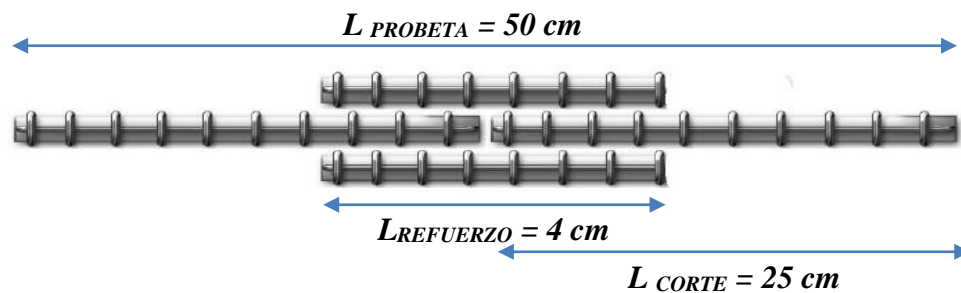
$$L_e = 5 * \varnothing_{BARRA} = 5 * 0.8 \text{ cm}$$

$$L_e = 4 \text{ cm} = L_{REFUERZOS} \text{ (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

$$L_{CORTE} = L_{PROBETA} / 2 = 50 \text{ cm} / 2 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 25 \text{ cm} \text{ (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

Figura 3.5. Detalle del empalme y longitud de corte para la barra 8 mm



Para barra corrugada CA-50 S de 10 mm

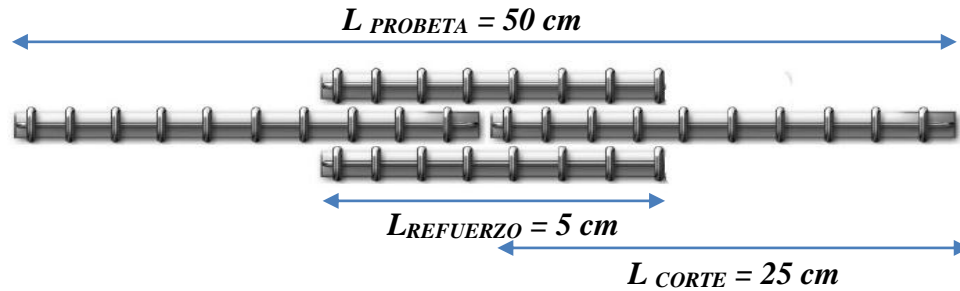
$$L_e = 5 * \varnothing_{BARRA} = 5 * 1 \text{ cm}$$

$$L_e = 5 \text{ cm} = L_{REFUERZOS} \text{ (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

$$L_{CORTE} = L_{PROBETA} / 2 = 50 \text{ cm} / 2 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 25 \text{ cm} \text{ (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

Figura 3.6. Detalle del empalme y longitud de corte para la barra 10 mm



Para barra corrugada CA-50 S de 12 mm

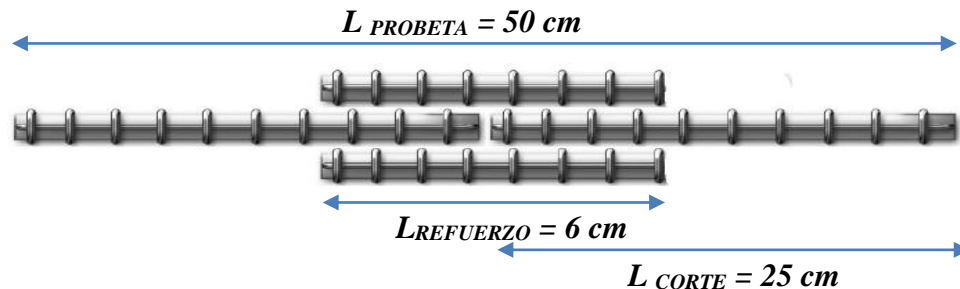
$$L_e = 5 * \varnothing_{BARRA} = 5 * 1.2 \text{ cm}$$

$$L_e = 6 \text{ cm} = L_{REFUERZOS} \text{ (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

$$L_{CORTE} = L_{PROBETA} / 2 = 50 \text{ cm} / 2 \text{ cm}$$

$$L_{CORTE} = 25 \text{ cm} \text{ (diez piezas para ensamblar 5 probetas)}$$

Figura 3.7. Detalle del empalme y longitud de corte para la barra 12 mm



3.4. Montaje y soldado de las probetas

En este punto mostraremos todo el proceso de realización de las probetas.

Se procedió al cortado de las barras con una amoladora grande y un disco de corte **BNA 22 A36 TBF 41 NORTON**

La calibración del equipo soldador se lo hizo con la ayuda de un cronómetro y probetas auxiliares donde se hizo una sola pasada para cada tipo de electrodo.

- La soldadura de raíz se lo hizo con electrodo de buena penetración **E-6010 AWS A5.1 (CONARCO 10 celulósico)**.

- La soldadura de relleno se lo hizo con electrodo *E-7018-1 AWS A5.1* (*CONARCO 18 básico - bajo hidrógeno*)

Tabla 3.3 Velocidades medias de pasada y amperaje utilizados

Diámetro de barra	Tipo de electrodo	Diámetro del electrodo	V _{PASADA} (cm/s)	Amperaje (A)
8 mm	Soldadura de raíz E 6010	Ø = 3.17 mm	0.16	100
	Soldadura de relleno E 7018	Ø = 3.17 mm	0.15	140
10 mm	Soldadura de raíz E 6010	Ø = 3.17 mm	0.20	100
	Soldadura de relleno E 7018	Ø = 3.17 mm	0.12	140
12 mm	Soldadura de raíz E 6010	Ø = 3.17 mm	0.24	100
	Soldadura de relleno E 7018	Ø = 3.17 mm	0.14	140



Foto 3.1. Cortado con amoladora Grande



Foto 3.2. Empalme a solape



Foto 3.3. Empalme a tope indirecto



Foto 3.4. Probetas para calibración de amperaje y velocidad de pasada

El soldado de las probetas se lo hizo en la posición 1G ver (Figura 2.11)



Foto 3.5. Soldado de las probetas en posición acostada



Foto 3.6. Soldadura de raíz



Foto 3.7. Soldadura de relleno



Foto 3.8. Probetas soldado a solape: 8 mm, 10mm y 12 mm



Foto 3.9. Probetas soldado a tope indirecto: 8 mm, 10 mm y 12 mm

3.5. Ensayos de laboratorio.

3.5.1. Ensayo a tracción.

Para este ensayo se calibrará la prensa universal y se tomarán datos de todas las probetas que serán ensayadas:

- Tipo de mordaza (se utilizó mordazas de sujeción para probetas de sección transversal circular)
 - Mordaza para diámetros 6 mm, 8mm, 10 mm y 12 mm (*se usó para las probetas de 8 mm y 10 mm*)
 - Mordaza para diámetros de 12 mm, 16 mm y 19 mm (**se usó para las probetas de 12 mm**)
- Velocidad constante de carga (*2.5 mm/s para todas las probetas*)
- Variación de la carga (*la carga ira incrementando cada 3 KN hasta la ruptura de la probeta*)
- Se pondrá en nivel 0 la cuña del equipo para colocar el extensómetro que ira midiendo las deformaciones debido a la acción de la carga, a sugerencia del ingeniero laboratorista (*Ing. Ariel Castillo*), solo se medirá 25 mm de deformación con el extensómetro, los siguientes datos se lo tomara de una regla graduada colocado a un extremo del equipo.
- Con la ayuda de un flexómetro y un calibrador vernier, se tomara datos de las probetas que serán ensayadas (*longitud inicial y diámetro inicial*)
- Una vez sujeta la probeta por las cuñas del equipo, se procederá a aplicar la carga sobre la probeta y se ira leyendo **cargas en KN vs deformaciones en mm.**
- Ya finalizando el ensayo en el laboratorio, se toma los últimos datos de las probetas fracturadas (*longitud final y diámetro final*)



Foto 3.10. Medición de la longitud inicial



Foto 3.11. Medición del diámetro inicial



Foto 3.12. Extensómetro mecánico



Foto 3.13. Regla graduada del equipo



Foto 3.14. Lecturador de carga



Foto 3.15. Colocado de la probeta

Ing. Ariel catillo



Foto 3.16. Ruptura de probeta soldado a solape



Foto 3.17 ruptura de probeta soldado a tope indirecto

3.5.2. Ensayo de Macro Ataque.

El ensayo de macro ataque se lo hizo en el taller de soldadura del señor Julián Fernández Beltrán.

Con este ensayo determinaremos la profundidad de penetración de la soldadura, la discontinuidad o porosidad de la soldadura.

- Se tomó una probeta ensayada a tracción, y se hizo un corte transversal al empalme donde se realizó el soldado correspondiente, este proceso se lo hizo con una amoladora pequeña y un disco de corte pequeño ***BNA 12 A36 TBF 41 NORTON.***

Se debe evitar el exceso de calor en el área transversal del empalme debido a la fricción que produce del disco de corte, es por esta razón que se lo hace con un disco pequeño y delgado, así mismo es necesario asegurar bien la pieza que se va a cortar.

Con la ayuda de una prensa mecánica se sujeta bien la pieza, esto nos evitara la ruptura del disco de corte debido a malas maniobras realizadas, las mismas derivarían en accidentes de gravedad.

- Si no se cuenta con Nital, con la ayuda de una jeringa se procede a la siguiente dosificación:

100 ml alcohol etílico + 5ml ácido nítrico = Nital.

- El siguiente paso es el lijado y pulido de la sección transversal de pieza cortada, Este pulido se lo hizo con las siguientes lijas de fierro (***N° 220, N° 360, N°400 y N°1000***), siendo las más finas las de mayor numeración.
- Una vez pulido la sección transversal debe parecer un espejo rustico para aplicar el ***ataque químico con Nital***.
- La aplicación de nital se lo hace con una pinza y algodón logrando formar un hisopo que se sumerge en nital para hacer el curado de la sección transversal, este curado se lo debe de hacer 3 veces y dejar secar a temperatura ambiente.
- Ya finalizando este ensayo se debe tomar nota de las observaciones realizadas después de aplicar nital a la sección transversal pulida.



Foto 3.18. Equipo y material utilizado



Foto 3.19. Dosificación para obtener Nital



Foto 3.20. Lijas metálicas (N° 220, N° 360, N°400 y N°1000)



Foto 3.21. Sección transversal recién cortada con amoladora pequeña

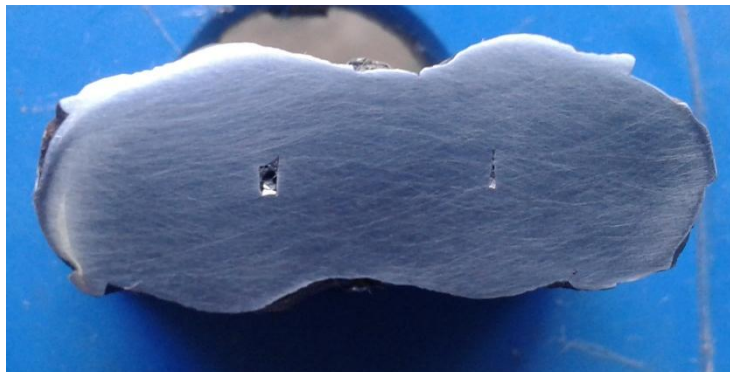


Foto 3.22. Sección transversal pulida



Foto 3.23. Ataque químico con Nital

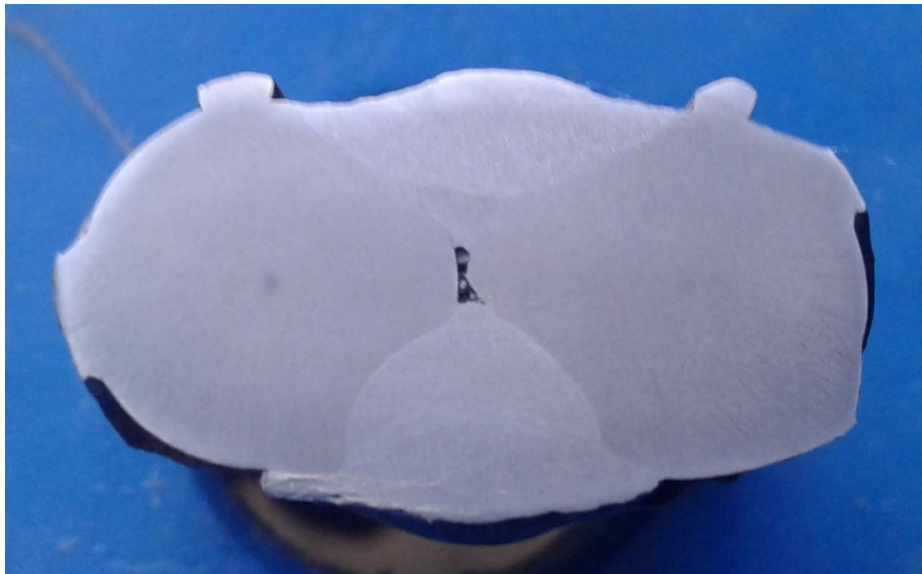


Foto 3.24. Soldado a solape, vemos la penetración de la soldadura

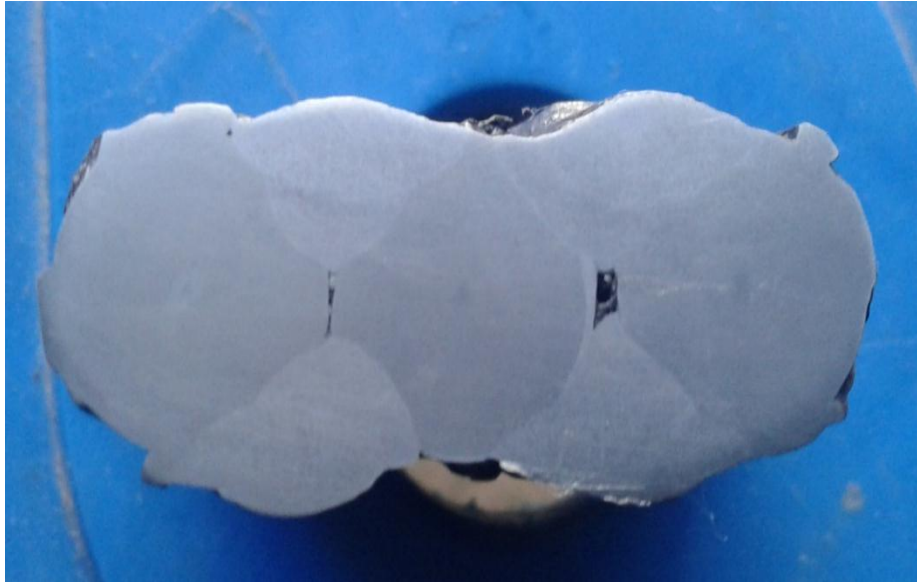


Foto 3.25. Soldado a tope indirecto, vemos la inclusión de escoria

En ambos casos se ve con claridad la penetración de la soldadura de raíz y la soldadura de relleno, además se puede ver inclusión de escoria, próximos a la raíz.

4. RESULTADOS Y ANALISIS

4.1. Datos obtenidos

Como el cálculo es el mismo para todas las probetas, solo se mostrara un ejemplo de cada tipo de probetas de distintos diámetros, los demás cálculos y graficas se contemplaran en anexos.

PROBETAS SIN SOLDAR

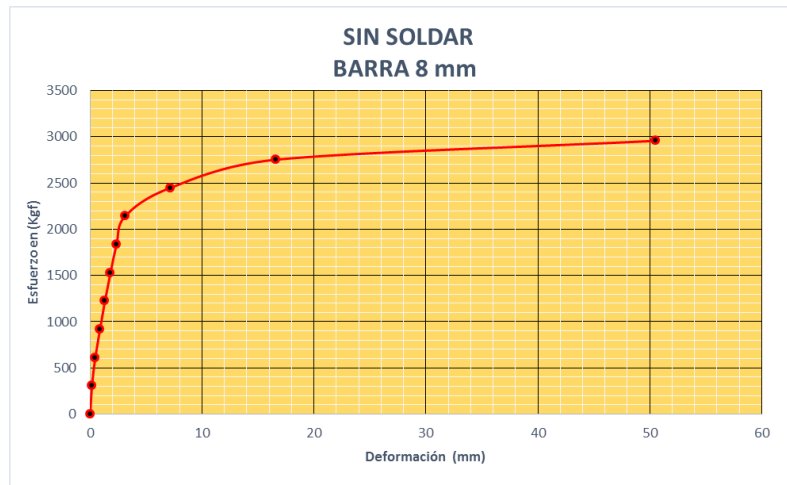
PROBETA N° 1 DE 8 mm SIN SOLDAR

Li =	49,80	<i>cm</i>
Lf =	54,10	<i>cm</i>
Di =	8,00	<i>mm</i>
Df =	5,80	<i>mm</i>
luz =	33,70	<i>cm</i>
Δ =	4,30	<i>cm</i>
A =	0,503	<i>cm²</i>

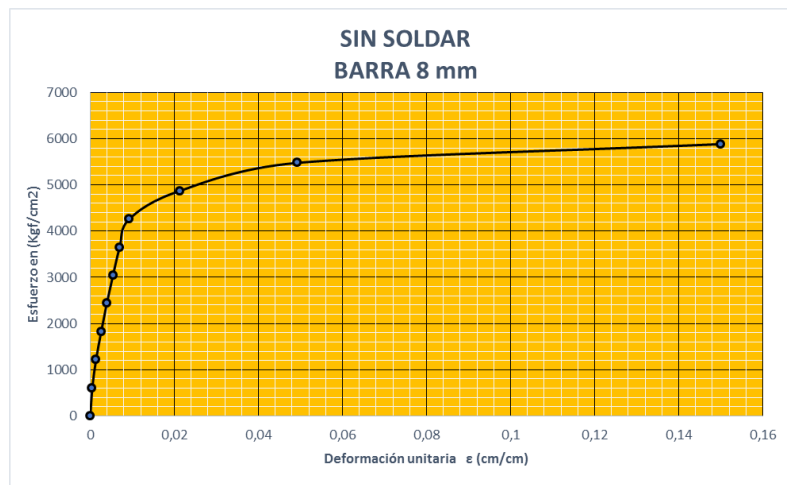
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,01	0	0,00003	0,00
3	0,16	305,91	0,00047	608,59
6	0,46	611,82	0,00136	1217,18
9	0,88	917,73	0,00261	1825,77
12	1,32	1223,64	0,00392	2434,35
15	1,82	1529,55	0,00540	3042,94
18	2,36	1835,46	0,00700	3651,53
21	3,12	2141,37	0,00926	4260,12
24	7,16	2447,28	0,02125	4868,71
27	16,6	2753,19	0,04926	5477,30
29	50,52	2957,13	0,14991	5883,02

Tabla 4.1 datos de laboratorio y gabinete

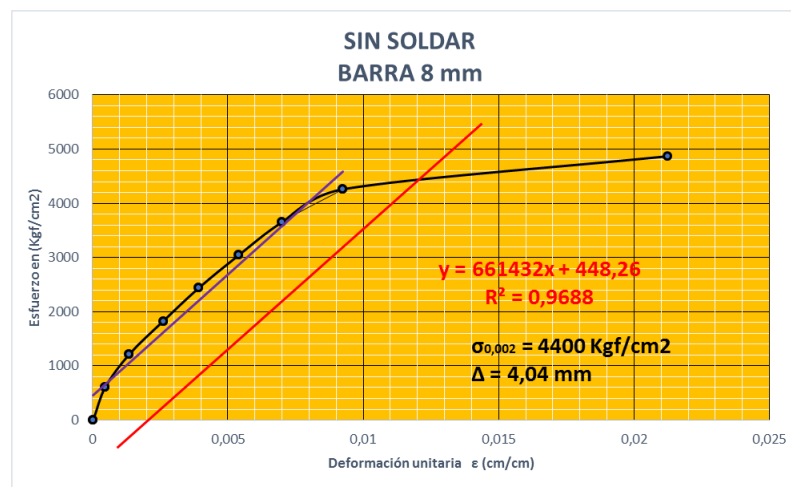
Gráfica 4.1. Grafica carga vs deformación barra 8 mm



Gráfica 4.2. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 8 mm



Gráfica 4.3. Obtención del esfuerzo limite fluencia



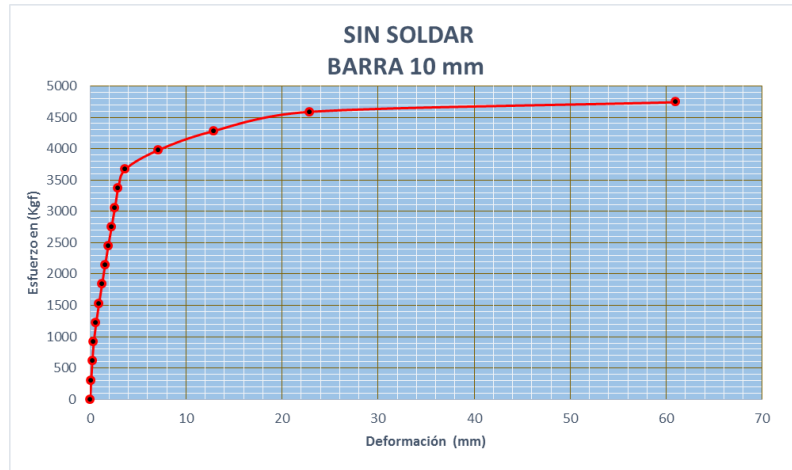
PROBETA N° 1 DE 10 mm SIN SOLDAR

Li=	49,9	<i>cm</i>
Lf=	55,5	<i>cm</i>
Di=	10	<i>mm</i>
Df=	8	<i>mm</i>
luz=	33,7	<i>cm</i>
Δ=	5,6	<i>cm</i>
A =	0,785	<i>cm²</i>

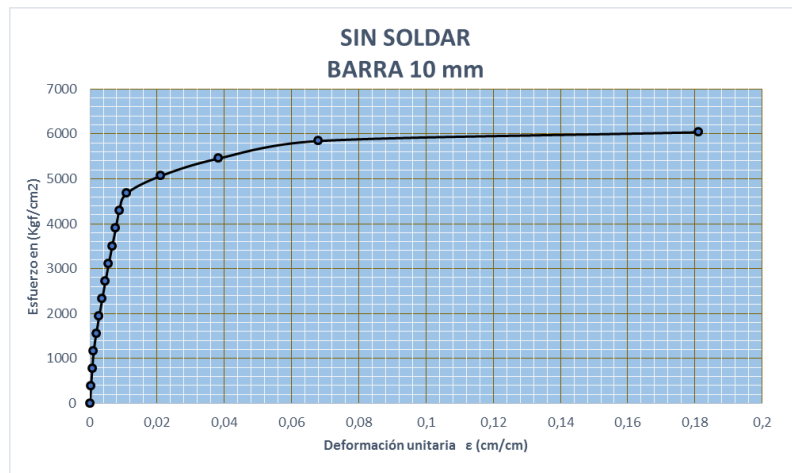
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,02	0	0,00006	0,00
3	0,12	305,91	0,00036	389,50
6	0,24	611,82	0,00071	778,99
9	0,39	917,73	0,00116	1168,49
12	0,64	1223,64	0,00190	1557,99
15	0,94	1529,55	0,00279	1947,48
18	1,25	1835,46	0,00371	2336,98
21	1,56	2141,37	0,00463	2726,48
24	1,9	2447,28	0,00564	3115,97
27	2,24	2753,19	0,00665	3505,47
30	2,6	3059,1	0,00772	3894,97
33	2,94	3365,01	0,00872	4284,46
36	3,68	3670,92	0,01092	4673,96
39	7,1	3976,83	0,02107	5063,46
42	12,9	4282,74	0,03828	5452,95
45	22,9	4588,65	0,06795	5842,45
46,5	61	4741,605	0,18101	6037,20

Tabla 4.2 datos de laboratorio y gabinete

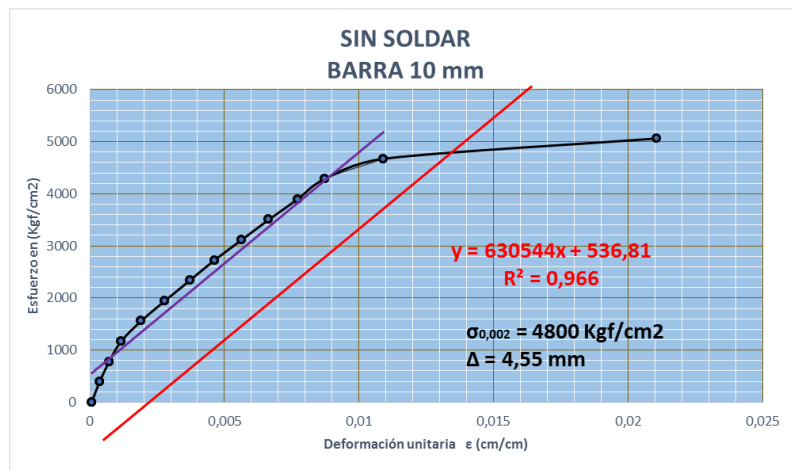
Gráfica 4.4. Grafica carga vs deformación barra 10 mm



Gráfica 4.5. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 10 mm



Gráfica 4.6. Obtención del esfuerzo limite fluencia



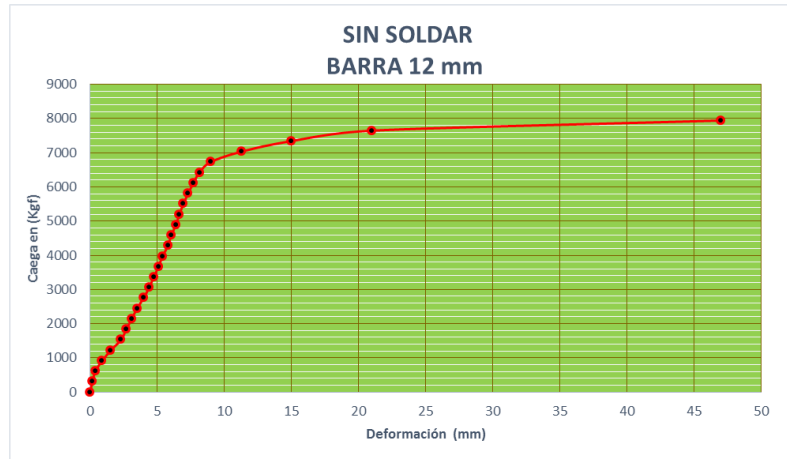
PROBETA N° 1 DE 12 mm SIN SOLDAR

Li=	49,8	<i>cm</i>
Lf=	53,7	<i>cm</i>
Di=	12	<i>mm</i>
Df=	10	<i>mm</i>
luz=	33,2	<i>cm</i>
Δ=	3,9	<i>cm</i>
A =	1,131	<i>cm²</i>

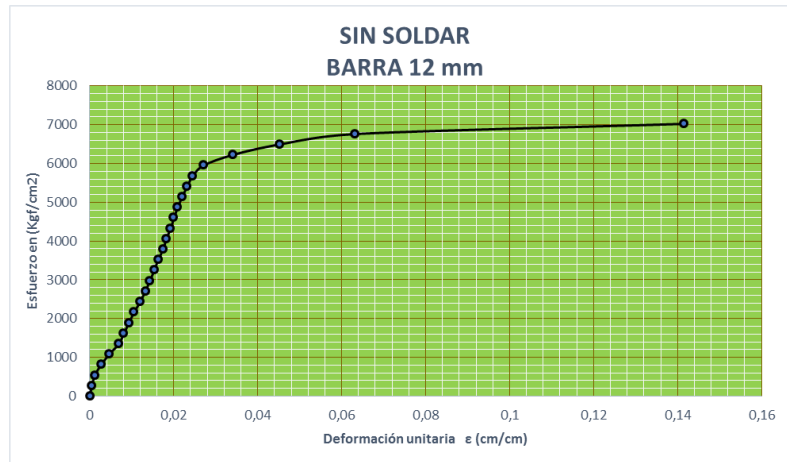
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,01	0	0,00003	0,00
3	0,17	305,91	0,00051	270,48
6	0,4	611,82	0,00120	540,97
9	0,9	917,73	0,00271	811,45
12	1,55	1223,64	0,00467	1081,94
15	2,3	1529,55	0,00693	1352,42
18	2,7	1835,46	0,00813	1622,90
21	3,1	2141,37	0,00934	1893,39
24	3,5	2447,28	0,01054	2163,87
27	3,99	2753,19	0,01202	2434,35
30	4,4	3059,1	0,01325	2704,84
33	4,75	3365,01	0,01431	2975,32
36	5,1	3670,92	0,01536	3245,81
39	5,4	3976,83	0,01627	3516,29
42	5,8	4282,74	0,01747	3786,77
45	6,05	4588,65	0,01822	4057,26
48	6,4	4894,56	0,01928	4327,74
51	6,65	5200,47	0,02003	4598,23
54	6,95	5506,38	0,02093	4868,71
57	7,3	5812,29	0,02199	5139,19
60	7,7	6118,2	0,02319	5409,68
63	8,15	6424,11	0,02455	5680,16
66	9	6730,02	0,02711	5950,64
69	11,3	7035,93	0,03404	6221,13
72	15	7341,84	0,04518	6491,61
75	21	7647,75	0,06325	6762,10
77,9	47	7943,463	0,14157	7023,56

Tabla 4.3 datos de laboratorio y gabinete

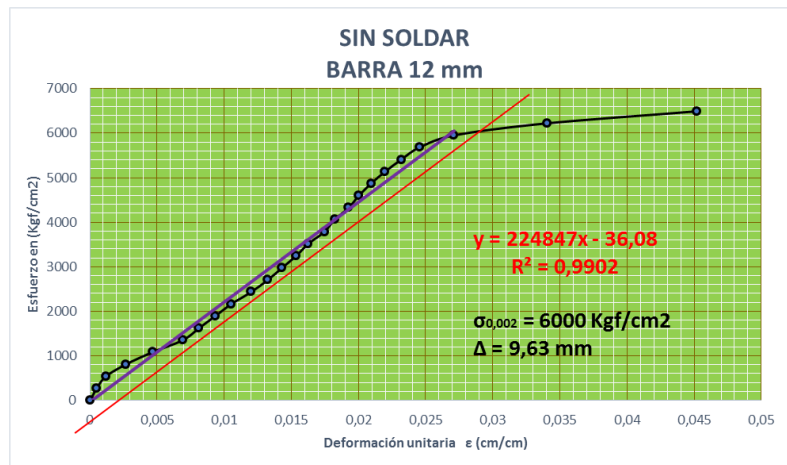
Gráfica 4.7. Grafica carga vs deformación barra 12 mm



Gráfica 4.8. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 12 mm



Gráfica 4.9. Obtención del esfuerzo limite fluencia



PROBETAS SOLDADAS A SOLAPE

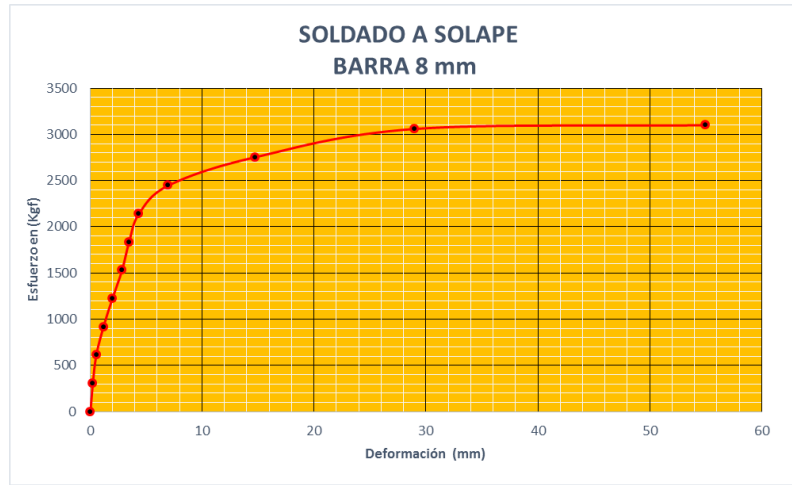
PROBETA N° 1 DE 8 mm SOLDADO A SOLAPE

Li=	49,6	<i>cm</i>
Lf=	54,5	<i>cm</i>
Di=	8	<i>mm</i>
Df=	6,8	<i>mm</i>
luz=	33,2	<i>cm</i>
Δ=	4,9	<i>cm</i>
A =	0,503	<i>cm²</i>

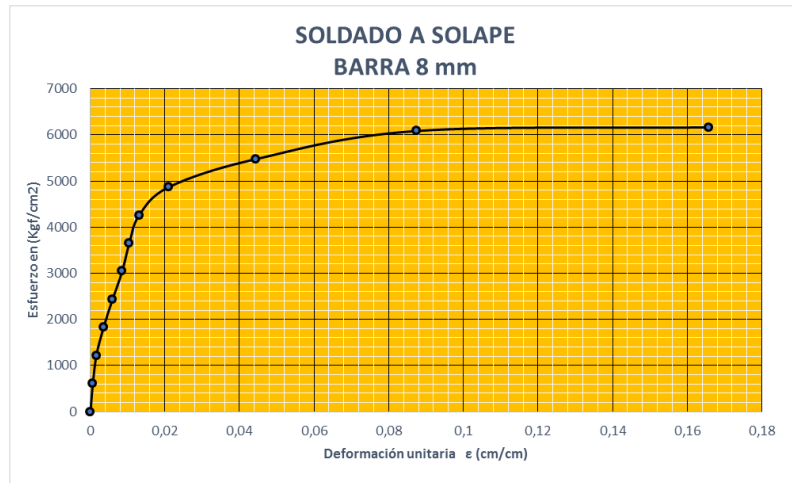
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,03	0,00	0,00009	0,00
3	0,24	305,91	0,00072	608,59
6	0,55	611,82	0,00166	1217,18
9	1,19	917,73	0,00358	1825,77
12	1,99	1223,64	0,00599	2434,35
15	2,85	1529,55	0,00858	3042,94
18	3,48	1835,46	0,01048	3651,53
21	4,36	2141,37	0,01313	4260,12
24	6,99	2447,28	0,02105	4868,71
27	14,75	2753,19	0,04443	5477,30
30	29,00	3059,10	0,08735	6085,89
30,4	55,00	3099,89	0,16566	6167,03

Tabla 4.4 datos de laboratorio y gabinete

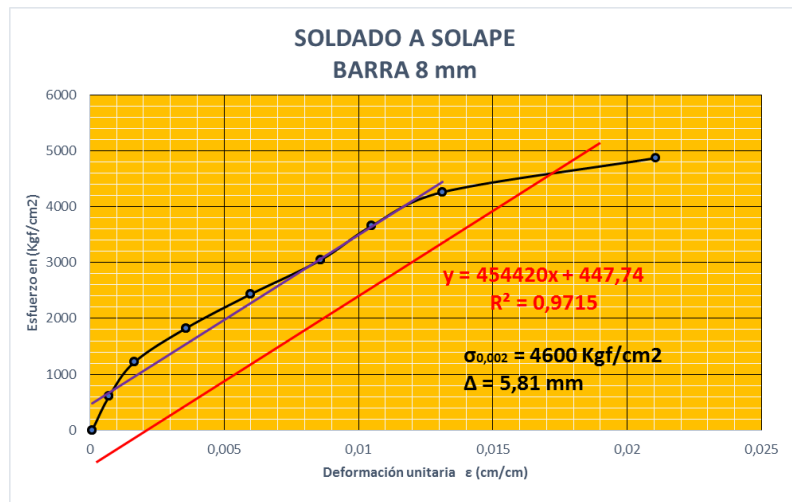
Gráfica 4.10. Grafica carga vs deformación barra 8 mm



Gráfica 4.11. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 8 mm



Gráfica 4.12. Obtención del esfuerzo limite fluencia



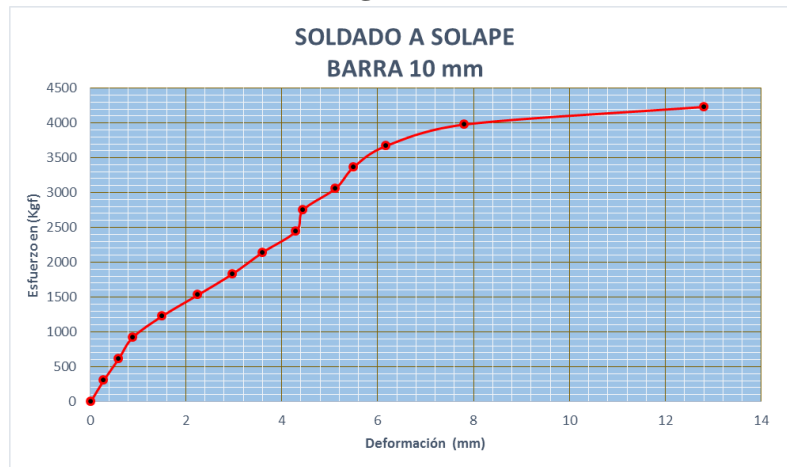
PROBETA N° 1 DE 10 mm SOLDADO A SOLAPE

Li=	50,1	<i>cm</i>
Lf=	50,8	<i>cm</i>
Di=	10	<i>mm</i>
Df=	9	<i>mm</i>
luz=	31,9	<i>cm</i>
Δ=	7	<i>cm</i>
A =	0,785	<i>cm²</i>

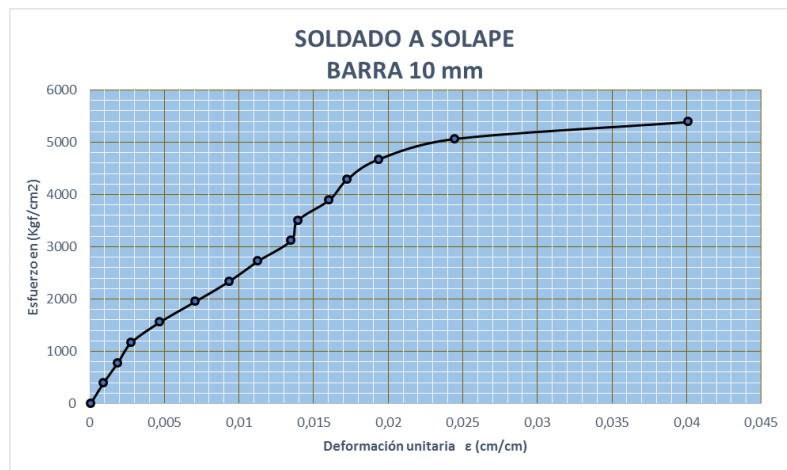
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,02	0,00	0,00006	0,00
3	0,29	305,91	0,00091	389,50
6	0,60	611,82	0,00188	778,99
9	0,89	917,73	0,00279	1168,49
12	1,50	1223,64	0,00470	1557,99
15	2,25	1529,55	0,00705	1947,48
18	2,98	1835,46	0,00934	2336,98
21	3,60	2141,37	0,01129	2726,48
24	4,30	2447,28	0,01348	3115,97
27	4,45	2753,19	0,01395	3505,47
30	5,12	3059,10	0,01605	3894,97
33	5,50	3365,01	0,01724	4284,46
36	6,18	3670,92	0,01937	4673,96
39	7,80	3976,83	0,02445	5063,46
41,5	12,80	4231,76	0,04013	5388,04

Tabla 4.5 datos de laboratorio y gabinete

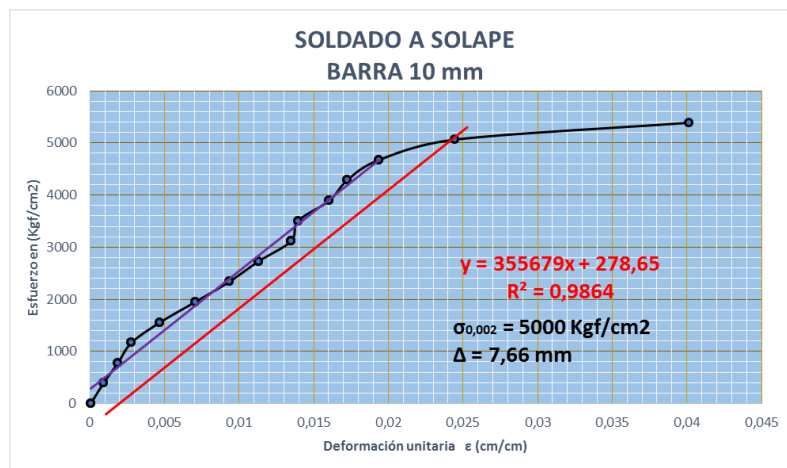
Gráfica 4.13. Grafica carga vs deformación barra 10 mm



Gráfica 4.14. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 10 mm



Gráfica 4.15. Obtención del esfuerzo limite fluencia



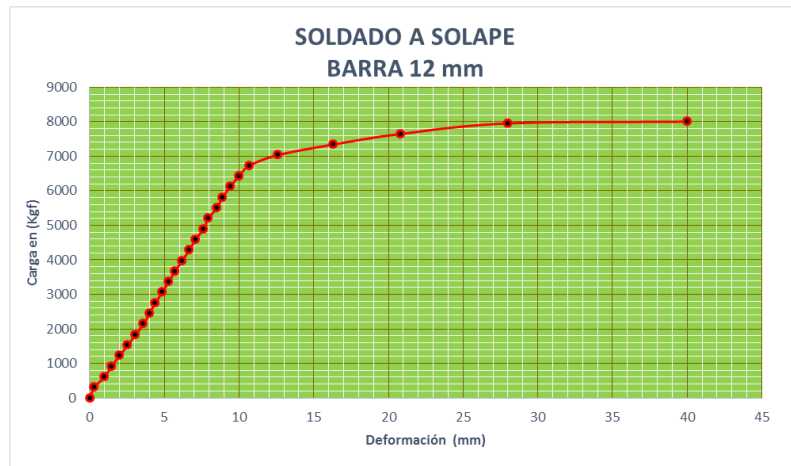
PROBETA N° 1 DE 12 mm SOLDADO A SOLAPE

Li=	50,5	cm
Lf=	53,9	cm
Di=	12	mm
Df=	11	mm
luz=	33,4	cm
Δ=	3,4	cm
A =	1,131	cm ²

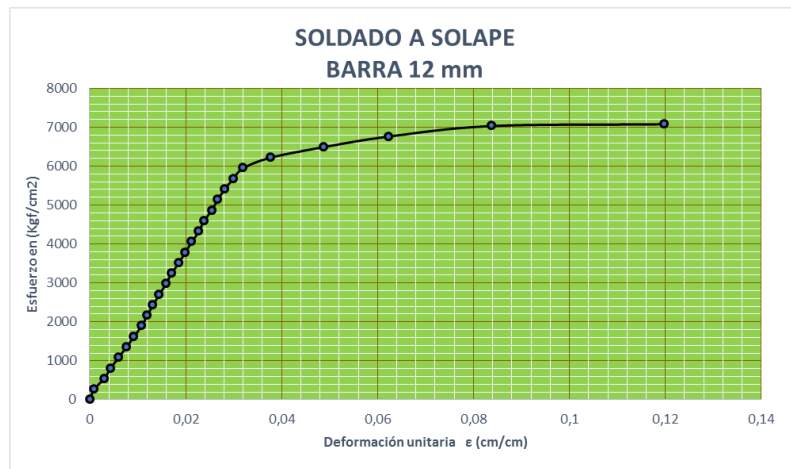
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,02	0	0,00006	0,00
3	0,3	305,91	0,00090	270,48
6	1	611,82	0,00299	540,97
9	1,45	917,73	0,00434	811,45
12	2	1223,64	0,00599	1081,94
15	2,55	1529,55	0,00763	1352,42
18	3,08	1835,46	0,00922	1622,90
21	3,6	2141,37	0,01078	1893,39
24	4	2447,28	0,01198	2163,87
27	4,4	2753,19	0,01317	2434,35
30	4,85	3059,1	0,01452	2704,84
33	5,3	3365,01	0,01587	2975,32
36	5,7	3670,92	0,01707	3245,81
39	6,2	3976,83	0,01856	3516,29
42	6,65	4282,74	0,01991	3786,77
45	7,1	4588,65	0,02126	4057,26
48	7,6	4894,56	0,02275	4327,74
51	7,95	5200,47	0,02380	4598,23
54	8,5	5506,38	0,02545	4868,71
57	8,9	5812,29	0,02665	5139,19
60	9,4	6118,2	0,02814	5409,68
63	9,99	6424,11	0,02991	5680,16
66	10,7	6730,02	0,03204	5950,64
69	12,6	7035,93	0,03772	6221,13
72	16,3	7341,84	0,04880	6491,61
75	20,8	7647,75	0,06228	6762,10
78	28	7953,66	0,08383	7032,58
78,5	40	8004,645	0,11976	7077,66

Tabla 4.6 datos de laboratorio y gabinete

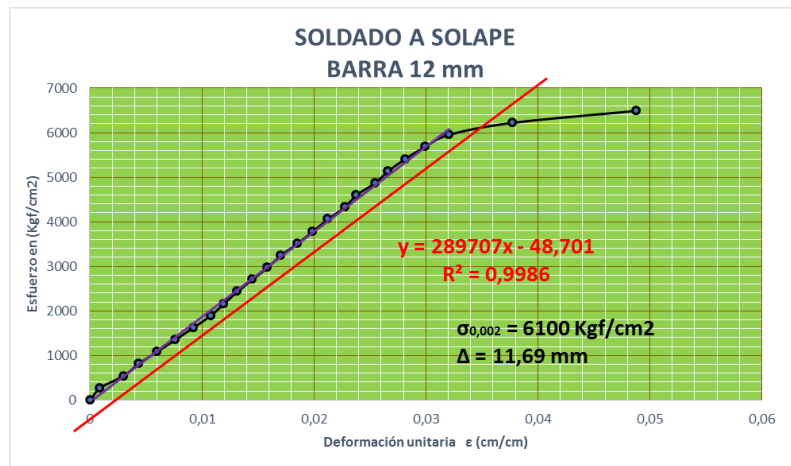
Gráfica 4.16. Grafica carga vs deformación barra 12 mm



Gráfica 4.17. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 12 mm



Gráfica 4.18. Obtención del esfuerzo limite fluencia



PROBETAS SOLDADAS A TOPE INDIRECTO

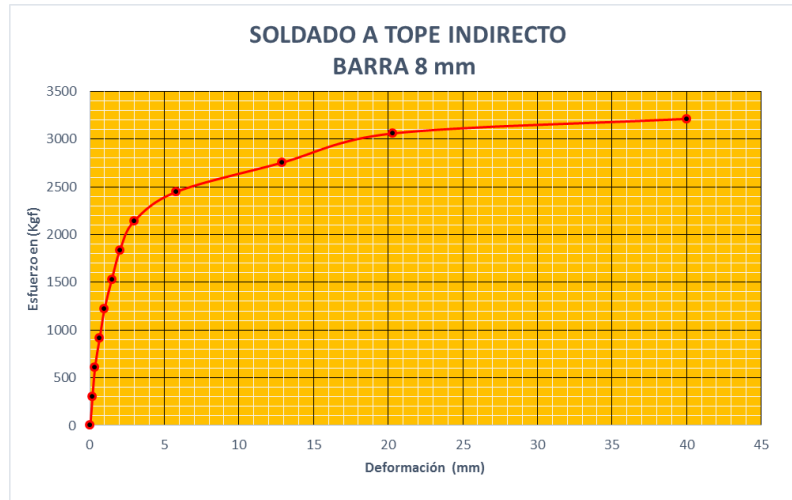
PROBETA N° 1 DE 8 mm SOLDADO A TOPE INDIRECTO

Li=	49,8	<i>cm</i>
Lf=	53,5	<i>cm</i>
Di=	8	<i>mm</i>
Df=	6,2	<i>mm</i>
luz=	33,3	<i>cm</i>
Δ=	3,7	<i>cm</i>
A =	0,503	<i>cm²</i>

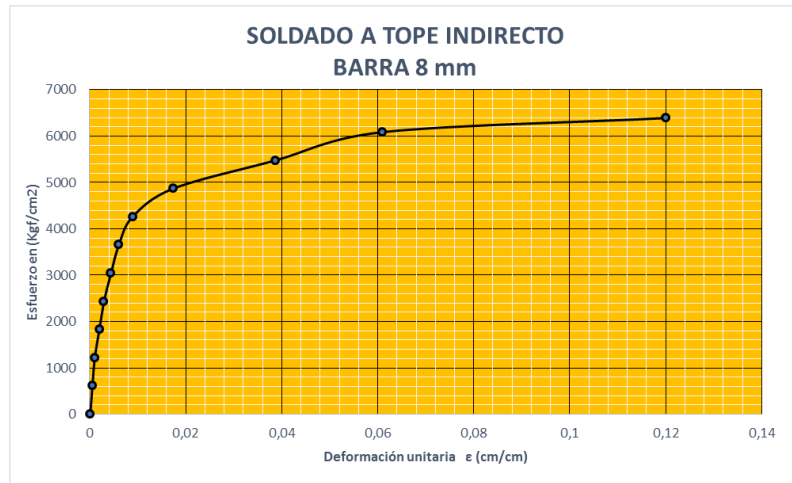
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,04	0,00	0,00012	0,00
3	0,19	305,91	0,00057	608,59
6	0,35	611,82	0,00105	1217,18
9	0,67	917,73	0,00201	1825,77
12	0,99	1223,64	0,00297	2434,35
15	1,48	1529,55	0,00444	3042,94
18	2,02	1835,46	0,00607	3651,53
21	2,98	2141,37	0,00895	4260,12
24	5,80	2447,28	0,01742	4868,71
27	12,90	2753,19	0,03874	5477,30
30	20,30	3059,10	0,06096	6085,89
31,5	40,00	3212,06	0,12012	6390,18

Tabla 4.7 datos de laboratorio y gabinete

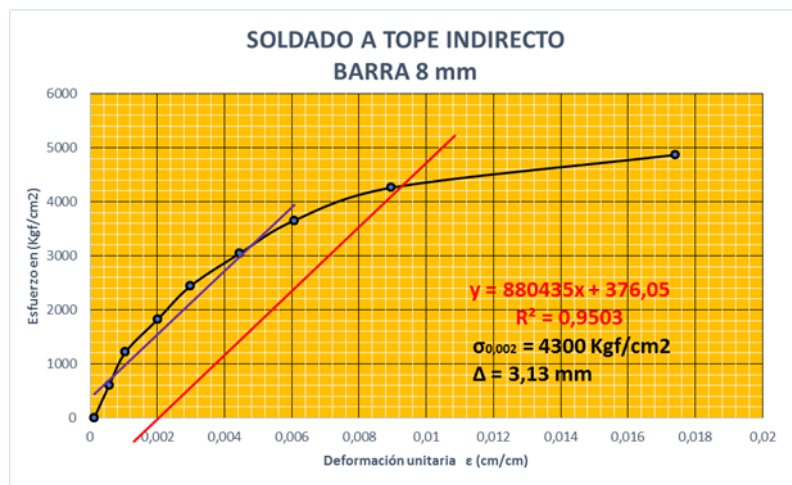
Gráfica 4.19. Grafica carga vs deformación barra 8 mm



Gráfica 4.20. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 8 mm



Gráfica 4.21. Obtención del esfuerzo limite fluencia



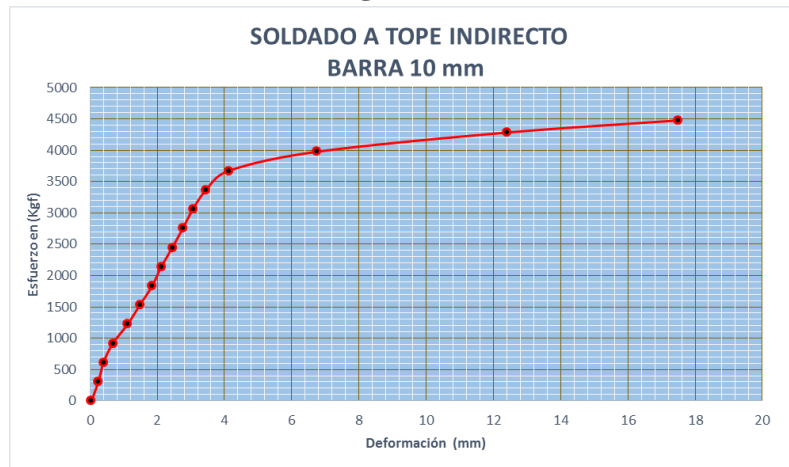
PROBETA N° 1 DE 10 mm SOLDADO A TOPE INDIRECTO

Li=	50	<i>cm</i>
Lf=	51,4	<i>cm</i>
Di=	10	<i>mm</i>
Df=	9,1	<i>mm</i>
luz=	32,7	<i>cm</i>
Δ=	1,4	<i>cm</i>
A =	0,785	<i>cm²</i>

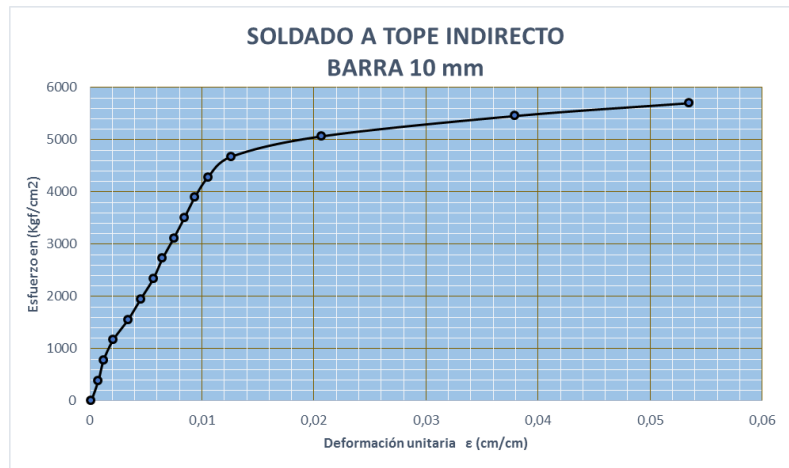
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,04	0,00	0,00012	0,00
3	0,25	305,91	0,00076	389,50
6	0,40	611,82	0,00122	778,99
9	0,68	917,73	0,00208	1168,49
12	1,12	1223,64	0,00343	1557,99
15	1,48	1529,55	0,00453	1947,48
18	1,85	1835,46	0,00566	2336,98
21	2,12	2141,37	0,00648	2726,48
24	2,45	2447,28	0,00749	3115,97
27	2,76	2753,19	0,00844	3505,47
30	3,06	3059,10	0,00936	3894,97
33	3,45	3365,01	0,01055	4284,46
36	4,12	3670,92	0,01260	4673,96
39	6,75	3976,83	0,02064	5063,46
42	12,40	4282,74	0,03792	5452,95
43,9	17,50	4476,48	0,05352	5699,64

Tabla 4.8 datos de laboratorio y gabinete

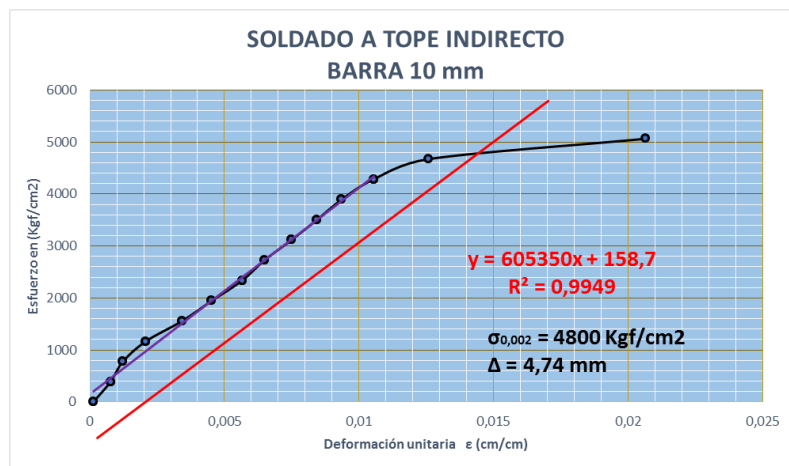
Gráfica 4.22. Grafica carga vs deformación barra 10 mm



Gráfica 4.23. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 10 mm



Gráfica 4.24. Obtención del esfuerzo limite fluencia



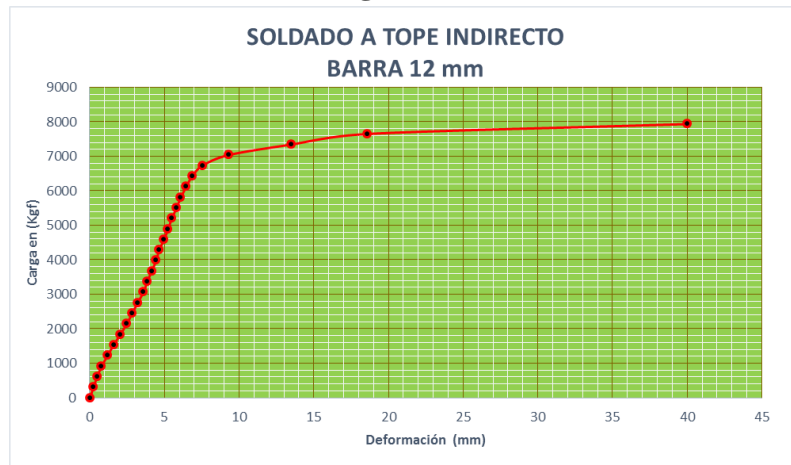
PROBETA N° 1 DE 12 mm SOLDADO A TOPE INDIRECTO

Li=	50	<i>cm</i>
Lf=	53,1	<i>cm</i>
Di=	12	<i>mm</i>
Df=	9,5	<i>mm</i>
luz=	31,3	<i>cm</i>
Δ=	3,1	<i>cm</i>
A =	1,131	<i>cm²</i>

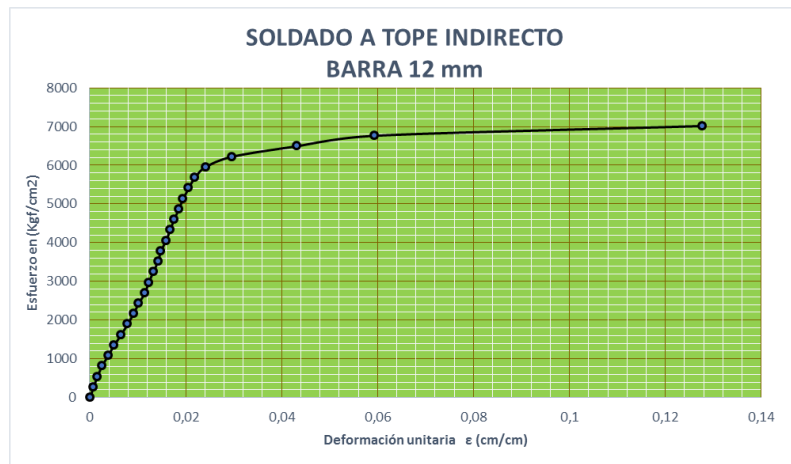
CARGA	DEF.	CARGA	ε	σ
KN	mm	Kgf	cm/cm	Kgf/cm²
0	0,02	0	0,00006	0,00
3	0,25	305,91	0,00080	270,48
6	0,5	611,82	0,00160	540,97
9	0,8	917,73	0,00256	811,45
12	1,2	1223,64	0,00383	1081,94
15	1,6	1529,55	0,00511	1352,42
18	2,05	1835,46	0,00655	1622,90
21	2,48	2141,37	0,00792	1893,39
24	2,85	2447,28	0,00911	2163,87
27	3,2	2753,19	0,01022	2434,35
30	3,6	3059,1	0,01150	2704,84
33	3,85	3365,01	0,01230	2975,32
36	4,15	3670,92	0,01326	3245,81
39	4,45	3976,83	0,01422	3516,29
42	4,65	4282,74	0,01486	3786,77
45	4,98	4588,65	0,01591	4057,26
48	5,25	4894,56	0,01677	4327,74
51	5,5	5200,47	0,01757	4598,23
54	5,82	5506,38	0,01859	4868,71
57	6,1	5812,29	0,01949	5139,19
60	6,45	6118,2	0,02061	5409,68
63	6,87	6424,11	0,02195	5680,16
66	7,55	6730,02	0,02412	5950,64
69	9,30	7035,93	0,02971	6221,13
72	13,50	7341,84	0,04313	6491,61
75	18,60	7647,75	0,05942	6762,10
77,8	40,00	7933,266	0,12780	7014,55

Tabla 4.9 datos de laboratorio y gabinete

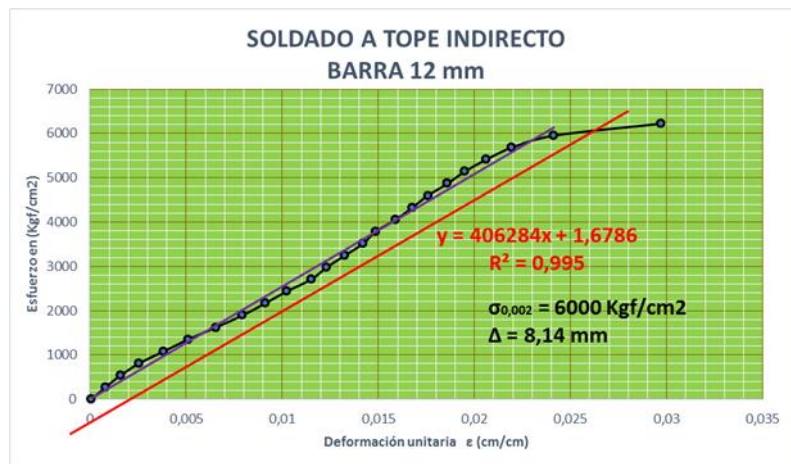
Gráfica 4.25. Grafica carga vs deformación barra 12 mm



Gráfica 4.26. Esfuerzo vs deformación unitaria barra 12 mm



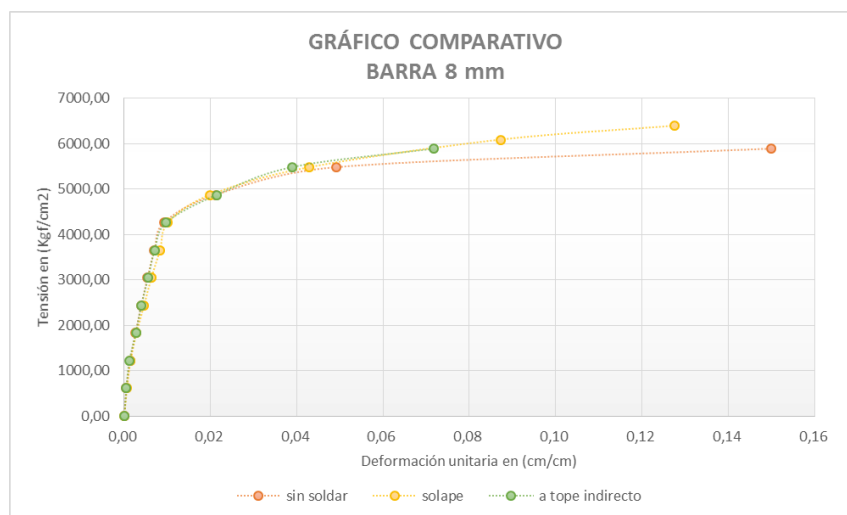
Gráfica 4.27. Obtención del esfuerzo limite fluencia



RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS GRÁFICAS BARRA 8mm

RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 8 mm SIN SOLDAR			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm2)	resistencia a la tracción (Kgf/cm2)	alargamiento (%)
probeta 1	4400	5883,02	8,63
probeta 2	4400	5761,31	10,22
probeta 3	4400	5883,02	14,23
media	4400	5842,45	11,03
RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 8 mm SOLDADO A SOLAPE			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm2)	resistencia a la tracción (Kgf/cm2)	alargamiento (%)
probeta 1	4600	6167,03	9,88
probeta 2	4500	6390,18	8,03
probeta 3	4400	5700,45	9,22
media	4500	6085,89	9,04
RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 8 mm SOLDADO A TOPE INDIRECTO			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm2)	resistencia a la tracción (Kgf/cm2)	alargamiento (%)
probeta 1	4300	6390,18	7,43
probeta 2	4400	6045,31	8,40
probeta 3	4400	5923,60	5,18
media	4366,67	6119,70	7,00

Tabla 4.10 Resultados obtenidos para de cada probeta

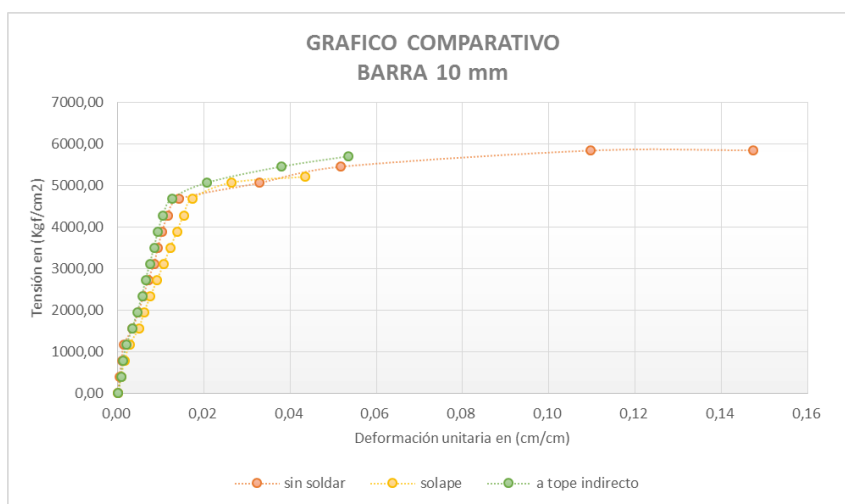


Gráfica 4.28 Comparación de curvas

RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS GRÁFICAS BARRA 10 mm

RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 10 mm SIN SOLDAR			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm ²)	resistencia a la tracción (Kgf/cm ²)	alargamiento (%)
probeta 1	4800	6037,20	11,22
probeta 2	4600	6089,13	9,24
probeta 3	4700	5848,94	8,43
media	4700	5991,76	9,63
RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 10 mm SOLDADO A SOLAPE			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm ²)	resistencia a la tracción (Kgf/cm ²)	alargamiento (%)
probeta 1	5000	5388,04	1,80
probeta 2	4800	5206,27	2,41
probeta 3	4900	5504,89	2,40
media	4900	5366,40	2,20
RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 10 mm SOLDADO A TOPE INDIRECTO			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm ²)	resistencia a la tracción (Kgf/cm ²)	alargamiento (%)
probeta 1	4800	5699,64	2,80
probeta 2	4600	5647,70	3,21
probeta 3	4600	5465,94	2,59
media	4666,67	5604,42	2,87

Tabla 4.11 Resultados obtenidos para de cada probeta

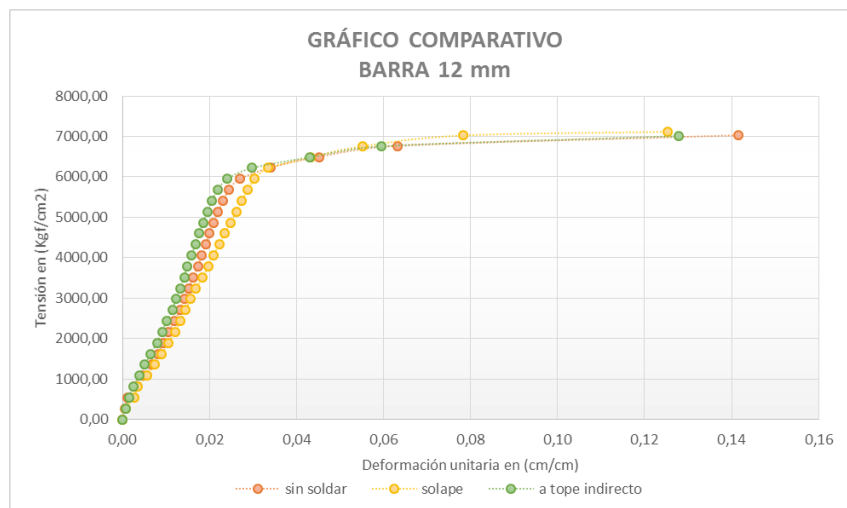


Gráfica 4.29 Comparación de curvas

RESULTADOS OBTENIDOS DE LAS GRÁFICAS BARRA 12 mm

RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 12 mm SIN SOLDAR			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm ²)	resistencia a la tracción (Kgf/cm ²)	alargamiento (%)
probeta 1	6000	7023,56	7,83
probeta 2	6000	6996,51	9,04
probeta 3	6000	6933,40	8,82
media	6000	6984,49	8,56
RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 12 mm SOLDADO A SOLAPE			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm ²)	resistencia a la tracción (Kgf/cm ²)	alargamiento (%)
probeta 1	6100	7077,66	6,73
probeta 2	6200	7122,74	5,73
probeta 3	6200	7122,74	6,79
media	6166,67	7107,71	6,42
RESULTADOS OBTENIDOS BARRA 12 mm SOLDADO A TOPE INDIRECTO			
N° de probeta	límite de fluencia (Kgf/cm ²)	resistencia a la tracción (Kgf/cm ²)	alargamiento (%)
probeta 1	6000	7014,55	6,20
probeta 2	6200	7230,93	6,00
probeta 3	6400	7294,05	4,99
media	6200,00	7179,84	5,73

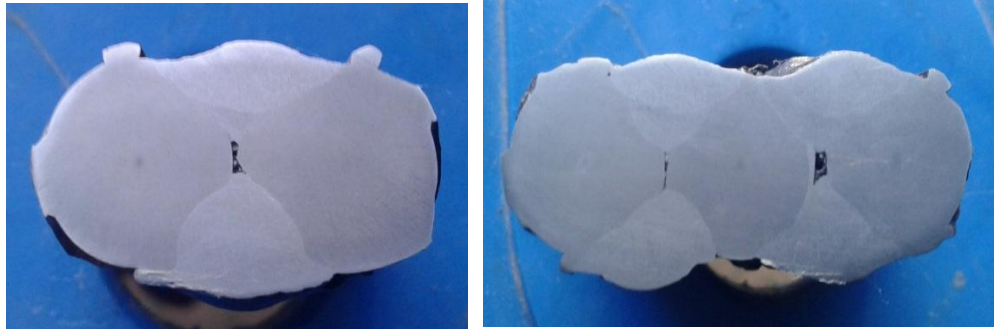
Tabla 4.12 Resultados obtenidos para de cada probeta



Gráfica 4.30 Comparación de curvas

4.2. Análisis de los resultados

4.2.1. Ensayo macro ataque.



- Como resultados de este ensayo se puede evidenciar la penetración de la soldadura de raíz y la soldadura de relleno.
- Hay inclusión de escoria cerca de la soldadura de raíz pero no hay porosidad.
- El colocado de los cordones fue el adecuado y no excedió lo establecido por la norma, es decir pudo llenar toda la ranura sin exceder o sobre cargar de material depositado por el electrodo.
- Los especímenes para este ensayo fueron tomados del tercio central de los cordones de las probetas ensayadas a tracción, la norma ASW descarta una longitud $2a$ de ambos extremos del cordón de la soldadura

4.2.2. Ensayo a tracción

Comparaciones: Para el análisis de los resultados se hizo las siguientes comparaciones:

- Especificaciones del fabricante vs probetas sin soldar
- Probetas sin soldar vs probetas soldadas

CARACTERISTICAS DEL ACERO CA 50 S		
Límite de fluencia	500 Mpa	5098,58 Kg/cm ²
Resistencia a la tracción	660 Mpa	6730,13 kg/cm ²
Alargamiento porcentual	8%	8%

Tabla 4.13 características del fabricante

Barra 8 mm						
N° de probetas	fyk (Kgf/cm ²)	ftr (Kgf/cm ²)	Alargamiento %	Cumple		
catálogo del fabricante	5098,58	6730,13	8	fyk	ftr	A%
sin soldar	4400,00	5842,45	11,03	no	no	si
soldado a solape	4500,00	6085,89	9,04	no	no	si
soldado a tope indirecto	4366,67	6119,70	7,00	no	no	no
Barra 10 mm						
N° de probetas	fyk (Kgf/cm ²)	ftr (Kgf/cm ²)	Alargamiento %	Cumple		
catálogo del fabricante	5098,58	6730,13	8	fyk	ftr	A%
sin soldar	4700,00	5991,76	9,63	no	no	si
soldado a solape	4900,00	5366,40	2,20	no	no	no
soldado a tope indirecto	4666,67	5604,42	2,87	no	no	no
Barra 12 mm						
N° de probetas	fyk (Kgf/cm ²)	ftr (Kgf/cm ²)	Alargamiento %	Cumple		
catálogo del fabricante	5098,58	6730,13	8	fyk	ftr	A%
sin soldar	6000,00	6984,49	8,56	si	si	si
soldado a solape	6166,67	7107,71	6,42	si	si	no
soldado a tope indirecto	6200,00	7179,84	5,73	si	si	no

Tabla 4.14 Comparación de resultados

Para las barras corrugadas de 8 mm y 10 mm sin soldar, no cumplen el límite de fluencia ni a la resistencia a la tracción, por lo mismo no se trata de acero CA 50 S.

Los resultados se asemejan más a un acero CA 42 (fyk=4200 kg/m², ftr=6300 kg/m² y elongación 9 %)

De la *tabla 4.14*, se observa que:

4.2.2.1. Probetas sin soldar.

- La barra de 12 mm sin soldar, cumple a cabalidad con todas las especificaciones descritas por el fabricante.

Esto nos muestra que las barra 8 mm y 10 mm no corresponde al tipo de acero soldable CA 50 S, otra razón para esta afirmación, es que las barras mencionadas no llevaban el código “S (soldable)” grabado en ellas como lo tiene la barra 12 mm.



Las barras que fueron el objeto de estudio y ensayos en este trabajo, fueron compradas de ferreterías minoristas, por tal situación, nos lleva a pensar que nos vendieron barras no soldables, ya que a simple vista son iguales en su forma.

Por esta razón solo se analizará los resultados obtenidos de la barra 12 mm.

4.2.2.2. Probetas soldado a solape.

El límite de fluencia f_{yk} y la resistencia a la tracción f_{tr} , sufren un incremento debido a la acción de la soldadura, pero disminuye su *porcentaje de alargamiento*.

En el ensayo a tracción, no se consideró la excentricidad, esto afecta los resultados obtenidos ya que las fuerzas ejercidas por la prensa universal no están aplicadas sobre el eje central de las barras empalmadas.

La soldadura trabajó de forma paralela y perpendicular al eje de las barras empalmadas, esto se puede corregir teniendo una prensa universal con mordazas móviles en sentido horizontal y vertical.

4.2.2.3. Probetas soldado a tope indirecto.

El límite de fluencia f_{yk} y la resistencia a la tracción f_{tr} , en comparación con el empalme a solape, *tuvo mayor incremento*, por lo contrario el alargamiento porcentual *disminuyó considerablemente*.

En este tipo de empalme no existe excentricidad, la soldadura trabajó de forma paralela al eje de las barras empalmadas.

La disminución del alargamiento porcentual fue más afectada debido a estar más expuesta a la temperatura ejercida cuando se aplicaba la soldadura, como tiene dos refuerzos y se soldó por ambos lados, las barras empalmadas fueron recalentadas por mayor tiempo, de esta manera se perdió mayor ductilidad.

4.3. Contrastación de hipótesis

4.3.1. Primera hipótesis.

- La soldadura por arco eléctrico *no afecta de manera considerable* las propiedades mecánicas de los elementos soldados.

De los resultados obtenidos se pudo evidenciar que la soldadura aumenta la tenacidad y disminuye la ductilidad de las barras soldadas, por lo mismo se cumple a cabalidad esta hipótesis.

4.3.2. Segunda hipótesis.

- La falla o ruptura por fuerzas externas en los elementos soldados generalmente es *adyacente al lugar soldado*.

De 45 probetas soldadas en dos tipos de empalmes, el 60% se rompieron a lado de la soldadura (foto 3.16 y foto 3.17), y el resto se rompió en varios lugares; próximos a las mordazas o dentro del tercio central de las probetas.

De esta manera la segunda hipótesis, queda completamente en evidencia, ya que la zona donde se realizó la soldadura, están expuestas a altas temperaturas (1536.5°C – 1539°C) en cuestión de segundos (0.03s - 0.04s) y al enfriarse rápidamente, adquiere mayor resistencia a la ruptura,



Foto 4.1. Soldado a solape



Foto 4.2 Soldado a tope indirecto

CONCLUSIONES

1. Se pudo alcanzar los objetivos planteados, así mismo verificamos las hipótesis, refutando en parte la primera por no cumplirse a cabalidad.
2. La soldadura aumenta las propiedades de resistencia a la tracción y límite de fluencia de las barras en estudio.
3. La soldadura por efecto de la temperatura, disminuye la ductilidad y aumenta la tenacidad en los aceros soldables.
4. De los dos tipos de empalme, el empalme a tope indirecto favorece mucho más al f_yk y f_{tr} , pero disminuye más el alargamiento porcentual de las barras, por tratarse de aceros laminados en caliente, el cambio brusco a altas temperaturas sobre los mismos, produce su endurecimiento, este tipo de empalmes presenta barras de refuerzo en ambos lados y al aplicar la soldadura en estos refuerzos, las barras soldadas están más expuestas a altas temperaturas y enfriamientos bruscos, aumentando así su tenacidad y perdiendo su ductilidad.
5. Las barras de diámetro 8 mm y 10 mm, no son aceros CA 50 S por los resultados obtenidos presentan características de acero CA 42.
6. Por todo lo visto y obtenido de los ensayos, sí es posible la aplicación de la soldadura en empalmes de barras soldables CA 50 S.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda tomar muy en cuenta las características, capacidad y accesibilidad de los equipos de laboratorio para realizar futuros proyectos complementarios sobre el presente trabajo de investigación, esto es, diámetros mayores y resistencia de los aceros.
- Disponer de las normas establecidas que rigen los ensayos o procesos de fabricación de las probetas a ser estudiadas.
- Con la experiencia adquirida en este trabajo, recomendamos realizar varias probetas de prueba de los equipos antes de realizar los ensayos a las probetas que serán el objeto del estudio.
- Disponer de toda la indumentaria de seguridad industrial durante el proceso de elaboración de las probetas, *ver anexos*.
- En el ensayo a tracción, el proceso de soldado de las probetas, no debe realizarse en días de baja temperatura (menor a 10°C), a menos que se tenga un ambiente controlado para regular a temperatura entre 10°C y 35°C.
- Se recomienda verificar que los aceros corrugados a ser estudiados, sean aceros soldables, verificar que lleven grabado el código “S” que garantiza que es un acero soldable.

BIBLIOGRAFIA

NORMA AWS D1.1/D1.1M. “Código de Soldadura Estructural-Acero” 2010

NORMA AWS D1.4/D1.4M. “Código de Soldadura Estructural-Acero” 2005

NORMA ASTM A370 “Métodos de prueba estándar y Definiciones de Pruebas Mecánicas de productos de acero” 2003

CATALOGO DE CONARCO “Electrodos, características y aplicaciones” 2005

MANUAL INDURA “Manual de sistemas y materiales de soldadura” 2007

TESIS DE ARIEL FELIPE QUEZADA RIVERA. “Efectos de la soldadura en empalmes de Acero de refuerzo, para hormigón armado” junio 2010.

TESIS DE RAÚL CARLOS HURTADO ESPEJO. “Estudio de la soldabilidad de barras corrugadas de acero para concreto reforzado Belgo 60” Lima, Marzo del 2011.

JAMES M. GERE, STEPHEN P. TIMOSHENCO. “Mecánica de materiales” Segunda Edición.

CASTELLANOS VASQUEZ JAVIER “Compendio preparado por el docente de la asignatura” CIV 501-U.A.J.M.S, Tarija, 2010.