



**Universidad Austral de Chile**  
**Facultad de Ciencias de la Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Naval**

**ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS DE  
PROBETAS DE ACERO SOLDADAS CON ELECTRODOS  
REVESTIDOS.**

TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE  
INGENIERO NAVAL CON MENCIÓN EN  
CONSTRUCCIÓN NAVAL

PROFESOR PATROCINANTE SR:  
HECTOR LEGUE LEGUE  
Ingeniero Civil Mecánico  
Msc. Ingeniería Oceánica

**JUAN MANUEL CONA GUZMAN.**

**VALDIVIA - CHILE**

**2005**

Esta tesis ha sido sometida para su aprobación a la comisión de tesis, como requisito para obtener el grado de Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permitirá al alumno obtener el título de: Ingeniero Naval con mención en Construcción Naval.

**EXAMEN DE TITULO:**

Nota de presentación (Ponderada) (1): .....  
Nota de examen (Ponderada) (2): .....  
Nota Final de Titulación (1+2): .....

**COMICIÓN EXAMINADORA:**

..... DECANO	..... FIRMA
..... EXAMINADOR	..... FIRMA
..... SECRETARIO ACADÉMICO	..... FIRMA

Valdivia,.....

Nota de Presentación = (NC/NA) \* 0.6 + Nota de Tesis \* 0.2  
Nota Final = Nota de Presentación + Nota Examen \* 0.2  
NC = Sumatoria Notas Currículum, sin Tesis  
NA = Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida  
Práctica Profesional.

“A mi amada Madre: Eliana Guzmán Cáceres. A mi bien amada esposa:  
Elizabeth Catrileo Lefiman y al fruto de nuestro Amor, nuestra hija:  
Antía Esperanza Cona Catrileo”.

## INDICE

### RESUMEN

### INTRODUCCION

	<b>Página</b>
<b>CAPITULO I: PROPIEDADES DE LA SOLDADURA.</b>	<b>1</b>
1.1. SOLDADURA POR ARCO MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO	1
1.2. ELECTRODOS, FABRICACIÓN	2
1.2.1 Fabricación de la varilla	3
1.2.2 Fabricación del revestimiento	3
1.3. REVESTIMIENTOS	4
1.3.1 Composición del revestimiento	4
1.3.2 Funciones del revestimiento	5
1.3.2.1 Función eléctrica	5
1.3.2.2 Función física	5
1.3.2.3 Función metalúrgica	6
1.4. CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS ELECTRODOS	6
1.4.1 Electrodo celulósicos	8
1.4.2 Electrodo de rutilo, de gran rendimiento	10
1.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE	11
1.6. APLICACIONES	12
<b>CAPITULO II: PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA</b>	<b>13</b>
2.1. HIGIENE Y SEGURIDAD	13
2.1.1 Protección personal	13
2.1.2 Protección del medio	14
2.2. INTRODUCCION AL PROCESO	14
2.2.1 Preparación de la unión para la obtención de probetas	15
2.3. INICIO DEL PROCESO	18
2.3.1 Elementos que intervienen en la unión	18
2.3.1.1 Electrodo	18
2.3.1.2 Acero	18
2.3.1.3 Máquina de soldar	19
2.3.2 Inicio del soldeo	20
2.3.3 Pormenores en la aplicación de los electrodos	24
2.3.3.1 Electrodo A	24
2.3.3.2 Electrodo B	25
2.3.3.3 Electrodo C	25
2.3.3.4 Electrodo D	26
2.3.3.5 Electrodo E	27

2.4. OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS	27
<b>CAPITULO III: ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	<b>30</b>
3.1. ENSAYO DE TRACCIÓN	30
3.1.1. Fuerzas exteriores	30
3.1.2. Deformaciones	30
3.1.3. Esfuerzo o tensión	31
3.1.4. Relación de las deformaciones y los desplazamientos	32
3.1.5. Relación entre esfuerzo y deformación	33
3.1.6. Deformación residual unitaria	34
3.1.7. Reducción residual de la sección	35
3.1.8. Inicio del ensayo	35
3.2. ENSAYO DE DOBLADO DIRIGIDO	38
3.3. ENSAYO DE IMPACTO	40
3.3.1. Cargas dinámicas	40
3.3.2. Comportamiento de los materiales bajo la carga de impacto	40
3.3.3. Alcance y aplicabilidad de los ensayos de impacto	40
3.3.4. Aspectos generales de la máquina de impacto	41
3.3.5. Ensayo de charpy para metales	43
<b>CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>46</b>
4.1. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	46
4.1.1. Aspectos cualitativos	46
4.1.2. Aspectos cuantitativos	47
4.1.2.1. Cantidad de electrodos utilizados	47
4.1.2.2. Precio de los electrodos	47
4.1.2.3. Amperaje utilizado	48
4.2. ENSAYO DE TRACCIÓN A LAS PROBETAS	48
4.3. ENSAYO DE DOBLADO CARA Y RAÍZ	50
4.4. ENSAYO DE IMPACTO	51
<b>CONCLUSIÓN</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS</b>	

## **RESUMEN**

Objetivo: Realizar comparaciones de aplicación y de resistencia de materiales a probetas soldadas, con electrodos revestidos manufacturados por distintos fabricantes.

Justificación: debido al desarrollo que experimenta el país, existe un número importante de electrodos revestidos de distinta marca que se están utilizando en la unión de estructuras metálicas. Todos ellos vienen normados de acuerdo a AWS-A5.1. Se pretende en esta tesis verificar las características obtenidas de estas soldaduras, mediante un mismo procedimiento. Finalmente se entregan resultados de los ensayos mecánicos de tracción, doblado (cara y raíz) e impacto, para luego concluir si se conservan las características mecánicas especificadas y si existe una consecuencia entre calidad y precio.

## **SUMMARY**

Objective: To compare the application and the resistance of materials to welded test, with redressed electrodes made by different manufacturers.

Justification: Due to the development that this country has experienced, there exists an important number of electrodes redressed by different brands that are used in the union of metallic structures. All of them come normalized in agreement with AWS-A5.1. One tries in this thesis to verify the characteristics obtained of these welds, by means of one single procedure. Finally, results are delivered of the mechanical tests of traction, doubled (face and root), and their impact, so as to conclude whether there remains<sup>o</sup> the specified mechanical characteristics and whether a correlation exists between quality and price.

## INTRODUCCIÓN

La seguridad e integridad de las estructuras, es el objetivo primordial de los proyectos de ingeniería y una de las herramientas más importantes es el control de calidad (para prevenir una eventual falla), por esta razón adquiere vital importancia la especificación de los procedimientos de unión del acero, soldado con arco manual, electrodo revestidos.

El mundo industrial y técnico se preocupa cada vez más por los ensayos o informes de calidad. En términos generales, los arquitectos, constructores, ingenieros, diseñadores y administradores industriales están familiarizados con la idea del ensayo y confían cada vez más en estos, como base para adoptar importantes decisiones.

La presente tesis muestra una comparación de las características generales que tienen electrodos revestidos manufacturados por distintos fabricantes, para determinar cual es el más conveniente para un determinado proyecto. Además, se da a conocer el desarrollo o técnica que se utiliza para calificar soldadores y/o procedimientos de soldadura.

Se deja presente que los electrodos mencionados se designan con las letras A, B, C, D y E. Ya que no se cuenta con la autorización por parte de los fabricantes para ser ensayados.

## CAPITULO I

### PROPIEDADES DE LA SOLDADURA

A continuación se dará a conocer aspectos fundamentales sobre el proceso de unión de acero, por arco manual con electrodo revestido y una información descriptiva sobre la obtención de los electrodos, su revestimiento y rotulación.

#### 1.1 SOLDADURA POR ARCO MANUAL CON ELECTRODO REVESTIDO

En este proceso de soldadura llamado Shielded Metal Arc Welding (SMAW) o Manual Metal Arc (MMA), se caracteriza porque se produce un arco eléctrico entre la pieza a soldar y un electrodo metálico recubierto.

Con el calor producido por el arco, se funde el extremo del electrodo y se quema el revestimiento, produciéndose la atmósfera adecuada para que se produzca la transferencia de las gotas del metal fundido desde el alma del electrodo hasta el baño de fusión en el material base.

En el arco las gotas del metal fundido se proyectan recubiertas de escoria fundida procedente del recubrimiento que por efecto de la tensión superficial y de la viscosidad flota en la superficie, solidificando y formando una capa de escoria protectora del baño fundido.

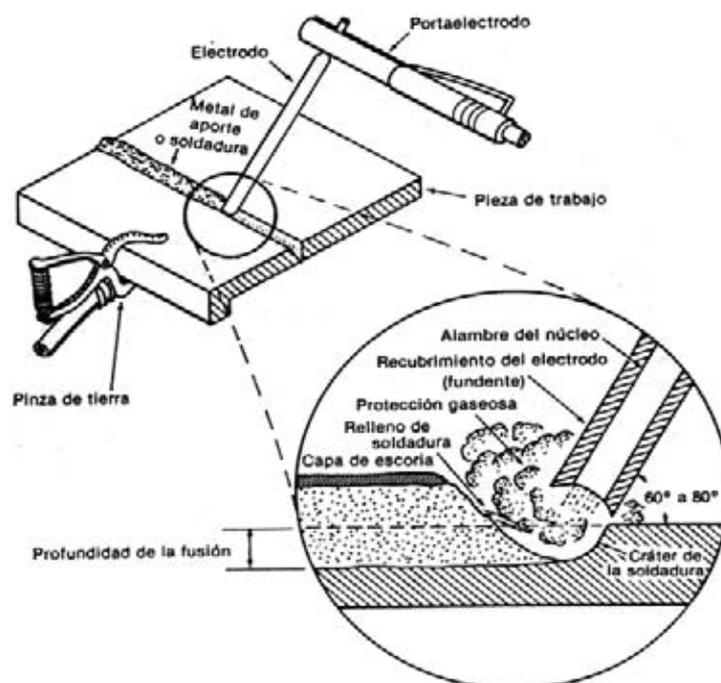


Fig. 1.1 Esquema de soldadura por arco manual con electrodo revestido.

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. 1.2 presenta la 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

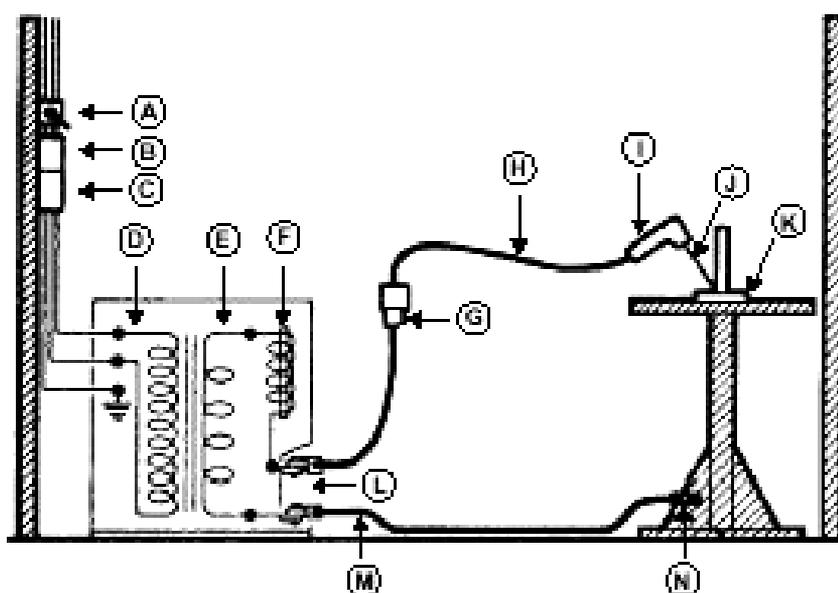


Fig. 1.2 Instalación segura de un puesto de soldadura

## 1.2 ELECTRODOS, 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.

### 1.2.1 **Fabricación de la varilla**

La materia prima, el alambrón 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 alambrón 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 alambrón 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.

### 1.2.2 **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 H<sub>2</sub>O 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 embalarse de tal forma que no sufran deterioros, ni se humedezcan, ni se sequen.

## **1.3 REVESTIMIENTOS**

### **1.3.1 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).

### 1.3.2 Funciones del revestimiento

#### 1.3.2.1 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.

#### 1.3.2.2 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.

### 1.3.2.3 Función metalúrgica

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

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.

## 1.4. 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 1.1

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

Tabla 1.1 Clasificación de electrodos revestidos. Ref. “manual de soldadura” AWS.

### 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.

### Electrodos 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.

### Electrodos para aceros inoxidable

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.

A continuación se presenta la Tabla 1.2.a. y 1.2.b, que especifica la clasificación de los electrodos revestidos según su denominación.

**E - 7018 - B3**

Letra "E"	Dos o tres Primeros dígitos	Penúltimo dígito
Electrodo para soldar con arco metálico protegido (Eléctrica SMAW)	Resistencia mínima a la tensión del cordón depositado en miles de libras por pulgada cuadrada	Posición ideal de soldadura 1 = Toda posición 2 = Plana y filete horizontal 3 = Plana

Tabla 1.2.a. Clasificación de electrodos revestidos. Ref "Manual de soldadura" INDURA.

**E - 7018 - B3**

Numeración	Dos últimos dígitos					Letra	Número
	Corriente	Polaridad	Revestimiento	Arco	Penetración	Grupode aleación	Aleante principal
XX10	CD	PI	Celulosa-Sodio	Enérgico	Alta		
XX11	CA - CD	PI	Celulosa potasio	Enérgico	Alta		
XX12	CA - CD	PD	Rutilo-sodio	Medio	Mediana	A 1	Molibdeno
XX13	CA - CD	PD - PI	Rutilo-Potasio	Suave	Ligera	B 1	Cromo-
XX14	CA - CD	PD - PI	Rutilo-polvo Fe	Suave	Ligera	B 2	Molibdeno
XX15	CD	PI	Bajo Hidrógeno	Medio	Mediana	C 1	Níquel
XX16	CA - CD	PI	Bajo Hidrógeno	Medio	Mediana	C 2	
XX18	CA - CD	PI	Bajo Hidrógeno	Medio	Mediana	C 3	
XX20	CA - CD	PD - PI	Oxido de Hierro	Medio	Mediana	D 1	Molibdeno
XX24	CA - CD	PD - PI	Rutilo	Medio	Mediana	D 2	Manganeso
XX27	CA - CD	PD	Polvo de Hierro	Medio	Mediana	M	Militar
XX28	CA - CD	PI	Bajo hidrógeno	Suave	Ligera	S	No clasificado

Tabla 1.2.b. Clasificación de electrodos revestidos. Ref “Manual de soldadura” INDURA.

#### 1.4.1 Electroodos celulósicos

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6010 (Na) y AWS-E-6011 (K).

Características específicas:

En estos electrodos la celulosa, obtenida a partir de la pulpa de la madera, es el componente principal. Esta sustancia orgánica se descompone por el calor desarrollado en el arco, proporcionando un gas protector que aísla y protege de la oxidación al Mn y al resto de los componentes. Las reacciones de reducción se desarrollan en una atmósfera de hidrógeno que cubre el metal fundido.

Escoria:

Es poco voluminosa ya que, la protección del baño es esencialmente de tipo gaseoso. La escoria se desprende con facilidad.

#### Arco:

Producen una gran penetración gracias al hidrógeno procedente de la celulosa que el calor del arco libera. La velocidad de soldeo es elevada. Se producen, sin embargo, abundantes pérdidas por salpicaduras.

#### Metal depositado:

El metal depositado por estos electrodos carece prácticamente de oxígeno ( $O_2$  0,02%). En cambio, contiene una gran cantidad de hidrógeno (15-25  $cm^3$  por cada 100 gr. de metal depositado). La superficie del cordón es rugosa y ésta se enfría rápidamente.

#### Rendimiento gravimétrico:

El arco produce un fuerte chisporroteo, con abundantes pérdidas por salpicaduras. El rendimiento estándar suele ser inferior al 90%.

#### Seguridad de uso:

Los electrodos celulósicos producen una gran cantidad de humos. Por ello, es recomendable evitar su uso en recintos cerrados, como el interior de calderas, cisternas, recipientes, etc. Por otra parte, lo enérgico del arco aconseja emplear con más rigor los materiales de protección, tales como gorras, guantes, colete, polainas, etc. Los electrodos celulósicos no deben researse ni humedecerse nunca.

#### Aplicaciones:

Aunque son adecuados para soldar en todas las posiciones, se suelen emplear exclusivamente para soldar tubería en vertical descendente, porque:

- producen muy poca escoria.
- se manejan con facilidad.
- consiguen una buena penetración en el cordón de raíz, en esta posición.

Su uso está generalizado en oleoductos, y gasoductos en donde resulta ventajoso soldar en todas las posiciones, sin cambiar los parámetros de soldeo. También son adecuados en aplicaciones en donde se pretenda conseguir una buena penetración.

#### 1.4.2 Electrodo de rutilo. Electrodo de gran rendimiento

Clasificación AWS de electrodos para aceros al carbono: AWS-E-6027 (ácido), AWS-E-7014 (rutilo), AWS-E-7018 (básico), AWS-E-7024 (rutilo) y AWS-E-7028 (básico).

Características específicas:

Esta clase de electrodos fue desarrollada por VAN DER WILLIGEN en Holanda a partir del año 1.947, añadiendo polvo de Fe al revestimiento. Parece lógico suponer que la posición sobremesa es la más fácil y favorable para la soldadura. En efecto, en esa posición el metal fundido se beneficia de la fuerza de la gravedad y se pueden conseguir las máximas velocidades de deposición. Después de ésta, la más ventajosa es la horizontal en ángulo. Por la economía que supone soldar en ambas posiciones se han desarrollado electrodos específicos que únicamente pueden emplearse en estas posturas de soldeo. Pertenecen a este grupo aquellos electrodos cuya penúltima cifra en su designación AWS es un 2. Se les llama también electrodos de contacto. El rendimiento de un electrodo, en general, es función de la naturaleza del revestimiento, del diámetro y de la intensidad de la corriente.

Aplicaciones:

Estos electrodos requieren altas intensidades de corriente para lograr fundir, además del alma, el polvo de Fe agregado a su revestimiento, por lo que resulta necesario fuentes de energía potentes. Se seleccionan para reducir costes en soldadura, tanto en construcción naval como en talleres de calderería pesada.

### 1.5. SELECCIÓN DEL TIPO DE CORRIENTE

La clase de corriente depende fundamentalmente del tipo de electrodo que se va a utilizar. A pesar de que la corriente continua es la más común, la amplia gama de electrodos actualmente en el mercado, que deben utilizarse con corriente alterna han hecho que crezca el uso de este tipo de corriente.

El coste de la energía con corriente alterna es menor que con corriente continua pero representa una parte poco relevante del coste total de soldadura, no siendo un factor decisivo la selección del tipo de corriente.

Comparación entre uso de corriente continua y alterna.

Características	Corriente continua	Corriente alterna
Pérdida de tensión en cables	Grande  Los cables han de ser tan cortos como sea posible	Pequeña  Preferible para soldar a gran distancia de la fuente.
Electrodos	Son válidos todos los tipos de electrodos.	El revestimiento debe contener sustancias que restablezcan el arco.
Encendido del arco	Fácil.	Más difícil sobre todo en electrodos de pequeño diámetro.
Mantenimiento del arco	Fácil.	Más difícil, excepto cuando se utilizan electrodos de gran rendimiento.
Efecto de soplo	Muy sensible, sobre todo cuando la soldadura está cerca de extremos de la pieza. El efecto se incrementa con la intensidad.	Es raro que se produzca. La alternancia de ciclos neutraliza los campos magnéticos.
Salpicaduras	Poco frecuentes.	Más frecuentes, debido a la pulsación.

Posiciones de soldeo	Más fácil de usar en posiciones para soldaduras de secciones gruesas.	Fácil de usar en cualquier posición si se dispone del electrodo adecuado.
Soldadura de hojas metálicas	Preferible.	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido del arco.
Soldaduras de secciones gruesas	Rendimiento bajo.	Preferible pues al poder utilizar un mayor diámetro del electrodo y más intensidad de corriente, se logran altas tasas de rendimiento

Tabla 1.3 Diferencias entre corriente continua y alterna. Ref “Soldadura: aplicaciones y práctica”.

## 1.6 APLICACIONES

El proceso SMAW se utiliza por su versatilidad en una amplia gama de aplicaciones tanto en taller como en obra, en la soldadura de materiales de espesor superior a 1,5 mm. Los sectores de mayor aplicación son la construcción naval, de máquinas, estructuras, tanques y esferas de almacenamiento, puentes, recipientes a presión, calderería, etc. Donde la selección de los electrodos tiene una influencia decisiva en la calidad y el costo de la soldadura.

Para el usuario, es muy importante disponer de una correcta relación de electrodos con finalidades específicas. En este sentido, los catálogos y folletos que editan los fabricantes suelen contener información acerca de diámetros, parámetros de uso, revestimientos y precauciones sobre el almacenamiento y funcionamiento de cada uno de sus productos.

## CAPITULO II

### PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Las agencias de clasificación, tienen su particular método de certificar los procedimientos de calidad, donde los materiales, operadores y equipos a utilizar deben estar debidamente estandarizados. En el caso de las uniones soldadas el procedimiento es uno solo, el cual describimos a continuación.

#### **2.1 HIGIENE Y SEGURIDAD.**

Cuando se realiza una soldadura al arco, el operador tiene que observar con especial cuidado las reglas de seguridad, a fin de contar con la máxima protección personal y también proteger a las otras personas que trabajan a su alrededor. En la mayor parte de los casos, la seguridad es una cuestión de sentido común. Los accidentes pueden evitarse si se cumplen todas las normas de seguridad.

##### **2.1.1 Protección Personal**

Siempre utilice todo el equipo de protección necesario para el tipo de soldadura a realizar. El equipo consiste en:

1. Máscara de soldar: protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros de acuerdo al proceso e intensidades de corriente empleadas.
2. Guantes de cuero: tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas.
3. Coletos o delantal de cuero: para protegerse de salpicaduras y exposición a los rayos ultravioletas del arco, posición plana o mesa.
4. Polainas y casaca de cuero: cuando es necesario hacer soldadura en toda posición, deben usarse estos implementos, para evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.
5. Zapatos o botas de seguridad: que cubran hasta los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras de material fundido y golpes en la punta de los pies.
6. Gorro: protege el cabello y el cuero cabelludo, especialmente cuando se hace soldadura en determinadas posiciones.

### 2.1.2 Protección del medio

1. Limpieza: las superficies de trabajo, mesones, piso y pasillos deben estar libres de virutas, polvo de hierro, chisporroteos, escoria, pedazos de hierro, etc. Para evitar contaminación de la soldadura y accidentes.
2. Superficies secas: la humedad y el agua, son conductoras de energía eléctrica y producen desde pérdidas por inducción hasta descargas eléctricas.
3. Proyección de partículas y haz de luz: se deben disponer biombos para proteger a los trabajadores que laboran alrededor del soldador adaptándolos a su ubicación.
4. Elementos combustibles, el medio debe estar libre de elementos combustibles como: paños o productos oleosos, aserrín, maderas, cartón, líquidos inflamables, gas licuado, acetileno, etc. Para evitar el inicio de un incendio o una explosión.

## 2.2 INTRODUCCION AL PROCESO

El cálculo, los detalles estructurales y la realización de proyectos de construcciones de acero soldadas, exigen un profundo conocimiento sobre estas obras y en especial de los procedimientos de soldadura. Estos trabajos sólo deben ser encargados a profesionales y/o empresas que, por sus conocimientos y experiencia de sus equipos de trabajo, puedan ofrecer, que dichas construcciones estén correctamente diseñadas y garantizadas.

Para lograr eficacia y efectividad en las uniones de acero se deben cumplir con todas las condiciones y requisitos que establecen los códigos de agencias de clasificación, reglamentos u ordenanzas de construcción, seguros, u otras agencias reguladoras.

En particular, el estudio en desarrollo está orientado a la comparación de las características mecánicas y de aplicación, que presentan electrodos revestidos manufacturados por cinco distintos fabricantes, para determinar cual es el más conveniente para un determinado proyecto, ya que en el mercado se encuentra una amplia gama de marcas de electrodos revestidos, por lo que es prudente chequear primero si todos cumplen con los requerimientos de resistencia mecánica y determinar si existe consecuencia entre precio y calidad. Además se presenta la técnica de soldadura que se utiliza para calificar soldadores y procedimientos de soldadura.

### 2.2.1 Preparación de la unión para la obtención de probetas

La fabricación de las probetas tiene como objetivo fundamental realizar un análisis preliminar de calidad a cinco marcas de electrodos revestidos, para determinar si se cumple con las características mecánicas y observar características de aplicación por parte de cada electrodo. El análisis consiste en realizar un mismo procedimiento de soldadura para luego hacer 5 ensayos mecánicos destructivos de tensión, 10 de doblado (cara y raíz) y 5 de impacto.

La preparación para la unión de planchas, de las cuales posteriormente se obtendrán las probetas, es confeccionada según Ref. “Soldadura, aplicaciones y práctica”.

En esta referencia se sugiere dimensiones mínimas en las planchas a unir, siendo más específicos en la determinación de las probetas.

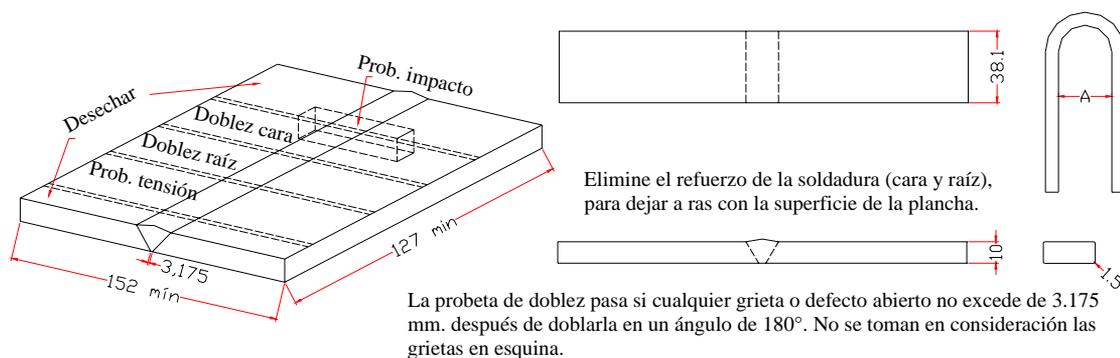


Fig. 2.1 Instrucciones para la preparación de distintos tipos de probeta. Ref. “Soldadura, aplicaciones y práctica”.

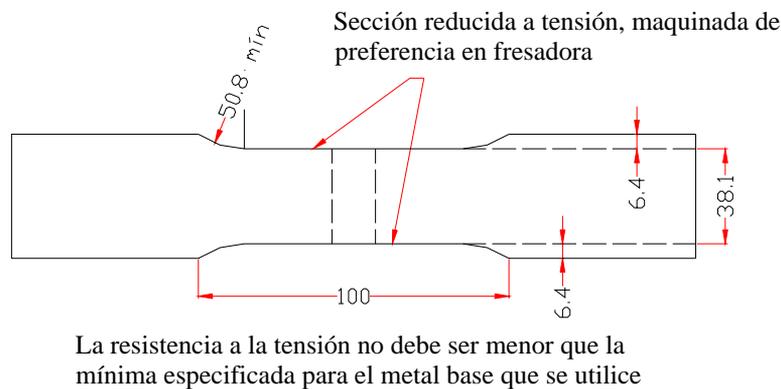


Fig.2.2 Instrucciones para la preparación de distintos tipos de probeta. Ref. “Soldadura aplicaciones y práctica”.

Para la confección de la probeta de impacto hay que ser muy cuidadoso, por lo que se utilizó un calibre que se dispone en el laboratorio, ya que los valores de resiliencia (tenacidad), que se deben cumplir están basados en una probeta tipo, exacta.

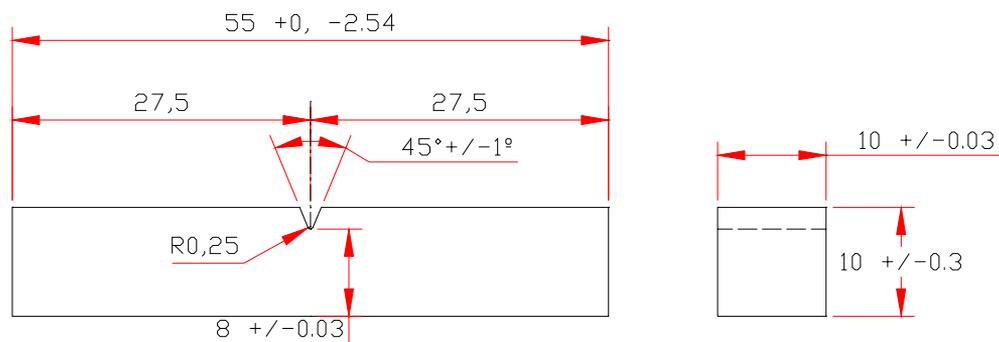


Fig. 2.3 Probetas de charpy. Ref. “ensaye e inspección de los materiales de ingeniería”.

En especial para la obtención de probetas, las planchas que se utilizarán tienen las dimensiones que a continuación se especifican, para la plancha de 10 mm.

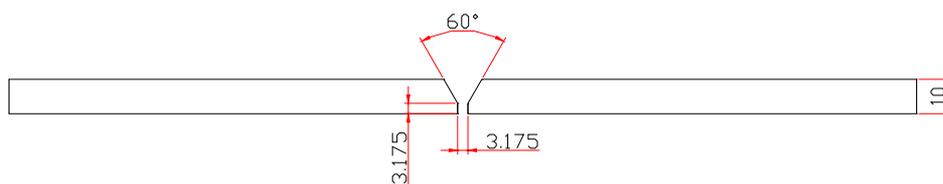


Fig.2.4 Soldadura a tope con preparación en Y.

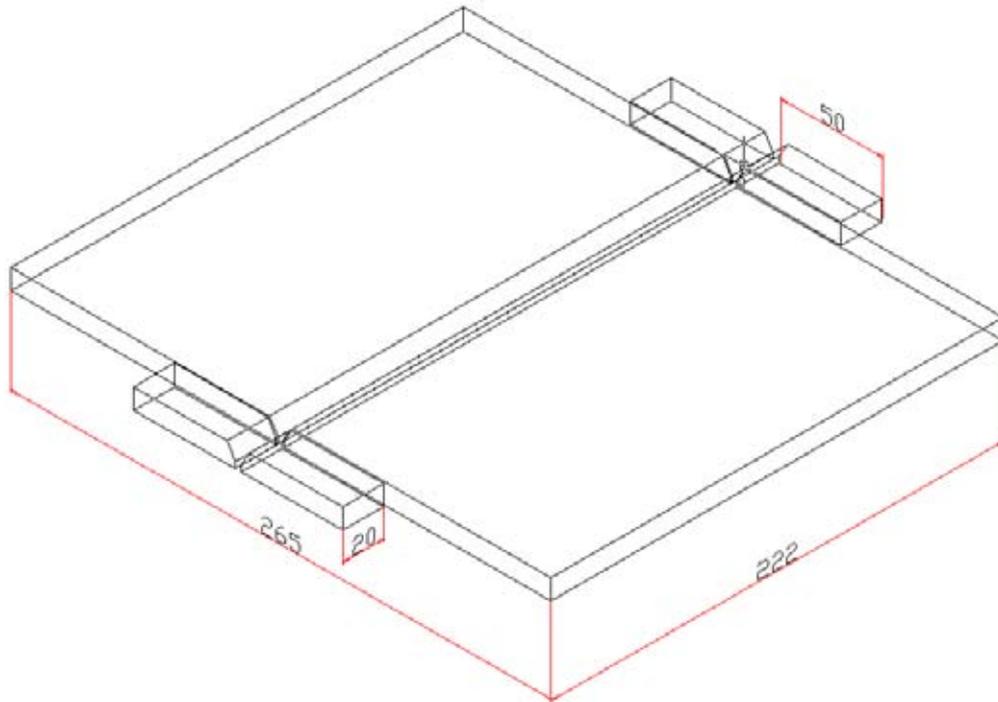


Fig. 2.5 Soldadura a tope con chapas de inicio y término de cordón.

Ejemplo de sucesión de pasadas para la soldadura en V, soldada por un solo lado. Los números en la Fig. 2.6, indican la sucesión de las pasadas. Para el presente caso son tres pasadas, (1) cordón de raíz, (2) cordón de relleno y (3) cordón de terminación, los que se especifican más adelante.

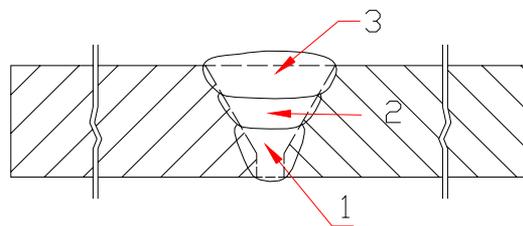


Fig. 2.6 Pasadas de cordones.

## 2.3 INICIO DEL PROCESO

La descripción y especificación de los procedimientos de soldadura son fundamentales para garantizar la integridad y seguridad de las estructuras de acero. A continuación se mostrará la realización de un test preliminar de calidad a electrodos revestidos, manufacturados por cinco distintos fabricantes y en detalle, el procedimiento de soldadura, para determinar si se cumplen las características mecánicas y determinar cual sería el más conveniente para un determinado proyecto.

Se harán cinco uniones, realizadas por un soldador calificado, cada una con electrodos manufacturados por distinto fabricante, de cada plancha soldada, se obtendrán cuatro probetas, para ensayos de: tracción, doblado (cara y raíz) e impacto.

### 2.3.1 Elementos que intervienen en la unión

Las uniones se realizaron en dependencias del astillero del Instituto de Ciencias Navales y Marítimas, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia, por el Sr.: José Alvarado Oyarzún, calificado en el Laboratorio de ensayo de materiales, de acuerdo al procedimiento indicado en la Norma Chilena NCh308of 62 , para soldar planchas hasta 10 mm en toda posición (ver anexo N° 2).

#### 2.3.1.1 Electrodo

Los electrodos a testear son E-6011 para el cordón de raíz y E-7018 para los cordones de relleno y terminación, todos están normalizados en base a los requerimientos de la AWS. Las marcas de los electrodos las denominaremos como A, B, C, D, y E, ya que esta investigación tiene un interés netamente académico y no comercial.

Los electrodos se mantuvieron a una temperatura de 30 °C antes de ser utilizados.

#### 2.3.1.2 Acero

La Fig. 2.7 muestra la plancha de acero naval grado A, con sus planchas de inicio y término de cordón, además de sus correspondientes tensores (o atiesadores).

Sus características físicas son: resistencia (máxima) a la ruptura por tracción 41 a 50 N/mm<sup>2</sup>, límite de fluencia a la tracción mínima 24 kg/mm<sup>2</sup>, alargamiento mínimo 24 %. Ref. “Reglamentos para Inspección y Prueba de Materiales, American Bureau of Shipping, 1982”.

Además, se incluye en el anexo N° 1 Certificado de calidad del acero utilizado en las probetas, donde figuran los resultados de: ensayo mecánico y composición química.



Fig. 2.7 Presentación de planchas que intervienen en la unión con sus respectivas planchas auxiliares.



Fig. 2.8 Set de planchas.

### 2.3.1.3 Máquina de soldar

Las uniones se realizarán con una máquina industrial, marca Prodelec GS 425 NM, trifásica, corriente continua, polaridad inversa, electrodo positivo, de corriente alterna con rectificador.



Fig. 2.9 Máquina de soldar.

### 2.3.2 Inicio del soldeo

Esta es la posición antes de que el soldador calificado realice las pasadas de los cordones de soldadura, se puede apreciar que están soldadas las planchas –tensores y las planchas de inicio y termino de cordón, con la debida separación de 1/8” entre ellas.



Fig. 2.10 Plancha lista para soldar en posición plana.

La Fig. 2.11 muestra la pasada del primer cordón de raíz E-6011, en donde se aprecia escaso chisporroteo y la utilidad de las planchas de inicio y termino de cordón en donde se producen socavamientos.

El soldador aplicó la técnica de movimiento elíptico para el avance continuo de todos los cordones de raíz.

Al terminar y comenzar otro cordón se debe retroceder una pulgada y montarse sobre el cordón anterior para que al empalmarse se alcance una temperatura tal que se produzca una completa fusión entre el nuevo cordón, el anterior y ambas planchas, para que de esta

manera se logre la unión. Esta técnica se cumple en todo empalme de cordones de soldadura.



Fig. 2.11 Cordón de raíz electrodo E-6011.

Antes de la pasada del cordón de relleno E-7018, es de suma importancia limpiar con esmeril angular y escobilla de acero al cordón de raíz E-6011 para evitar las inclusiones de escoria, como lo muestra la Fig. 2.12.



Fig. 2.12 Cordón de raíz pulido.

Para todos los cordones de relleno el soldador aplicó la técnica de avance continuo con un zig-zag cóncavo.

El cordón de relleno, realizado con E-7018, deja una escoria que es muy fácil de remover, tan sólo basta golpear por el costado del cordón con un cincel para que se

desprenda por completo, también se nota el cráter al inicio y termino del cordón, como se aprecia en la Fig. 2.13.



Fig. 2.13 Presentación cordón de relleno E-7018.

La Fig. 2.14 muestra el cordón de relleno toda vez que se remueve la escoria, donde sin lugar a dudas la presentación de este cordón tiene buen aspecto



Fig. 2.14 Cordón de relleno removido de escoria.

El soldador aplicó la técnica de zig-zag cóncavo para el avance continuo de todos los cordones de terminación, aunque con un barrido más amplio que para el cordón de relleno.



Fig. 2.15 Presentación cordón de terminación E-7018.

Para el cordón de raíz, se realizó soldadura unilateral, no se utilizó respaldo ni se hizo un cordón de terminación por el reverso. Gracias a la experiencia del soldador se logro una buena penetración, lo que sumado a una soldadura sólida, garantiza buenos resultados en los ensayos destructivos, una buena penetración es muy difícil de lograr y adquiere vital importancia ya que en algunos casos no se pueden hacer operaciones por el lado opuesto de la posición de soldadura, como en zonas de proa, popa, tuberías, etc.

En la Fig. 2.16, se puede apreciar el desprendimiento de los tensores, los que se soldan sólo por una arista, para que una vez terminado el proceso, se retiren simplemente con algunos golpes.



Fig. 2.16 Presentación por el reverso del cordón de raíz.

### 2.3.3 Pormenores en la aplicación de los electrodos

A continuación se presentan la unión de las cinco planchas, soldadas con electrodos de distintas marcas, donde se observaron diferencias en su aplicación, las cuales se detallan a continuación.

#### 2.3.3.1 Electrodo A:

Podemos decir que al soldar con el electrodo E-6011 de 1/8", al amperaje adecuado (80 Amp.), denotó una resistencia a fundirse, por lo que se hacía un poco difícil gobernar el charco de material fundido. La técnica de avance continuo en el cordón fue de un lento movimiento elíptico.

Para el caso del cordón de relleno E-7018 de 1/8", a 145 Amp el movimiento de avance continuo fue de zig-zag, de normal comportamiento, aunque fue un poco difícil la fundición. La misma situación se repitió para el cordón de terminación.



Fig. 2.17 Presentación cordón de terminación electrodo A.

### 2.3.3.2 Electrodo B:

Al contrario del electrodo A, el electrodo B E-6011 de 1/8", a la intensidad de 70 Amp. se funde fácilmente, haciendo que el movimiento de avance continuo del cordón sea de avance y retroceso más rápido, para evitar una zona de material fundido muy grande y caigan gotas a través de la separación de 1/8" entre las planchas.

Con el cordón de relleno y terminación se logró una fusión normal, con 145 Amp.



Fig. N° 2.18 Presentación cordón de terminación electrodo B.

### 2.3.3.3 Electrodo C:

El cordón de raíz fue depositado con una intensidad de 75 Amp. Se utilizó la misma técnica de avance continuo, presentando una fusión lo adecuadamente blanda, particular resulta un mayor chisporroteo que los electrodos E-6011 anteriores.

A una intensidad de 135 Amp. fueron depositados los cordones de relleno y terminación.

La técnica de avance fue la misma, de zig-zag, para todos los electrodos E-7018.

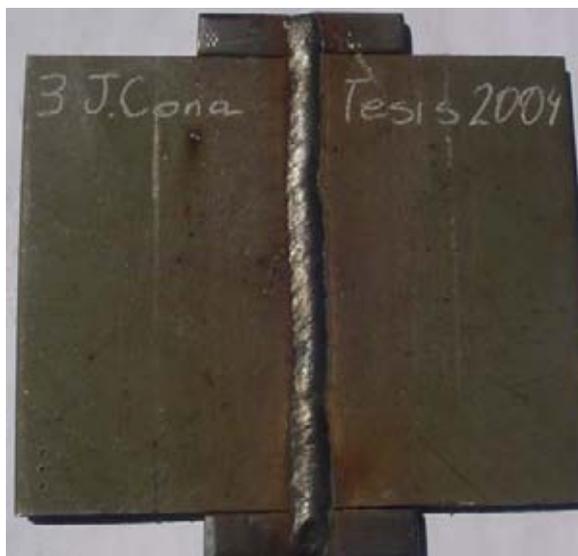


Fig. 2.19 Presentación cordón de terminación electrodo C.

#### 2.3.3.4 Electrodo D:

Para el cordón de raíz se usó un electrodo E-6011 de 1/8", la intensidad fue de 85 Amp., con un movimiento elíptico de avance y retroceso para el avance continuo, la fusión fue normal.

La intensidad para el electrodo E-7018 fue de 150 Amp., correcta fusión.



Fig. 2.20 Presentación cordón de terminación electrodo D.

### 2.3.3.5 Electrodo E:

El electrodo E-6011 de 1/8" presenta un aumento en el revestimiento, es decir a un mismo diámetro del núcleo, mayor diámetro total del electrodo con revestimiento, se utilizó una intensidad de corriente de 70 Amp para el cordón de raíz, como la mayoría de los electrodos anteriores, presento escaso chisporroteo y una fusión adecuada.

El electrodo E-7018 mostró un buen rendimiento, se utilizaron 5 electrodos (menos que todos los anteriores), para los cordones de relleno y terminación, a una intensidad de 150 Amp presentó una fusión normal.



Fig. 2.21 Presentación cordón de terminación electrodo E.

## 2.4. OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS

Se aprecia en la figura 2.22, la pieza es cortada para extraer las probetas para los ensayos mecánicos, el inicio y termino de la pieza soldada se desechan, además se extraen de izquierda a derecha: probeta para ensayo de impacto, probeta para ensayo de doblez cara, probeta para ensayo de doblez raíz y probeta para ensayo de tracción respectivamente.



Fig. 2.22 Probetas obtenidas de la plancha.

Al cortar la plancha, con esmeril angular (disco de corte especial de 7" x 1.6 mm), para sacar las probetas, cada corte proporciona dos secciones transversales de la unión, para hacer una inspección visual, en donde se puede constatar que en las diez secciones expuestas no se aprecian defectos como: poros, inclusiones de escoria, agrietamiento, falta de penetración, socavamiento ni exceso de sobremonta, características que indican buena calidad de las uniones.

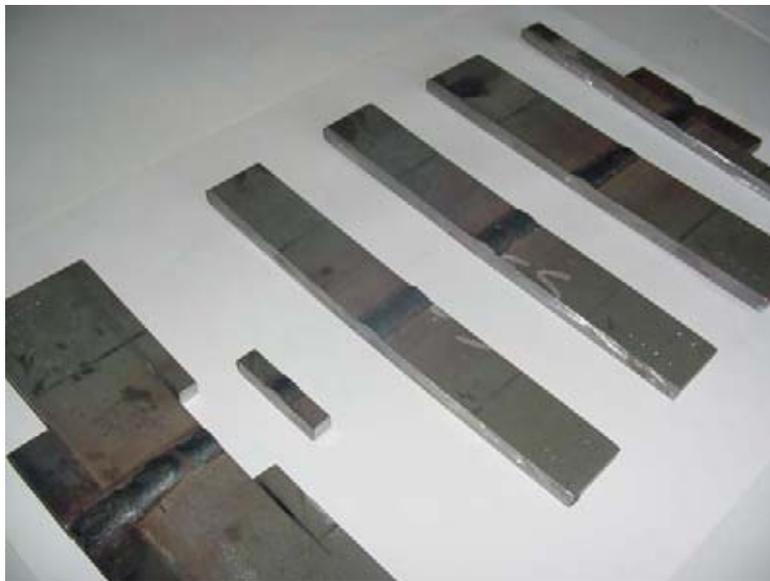


Fig. 2.23 Cortes transversales en perspectiva.

La Fig. 2.24 presenta una probeta para el ensayo de impacto que muestra en su sección transversal la homogeneidad de la unión, una sobremonta de 2 mm adecuada y un cordón de raíz suficientemente penetrante.

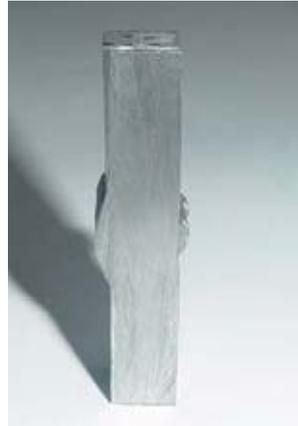


Fig. 2.24 Probeta para ensayo de impacto.

Todas las probetas luego de ser sacadas de la plancha, se le pulieron los refuerzos de soldadura del cordón de terminación y raíz, produciendo una superficie continúa entre ambas planchas ahora unidas. Ref. “Reglamentos para Inspección y Prueba de Materiales, American Bureau of Shiping, 1982”. Las probetas para el ensayo de tracción fueron maquinadas en fresa para lograr la cintura y las probetas para el ensayo de flexión cara y raíz fueron redondeadas con un radio de 1.6 mm, en todas las aristas paralelas al eje longitudinal para evitar inducción de grietas.

## CAPITULO III

### ENSAYOS DE LABORATORIO

El mundo industrial y técnico se preocupa cada vez más por los controles de calidad y calidad de los materiales. En términos generales, los arquitectos, constructores, ingenieros, diseñadores y administradores industriales están familiarizados con la idea del ensaye y confían en ellos como base para adoptar importantes decisiones.

A continuación se presentan los conceptos que se deben manejar a la hora de realizar los ensayos.

#### 3.1 ENSAYO DE TRACCIÓN

Las hipótesis que serán aceptadas son las siguientes:

1. El material se considera macizo.
2. El material es homogéneo.
3. El material es isotrópico.
4. Las fuerzas interiores que preceden a la carga son nulas.
5. El efecto debido a la acción conjunta sobre un cuerpo de un sistema de fuerzas es igual a la suma de los efectos de las acciones de estas fuerzas.

##### 3.1.1 Fuerzas exteriores

Las cargas que actúan sobre las estructuras y sus elementos están constituidas por fuerzas y momentos. Estas cargas pueden ser concentradas o distribuidas.

##### 3.1.2 Deformaciones

Todos los sólidos, bajo la acción de las fuerzas exteriores, se deforman en una u otra medida, es decir, modifican sus dimensiones, su forma o ambas cosas simultáneamente.

Las deformaciones que se anulan después de retirar las cargas, se denominan deformaciones elásticas, a esta propiedad de recuperar su forma inicial se le denomina Elasticidad.

Las deformaciones que quedan después de retirar la carga se denominan residuales o plásticas, a esta propiedad se le llama plasticidad.

La deformación se designará por la letra  $\xi$  que indica la siguiente relación:

$$\xi = \frac{\text{largo final con carga} - \text{largo inicial}}{\text{largo inicial}}$$

$$\xi = \frac{l_f - l_i}{l_i} = \frac{\Delta l}{l_i}$$

(Esta deformación es válida sólo para deformación elástica)

### 3.1.3 Esfuerzo o tensión

La razón entre la fuerza o carga que actúa sobre una superficie se denomina esfuerzo o tensión. Si el esfuerzo es perpendicular a la superficie considerada, se denomina esfuerzo normal y se asigna la letra  $\sigma$ , pero si el esfuerzo está en el mismo plano del área se denomina esfuerzo tangencial o de corte y se le asigna la letra  $\tau$  (tau).

La descomposición de la tensión real en normal y tangencial tiene un sentido físico bien definido. La tensión normal surge cuando las partículas del material, que están en contacto con el plano dado, tienden a separarse o al revés, a acercarse. Las tensiones tangenciales están ligadas al desplazamiento de las partículas del material, en el plano de la sección.

Según la aplicación de la fuerza en un sentido lineal se tienen dos tipos de esfuerzo:

- Esfuerzo de compresión, cuando la acción de las fuerzas siendo colineales son concurrentes ( $\rightarrow\leftarrow$ ).
- Esfuerzo de tracción, es cuando la acción de las fuerzas siendo colineales no son concurrentes ( $\leftarrow\rightarrow$ ).

La relación entre el esfuerzo y la fuerza está dada por la siguiente expresión:

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

Donde:

$\sigma$ = es el esfuerzo o tensión	N/mm <sup>2</sup>
F = es la fuerza aplicada	N
A = área de aplicación de la fuerza	mm <sup>2</sup>

### 3.1.4 Relación de las deformaciones y los desplazamientos

Los ensayos demuestran que al traccionar una barra, su longitud aumenta, mientras que las relaciones transversales disminuyen. En el caso de compresión, el fenómeno se invierte completamente. Para metales y materiales cerámicos, la relación entre esfuerzo y deformación en la región elástica es lineal y la ecuación que describe este efecto recibe el nombre de **ley de Hooke**:

$$\sigma = E \xi$$

En donde E es una constante llamada módulo de Young o módulo de elasticidad. Esta constante caracteriza la rigidez del material, es decir, su capacidad de oponerse a las deformaciones.

Por ejemplo, se muestra en la Tabla 3.1, algunos módulos de elasticidad, sólo bajo el aspecto globalizado, sin indicar casos particulares en cada ítem.

MATERIAL	E N/mm <sup>2</sup>
Acero	$2 \times 10^4 - 2,2 \times 10^4$
Cobre	$10^4$
Madera	$10^3$
Aluminio	$0,675 \times 10^4$
Hierro fundido	$0,75 \times 10^4 - 1,6 \times 10^4$

Tabla 3.1 Módulos de elasticidad Ref. "Ciencia de los materiales".

Teniendo en consideración que  $\xi = \frac{\Delta l}{l}$  y  $\sigma = \frac{F}{A}$ , utilizando ambas expresiones se obtiene una ecuación para determinar el alargamiento (o acortamiento) absoluto, en la zona elástica del material considerado, que toma la forma siguiente:

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA}$$

Experimentalmente se ha establecido que entre las deformaciones unitarias longitudinal  $\xi$  y la transversal  $\xi_t$  existe la siguiente correlación:

$$\xi_t = -\mu \xi$$

Donde  $\mu$  es una constante llamada coeficiente de deformación transversal o coeficiente de Poisson que caracteriza la capacidad del material de admitir deformación transversal. El valor de  $\mu$  para todos los materiales oscila entre  $0 \leq \mu \leq 0,5$ . En la Tabla 3.2 se presentan algunos valores  $\mu$  de materiales más comunes.

Material	$\mu$	Material	$\mu$
Acero	0,35 – 0,33	Plomo	0,45
Cobre	0,31 – 0,37	Zinc	0,21
Bronce	0,32 – 0,35	Caucho	0,47
Vidrio	0,25	Latón	0,32 – 0,42
Corcho	0,00	Aluminio	0,32 – 0,36

Tabla 3.2 Coeficiente de Poisson Ref. N° 7.

### 3.1.5 Relación entre esfuerzo y deformación

En los ensayos a tracción, la probeta sometida a esfuerzo se alarga gradualmente. Partiendo de la fuerza  $F$  y de la sección inicial  $A$  de la probeta, se calcula la tensión aplicada  $\sigma$  y la  $\xi$ , a cada tensión corresponde un valor de deformación, llevando estos efectos, de un sistema coordenado rectangular, se tendrá lo que se llama diagrama de tensiones y deformaciones como se indica en la Fig. 3.1.

A continuación la Fig. 3.1 considera como ejemplo el diagrama  $\sigma - \xi$  para los aceros de bajo carbono:

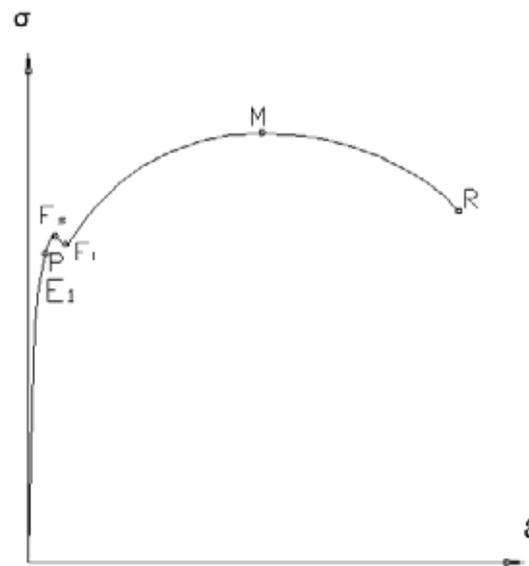


Fig. 3.1 Diagrama esfuerzo deformación

Donde  $E_1$  indica el límite de la zona puramente elástica, hasta el punto P la línea representativa es una recta, lo que significa que la ley de Hooke, es válida por extensión, hasta el límite de proporcionalidad. Tanto el punto  $E_1$  como el punto P apenas se pueden medir en los aceros, por el contrario, el punto  $F_s$  y  $F_i$  por efecto de la brusca caída de tensión, se determinan muy claramente. Entre los puntos  $F_s$  y  $F_i$  existe una depresión de la curva que se denomina escalón de fluencia.

En el punto M la tensión alcanza su valor máximo. Esta es la máxima tensión convencional que puede resistir el material y se denomina límite de resistencia.

Cuando la tensión se iguala al límite de resistencia, en la probeta se observa una disminución brusca y local de la sección y como consecuencia se reduce el esfuerzo y la tensión convencional. En el punto R se produce la ruptura, ocurriendo en la sección más debilitada.

### 3.1.6 Deformación residual unitaria

Durante los ensayos a tracción, se determina también el alargamiento o deformación residual unitaria ( $\delta$ ) correspondiente al momento después de la ruptura. Esta es una característica importante de la plasticidad del material, que se mide por la siguiente relación:

$$\delta = \frac{\text{largo después de rotura} - \text{largo inicial}}{\text{largo inicial}}$$

La magnitud de  $\delta$  depende de la relación entre la longitud de observación de la probeta y sus dimensiones transversales. Por eso, como norma se indica la probeta para la que se ha determinado  $\delta$ , por ejemplo,  $(\delta_5)$  indica que la deformación fue obtenida en una probeta de longitud efectiva de observación cinco veces mayor que la sección.

### 3.1.7 Reducción residual de la sección

Una de las características de la plasticidad del material es la reducción unitaria residual de la sección, en el momento después de la rotura, la que se determina por la siguiente relación:

$$\Psi = \frac{\text{Área inicial} - \text{Área después de rotura}}{\text{Área inicial}}$$

Expresión que también se puede valorizar en porcentaje, como se muestra a continuación:

$$\Psi = \left( \frac{A_i - A_r}{A_i} \right) * 100\%$$

### 3.1.8. Inicio del ensayo

Para los ensayos de tracción y doblado dirigido se usará una máquina universal de ensayos mecánicos Mohr & Federhaff AG, que se encuentra en el Laboratorio de Ensayo de Materiales, Instituto de Cs. Navales y Marítimas, Facultad de Cs.de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia. (Fig. 3.2), de 40.000 kg de capacidad, seis escalas de fuerza y con registro gráfico del diagrama Fuerza - Alargamiento.

Para realizar los ensayos de tensión, en la máquina se utilizó el registro de fuerza en la escala 1 : 2, de 20.000 kg de carga máxima.

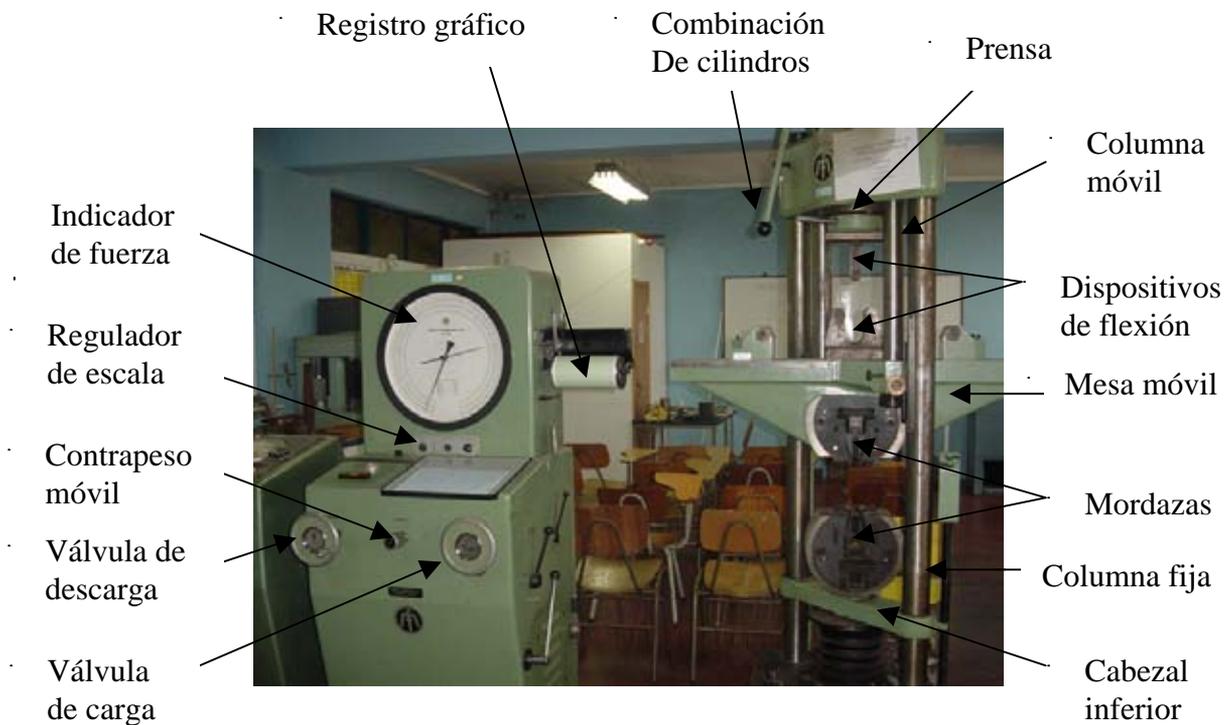


Fig. 3.2 Máquina universal de ensayos mecánicos.

Las probetas son fresadas en la zona media, para inducir la rotura, posteriormente son pulidas, se procede a tomar las medidas de la sección y la distancia entre marcas para medir el alargamiento.



Fig. 3.3. Set de Probetas para ensayos de tracción.

Cada probeta es sujeta por las mordazas (0.5 – 1) de la maquina, como lo muestra la Fig. 3.4, luego la mesa móvil comienza a ascender cada vez con mayor fuerza hasta producir la rotura.



Fig. 3.4 Disposición de la probeta en la máquina.

Naturalmente como ocurre con los aceros de bajo contenido de carbono se produce un alargamiento de las probetas en su sentido longitudinal y un adelgazamiento de la sección transversal como lo muestra la Fig. 3.5.

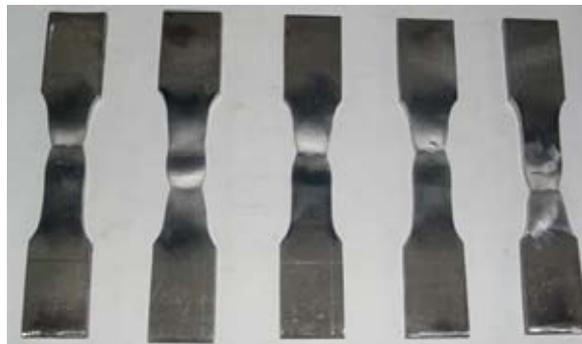


Fig. 3.5 Probetas después del ensayo.

### 3.2 ENSAYO DE DOBLADO DIRIGIDO

Las probetas son macropulidas y redondeadas en las aristas paralelas al eje longitudinal, con un radio de  $1/16''$ , en la Fig. 3.6 se aprecia el set de probetas.



Fig. 3.6 Probetas para ensayo de doblado cara y raíz.

Se dice que una pieza trabaja a la flexión cuando está solicitada por fuerzas que tienden a curvar su eje longitudinal y es lo que se realiza en el presente ensayo doblando las probetas  $180^\circ$ , hasta dejarlas como una herradura.

La probeta de doblez pasa, si cualquier grieta o defecto abierto no excede de 3.175 mm después de doblada. No se consideran las grietas en esquinas. Ref. “Soldadura, aplicaciones y práctica”.

La Fig. 3.7 muestra la probeta antes de aplicar la carga en el centro de la probeta, en la zona soldada.



Fig. 3.7 Posición antes de aplicar la carga en su punto medio.

La Fig.3.8 muestra la probeta después de la solicitud, donde producto de la carga y la fricción en los dispositivos se desplaza del centro, de la zona soldada, buscando una sección más vulnerable.



Fig. 3.8 Probeta con la aplicación de carga.

La Fig. 3.9 muestra el aspecto de las probetas luego que se ha realizado el ensayo de doblado dirigido, de izquierda a derecha, por la raíz y por la cara respectivamente, apreciándose que adolecen de grietas significativas.



Fig. 3.9 Doblado raíz y cara.

### 3.3 ENSAYO DE IMPACTO

#### 3.3.1. Cargas dinámicas

Un tipo importante de carga dinámica es aquella en que la carga se aplica súbitamente como es el caso del impacto de una masa en movimiento.

A medida que se cambia la velocidad de un cuerpo, después de un golpe, debe ocurrir una transferencia de energía; se realiza trabajo sobre las partes que reciben el golpe. La mecánica del impacto involucra no solamente los esfuerzos inducidos sino también una consideración de transferencia de energía.

En la mayoría de los ensayos para determinar las características de absorción energética de los materiales, bajo cargas de impacto, el objeto es utilizar la energía del golpe para causar la ruptura de la probeta.

#### 3.3.2. Comportamiento de los materiales bajo la carga de impacto

La propiedad de un material en relación con el trabajo requerido para causar la ruptura ha sido denominada como tenacidad, la que depende fundamentalmente de la resistencia mecánica y la ductilidad. La tenacidad de un material es la capacidad para absorber energía durante la deformación plástica, es un concepto comúnmente utilizado, pero difícil de medir y definir. Las formas de concretar el concepto es calcular el área bajo la curva de esfuerzo - deformación, o mediante ensayos de impacto.

#### 3.3.3. Alcance y aplicabilidad de los ensayos de impacto

El comité A-3 del acero, de la ASTM describe los ensayos de impacto del acero para propósitos de producción como: “Un ensayo de impacto es un ensayo dinámico, en el cual se rompe, mediante un solo golpe, una probeta seleccionada, maquinada o pulida superficialmente y en forma usual ranurada. Se efectúa en una máquina especialmente diseñada y se mide la energía absorbida al romperse la probeta “.

En el ensayo de Charpy, la probeta es apoyada como viga simple. En estos ensayos una gran parte de la energía absorbida se acumula en una región inmediatamente adjunta a la ranura y con frecuencia se induce un tipo de fractura quebradiza. Se ha descubierto que los resultados indican las diferencias de condición de un metal que otros ensayos no indican.

Los ensayos de Charpy en cuanto a su aplicación a los metales han sido normalizados (ASTM E 23).

### 3.3.4. Aspectos generales de la máquina de impacto

El efecto de un golpe depende en general tanto de la masa de las partes que reciben el golpe, como de la energía y masa del cuerpo golpeador. Los objetos que requieren normalización son la base, el yunque, los apoyos para probetas, la probeta, la masa percutora y su velocidad. Se muestra en la Fig. 3.10 la máquina de impacto de Charpy del Laboratorio de Ensayo de Materiales, Instituto de Cs. Navales y Marítimas, Facultad de Cs. de la Ingeniería, Universidad Austral de Chile, Valdivia.

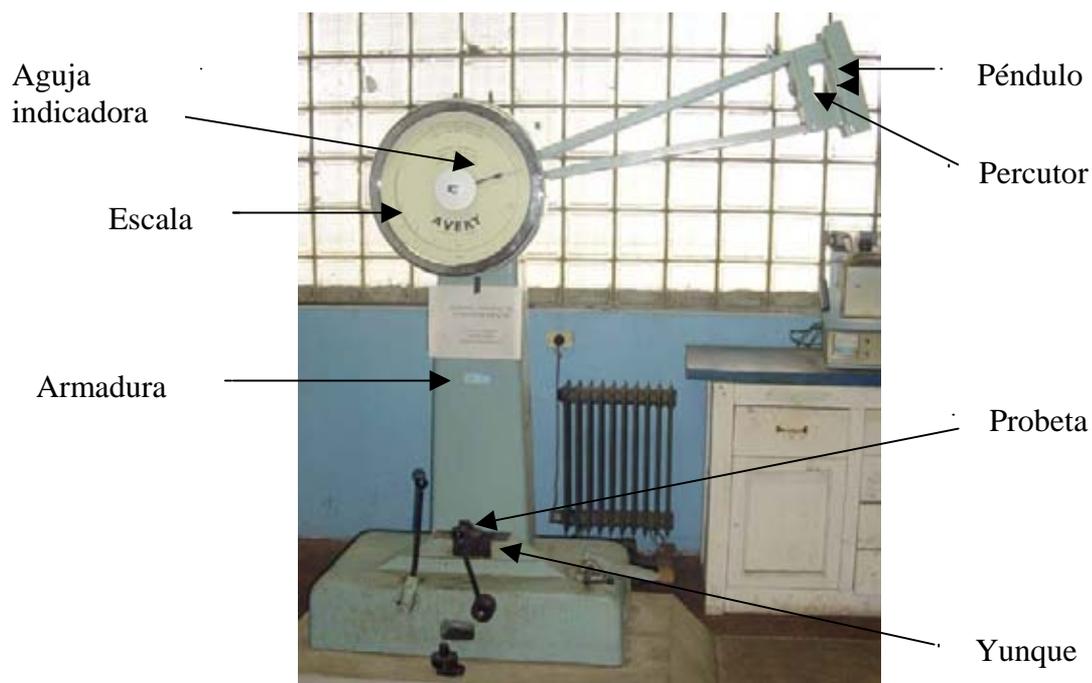


Fig. 3.10 Máquina de impacto de Charpy.

Los aspectos principales de una máquina de impacto, pendular y de un solo impacto, son (1) una masa móvil cuya energía cinética es suficiente para causar la ruptura de la probeta colocada en su camino, (2) un yunque y un apoyo sobre el cual se coloca la probeta para recibir el impacto y (3) un medio para medir la energía residual de la masa móvil después de que la probeta ha sido rota.

El yunque debe ser suficientemente pesado en relación con la energía del impacto para que no se pierda una cantidad indebida de energía por la deformación o vibración. El dispositivo para apoyar la probeta debe ser tal que la probeta quede exactamente sujeta en posición antes del instante del impacto (Fig. 3.11).



Fig. 3.11 Posición centrada de la probeta en el yunque.

El percutor del péndulo debe coincidir con una línea vertical a través del centro de rotación cuando el péndulo cuelga libremente (Fig. 3.12). La línea de acción de la pieza reactiva entre la probeta y el péndulo debe pasar por el centro de percusión en el instante del impacto. Se considera deseable que el centro de percusión quede tan cerca como sea posible del percutor, para lo que se debe medir cuidadosamente la ubicación simétrica de la probeta en el yunque.



Fig. 3.12 Posición cuando pasa el péndulo por el yunque.

Para indicar el balanceo del péndulo de la máquina de tipo Charpy después que la probeta ha sido rota, un brazo fijado al péndulo mueve un “señalador de impacto” sobre un

arco graduado en grados, pies-libras o kg-m. El indicador de impacto (Fig. 3.13), cuyo eje de rotación coincide con el del péndulo, es simplemente un brazo que puede girar sobre un rodamiento de perno con una presión tal que impida que el indicador cambie de posición bajo su propio peso. La presión de empuje debe ajustarse a un mínimo que impida que el péndulo se pase o caiga. Al principio de cada ensayo, este indicador se ajusta para establecer contacto con el péndulo e indicar la lectura apropiada cuando el segundo pende verticalmente.



Fig. 3.13 Indicador de impacto.

### 3.3.5. Ensayo de Charpy para metales

El péndulo consiste de una barra relativamente ligera, rígida y en el extremo de la cual hay un pesado disco. El péndulo está suspendido de una flecha corta que gira en rodamientos de balines y se balancea hasta la mitad de la distancia entre dos postes verticales, cerca de cuya base están los soportes o yunques de las probetas. El percutor está ligeramente redondeado, como se muestra en la Fig. 3.14 y debe alinearse de modo tal que establezca contacto con la probeta contra su peralte total en el instante del impacto.

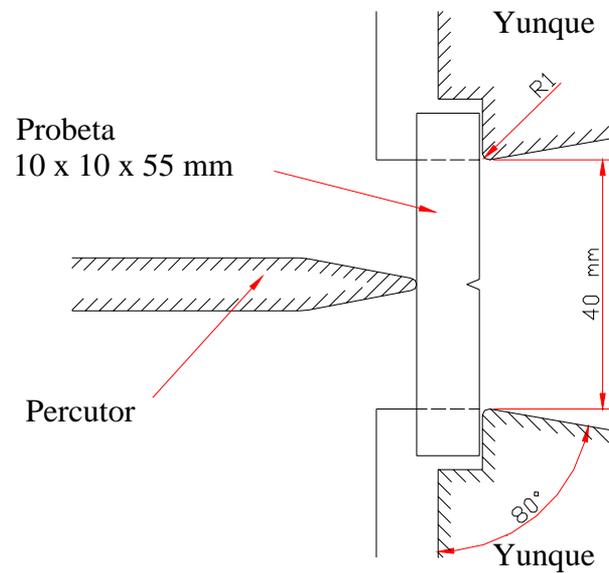


Fig. 3.14 Disposición de la probeta en la máquina (vista superior). Ref. “Ensayo e Inspección de los Materiales de Ingeniería”.

La probeta que se utiliza es de 10 X 10 X 55 mm, ranurada en V y confeccionadas con una plantilla calibrada. Ref. “Ensayo e Inspección de los Materiales de Ingeniería”.

La Fig. 3.15 muestra las cinco probetas dispuestas para ensayar.



Fig. 3.15 Probetas ranuradas en v.

La Fig. 3.16 muestra las probetas después del impacto, de las cinco ninguna se partió en dos como se puede apreciar, incluso el ángulo en que quedaron no registró grandes diferencias.



Fig. 3.16 Set de probetas después del impacto.

Como este es un análisis preliminar de calidad, basta señalar que las probetas todas cumplen satisfactoriamente con las características mecánicas, como se mostrará detalladamente en el capítulo IV.

## CAPITULO IV

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se revisarán todos los resultados que entregaron tanto el procedimiento de soldadura, como los ensayos mecánicos, para contrastar las diferencias que existen entre los electrodos sometidos a análisis.

#### 4.1. PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

En el procedimiento de soldadura los resultados obtenidos dicen relación con aspectos cualitativos como: control del charco de metal fundido o continuidad del arco, la cantidad de chisporroteo, calidad del revestimiento en la fusión, presentación de los cordones y aspectos cuantitativos como: cantidad de electrodos utilizados, precio y amperaje registrado.

##### 4.1.1. Aspectos cualitativos:

Electrodo	Continuidad del arco	Chisporroteo	Revestimiento	Aspecto de los cordones
A	Difícil y lento por resistencia a fundirse	Escaso	Normal	Buena presentación
B	Estable, de un charco bien fundido que permite excelente penetración	Escaso	Normal	Buena presentación
C	Charco normal, licuado	Excesivo	Normal	Buena presentación
D	Charco normal de material fundido	Escaso	Es arenoso, frágil, quebradizo y se desprende anticipadamente en el arco	Buena presentación
E	Charco normal de material fundido	Escaso	Normal	Buena presentación

Tabla 4.1 Aspectos cualitativos.

Se desprende de la tabla anterior que los electrodos B y E están exentos de anomalías y/o dificultades en su aplicación, que por muy pequeñas que parezcan influyen en el rendimiento final del electrodo.

#### 4.1.2. Aspectos cuantitativos

##### 4.1.2.1 Cantidad de electrodos utilizados

Entre uno y otro electrodo existe una diferencia en cuanto a la cantidad de varillas que se consumen en la unión de las planchas, por esta razón durante el procedimiento de soldadura, se contabiliza la cantidad de electrodos utilizados en el soldeo.

		Cantidad de electrodos utilizados (varillas)
Electrodo A	E-6011	2.8
	E-7018	5.8
Electrodo B	E-6011	3.0
	E-7018	6.0
Electrodo C	E-6011	2.7
	E-7018	5.5
Electrodo D	E-6011	2.9
	E-7018	5.8
Electrodo E	E-6011	2.6
	E-7018	5.0

Tabla 4.2 Cantidad de electrodos utilizados.

Los electrodos C y E son los más rendidores ya que se utilizan menos varillas por cordón y dentro de los cuales se destaca el electrodo E.

##### 4.1.2.2. Precio de los electrodos

Con respecto al precio de los electrodos existe una gran variedad de valores, dependiendo de la cantidad y del local donde se adquieran, para el caso el valor del precio por kg referencial que se utilizará es el valor al detalle que se encuentra en ferreterías.

		Precio
Electrodo A	E-6011	\$ 1.800
	E-7018	\$ 1.400
Electrodo B	E-6011	\$ 1.900
	E-7018	\$ 1.700
Electrodo C	E-6011	\$ 1.660
	E-7018	\$ 1.310
Electrodo D	E-6011	\$ 1.800
	E-7018	\$ 1.600
Electrodo E	E-6011	\$ 1.839
	E-7018	\$ 1.807

Tabla 4.3 Precio de los electrodos.

#### 4.1.2.3. Amperaje utilizado

Con respecto al amperaje utilizado, el cual fue registrado en la escala de amperaje de la máquina de soldar, se puede señalar que a mayor intensidad mayor consumo de energía eléctrica y mayor concentración de calor, por lo tanto mayor costo. Además se puede observar, según la Tabla 4.4, que el electrodo D es el que requiere mayor amperaje para su aplicación, seguido por el electrodo A.

		Amperaje
Electrodo A	E-6011	80
	E-7018	145
Electrodo B	E-6011	70
	E-7018	145
Electrodo C	E-6011	75
	E-7018	135
Electrodo D	E-6011	85
	E-7018	150
Electrodo E	E-6011	70
	E-7018	150

Tabla 4.4 Resumen de amperajes.

## 4.2. ENSAYO DE TRACCIÓN A LAS PROBETAS.

En el ensayo de tracción el objetivo que se persigue es ver si las probetas resisten los esfuerzos de máxima carga, límite elástico y alargamiento, donde las características de la plancha de acero son la referencia, ya que las características mecánicas de la soldadura son mayores. Por lo tanto, cumpliéndose los requerimientos para la plancha de acero, la soldadura cumple.

Según los “Requerimientos para aceros de resistencia normal para la estructura del casco, Capítulo 43/14 Materiales para la construcción del casco y equipos del ABS 1982” dice:

#### Ensayo de tracción:

- Resistencia a la tracción, para el acero naval grado A, 41-50 kg/mm<sup>2</sup>.
- Límite elástico, min. 24 kg/mm<sup>2</sup> y
- alargamiento min. 21 % en 200 mm, 24 % en 50 mm ó 22 % en  $5.65\sqrt{A}$  (A es el área transversal de la probeta).

Los valores de esfuerzos de tracción, obtenidos en los ensayos, se indican en la Tabla 4.5.

	a	b	Área	F <sub>fluencia</sub>	F <sub>máxima</sub>	F <sub>rotura</sub>	$\sigma$ <sub>fluencia</sub>	$\sigma$ <sub>máx. Carga</sub>	$\sigma$ <sub>rotura</sub>
	mm	mm	mm <sup>2</sup>	kg	kg	kg	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>
A	37,75	9,15	345,410	10000	14650	11000	28,95	42,41	31,85
B	34,80	9,50	330,600	10300	15000	11300	31,16	45,37	34,18
C	34,70	9,20	319,240	10200	14450	11000	31,95	45,26	34,46
D	35,45	9,10	322,595	10000	15100	11100	31,00	46,81	34,41
E	35,45	9,00	319,050	10300	14700	11200	32,28	46,07	35,10

Tabla 4.5 Valores de esfuerzos de tracción.

Y los alargamientos, obtenidos en los ensayos, se indican en la Tabla 4.6.

	Antes mm	Después mm	Alargamiento mm	Alargamiento %
A	72,0	95,65	23,65	33
B	73,7	95,10	21,40	29
C	72,1	91,45	19,35	27
D	69,8	96,45	26,65	38
E	67,4	90,25	22,85	34

Tabla 4.6 Deformación

De acuerdo a los “Requerimientos para aceros de resistencia normal para la estructura del casco, Capítulo 43/14 Materiales para la construcción del casco y equipos del ABS 1982”, entregados en párrafos anteriores, se puede apreciar que se cumplen a cabalidad los requerimientos de esfuerzos y alargamientos. Además los valores observados están de acuerdo con los valores expuestos en el anexo N° 1 “Certificado de calidad” del acero utilizado.

Como información adicional se puede decir que: debido a la fuerza de tracción, la probeta se rompe en la zona cercana al cordón de soldadura (ver Fig. 3.5. Probetas después del ensayo), precisamente en la zona de fragilidad azul como lo muestra la Fig.4.1. Esta zona es creada por una modificación de la estructura cristalográfica del acero, producto de las altas temperaturas alcanzadas y su brusco enfriamiento, lo que en la práctica se traduce

en que las reacciones químicas que se inician, no se alcanzan a completar. Según se indica en la Fig. 4.1.

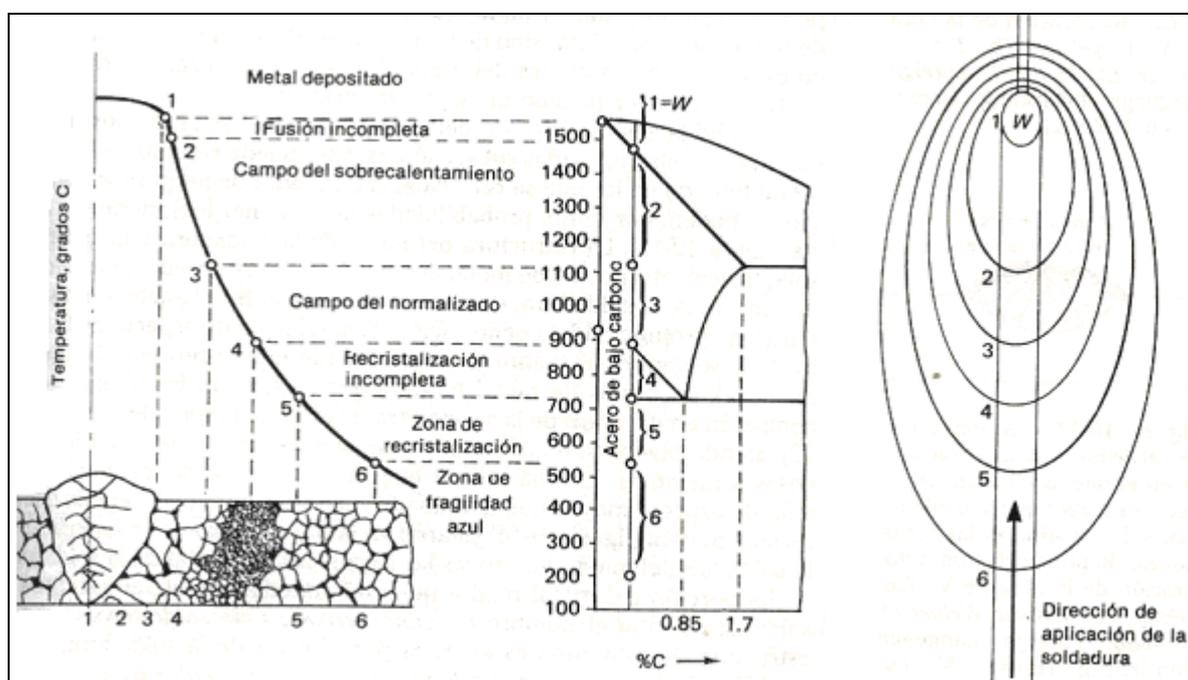


Fig.4.1 Diagrama de solidificación del material fundido en el charco de soldadura, Ref. “Soldadura, aplicaciones y práctica”.

### 4.3. ENSAYO DE DOBLADO CARA Y RAÍZ

Tal como se mencionó en el capítulo anterior: “La probeta de doblez es aprobada, si cualquier grieta o defecto abierto no excede de 3.175 mm” después de doblada. No se consideran las grietas en esquinas.” Ref. “Soldadura, aplicaciones y práctica”.

Electrodo	Calificación	Observación
A raíz	Aprobada	OK
cara	Aprobada	Presenta una pequeña grieta en una esquina
B raíz	Aprobada	OK
cara	Aprobada	OK
C raíz	Aprobada	OK
cara	Aprobada	OK
D raíz	Aprobada	OK
cara	Aprobada	Presenta grieta en una esquina y se propaga hacia el centro, pero no excede los 3.175 mm”
E raíz	Aprobada	OK
cara	Aprobada	Presenta una pequeña griete en una esquina

Tabla 4.7 Apreciación de las probetas ensayadas a doblado dirigido.

Electrodo	Cara kg.	Raíz kg.
A	4740	4700
B	5060	5120
C	4860	5000
D	4700	4740
E	4600	4740

Tabla 4.8 Carga en ensayo de flexión.

#### 4.4. ENSAYO DE IMPACTO

La tenacidad de una material es la capacidad para absorber energía durante la deformación plástica, capacidad para soportar esfuerzos ocasionales superiores al esfuerzo de fluencia, sin que se produzca la fractura, propiedad de gran valor en piezas que sirven de acoplamiento en vagones, engranajes, cadenas y ganchos de grúas.

Según los “Requerimientos adicionales para aceros de resistencia normal para la estructura del casco, Capítulo 43/16 Materiales para la construcción del casco y equipos del ABS 1982” dice:

“Ensayo de resiliencia Charpy con entalla en V, para el acero naval grado A, a una temperatura de 20°C, la energía promedio min., en el caso de probeta longitudinal debe ser de 2.8 kgm.”

Probeta	Energía kg-m
Electrodo A	18,4
Electrodo B	16,8
Electrodo C	19,3
Electrodo D	19,4
Electrodo E	19,2

Tabla 4.9 Energía absorbida en el impacto.

En las probetas de impacto el entalle fue realizado en la zona de la soldadura, por esta razón los resultados registrados sextuplican la energía requerida. Por lo que las uniones en estudio, son extraordinariamente tenaces.

## CONCLUSIÓN

Los ensayos destructivos y la inspección visual a través del procedimiento de soldadura indican que los electrodos analizados en la presente tesis, cumplen con las características mecánicas que especifican. Sin embargo existen diferencias en su aplicación, lo que a la larga, redundará en la eficacia y rendimiento del proyecto de soldadura, esto dado que:

1. El electrodo A por su resistencia a fundirse, el avance es lento y requiere de un elevado amperaje en su aplicación, esto hace que resulte antieconómico, considerando el mayor consumo de energía eléctrica.
2. El electrodo B tuvo la mayor facilidad para fundirse, pero es el menos rendidor, ya que se utilizaron una mayor cantidad de varillas en la unión.
3. El electrodo C presenta un mayor chisporroteo, pero se caracteriza por su menor valor comercial, según precios de referencia.
4. El electrodo D resulta ser el más antieconómico ya que presenta un revestimiento arenoso, lo que produce un arco inestable, poco rendidor y es el que requiere mayor amperaje para su fundición, induciendo un mayor consumo de energía eléctrica.
5. El electrodo E está exento de defectos en su aplicación, es más, resulta ser el de mayor rendimiento utilizándose la menor cantidad de varillas en la unión, pero es el que registra el mayor precio comercial.

En vista de los antecedentes el electrodo C es el más rentable para el proyecto, porque como todos, cumple con los requerimientos de calidad, pero además, tiene el precio más bajo y presenta la menor cantidad de atenuantes en su aplicación.

El presente control preliminar de calidad, contribuye a descartar la posibilidad de que esté circulando un producto que ponga en riesgo la integridad de las estructuras de acero y sobretodo, el bien máspreciado, la vida de las personas.

Además, se desprende que no existe una consecuencia entre calidad y precio, ya que el electrodo más caro no necesariamente es el de mayor calidad, ni el más barato posee una calidad inferior, muy por el contrario, el de menor valor comercial resultó ser el más conveniente.

**BIBLIOGRAFIA.**

1. "WELDING INSPECTION"  
AMERICAN WELDING SOCIETY
2. R. L. O'Brien  
"MANUAL DE SOLDADURA"  
AMERICAN WELDING SOCIETY
3. Henry Horwitz  
"SOLDADURA: APLICACIONES Y PRÁCTICA"  
DUTCHESS COMMUNITY COLLEGE  
UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE NUEVA YORK
4. Harper E. Davis, George Earl Troxell y Clement W. W  
"ENSAJE E INSPECCIÓN DE LOS MATERIALES DE INGENIERÍA"  
UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA.
5. AMERICAN BUREAU OF SHIPPING  
"REGLAMENTOS PARA INSPECCIÓN Y PRUEBA DE MATERIALES"  
1982
6. Felipe Ismael Guzmán Basualto  
"MANUAL DE LA INSPECCIÓN VISUAL EN ESTRUCTURAS SOLDADAS"  
BM Fci G993m 2003
7. Elias Carrasco  
"CIENCIAS DE LOS MATERIALES"  
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
8. "MANUAL DE SOLDADURA"  
Departamento técnico INDURA



<p><b>SAMPLE POSITIONING NOTATION REFERENCE DA AMOSTRA</b></p> <p>BB - BOTTOM AT EDGE - BASE/BORDA          BM - BOTTOM AT MID WIDTH - BASE/MEO DA LARGURA          BQ - BOTTOM AT QUARTER WIDTH - BASE/QUARTO DA LARGURA          F - END - FIM          I - STARTING - INÍCIO          M - MID - MEO          MB - MID AT EDGE - MEO/BORDA          MM - MID AT MID WIDTH - MEO DA LARGURA          MQ - MID AT QUARTER WIDTH - MEO/QUARTO DA LARGURA          TS - TOP AT EDGE - TOPO/BORDA          TM - TOP AT MID WIDTH - TOPO/MEO DA LARGURA          TQ - TOP AT QUARTER WIDTH - TOPO/QUARTO DA LARGURA          TT - TOP - TOPO</p>	<p><b>TEST CONDITION / DENOÇÃO DO TESTE</b></p> <p>EN - NORMAL TENSILE - ENSAIO NORMAL          N - NORMALIZED TEST PIECE - ENSAIO EM CP NORMALIZADO          T - QUENCHED AND TEMPERED TEST PIECE - ENSAIO EM CP TEMPERADO          TR - QUENCHED AND TEMPERED TEST PIECE - ENSAIO EM CP TEMPERADO E REVENIDO          ANTT - AFTER STRESS RELIEF TEST - ENSAIO APÓS ALÍVIO DE TENSÕES DO CP          N - STRESS RELIEF CYCLE NUMBER - NÚMERO DE CICLOS DE ALÍVIO DE TENSÕES          TTT - STRESS RELIEF TEMPERATURE - TEMPERATURA DE ALÍVIO DE TENSÕES          VTTT - AFTER TEST PIECE AGING - ENSAIO APÓS ENVELHECIMENTO DO CP          TT - AGING TEMPERATURE - TEMPERATURA DE ENVELHECIMENTO          XX - PERCENTAGE OF DEFORMATION - PORCENTAGEM DE DEFORMAÇÃO</p>	<p><b>IMPACT TEST - DENOÇÃO DO TESTE DE IMPACTO</b></p> <p>EC - ABSORBED ENERGY - ENERGIA ABSORVIDA NO ENSAIO CHARPY          AC - DUCTILE AREA - ÁREA DUCTIL NO ENSAIO CHARPY          EL - LATERAL EXPANSION - EXPANSÃO LATERAL NO ENSAIO CHARPY          AD - DUCTILE AREA IN DWTT - ÁREA DUCTIL NO ENSAIO DWTT</p>
<p><b>FORMER OF REFERENCE DO CE</b></p> <p>03 - CH-MV3          04 - CH-MV4          05 - CH-MV5          06 - CH-MV6          07 - CH-MV7          08 - CH-MV8          09 - CH-MV9          10 - CH-MV10          11 - CH-MV11          12 - CH-MV12          13 - CH-MV13</p>	<p><b>SAMPLE CONDITION / DENOÇÃO DO CONDIÇÃO</b></p> <p>AC - AGREEMENT WITH CUSTOMER - ACORDO COM O CLIENTE          AT - STRESS RELIEF - ALÍVIO DE TENSÃO          CV - AS ROLLED - COMO LAMINADO          DS - DEAD SOFT - DEAD SOFT          PH - FULL HARD - FULL HARD          GV - GALVANIZED - EXPORT - GALVANIZADO - EXPORTAÇÃO          LC - THERMOMECHANICAL CONTROLLED PROCESS - LAMINAÇÃO CONTROLADA (TMCP)          LCN - NORMALIZED - NORMALIZADO          NR - NORMALIZED AND TEMPERED - NORMALIZADO E REVENIDO          RA - BLUE ANNEALING/TEMPERING - RECOZIMENTO AZUL/ENFRIAMENTO          RB - WHITE ANNEALING/TEMPERING - RECOZIMENTO BRANCO/ENFRIAMENTO          T - QUENCHED AND TEMPERED          TCR - AS ROLLED WITH FINISHING TEMPERATURE - COMO LAMINADO COM CONTROLE TA          TR - QUENCHED AND TEMPERED - TEMPERADO E REVENIDO</p>	<p><b>TEST DIRECTION / DIREÇÃO DO TESTE</b></p> <p>L - LONGITUDINAL - LONGITUDINAL          T - TRANSVERSE - TRANSVERSAL</p>
<p><b>TEST PIECE POSITION / POSIÇÃO DE RETIRADA DO CP</b></p> <p>1/2 - MID THICKNESS - MEO DA ESPESURA          1/4 - QUARTER OF THICKNESS - UM QUARTO DA ESPESURA          NCL - CORE - NÚCLEO          SUP - SURFACE - SUPERFÍCIE</p>	<p><b>GENERAL CONDITION / CONDIÇÃO GERAL</b></p> <p>0.00 - LESS THAN 0.005 - VALOR MENOR QUE 0,005          0.0005 - LESS THAN 0.0005 - VALOR MENOR QUE 0,0005          C - PRODUCT ANALYSIS - ANÁLISE DE PRODUTO          CE - CARBON EQUIVALENT - CARBONO EQUIVALENTE          P - HEAT ANALYSIS - ANÁLISE DE PAINELA</p>	<p><b>SIZE OF TEST PIECE / TAMANHO DO TESTE</b></p> <p>D0 - 200 mm          D5 - 50 mm          D8 - 80 mm          D10 - 100 mm          D15 - 150 mm          D20 - 200 mm          D25 - 250 mm          D30 - 300 mm          D35 - 350 mm          D40 - 400 mm          D45 - 450 mm          D50 - 500 mm          D55 - 550 mm          D60 - 600 mm          D65 - 650 mm          D70 - 700 mm          D75 - 750 mm</p>
<p><b>TEST PIECE POSITION / POSIÇÃO DE RETIRADA DO CP</b></p> <p>1/2 - MID THICKNESS - MEO DA ESPESURA          1/4 - QUARTER OF THICKNESS - UM QUARTO DA ESPESURA          NCL - CORE - NÚCLEO          SUP - SURFACE - SUPERFÍCIE</p>	<p><b>TEST PIECE POSITION / POSIÇÃO DE RETIRADA DO CP</b></p> <p>1/2 - MID THICKNESS - MEO DA ESPESURA          1/4 - QUARTER OF THICKNESS - UM QUARTO DA ESPESURA          NCL - CORE - NÚCLEO          SUP - SURFACE - SUPERFÍCIE</p>	<p><b>IMPACT TEST UNIT / UNIDADE DE IMPACTO</b></p> <p>J - JOULE          JCM - JOULE CMZ</p>
<p><b>PLASTIC STRAIN RATIO / ÍNDICE DE ANISOTROPIA</b></p> <p>DE - PLASTIC STRAIN RATIO - DELTA R          N - STRAIN HARDENING EXPONENT - COEFICIENTE DE ENCRUAMENTO          NS - STRAIN HARDENING EXPONENT - COEF. ENCRUAMENTO LONGITUDINAL          NSD - STRAIN HARDENING EXPONENT - COEF. ENCRUAMENTO DIAGONAL          NR - STRAIN HARDENING EXPONENT - COEF. ENCRUAMENTO TRANSVERSAL          R - PLASTIC STRAIN RATIO - ÍNDICE DE ANISOTROPIA MÉDIO          RS - PLASTIC STRAIN RATIO - ÍNDICE DE ANISOTROPIA LONGITUDINAL          RT - PLASTIC STRAIN RATIO - ÍNDICE DE ANISOTROPIA DIAGONAL          TR - PLASTIC STRAIN RATIO - ÍNDICE DE ANISOTROPIA TRANSVERSAL</p>	<p><b>UNIT OF TENSILE TEST / UNIDADE DE TRACÇÃO</b></p> <p>KGF - KILOGRAM FORCE/CMZ          KSI - KILPOUND SQUARE INCH          MPA - MEGAPASCAL          N - NEWTON          PSI - POUND SQUARE INCH</p>	<p><b>IMPACT TEST UNIT / UNIDADE DE IMPACTO</b></p> <p>J - JOULE          JCM - JOULE CMZ</p>

**ANEXO N° 2**

**CERTIFICADO DE CALIFICACIÓN DEL SOLDADOR**

**INFORME CALIFICACION DE SOLDADOR**

A solicitud del contratista Sr. Javier A. Díaz Flores, Rut:7.301.266-K, con domicilio en Av. Pedro Montt N° 2454, Valdivia , se procedió a realizar un examen de calificación de soldador al arco eléctrico manual, de acuerdo al procedimiento indicado en la norma Chilena NCh308of 62.

**Nombre soldador : Sr. José Alvarado Oyarzún**  
**Rut : 5.933.613-4**

El soldador ha obtenido los siguientes resultados de sus exámenes:

**EXAMEN TEORICO ORAL:** Suficiente (aprobado)

**EXAMEN PRACTICO:**

El examen práctico fue realizado en plancha de acero A37-24ES de acuerdo al artículo 7 de la norma, con electrodos E6010 en el cordón de raíz y E7018 para el relleno, los resultados fueron:

Prueba t3. posición vertical : Suficiente (aprobado)  
Prueba t4. Posición sobre cabeza : Suficiente (aprobado)

De acuerdo a la norma NCh308 of 62, el soldador antes descrito ha calificado para soldar planchas en toda posición.

**Ing. Héctor Legue Legue**  
**Jefe Lab. de Ensaye de Materiales**  
**UACH**

Valdivia, 1 de agosto 2003.