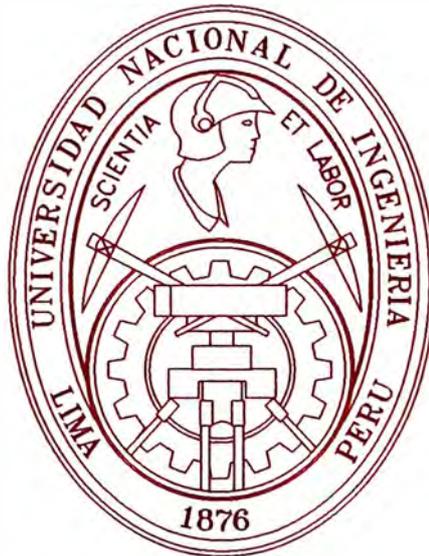


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“MANTENIMIENTO POR SOLDADURA DE EQUIPOS DE  
MINERÍA A TAJO ABIERTO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**JUAN CARLOS SALAS ESPIRITU**

**PROMOCION 2003-I**

**LIMA-PERU**

**2006**

## *Dedicatoria*

*A mis padres Simeón y Prudencia por su apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos Sergio, Eddy, Christian y Ricardo por sus constantes enseñanzas, y a mi amor de siempre Erika*

# ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
INTRODUCCIÓN	3
<b>CAPÍTULO II</b>	
TEORIA DEL MANTENIMIENTO	5
2.1 Mantenimiento	5
2.1.1 Objetivos del Mantenimiento	5
2.2 Tipos de Mantenimiento Industrial	6
2.2.1 Mantenimiento Correctivo	6
2.2.2 Mantenimiento Preventivo	7
2.2.2.1 Características	7
2.2.2.2. Ventajas	8
2.2.2.3 Desventajas	8
2.2.3 Mantenimiento Predictivo	9
2.2.4 Organización para el Mantenimiento Predictivo	9
2.2.5 Metodología de las Inspecciones	10
2.2.6 Técnicas aplicadas al Mantenimiento Predictivo	10
2.2.7 Ventajas del Mantenimiento Predictivo	10
2.3 Mantenimiento Proactivo	11
<b>CAPÍTULO III</b>	
PRINCIPIOS DE SOLDADURA	12
3.1 Clasificación de los Procesos de soldeo	14
3.2 soldeo por arco con electrodos revestidos Procesos de Corte	14
3.2.1 Principios del Proceso	14

3.2.2.	Ventajas y Limitaciones	15
3.2.2.1	Ventajas	15
3.2.2.2	Limitaciones	16
3.2.3	Aplicaciones	17
3.2.4	Selección del Tipo de Corriente	17
3.2.5	Electrodos Revestidos	18
3.2.5.1	Tipos de revestimiento	20
3.2.5.1.1	<i>Revestimiento de los electrodos de acero al carbono</i>	20
3.2.5.1.2	<i>Revestimiento de los electrodos de acero</i> <i>aleados y materiales no ferrosos</i>	23
3.2.5.1.3	<i>Electrodos con polvo de hierro en el revestimiento</i>	24
3.2.6	Parámetros de Soldeo	24
3.2.6.1	Diámetro del Electrodo	24
3.2.6.2	Intensidad de Soldeo	25
3.2.6.3	Longitud del arco	25
3.2.6.4	Velocidad de desplazamiento	25
3.2.6.5	Orientación del electrodo	26
3.3	Introducción al Soldeo por arco con protegido con gas	27
3.3.1	Procesos de Soldeo por arco que utilizan gas de protección	27
3.3.2	Gases de Protección	27
3.3.3	Clasificación de los gases de protección	27
3.3.4	Propiedades de los gases	28
3.3.4.1	Energía de ionización	28
3.3.4.2	Densidad	28
3.3.4.3	Conductividad Térmica	29

**CAPÍTULO IV**

<b>MATERIAL BASE Y DE APORTE</b>	<b>66</b>
<b>4.1 Aceros estructurales (planchas bases)</b>	<b>66</b>
<b>4.1.1 ASTM a 3</b>	<b>67</b>
4.1.1.1 Descripción	67
4.1.1.2 Normas	68
<b>4.1.2 ASTM a 514</b>	<b>68</b>
4.1.2.1 Descripción	68
4.1.2.2 Normas	69
4.1.2.3 Composición química	69
4.1.2.4 Normas	70
4.1.2.5 Equivalencias comerciales	70
<b>4.2 Planchas de desgaste (Antidesgaste)</b>	<b>70</b>
<b>4.2.1 Planchas de acero resistente a la abrasión 400 bhn</b>	<b>70</b>
4.2.1.1 Descripción	70
4.2.1.2 Propiedades mecánicas.	70
4.2.1.3 Composición química típica	77
4.2.1.4 Normas	77
4.2.1.5 Equivalencias comerciales	77
<b>4.2.2. Planchas de acero resistente a la abrasión 500 bhn</b>	<b>77</b>
4.2.2.1 Descripción	77
4.2.2.2 Propiedades mecánicas	72
4.2.2.3 Composición química típica	72
4.2.2.4 Normas	72
4.2.2.5 Equivalencias comerciales	72
<b>4.3 Material de aporte</b>	<b>72</b>

4.3.1	E 7018 (SUPERCITO)	73
4.3.2	E308L – 16 (INOX AW)	75
4.3.3	E312L – 16 (EXSA 106)	76
4.3.4	E 71 T-1 (EXATUB 71)	78
<b>CAPÍTULO V</b>		
<b>INSPECCION DE UNIONES SOLDADAS</b>		<b>83</b>
5.1	Inspección Visual de uniones soldadas	83
5.1.1	Fundamentos de la inspección visual	83
5.1.2	Precio a la soldadura	84
5.1.3	Procedimientos de soldaduras	84
5.1.4.	Material base	85
5.1.5	Disposición (fit – up) de la junta	85
5.1.6	Durante la soldadura	86
5.1.7	Pase de raíz	86
5.1.8	Temperatura de precalentamiento e interpase	87
5.1.9	Examen entre capas	87
5.1.10	Después de la soldadura	87
5.1.11	Discontinuidades	88
5.1.12	Condición superficial de la soldadura	88
5.2	Inspección por líquidos penetrantes	89
5.2.1	Métodos de Ensayo	89
5.2.1.1	Penetrantes fluorescentes	89
5.2.1.2	Penetrantes Coloreados	90
5.2.2	Descripción general del Método	91
5.2.2.1	Limpieza antes del Ensayo	91
5.2.2.2	Aplicación del Penetrante	92

## VII

5.2.2.3	Tiempo de Penetración	92
5.2.2.4	Eliminación del exceso de Penetrante	93
5.2.2.4.1	<i>Penetrantes autoemulsionables</i>	93
5.2.2.4.2	<i>Penetrantes Postemulsionables</i>	93
5.2.2.4.3	<i>Penetrantes eliminables con disolvente</i>	93
5.2.2.5	Aplicación del Revelador	94
5.2.2.5.1	<i>Reveladores Secos</i>	94
5.2.2.5.2	<i>Reveladores Húmedos</i>	94
5.2.2.6	Secado	95
5.2.2.7	Interpretación	95

### **CAPÍTULO VI**

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA	97	
6.1	Concepto de la Soldabilidad	97
6.2	Carbono Equivalente	100
6.2.1	Introducción	100
6.2.2	Fórmula del carbono equivalente (ce)	101
6.3	Predicción de la dureza bajo el cordón (ZAC)	103
6.4	Determinación de la temperatura de precalentamiento	104
6.4.1	Método de AWS d1.1	105
6.4.2	Método de Seferían	107
6.5	Tratamientos Térmicos Post Soldadura	108
6.6	Dilución	111

### **CAPÍTULO VII**

MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR SOLDADURA	113	
7.1	Reparación de Tolva de Volquete	115
7.1.1	Normas Técnicas	115

## VIII

7.1.2	Estado Inicial de la Tolva antes de la reparación	116
7.1.3	Programa de Reparación	116
7.1.3.1	Zona de Visera (Canopy)	116
7.1.3.2	Zona del pecho de Tolva	118
7.1.3.3	Zona del piso de Tolva, Canalones y Sub Chasis	121
7.1.3.4	Zona de Laterales derecho e izquierdo	127
7.1.4	Estado final de la Tolva después de la reparación	130
7.1.5	Partes de la Tolva CAT 793c	133
7.1.6	Cronograma de trabajo para la reparación	134
7.1.7	Formato de porcentaje de avance de reparación de Tolva CAT 793c	135
7.1.8	Procedimiento de Soldadura para reparación de Tolva	136
7.1.9	Cálculo y Diseño de la unión para la reparación	138
7.1.10	Procedimiento de Soldadura (resumen)	140
7.1.10.1	<i>Proceso manual SMAW</i>	140
7.1.10.2	<i>Semiautomático FCAW</i>	141
7.1.11	Kit antidesgaste de la Tolva	144
7.1.12	Costos de reparación de Tolva	144
7.2	Reparación de Cucharón de Pala	147
7.2.1	Normas Técnicas	147
7.2.2	Estado inicial del cucharón antes de la reparación	148
7.2.3	Programa de Reparación	148
7.2.4	Procedimiento de Soldadura para reparación	160
7.2.4.1	Proceso manual SMAW	160
7.2.4.2	Semiautomático FCAW para soldadura de planchas estructurales y antidesgaste	160

7.2.4.3	Semiautomático FCAW para soldadura de lanchas	
	bases y estructurales:	161
7.3	Reparación de Cucharón de cargador frontal LT1	162
7.3.1	Normas Técnicas	162
7.3.2	Reparación de cucharón de cargador l1400	162
7.3.3	Material Base	166
7.3.4	Proceso de Soldadura	166
7.3.5	Procedimientos de reparación	167
7.4	Reparación de Tambores (Tumblers) impulsores de Palas P&H4100	173
7.4.1	Preparación inicial	174
7.4.2	Enmantequillado sobre tambor impulsor	174
7.4.3	Relleno y Reconstrucción Total	176
7.4.4	Acabado final de los dientes	177
7.4.5	Reparación Rentable	178
7.4.6	Vida útil promedio	178
7.4.7	Rendimiento y Productividad	178
7.5	Reparación de Zapatas de Pala P&H 4100	180
7.5.1	Material Base	180
7.5.2	Proceso de Soldadura	180
7.5.3	Procedimiento de Reparación	181
7.5.4	Resultados	187
	CONCLUSIONES	190
	BIBLIOGRAFÍA	196
	ANEXOS	197

## **PRÓLOGO**

**El principal objetivo del presente informe es de presentar los mantenimientos correctivos por soldadura aplicados a equipos de minería a tajo abierto, si bien el trabajo de soldadura en la minería abarca un amplio abanico de posibilidades, se esta tomando los mas críticos y representativos, los de movimiento y acarreo de mineral.**

**La gran abrasión, peso y heterogeneidad del mineral ocasiona gran deterioro en las estructuras base y de revestimiento, equipo tales como tolvas y cucharones llevan un formato de revestimiento con planchas de diferentes durezas 400HBN, 500HBN, bimetálicas, carburos de cromo, etc.**

**La parada de estos equipos ocasiona una gran pérdida para la empresa minera, por lo que el movimiento de mineral es la principal función que realizan en el área de mina, por ello se trata de tener un mínimo de parada por daños estructurales y/o desgaste.**

**Debido a la problemática de desgaste, es que realizamos el presente informe, que consta de ocho capítulos**

**En tal sentido el primer capitulo hace una introducción al tema, así como la experiencia de dichos mantenimientos en la empresa Southern Perú Copper Corporation en su unidad de Toquepala.**

En el segundo capítulo tocamos los conceptos clásicos de mantenimiento, y su evolución, desde el mantenimiento correctivo hasta llegar al mantenimiento proactivo.

El tercer capítulo se describe los aspectos teóricos de la soldadura, su efecto en la metalurgia de los metales, los diferentes procesos de soldadura y de corte.

En el cuarto capítulo abarca el tema de materiales base y de aporte, los más usados en la minería y las propiedades de los diferentes materiales.

El quinto capítulo está referido a la inspección de soldaduras, los diferentes parámetros para la aceptación y/o rechazo de una unión soldada, así como los diferentes métodos de inspección no destructiva.

En el sexto capítulo tiene un tema muy importante referido a los procesos de soldadura, los cálculos teóricos para las temperaturas de pre y post calentamiento, el concepto de carbono equivalente y la soldabilidad de los metales.

El séptimo hace referencia a la realización de mantenimientos correctivos por soldadura de diferentes equipos tales como tolva, cucharón, zapata de pala, y tumbler o tambor impulsor de palas.

Los resultados obtenidos se detallan en el octavo capítulo para llegar finalmente a las conclusiones y recomendaciones.

# **CAPITULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

El presente informe se basa en experiencia obtenidas en la empresa Javfrank Contratistas, el cual realiza mantenimientos especializados por soldadura, teniendo entre sus clientes las mas importantes empresas mineras, tales como Antamina, con un contrato de exclusividad para el mantenimiento de Tolvas CAT793UL, Barick –Misquichilca y Southern Perú Copper Corporation en su unidad productiva de Toquepala.

Los mantenimientos correctivos por soldadura de los diferentes equipos tales como tolva de Camión Komatsu 830E, Titán, CAT 793C, cucharón y brazo de empuje de pala P&H2100, Zapata y Tumbler de Pala Bucyrus, se realizaron en Toquepala, el cual esta a una altura de 3400msnm, y una temperatura promedio durante el día de 15°C y de noche de 4°C, estos factores influyen de una manera directa en el comportamiento final de la soldadura.

Los mantenimientos correctivos se dan debido al gran deterioro que sufren dichos equipos por la gran abrasión del mineral que transportan, el peso que representa el acarreo y el impacto que sufren las estructuras al momento del llenado. Los equipos que tienen contacto directo con el mineral (tolva, cucharón) tienen planchas de revestimiento para proteger su estructura base , dichos revestimientos varían de

diferentes composiciones químicas de Aceros y sus aleaciones, temiendo los principales las planchas Chronit 500HBN, y 400HBN, las bimetálicas plancha estructural con soldadura dura de revestimiento, las pastillas de carburo de cromo y otros.

Los materiales bases usados son principalmente de Acero ASTM A514°B y es una mínima proporción ASTM A36. Como se observa se trabaja en estos casos con diferentes materiales y espesores es por ello la necesidad de conocer y ejecutar los procedimientos de soldadura para los diferentes componentes, así como la inspección de las uniones soldadas ya que estos van a tener una elevada exigencia mecánica.

La mala aplicación de los procedimientos, o la mala inspección hace que un equipo falle tempranamente, con su consecuente parada del equipo el cual como ya dijimos representa una elevado costo para la minera.

El programa de mantenimiento llevado a cabo en SPCC Toquepala comprende un mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo final, llevado a cabo mediante programaciones de cambio de tolva de volquetes y cucharones de palas entre otros.

## **CAPITULO II**

### **TEORIA DEL MANTENIMIENTO**

#### **2.1 MANTENIMIENTO**

Es un servicio que agrupa una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas e instalaciones.

##### **2.1.1 Objetivos del Mantenimiento**

Evitar, reducir, y en su caso, reparar, las fallas sobre los bienes precitados.

Disminuir la gravedad de las fallas que no se lleguen a evitar.

Evitar detenciones inútiles o para de máquinas.

Evitar accidentes.

Evitar incidentes y aumentar la seguridad para las personas.

Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.

Balancear el costo de mantenimiento con el correspondiente al lucro cesante.

Alcanzar o prolongar la vida útil de los bienes.

El mantenimiento adecuado, tiende a prolongar la vida útil de los bienes, a obtener un rendimiento aceptable de los mismos durante más tiempo y a reducir el número de fallas.

Decimos que algo falla cuando deja de brindarnos el servicio que debíamos o cuando aparecen efectos indeseables, según las especificaciones de diseño con las que fue construido o instalado el bien en cuestión.

## **2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

**Mantenimiento Correctivo**

**Mantenimiento Preventivo**

**Mantenimiento Predictivo**

**Mantenimiento Proactivo**

**Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad**

**TPM**

### **2.2.1 Mantenimiento Correctivo**

#### ***No Planificado:***

Corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan, y no planificadamente, al contrario del caso de Mantenimiento Preventivo. Esta forma de Mantenimiento impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc.

El ejemplo de este tipo de Mantenimiento Correctivo No Planificado es la habitual reparación urgente tras una avería que obligó a detener el equipo o máquina dañada.

***Planificado:***

El Mantenimiento Correctivo Planificado consiste la reparación de un equipo o máquina cuando se dispone del personal, repuesto, y documentos técnicos necesarios para efectuarlo, en nuestro caso trataremos este tipo de mantenimiento por las características de las mismas. Un componente de acarreo de mineral (tolva, cucharón, etc.) entra a un mantenimiento general o correctivo siempre y cuando se tenga otro equipo en stand by para poder ser sustituido por el equipo que va a entrar al mantenimiento.

## **2.2.2 Mantenimiento Preventivo**

Este tipo de mantenimiento surge de la necesidad de rebajar el correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la primera y segunda no se realizan, la tercera es inevitable.

### **2.2.2.1 Características:**

Básicamente consiste en programar revisiones de los equipos, apoyándose en el conocimiento de la máquina en base a la experiencia y los históricos obtenidos de las mismas. Se confecciona un plan de mantenimiento para cada máquina, donde se realizaran las acciones necesarias, cambio de planchas de desgaste dañadas, se sueldan refuerzos, desmontaje, limpieza, etc.

#### **2.2.2.2 Ventajas:**

Si se hace correctamente, exige un conocimiento de las máquinas y un tratamiento de los históricos que ayudará en gran medida a controlar la maquinaria e instalaciones.

El cuidado periódico conlleva un estudio óptimo de conservación con la que es indispensable una aplicación eficaz para contribuir a un correcto sistema de calidad y a la mejora de los continuos.

Reducción del correctivo representará una reducción de costos de producción y un aumento de la disponibilidad, esto posibilita una planificación de los trabajos del departamento de mantenimiento, así como una previsión de los recambios o medios necesarios.

Se concreta de mutuo acuerdo el mejor momento para realizar el paro de las instalaciones con producción.

#### **2.2.2.3 Desventajas:**

Representa una inversión inicial en infraestructura y mano de obra.

El desarrollo de planes de mantenimiento se debe realizar por técnicos especializados.

Si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad.

Los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo produce falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios de preventivo es indispensable para el éxito del plan.

### **2.2.3 Mantenimiento Predictivo**

Mantenimiento basado fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Estos controles pueden llevarse a cabo de forma periódica o continua, en función de tipos de equipo, sistema productivo, etc.

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

### **2.2.4 Organización para el Mantenimiento Predictivo.**

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

**Espesor de planchas de desgaste y base**

**Tamaño de las fisuras**

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas en intervalos periódicos hasta que el componente falle.

### **2.2.5 Metodología de las Inspecciones.**

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina o equipo, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. La finalidad del monitoreo es obtener una indicación de la condición (mecánica) o estado de salud del equipo, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

### **2.2.6 Técnicas aplicadas al Mantenimiento Predictivo.**

Existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento preventivo entre las cuales tenemos las siguientes aplicadas a nuestro tema de uniones soldadas, cabe recalcar que existen más técnicas para otras aplicaciones:

Análisis de vibraciones

Análisis por ultrasonidos:

Detección de imperfecciones internas en planchas.

Detección de fisuras e imperfecciones en soldadura

Detección de la medida del espesor en cada punto del material

Detección de imperfecciones del material

Medición de espesores

Análisis por líquidos penetrantes a uniones soldadas entre otras.

### **2.2.7 Ventajas del Mantenimiento Predictivo:**

Reduce los tiempos de parada.

Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.

Optimiza la gestión del personal de mantenimiento.

La verificación del estado de la maquinaria, tanto realizada de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico.

Conocer con exactitud el tiempo límite de actuación que no implique el desarrollo de un fallo imprevisto.

Toma de decisiones sobre la parada de una línea de máquinas en momentos críticos.

Confección de formas internas de funcionamiento o compra de nuevos equipos.

Permitir el conocimiento del historial de actuaciones, para ser utilizada por el mantenimiento correctivo.

Facilita el análisis de las averías.

Permite el análisis estadístico del sistema.

### **2.3 MANTENIMIENTO PROACTIVO**

En esta estrategia de mantenimiento se identifica y corrige las causas raíz de las fallas de la máquina. Se pretende maximizar su vida útil operativa.

Su aplicación se inició a principio de los años 90, es un tipo de mantenimiento que concierne a toda la empresa, se aplican los tres tipos de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo, además de que en cualquier actuación correctiva, se busca el porqué de la avería y cual son los medios que debemos aplicar para que no vuelva a suceder. A aplicar el mantenimiento proactivo, el preventivo ya no depende

del tiempo exclusivamente, sino que las actuaciones varían para conseguir optimizarlos, de tal forma que el mantenimiento sea un beneficio para su centro.

## **CAPITULO III**

### **PRINCIPIOS DE SOLDADURA**

**El soldeo es el proceso de unión por el que se establece la continuidad entre las partes a unir con o sin calentamiento, con o sin aplicación de presión y con o sin aportación de material.**

**Se denominará metal base al material que va a ser sometido a cualquier operación de soldeo o corte y metal de aportación al material que se aporta en cualquier operación o proceso de soldeo**

**Una soldadura puede ser homogénea o heterogénea. Como ejemplo de soldadura homogénea se puede citar la obtenida al realizar el soldeo de dos piezas de acero de composición similar sin utilizar metal de aporte, o utilizando un metal de aporte de la misma naturaleza que la de las piezas a unir. Como ejemplo de soldadura heterogénea, se puede citar la obtenida al realizar el soldeo de dos piezas de fundición utilizando como metal de aporte una aleación de níquel, o bien realizar el soldeo entre dos piezas de distinto material utilizando como aporte otro material diferente.**

### **3.1 CLASIFICACION DE LOS PROCESOS DE SOLDEO**

De acuerdo con la AWS, los diferentes métodos de unión de materiales, diferenciando los de soldeo en tres grandes grupos son:

- Soldeo por fusión.
- Soldeo en estado sólido.
- Soldeo fuerte y blando.

### **3.2 SOLDEO POR ARCO CON ELECTRODOS REVESTIDOS**

#### **3.2.1 Principios del Proceso**

El soldeo por arco con electrodo revestido es un proceso en el que la fusión del metal se produce gracias al calor generado por un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar.

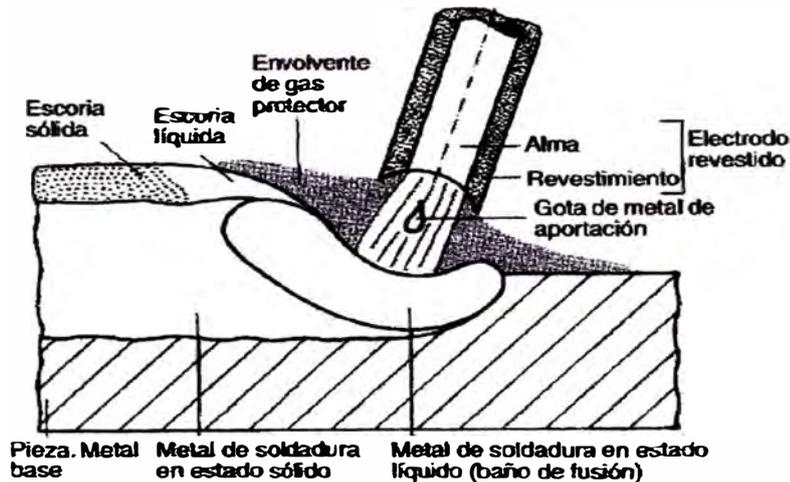
El material de aportación se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas, la protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente, solidifica.

Al soldeo por arco con electrodo revestido se le conoce por las siguientes denominaciones:

**SMAW, Shielded Metal- Arc Welding (ANSI / AWS A3.0)**

111, Soldeo metálico por arco con electrodo revestido ( UNE – EN ISO 4063)

MMAW Manual Metal-Arc Welding (Reino Unido).



**Fig.3.1 Descripción del proceso**

### 3.2.2 Ventajas y Limitaciones

#### 3.2.2.1 ventajas

El equipo es relativamente sencillo, no muy caro y portátil

El metal de aportación y los medios para su protección durante el soldeo proceden del propio electrodo revestido. No es necesaria protección adicional mediante gases auxiliares o fundentes granulares.

Es menos sensible al viento y a las corrientes de aire que los procesos por arco con protección gaseosa. No obstante el proceso debe emplearse siempre protegido del viento, lluvia y nieve.

Se puede emplearse en cualquier posición, en locales abiertos y cerrados, incluso con restricciones de espacio. No requiere conducciones de agua de refrigeración, ni tuberías o botellas de

gases de protección, por lo que puede emplearse en lugares relativamente alejados de la fuente de energía.

Es aplicable para una gran variedad de espesores, en general mayores de 2 mm.

Es aplicable a la mayoría de los metales y aleaciones de uso normal.

### **3.2.2.2 Limitaciones.**

Es un proceso lento por la baja tasa de deposición y por la necesidad de retirar la escoria, por lo que en determinadas aplicaciones a sido desplazada por otros procesos.

Requiere gran habilidad por parte del soldador.

No es aplicable a metales de bajo punto de fusión como plomo, estaño, zinc y sus aleaciones, debido a que el intenso calor del arco es excesivo para ellos. Tampoco es aplicable a metales de alta sensibilidad a la oxidación como el Titanio, Circonio, Tántalo y Niobio, ya que la protección que proporciona es insuficiente para evitar la contaminación por oxígeno de la soldadura.

No es aplicable a espesores inferiores a 1.5 – 2 mm

La tasa de deposición es inferior a la obtenida por los procesos que utilizan electrodo continuo, como FCAW o GMAW. Esto se debe a que el electrodo solo puede consumirse hasta una longitud mínima (unos 5 cm.), cuando se llega a dicha longitud el soldador tiene que retirar la colilla del electrodo no consumido e insertar un nuevo electrodo.

Aunque en teoría se puede soldar cualquier espesor por encima de 1.5mm, el proceso no resulta productivo para espesores mayores a

38mm. Para estos espesores resulta más adecuado los procesos SAW y FCAW.

### **3.2.3 Aplicaciones**

El soldeo por arco con electrodos revestidos es uno de los procesos con mayor utilización, especialmente en soldaduras de protección corta, trabajos de mantenimiento y reparación, así como en construcciones en campo.

La mayor parte de las aplicaciones de soldeo por arco con electrodos revestidos se dan con espesores comprendidos entre 3 y 38mm.

El proceso es aplicable a aceros al carbono, aceros aleados, inoxidables, fundiciones y metales no féreos como aluminio, cobre, níquel y sus alecciones.

### **3.2.4 Selección del Tipo de Corriente**

El soldeo por arco con electrodo revestido se puede realizar tanto con corriente alterna como con corriente continua, la elección dependerá del tipo de fuente de energía disponible, del electrodo a usar y del material base. En la tabla 3.1 se indica la corriente mas adecuada en función de una serie de parámetros.

PARÁMETROS	CORRIENTE CONTÍNUA	CORRIENTE ALTERNA
Soldeo a gran distancia de la fuente de energía.		Preferible
Soldeo con electrodos de pequeño diámetro que requieren bajas intensidades de soldeo	La operación resulta más fácil	Si no se actúa con gran precaución, se puede deteriorar el material debido a la dificultad de encendido de arco
Cebado del arco	Resulta más fácil	Más difícil en especial cuando se emplean electrodos de pequeño diámetro
Mantenimiento del arco	Más fácil por la mayor estabilidad	Más difícil, excepto cuando se emplean electrodos de gran rendimiento
Soplo magnético	Puede resultar un problema en el soldeo de materiales ferromagnéticos	No se presentan problemas
Posiciones de soldeo	Se prefiere en el soldeo en posiciones vertical y bajo techo porque deben utilizarse intensidades bajas	Si se utilizan los electrodos adecuados, se pueden realizar soldaduras en cualquier posición
Tipo de electrodo	Se puede emplear con cualquier tipo de electrodo	No se puede utilizar con todos los electrodos. El revestimiento debe contener sustancias que reestablezcan el arco
Espesor de la pieza	Se prefiere para espesores delgados	Se prefiere para espesores gruesos ya que se puede utilizar un electrodo de mayor diámetro y mayor intensidad, con lo que se consiguen mayores rendimientos
Salpicaduras	Poco frecuentes	Más frecuentes
Soldeo utilizando longitudes de arco pequeñas (importante en algún tipo de electrodos sobre todo los del tipo básico)	El soldeo resulta más fácil	
Polaridad	Posibilidad de elección de la polaridad en función del metal a soldar y electrodo a emplear	No hay polaridades

**Tabla 3.1** Comparación entre corriente continua y corriente alterna

### 3.2.5 Electrodo Revestido

El elemento fundamental de este proceso es el electrodo, que establece el arco, protege el baño de fusión y que al consumirse, produce la aportación

del material que unido al material fundido del metal base, va a constituir la soldadura.

Los electrodos revestidos están formados por:

Un alambre de sección circular uniforme, denominado alma, de composición normalmente similar a la del metal base

El revestimiento que es el cilindro que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan al electrodo.

Los electrodos tienen longitudes normalizadas de 150, 200, 250, 300, 350 y 450 mm, en función del diámetro del electrodo. Un extremo del alma esta sin cubrir de revestimiento, en una longitud de 20 a 30 mm, para la inserción del mismo en la pinza del portaelectrodo. Los diámetros de los electrodos también están normalizados, siendo los más comunes los de 1.6, 2, 2.5, 3.25, 4, 5, 6, 6.3, 8, 10, 12.5mm

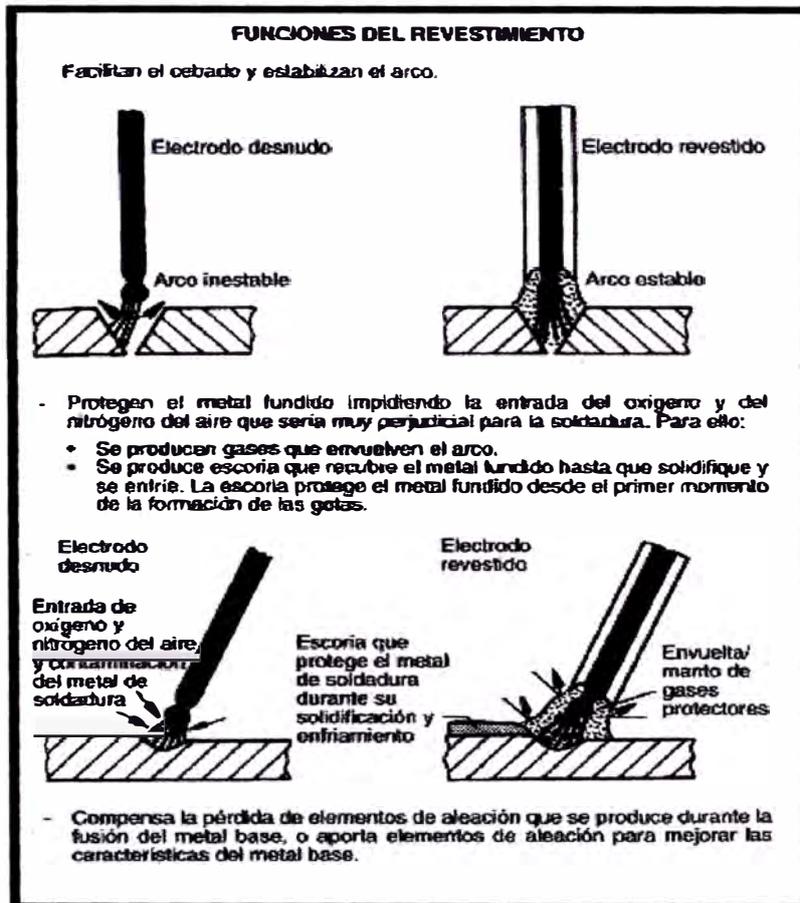


Fig. 3.2 Funciones del revestimiento del electrodo.

### 3.2.5.1 Tipos de Revestimiento.

Se indicarán primero los tipos de revestimiento que se pueden encontrar en los electrodos de acero al carbono, luego los revestimientos mas comunes en los aceros aleados y aleaciones no férricas.

#### 3.2.5.1.1 *Revestimiento de los electrodos de acero al carbono.*

El revestimiento se clasifica en función de su composición que determinará sus cualidades y aplicaciones, agrupándose y designándose como sigue:

(según UNE-EN 287-1)

#### **ELECTRODOS ÁCIDOS (A):**

- *Composición del revestimiento:* Óxidos de hierro y manganeso

- **Características de la escoria:** Bastante fluida, de aspecto poroso y abundante
- **Ventajas:** La velocidad de fusión es bastante elevada, así como la penetración, se puede usar con intensidades elevadas.
- **Limitaciones:** solo se puede utilizar con metales base con buena soldabilidad, contenidos muy bajos de azufre, fósforo y carbono, de lo contrario puede presentarse fisuración en caliente ya que los componentes del revestimiento no son capaces de extraer el azufre y el fósforo como puede hacerlo los revestimientos básicos.
- **Posición:** Especialmente indicados para posición plana, pero puede utilizarse también en otras posiciones.
- **Tipo de corriente:** C.C. y C.A.

#### **ELECTRODOS DE RUTILO (R)**

- **Composición del revestimiento:** Rutilo (óxidos de titanio)
- **Características de la escoria:** muy densa y viscosa
- **Ventajas:** Fácil cebado y manejo del arco. Fusión del electrodo suave. Cordón de soldadura muy regular y de buen aspecto.
- **Posición:** Todas, especialmente adecuado para soldar en posición vertical y sobrecabeza gracias a las características de sus escoria.
- **Aplicaciones:** Es el electrodo mas comúnmente utilizado
- **Tipo de corriente:** C.C. y C.A.

#### **ELECTRODOS DE RUTILO – ACIDO (RA)**

- **Composición del revestimiento:** óxidos de hierro o de manganeso y rutilo

- Sus propiedades son similares a los electrodos tipo ácido, aunque son mas manejables, por que mantienen mejor el arco debido a la presencia de oxido de titanio.

### ***ELECTRODOS BASICOS (B)***

- ***Composición del revestimiento:*** Carbonato cálcico y otros carbonatos también básico
- ***Características de la escoria:*** Es densa, no muy abundante, de color pardo oscuro y brillante, se separa fácilmente y asciende con facilidad por lo que se reduce el riesgo de inclusiones de escoria.
- ***Ventajas:*** Metal de soldadura muy resistente a la fisuración en caliente. Son de bajo contenidos de hidrógeno (el metal depositado tendrá bajo contenido en hidrógeno) lo que reduce el riesgo de fisuración en frío
- ***Limitaciones:*** Su manejo es algo dificultoso, debiéndose emplear con un arco muy corto y con intensidades poco altas.
- Son muy higroscópicos (absorben humedad con gran facilidad), por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservados en recintos adecuados para mantenerlos perfectamente secos. A veces se deben secar en estufas adecuadas justo antes de su empleo. Extremado las precauciones cuando vayan a ser utilizados en soldadura de aceros con problemas de temple.
- ***Aplicaciones:*** Soldaduras de responsabilidad, su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores y estructuras muy rígidas. Aceros débilmente aleados e incluso aceros que presentan baja soldabilidad.
- ***Posición:*** Todas las posiciones

- **Tipo de corriente:** Corriente continua y polaridad inversa, aunque hay algún tipo de electrodo preparado para ser empleado también con corriente alterna.

### ***ELECTRODOS CELULÓSICOS (C)***

- **Composición del revestimiento:** Sustancias orgánicas que generan gran cantidad de gases por el calor
- **Características de la escoria:** La escoria que producen es escasa y se separa con gran facilidad
- **Ventajas:** Los gases forman una envoltura gaseosa en torno al arco e imprimen a las gotas metálicas gran velocidad, por lo cual se consigue gran penetración. Gran velocidad de fusión.
- **Limitaciones:** Muchas proyecciones. Superficie de soldadura muy irregular
- **Posición:** Todas.
- **Aplicaciones:** Se recomienda principalmente para el soldeo de tuberías en vertical descendente, por la buena penetración que consiguen y por la rapidez del trabajo, debida a su alta velocidad de fusión.
- **Tipo de corriente:** Corriente continua y polaridad directa. Para utilizarlos con corriente alterna se necesita emplear una maquina con tensión de vacío muy elevada.

#### ***3.2.5.1.2 Revestimiento de los electrodos de aceros aleados y materiales no ferrosos***

Los revestimientos más comunes para los electrodos aleados (de baja, media o alta aleación) son del tipo básico y de rutilo, siendo el más frecuente los primeros. El revestimiento de los electrodos de aleaciones no

ferrosas suele depender en gran medida de la aleación en cuestión, aunque predominan los revestimientos de tipo básico.

#### **3.2.5.1.3 *Electrodos con polvo de hierro en el revestimiento***

Se puede introducir polvos de diferentes metales en el revestimiento para compensar la pérdida de elementos de aleación, que se produce durante la fusión del electrodo, o para aportar elementos de aleación y mejorar así las propiedades mecánicas del metal de soldadura.

Uno de los elementos que se agregan al revestimiento de los electrodos de acero (al carbono, de baja aleación, inoxidable y de alta aleación) es el polvo de hierro, aunque permite aumentar la cantidad de metal depositado y mejorar el comportamiento del arco.

### **3.2.6 Parámetros de Soldeo**

#### **3.2.6.1 Diámetro del Electrodo**

Se deberá seleccionar el mayor diámetro posible que asegure los requisitos de aporte térmico y que permita su fácil utilización, en función de la posición, el espesor del material y el tipo de unión, que son los parámetros de los que depende la selección del diámetro del electrodo, los de mayor diámetro se seleccionan para el soldeo de materiales de gran espesor y para el soldeo en posición plana.

En el soldeo en posición vertical o sobrecabeza, el baño de fusión tiende a caer por el efecto de la gravedad, este efecto es cuanto más notorio, y tanto más difícil de mantener el baño de fusión en su sitio, cuanto mayor es el volumen de éste. Asimismo con pasadas múltiples el cordón raíz conviene

efectuarlo con electrodo de pequeño diámetro, para conseguir el mayor acercamiento posible del arco al fondo de la unión y asegurar una buena penetración, se utilizan electrodos de mayor diámetro para completar la unión.

#### **3.2.6.2 Intensidad de soldeo.**

Cada electrodo, en función de su diámetro, posee un rango de intensidades en el que puede utilizarse, en ningún caso se debe utilizar intensidades por encima de ese rango ya que se producirán socavaciones, proyecciones, intensificación de los efectos de soplo magnético e incluso grietas.

#### **3.2.6.3 Longitud del arco**

La longitud del arco a utilizar depende del tipo de electrodo, su diámetro, la posición de soldeo y la intensidad. En general, debe ser igual al diámetro del electrodo, excepto cuando se emplee el electrodo de tipo básico, que deberá ser igual a la mitad de su diámetro. Es conveniente mantener siempre la misma longitud de arco, con el objeto de evitar oscilaciones en la tensión e intensidad de la corriente y con ello una penetración desigual.

#### **3.2.6.4 Velocidad de desplazamiento**

La velocidad de desplazamiento durante el soldeo debe ajustarse de tal forma que el arco adelante ligeramente al baño de fusión. Cuanto mayor es la velocidad de desplazamiento menor es la anchura del cordón, menor es el aporte térmico y más rápidamente se enfriará la soldadura. Si la velocidad es excesiva se producirán socavaciones, se dificulta la retirada de la escoria y se favorece el atrapamiento de gases (produciéndose poros).

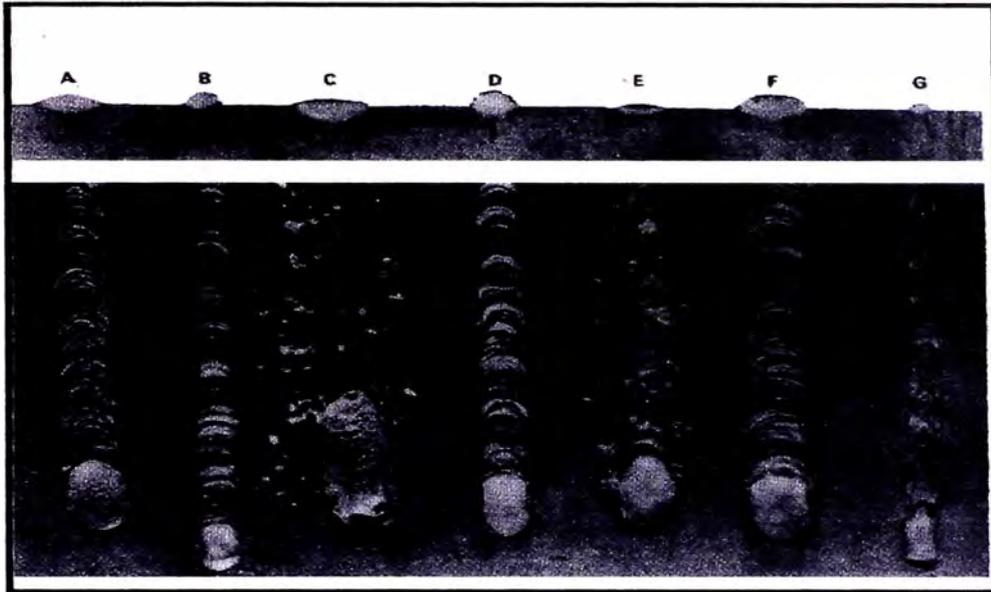


Fig. 3.3 Efecto del amperaje, longitud del arco y la velocidad de desplazamiento

- A: Amperaje, longitud de arco y velocidad de desplazamiento apropiadas
- B: Amperaje demasiado bajo
- C: Amperaje demasiado alto
- D: Longitud de arco demasiado corta
- E: longitud de arco demasiado larga
- F: velocidad de desplazamiento demasiado lenta
- G: velocidad de desplazamiento demasiado rápida

### 3.2.6.5 Orientación del Electrodo

En la Tabla 3.2 se relacionan las orientaciones típicas de los electrodos y las técnicas de soldeo.

Tipo de unión	Posición de soldeo	Angulo de trabajo	Ángulos de desplazamiento	Técnica de soldeo
Chaflán	Plana	90°	5°-10°	Hacia atrás
Chaflán	Horizontal	80°-100°	5°-10°	Hacia atrás
Chaflán	Ascendente	90°	5°-10°	Hacia adelante
Chaflán	Sobrecabeza	90°	5°-10°	Hacia atrás
Ángulo	Horizontal	45°	5°-10°	Hacia adelante
Ángulo	Ascendente	35°-55°	5°-10°	Hacia adelante
Ángulo	Sobrecabeza	30°-45°	5°-10°	Hacia atrás

Tabla 3.2 Orientación de los electrodos y técnicas de soldeo típicas en el soldeo SMAW con electrodos para aceros al carbono

### **3.3 INTRODUCCION AL SOLDEO POR ARCO CON PROTEGIDO CON GAS**

#### **3.3.1 Procesos de soldeo por arco que utilizan gas de protección**

Los procesos de soldeo por arco protegidos por gas más comunes son:

Soldeo TIG

Soldeo MIG/MAG

Soldeo por plasma

Proceso FCAW

La función primordial de los gases de protección es evitar que el metal a altas temperaturas, el baño de fusión y el electrodo se oxiden o contaminen con impurezas. Si el aire entra en contacto con el metal fundido, el oxígeno del aire reaccionará con el material produciendo óxidos, el nitrógeno puede causar porosidad y la humedad del aire puede también causar porosidad y provocar grietas.

#### **3.3.2 Gases de protección**

Se utilizan básicamente tres gases como protección durante el soldeo:

Argón

Helio

Dióxido de carbono

#### **3.3.3 Clasificación de los gases de protección**

Se clasifican en dos grandes grupos:

- a) *Gases Inertes*: Argón (Ar), Helio (He)
- b) *Gases Activos*: Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); Hidrógeno (H<sub>2</sub>) Oxígeno (O<sub>2</sub>); Nitrógeno (N<sub>2</sub>)

Una mezcla de gases es activa siempre que alguno de sus componentes lo sea y solo será inerte si todos los componentes lo son. Se denomina activo porque reacciona químicamente de alguna forma a la temperatura del arco, al contrario que los inertes que permanecen inalterables en cualquier circunstancia.

### **3.3.4 Propiedades de los gases**

#### **3.3.4.1 Energía de Ionización:**

Cuando se establece el arco eléctrico el gas circulante se ioniza, es decir se produce la separación, con carácter reversible, de los átomos o moléculas del gas en iones y electrones, se forma la columna de plasma.

Para conseguir estos fenómenos, ionización y disociación es necesario suministrar al gas una energía, denominada respectivamente de ionización y de disociación. En ambos casos esta energía la proporciona el propio arco eléctrico durante la operación de soldeo.

#### **3.3.4.2 Densidad:**

Cuanto mayor sea la densidad de un gas se requerirá menor caudal para obtener la misma protección, ya que cubrirá más fácilmente la zona de soldeo.

### 3.3.4.3 Conductividad térmica

La conductividad térmica es la facilidad para transmitir el calor. Cuanto mayor sea la conductividad térmica la distribución de temperaturas en el arco es más homogénea, dando lugar a cordones mas anchos y penetración más uniforme.

### 3.3.5 ARGÓN

*Eficiente protección debida a su alta densidad:* El argón es 1.4 veces más pesado que el aire, lo que significa que tiende a cubrir bien el área de soldadura en contraposición al helio que es mucho más ligero que el aire. Debido a ello se requiere un caudal de helio dos o tres veces superior al de arón para proporcionar al arco la misma protección.

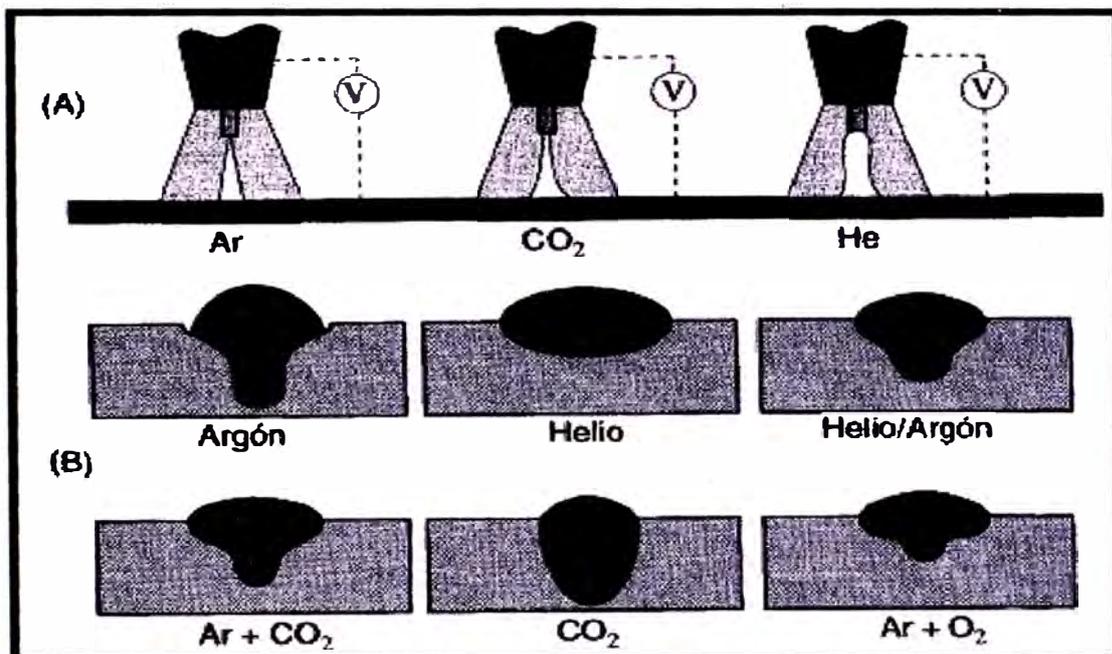
*Cebado fácil:* Es más fácil cebar el arco en arón que en helio, por la menor energía de ionización del argón.

*Buena estabilidad del Arco:* El argón posee una baja energía de ionización, lo que facilita el cebado y origina arcos estables con pocas proyecciones.

*Económico:* El arón es generalmente menos costoso que el helio, aunque mas caro que el dióxido de carbono

*Idóneo para pequeños espesores:* Al tener una energía de ionización reducida, necesita tensiones reducidas y produce, consecuentemente, arcos poco enérgicos, con aporte de calor reducido, resultando idóneo para el soldeo de piezas de pequeños espesores.

**Forma del cordón y penetración:** El argón tiene conductividad térmica más baja que el helio, por lo que el calor se concentra en la zona central del arco produciendo penetraciones de aspecto característico y similar al representado en la figura 3.4.



**Fig. 3.4 A:** Forma de la columna de plasma en función del gas de protección (soldeo MIG o MAG); **B:** forma del cordón en función del gas de protección (soldeo MIG o MAG)

### 3.3.6 DIÓXIDO DE CARBONO CO<sub>2</sub>

Es el único gas activo que puede utilizarse como protección, aunque únicamente se utiliza en el soldeo MAG o en el soldeo FCAW (tanto puro como mezclado).

Las ventajas más importantes del CO<sub>2</sub> son:

Bajo coste

Gran penetración

Alta velocidad de soldeo

Los inconvenientes son:

Se producen gran cantidad de salpicaduras.

No se puede conseguir transferencia "spray", únicamente se puede conseguir transferencia globular o en cortocircuito.

La superficie de los cordones queda ligeramente oxidada.

Normalmente se utiliza mezclado con argón para disminuir los inconvenientes del CO<sub>2</sub>.

## **3.4 SOLDEO CON ALAMBRE TUBULAR**

### **3.4.1 Principios del Proceso**

#### **3.4.1.1 Descripción y denominaciones**

En el proceso de soldeo por arco con electrodo tubular la soldadura se consigue con el calor de un arco eléctrico establecido entre un alambre-electrodo consumible continuo y la pieza que se suelda. La protección se obtiene del fundente contenido dentro de un alambre tubular pudiéndose ~~utilizar~~ con o sin gas de protección adicional.

Este proceso combina las características del soldeo con el electrodo revestido, el soldeo por arco sumergido y el soldeo MIG/MAG. La técnica de soldeo con alambre tubular se diferencia del soldeo MIG/MAG en el tipo de electrodo que, como su nombre indica, en este caso, es un alambre hueco y relleno de fundente el cual, al fundirse por la acción del arco eléctrico, deposita un metal fundido protegido con un a fina capa de escoria; podríamos decir que es como un electrodo revestido al revés. En el resto hay bastante similitudes con el proceso MIG/MAG.

Como se ha dicho, dentro del proceso hay dos variantes:

- **Autoprotegido (self – shielded o innershielded), que protege el baño de fusión gracias a la descomposición y vaporización del fundente.**
- **Con protección de gas (gas – shielded o outershielded). que suele ser CO<sub>2</sub> o mezcla de CO<sub>2</sub> y argón, que utilizan gas de protección además de la acción protectora del fundente.**

Con ambos métodos el electrodo forma una escoria que cubre y protege el metal de soldaduras hasta que solidifica y, en ambos casos, la protección del arco puede soportar el viento y los agentes atmosféricos en mayor medida que los procesos con protección gaseosa (TIG y MIG/MAG).

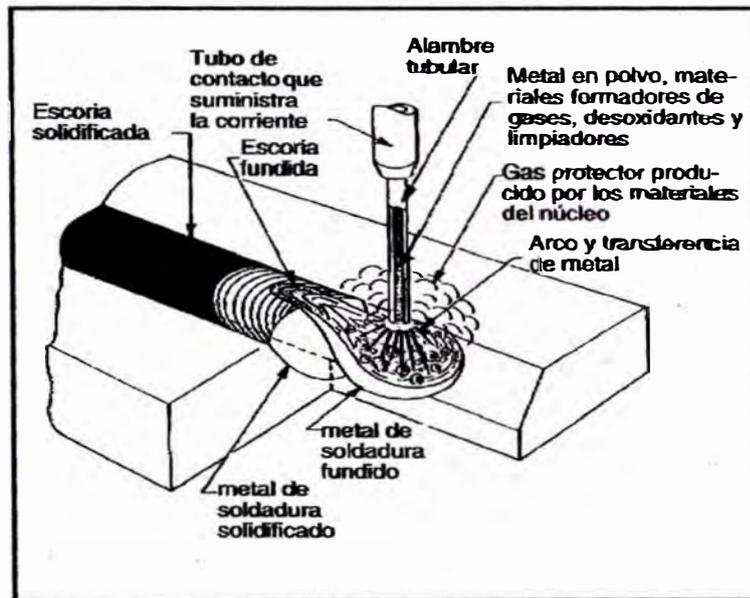
Es un proceso semiautomático, aunque también puede utilizarse en el soldeo mecanizado y automatizado.

El proceso de soldeo por arco con alambre tubular con protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres:

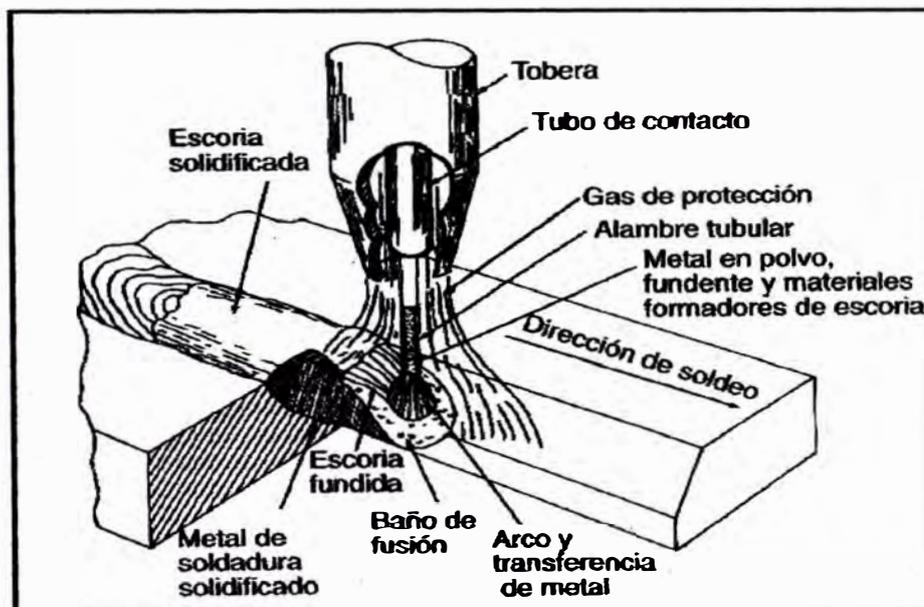
- **FCAW \_ G gas shield flux cored arc welding (ANSI/AWS A3.0)**
- **136, soldeo por arco con alambre con protección de gas activo (UNE \_ EN 4063).**
- **137, soldeo por arco con alambre tubular con protección de gas inerte (UNE – EN ISO 4063).**

El proceso de soldeo por arco con alambre tubular sin protección gaseosa se le conoce por los siguientes nombres:

- **FCAW – S, self – shielded flux cored tubular sin protección gaseosa ( UNE – EN ISO 4063).**



**Fig. 3.5** Proceso con alambre tubular autoprotegido



**Fig. 3.6** Proceso con alambre tubular con protección gaseosa

### 3.4.1.2 Aplicaciones. ventajas y limitaciones

Este proceso se utiliza para el soldeo de aceros al carbono, aceros de baja aleación, aceros inoxidables y fundiciones, también se suele utilizar para realizar recargues.

La elección de tipo de proceso (autoprotegido o protegido con gas) depende de las propiedades mecánicas deseadas, del tipo de alambre disponible y del tipo de unión; generalmente se utiliza el autoprotegido en las mismas aplicaciones en las que se elegiría el soldeo con electrodo revestido, mientras que el proceso protegido por gas se utiliza en aquellas aplicaciones en las que se seleccionan el proceso MIG/MAG.

Al igual que los electrodos revestidos, los alambres utilizados en este proceso de soldeo generan por si mismo el gas protector. Dicho gas se produce dentro del arco por lo que le afecta en menor medida las corrientes de aire, haciendo al proceso idóneo para utilizarlo en lugares en donde las condiciones climatológicas sean adversas.

Respecto al soldeo con electrodo revestido, este proceso tiene ventaja de su mayor productividad que se traduce en una reducción del coste de los productos.

La mayor desventaja respecto al soldeo con electrodo revestido es el mayor coste del equipo, que supone una mayor inversión inicial.

Otras características del proceso son:

- No se requiere tanta limpieza del metal base como en el soldeo MIG/MAG:
- Los electrodos tubulares son más caros que los macizos, excepto para algunos aceros de alta aleación.

- En la actualidad esta limitado al soldeo de todo tipo de aceros y aleaciones base níquel.

### **3.4.2 Equipo de Soldero**

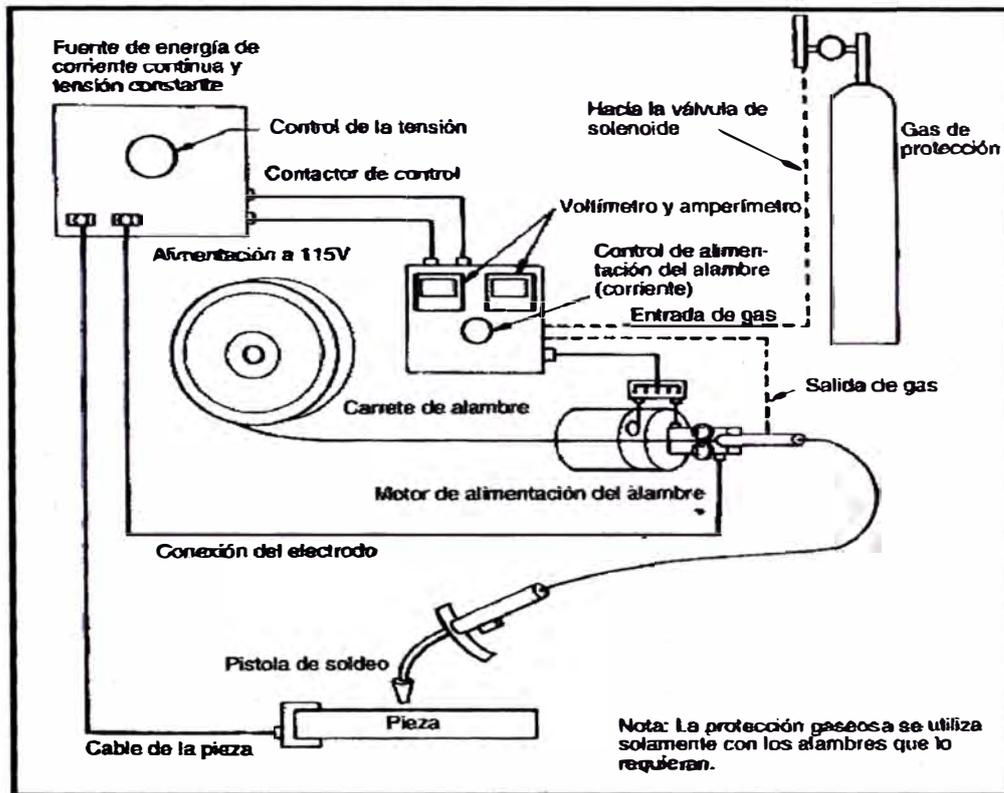
Para el soldero con alambre tubular se puede utilizar el equipo de soldero MIG/MAG ya que ambos son similares, como gran diferencia en el caso del soldero con alambre autoprotectido ~~destaca~~ la ausencia de gas de protección.

#### **3.4.2.1 Rodillos**

El proceso requiere el empleo de unos rodillos que no aplasten ni deformen al alambre tubular; la selección de los rodillos, por tanto, debe ser cuidados. Se preferirá los rodillos moleteados o con bisel en V en lugar de los clásicos lisos. Además es también imprescindible seleccionar el rodillo de acuerdo con la dimensión del alambre.

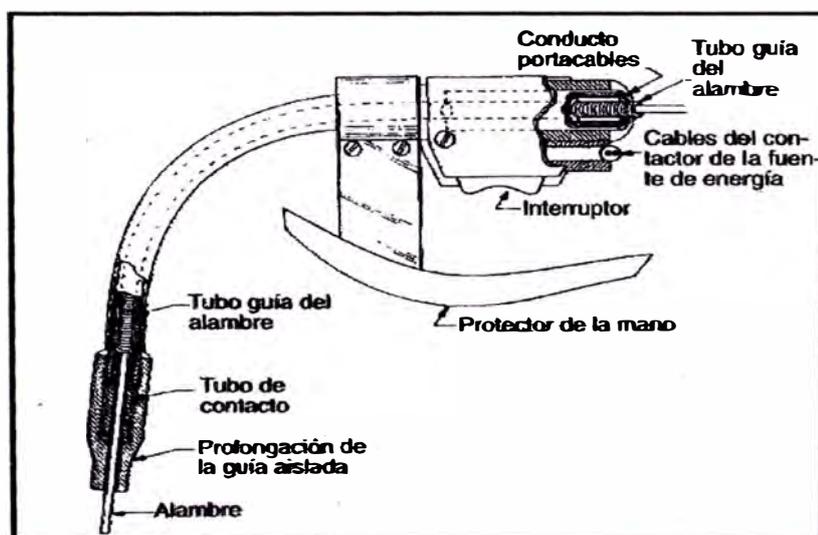
#### **3.4.2.2 Pistola**

La pistola para soldero por arco con alambre tubular es muy parecida a las empleadas para el soldero por arco con protección de gas.

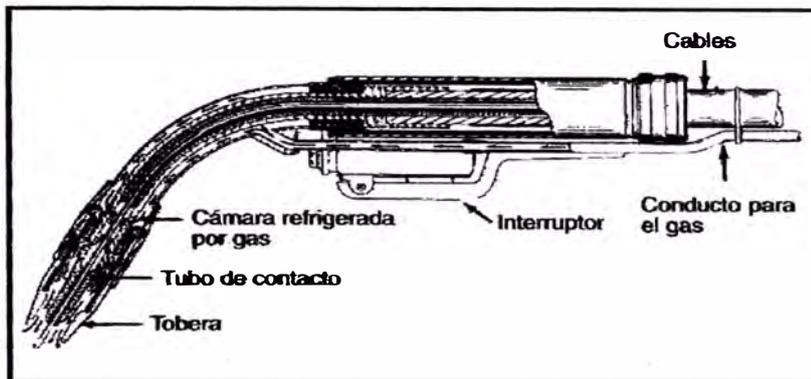


**Fig. 3.7** Equipo para el soldeo por arco con alambre tubular

En la figura 3.8 se representa una pistola para soldeo con alambre autoprotegido y en la figura 3.9 la pistola con protección.



**Fig. 3.8** Equipo para el soldeo por arco con alambre tubular



**Fig. 3.9** Equipo para el soldeo con protección de gas

### 3.4.3 Modos de Transferencia

La transferencia de metal de aporte en el proceso con alambre tubular es una combinación de la transferencia en el proceso con alambre tubular es una combinación de la transferencia en el proceso MIG/MAG y la transferencia en el proceso de soldeo con electrodo revestido.

En cualquier caso la transferencia de metal es el soldeo con alambre tubular se puede realizar de forma globular, spray, cortocircuito o por arco pulsado. El tipo de transferencia depende del tipo de fundente, de gas de protección, cuando se utiliza, y de la intensidad y tensión de soldeo. No obstante el tipo de transferencia suele ser de tipo spray.

### 3.4.4 Alambres Tubulares

Los alambres tubulares son electrodos continuos similares a los empleados en soldadura MIG/MAG, con la diferencia de que son huecos y en su interior contienen un fundente que tiene funciones similares a las del revestimiento de los electrodos revestidos. La cantidad de fundente varía de un 15 a un 35% en peso.

#### **3.4.4.1 Protección contra la humedad**

La mayoría de los alambres tubulares tienen tendencia a absorber la humedad ambiental. Un alambre húmedo favorecerá la formación de poros. Se recomienda guardar las bobinas en su paquete durante la noche y mientras no se utilicen.

Los paquetes una vez abiertos deben mantenerse en lugares secos y cálidos. Es importante no almacenar los paquetes en un suelo frío o cerca de paredes frías. El almacén deberá mantener una temperatura de 15 – 30°C y una humedad inferior al 55%. El alambre no deberá mantenerse sin protección durante más de 24 horas si la humedad es superior a 55%.

#### **3.4.5 Gases de Protección**

Los gases utilizados en el soldeo con alambre tubular protegido por gas de cualquier material son:

- CO<sub>2</sub>
- Mezclas CO<sub>2</sub>+ Argón (generalmente 25% CO<sub>2</sub>)
- Argón + 2% Oxígeno.

El caudal de gas recomendado es de 15 a 25 l/mim, dependiendo del tipo de gas, tamaño de pistola y aplicación. El soldeo en chaflanes más estrechos requiere menos caudal de gas que con preparación de bordes más abiertos. El soldeo en vertical ascendente puede dar algunas pérdidas de gas por efecto chimenea, requiriendo mayor caudal de gas además de otras precauciones.

### **3.4.6 Control de Procesos**

La regulación de los parámetros para el soldeo con alambre tubular puede resultar difícil, por la gran relación existente entre ellos.

#### **3.4.6.1 Extensión libre del alambre**

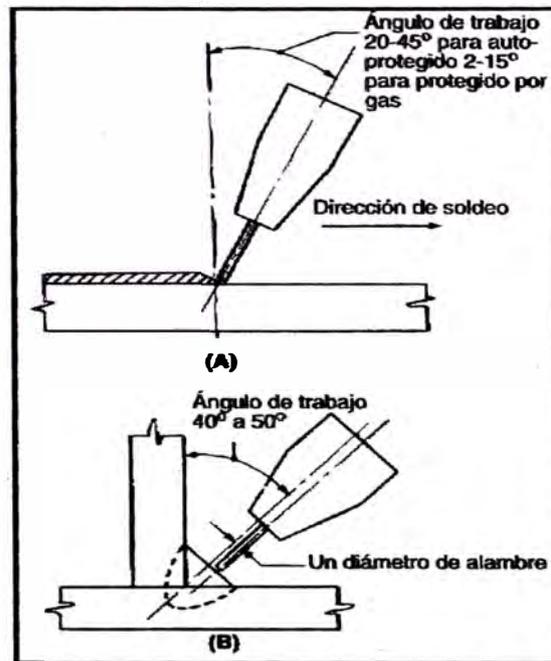
La mayoría de los fabricantes recomiendan longitudes de 20 a 40 mm para la extensión libre del alambre en las aplicaciones con protección gaseosa y una extensión de 20 a 95 mm para el soldeo autoprotegido.

#### **3.4.6.2 Angulo de inclinación de la pistola**

Se deben seleccionar los ángulos con sumo cuidado. Para el soldeo autoprotegido el Angulo de desplazamiento (ver Fig. 3.10) debe ser el mismo que el utilizado en el soldeo con electrodos revestidos. Para las posiciones horizontales y plana el ángulo de trabajo será de 20° a 45° (Fig. 3.10A), se utilizan mayores ángulos para los espesores delgados. A medida que aumenta el espesor de la pieza el ángulo de desplazamiento debe disminuir (poner la pistola mas vertical) para aumentar la penetración para el soldeo en vertical ascendente el ángulo será de 5° a 15°

En el soldeo protegido con gas se utilizan ángulos de 2° a 15° y no más de 25°, ya que si el ángulo de desplazamiento es muy grande se pierde la efectividad de protección gaseosa.

La figura 3.10 B muestra la desviación del electrodo con respecto al centro de la unión para aminorar el efecto explicado. Para el soldeo en vertical ascendente se puede utilizar un ángulo de trabajo más pequeño.



**Fig. 3.10** Posición del alambre

## 3.5 PROCESOS DE CORTE

### 3.5.1 Clasificación y Definición de los Procesos de Corte y Resanado

Resanado es la eliminación de material por fusión, o quemado, para retirar defectos existentes, facilitar la consecución de soldaduras sanas o conseguir un bisel o chafán.

El corte de materiales se puede realizar mediante:

- Herramientas mecánicas (sierras, cizalladoras, amoladores, etc.)
- Corte térmico.
- Chorro de agua.

El corte térmico es un grupo de procesos que separan o retiran el metal mediante su vaporización, fusión o combustión localizada.

Se pueden dividir en corte por oxígeno u oxicorte, corte por arco y otros tipos de corte.

En la tabla 3.3 se indican los materiales que se pueden cortar y sus espesores con los diferentes procesos de corte, también se comparan la velocidad de los diferentes procesos de corte.

<b>PROCESO</b>	<b>ESPESOR DE PLANCHA (mm)</b>	<b>MATERIAL</b>
Oxicorte	21-2000	Acero al carbono y de baja aleación + titanio
Corte con plasma	2- 150	Acero al carbono + acero aleados (p.e. acero inoxidable)
	0,8-200	Aluminio
	0,8-50	Cobre
Arco-Aire		Todos los metales
Chorro de agua		Metales y no metales
	Hasta 190	Aceros al Carbono
	Hasta 75	Aluminio
	Hasta 65	Plástico
	Hasta 250	Titanio
Láser	0,1 - 25	Acero al carbono
		Todos los materiales (metales y no metales)
Recortadora	1 - 8	Acero sin alear + acero de baja aleación
Punzonado	0,1 - 6	Acero sin alear y baja aleación
Cizalladora	1 - 25	Todos los metales

**Tabla 3.3 Procesos de corte**

## **3.5.2 Corte y Resanado con gas combustible**

### **3.5.2.1 Fundamentos del proceso**

El proceso de corte con gas combustible se basa en la combustión o quemado de un metal en presencia de oxígeno.

El acero no es un material combustible en condiciones atmosféricas normales. Sin embargo, si se calienta el acero a temperaturas de 900°C (temperatura de ignición) y se pone en atmósfera de oxígeno puro la reacción es totalmente distinta, en estas condiciones podemos referirnos a la combustión del acero de la misma manera que la de otras muchas materias.

No todos los metales pueden cortarse con gas combustible, las condiciones para que un material se pueda oxycortar son:

- A. El metal, una vez calentado, debe quemarse en oxígeno puro y producir una escoria fluida que pueda ser desalojada fácilmente, de la hendidura del corte, por el chorro de oxígeno.
- B.. La temperatura de inflamación del metal (temperatura a la que comienza la combustión) debe ser inferior a su punto de fusión, pues de no ser así el metal se fundirá y el caldo fundido obstruirá la perforación del corte.
- C. La capa de óxido existente en el metal ha de tener una temperatura de fusión inferior a la temperatura de fusión del metal.
- D. La escoria y óxidos producidos durante el proceso deben tener baja densidad y una temperatura de fusión inferior a la del metal, con el fin de que no obstruyan el corte.

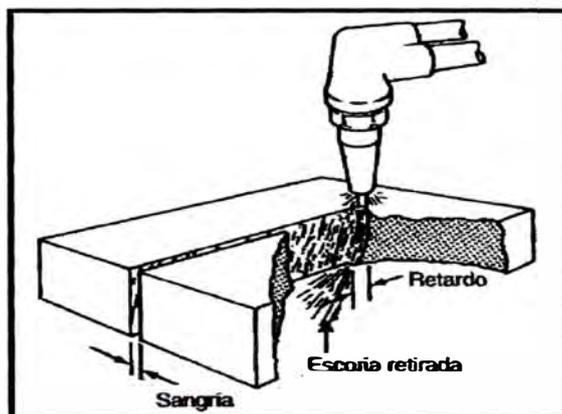
E. La conductividad térmica del metal no debe ser muy elevada.

Las anteriores condiciones sólo las cumplen el hierro, el acero al carbono y el acero de baja aleación.

### 3.5.2.2 Equipo de oxicorte

Está compuesto por:

- Oxígeno.
- Gas combustible.
- Reguladores de presión.
- Mangueras.
- Soplete.
- Boquillas.
- Equipo accesorio (mechero y limpiadores para las boquillas).
- Ropa y equipos de seguridad personal adecuado



**Fig. 3.11: El oxígeno de corte quema el metal precalentado y retira la escoria formada, dejando un canal denominado "sangría"**

#### **3.5.2.2.1 Oxígeno**

El oxígeno de alta pureza (mínimo 99,5%) se suministra desde botellas individuales. La pureza del oxígeno tiene gran importancia por su influencia en la velocidad de corte. Si el oxígeno fuese de una pureza del 98,5%, en lugar del 99,5%, la velocidad de corte disminuiría en un 25%.

#### **3.5.2.2.2 Gas combustible**

Los gases combustibles que más se utilizan son el gas natural, el hidrógeno, el propileno, el propano y el acetileno. Las características de la llama de precalentamiento dependen del combustible utilizado, aunque el acetileno resulta más caro que los demás gases proporciona una velocidad de corte mucho mayor, por lo que es el acetileno el gas más utilizado.

#### **3.5.2.2.3 Reguladores de presión**

El regulador o manorreductor es un aparato para reducir la presión de los gases al valor adecuado al espesor a cortar, que se conecta por roscado a cada botella o a la red.

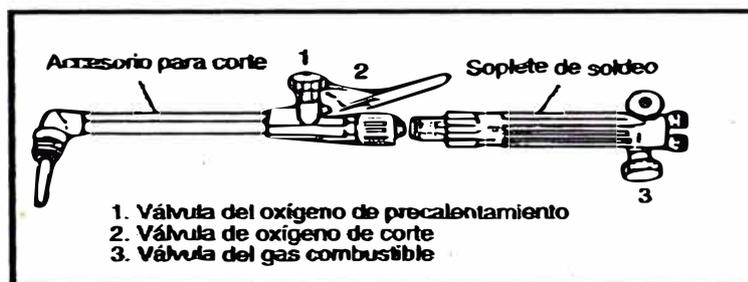
#### **3.5.2.2.4 mangueras**

Sólo se deberán utilizar mangueras especialmente diseñadas para oxicorte, las mas comúnmente en el mercado son las mangueras mellizas de 3/8"

#### **3.5.2.2.5 Soplete**

Está formado por una empuñadura estriada provista de llaves para oxígeno y gas de precalentamiento y una palanca para el oxígeno de corte.

El gas de precalentamiento y el oxígeno se conducen desde los acoplamientos de las mangueras situados en el cuerpo del soporte a través de tres tubos, dos de los cuales conducen el gas combustible y el oxígeno para realizar la mezcla de la llama de precalentamiento. El tercer tubo conduce directamente el oxígeno de corte desde el acoplamiento de la empuñadura hasta el orificio central de la boquilla.

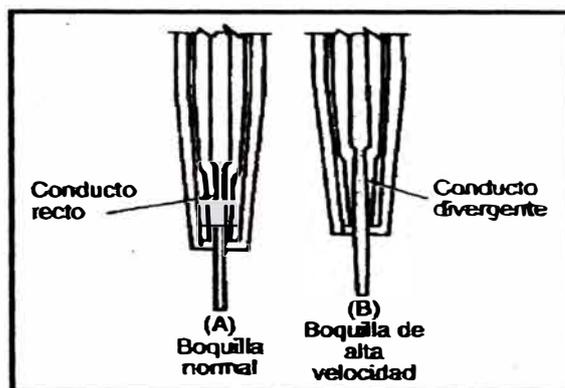


**FIG. 3.12 : Soplete manual compuesto**

### 3.5.2.2.6 boquillas

Suelen poseer varios conductos para la llama de precalentamiento dispuestos en círculo rodeando el orificio del oxígeno.

Las boquillas normales tienen un conducto recto para el oxígeno mientras que las boquillas de alta velocidad difieren en la forma de este orificio.



**FIG 3.13.** Tipos de boquilla para oxicorte

La forma del orificio del oxígeno no depende del tipo de combustible, sin embargo el diseño y número de orificios del gas combustible sí depende del tipo de gas combustible, ya que la cantidad de oxígeno varía con el tipo de gas. Se deberá utilizar siempre una boquilla diseñada para el gas combustible que sea utilizado

### 3.5.2.3 Procedimiento de corte

En los sopletes normales se suele abrir primero la válvula de acetileno, se enciende y luego se abre la válvula del oxígeno de precalentamiento hasta obtener la llama adecuada. En los sopletes de baja presión con tobera o inyector para la mezcla, se abre la válvula del acetileno y la del oxígeno ligeramente, se enciende la mezcla y luego se ajusta la llama con la válvula del oxígeno. También se puede utilizar esta técnica con los sopletes normales.

Siempre se deben seguir las instrucciones del fabricante y utilizar encendedor de chispas (chispero). Después de apagar la llama, cerrando las válvulas de acetileno y oxígeno y cerrando las válvulas de los cilindros, se

debe abrir la válvula del acetileno para dejar salir el gas encerrado en el soplete y las mangueras, cerrar la válvula y repetir la operación con el oxígeno. Ajustar la llama de precalentamiento es muy importante, ésta puede ser oxidante, reductora o neutra, la oxidante se puede utilizar para acelerar el proceso a costa de disminuir un poco la calidad, la llama reductora se suele utilizar cuando se desea un buen acabado y para corte de piezas apiladas de bajo espesor. La llama neutra, es la más usual.

Para empezar el corte se pueden emplear varios métodos:

Se puede situar la mitad de la llama de precalentamiento con el cono entre 1,5 y 3 mm sobre la superficie del material, cuando el extremo tome un color rojizo se deja salir el oxígeno de corte empezando así el proceso.

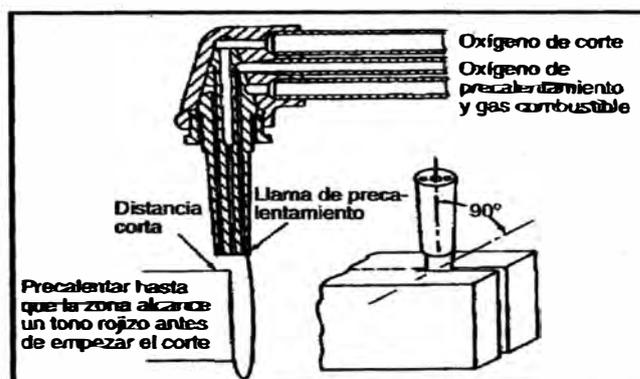


FIG. 3.14: Método para empezar el corte

#### 3.5.2.4 Recomendaciones para conseguir un corte de calidad

Seleccionar el tamaño de la boquilla en función del espesor de la pieza que se desea cortar.

Elegir la presión de oxígeno recomendada para dicha boquilla.

Empezar a cortar con una velocidad no muy alta.

Incrementar la velocidad hasta conseguir la mejor combinación entre rapidez de trabajo y calidad. Se puede reconocer un corte de calidad por el ruido y por la no existencia de escoria en el corte.

No se deberá seleccionar una presión ni una boquilla mayor que las recomendadas. Tampoco seleccionar una presión más baja. El corte eficaz se basa en seleccionar la presión y boquilla justas y una velocidad de 25 a 75 mm/min menor que el máximo recomendado.

### **3.5.3 Arco-aire**

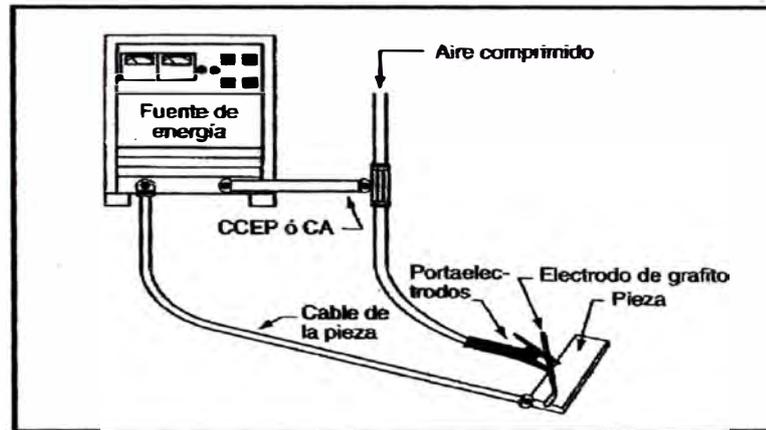
Se trata de un proceso de eliminación de material que utiliza simultáneamente aire comprimido y el calor producido por un arco eléctrico que se establece entre un electrodo de carbón y la pieza metálica que se quiere cortar.

El aire comprimido, dirigido paralelamente al electrodo, expulsa el metal fundido que se ha originado por la acción del arco eléctrico consiguiéndose de esta manera el corte. El proceso arco-aire puede ser utilizado con todos los metales y aleaciones, tales como los aceros ordinarios, los aceros inoxidable, las fundiciones, el cobre, etc. tanto de forma manual como automatizada.

En la operación de arco-aire se introduce carbono en el metal base, por lo que cuando se utilice este proceso en los aceros inoxidable se deberán esmerilar los bordes cortados para eliminar la capa carburada que se obtiene tras su aplicación.

### 3.5.4 Equipo para arco-aire

En el proceso arco-aire se emplean los siguientes elementos: compresor de aire, fuente de energía, portaelectrodo y electrodo.



**FIG. 3.15: Equipo del proceso arco-aire**

#### 3.5.4.1 Equipo de aire comprimido

Se utilizará un compresor para el suministro del aire comprimido. Con los portaelectrodos normalmente empleados, se recomienda una presión de trabajo del aire comprimido de  $6 \text{ Kg/cm}^2$ . Si esta presión baja, a menos de  $5 \text{ Kg/cm}^2$ , el funcionamiento no es correcto.

El caudal de aire varía, en función del tipo de portaelectrodos empleado, entre 700 a 1000 litros/minuto.

#### 3.5.4.2 Fuente de energía

Normalmente se utilizará corriente continua polaridad inversa (electrodo conectado al positivo), puede utilizarse corriente alterna pero el proceso será menos eficaz.

Se recomiendan las fuentes de corriente continua de intensidad constante. La fuente deberá poseer una tensión de vacío de al menos 60 Voltios.

#### **3.5.4.3 Portaelectrodo**

El útil principal del proceso arco-aire lo constituye su portaelectrodo especial; de aspecto exterior muy parecido al portaelectrodo utilizado en el soldeo por arco con electrodos revestidos.

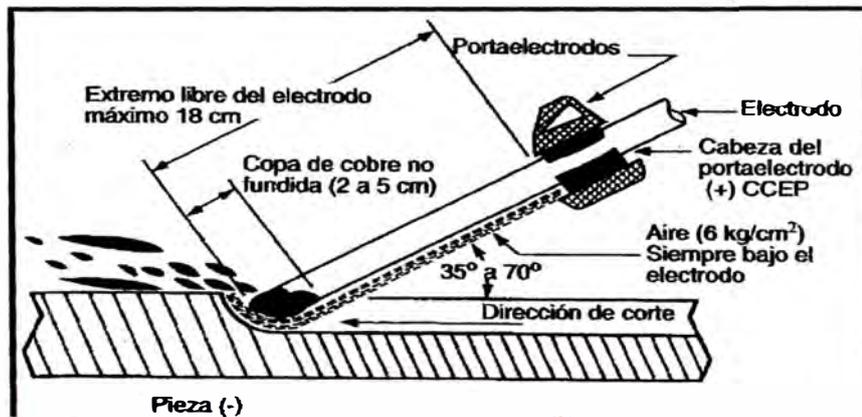
El portaelectrodo está alimentado por corriente eléctrica procedente de la fuente de energía a través de un cable y por el aire comprimido a través de una manguera. El chorro de aire sale paralelamente al electrodo por unos orificios que se encuentran en el cabezal, formando parte de una plaquita giratoria que permite orientar el electrodo y, a la vez, que el chorro de aire salga paralelo a éste por su parte inferior. En el mango tienen un botón para regular la válvula de salida de aire.

#### **3.5.4.4 Electrodos**

Los electrodos son de grafito, recubiertos de una fina capa de cobre. La capa de cobre facilita el paso de la corriente eléctrica además de evitar la erosión del electrodo que se originaría por el chorro de aire.

El electrodo podrá moverse de derecha a izquierda o viceversa, pero siempre el aire deberá circular por debajo del electrodo y paralelo a él, además siempre se deberá posicionar hacia adelante. El ángulo de inclinación dependerá de la profundidad que se desee obtener, cuanto

mayor sea el ángulo de inclinación respecto a la pieza mayor será la profundidad del corte o surco.



**FIG. 3.16: Electrodo para arco-aire.**

## 3.6 METALURGIA DE LA SOLDADURA

### 3.6.1 Importancia del Ciclo Térmico

Los metales y aleaciones que son expuestos al calor, sufren cambios o transformaciones microestructurales en su estado sólido. Estos cambios microestructurales provocan, a su vez, cambios en las propiedades mecánicas y pueden afectar el comportamiento mecánico en servicio de una estructura o componente mecánico.

La permanencia a determinadas temperaturas y sus enfriamientos posteriores pueden alterar la microestructura de los aceros. Estos conocimientos nos permiten controlar los calentamientos y enfriamientos para transformar el acero a según nuestra conveniencia y conferirle las propiedades mecánicas que nosotros deseamos. Es así que nacen los tratamientos térmicos.

Sin embargo, existen circunstancias en las cuales ese calentamiento y enfriamiento del metal no se realiza con la intención expresa de mejorar sus propiedades mecánicas, sino que es una consecuencia inevitable de algún otro proceso involucrado.

El proceso de soldadura involucra necesariamente aporte de calor para unir dos partes entre sí. El aporte de calor es muy importante no sólo porque permite que se lleve a cabo la unión, sino porque afecta su microestructura y ésta, a su vez, sus propiedades mecánicas. Además provoca variaciones dimensionales y puede generar tensiones residuales que afecten a integridad estructural de los componentes soldados. Entonces, cuando calentamos y enfriamos un metal o aleación para mejorar sus propiedades, estamos hablando de un tratamiento térmico.

En cambio, cuando el metal es sometido a calentamientos y enfriamientos como consecuencia de la soldadura, este suceso o evento recibe el nombre de ciclo térmico. El ciclo térmico es un evento inevitable en la soldadura por fusión, pero puede ser controlado a fin de lograr los mejores resultados durante la soldadura.

El ciclo térmico está representado básicamente por:

- La distribución de la temperatura máxima en la Zona Afectada por el Calor (ZAC)
- La velocidad de enfriamiento en el metal fundido y en la ZAC
- La velocidad de solidificación del metal fundido

### 3.6.2 Distribución de la Temperatura

Si el calor aportado por la soldadura no fluyera a través de la pieza a soldar, todo el calor se concentraría solamente en la zona a fundir. De esta manera, sólo una zona estrecha en el material alcanzaría la temperatura de fusión, mientras que el resto del metal permanecería a la temperatura ambiente. Sin embargo, la realidad es otra; pues los metales son buenos conductores del calor, distribuyéndolo a lo largo de la pieza.

Estas curvas reales de distribución de temperaturas son muy importantes, pues nos permiten conocer en un momento determinado cuál es la temperatura en diferentes puntos de la pieza que está siendo soldada. Si conocemos la temperatura en cada punto, podremos predecir qué zonas del metal se verán afectadas microestructuralmente e incluso podremos estimar el grado de distorsión a la que estaría sometida la unión como consecuencia del calor de soldadura.

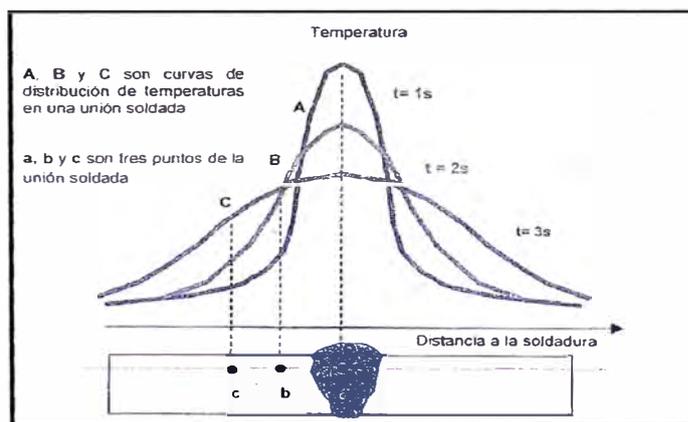
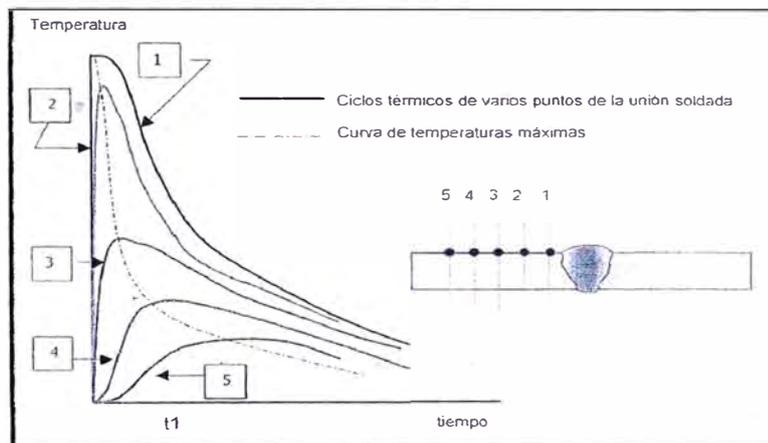


Fig. 3.17 Distribución de la temperatura de una sección a lo largo del eje x. Las curvas representan momentos diferentes durante la soldadura

El ciclo térmico representa la historia térmica de un punto cualquiera del metal y, por ello, tiene una influencia notable en la microestructura final de dicho metal y en sus propiedades mecánicas.

### 3.6.3 Gradiente de Temperatura

Llamamos gradiente de temperatura o gradiente térmico a la diferencia de temperatura que existe entre dos puntos separados entre sí una determinada distancia. El gradiente de temperatura determina la velocidad del flujo de calor entre ambos puntos. Es decir, cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas que existe entre esos puntos (mayor gradiente térmico), tanto mayor será la velocidad de enfriamiento o de calentamiento entre ellos.



**Fig. 3.18 Ciclo térmico de diferentes puntos de una unión soldada, donde se indica el gradiente térmico entre dos puntos**

El ciclo térmico nos brinda, como información, toda la historia térmica del metal en un punto o en una región determinada de la unión soldada. A través de él, podemos conocer la temperatura máxima alcanzada y la velocidad de enfriamiento en todo momento.

### 3.6.4 El Ciclo Térmico

El metal adyacente a una soldadura está expuesto a ciclos térmicos rápidos, produciéndose en esta región diferentes y complejos cambios metalúrgicos. Teóricamente, si pudiésemos conocer con precisión tanto los ciclos térmicos

implicados en un proceso de soldadura como la respuesta del metal o aleación a dichos ciclos térmicos, podríamos predecir los cambios resultantes en la microestructura y en las propiedades mecánicas y, de esta manera, resolver una serie de problemas de soldabilidad que se presentan en la práctica.

### 3.6.4.1 Factores que influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura por arco

#### a) Aporte de calor (Heat input)

El aporte de calor es la energía que se genera durante la soldadura. Puede ser de origen químico, eléctrico (procesos de arco eléctrico) o mecánico (soldadura por explosión o por fricción).

El aporte de calor se expresa normalmente en términos de Joules por milímetro (o Joules/cm) de soldadura y se define como:

$$H(J/mm) = \frac{V(v) \times I(A)}{v(mm/s)}$$

Esta energía o aporte de calor neto viene condicionada por la eficiencia del proceso de soldadura empleado (y, en menor parte, por la posición de soldadura).

Proceso	Eficiencia
Oxiacetilénico	35%
GTAW (TIG)	20-50%
GMAW (MIG)	70-85%
SMAW	70-80%
FCAW	65-85%
SAW	90-99%

**Tabla 3.4** Eficiencia térmica de diferentes procesos de soldadura

Así, el calor de aporte neto viene expresado por la siguiente ecuación:

$$H(J/mm) = \frac{V(v) \times I(A)}{v(mm/s)} \times f$$

Donde  $f$  es la eficiencia térmica del proceso de soldadura y puede ser estimada a partir de la tabla 3.4.

El aporte de calor es el parámetro más importante que condiciona las propiedades mecánicas de la unión soldada dependientes de la microestructura del material,

*b) Temperatura inicial de la chapa (o de precalentamiento)*

*c) Geometría de la soldadura*

Incluye el espesor de la pieza, la forma y dimensión del depósito de soldadura y el ángulo entre las piezas a unir.

*d) Propiedades térmicas del material*

La velocidad con que el calor fluye a través de un cuerpo para un gradiente de temperatura determinado es directamente proporcional a la conductividad térmica e inversamente proporcional al producto de la densidad por el calor específico. Por lo tanto, el término difusividad térmica, empleado para describir las características térmicas de un material, se define como sigue:

$$k = \frac{K}{\sigma \times C}$$

$K$  = conductividad térmica (cal/s/cm°C)

$S$  = densidad (g/cm<sup>3</sup>)

$C$  = calor específico (cal/g°C)

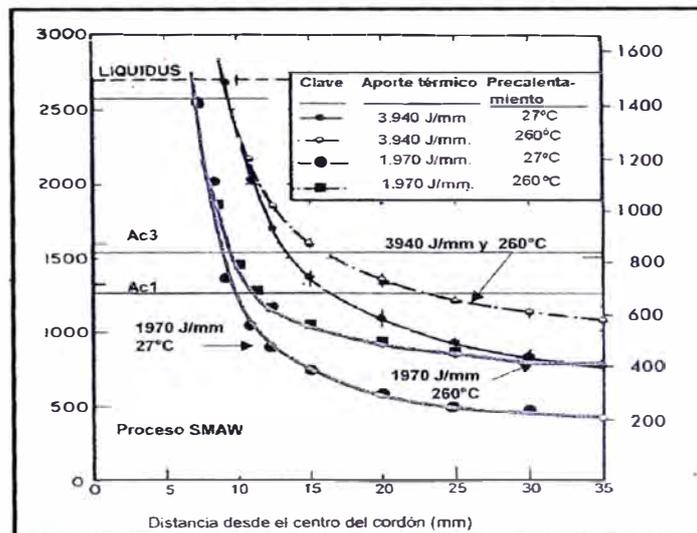
$k$  = difusividad térmica (cm<sup>2</sup>/s)

### e) Diámetro del electrodo

Este factor es de importancia secundaria, pero influye en el tamaño efectivo de la fuente de calor.

#### 3.6.4.2 Efectos del aporte de calor (heat input) y de la temperatura de precalentamiento

Analicemos las curvas que se muestran en la figura 3.19. Las dos curvas superiores comparan la distribución de las temperaturas máximas producidas por un aporte térmico 3940 Joules/mm con temperaturas de precalentamiento de 27°C y de 260°C. Por su parte, las dos curvas inferiores presentan datos similares para un valor del aporte térmico de 1970 Joules/mm, que es la mitad del aporte térmico anterior.



**Fig. 3.19** Efecto del aporte térmico y de la temperatura de precalentamiento sobre la distribución de la temperatura máxima en la soldadura de un acero de 12,5 mm

1. Disminuyendo el aporte térmico o la temperatura de precalentamiento, se obtiene una distribución de temperaturas máximas en la zona afectada por el calor (ZAC) con mayor pendiente. Esto significa que con

menor aporte térmico o con menor temperatura de precalentamiento, se obtiene una mayor velocidad de enfriamiento.

2. Aumentando el aporte de calor, se produce un significativo aumento en la distancia desde el centro del cordón al punto que experimenta una determinada temperatura máxima para cualquier valor de la temperatura máxima. Esto significa que conforme aumenta el calor de aporte, se ensancha la zona afectada por el calor.
3. Aumentando la temperatura de precalentamiento, aumenta la zona afectada por el calor (ZAC). Por ejemplo, para las cuatro curvas mostradas en la figura 3.19, comparemos las distancias desde el centro del cordón hasta un punto que se encuentra a la temperatura crítica "Ac1".

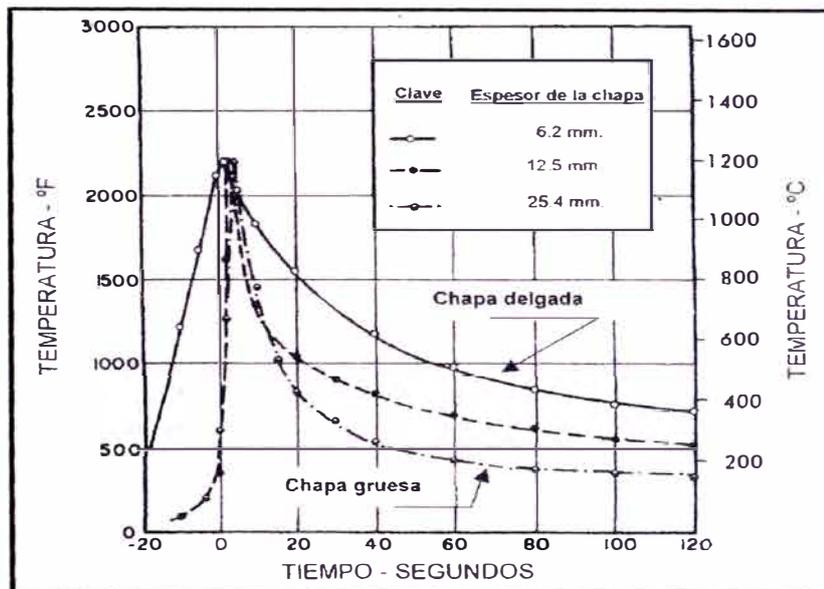
En el acero, los cambios microestructurales importantes se producen cuando éste alcanza una temperatura por encima de los 723°C (AC1). Por lo tanto, toda la región del acero expuesto a una temperatura por encima de los 723°C sufrirá cambios microestructurales durante su enfriamiento que alterarán significativamente las propiedades mecánicas de la unión soldada. Esta región es conocida como la zona afectada por el calor (ZAC).

La ZAC, fácilmente visible en los aceros a través de una macrografía, se extiende desde la zona en el acero que alcanza la temperatura de fusión hasta aquella distancia a la cual se alcanza la temperatura crítica inferior Ac, (723°C).

#### 3.6.4.3 Efecto del espesor y de la geometría de la soldadura

El efecto del espesor sobre los ciclos térmicos en soldadura puede verse en la figura 3.20.

Los datos que se muestran comparan ciclos térmicos (con una temperatura máxima de 1200°C) de soldaduras a tope de chapas con 6.2, 12.5 y 25.4 mm. de espesor, realizadas con un aporte de calor de 1970 Joules/mm.



**Fig. 3.20** Efecto del espesor sobre el ciclo térmico en las siguientes condiciones: proceso SMAW, aporte térmico de 1970 J/mm y temperatura inicial de 27 °C

La observación de las curvas nos permite advertir que la velocidad de enfriamiento tiende a aumentar cuando se incrementa el espesor de las chapas (pendientes de las curvas de enfriamiento más pronunciadas), mientras que el tiempo a elevada temperatura tiende a disminuir cuando el espesor de las chapas aumenta.

#### 3.6.4.4 Efecto de las características térmicas del material

Las propiedades físicas de los metales a soldar cumplen un papel muy importante en la determinación del ciclo térmico durante un proceso de soldadura:

1. Cuanto más baja sea la conductividad térmica del material, más pronunciada será la distribución de las temperaturas máximas. En

otras palabras, la ZAC será menor.

2. Cuanto más alta sea la conductividad térmica del metal, más rápido se enfriará después de la soldadura.
3. Cuanto más alta sea la conductividad térmica, más corto será el tiempo de exposición a elevada temperatura para un ciclo térmico.

La conductividad térmica del metal juega un papel muy importante en el ancho de la ZAC y en la velocidad de enfriamiento de cualquier punto ubicado en la ZAC, lo cual incide directamente sobre la microestructura y las propiedades mecánicas de dicha región de la unión soldada.

### 3.6.5 Ecuación de la temperatura máxima en cada punto de la ZAC

En la soldadura a tope con penetración completa y de una sola pasada realizada en plancha, la distribución de las temperaturas máximas, en el metal base adyacente a la soldadura, viene dada por la ecuación:

$$\frac{1}{T_{Max} - T_o} = \frac{4.13 \times \rho \times C \times t \times Y}{H_{Net}} + \frac{1}{T_{Fusión} - T_o} \dots\dots\dots(1)$$

*Donde:*

- $T_{Max}$  = Temperatura máxima (°C) a una distancia Y (mm) del extremo o contorno del metal fundido. (La ecuación de temperatura máxima no es aplicable a puntos situados en el metal fundido; sólo es válida para puntos situados en la zona afectada térmicamente).
- $T_o$  = Temperatura inicial de la chapa (°C).
- $T_{fusión}$  = Temperatura de fusión (°C). (Temperatura de líquidus del metal a soldar).
- $H_{net}$  = Energía aportada neta =  $f \cdot E \cdot I / V$  (J/mm).
- $E$  = Voltios;  $I$  = Amperaje;  $f$  = Rendimiento de la transferencia de calor;  $V$  = Velocidad de avance de la fuente de calor en mm/seg.
- $\rho$  = Densidad del material ( $g/mm^3$ )
- $C$  = Calor específico del metal sólido (J/g °C)
- $\rho C$  = Calor específico volumétrico ( $J/mm^3 \cdot °C$ )
- $T$  = Espesor de la chapa a soldar (mm)

#### 3.8.5.1 Aplicaciones de la ecuación de la temperatura máxima

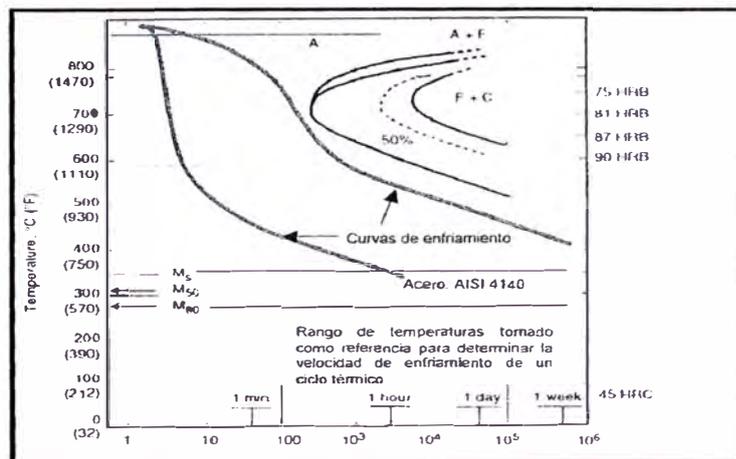
La ecuación de la temperatura máxima se puede utilizar con diferentes

propósitos, entre los que se encuentran:

1. La determinación de la temperatura máxima en puntos determinados de la ZAC.
2. La estimación del ancho de la ZAC
3. La demostración del efecto causado por el precalentamiento sobre el ancho de la ZAC, el aporte de calor en un 50%, el ancho de la ZAC ha aumentado también un 50%. Al aumentar el aporte de calor de la soldadura se incrementa igualmente el ancho de la ZAC

### 3.6.6 Velocidad de Enfriamiento

Después que un punto en el metal fundido o en sus proximidades ha alcanzado su máximo de temperatura, la velocidad a la cual se enfría puede tener un significativo efecto sobre la estructura metalúrgica y las propiedades mecánicas de la ZAC. Esto es de especial importancia en los aceros tratados térmicamente.



**Fig. 3.21** Curva TTT de un acero AISI 4140, donde se muestran curvas típicas de enfriamiento y la región de temperaturas considerada para determinar la velocidad de enfriamiento de un ciclo térmico de soldadura

La utilidad de calcular una velocidad de enfriamiento a partir de los parámetros de soldadura proviene del hecho de conocer si el enfriamiento provocará en el acero microestructuras frágiles como aquellas obtenidas por la transformación martensítica.

Este principio metalúrgico para las uniones soldadas lo podemos enunciar de una manera algo más general:

La unión soldada no debe admitir la presencia de constituyentes frágiles en su microestructura. Por tanto, en términos generales, los aceros al carbono y de baja aleación deben ser soldados de acuerdo a un procedimiento que no provoque elevadas velocidades de enfriamiento después de la soldadura. Las condiciones específicas que permitan conseguir este objetivo dependerán del tipo de acero, el espesor de la plancha, el procedimiento de soldadura y el calor de aporte empleado.

### 3.6.7 Tiempo de Solidificación

La velocidad a la cual el metal fundido solidifica durante la soldadura puede tener un efecto notable sobre su microestructura, sus propiedades mecánicas, su facilidad para ser tratada térmicamente y sobre el contenido de impurezas. El tiempo de solidificación del metal fundido, " $S_t$ " (segundos), depende del aporte térmico neto y viene dado por la siguiente fórmula:

$$S_t = \frac{LH_{Net}}{2\pi k \rho C (T_m - T_0)^2} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

- $S_t$  = tiempo (s) de solidificación: tiempo transcurrido desde el principio hasta el final de la solidificación de un punto determinado del metal; fundido
- L = calor de fusión (Joules/mm<sup>3</sup>).

El tiempo de solidificación es función del aporte de calor y de la temperatura inicial. Si comparamos con cualquier otro proceso de fusión (como la fundición), el tiempo de solidificación del baño fundido durante la soldadura es extremadamente rápido.

La principal razón por la cual el metal de soldadura se enfría mucho más rápidamente que las fundiciones clásicas es que el baño fundido está en un mejor contacto con el metal frío que le rodea y que actúa como molde.

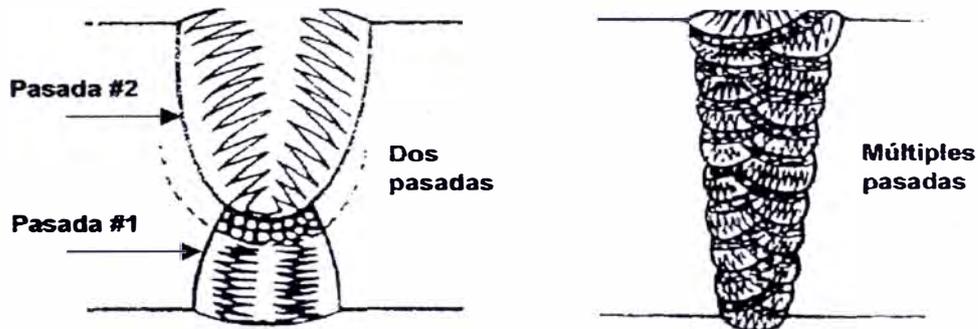
#### **3.6.7.1 Efecto del aporte de calor sobre la microestructura de la zona fundida**

El aporte térmico no es el único factor que influye en la calidad de la soldadura, pero sí es el principal factor que influye sobre las propiedades originadas por transformaciones microestructurales.

Por consideraciones metalúrgicas, generalmente, se aconsejan aportes térmicos bajos; ya que la ZAC se reduce y las características de los metales base se mejoran al tener estructuras dendríticas finas. Pensando solamente en este sentido, podríamos recomendar siempre la utilización de muchos cordones pequeños en lugar de pocos cordones grandes para obtener una soldadura de calidad metalúrgica aceptable (figura 3.22).

Sin embargo, los factores económicos nos hacen pensar en la posibilidad de emplear grandes pasadas de soldadura debido a un mayor incremento de la productividad. También es aconsejable, desde el punto de vista metalúrgico, reducir la velocidad de enfriamiento en la soldadura de metales

férreos fácilmente endurecibles; esto se puede lograr a través de un aumento del aporte térmico.



**Fig. 3.22 Metalúrgicamente hablando es más recomendable realizar una unión soldada empleando múltiples pasadas pues se afina la estructura y se mejoran las propiedades mecánicas de la unión**

## **CAPITULO IV**

### **MATERIAL BASE Y DE APORTE**

Los materiales base y de aporte usados para los mantenimientos por soldadura que se realizan en una mina a tajo abierto son variados, debido a los diferentes tipos de desgaste que sufre cada pieza pudiendo ser de impacto, abrasivo, por corrosión entre los principales.

En este capítulo trataremos sobre los materiales más usados como base (tanto plancha base estructural como también plancha de desgaste o antidesgaste), sus propiedades mecánicas, su composición química, las partes de los equipos en los cuales son usados; y en la parte de materiales de aporte, trataremos de las soldaduras más usadas, las especificaciones técnicas, usos.

#### **4.1 ACEROS ESTRUCTURALES (PLANCHAS BASES)**

Las planchas más comunes usadas en como planchas bases en minería son los aceros estructurales ASTM A36, ASTM A514°B, ASTM A517.

En aplicaciones de tolvas, cucharones de pala, bulldozers, y otros la plancha base más usada es el ASTM A514°B, debido a sus mejores propiedades mecánicas con respecto al estructural común en el mercado ASTM A36.

El grano fino de su estructura cristalina de un acero ASTM A514, es logrado por tratamiento térmico de templado y revenido, adquiriendo así este material mejores propiedades mecánicas.

En el trabajo de acarreo de mineral, los impactos y esfuerzos son soportados por las planchas bases. La abrasión e impacto son soportados por las planchas antidesgaste, estos últimos siempre se instalan sobre las planchas bases para proteger la integridad de la estructura y son reemplazados periódicamente debido al grado de desgaste por abrasión que sufren.

En reparaciones totales (mantenimiento correctivo) se cambia, en la mayoría de los casos, la totalidad de las planchas bases y antidesgaste, en caso de tolvas de camión, el cambio también se da en los canales estructurales que soportan a las planchas bases.

#### **4.1.1 ASTM A36**

**Especificaciones técnicas según ASTM:**

##### **4.1.1.1 Descripción:**

Esta especificación cubre a las planchas de calidad estructural usados en construcciones soldadas y en procesos estructurales generales donde se tengan bajos esfuerzos en los componentes

**DESIGNACION:** Steel ASTM A-36 (SAE 1020, AISI C-1020)

**PROPIEDADES FÍSICAS:**

Descripción	Unid	Mínimo	Promedio	Máximo
Tensile strength	Ksi	58.00		80.00
	MPa	400.00		550.00
Yield point	Ksi	36.00		
	MPa	250.00		
Elongation	in 8"	20.00		
	in 2"	23.00		

**PROPIEDADES QUÍMICAS:**

Elemento	Unid	Espesor			
		To 3/4	Over 3/4 to 1 1/2	Over 1 1/2 to 2 1/2	Over 2 1/2 to 4
Carbono, máx.	%	0.25	0.25	0.26	0.27
Manganeso.	%		0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20
Fósforo, máx.	%	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre, máx.	%	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	%	Máx. 0.40	Máx. 0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Cobre, mín*.	%	0.20	0.20	0.20	0.20

**4.1.1.2 NORMAS:**

<b>Internacional</b>	ASTM A 36, SAE 1020, AISI C-1020
<b>Nacional</b>	

**4.1.2 ASTM a 514**

Especificaciones técnicas según ASTM:

**MATERIAL: HIGH YIELD STRENGHT, Q&T ALLOY STEEL PLATE ASTM  
A 514 GRADE B**

**4.1.2.1 Descripción**

Esta especificación cubre las planchas tratadas y temperadas de calidad estructural para el uso en estructuras soldadas

Estas planchas exceden en propiedades mecánicas que un acero ASTM A36 estándar, excepcional conformación en frío, bajo Azufre, bajo carbono que dan una mejor soldabilidad y un bajo carbono equivalente.

SPCC Code	Dimensions (inches)			Aprox. Weight (kg)
	thickness	width	length	
<del>44-500-37870</del>	7/16	60	240	811
<del>44-500-39510</del>	1-1/4	96	120	1,854
<del>44-500-39710</del>	1/4	96	120	371
<del>44-500-39720</del>	5/16	96	120	464
<del>44-500-39735</del>	3/8	96	120	556
<del>44-500-39740</del>	1/2	96	120	742
<del>44-500-39750</del>	5/8	96	120	927
<del>44-500-39760</del>	3/4	96	120	1,112
<del>44-500-39770</del>	1	96	120	1,483
<del>44-500-39920</del>	1/2	60	151	583

#### 4.1.2.2 Propiedades mecánicas:

Descripción	Unid	Debajo de 3/4"	De 3/4" a 2 1/2"
Ultimate Tensile Strenght	Ksi	110 to 130	110 to 130
Yield Strenght min*	Ksi	100	100
Elongación en 2", mín	%	18	18
Reducción del área, mín	%	40	40
Dureza Brinell	BHN	225 to 293	

#### 4.1.2.3 Composición química:

Elemento	%
Carbono ©	0.12 –0.21
Manganeso (Mn)	0.70 – 1.00
Fósforo (P)	0.035 máx.
Azufre (S)	0.04 máx.
Silicio (Si)	0.20 – 0.35
Cromo (Cr)	0.40 – 0.65
Molibdeno (Mo)	0.15 – 0.25
Vanadio (Va)	0.03 – 0.08
Titanio (Ti)	0.01 – 0.03
Boro (B)	0.0005 – 0.005

**4.1.2.4 Normas:**

Nacional	Internacional
	ASTM A 514 Grade B

**4.1.2.5 Equivalencias comerciales:**

Proveedor	Descripción
U.S. Item	ASTM A 514 GRADE B
High Strenght Steel	HS 100 / A514 GRADE B

**4.2 PLANCHAS DE DESGASTE ( ANTIDEGASTE)****4.2.1 Planchas de acero resistente a la abrasión 400 bhn****4.2.1.1 Descripción**

Esta especificación cubre a planchas de acero usados como de desgaste para diferentes rangos de aplicación donde son requisitos una buena resistencia a la abrasión e impacto

SPCC Code	Dimensiones (inches)			Peso Aproximado (kg)
	Espesor	Ancho	Largo	
<b>44-500-38900</b>	1/4	72	144	334
<b>44-500-38930</b>	1/2	72	144	667
<b>44-500-38950</b>	1/2	96	120	742
<b>44-500-38960</b>	3/4	96	120	1,112
<b>44-500-38990</b>	2	96	120	2,966
<b>44-500-39110</b>	3/8	96	120	556
<b>44-500-39980</b>	1	96	120	1,483
<b>44-500-39990</b>	1/4	96	120	371

**4.2.1.2 Propiedades mecánicas:**

Descripción	Comments/Value
<b>Hardness</b>	360 - 444 BHN
<b>Tensile strength</b>	180 - 202 ksi
<b>Yield strength</b>	140 - 195 ksi
<b>Total elongación (2")</b>	12 - 23 %

#### 4.2.1.3 Composición química típica:

Elemento	%
Carbono (C)	0.12 - 0.30
Manganeso (Mn)	0.96 - 1.80
Fósforo (P)	0.015 - 0.03
Azufre (S)	0.002 - 0.03
Silicio (Si)	0.26 - 0.55
Molibdeno (Mo)	0.40 - 1.00
Cromo (Cr)	0 - 0.55
Boro (B)	0.004 - 0.008

#### 4.2.1.4 Normas:

Nacional	Internacional
No existe estándares para los grados de resistencia a la abrasión	NPFA (Fire 0; Health 1; Reactivity: 0)

#### 4.2.1.5 Equivalencias comerciales:

Proveedor	Descripción
U.S. Item	U.S. 400
Higher Tec	EH-400
Petro Aceros	Wearalloy 400
Aceros Bohler del Peru	Chronit T-1 400
NKK Corporation	NK-EH-400
High Strength Steel	HS 400

### 4.2.2 **Planchas de acero resistente a la abrasión 500 bhn**

#### 4.2.2.1 Descripción

Esta especificación cubre a planchas de acero usados como de desgaste para diferentes rangos de aplicación donde son requisitos una buena resistencia a la abrasión e impacto

SPCC Code	Dimensiones (pulgadas)			Peso Aprox. (kg)
	Espesor	Ancho	Largo	
44-500-37960	3/4	96	120	1,112
44-500-37968	1/2	96	120	742
44-500-39781	1	96	120	1,483
44-500-39800	1-1/4	96	120	1,854
44-500-39801	1-1/2	96	120	2,225
44-500-39910	2	96	120	2,966
44-500-39915	2-1/2	96	120	3,708

#### 4.2.2.2 Propiedades mecánicas:

Descripción	Comments/Value
Hardness	440 - 544 BHN
Tensile strength	214 - 245 ksi
Yield strength	185 - 220 ksi
Total elongación (2")	11 - 22 %

#### 4.2.2.3 Composición química típica:

Elemento	%
Carbono (C)	0.30 - 0.35
Manganeso (Mn)	0.95 - 1.60
Fosforo (P)	0.015 - 0.03
Azufre (S)	0.002 - 0.03
Silicio (Si)	0.32 - 0.55
Molibdeno (Mo)	0 - 0.55
Cromo (Cr)	0.75 - 0.95
Boro (B)	0.0011 - 0.005

#### 4.2.2.4 Normas:

National	International
No existe estándares para los grados de resistencia a la abrasión	NPFA (Fire 0; Health 1; Reactivity: 0)

#### 4.2.2.5 Equivalencias comerciales:

Proveedor	Descripción
U.S. Item	U.S. 500
Higher Tec	EH-500
Petro Aceros	Wearalloy 500
Aceros Bohler del Peru	Chronit T-1 500
American Alloy Steel	Amerituf 500
NKK Corporation	NK-EH-500
High Strength Steel	HS 500

### 4.3 MATERIALES DE APORTE

Entre los materiales de aporte mas usados tenemos los electrodos y los alambres tubulares, tanto para aceros al carbono, acero al manganeso o acero inoxidable.

A continuación se da algunas características y aplicaciones de electrodos y de alambres tubulares.

#### 4.3.1 E 7018 (SUPERCITO)

Electrodo básico de bajo hidrogeno, baja aleación, revestimiento simple y extraordinarias características.

Es usado principalmente para el soldeo de aceros estructurales ASTM A36 y ASTM A514°B, de espesores menores de ¼", o para el apuntalamiento general de la estructura (armado) antes de la soldadura final.

#### NORMAS:

AWS/ASME: A.5.1-91	DIN 1913	ISO 3580
E7018	E 51 55 B 10	E51 4 B 26 (H)

#### ANÁLISIS QUÍMICO DEL METAL DEPOSITADO (%)

C	Mn	Si
0.080	1.20	

#### CARACTERÍSTICAS:

Electrodo básico con bajo tenor de hidrogeno, que otorga al metal depositado buenas propiedades mecánicas

Su contenido de hierro en polvo mejora la soldabilidad, aumentando la penetración, deposición y mejorando al mismo tiempo su comportamiento en diferentes posiciones.

Rendimiento de 98%.

**RESECADO:**

Cuando el electrodo ha estado expuesto excesivamente a la intemperie, resecar a 250 – 350 °C durante 02 horas.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Tratamiento Térmico	Resistencia a la tracción	Limite elástico	ch V -20°C	Elongación en 2"
Sin	510-610 N/mm <sup>2</sup>	> 380 N/mm <sup>2</sup>	> 140 J	24%
	74000 - 88000 lb/pulg <sup>2</sup>	> 55000 lb/pulg <sup>2</sup>		
Alivio de tensiones	480 - 580 N/mm <sup>2</sup>	> 380 N/mm <sup>2</sup>	> 140 J	24%
Normalizado	420 - 520 N/mm <sup>2</sup>	> 290 N/mm <sup>2</sup>	> 140 J	26%

**POSICIONES DE SOLDEO:** Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical descendente

**CORRIENTE Y POLARIDAD:**

Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo positivo						
Φ	5/64"	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	2.00 mm	2.50 mm	3.25 mm	4.00 mm	5.00 mm	6.30 mm
Amp. Mín	45	70	100	140	190	260
Amp. Máx	60	90	140	200	250	340

**APLICACIONES:**

Para aceros de alto contenido de carbono, alta resistencia y baja aleación.

Para aceros laminados al frío

Por sus características de deformación a altas temperaturas y fácil manejo es adecuado para el soldeo de piezas de maquinaria pesada, aceros con resistencia a la tracción hasta 85000lb/pulg<sup>2</sup>

En reparaciones de componentes mineros (tolvas, cucharones, etc.) su aplicación es limitada a apuntalamientos o presentación de estructura antes del soldeo, y en materiales de bajo contenido de carbono (planchas estructurales)

#### 4.3.2 E308L – 16 (INOX AW)

Electrodo inoxidable del tipo rutilico con bajo porcentaje de ferrita

##### NORMAS

<b>AWS A.5.4-92</b>	<b>DIN 8556</b>
<b>E 308L - 16</b>	<b>E 199 LR 23</b>

##### ANÁLISIS QUÍMICO DEL METAL DEPOSITADO (%)

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
0.030	0.80	0.40	19.00	9.00

##### CARACTERÍSTICAS:

- Material depositado de estructura austero ferrítica.
- El revestimiento rutilico proporciona un excelente acabado, además de facilitar la operación de soldeo, tanto en unión como en recargues
- El material depositado es exento a porosidades
- En su revestimiento tiene elementos estabilizadores de arco que además facilitan su operación con corriente alterna
- Necesariamente debe soldarse con arco corto y con electrodos secos
- El uso de este electrodo disminuye la posibilidad de precipitación de carburos.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

Resistencia a la tracción	Limite elástico	ch V +20°C	Elongación en 2"
550-650 N/mm <sup>2</sup>	> 350 N/mm <sup>2</sup>	> 50 J	> 35%
80000 - 94000 lb/pulg <sup>2</sup>	> 50000 lb/pulg <sup>2</sup>		

**POSICIONES DE SOLDEO:** Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente

**CORRIENTE Y POLARIDAD:**

Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo positivo							
Φ	1/16"	5/64"	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"	1/4"
	1.6 mm	2.00 mm	2.50 mm	3.25 mm	4.00 mm	5.00 mm	6.30 mm
Amp. Mín	20	30	40	70	100	140	200
Amp. Máx	30	40	60	100	130	180	275

**APLICACIONES:**

- Para soldar Aceros inoxidables nos normalizados, tipo AISI 301, 302, 308, 301L, 302L, 308L
- Recomendados para el soldeo de piezas de acero al manganeso, donde es necesario obtener gran resistencia a la tracción
- Para soldar cierto tipo de uniones en aceros disímiles
- Como base de algunos recubrimientos protectores
- En la reconstrucción de equipos de minería, como por ejemplo para reconstruir labios, bordes de cucharones.

**4.3.3 E312L – 16 (EXSA 106)**

Electrodo austenítico- ferrítico para la soldadura de aceros disímiles y aceros de difícil soldabilidad

**NORMAS**

<b>AWS A.5.4-92</b>	<b>DIN 8556</b>
<b>E 312 - 16</b>	<b>E 29 9 R 23</b>

**ANÁLISIS QUÍMICO DEL METAL DEPOSITADO (%)**

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Fe</b>
0.10	0.60	0.90	29.00	9.0	Resto

**CARACTERÍSTICAS:**

- Electrodo austenítico ferrítico con un contenido aproximado de 30% de ferrita
- El metal depositado es resistente a la fisuración, corrosión, impacto, calor, fricción metal-metal, es dúctil y tenaz.
- Fácil encendido del arco, forma cordones planos libres de salpicadura y con ausencia de socavaciones.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

<b>Resistencia a la tracción</b>	<b>Limite elástico</b>	<b>Elongación en 2"</b>
736 - 840 N/mm <sup>2</sup>	588 - 683 N/mm <sup>2</sup>	20 - 24%

**POSICIONES DE SOLDEO:**

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente

**RESECADO:**

Es importante el uso de electrodos secos, en caso de que los electrodos hayan estado expuestos excesivamente a la intemperie, resecar a 300°C por dos horas

**CORRIENTE Y POLARIDAD:**

<b>Para corriente alterna o continua - Electrodo al polo positivo</b>				
$\Phi$	3/32"	1/8"	5/32"	3/16"
	2.50 mm	3.25 mm	4.00 mm	5.00 mm
<b>Amp. MÍN</b>	<b>60</b>	<b>80</b>	<b>130</b>	<b>170</b>
<b>Amp. MÁX</b>	<b>90</b>	<b>120</b>	<b>170</b>	<b>210</b>

**APLICACIONES:**

- Para soldadura de unión y recargue en aceros de mediano y alto contenido de carbono, aceros de baja aleación, aceros de herramientas, aceros bonificados, aceros rápidos, aceros de cementación y aceros fundidos.
- Ideal para la unión de aceros disímiles, aceros de difícil soldabilidad y como una cama cojín para recubrimientos protectores.

Recomendados para uniones de alta responsabilidad: fabricación o reparación de cucharas de equipos mineros, relleno de ejes, reconstrucción de dientes de engranajes, soldadura de muelles, resortes, moldes de inyección, etc.

**4.3.4 E 71 T-1 (EXATUB 71)****DESCRIPCIÓN:**

El producto EXSATUB 71 es un alambre tubular para toda posición, diseñado para brindar óptimas propiedades mecánicas al trabajar con CO<sub>2</sub> o mezcla de Argón/CO<sub>2</sub> como gas protector.

Es el alambre tubular más usado para el soldeo de planchas de acero al carbono (estructurales y de desgaste), es recomendado para espesores mayores de ¼" , si se regulan bien los parámetros de soldeo tales como

velocidad de alambre, tensión y flujo de gas protector, el arco se vuelve estable y muy sencillo de manejar en toda posición.

**NORMAS:**

<b>AWS/ASME/SFA-5.20</b>
<b>E 71T-1/T-1M/T-9/T-9M</b>

**ANÁLISIS QUÍMICO DEL METAL DEPOSITADO (%):**

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>
<b>0.06</b>	<b>1.47</b>	<b>0.60</b>

**CARACTERÍSTICAS:**

- El producto EXSATUB 71 produce 20% menos de humos, 50% menos de salpicaduras que alambres tubulares equivalentes. En comparación con alambres tubulares autoprotegidos, brinda buenas propiedades frente al impacto a baja temperatura y la apariencia del cordón es insuperable
- La transferencia del metal de aporte es suave y la remoción de escoria es fácil, lo cual facilita el depósito de cordones en posición vertical ascendente
- El contorno de la soldadura en filete es plano a ligeramente convexo con buena humectación en los bordes de la junta. Este alambre tolera cascarillas y óxidos ligeros sobre el material base.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

	Resistencia a la tracción	Limite elástico	ch V		Elongación (l=5d)
			22°C	-18°C	
Después de soldado	593 N/mm <sup>2</sup>	524 N/mm <sup>2</sup>	89 J	43 J	27%
	86000 lb/pulg <sup>2</sup>	76000 lb/pulg <sup>2</sup>			
Con alivio de tensiones, 8 horas a 600°C	572 N/mm <sup>2</sup>	503 N/mm <sup>2</sup>	43 J	27 J	28%
	83000 lb/pulg <sup>2</sup>	73000 lb/pulg <sup>2</sup>			

**POSICIONES DE SOLDEO:**

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, descendente

**CORRIENTE Y POLARIDAD:**

Corriente Continua Electrodo al Polo Positivo / CC(+)

Voltaje Constante (de preferencia) ó Amperaje Constante con alimentador de alambre

**APLICACIONES:**

El alambre EXSATUB 71 está diseñado para soldaduras en toda posición, en un solo pase y/o multipase sobre aceros de bajo y de mediano carbono y aceros de baja aleación

**4.3.5 E 308LT0-3 (EXATUB 308 L-O)**

**DESCRIPCIÓN:** El producto EXSATUB 70T-4 es un alambre tubular autoprotegido, diseñado para soldar en posición plana y filete horizontal con un alto ratio de deposición horaria.

En reparación es usado para la recuperación de acero al manganeso presentes en los labios de cucharones, tumblers de pala y otros, se puede usar como soldadura de respaldo o soldadura de recargue.

**NORMAS:**
**AWS/ASME/SFA-5.20**  
**E 308LT0-3**
**ANÁLISIS QUÍMICO DEL METAL DEPOSITADO (%):**

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>Si</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
<b>0.015</b>	<b>1.50</b>	<b>0.60</b>	<b>20.20</b>	<b>9.70</b>

**CARACTERÍSTICAS:**

- Alambre tubular de acero inoxidable autoprotectido, diseñado para aplicarse mediante el proceso de Arco Abierto (Open Arc).
- Los cordones de soldadura son planos con ausencia total de mordeduras, excelente acabado y libre de poros.
- Presenta excelente soldabilidad, la transferencia del metal de aporte es suave y la remoción de escoria es fácil
- Se obtiene altos índices de deposición horaria, alta eficiencia de fusión y alta productividad.

**PROPIEDADES MECÁNICAS:**

<b>Resistencia a la tracción</b>	<b>Limite elástico</b>	<b>Elongación (l=5d)</b>
<b>600 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>400 N/mm<sup>2</sup></b>	<b>43%</b>
<b>87000 lb/pulg<sup>2</sup></b>	<b>58000 lb/pulg<sup>2</sup></b>	

**POSICIONES DE SOLDEO:** Plana, horizontal,
**DIÁMETROS, AMPERAJES Y PRESENTACIÓN:**

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>1.60</b>		<b>2.40</b>	
<b>Presentación (kg)</b>	<b>15</b>		<b>25</b>	
<b>Amperaje (Amp.)</b>	<b>150</b>	<b>280</b>	<b>200</b>	<b>350</b>
<b>Voltaje (V)</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>22</b>	<b>28</b>
<b>Velocidad de deposición (kg/hr)</b>	<b>2.6</b>	<b>4.9</b>	<b>4.2</b>	<b>6.7</b>
<b>Rendimiento (%)</b>	<b>81</b>	<b>84</b>	<b>80</b>	<b>83</b>

**APLICACIONES:**

**Ideal para labores de fabricación, reparación y mantenimiento sobre aceros austeníticos al manganeso, aceros de baja aleación, aceros de alta aleación y soldadura de unión de aceros al manganeso con planchas antiabrasivas (T1, T1A / B, Corten, T21, Hardox 400 / 500, XAR 400 / 500, etc.), en tolvas, chutes, molinos, tanques, carretas, lampones, cucharas de palas y de cargadores frontales, etc., en la industria minera, ladrillera, cementera y otras.**

## **CAPITULO V**

### **INSPECCION DE UNIONES SOLDADAS**

El principio de las inspecciones se basa en la necesidad de saber el grado de confiabilidad que puede tener un conjunto soldado. Las fallas mas comunes se detectan mediante dos tipos de ensayos:

*Ensayos destructivos* (macografía, medición de dureza, tracción, Charpy, etc)

*Ensayos no destructivos* (Inspección visual, partículas magnéticas, ultrasonido, etc)

Para realizar una buena inspección del conjunto soldado se debe realizar antes de empezar la preparación de junta y termina mucho después de realizada la soldadura en si.

#### **5.1 INSPECCION VISUAL DE UNIONES SOLDADAS**

##### **5.1.1 Fundamentos de la Inspección Visual**

El examen visual es un método para identificar discontinuidades e imperfecciones superficiales.

El descubrir y reparar cualquier defecto al tiempo que aparece resultara en una sustancial reducción de costo. Un programa concienzudo de inspección visual antes, durante y después de la soldadura puede resultar en descubrir la mayoría de todos los defectos los cuales habrían sido detectados después usando métodos de ensayo más extensivos.

### **5.1.2 Previo a la Soldadura.**

Previo a la soldadura, algunas acciones típicas requieren atención por el inspector visual incluye:

- (1) Revisar dibujos y especificaciones.
- (2) Chequear la calificación de los procedimientos y del personal a ser utilizados.
- (3) Establecer los puntos de chequeo.
- (4) Establecer un plan para el registro de los resultados.
- (5) Revisar los materiales a ser utilizados
- (6) Chequear las discontinuidades del material base.
- (7) Chequear la disposición, alineamiento, de las juntas soldadas.
- (8) Chequear el precalentamiento, si es requerido

Si el inspector presta particular atención a estos ítems preliminares, muchos problemas los cuales pueden suceder después pueden ser prevenidos. Es muy importante que los inspectores conozcan exactamente los requisitos a ser cumplidos. La revisión de los documentos que gobiernan simplificará estas informaciones.

### **5.1.3 Procedimientos de Soldadura.**

Se debe de calificar el procedimiento y hacer el seguimiento permanente a este. La documentación apropiada de la calificación o certificación de los soldadores individualmente debería ser revisada también. Los dibujos y especificaciones dictarán que metal base a ser unidos y que metal de aporte será utilizado.

#### **5.1.4 Material Base.**

Previo a la soldadura, la identificación del tipo de material base y un examen de las especificaciones del metal base deberían hacerse. Si una discontinuidad, tal como una laminación en planchas, esta presenta y permanece indetectable, ella puede afectar la integridad total de la estructura de la soldadura. Muchas veces una laminación será visible a lo largo del borde de la plancha, especialmente en un borde cortado con oxi – corte.

#### **5.1.5 Disposición (fit – up) de la junta**

Para una soldadura la parte mas critica del metal base es el área la cual ha sido preparada para recibir el metal de soldadura en alguna forma en la preparación de junta .Los ítems que pueden ser considerados prioritarios para soldar incluyen:

- (1) Angulo del canal
- (2) Abertura de raíz
- (3) Alineamiento de la junta
- (4) Respaldo
- (5) Insertos consumibles
- (6) Limpieza de la junta
- (7) Soldaduras de apuntalamiento
- (8) Precalentamiento

Todos estos factores podrían tener un efecto directo en la calidad de la soldadura resultante. Si la disposición de la junta es pobre, entonces la soldadura será casi indiscutiblemente de una calidad sub-estándar.

### **5.1.6 Durante la Soldadura**

Durante la soldadura, hay un número de ítems los cuales requieren control de manera que la soldadura resultante será satisfactoria. El examen visual es el método primario para controlar este aspecto de la fabricación. Algunos de los aspectos de la fabricación los cuales pueden ser chequeados incluyen:

- (1) calidad del pase de raíz de la soldadura
- (2) Preparación de la raíz de la junta previa a la soldadura del segundo pase
- (3) Temperaturas de precalentamiento e interpases.
- (4) Secuencia de los pases de soldadura.
- (5) Capas subsecuentes para la calidad aparente de la soldadura
- (6) Limpieza entre pases.
- (7) Conformidad con el procedimiento aplicable: por ejemplo voltaje, amperaje, calor aportado, velocidad.

Cualquiera de estos factores, si se ignoran, podría resultar en discontinuidades que podrían causar seria degradación de la calidad.

### **5.1.7 Pase de Raíz.**

La parte mas crítica de cualquier soldadura es el pase de raíz. Consecuentemente, una gran cantidad de defectos los cuales son descubiertos posteriormente es una soldadura están asociados con el pase de raíz de la soldadura.

### **5.1.8 Temperaturas de precalentamiento e interpase.**

Las temperaturas de precalentamiento e interpase pueden ser críticas y, si son especificadas, ser medidas. Los límites son frecuentemente descritos como un mínimo, un máximo o ambas. También, para ayudar a controlar la cantidad de calor en la zona de soldadura, la secuencia y ubicación de pase individuales puede ser importante.

### **5.1.9 Examen entre capas.**

Para evaluar la calidad de soldadura según progresa el trabajo, es deseable examinar visualmente cada capa para juzgar su integridad. Esto también provee un chequeo para determinar si su limpieza es adecuada entre pases. Esto puede ayudar aliviar la ocurrencia de inclusiones de escoria en la soldadura final.

### **5.1.10 Después de la Soldadura**

Mucha gente siente que la Inspección visual empieza cuando la soldadura ha sido terminada. Sin embargo, si todas las etapas antes y durante la soldadura han sido inspeccionadas y aceptadas, esta etapa final de la inspección visual será cumplida fácilmente. Proveerá simplemente un chequeo para asegurar que las etapas anteriores han resultado en una soldadura satisfactoria. Algunas de los diversos ítems los cuales requieren atención después que la soldadura ha sido terminada son:

- (1) Apariencia final de la soldadura
- (2) Tamaño final de la soldadura
- (3) Longitud de la soldadura

- (4) Precisión dimensional
- (5) Cantidad de distorsión
- (6) Tratamiento post soldadura

El propósito básico de la inspección visual final es asegurar la calidad de la soldadura. Aún más, el examen visual de algunos casos es requerida, La mayoría de códigos y especificaciones describen la extensión de las discontinuidades que son aceptables, y muchas de estas pueden aparecer en la superficie de la soldadura terminada.

#### **5.1.11 Discontinuidades.**

Discontinuidades típicas encontradas en las soldaduras son:

- (1) Porosidad
- (2) Fusión incompleta
- (3) Penetración de junta incompleta
- (4) Socavación
- (5) Traslape
- (6) Fisuras
- (7) Inclusión de escoria
- (8) Sobremona excesiva

#### **5.1.12 Condición superficial de la Soldadura**

Una discontinuidad esta definida como una interrupción de la estructura típica de una unión soldada, tal como falta de homogeneidad en las características mecánica, metalúrgica, o física del material o soldadura.

Una discontinuidad no es necesariamente un defecto. Las discontinuidades son rechazables solamente si ellas exceden los requerimientos de las especificaciones en términos del tipo, tamaño, distribución, o ubicación. Una discontinuidad rechazable es llamada defecto. Por definición un defecto es una discontinuidad que por su tamaño, forma, orientación, o ubicación lo hace deteriorante al uso, servicio de la pieza en la cual aparece. Las discontinuidades pueden ser encontradas en el metal de soldadura, zona afectada por calor, o metal base de muchas uniones soldadas.

## **5.2 INSPECCION POR LIQUIDOS PENETRANTES**

El método de ensayo no destructivo por líquidos penetrantes sirve para detectar discontinuidades que afloran a la superficie en sólidos no porosos. Se utiliza un líquido que al aplicarlo sobre la superficie de la muestra, penetra por capilaridad en las discontinuidades o grietas. Posteriormente, y una vez eliminado el exceso de penetrante de la superficie de la muestra el líquido contenido en las discontinuidades exuda y puede ser observado en la superficie aplicando un revelador.

Independientemente del tipo de penetrante utilizado, hay dos métodos de ensayo claramente definidos, los ensayos con penetrantes fluorescentes y con penetrantes coloreados.

### **5.2.1 Métodos de Ensayo**

#### **5.2.1.1 Penetrantes fluorescentes**

Son lo que incorporan en su composición un pigmento fluorescente claramente visible en cámara oscura bajo iluminación con luz negra

adecuada. Este es el método más sensible pero tiene el inconveniente de la necesidad del uso de una lámpara de luz negra de 3300 a 3900 amstroms.

Estos pueden ser lavables con agua, post emulsionables o eliminables con disolvente. Los lavables con agua llevan aditivos que les confieren esta propiedad, pero que sin embargo pueden a veces reducir su poder de penetración. Los reveladores pueden ser secos o húmedos (acuosos o no acuosos).

#### **5.2.1.2 Penetrantes Coloreados**

Consisten en disoluciones de pigmentos fuertemente coloreados en disolventes apropiados. El color más utilizado es el rojo y la tendencia más generalizada es hacia los disolventes orgánicos no inflamables (hidrocarburos halogenados). Tienen la ventaja de que no se necesita una fuente luminosa especial para su observación, por lo que son ampliamente utilizados en inspecciones a pie de obra.

Al igual que los fluorescentes, éstos pueden ser lavables con agua, postemulsionables o eliminables con disolvente. Los lavables con agua son menos sensibles por el hecho de que al eliminar el exceso de penetrante con agua a presión también se puede eliminar el penetrante de las discontinuidades. Los reveladores pueden ser secos o húmedos (acuosos o no acuosos). Los húmedos no acuosos son los más utilizados.

Independiente del método, el procedimiento se resume en los siguientes siete pasos:

1. Limpieza de la superficie a inspeccionar.
2. Aplicación del penetrante.- Aplicación del emulsificador en el caso de penetrantes emulsificables.
3. Tiempo de penetración.
4. Eliminación del exceso de penetrante.
5. Aplicación del revelador.
6. Examen e inspección.
7. Limpieza final.

## 5.2.2 Descripción general del Método

### 5.2.2.1 Limpieza antes del Ensayo.

La efectividad del ensayo por líquidos penetrantes, depende mucho de esta etapa inicial. Si el material no está limpio y libre de materias extrañas, estos elementos pueden cubrir y rellenar las discontinuidades con lo que impiden la entrada del penetrante y las discontinuidades quedan enmascaradas.

Los elementos a eliminar antes de la aplicación del penetrante son: pinturas, aceites, óxido, agua, materias extrañas o capas similares. La técnica de limpieza depende del material que vas a ser ensayado y de los elementos a eliminar. Las técnicas de uso normal son las siguientes:

- Limpieza con detergente.
- Vapor desengrasante. Los materiales desengrasantes deben ser compatibles con el material a ensayar para evitar su deterioro o contaminación.
- Limpieza con vapor.
- Soluciones alcalinas o ácidas para eliminar el óxido o escamas

- superficiales. - Disolventes para eliminar la pintura.
- Soluciones ácidas o alcalinas para homogeneizar el grado de acabado de la superficie a ensayar. Después de este proceso hay que usar un agente neutralizante (un ácido o una base)

#### 5.2.2.2 Aplicación del Penetrante

Los penetrantes pueden ser aplicados con spray, por inmersión o extendiéndolo con una brocha o similar. La aplicación por inmersión es sin duda alguna la más efectiva pero no siempre es practicable por el tamaño de las piezas.

Los medios de aplicación y el tiempo de penetración están determinados por el material a ensayar, el tipo de penetrante, la temperatura del material y la temperatura del área de pruebas.



Fig. 5.1 Aplicación de líquidos penetrantes, con spray y brocha

#### 5.2.2.3 Tiempo de Penetración.

El tiempo de penetración debe ser el suficiente para que el penetrante pueda entrar en las discontinuidades más pequeñas y más cerradas. Varía de acuerdo con las experiencias realizadas. Para materiales en bruto 15 minutos puede ser suficiente. En cualquier caso, siempre se deberán seguir las indicaciones del fabricante.

#### **5.2.2.4 Eliminación del exceso de Penetrante.**

Esta operación se realiza cuando ha transcurrido el tiempo de penetración y consiste en limpiar el penetrante que hay en la superficie de la pieza, sin eliminar el que se ha introducido en, las discontinuidades. Es importante la eliminación total del penetrante que está en la superficie del material porque evita la formación de indicaciones no relevantes.

El tipo de penetrante condiciona totalmente el proceso de eliminación del mismo:

##### **5.2.2.4.1 *Penetrantes Autoemulsionables ( $P < 2.1 \text{ Kg/Cm}^2$ ).***

El lavado con agua, es suficiente debido a la presencia del agente emulsionante. En este caso la presión del agua está limitada a 30 PSI para evitar la eliminación del penetrante que se ha introducido en las discontinuidades.

##### **5.2.2.4.2 *Penetrantes Postemulsionables.***

La eliminación del penetrante se hace en dos etapas. Primero se aplica el emulsionador y después se hace el lavado con agua igual que en el caso anterior.

##### **5.2.2.4.3 *Penetrantes eliminables con disolvente***

El disolvente nunca debe aplicarse directamente sobre el material para evitar que el penetrante que se ha introducido en las discontinuidades sea eliminado.

Es importante realizar una inspección visual después de eliminar el penetrante para asegurarse que esta etapa ha sido cumplimentada

satisfactoriamente. Cuando hacemos el ensayo con líquidos penetrantes fluorescentes esta inspección visual debe realizarse con luz negra.

#### **5.2.2.5 Aplicación del Revelador**

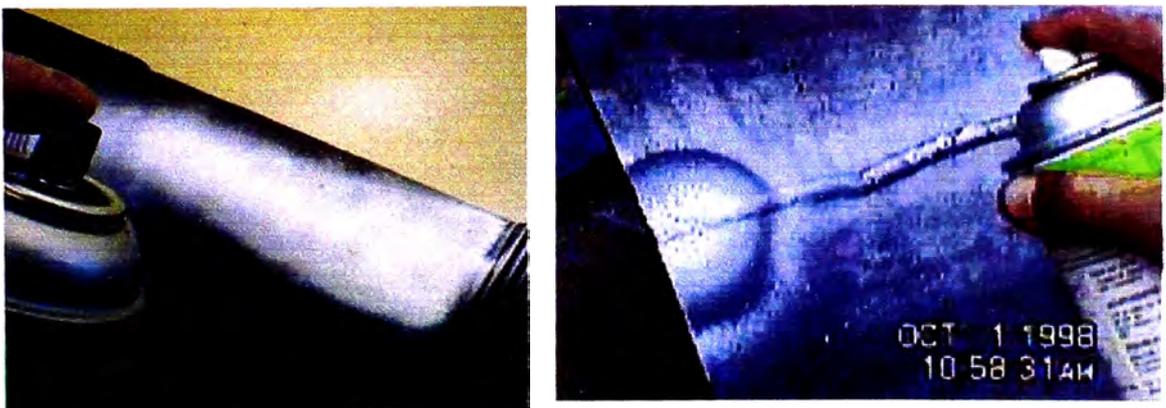
##### **5.2.2.5.1 *Reveladores Secos***

Se puede hacer por inmersión de las piezas en el depósito que contiene el polvo, ya que hay reveladores de este tipo tan ligeros y esponjosos que se comportan prácticamente como un líquido.

Si el revelador es más compacto, puede extenderse sobre la superficie con ayuda de un pulverizador, una brocha muy suave o simplemente espolvoreándolo con la mano, cuidando de eliminar los excesos sacudiendo o golpeando la pieza.

##### **5.2.2.5.2 *Reveladores Húmedos***

Su ventaja más importante es la facilidad con que se aplican. Se aplican por inmersión, proyección con pistola o pintado con brocha y se prestan muy bien a automatizar la instalación.



**Fig. 5.2 Aplicación del revelador**

### **5.2.2.6 SECADO**

Normalmente se hace con aire caliente y a temperaturas no superiores a 225 °F.

### **5.2.2.7 INTERPRETACIÓN**

Después de que el revelador haya secado, se debe dejar pasar suficiente tiempo para que el penetrante salga de las discontinuidades. Este tiempo dependerá del tipo y tamaño de las discontinuidades. Sin embargo, las discontinuidades más cerradas producen una indicación entre 5 y 7 minutos.

Es conveniente observar las indicaciones desde el momento en que empiezan a formarse con el fin de poder determinar mejor su forma. A la vista de una indicación, tres interrogantes se deban plantear para su evaluación:

¿Qué tipo de discontinuidad ha dado origen a la indicación?

¿Cuál es su tamaño?

¿Qué efecto tendrá en el trabajo de la pieza?

Otros factores a tener en cuenta para interpretar una indicación son los siguientes:

Brillo y extensión de la indicación.

Tiempo necesario para que aparezca.

Persistencia, Aspecto de la indicación:

Línea continúa o línea intermitente. - Redondeada.

Puntiformes agrupadas o dispersas. - Difusas.

Aspecto de los bordes.

## **CAPITULO VI**

### **PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA**

Para definir un procedimiento de soldadura, es necesario conocer primeramente los materiales a unir (base y aporte), su composición química, el grado de soldabilidad de estos, el trabajo y exigencias que va a tener el conjunto soldado. Mediante estos factores se establece un procedimiento de soldadura que consta de:

**Preparación de la unión (diseño de junta)**

**Temperatura de precalentamiento y entre pasadas**

**Temperatura post soldadura**

En reparación de componentes mineros por soldadura, se aplican gran variedad de materiales bases (Acero ASTM A514°B, ASTM A517, etc) y planchas de desgaste (Chronit HBN 400, 500, bimetálicas, planchas con carburo de cromo, etc), y otras aleaciones de acero al manganeso. Cada material tiene un procedimiento diferente de soldadura, con temperaturas de calentamiento diferentes para cada caso. Por ello es fundamental saber los principios en los que se basan para calcular estas temperaturas.

#### **6.1 CONCEPTO DE SOLDABILIDAD**

El término soldabilidad solemos relacionarlo a la facilidad con la que un material puede ser unido, alcanzando las propiedades mecánicas que se requieren para su

operación en servicio. Sin embargo, el término soldabilidad abarca mucho más de lo que esta simple definición nos puede advertir a simple vista.

En principio, no podemos afirmar categóricamente que un acero es soldable o no; sino, más bien, existen niveles o grados de soldabilidad que puede tener un acero. Tampoco podemos definir la soldabilidad de manera independiente al proceso de soldadura empleado, a las condiciones en las cuales va a trabajar la unión soldada y tampoco a la técnica que se desea emplear. De qué sirve que unir dos metales a través de un proceso y una técnica determinada para cumplir con una aplicación específica si al final no es capaz de brindar las propiedades mecánicas

Un acero puede ser soldable con un proceso pero con otro no, puede ser soldable para una aplicación pero para otra no, o puede incluso brindar continuidad metálica pero no ser soldable. La soldabilidad, entonces, suele ser considerada bajo los siguientes puntos de vista:

- a. **La soldabilidad operativa** se refiere a la operación de soldeo en sí y estudia las dificultades de su realización, bien sea por fusión o por otros procesos. Es la posibilidad operatoria de unir los metales con el fin de obtener continuidad metálica en la unión.
- b. **La soldabilidad metalúrgica** se ocupa de las modificaciones microestructurales que resultan de la operación de soldeo. Supone obtener las características mecánicas y químicas deseadas en la unión.
- c. **La soldabilidad constructiva o global**, se trata de definir y estudiar las propiedades y condiciones que debe reunir la soldadura para poder entrar en servicio en una construcción determinada. Define las propiedades de conjunto

de la construcción por la sensibilidad de la unión a la deformación y a la rotura bajo el efecto de las tensiones.

La soldabilidad (metalúrgica) busca alcanzar la continuidad metálica de la unión garantizando determinadas propiedades que pueden ser:

- Resistencia estática
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia a la corrosión
- Ductilidad
- Tenacidad
- Aspecto

En general, decimos que un metal o aleación es soldable (metalúrgicamente) si cumple con las siguientes condiciones:

- Que tenga una buena tenacidad después de efectuada la soldadura.
- Que su composición química sea tal que la zona fundida no se haga frágil por dilución con el metal de base.

Los factores más importantes que influyen en la soldabilidad de los metales y aleaciones son los siguientes:

- Las transformaciones que se producen en la zona afectada por el calor
- La composición química de los materiales a unir (metal base y metal de aporte).
- Las tensiones residuales generadas durante la soldadura.
- El procedimiento de soldadura empleado.

Problemas relacionados con la soldabilidad, se pueden presentar durante y

**después de la soldadura**

**Atribuibles al procedimiento de soldadura empleado (durante o inmediatamente después de la soldadura):**

- **Agrietamiento en frío**
- **Agrietamiento en caliente**
- **Desgarre laminar**

**Atribuibles a su comportamiento en servicio (cuando la unión soldada ha sido puesta en servicio)**

- **Agrietamiento por tratamiento térmico**
- **Corrosión**
- **Resistencia estática**
- **Rotura frágil**
- **Resistencia a la fatiga**

## **6.2 CARBONO EQUIVALENTE**

### **6.2.1 Introducción**

Una de las formas de predecir la soldabilidad de los aceros de construcción es a través de la medida de la dureza de las soldaduras en la zona afectada por el calor (ZAC). En las soldaduras, los valores de dureza altos se han considerado como indicadores, en general, de potenciales problemas como la fisuración en frío, comportamiento frágil de las uniones soldadas, corrosión bajo tensión, fragilidad por hidrógeno, etc.

La dureza máxima de un acero depende, principalmente, de su %C. La dureza máxima real bajo el cordón depende no sólo del contenido de carbono

del acero, sino también de su templabilidad bajo los ciclos térmicos presentes durante la soldadura en la que influyen muchos otros factores.

La templabilidad de un acero depende no sólo del %C sino también de los elementos aleantes y de otros factores como el tamaño de grano austenítico.

Por el contrario, en la soldadura se debe evitar cualquier posibilidad de "temple accidental". Es decir, no podemos permitir que, durante el ciclo térmico de la soldadura, alguna región del acero alcance a transformarse en martensita. Por ello, la templabilidad del acero es una cualidad que juega en contra de su buena soldabilidad. Un acero de buena templabilidad es un acero difícilmente soldable

Como el carbono es el elemento que más influye en la templabilidad y en la dureza final de un acero, se ha considerado conveniente denominar "carbono equivalente" (CE) al índice que permite correlacionar la composición química de un acero con su tendencia a presentar estructuras frágiles cuando éste es sometido a un proceso de soldadura.

### **6.2.2 Fórmula del carbono equivalente (ce)**

El cálculo del carbono equivalente representa una forma de describir la composición química por medio de un solo número, a fin de analizar como las variaciones de la misma influyen en el comportamiento del material.

El CE de un acero es una medida de su tendencia potencial a fisurarse durante o después de la soldadura.

1. La fórmula del CE del IIW:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \dots\dots\dots(3)$$

La conocida fórmula deducida por el IIW (Instituto Internacional de Soldadura) para determinar el carbono equivalente, inicialmente propuesta por Dearden y O'Neill en 1940, puede utilizarse para aceros con contenido de carbono superior al 0,18% o en unas condiciones de soldeo que requieran un enfriamiento lento:  $t_{8/5} > 12$  segundos. Todos los elementos de aleación están expresados en % peso.

El criterio que se emplea con el CE es que cuanto más alto sea su valor, el acero tendrá mayor dificultad para ser soldado. Para evitar riesgos de fisuración en frío por la presencia de estructuras frágiles en el cordón de soldadura, se recomienda que el CE no sea mayor a 0,35 - 0,40 (dependiendo del espesor de la plancha y el grado de embridamiento de la unión).

Podemos hacer una clasificación algo genérica de la soldabilidad de los aceros en función de su CE:

1. Aceros con un CE < 0,2-0,3% tienen buena soldabilidad.
2. 2. Aceros con un CE > 0,4% tienen riesgo de fisuración en frío en la ZAC.

Es importante considerar el efecto del espesor de los elementos a soldar así como el tipo de junta, el grado de embridamiento y el proceso de

soldadura a emplear. Todos estos factores deben ser analizados para establecer el mejor procedimiento para ejecutar una soldadura.

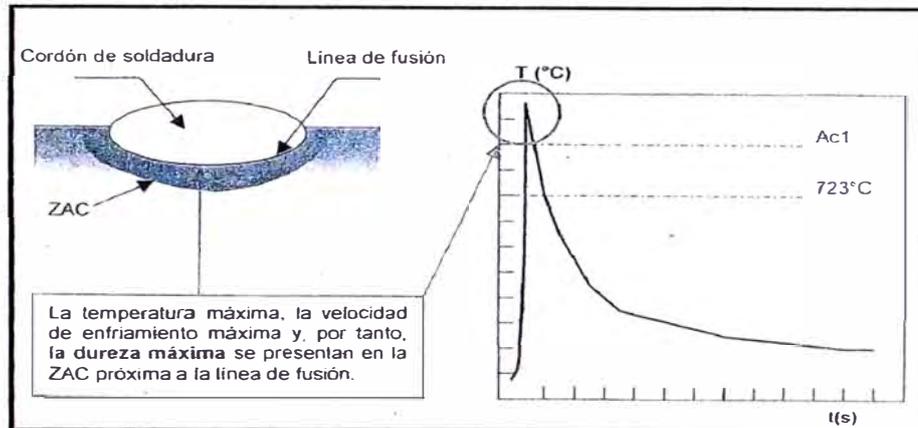
### **6.3 PREDICCIÓN DE LA DUREZA BAJO EL CORDÓN (ZAC)**

Otro criterio que podemos emplear para evaluar los riesgos potenciales de fisuración o fragilidad de una unión soldada de un acero es la estimación de la dureza bajo el cordón (es decir, en la ZAC). La dureza de un acero, después del enfriamiento, depende de su composición química de la microestructura que alcanza durante el calentamiento y de la velocidad de enfriamiento desde aquella temperatura.

En términos generales, podemos decir que la dureza de una aleación está directamente relacionada con su resistencia máxima y tenacidad. Si el acero posee elevadas durezas, tendrá también una elevada resistencia mecánica pero una reducida tenacidad (alta fragilidad). Esto suele ser especialmente grave cuando el acero presenta martensita en su microestructura, que produce un aumento notable de la dureza pero una reducción drástica de su tenacidad, convirtiendo al acero en un material muy frágil y susceptible a la fisuración en frío. Por ello, una forma indirecta de evaluar el comportamiento frágil de una soldadura es a través de la estimación de la dureza bajo el cordón, es decir, en la ZAC.

Para predecir con precisión las durezas en la ZAC de un acero determinado, es necesario no sólo conocer su composición química completa, sino también tener en cuenta su microestructura inicial (que es el resultado de la historia térmica asociada a su fabricación) y comprender cómo se va transformando su microestructura bajo la influencia de los ciclos térmicos durante la soldadura. Todo

ello representa en la soldadura el ciclo térmico y es, finalmente, lo que determina la microestructura final y las propiedades mecánicas de la unión soldada.



**Fig. 6.1** La máxima dureza se presenta debajo del cordón (en la ZAC) justo inmediatamente después de la línea de fusión

La máxima dureza bajo el cordón se observa en la proximidad inmediata a la línea de fusión; ya que, en esa zona, es donde se alcanzan la máxima velocidad de enfriamiento y la máxima temperatura y donde los tiempos de permanencia a alta temperatura son más largos. Estos dos últimos factores provocan un engrosamiento del grano y la disolución y difusión completas de los carburos y otras partículas, lo que aumenta la templabilidad de la microestructura (capacidad para formar martensita durante el enfriamiento). Ver anexos para el cálculo de la máxima dureza bajo el cordón de soldadura.

#### 6.4 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO

La forma más directa de evitar estructuras frágiles es logrando que la velocidad de enfriamiento de la unión soldada sea lo suficientemente lenta para evitar la transformación martensítica. Para alcanzar esta condición muchas veces será necesario precalentar la unión a soldar a fin de reducir el gradiente térmico y, con ello, la velocidad de enfriamiento.

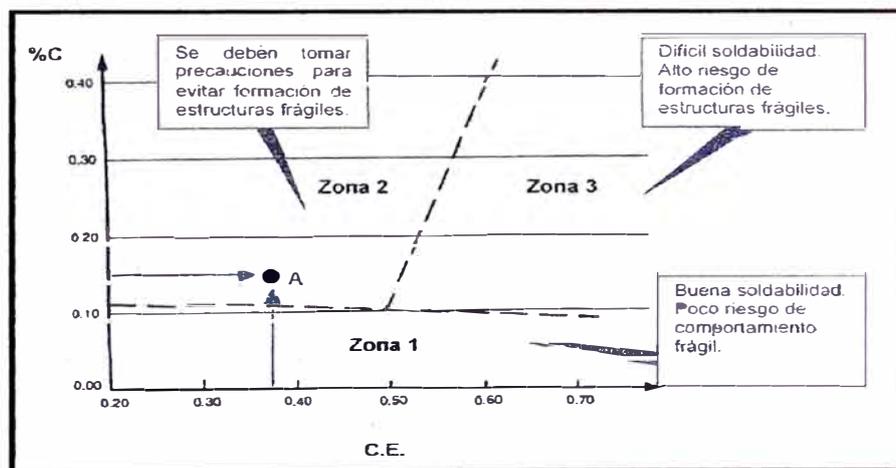
Existen diferentes criterios o métodos para determinar la temperatura de precalentamiento; pero todos ellos se basan en la condición de no generar estructuras frágiles o susceptibles a la fragilización.

#### 6.4.1 Método de AWS-d1.1

Primero se calcula el CE del acero a ser soldado a partir de la siguiente fórmula:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \dots\dots\dots(4)$$

Con el valor del CE y del %C del acero, se localiza un punto en la figura 6.2, donde se determina en cuál de las tres zonas está ubicado el acero que queremos soldar.



**Fig. 6.2** Clasificación del acero por su soldabilidad

De acuerdo a la zona en que caiga el punto, se tendrán los siguientes criterios:

**a. SI EL ACERO CAE EN LA ZONA 1:**

El riesgo de fisuración es casi improbable, pudiendo ocurrir solamente

en caso de que haya presencia de alto % hidrógeno dentro del cordón de soldadura o que se haya soldado empleando un montaje muy rígido (fuertemente embridado) que impida a deformación y que, por lo tanto, genere tensiones residuales elevadas. Vemos que esta zona corresponde a aceros con  $\%C < 0,1$  sin restricción del CE. Para estas aleaciones, la dureza de la martensita no es muy elevada y admite cierto nivel de tenacidad. Por ello, el riesgo de fisuración por estructuras frágiles es **prácticamente** inexistente.

**b. SI EL ACERO CAE EN LA ZONA 2:**

- Se puede emplear el método de control de la dureza en la ZAC para determinar el calor de aporte mínimo en soldaduras de filete de una sola pasada sin precalentamiento.
- Si el aporte de calor no resulta de mucha utilidad práctica, se puede emplear el método del hidrógeno para calcular la temperatura de precalentamiento.
- Para uniones soldadas a tope, se debe emplear el método de hidrógeno para determinar el precalentamiento.
- Para aceros con alto  $\%C$ , se debe emplear tanto el método del control de dureza para determinar el aporte de calor mínimo como el método de hidrógeno para determinar la temperatura de precalentamiento, ya sean uniones soldadas a tope o en filete.

**c. SI EL ACERO CAE EN LA ZONA 3:**

Debe emplear el método de hidrógeno para calcular la temperatura de precalentamiento, especialmente en situaciones en las que el calor de aporte debe ser restringido para preservar las propiedades mecánicas de la ZAC (por ejemplo Se, en aceros templados y revenidos).

Esta zona corresponde a aceros con alto %C y alto CE, es decir, son precisamente los aceros con más dificultad para soldar por su elevada tendencia a la fisuración en frío.

Una vez que hemos definido en cuál de las tres zonas cae el acero que deseamos soldar, vamos a proceder a emplear los métodos recomendados para determinar los parámetros de soldadura que nos brinden un menor riesgo de formación de estructuras frágiles.

#### 6.4.2 Método de Seferian

Seferian, un prestigioso metalurgista francés, propuso la siguiente expresión para estimar la temperatura de precalentamiento ( $T_p$ ):

$$T_p = 350\sqrt{C_T - 0.25} \dots \dots \dots (5)$$

Donde

$C_T$  = carbono equivalente total, que viene representado por:

$$C_T = C_q + C_e$$

$C_e$  = Depende del espesor de plancha

$C_q$  = Depende de la composición química del acero

El factor  $C_e$  tiene en cuenta el espesor de la pieza a soldar y se considera

$C_e = 0.005.e.C_q$ , donde  $e$  = espesor en milímetros. Reemplazando en la ecuación anterior, se tendrá:

$$C_T = C_q (1+0.005e) \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

$$C_q = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni}{18} + \frac{7Mo}{90} \dots\dots\dots(7)$$

Empleando las expresiones (5), (6) y (7). Es posible determinar la temperatura de precalentamiento necesaria en una unión soldada. Es importante indicar que este método propuesto por Seferian no tiene en consideración el aporte de calor (Hnet), por lo que los valores de temperatura (Tp) calculados mediante este método suelen ser algo más elevados de lo realmente necesario (son más conservadores).

## 6.5 TRATAMIENTOS TÉRMICOS POST-SOLDADURA

Los tratamientos térmicos post-soldadura (post weld heat treatment) son ciclos térmicos controlados que, como su nombre lo indica, se aplican inmediatamente después de ejecutada la soldadura. Los principales objetivos de estos tratamientos son los siguientes:

- a) Reducir o aliviar tensiones residuales en la unión soldada producidas por los calentamientos y enfriamientos rápidos y localizados que ocurren por la soldadura
- b) Disminuir la fragilidad de la unión soldada, originada por la formación de estructuras martensíticas en la ZAC. En estas condiciones, el tratamiento post-soldadura actúa más o menos como un tratamiento de revenido reduciendo la dureza del acero.
- c) Mejorar la tenacidad de la unión, elevando la temperatura de transición dúctil - frágil para aceros al carbono o aceros Cr-Mo.
- d) Eliminar o reducir el contenido de hidrógeno difundido en la unión soldada durante el proceso de soldadura para reducir el riesgo de fragilización por

hidrógeno. Cuando éste es su objetivo principal, se le denomina tratamiento de deshidrogenado.

- e) En ciertos aceros como los aceros bonificados, donde el cordón de soldadura debe tener la misma elevada resistencia mecánica que el material base, es necesario someter a la unión soldada a tratamientos térmicos de temple y revenido.

El tratamiento térmico post-soldadura es una secuencia de calentamientos y enfriamientos muy controlados y cada uno de sus parámetros debe ser cuidadosamente establecido. Los parámetros que definen cualquier tratamiento térmico son:

- a. Etapa de calentamiento (velocidad de calentamiento, calentamientos escalonados)
- b. Temperatura de tratamiento
- c. Tiempo de permanencia a la temperatura de tratamiento
- d. Etapa de enfriamiento (velocidad de enfriamiento, enfriamientos escalonados)

Diversos códigos internacionales establecen recomendaciones acerca de las condiciones bajo las cuales se deben ejecutar los tratamientos térmicos post-soldadura. Estas condiciones dependerán del espesor de la pieza a soldar y del tipo de aceros involucrados. La tabla 6.1 resume una serie de recomendaciones para la ejecución de estos tratamientos en aceros al C y C-Mn.

**Tabla 6.1 Recomendaciones para tratamientos térmicos post-soldadura de aceros al C y C-Mn**

Etapa	ASME sección VIII Recipientes a presión	BS 5500 Recipientes a presión	ANSI B 31-3 tubería
Calentamiento	Calentar por encima de 427°C a una velocidad no mayor a 222°C/h o (5644J/t) °C/h, donde t es el espesor de la plancha en mm.	Calentar por encima de 427°C a una velocidad no mayor a 222°C/h hasta 25 mm. Por encima de 25 mm de espesor, el calentamiento no será mayor a 55°C/h o (5500/t) °C/h, donde t es el espesor de la plancha en mm.	No específica
Temperatura de tratamiento	T > 593°C	580° - 620°C	595°-660°C
Tiempo de mantenimiento	- Si el espesor es < 50 mm, 1h por cada 25 mm de espesor tiempo mínimo: 15 min. - Si el espesor es > 50 mm, (2h+15") por cada 25 mm de espesor.	- Si el espesor es < 35 mm, 2 1/2 min por cada mm de espesor tiempo mínimo: 1 h - Si el espesor es > 35 mm, Tiempo mínimo: 90 min.	1h por cada 25 mm de espesor. Tiempo mínimo: 1 hora.
Enfriamiento	Enfriar hasta los 417°C a una velocidad no mayor a 277°C/h o (707/t) °C/h.  Por debajo de los 417°C, enfriar al aire.	Enfriar hasta los 400°C a una velocidad no mayor a 275°C/h hasta un espesor de 25 mm.  Por encima de 25 mm, la velocidad de enfriamiento no será mayor a 55°C/h o (6875/t) °C/h. Debajo de los 400° C, enfriar al aire.	No específica
Mínimo ancho de calentamiento	Ancho del cordón + 3 t  Proteger la zona tratada aislándola del medio para evitar su enfriamiento brusco	5 R x t.  La temperatura a los extremos de la zona calentada deberá ser la mitad de la temperatura en el centro R = radio interior del recipiente	Ancho del cordón + 25 mm a cada lado

Fuente: Rionda, G. "Criterios básicos para la aplicación de tratamientos térmicos post-soldadura", *Soldadura y tecnologías de unión* año VII. N°. 40 1996 .9-14.

Es interesante observar que las recomendaciones de los diferentes códigos internacionales son bastante similares. Por ejemplo, para el código ASME VIII, el tiempo mínimo de permanencia a la temperatura de tratamiento post-soldadura para una plancha de 25 mm de espesor será de una hora; mientras que, para el código británico BS 5500, el tiempo mínimo recomendado será de  $2.5 \times 25 = 62,5$  min., es decir una hora.

**La tabla 6.2 resume las recomendaciones de diversos códigos internacionales sobre las temperaturas de tratamiento post-soldadura para diferentes tipos de aceros. Tabla 17 Temperaturas de tratamiento post-soldadura recomendadas por diferentes códigos**

Tipo de acero	Temperaturas de tratamiento post soldadura	
Aceros al C y C-Mn	Ver tabla anterior	
Aceros Mn-112Mo-Ni-V	ASME VIII	T > 595°C
Aceros C-Mo (0,5%Mo)	BS 550 (inglés)	650° - 680°C
	ASME VIII (USA)	T > 593°C
	AD-MERK (alemán)	600° - 650°C
	CODAP (francés)	580° - 620°C
	ISO (internacional)	580° - 620°C
Aceros Mn-Mo, Mn-Mo-V	ASME VIII (USA)	T > 593°C
	CODAP (francés)	600° - 640°C
Aceros 1/2Cr-1/2Mo y 1 Cr-1/2Mo	BS 550 (inglés)	630° - 720°C
	ASME VIII (USA)	T > 595°C
	AD-MERK (alemán)	650° - 720°C
	CODAP (francés)	630° - 680°C
	ISO (internacional)	620° - 660°C
Aceros 21/4Cr-1 Mo y 5Cr-1/2Mo	BS 550 (inglés)	630° - 750°C
	ASME VIII (USA)	T > 675°C
	CODAP (francés)	670° - 710°C
	ISO (internacional)	625 - 750°C

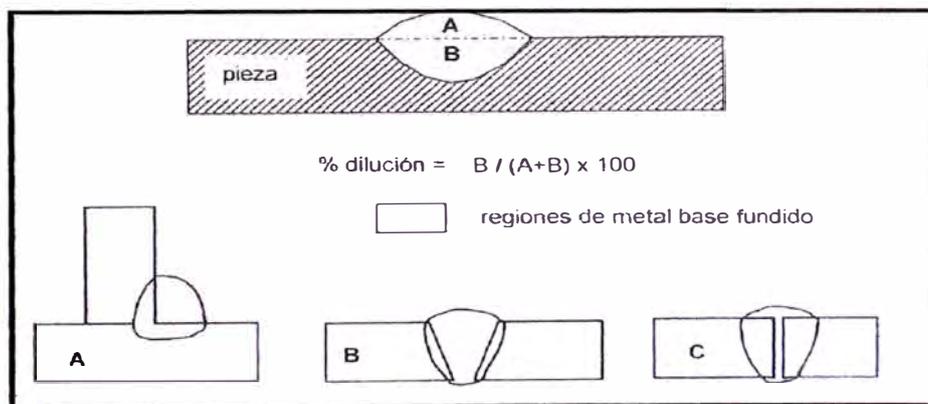
Fuente: Rionda, G. "Criterios básicos para la aplicación de tratamientos térmicos post-soldadura", Soldadura y tecnología de unión, año VII N°40, 1996, p 9-14.

## 6.6 DILUCIÓN

Durante la soldadura por fusión, el metal de cada una de las partes a unir y el de aporte (si se utiliza) se funden conjuntamente formando el baño de fusión o metal de soldadura. Tras la posterior solidificación, el metal de soldadura resultante tendrá bien una sola fase o una mezcla de dos o más fases. Una fase puede ser una solución sólida (Cu-Ni), un compuesto intermetálico (CuAl<sub>2</sub>) o un compuesto intersticial (Fe<sub>3</sub>C, TiC). El número, tipo, cantidad y disposición metalúrgica de las fases presentes determinará, en gran parte, las propiedades

y calidad del metal de soldadura. Las velocidades de solidificación y enfriamiento también tienen un efecto significativo sobre las fases presentes y la microestructura del material.

En la soldadura de metales disímiles, el metal de aporte debe ser capaz de alearse fácilmente con los metales base para producir un metal de soldadura que tenga una matriz dúctil y continua. Específicamente, el metal de aporte debe ser capaz de aceptar la dilución (aleación) por los metales base sin producir una microestructura propensa a la fisuración. Tal microestructura del metal de soldadura debe ser también estable bajo las condiciones que se esperan en servicio. La resistencia del metal de soldadura debe ser igual o mayor que la del metal base más débil.



$$\% \text{ Dilución} = \frac{\text{Área Sombreada}}{\text{Área total del cordón de soldadura}} \times 100$$

**Fig. 6.4** Efecto de la dilución del metal de aporte por la mezcla con los metales base X 100

En las figuras inferiores (A, B y C), se presentan uniones soldadas en las que se observan las porciones del metal base que se han fundido (áreas sombreadas) y, por tanto, han contribuido a la formación de la zona fundida mezcla.

## **CAPITULO VII**

### **MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR SOLDADURA**

El mantenimiento correctivo por soldadura de equipos de acarreo de mineral en minería a tajo abierto es variado, debido a la diversidad de equipos que intervienen y a los distintos tipos de desgaste que sufren cada componente, los principales equipos presentes en la gran minería son:

Camiones para el acarreo de mineral ( Komatsu, Cat, Titán, Dresser, etc.)

Palas para el llenado del mineral a los camiones ( P&H, Bucyrus, etc.)

Cargadores frontales (L1400, Cat, komatsu, etc.)

Tractores (Komatsu, Cat, etc)

Perforadoras

Locomotoras.

Cada equipo tiene su función para el cual fue diseñado, y cada parte de equipo tiene un desgaste diferente:

Tolva:

El desgaste que mas sufre es la tolva debido al constante acarreo de mineral, abrasión e impacto que sufre es su superficie

Rajaduras o fisuras presentes en el chasis y sub chasis debido a la fatiga del material y a los esfuerzos de carguío.

**Palas:**

El mayor desgaste lo sufre el cucharón y compuerta, debido a que permanentemente esta en contacto con el mineral abrasivo, las parte que mas sufren por abrasión son los labios , cuerpo central y la compuerta

El brazo de empuje, que soporta al cucharón y la compuerta, tiene un par de racks o cremallera que permite la acción de carguío, para cada llenado o vaciado, el piñón motriz jala y empuja los brazos para dar la inclinación necesaria al cucharón. En este componente están presentes dos tipos de desgaste, en el rack desgaste en dientes por contacto entre piñón y cremallera, y en la estructura del brazo fisuras por fatiga de material, el constante peso del cucharón y del mineral.

Tumbles o tambores impulsores de pala, son sprockets que dan el movimiento a toda la pala, tienen como cadena a la sucesión de zapatas. Aquí el desgaste esta en los dientes del tumbler por el contacto metal metal entre este y las zapatas.

Zapatas de pala, llevan en todo momento el peso de toda la pala, están en contacto con el tumbler y la rueda guía en los desplazamientos que realiza las palas, y la abrasión del terreno

**Cargadores Frontales:**

El mayor desgaste lo sufre el lampón, por el constante carguío de mineral, el cuerpo central y el labio sufren abrasión

Chasis y sub chasis sufren fatiga por la constante operación.

**Tractores:**

sufre abrasión en el bucket y en los brazos del mismo

**Locomotoras:**

**Al igual que los camiones sufren abrasión por el mineral que transporta en las tolvas**

**En este capítulo trataremos los procedimientos de reparación de los principales componentes de equipos de acarreo de mineral.**

## **7.1 REPARACIÓN DE TOLVA DE VOLQUETE**

### **7.1.1 Normas Técnicas**

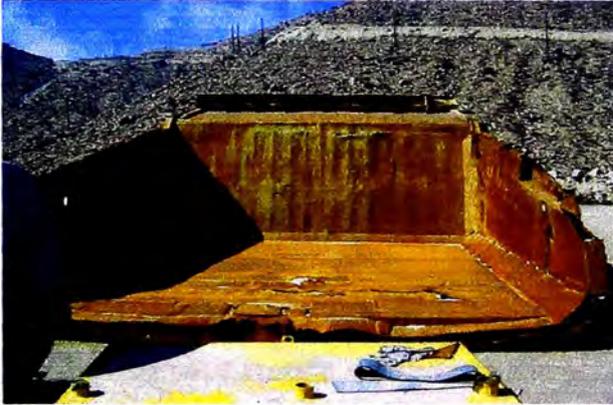
**Toda soldadura se hará de conformidad a la American Welding Society y de acuerdo a su norma AWS D1.1/1.1M – 200X Structural Welding Code – Steel.**

**Los materiales de aporte estructurales, deberán estar sujetos a las siguientes normas:**

**AWS/ASME A5.1 – 91 / A5.5. Specification of filler metal for carbon Steel & low alloy steel, Shield metal Arc Welding Process. Electrode E7018**

**AWS/ASME/SFA A5.20 / A5.29. Specification of filler metal for carbon Steel & low alloy steel, Flux Cored Arc Welding Process. Wire E71T-1.**

### 7.1.2 Estado Inicial de la Tolva antes de la Reparación:



**Fig. 7.1** laterales y piso de tolva pecho totalmente deteriorados



**Fig.7.2** Canales de Canopo deformados, de tolva con plancha base deteriorada



**Fig. 7.3** Canal lateral Izquierdo deteriorado



**Fig.7.4** Canales lateral derecho final de cola muy deteriorados

### 7.1.3 Programa de Reparación.

#### 7.1.3.1 Zona de la visera (Canopy)

- Bajar el Canopy o Visera al piso y retirar las planchas bases deterioradas o desgastadas para cambiarlas por nuevas.



**Fig. 7.5 Retiro de toda la plancha base de la visera o canopy**

- Retiro de canales y/o ángulos dependiendo del estado de los mismos, esmerilar la base, reparar los canales y armarlos
- Reparación de la parte superior y los laterales con planchas nuevas usar acero ASTM 514 de 1/4"



**Fig. 7.6 Instalación de nueva plancha base en Canopy**

Se instalan templadores en el chasis del pecho y el Canopy para evitar deformaciones por soldadura, los canales que se encuentran abollados o muy deteriorados se cambian totalmente o se realizan parches locales, teniendo siempre presente la no formación de uniones en ángulo de 90°,

todas los vértices deben de ser curvados para no concentrar tensiones, los mismos que por el trabajo continuo formaran fisuras

- Retiro de los protectores de cabina y de tanque de aire, reparación de zonas deterioradas con planchas nuevas y armarlas, ambos lados deben contar con dicha protección.
- Colocación de refuerzos, 9 platinas equidistantes entre el Canopy (parte superior) y la pared frontal (zona central).
- Reparación del ángulo frontal superior deteriorado por el uso según como sea necesario.
- Reinstalación de Canopy o Visera, en forma nivelada.
- Reparación de rajaduras en general presentes en la estructura de la visera.

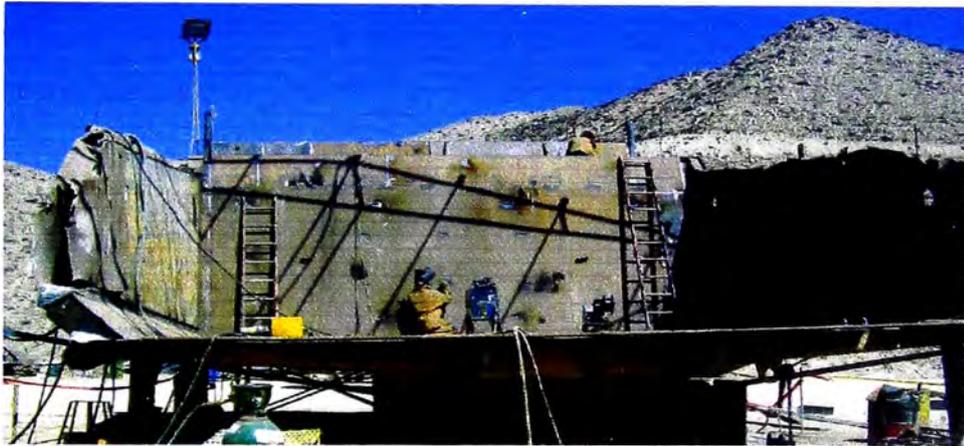
#### 7.1.3.2 Zona del pecho de Tolva

- Retiro de pared frontal de la Tolva



**Fig. 7.7** Retiro de toda la plancha base de pecho o frontal de tolva

- Retiro de canales verticales para repararlos e instalarlos o cambiarlos de ser necesario.
- Cambio las planchas de base de 3/8" ASTM 514 y colocar plancha de desgaste de 3/8" BHN 500, (planchas enteras).



**Fig. 7.8 Instalación de nueva plancha base**

La instalación de la nueva plancha base en acero ASTM A514<sup>º</sup>B, en espesor de 3/8" se realiza perfilando completamente todos los canales verticales, acercando lo mas posible la plancha a cada canal sin dejar vacíos entre canal y plancha, esto se logra mediante el empleo de cuñas que por presión de comba se logra unir.

Para el apuntalamiento en general se usa electrodo básico tipo E7018, para el soldeo se realiza mediante el proceso tubular con el alambre E71T-1, en posición vertical ascendente, polaridad inversa.

La plancha de revestimiento se instala encima de la plancha base, para que el acople sea lo mas pegado posible también se usan cuñas y golpes de comba, se realiza agujeros en forma elíptica conocidos como agujeros

de ojo chino de 2" x 3", en una plancha de 96"x 240" se perforan alrededor de 8 a 10 ojos chinos uniformemente distribuidos.

La soldadura continua se realiza en los extremos de las planchas, los agujeros de ojo chino solo se sueldan los bordes no es necesario que todo el agujero sea rellenado por soldadura.

Para la soldadura tanto de la plancha base como de la plancha de revestimiento se debe tener presente el precalentamiento para cada caso, tanto al momento del apuntalamiento como también en el soldeo final.

Las temperaturas mas usuales para el material base, plancha ASTM A514°B es de 100°C a 120°C y una temperatura entre pases no superior a 150°C a 200°C.

Para soldar las planchas antidesgaste, en estas zona se usan los chronit 400HBN en un espesor de 3/8", la temperatura de precalentamiento debe estar entre 180°C a 220°C, no se debe de soldar a una temperatura inferior, debido a que se corre el riesgo de fisuración en frío después de la soldadura.

- Retiro y reparación de soportes protectores de barro, reinstalarlos con cartelas nuevas.
- Instalar la pared frontal, manteniendo el ángulo y medidas y originales.
- Colocar platinas de refuerzo entre pared frontal y el Canopy.

### **7.1.3.3 Zona del piso de Tolva, Canalones y Sub Chasis.**

- Fijación y nivelación de chasis de tolva sin variar alineamiento de eje de agujeros de tolva.
- Retiro de todas las planchas de desgaste y planchas de base, limpiar el área



**Fig. 7.9 Retiro de plancha base del piso de tolva**

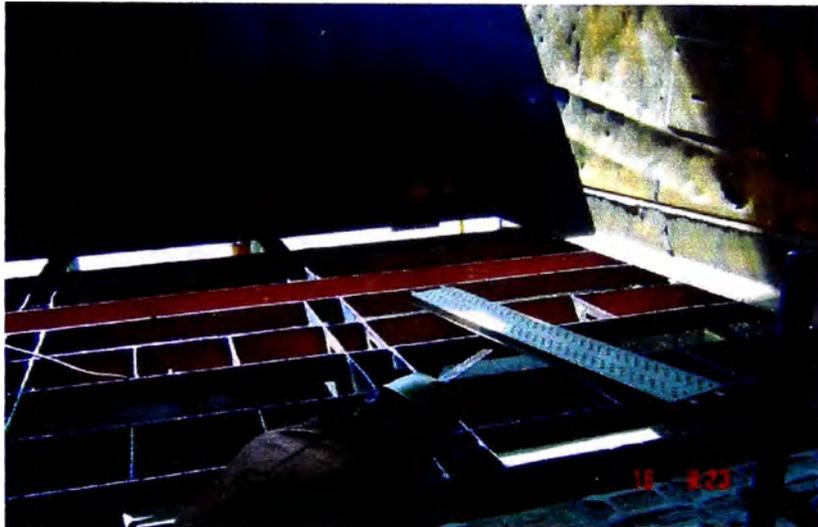
El retiro se realiza mediante el uso de oxicorte con presiones reducidas de oxígeno en 40 lbs/ pulg<sup>2</sup> y de acetileno en 10 lbs/ pulg<sup>2</sup>, para este método de corte el operario debe de tener un adiestramiento tal de no cortar los canales al momento de cortar las planchas deterioradas.

Otro método es el usado con electrodos de carbón y aire comprimido, en este caso se biselan las uniones por soldadura, el electrodo mayormente usado es el Arcair de 9mm x 35mm , una presión de aire de 90 PSI y caudal de 200 CFM, la regulación de corriente se hace en un valor de 450A.

En ambos casos se debe tener especial cuidado de no cortar los canales del chasis.

Una vez que las planchas deterioradas son retiradas, se nivela todo el piso de la tolva, mediante punteros láser o usando cordel para tal fin.

Si se encuentra un desnivel en la estructura del chasis, se cortan las soldaduras del chasis central y los canales y se procede al alineamiento.



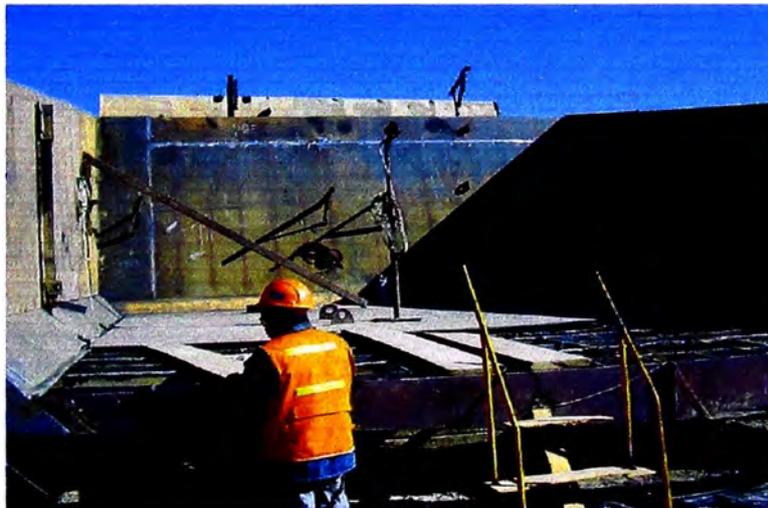
**Fig. 7.10 Nivelamiento de todo el piso de tolva**

- Reparación de canales de soporte de piso (chasis principal) y reforzamiento con planchas nuevas de 3/8" ASTM 514 e instalación de cartelas. Cambio de canales nuevos de ser necesario.
- Reparar rajaduras de chasis de acuerdo a la inspección y reforzar interiormente con plancha de 3/4" ASTM 514.
- Revisión de cajas de amortiguación acústica / vacío, realizar la limpieza completa y reparación de la misma, verificar los orificios de salida acústica que estén libres de obstáculos.
- Reforzamiento y/o cambio de canal en zonas (parte baja) donde actúan los pistones de levante de tolva (lados RH y LH), con plancha de 1/2" y cateto cordón de 1" y colocar cartelas interiores de 1" de espesor.



**Fig. 7.11** Colocación de cartelas en canales, lado de acción de los pistones de levante de tolva

- Nivelación de canales de chasis en el plano horizontal, realizar ajustes tantas veces sea necesario, no debe haber desviaciones mayores a  $1/4''$ .
- Instalación de las planchas de base ASTM 514 de  $3/4''$  en todo el piso.



**Fig. 7.12** Instalación de planchas bases de piso en material ASTM A514°B

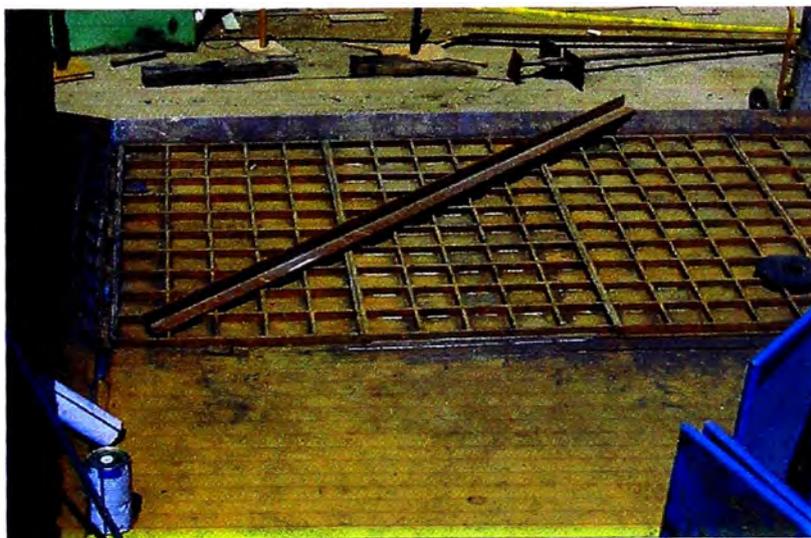
Antes de instalar las planchas bases se deben de retirar las impurezas recogidas en el proceso del corte y biselado tanto con arcair como por oxicorte, usando un esmeril eléctrico.

Los canales del chasis generalmente son de  $3/8''$  de espesor, al biselar el lado de contacto con la plancha se debe tener cuidado de no rebajar

demasiado este espesor, debido a que luego se procederá al soldeo, pudiendo fragilizar dicha plancha por efecto de la temperatura

La plancha base debe de quedar lo mas pegado posible a los canales, para ello se usan cuñas y golpes de comba y/o gatas hidráulicas de 60 toneladas; cuando se realiza un buen nivelamiento del chasis del piso no se tiene dificultad al pegar las planchas, cuando el chasis tiene cierto desnivel, la junta queda muy embrizada, lo que hace crecer el riesgo de fisuras en frío en los cordones de soldadura, estos aparecen mucho después de la soldadura y con el trabajo continuo, su aparición es en menor tiempo. Por lo que no es recomendable pegar la plancha base cuando la estructura del chasis esta desnivelado, el error permitido es de  $\frac{1}{4}''$  a  $\frac{1}{2}''$ .

- Colocación de planchas nuevas de desgaste sobre la base, plancha de  $\frac{3}{4}''$  BHN 500 en la parte delantera, zona central y cola.



**Fig. 7.13** Instalación de planchas antidesgaste y entramado en zona final de cola

Las zonas que mas sufren abrasión por el mineral son las dos terceras partes de la tolva empezando por la cola, el ultimo canal de cola es el que mayor desgaste sufre, por ello se instalan un entramado como el mostrado en la figura 8 formado por platinas de 2" x 1"; el entramado es un cuadrado de 12" x 12" en material de acero Chronit 500 HBN, este entramado esta sobre otra plancha antidesgaste de ½" o ¾" en 400 HBN, y esta a su vez sobre una plancha base en ASTM A514°B de ¾", todo este refuerzo es por la abrasión severa que sufre esta parte.

El soldeo de las planchas base y antidesgate se debe de hacer teniendo cuidado el precalentamiento de dichas planchas.

- Cambio de platinas de 45° a lo largo de la unión piso y pared frontal, con planchas de 12" ancho x 3/4" espesor.
- Colocación de plancha de 1-1/2" x 2" x 18" (huesos) según plantilla, sobre el refuerzo de unión piso y pared (zona de cola).
- Rellenar y maquinado todos los agujeros de bocinas de tolva según como sea necesario, para esto es necesario el alineamiento de agujeros previo al maquinado.

Para el maquinado de bocinas, primeramente se debe de soldar todas las planchas del piso, los canales del chasis y los de desgaste incluyendo los del wafer o estructura entramada en la tercera parte final del piso de tolva.

Se instala una barrenadota portátil, centrando el eje a través del uso de conos centradores, teniendo cuidado del alineamiento de los agujeros, se

•

sueldan las chumaceras de apoyo para que la barra no vibre. Luego se procede a dar el pre maquinado que consiste en el retiro de material fatigado un espesor de 3 mm.

Se retira la barra y se procede al relleno de alojamientos, el material de los alojamientos es ASTM A514°B, por ello se procede al precalentamiento a e 80°C a 100°C, para inicial la soldadura.

Se pueden aplicar los procesos de arco eléctrico o tubular, se usa un electrodo tipo E7018 o 71T1 respectivamente, Los soldadores encargados de esta tarea deben de tener experiencia en el relleno de alojamientos y en soldeo en posición 6G, si los cordones de soldadura contiguos no tienen una buena fusión, se tendrá problemas de grietas al momento de dar el maquinado final.



**Fig. 7.14** Aspecto del alojamiento una vez finalizado el proceso de relleno de alojamientos.

Culminado el proceso de rellenado, se procede a la instalación de la barra de la barrenadota para dar el maquinado final.

El maquinado tener un ajuste de 4 mil para que exista un apriete entre bocina y alojamiento. Una vez terminado el mecanizado del alojamiento se procede a instalar sus respectivas bocinas, para el cual se debe de enfriar la bocina con nitrógeno o CO<sub>2</sub> para que se contraiga, a una temperatura de -80°C por un periodo de 20 min. A la vez se calienta a 150°C – 200°C el alojamiento para que se dilate y aumente sus dimensiones,

La instalación se debe hacer en un lapso de tiempo mínimo para asegurar la contracción de la bocina y el dilatamiento del alojamiento.

Una vez Instalado las bocinas se sueldan argollas de seguridad o seguros de bocina, en ambos extremos. Los anillos son formados por el núcleo de electrodos E7018 de ¼", el soldeo de dicho seguro no es total, se deja un espacio sin soldar de 1", con el objeto de dilatación y evitar fisuras por embridamiento.

- Pintado y limpieza de tolva.

#### **7.1.3.4 Zona de Laterales Derecho e Izquierdo**

- Retiro de pared en ambos lados (Derecho e Izquierdo)
- Reparación y/o cambio de plancha base de las paredes en toda su longitud con ASTM 514 de 1/2".



**Fig. 7.15** Retiro de plancha base de laterales y retiro de canal lateral superior

Se retira toda la plancha base y el revestimiento deteriorado y los canales laterales superiores, los canales que quedan, se deben de alinear respecto a la tolva y respecto al otro lateral, siempre se debe de respetar el paralelismo entre ellas.

También para tal proceso se usan electrodos de carbón y equipos de oxicorte, luego de una limpieza con esmeril estará listo para la colocación de la nueva plancha base.

- Reparación de canales verticales y horizontales exteriores, en su totalidad los que están muy dañados (golpeados y/o delgados) reemplazar con canal nuevo.



**Fig. 7.16** Instalación de nueva plancha base en laterales

- Colocación de platinas BHN 500 de refuerzo vertical de 4" de ancho x 1/2" de espesor x 6" de espacio entre platinas, en la pared interior ambos lados (izquierda y derecha). Dejar libre los primeros 6' medidos desde la pared frontal.



**Fig. 7.17** Instalación de platinas antidesgaste, estos sirven para proteger el material base de la abrasión.

- Preparación e instalación de platinas de 8" x 3/4" BHN 400 y soldarlas en la unión con la pared frontal

- Reparación con canales o ángulo, la arista superior de las paredes laterales (zona de impacto). Colocar platinas de  $\frac{3}{4}$ " en posición horizontal superior de la pared e instalar cartelas de refuerzo en la parte interior.
- Reparar o cambiar porta faros posteriores.
- Retirar protectores laterales de llantas, de acuerdo a indicaciones de supervisión de SPCC, fabricar e instalar bases de bota piedras.

#### **7.1.4 Estado final de la Tolva después de la reparación:**

Antes de la terminación de los trabajos de reparación, se deben de inspeccionar visualmente todas las uniones soldadas, en especial en aquellos lugares donde existe mayores esfuerzos, zona del piso de la tolva, zona de apoyo de las los pistones de levante y volteo, de ser necesario se usa líquidos penetrantes para revelar las fisuras que podrían aparecer por presencia de hidrogeno en la soldadura.

Ninguna fisura es aceptada en este proceso de reparación, las fisuras se deben de biselar mediante el proceso de arcair, hasta eliminarlo por completo, luego se limpia dicho bisel con esmeril eléctrico para posteriormente soldarlo, en este paso tener bastante cuidado en el precalentamiento de las planchas.

Una vez que todas las fisuras en la estructuras hayan sido resanas, se toman las medidas finales de la tolva, están deben ser iguales a antes de realizar la reparación, se admiten errores de medida en un 0.5% debido a que se trata de estructuras grandes.

El paralelismo de la tolva se debe dar entre piso y Canopy, entre ambos laterales, entre laterales y Canopy.

En Southern Peru Copper Corporation, usan varios volquetes, entre los principales tenemos Komatsu K930E, Komatsu K830E, CAT 793C, Loreau Titan, Dresser. Todas las tolvas de esos volquetes son diferentes ya sea en tamaño o en geometría, pero todos siempre tienen los mismos desgastes, y el grado de deterioro de estas es casi similar, por ello en reparaciones generales se sigue el mismo principio descrito anteriormente, para cada modelo se tiene planos de tolvas con medidas originales para el más fácil mantenimiento y conservación de medidas originales.



**Fig. 7.18** Vista frontal de tolva terminada



**Fig. 7.19** Vista lateral de tolva terminada

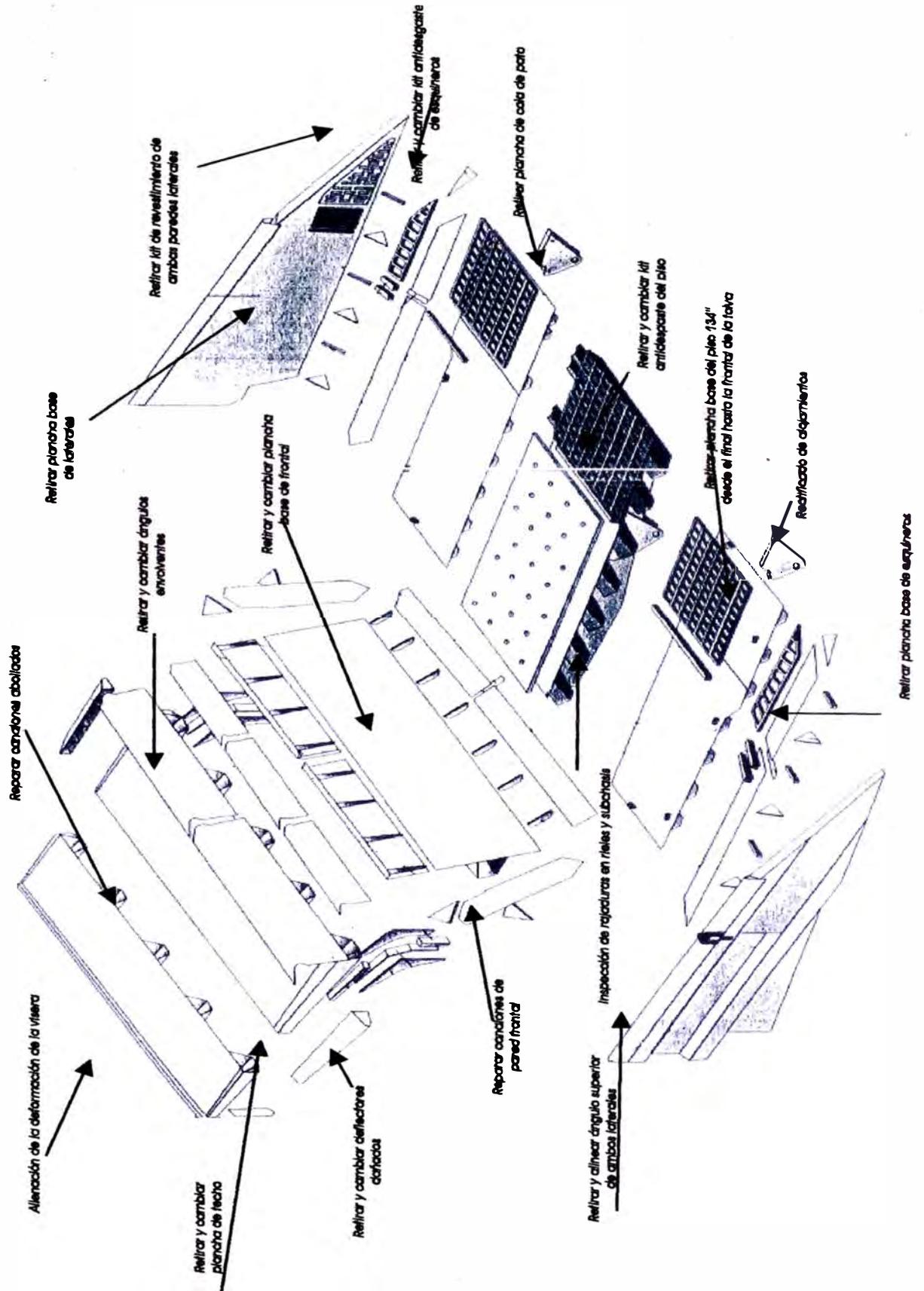


**Fig.7.20** Acabado final de la tolva, luego de la reparación

Para tales reparaciones, se programa un cronograma de trabajo para cada labor con formatos de avance de obra y porcentajes de desarrollo, destinando a un personal capacitado con amplia experiencia en soldadura, donde la mayoría de ellos son soldadores homologados en posiciones 6G, 4G.

Todos estos puntos de referencia se muestran en el grafico destacando todas las partes a cambiar:

## 7.1.5 Partes de la Tolva CAT 793c



### 7.1.6 Cronograma de trabajo para la Reparación

**Responsable:** *Ing. Juan Carlos Salas E.*  
**Cargo** : *Residente de obra*

**Personal para reparación:**

Trabajo realizado	Personal destinado 2 turnos	
1. Desmontaje de material desgastado.	a. Desmontaje en Canopy	• 2 armadores, 1 ayudante.
	b. Desmontaje en Frontal	• 2 armadores, 1 ayudante.
	c. Desmontaje en Piso de tolva.	• 3 Armadores, 2 soldadores, 2 ayudantes.
	d. Desmontaje en paredes laterales	• 2 Armadores, 2 soldadores, 1 ayudante.
2. Reparación de canalones, subchasis e inspección de fisuras en general.	a. En Canopy	• 2 Armadores, 1 soldador
	b. En pared frontal.	• 2 Armadores, 1 soldador
	c. En piso de tolva	• 2 soldadores, 2 armadores, 1 ayudante
	d. En paredes laterales	• 2 soldadores.
3. Preparación, habilitación y corte de planchas y accesorios.	a. Para Canopy.	• 2 Armadores, 1 ayudante
	b. Para pared frontal	• 2 Armadores, 2 soldadores.
	c. Para el piso de la tolva	• 4 Armadores, 1 ayudante.
	d. Para paredes laterales.	• 4 Armadores, 4 soldadores
4. Armado y enchaquetado de planchas y accesorios	a. Para Canopy.	• 2 Armadores, 2 Soldadores, 1 ayudante
	b. Para pared frontal.	• 3 Armadores, 3 soldadores, 1 ayudante
	c. Para el piso de la tolva.	• 4 Armadores, 4 soldadores
	d. Para paredes laterales.	• 4 Armadores, 4 soldadores, 1 ayudante.
5. Soldadura en general	a. En Canopy	• 3 Soldadores, 1 ayudante
	b. En pared frontal.	• 3 Soldadores, 1 ayudante
	c. En piso de tolva	• 4 Soldadores, 2 ayudantes
	d. En paredes laterales	• 4 Soldadores, 2 ayudantes
6. acabados finales y control de calidad	a. En Canopy	• 1 Soldador, 1 inspector
	b. En pared frontal.	• 1 Soldador, 1 inspector
	c. En piso de tolva	• 1 Soldador, 1 inspector
	d. En paredes laterales	• 1 Soldador, 1 inspector

### 7.1.7 Formato de porcentaje de avance de reparación de tolva CAT 793c

<b>Labor Realizada (4ta tolva )</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8-20</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
1 Desmontaje de material desgastado	█													
2 Reparación de canalones		█												
3 Preparación de planchas			█											
4 Armado y enchaquetado				█										
5 Soldadura en general					█									
6 Control de calidad						█								
7 Rectificado y barrenado			█											
8 acabados finales											█			
9 Colocación accesorios												█		
<b>avance</b>	<b>8%</b>	<b>15%</b>	<b>20</b>	<b>30%</b>	<b>40%</b>	<b>55%</b>	<b>65%</b>	<b>80%</b>	<b>85%</b>	<b>93%</b>	<b>93%</b>	<b>96%</b>	<b>98%</b>	<b>100%</b>
Avance del trabajo hasta hoy	<b>100%</b>													

#### Reporte de Incidentes y retrasos:

<b>Tema</b>	<b>#</b>	<b>Motivo</b>	<b>Hrs de perdida</b>
<b>Retrasos</b>			
<b>Incidentes</b>			
<b>Accidentes</b>			
<b>otros</b>			

Observaciones:

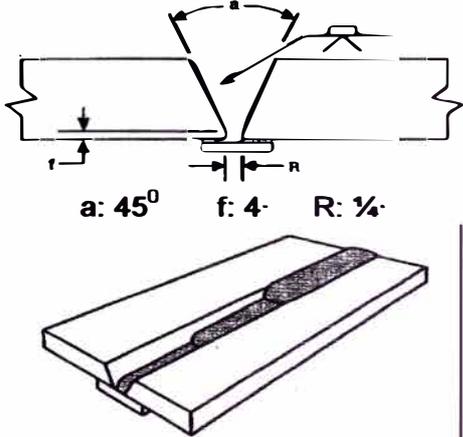
Revisado por:

### 7.1.8 Procedimiento de Soldadura para reparación de Tolva

Para la reparación de la tolva se cuenta con procedimientos específicos de soldadura para cada unión, estas han sido calificadas según la norma AWS D1.1 y se muestran:

#### 1. WPS para la unión de piso de la tolva:

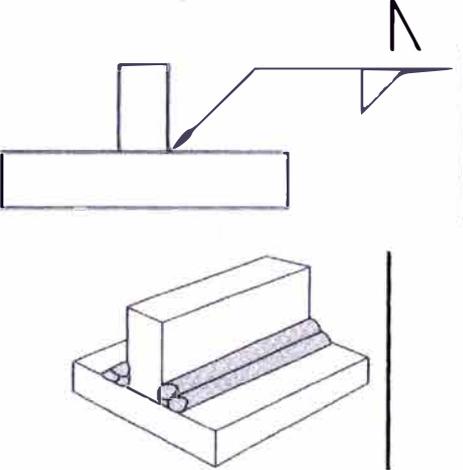
ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – WPS SEGÚN Norma AWS D1.1 - AWS B2.1-1-020				WPS No	001
				Hoja	
				Proyecto	SPCC tolva CAT 793C
Compañía		JAVFRANK Contratistas	Autorizado por		EXSA S.A.
Proceso	FCAW	Posición	1G		
Mat. Base	ASTM 514	Espesor	19 mm		
Apertura de raíz	¼"	Angulo	45°		
Respaldo	Si	Material de respaldo	A – 36		
Material de aporte	AWS A5.2	Clasificación	E 71T-1		
Gas de protección	MIX 25%CO2 – 80%Ar.	Caudal	15 – 30 Lt/min.		
Pre calentamiento	100 – 120 °C	Temperatura de interpase	150 – 200 °C		
Post calentamiento	100 °C	Tiempo de post calentamiento.	20 – 30 min.		
Técnica operativa	Sin oscilación	Transferencia	Spray		
Corriente	DCEP	Stick-Out	10 – 15 mm		
Pasadas	Φ (mm)	Corriente (AMP)	Tensión (voltios)	Veloc. De soldadura	Energía aportada
1er pase – 3er pase	1.6	210 – 250	21 – 28	25 – 30 cm. /min.	



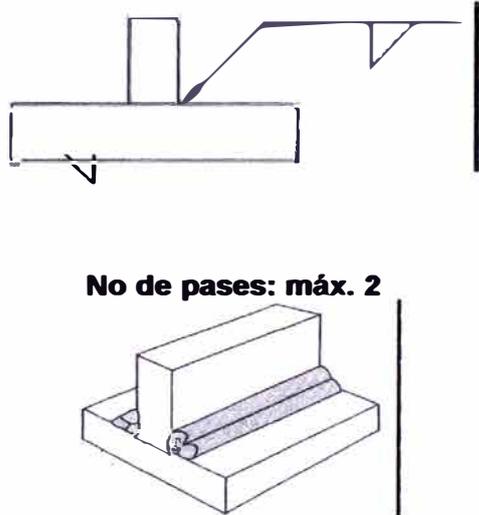
a: 45°    f: 4    R: ¼

No de pases: 5

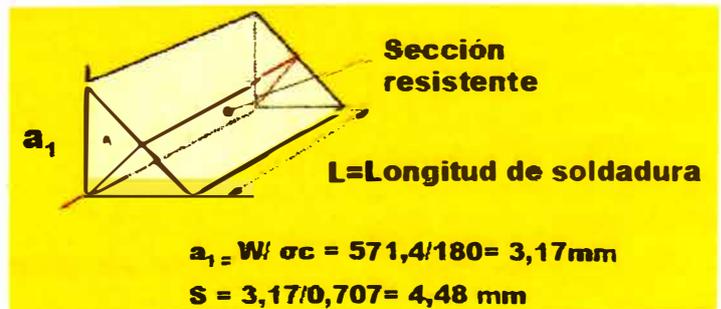
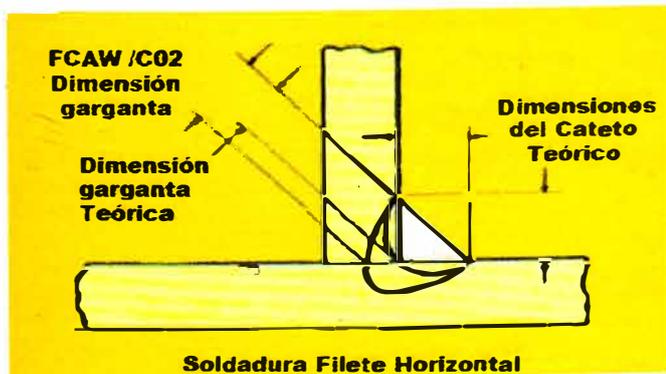
2. WPS para canalones del piso, paredes laterales y Canopy de la tolva:

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – WPS SEGÚN Norma AWS D1.1 - AWS B2.1-1-020				WPS No	002		
				Hoja			
				Proyecto	SPCC tolva CAT 793C		
Compañía		JAVFRANK Contratistas		Autorizado por	EXSA S.A.		
Proceso	FCAW	Posición	1G, 2T	 <p>No de pases: 3</p>			
Mat. Base	ASTM 514	Espesor	11 mm				
Apertura de raíz	¼"	Angulo	45°				
Respaldo	Si	Material de respaldo	A – 36				
Material de aporte	AWS A5.2	Clasificación	E 71T-1				
Gas de protección	MIX 25%CO2 – 80%Ar.	Caudal	15 – 30 Lt/min.				
Pre calentamiento	100 – 120 °C	Temperatura de interfase	150 – 200 °C				
Post calentamiento	100 °C	Tiempo de post calentamiento.	20 – 30 min.				
Técnica operativa	Sin oscilación	Transferencia	Spray				
Corriente	DCEP	Stick-Out	10 – 15 mm				
Pasadas	Φ (mm)	Corriente (AMP)	Tensión (voltios)			Veloc. De soldadura	Energía aportada
1er pase – 3er pase	1.6	210 – 250	21 – 28			25 – 30 cm. /min.	

## 3. WPS para canalones de chasis y Canopy de tolva

ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA – WPS SEGÚN Norma AWS D1.1 - AWS B2.1-1-020				WPS No	003			
				Hoja				
				Proyecto	SPCC tolva CAT 793C			
Compañía		JAVFRANK Contratistas		Autorizado por		EXSA S.A.		
Proceso	FCAW	Posición	4G, 4T	 <p>No de pases: máx. 2</p>				
Mat. Base	ASTM 514	Espesor	6 mm					
Apertura de raíz	¼"	Angulo	45°					
Respaldo	Si	Material de respaldo	A – 36					
Material de aporte	AWS A5.2	Clasificación	E 71T-1					
Gas de protección	MIX 25%CO2 – 80%Ar.	Caudal	15 – 30 Lt/min.					
Pre calentamiento	100 – 120 °C	Temperatura de interfase	150 – 200 °C					
Post calentamiento	100 °C	Tiempo de post calentamiento.	20 – 30 min.					
Técnica operativa	Sin oscilación	Transferencia	Spray					
Corriente	DCEP	Stick-Out	10 – 15 mm					
Pasadas	Φ (mm)	Corriente (AMP)	Tensión (voltios)				Veloc. De soldadura	Energía aportada
1er pase – 3er pase	1.6	210 – 250	21 – 28				25 – 30 cm. /min.	

## 7.1.9 Cálculo y Diseño de la unión para la reparación.



Cálculo de la tensión sobre la sección resistente:

P: carga de tracción

$$P/L \cdot a_1 = \sigma_f = N/mm^2$$

$\sigma_f$  = Tensión admisible de corte

P/L = W = Carga p/unidad de longitud en N/mm.

S = Altura del cateto

Para nuestras uniones en la tolva CAT 793C:

P: 20 Tn (200,000 N, se toma como referencia la carga aplicada por tonelada de mineral)

L: 350mm, (tomamos una longitud de soldadura para el calculo)

$$W: 200.000/350 = 517,4 \text{ N/mm}^2$$

$\sigma_f = \sigma =$  tensión admisible de corte = 0.30.  $\sigma_t = 0.30 \times 600 = 180 \text{ N/mm}^2$

$$a_1 = W / \sigma_c = 517,4 / 180 = 3,17 \text{ mm}$$

$$S = 3,17 / 0,707 = 4,48 \text{ mm}$$

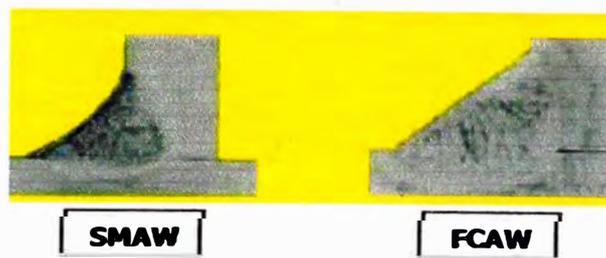
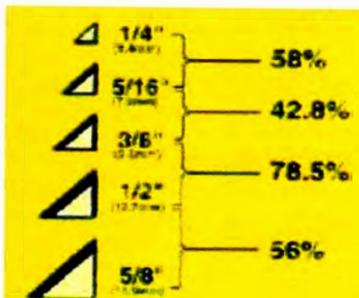
AWS. Considera corte sobre la sección resistente, adopta 0.30, ahora nuestro cateto mínimo para un pase de soldadura es de 5 mm, cabe considerar que usaremos 5 pases como máximo de soldadura para nuestras uniones.

Espesor del metal Base T (mm)	Cateto mínimo AWS D1.1
T < 6.35	3
T < T > 12,7	5
12,7 < T < 19	6
19 < T	8

Para las uniones de soldadura usaremos los procesos; manual SMAW y semiautomático FCAW:

Ancho de la soldadura (mm)	Máxima convexidad
$C < 8$	2
$8 < c < 250$	3
$C >$	5

Los procesos que usaremos son el SMAW y el FCAW, porque proveen de mayor dilución en la unión el más usado será el proceso de alambre tubular FCAW.



### 7.1.10 Procedimiento de soldadura. (resumen)

#### 7.1.10.1 Proceso manual SMAW:

1. Junta a tope, según código AWS B2.1
2. Junta preparada con respaldo (backing) material de respaldo ASTM A36.
3. Apertura de raíz: 1/4" min.
4. Angulo: 45 grados.
5. Material base usado, ASTM 514.
6. Espesor: 3/4, 1/4, 1/2, 3/8.
7. Material de aporte: AWS 5.1 E7018.
8. Temperatura de precalentamiento: 120 – 150 °C.
9. Temperatura de interpase: 150 – 200°C
10. Elemento de limpieza: escobilla circular de acero trenzado.

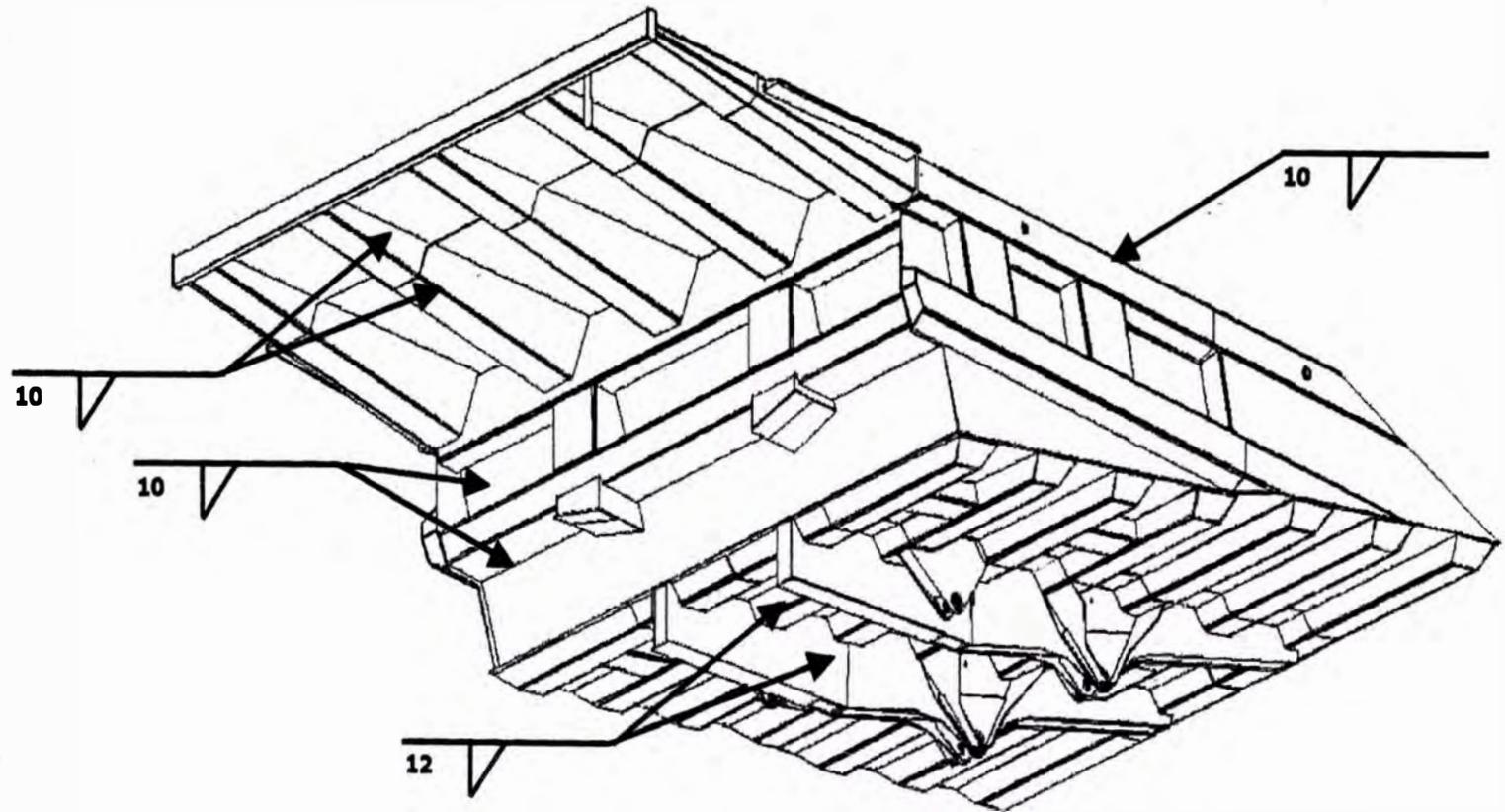
11. 1er – 2do pase: Diámetro del electrodo 3.25 mm DC + 100- 150  
AMP 18- 22 cm. /min.

12. 3er - N pases: Diámetro del electrodo 5 mm 140 – 200, 20 – 24  
cm./min.

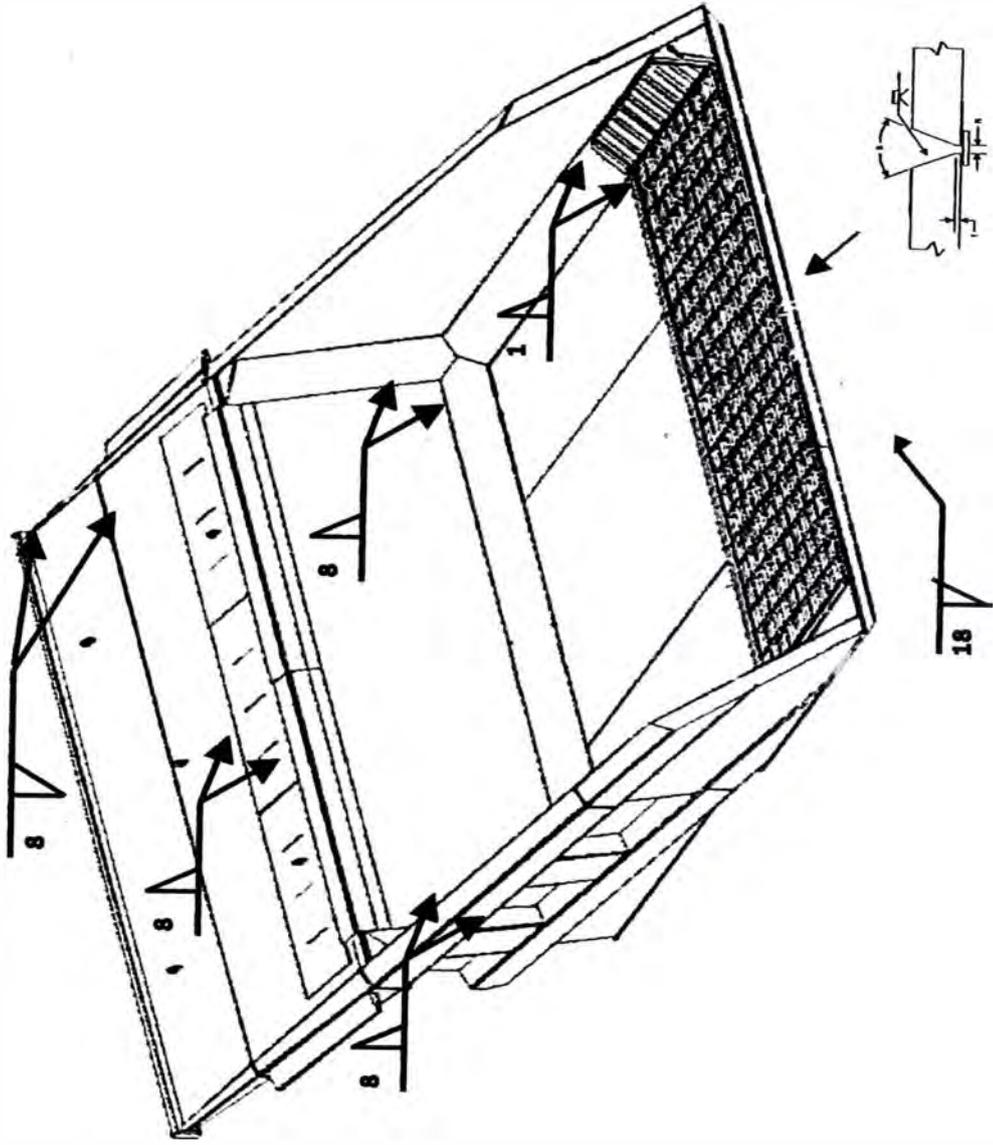
**7.1.10.2 Semiautomático FCAW:**

1. Junta a tope, según código AWS B2.1.
2. Junta preparada con respaldo (backing) material de respaldo ASTM  
A36.
3. Apertura de raíz: 1/4" min.
4. Angulo: 45 grados.
5. Material base usado, ASTM 514.
6. Espesor: 3/4, 1/2.
7. Material de aporte: AWS A5.2 E 71T-1.
8. Gas de protección mezcla 25% CO<sub>2</sub> – 75% Ar.
9. Temperatura de precalentamiento: 120 – 150 C.
10. Temperatura de interpase: 150 – 200.
13. Elemento de limpieza: escobilla circular de acero trenzado.
14. 1er – N pases: Diámetro del electrodo 1.6 mm DC + 210 – 250  
pulg./min., 21 – 28 V 25 – 30 cm./min.

**Distribución de la soldadura en la tolva**

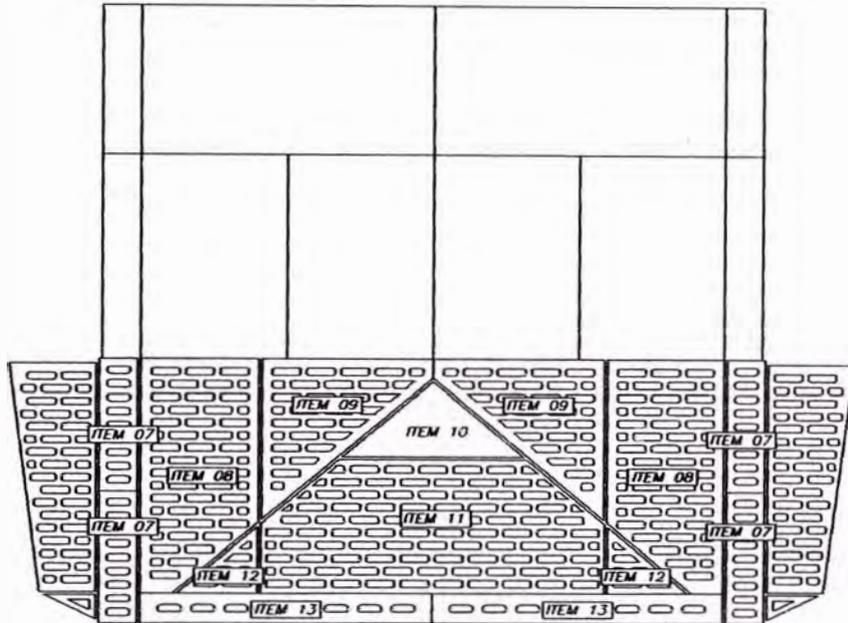


*Distribución de la soldadura en la tolva*



### 7.1.11 Kit antidesgaste de la Tolva.

Planchas de revestimiento con material de 500HBN



- Todo este trabajo de mantenimiento se recomienda realizarlo con el objeto de mantener la integridad estructural de la tolva y evitar de esta manera un posible daño serio en su estructura
- Además este mantenimiento se refiere a toda la zona de descarga de la tolva, paredes laterales, visera, y accesorios dañados.

### 7.1.12 Costos de reparación de Tolvas

Los costos que genera una reparación general, parcial y mantenimiento preventivo de tolvas depende del grado de deterioro del mismo, en general los principales costos son referentes a los materiales a usar (planchas, soldaduras) y el costo de la mano de obra especializada para tal fin.

En Southern Perú Toquepala se manejan los siguientes cuadros de costos referenciales:

### Reparación general de tolva K830E

Stock Code	Nro Parte	Descripción del material	Uen	Precio Unitario	Cant.	Sub Total
000005132	652940098	Disco de desgaste de 1/4 x 7 x 7/8	EA	2.5882	200	517.64
000136309	65252939207	Disco de corte de 1/8 x 7 x 7/8	EA	2.541	80	203.28
000022871	212100371	Electrodos AWS E-7018-1/8	CAN	29.4	12	352.80
000080861	226050333	Electrodos de corte DIN E-900 - 5/32	CAN	34.2	2	68.40
000099143	5001351	Gas mezcla 75% Ar - 25% Co2	M3	1.9	540	1,026.00
000100578	1012	Dye Check, penetrante en spray	CAN	5.4768	3	16.43
000195230	22-063-003	Electrodos de carbon de 3/8 de diametro ( Box de 50 Ea )	BOX	11.5	24	276.00
000203851	4 X 4 X 1/2	Angulo de 4 X 4 X 1/2 ASTM A-36	EA	155.7891	8	1,246.31
000223503	M-A 5-1/4 IN	Escobilla de acero de 5-1/4"	EA	6.5945	8	52.76
000290304	0.008" X 20M X 12M	Plástico blanco	EA	82.2794	4	329.12
000304501	32-053-001	Electrodos de carbón de 5/16 de diametro ( Box de 50 Ea )	BOX	13	4	52.00
000320135	MADAL25KG	Trapo lavado y esterilizado ( Paquete de 25 Kg)	PKG	16.1439	1	16.14
000333872	04-001726-06	Pintura Amarillo Cat	gal	16.25	10	162.50
000334649	248000028	Alambre Tubular E71T-1 Dual Shield 7100 @ 1/16	ROLL	62.7429	60	3,764.57
000334656	245013339	Alambre Tubular E71T-1 Dual Shield II 70 Ultra @ 1/16	ROLL	76.3379	43	3,282.53
000358879	RC-400	Empaquetadura para hacer moldes, espesor 1/16	LB	3.6292	50	181.46
000365288	3/4 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 3/4 X 96 X 120 IN	EA	2602.21	8	20,817.68
000382432	1 X 96 X 120 IN	Plancha 500 BH1 1 X 96 X 120 IN	EA	3494.13	2	6,988.26
000385682	1/4 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 1/4 X 96 X 120 IN	EA	1053	2	2,106.00
000405738	3/4 X 96 X 120 IN	Plancha 500 BH1 3/4 X 96 X 120 IN	EA	2620.59	4	10,482.36
000407080	1/2 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 1/2 X 96 X 120 IN	EA	824.12	2	1,648.24
000408930	3/4 X 96 X 120 IN	Plancha 400 BH1 3/4 X 96 X 120 IN	EA	2327.87	8	18,622.96
000418285	81-080091-06	Thinner standard	GAL	3.92	10	39.20
000436014	3/8 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 3/8 X 96 X 120 IN	EA	618.09	8	4,944.72
000438770	2 IN X 20 FT	Tubo SCH-40 GR B ASTM A 106	EA	34.2	8	273.60
000441238	3/8 X 96 X 120 IN	Plancha 400 BH1 3/8 X 96 X 120 IN	EA	888.73	3	2,666.19
000444851	5000601	Gas Acetileno	KG	6.5	1130	7,345.00
000444877		Gas Oxigeno	M3	1.75	690	1,207.50
000444885	1000102	Gas Carbonico	KG	0.5	1499	749.50
						0.00
Cargo Directo		Caralones de final de tolva y laterales	Kit	11,977.00	1	11,977.00

Tiempo estimado de reparación en Dias 40.0

COSTO MATERIALES US\$ 101,416.15

COSTO MANO DE OBRA US\$ (Contratista) 26,942.05

**Costo Total US\$ 128,358.20**

## Reparación Parcial de tolva K830E

Stock Code	Nro Parte	Descripción del material	Uea	Precio Unitario	Cant.	Sub Total
000005132	6652940098	Disco de desbaste de 1/4 x 7 x 7/8	EA	2.5882	80	207.06
000136309	662529-39207	Disco de corte de 1/8 x 7 x 7/8	EA	2.541	40	101.64
000011114	32-043-001	Electrodos de carbon de 1/4 de diametro ( Box de 50 Ea )	BOX	10.5	4	42.00
000022871	212100371	Electrodos AWS E-7018-1/8	CAN	29.4	4	117.60
000099143	5001351	Gas mezcla 75% Ar - 25% Co2	M3	1.90	180	342.00
000100578	1012	Dye Check, penetrante en spray	CAN	5.4768	3	16.43
000103358	1011	Dye Check, penetrante en spray	CAN	5.5698	3	16.71
000158048	1/4 X 1-1/2 IN X 20 FT	Platina de 1/4 X 1-1/2 IN X 20 FT ASTM A36	EA	11.4315	10	114.32
000174862	4 X 4 X 1/2	Angulo de 4 X 4 X 1/2 ASTM A-36	EA	208.004	6	1,248.02
000195230	22-063-003	Electrodos de carbon de 3/8 de diametro ( Box de 50 Ea )	BOX	11.5	16	184.00
000223503	M-A 5-1/4 IN	Escobilla de acero de 5-1/4"	EA	6.5945	6	39.57
000244822	1013	Dye Check, penetrante en spray	CAN	6.8638	3	20.59
000261255	24-983C	Disco de lija de 7/8 x 7" REGAL	EA	3.7	10	37.00
000320135	MADAL25KG	Trapo lavado y esterilizado ( Paquete de 25 Kg)	PKG	16.1439	1	16.14
000333872	04-001726-06	Pintura Amarillo Cat	gal	16.25	12	195.00
000334649	248000028	Alambre Tubular E71T-1 Dual Shield 7100 @ 1/16	ROLL	62.7429	20	1,254.86
000334656	245013339	Alambre Tubular E71T-1 Dual Shield II 70 Ultra @ 1/16	ROLL	76.3379	16	1,221.41
000358879	RC-400	Empaquetadura para hacer moldes, espesor 1/16	LB	3.6292	60	217.75
000365288	3/4 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 3/4 X 96 X 120 IN	EA	2602.21	3	7,806.63
000376087	1 X 96 X 120 IN	Plancha 400 BHN 1 X 96 X 120 IN	EA	3005.81	1	3,005.81
000382432	1 X 96 X 120 IN	Plancha 500 BHN 1 X 96 X 120 IN	EA	3494.43	2	6,988.26
000385682	1/4 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 1/4 X 96 X 120 IN	EA	1098	2	2,106.00
000405738	3/4 X 96 X 120 IN	Plancha 500 BHN 3/4 X 96 X 120 IN	EA	2620.59	8	20,964.72
000418285	81-080091-06	Thinner standard	GAL	3.92	15	58.80
000418434	1 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 1 X 96 X 120 IN	EA	1648.24	1	1,648.24
000430926	1603999901	Pintura anticorrosiva Gris	GAL	21.54	6	129.24
000435875	5/8 X 96 X 120"	Plancha estructural ASTM 514 5/8 X 96 X 120 IN	EA	1030.15	2	2,060.30
000436014	3/8 X 96 X 120 IN	Plancha estructural ASTM 514 3/8 X 96 X 120 IN	EA	618.09	4	2,472.36
000438770	2 IN X 20 FT	Tubo SCH-40 GR B ASTM A 106	EA	34.2	4	136.80
000441238	3/8 X 96 X 120 IN	Plancha 400 BHN 3/8 X 96 X 120 IN	EA	888.73	4	3,554.92
000444851	5000601	Gas Acetileno	KG	6.5	500	3,250.00
000444877		Gas Oxigeno	M3	1.75	690	1,207.50
000444885	1000102	Gas Carbonico	KG	0.5	841	420.50
						0.00

Tiempo estimado de reparación en Días 3.0

COSTO MATERIALES US\$ 61,202.17

COSTO MANO DE OBRA US\$ (Contratista) 10,720.30

**Costo Total US\$ 71,922.47**

**Anto preventivo de tolva y chasis volquete K830E**

Stock Code	Nro Parte	Descripción del material	Uea	Precio Unitario	Cant.	Sub Total
00005132	6652940098	Disco de desgaste de 1/4 x 7 x 7/8	EA	2.5882	10	25.88
000136309	662529-39207	Disco de corte de 1/8 x 7 x 7/8	EA	2.541	5	12.71
000011114	32-043-001	Electrodos de carbon de 1/4 de diametro ( Box de 50 Ea )	BOX	10.5	1	10.50
000022871	212100371	Electrodos AWS E-7018-1/8	CAN	29.4	1	29.40
000099143	5001351	Gas mezcla 75% Ar - 25% Co2	M3	1.90	18	34.20
000100578	1012	Dye Check, penetrante en spray	CAN	5.4768	1	5.48
000103358	1011	Dye Check, penetrante en spray	CAN	5.5698	1	5.57
000195230	22-063-003	Electrodos de carbon de 3/8 de diametro ( Box de 50 Ea )	BOX	11.5	1	11.50
000223503	M-A 5-1/4 IN	Escobilla de acero de 5-1/4"	EA	6.5945	2	13.19
000244822	1013	Dye Check, penetrante en spray	CAN	6.8638	1	6.86
000261255	24-983C	Disco de lija de 7/8 x 7" REGAL	EA	3.7	10	37.00
000334649	248000028	Alambre Tubular E71T-1 Dual Shield 7100 @ 1/16	ROLL	62.7429	4	250.97
000334656	245013339	Alambre Tubular E71T-1 Dual Shield II 70 Ultra @ 1/16	ROLL	76.3379	2	152.68
000358879	RC-400	Empaquetadura para hacer moldes, espesor 1/16	LB	3.6292	50	181.46
000405738	3/4 X 96 X 120 I N	Plancha 500 BHN 3/4 X 96 X 120 IN	EA	2620.59	2	5,241.18
000444851	5000601	Gas Acetileno	KG	6.5	24	156.00
000444877		Gas Oxigeno	M3	1.75	20	35.00
000444885	1000102	Gas Carbonico	KG	0.5	112	56.00
						0.00

Tiempo estimado de reparación en Días	16 Horas
COSTO MATERIALES US\$	6,265.57
COSTO MANO DE OBRA US\$ (Contratista)	2,809.59
<b>Costo Total US\$</b>	<b>9,075.16</b>

**7.2 REPARACIÓN DE CUCHARON DE PALA****7.2.1 Normas Técnicas**

Toda soldadura se hará de conformidad a la American Welding Society y de acuerdo a su norma AWS D1.1/1.1M – 200X Structural Welding Code – Steel.

Los materiales de aporte estructurales, deberán estar sujetos a las siguientes normas:

- o AWS/ASME/SFA A5.20 / A5.29. Specification of filler metal for carbon Steel & low alloy steel, Flux Cored Arc Welding Process. Wire E71T-1.

Los materiales de aporte para la unión de aceros austeniticos al manganeso con aceros estructurales deberán estar sujetos a las normas:

- AWS/ASME A5.22 Specification of filler metal for Stainless Steel, Flux Cored Arc Welding Process. Wire E309LT1-1/4.

### 7.2.2 Esto inicial del cucharón antes de la reparación



**Fig. 7.21 Estado inicial del cucharón antes de la reparación**

### 7.2.3 Programa de Reparación.

La soldadura aplicada aquí se realizara de acuerdo a los estándares de mantenimiento de accesorios P&H.

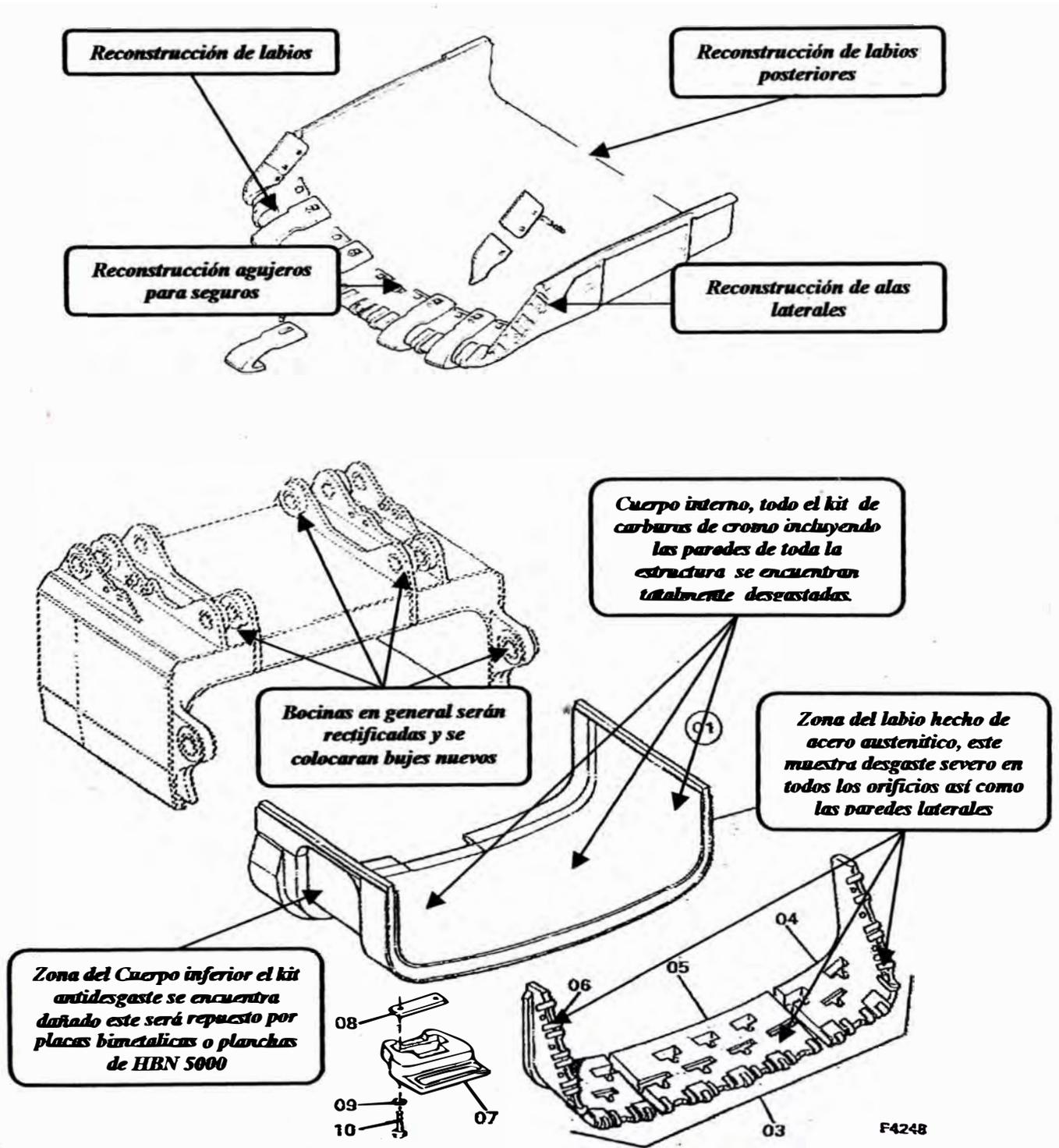


Fig. 7.22 Despiece general de cucharón de pala

- Cambio de kit de pastillas de carburo de tungsteno protectores del labio de acero al manganeso.

- **Reconstrucción del asiento del labio del cucharón para adaptadores de uñas.**



**Fig. 7.23** Desgaste severo del labio y seguro de adapter

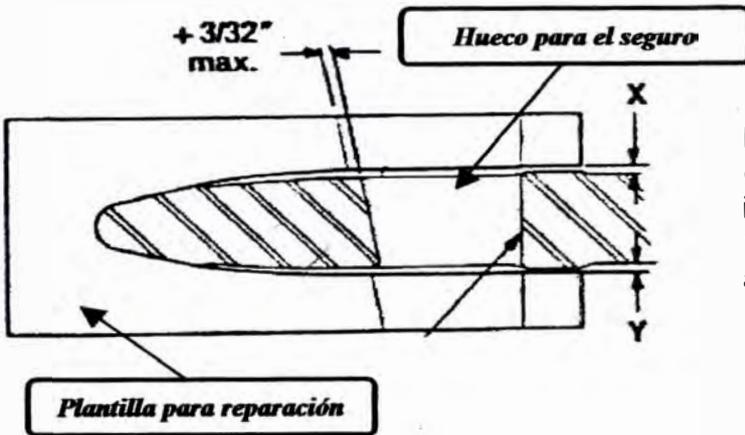
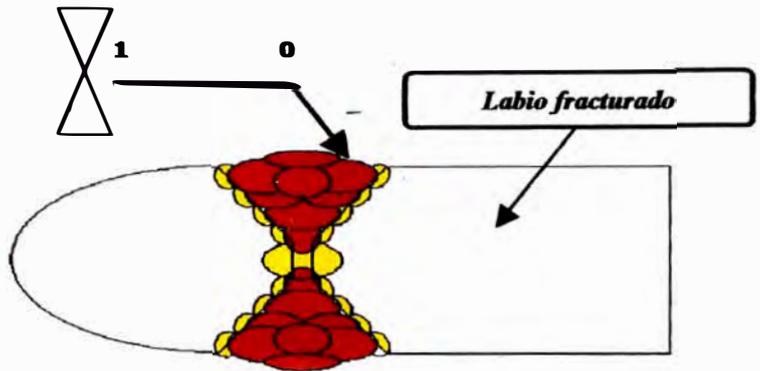
- **Reconstrucción del asiento del labio del cucharón para adaptadores de uñas.**

Muchos de los asientos de los adaptadores han sufrido fractura, esta reconstrucción se realizara formando un bisel que nos permitirá una unión satisfactoria. Las alas de los laterales también han sufrido desgaste severo se realizara una recuperación de ellos de acuerdo a los estándares del fabricante P&H.



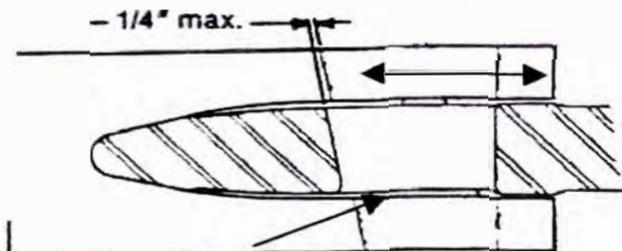
**Fig. 7.24** Fractura del labio

Para esta reparación se cuenta con una plantilla para reconstruir el alojamiento y así restaurar las dimensiones originales, las tolerancias de desgaste del extremo del agujero de seguro hacia la punta del labio es de máximo  $3/32''$ .

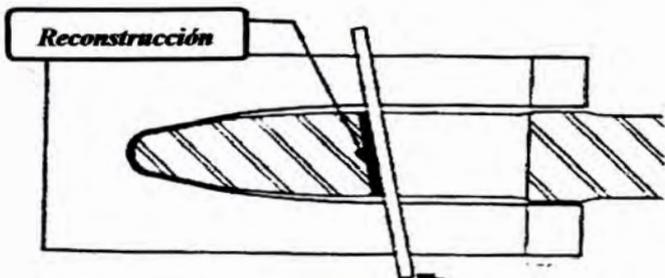


La tolerancia máxima de desgaste entre lados superior e inferior del labio no superará  $1/8''$  (el intervalo X adicionado al intervalo Y)

Con respecto a la longitud del orificio para el seguro del adaptador, las tolerancias de desgaste de extremo a extremo según su geometría es de  $1/4''$  como máximo.

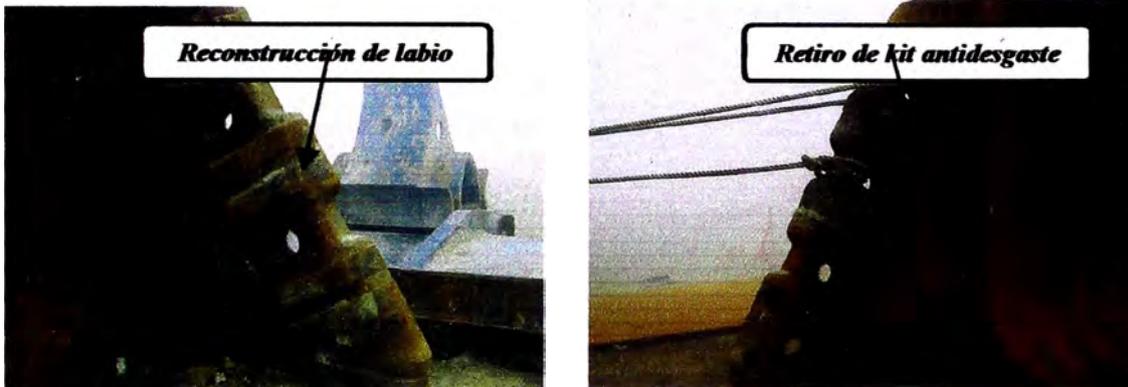


**Ancho del orificio para el seguro**



Toda la reparación de los agujeros y asientos de los adaptadores serán recuperados según estas tolerancias que da el fabricante.

- **Reconstrucción de alas laterales.**

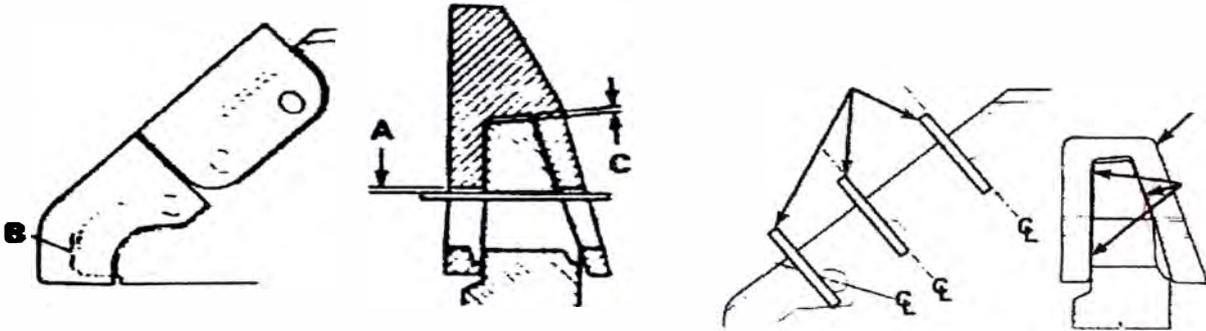


**Fig. 7.25** Desgaste de los laterales del labio

El primer paso, para la reconstrucción es el retiro del kit antidesgaste y las cuchillas desgastadas de acero HBN 500 y bimetálicas. Para la reconstrucción por soldadura, se confecciona una plantilla como guía para saber la cantidad de soldadura necesaria. La soldadura que se aplicara es del tipo austenítico como en electrodo Eutectic Castolin OA 3205 o Esab 309L que es un material de aporte para aceros al manganeso, no se realiza ningún precalentamiento y la temperatura en todo momento no debe ser mayor a 250°C, para evitar fisuración en caliente de las zonas recuperadas por soldadura.

Los rellenos del labio se deben de hacer respetando las distancias mínimas de holgura del Adapter o protectores de labio para que este no tenga un juego excesivo y con ello empiece el proceso de desgaste o fisuración.

**Plantillas para reconstruir labios**



- Reconstrucción en el encaje de pestillo o barretón.

**Encaje a recuperar**



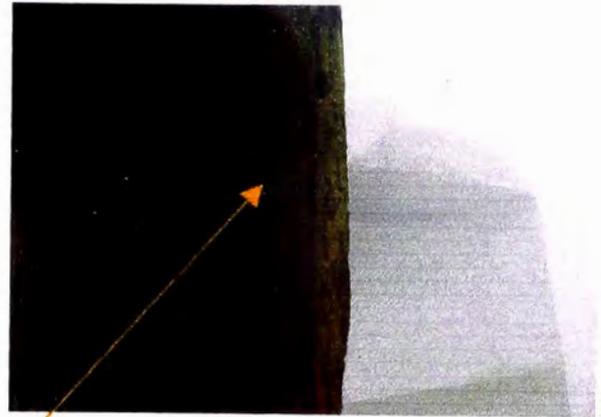
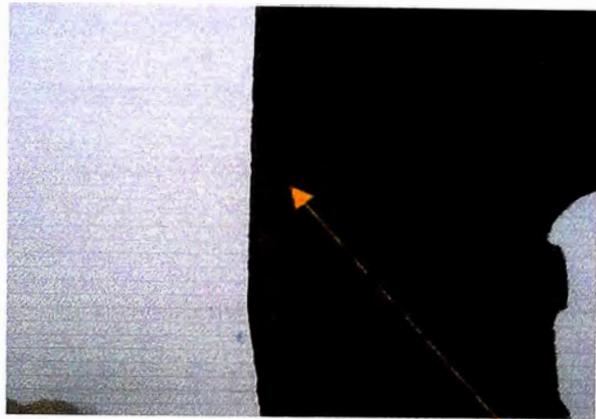
El pestillo o encaje para el barretón nos hace obtener siempre un trabajo adecuado y con eficiencia, el desgaste observado en este cucharón afecta totalmente a la placa de acero al manganeso insertada en este accesorio. Este jamás debe de ser calentado y durante la soldadura debe enfriarse en cada interfase esto para que no se produzca fisuraciones en frío.

**Fig. 7.26** Lanchkipper u orificio para barretón

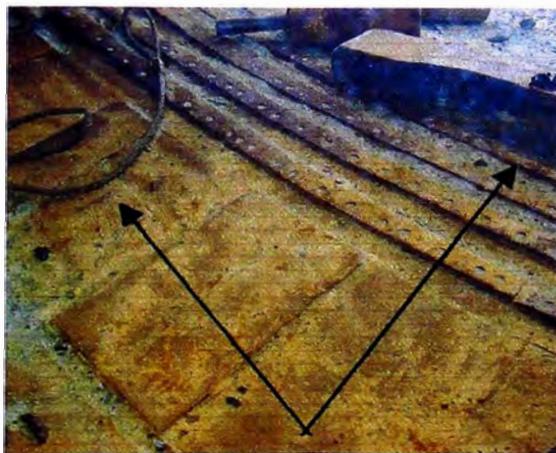
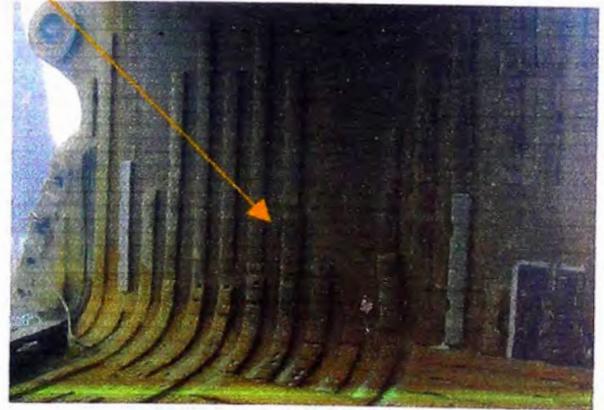
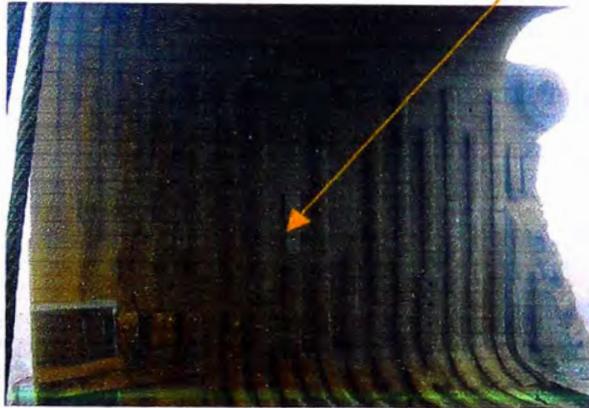
**Pieza de acero antidesgaste**



- Cambio y colocación de planchas antidesgaste en la parte interior del cuerpo y del labio.



***Cambio de Kit antidesgaste interno***

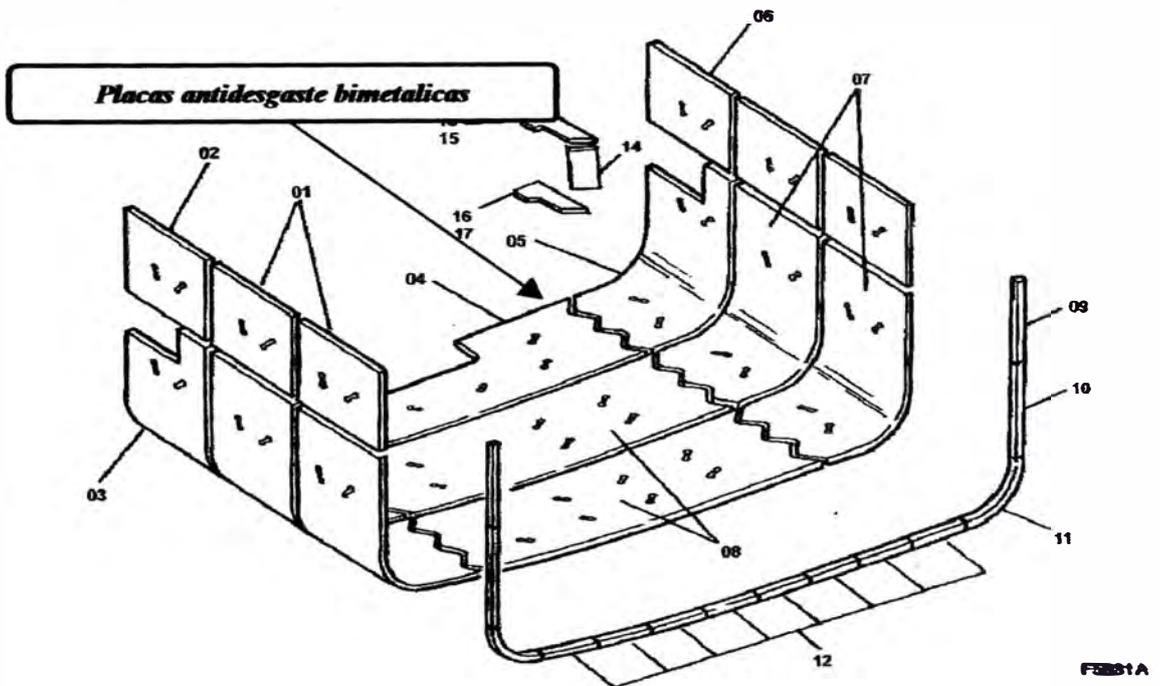


***Cambio de Kit antidesgaste de la base***

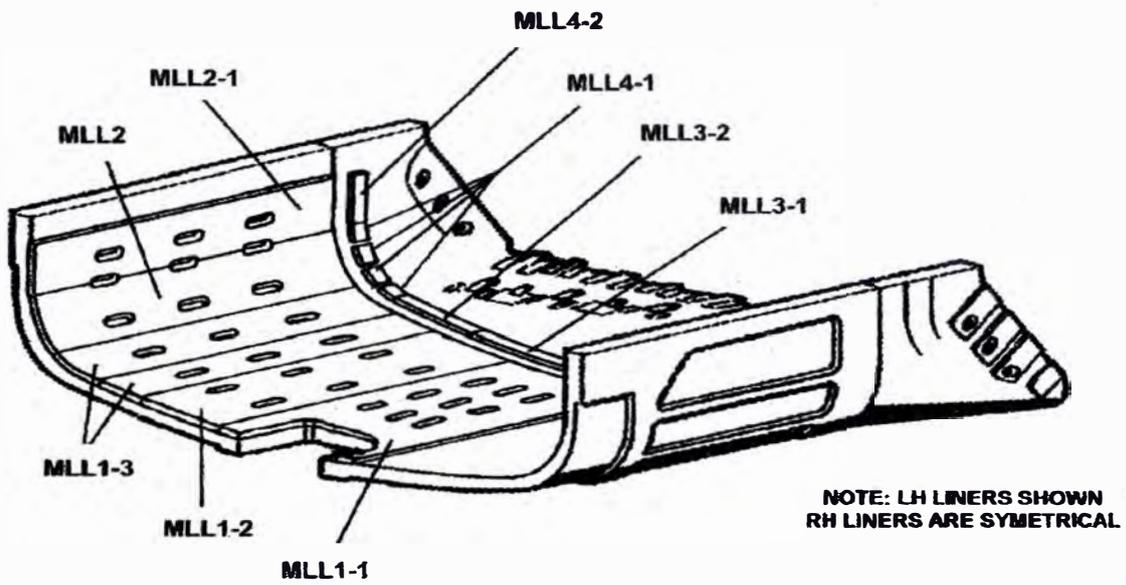
**Fig. 7.27** Desgaste de revestimiento interior de cucharón

Las planchas a colocar son del tipo bimetálico o placas de carburo de cromo, estas placas han dado muy buen resultado en operaciones y reparaciones anteriores.

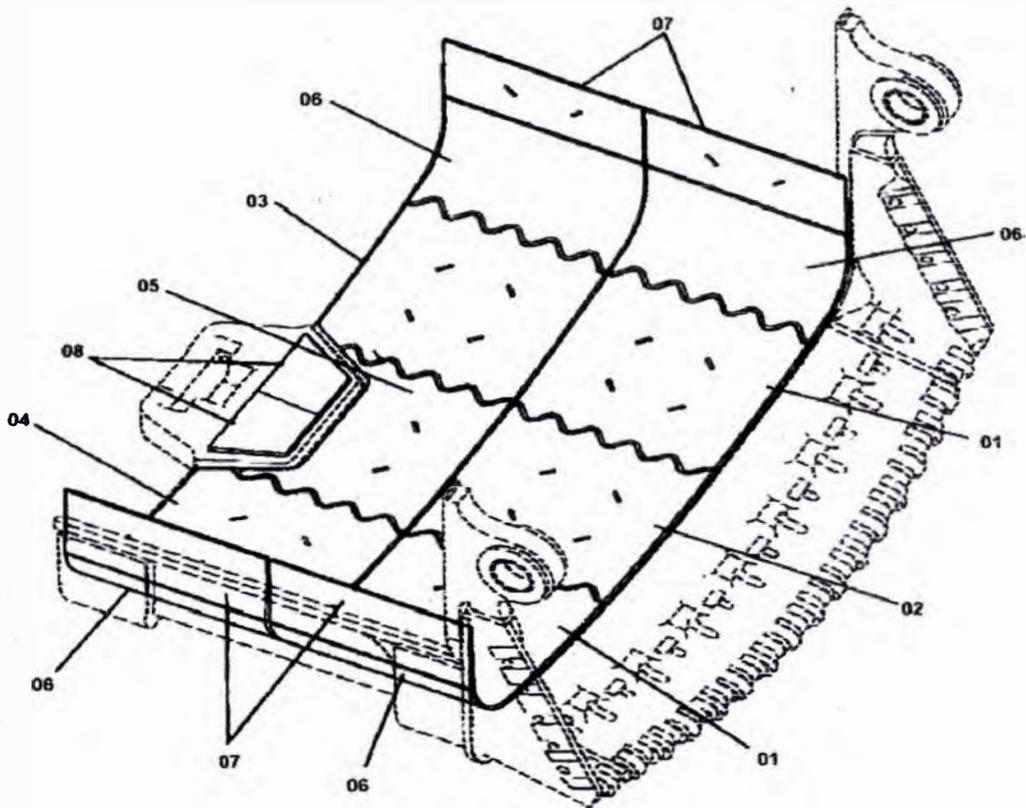
El revestimiento antidesgaste que se observa en el cucharón en de la figura anterior se encuentra con un desgaste considerable este será fue cambiado por placas antidesgaste bimetálicas de carburos de Cromo, estas placas fueron soldadas en sus contornos.



**Fig. 7.28** Revestimiento de cucharón de pala P&H 4100



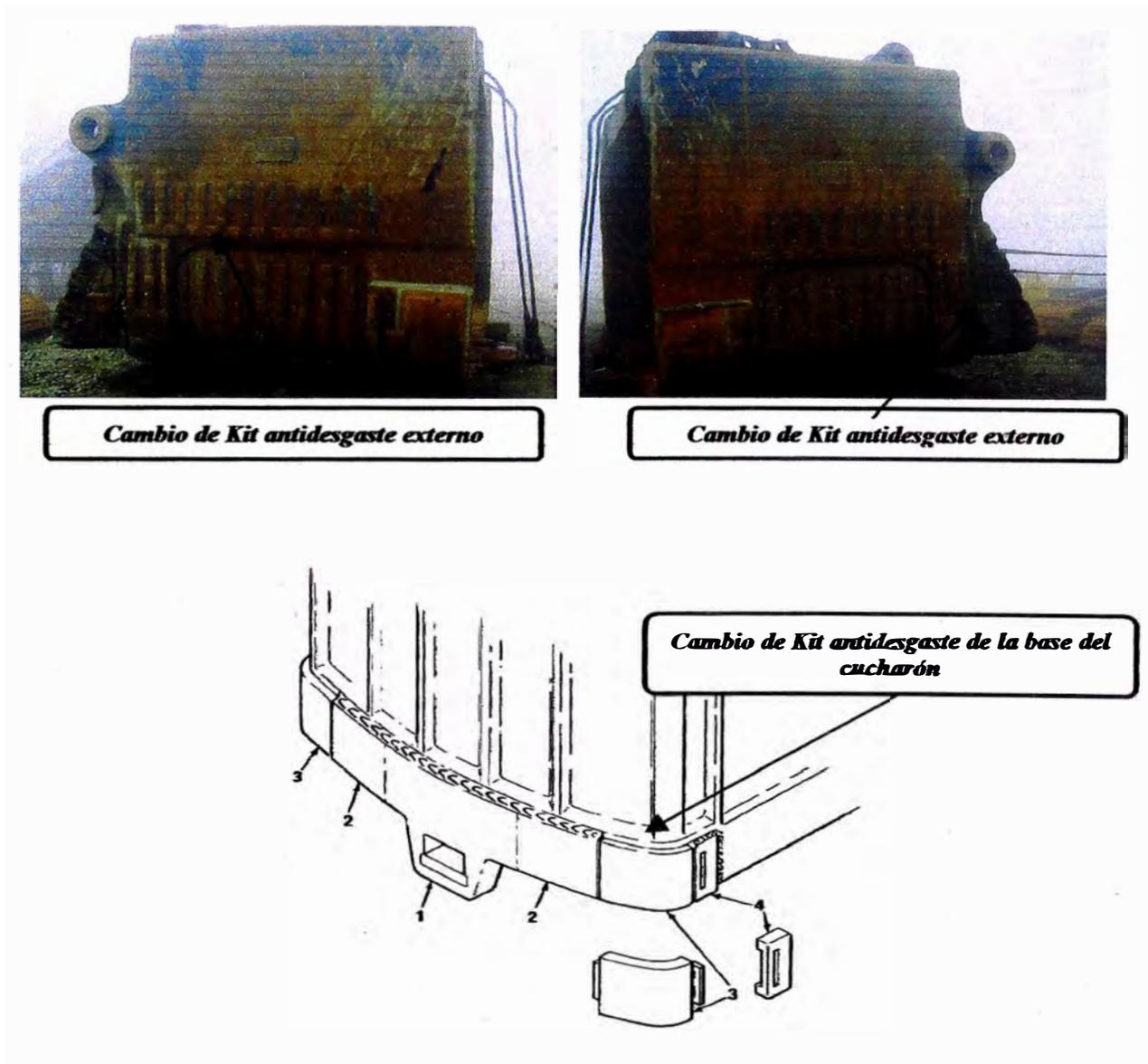
**Fig. 7.29** Revestimiento de cucharón de pala Bucyrus



**Fig. 7.30** Revestimiento de cucharón de pala P&H 4100 óptima

- Cambio y colocación de placas antidesgaste kit antidesgaste externo.
- Cambio de venas inferiores en la base del labio.

- Cambio de planchas antidesgaste en la base de las venas.



**Fig. 7.31** Deterioro de revestimiento exterior del cucharón

- Retiro de bujes, premaquinado, relleno y rectificado de alojamientos para pines de tapas y pines para lápiz de pala.



*Cambio de bujes de alojamientos*

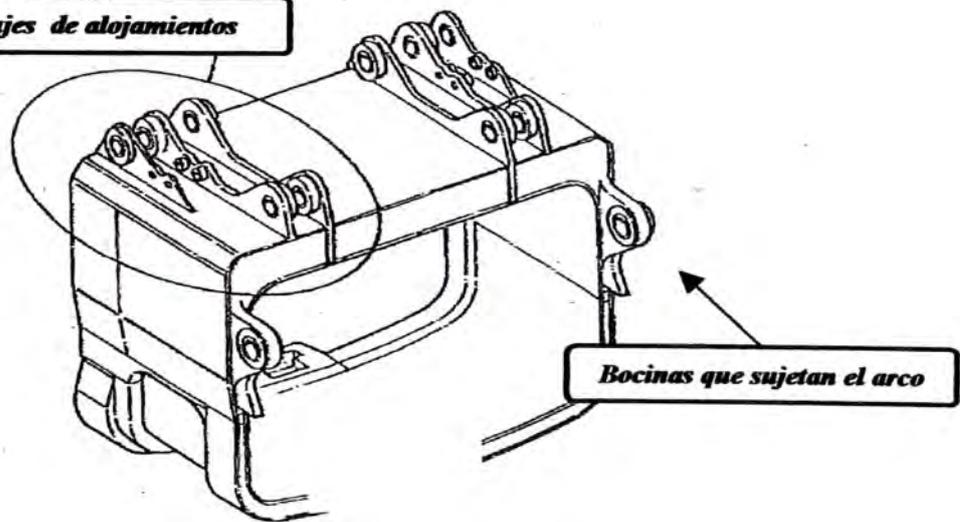


Fig. 7.32 Alojamiento de cucharón

Todos los bujes del cucharón que muestran un desgaste del 30 % de su medida original, este es un estándar del fabricante, el cual nos indica que se deben de cambiarse los bujes o bocinas. La soldadura de los seguros de estas bocinas deben dejar una abertura de 1" esto es por norma del fabricante, se indican en el siguiente grafico:

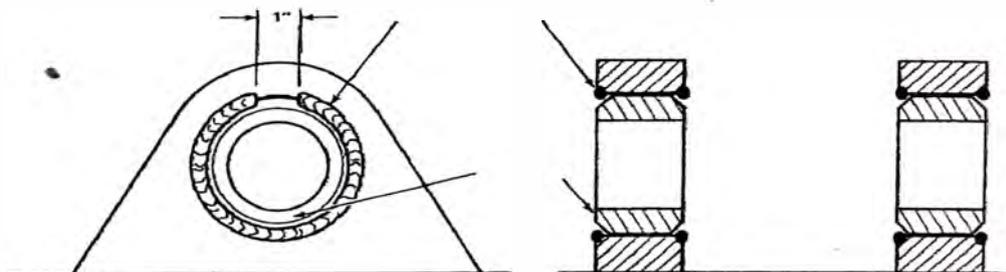


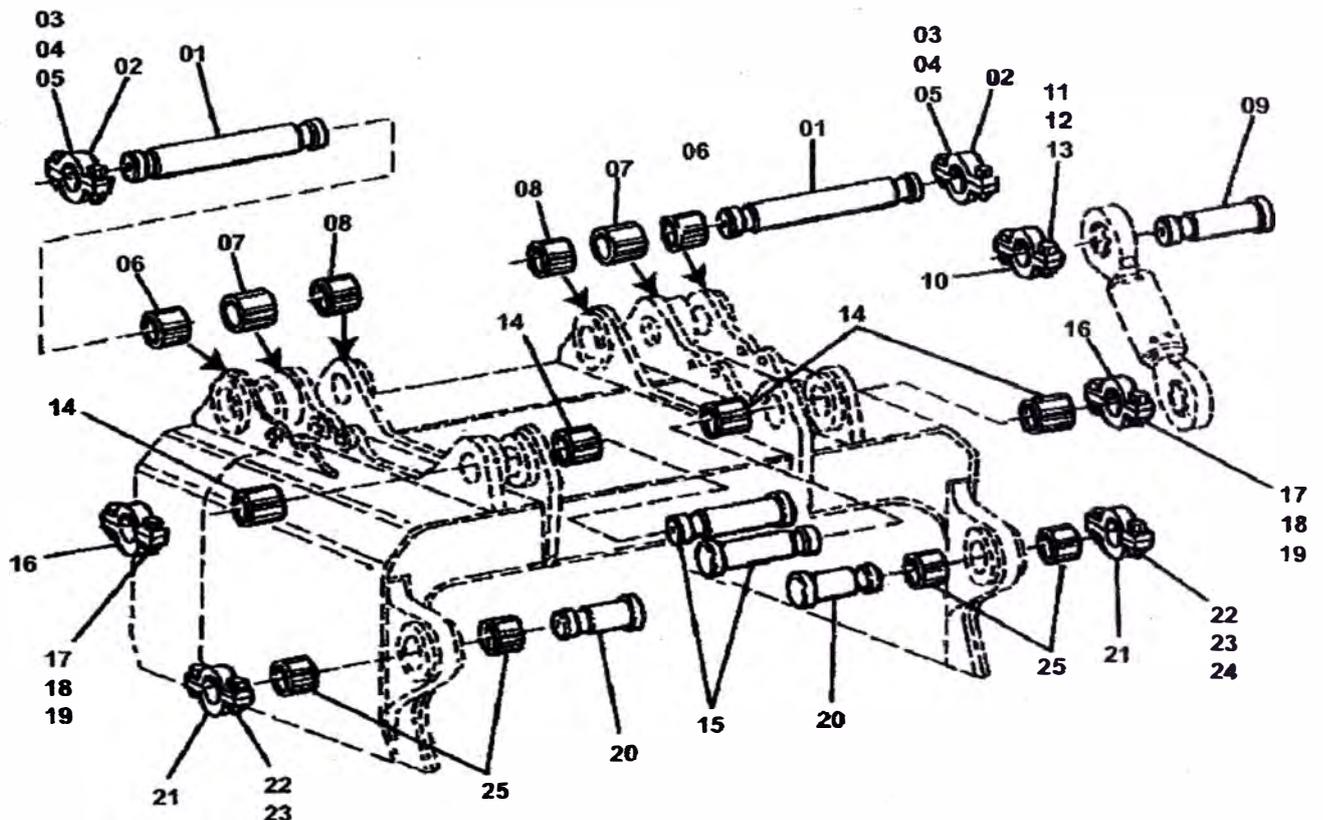
Fig. 7.33 Soldadura de seguridad para el buje

- **Reconstrucción, retiro de bujes, relleno y rectificado de alojamientos de bocinas para sujetar el arco.**



De igual manera si el buje que sujeta el arco del cucharón es removido muestra un desgaste igual a los bujes superiores, el procedimiento de su recuperación es el mismo.

**Fig. 7.34 Alojamiento de parte frontal de cucharón (sufré el mayor desgaste)**



**Fig. 7.35 Bujes o bocinas, y pines de cucharón**

- **Reparación de fisuras en general.**

## **7.2.4 Procedimiento de Soldadura para reparación**

### **7.2.4.1 Proceso manual SMAW:**

1. Junta de solape de unión simple, según código AWS B2.1
2. Espesor:  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1, 1-1/2"
3. Material de aporte: AWS 5.1 E7018.
4. Material base usado, ASTM 514
5. Temperatura de precalentamiento: 120 – 150 C.
6. Temperatura de interpase: 150 – 200.
7. Elemento de limpieza: escobilla circular de acero trenzado.
8. 1er – 2do pase: Diámetro del electrodo 3.25 mm DC + 100- 150 AMP 28- 22 cm. /min.
9. 3er - N pases: Diámetro del electrodo 5 mm 140 – 200, 20 – 24 cm./min.

### **7.2.4.2 Semiautomático FCAW para soldadura de planchas estructurales y antidesgaste:**

1. Junta a tope, según código AWS B2.1.
2. Espesor:  $\frac{3}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1, 1-1/2"
3. Material de aporte: AWS A5.2 E 71T-1. Esab 7100ultra, Exsatub 71T1
4. Gas de protección mezcla 25% CO<sub>2</sub> – 75% Ar.
5. Temperatura de precalentamiento: 120 – 150 C.
6. Temperatura de interpase: 150 – 200.
7. Elemento de limpieza: escobilla circular de acero trenzado.
8. 1er – N pases: Diámetro del electrodo 1.6 mm DC + 210 – 250 pulg./min., 21 – 28 V 25 – 30 cm./min.

**7.2.4.3 Semiautomático FCAW para soldadura de lanchas bases y estructurales:**

1. Junta a tope, según código AWS B2.1 y biseles.
  2. Recuperación de labio
  3. Material de aporte: AWS A5.2 E 71T-1. Eutectic OA 3205 Mn Cr, TEROMATEC 690, EUTECTIC 646.
  4. Gas de protección mezcla CO<sub>2</sub>.
  5. Temperatura de precalentamiento: no se aplica precalentamiento por susceptibilidad del acero al manganeso a la fisuración en frío
  6. Temperatura de interpase: 150 – 200.
  7. Elemento de limpieza: escobilla circular de acero trenzado.
  8. 1er – N pases: Diámetro del electrodo 1.6 mm DC + 210 – 250 pulg./min., 21 – 28 V 25 – 30 cm./min.
- Todo este trabajo de mantenimiento se recomienda realizarlo con el objeto de mantener la integridad estructural del cucharón y evitar de esta manera un posible daño serio en su estructura.
  - Dicho mantenimiento consistió en realizar el reforzamiento de las zonas afectadas por el desgaste mediante el uso de aceros antidesgaste HBN 500 para las planchas antidesgaste y el reforzamiento de la estructura, kit bimetálico para el cuerpo interior del cucharón que están por el límite de espesor requerido.

## **7.3 REPARACIÓN DE CUCHARÓN DE CARGADOR FRONTAL LT1**

### **7.3.1 Normas técnicas.**

Toda soldadura se hará de conformidad a la American Welding Society y de acuerdo a su Norma AWS D1.1/1.1M – 200X Structural Welding Code – Steel.

Los materiales de aporte estructurales, deberán estar sujetos a las siguientes Normas:

- AWS/ASME A5.1 – 91 / A5.5. Specification of filler metal for carbon Steel & low alloy steel, Shield metal Arc Welding Process. Electrode E7018
- AWS/ASME/SFA A5.20 / A5.29. Specification of filler metal for carbon Steel & low alloy steel, Flux Cored Arc Welding Process. Wire E71T-1.

Los materiales de aporte para la unión de aceros austeníticos al manganeso con aceros estructurales deberán estar sujetos a las Normas:

- AWS/ASME A5.22 Specification of filler metal for Stainless Steel, Flux Cored Arc Welding Process. Wire E309LT1-1/4.
- AWS A5.4 - 92 Specification of filler metal for Stainless Steel, Shield metal Arc Welding Process. Electrode E308L-16 / E312-16.

### **7.3.2 Reparación de cucharón de cargador I1400**

Para esta reparación de cucharón de cargador 1800, se toma como primer diagnóstico el desgaste producido en las zonas de:

- Paredes laterales interiores y exteriores

- **Labios inferiores (deformaciones y desgaste),**
- **Labios superiores (deformaciones de plancha estructural).**
- **Kit antidesgaste.**
- **Bocinas y alojamientos.**
- **Fisuras en el cuerpo estructural y labios.**

### **LIMPIEZA**

- **Retirar las planchas gastadas en todas las partes que muestre el Cucharón**
- **Limpiar con esmeril las partes en que las planchas hayan sido retiradas**

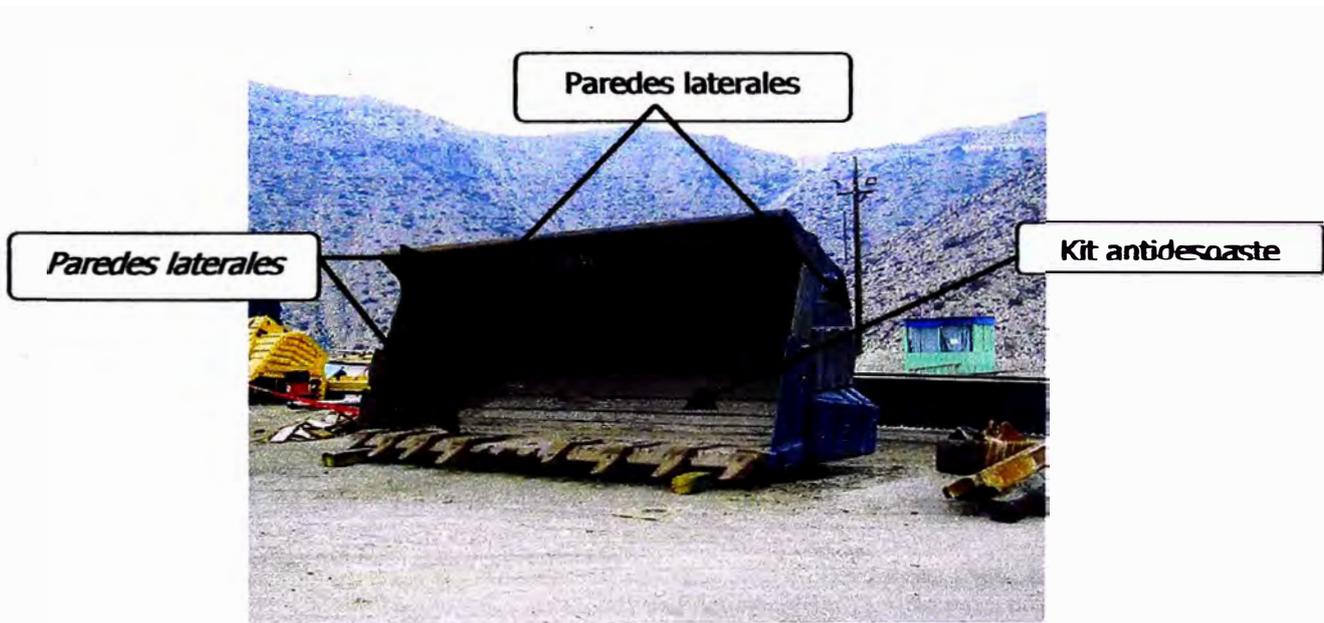
### **REPARACION**

- **Soldar todas las rajaduras que se detecten en el Cucharón**
- **Cambiar las planchas de base que se encuentren deterioradas**
- **Rellenar (calzar) los labios de la base de dientes**
- **Rellenar los agujeros en forma adecuada para rectificarlos con barrenadota portátil**
- **Reparar los labios laterales de acuerdo al protector**
- **Confeccionar bota piedras protectores para colocarlos en la parte externa de ambos lados.**

### **PLANCHAS / PLATINAS**

- **Poner platinas entre los dientes**
- **Poner planchas de desgaste BHN 500 en el piso, aplicar soldadura inoxidable**
- **Poner platinas de desgaste en parte interna BHN500**

- Poner planchas de desgaste en la parte lateral externa, ambos lados  
3/4" BHN500
- Poner platinas de desgaste en interior pared lateral, ambos lados  
3/4" BHN500
- Aplicar citodur1000 en las partes de abrasión
- Pintar cucharón con pintura negra.



**Fig. 7.36. Cucharón de cargador K1400**



**Fig. 7.37** Pared lateral derecha, se observa un pronunciado desgaste en:

1. kit de protección
2. Labios laterales superiores
3. Además desgaste por fricción en el labios esquinero porta adapter de uñas.

*Desgaste en pared lateral  
Y fisuras en el cuerpo*

**Fig. 7.38.** Pared lateral izquierda, se observa desgaste y fisuras en:

4. kit de protección
5. Labios laterales superiores
6. Además desgaste por fricción en el labios esquinero porta adapter de uñas.
7. Presencia de fisuras estructura del cuerpo de cucharón.



*Desgaste en labios*



**Fig. 7.39** Labios, se observa desgaste y fisuras en:

8. kit de protección.
9. Desgaste por fricción en labios porta adapter.

**Fig. 7.40.** Paredes laterales internas

10. Desgaste por fricción en labios superiores debido a que no posee kit antidesgaste.

*Desgaste en paredes internas*



*Desgaste en bocinas y  
alojamientos*



**Fig. 7.41** Bocinas y alojamientos:  
 11. Bocinas desgastadas por trabajo.  
 12. Rectificación total de los alojamientos fatigados.

### **7.3.3 Material Base:**

La totalidad de la estructura base del lampón de cargador frontal esta fabricada en acero ASTM A514<sup>º</sup>B

### **7.3.4 Proceso de Soldadura:**

Utilizaremos el proceso semiautomático FCAW bajo los siguientes parámetros:

1. Junta en filete, según código AWS B2.1.
2. Material base usado, ASTM 514, ASTM 517, Acero al manganeso (zona de los labios).
3. Espesor: 3/4", 2" 1/2, 1 1/4".
4. Material de aporte: AWS A5.2 E 71T-1. AWS A5.22 E309LT-1
5. Gas de protección mezcla 25% CO<sub>2</sub> – 75%Ar, CO<sub>2</sub> 100%.
6. Temperatura de precalentamiento: 120 – 150 C para ASTM 514.
7. Temperatura de precalentamiento: 150 – 200 C para HBN 400 y HBN 500.
8. Temperatura de interpase: 150 – 200.
9. Elemento de limpieza: escobilla circular de acero trenzado.

10. 1er – N pases: Diámetro del electrodo 1.6 mm DC + 210 – 250 pulg/min, 21 – 28 V 25 – 30 cm/min. Velocidad de avance.

### 7.3.5 Procedimientos de reparación:

Reparación de alojamientos y bocinas:



**Fig. 7.42** Premaquinado:

El primer paso para rectificar los alojamientos, es el premaquinado en el cual se desbasta toda la superficie que ha sufrido desgaste y deformaciones por fatiga el espesor que se desbasta es de 3mm.

**Fig. 7.43** Relleno y rectificadado de bocinas:

Todo el cuerpo del cucharón excepto el labio inferior es de acero estructural similar a un acero ASTM 514, este se precalienta de 120 a 150° C para eliminar la presencia de hidrogeno en nuestro deposito de soldadura.

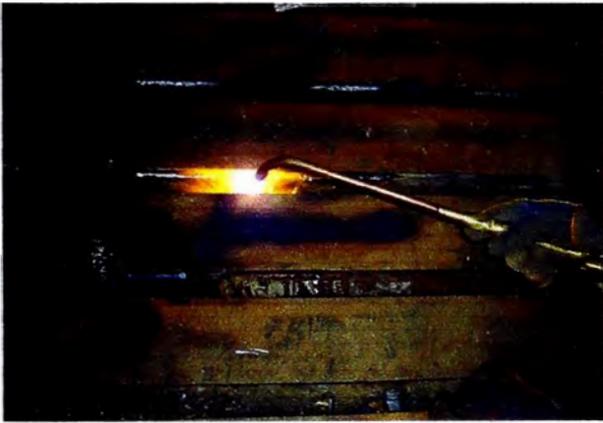


**Fig 7.44** Relleno por soldadura:

En el relleno se realizan pases traslapados la temperatura de interfase es de 150 a 200° C. se realizaron 2 pases de soldadura por alojamiento hasta tener tolerancia de metal para el maquinado final.

**Fig. 7.45 Maquinado final:**

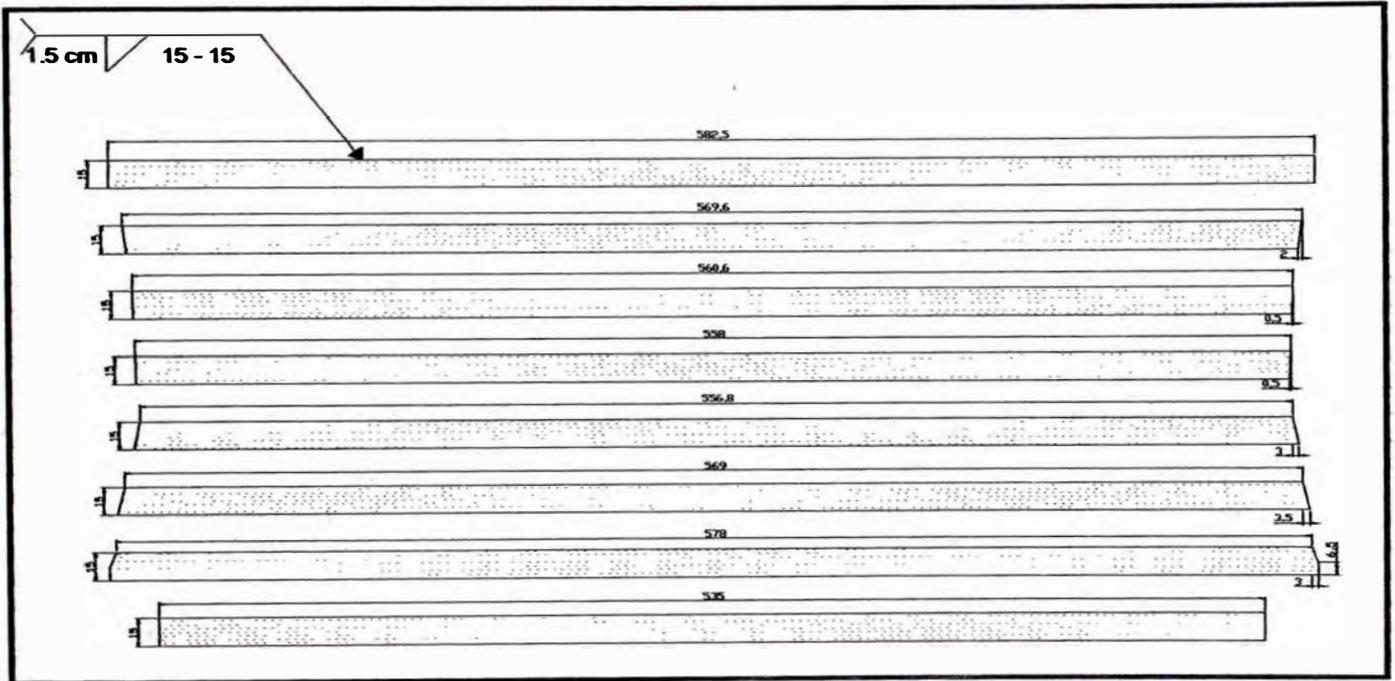
El maquinado final es el último paso para el rectificado de alojamientos, la tolerancia para cada alojamiento fue de 0.15 centésimas de milímetro, con acabado pulido espejo.



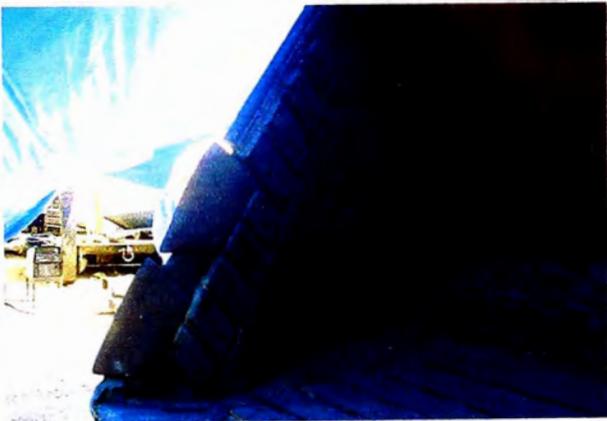
**Fig. 7.46 y 7.47 Kit antidesgaste interno:**

El kit antidesgaste interno anterior se retiró por excesivo desgaste.

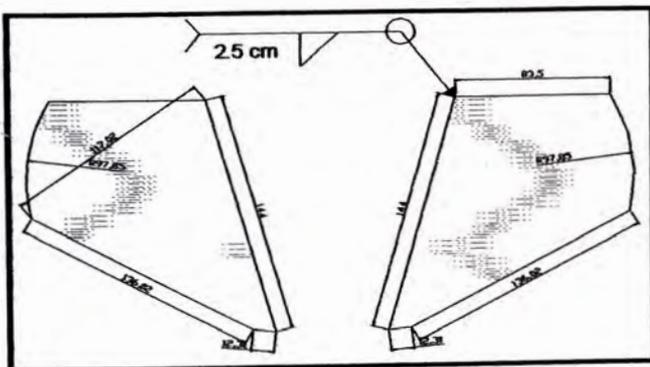
La soldadura para esta platina al cuerpo del cucharón se hizo de forma intermitente con proceso FCAW y el material de aporte fue el EXSATUB 71T – 1 con CO<sub>2</sub> de gas de protección, y con un precalentamiento de 150 a 200° C. y una temperatura de interfase de 150 a 200° C.



**Fig. 7.48.** Kit antidesgaste para cuerpo interno del cucharón

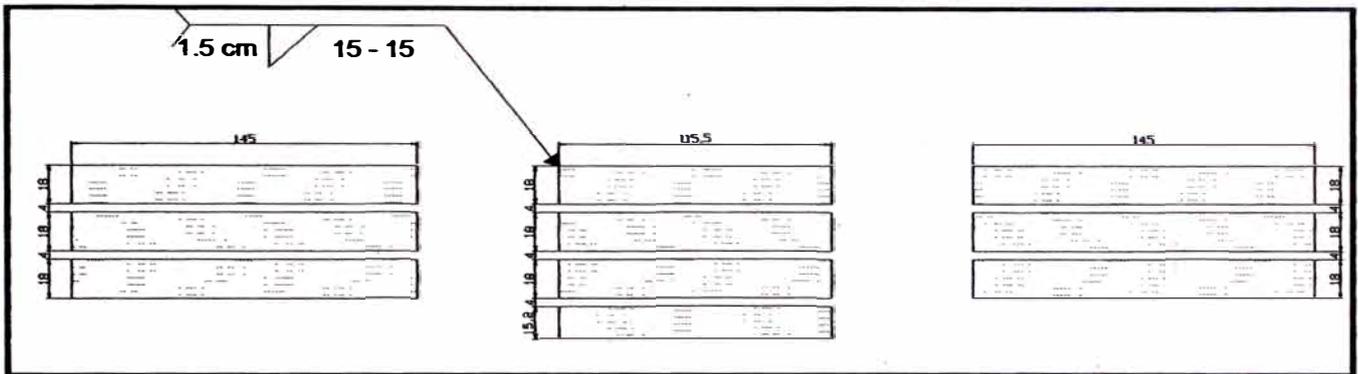


**Fig. 7.49 y 7.50** plancha de protección antidesgaste bimetálica de carburo de cromo

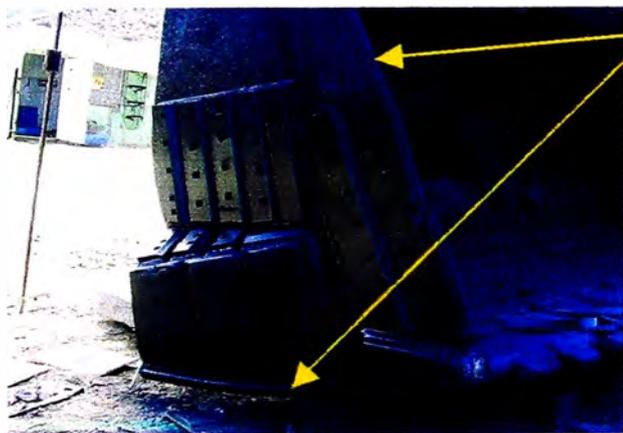




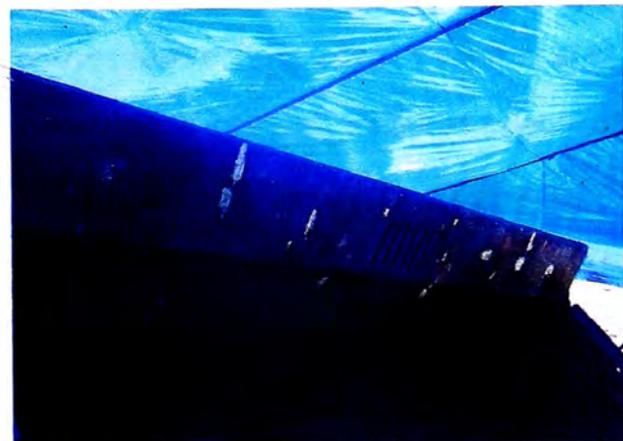
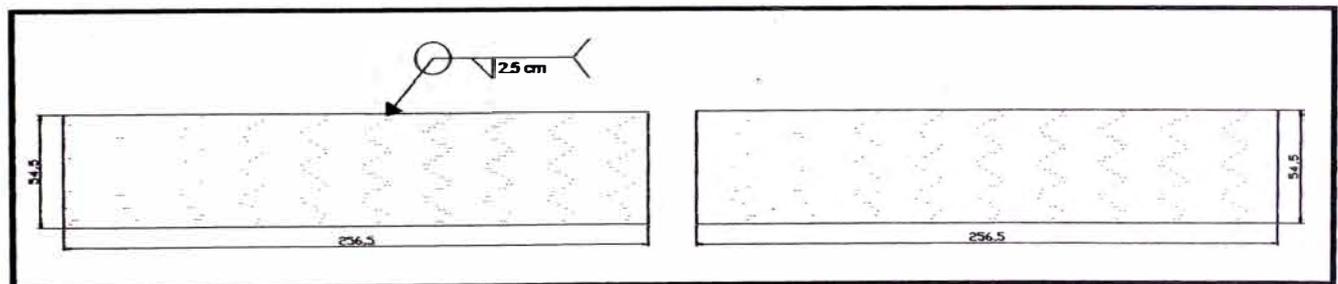
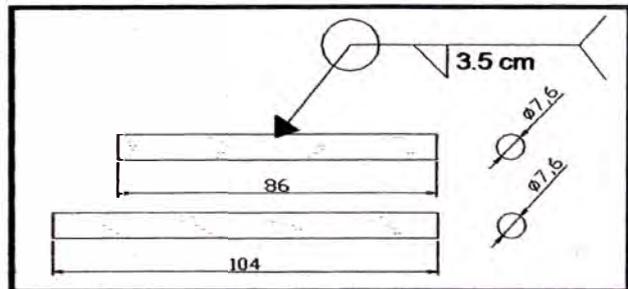




**Fig. 7.58.** Kit de protección antidesgaste en la base del cucharón



**Barra de protección Maxell**



**Fig. 7.59.** Plancha antidesgaste para labio superior

El labio superior es de acero estructural ASTM 514 el cual sufre deformaciones por el impacto del mineral en su superficie, esta zona prácticamente es un cajón que tiene cartelas en su interior, se colocó en esta zona una tapa de acero HBN 400 de  $\frac{3}{4}$  de espesor para dar más rigidez a esta zona.

Tabla 7.1 Formato de porcentaje de avance de reparación de Cucharón L1400

Labor Realizada (Cucharón)	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Desmontaje de material desgastado	█							
2 Inspección y eliminación de fisuras		█						
3 Preparación de planchas	█	█						
4 Armado y enchaquetado		█	█	█	█	█		
5 Soldadura en general			█	█	█	█	█	
6 Control de calidad						█	█	
7 Rectificado y barrenado					█	█	█	█
8 acabados finales							█	█
avance	12%	30%	40%	55%	65%	80%	95%	100%
Avance del trabajo hasta hoy	100%							

#### 7.4 REPARACION DE TAMBORES (TUMBLERS) IMPULSORES DE PALAS P&H4100

Los tambores impulsores de palas, llamados también tumblers o sprockets de pala, son los encargados de dar el movimiento motriz en la cadena de zapatas de las palas, su contacto directo metal – metal con la superficie de rodadura de las zapatas produce desgastes notorios en los dientes de los tumblers, llegando incluso a desgastes del 50% de la superficie de contacto del diente.

En cada pala existen dos tumbles, una por cadena de zapatas, el desgaste promedio es variado, depende directamente de la distancia que recorre una pala, puede recorrer solo un tajo y alrededores, para tal caso el tumbler tiene una vida útil aproximada de dos años, mientras si la pala se desplaza frecuentemente de nivel a otro, la vida útil desciende alrededor de año tres meses. Como el trabajo de las palas es de acuerdo a la proyección de mineral que extrae, y las zonas a donde estos se desplazan, la vida útil de los tumblers es variable.

### 7.4.1 Preparación inicial

Limpieza de óxidos y eliminación de la superficie fatigada utilizando electrodo de corte y disco de pulidora para dejar finalmente una superficie de "metal blanco" y lisa.

Dicha limpieza debe eliminar todo el material fatigado un espesor mínimo de 3mm (1/8"), para asegurar así el correcto proceso de soldadura evitando de este modo posibles cristalizaciones, formación de estructuras duras (Martensita) en el límite del diente e inicios de la soldadura de recuperación.



**Fig. 7.60** Estado inicial del tumbler antes del mantenimiento, se observa el desgaste severo de los dientes

### 7.4.2 Enmantequillado sobre Tambor Impulsor

El enmantequillado o soldadura de refuerzo es usado principalmente para aislar térmicamente la pieza a recuperar. El tumbler tiene una composición química de una colada de acero con alma de acero al manganeso, esta composición lo hace muy sensible a ser templable con facilidad, por ello para disminuir la posibilidad de realizar un tratamiento térmico accidental, se

aísla térmicamente mediante una capa de soldadura, de aproximadamente 5mm.

Esta soldadura ayuda a disminuir el control estricto que se debiera tener si se soldara directamente la soldadura de recargue al metal base del diente.

Pre calentamiento de 300°C y aplicación en todos los dientes de una capa de 5mm con TEROMATEC OA 690 vigilando permanentemente que la temperatura se mantenga durante este proceso.



**Fig. 7.61 Enmantequillado o soldadura de refuerzo aplicado a todos los dientes del tumbler**

### 7.4.3 Relleno y Reconstrucción Total

Mediante mordazas se instalan platinas de cobre que ayudan a moldear los depósitos de TEROMATEC OA 3205 cuyo espesor de capa en algunos dientes llega hasta 8 pulgadas de espesor. La temperatura en este paso debe mantenerse por debajo de los 260°C.

La secuencia de soldeo debe alternarse en cada pase en ambos casos, primeramente se debe hacer un pase longitudinal y la segunda un pase transversal al anterior, y así sucesivamente hasta completar el diente.

Las planchas de cobre facilitan dar la forma de los dientes del tumbler, debido a que luego es fácilmente retirado, no se suelda en el proceso de soldadura.

Para evitar deformaciones laterales el cobre debe de tener un espesor mínimo de  $\frac{1}{4}$ "

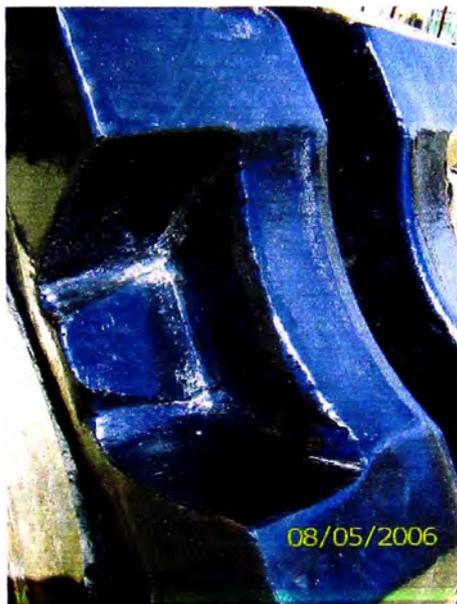


**Fig. 7.62 Soldadura de recargue de los dientes, la plancha de cobre es usada para ayudar a dar forma**

#### 7.4.4 Acabado final de los dientes

Para dar el acabado final e los dientes se debe de retirar las planchas de cobre, si estos tienen una deformación lateral, se debe de retirar por medio de esmeril eléctrico o si la deformación es mayor, se debe de precalentar a 100°C y retirarlos mediante electrodos de carbón ARCAIR, hasta aproximarlo a 1mm de su espesor final, para que este exceso sea removido con el esmeril.

Para tener la certeza de la forma de diente y el paso de los mismos se usa una plantilla, este es sacando de un molde base de un tumbler nuevo. Se esmerilan todos los dientes hasta llegar a la medida de la plantilla, se debe tener especial cuidado en inicios de diente, estos deben de tener una forma de curva hacia todos las direcciones, esto es para evitar la presencia de futuras fisuras en los lados discontinuos o cambios de dirección bruscos (90°).



**Fig. 7.63** Se debe de tener especial cuidado en la forma curva del inicio de los dientes

### 7.4.5 Reparación Rentable

A pesar del excesivo desgaste, el costo del alambre TEROMATEC utilizado no es más del 5% del costo de una pieza nueva.

Se aplican un promedio de 170 Kg para tambores impulsores de palas P&H 4100 y 120Kg para tambores impulsores de palas P&H 2100.



**Fig. 7.64.** Acabado final de la reparación del Tumbler

### 7.4.6 Vida útil promedio

El promedio de vida de un tambor impulsor nuevo es de 12,000 horas. El primer tambor impulsor reparado de una pala 4100 está promediando una duración de 14,000 horas.

### 7.4.7 Rendimiento y Productividad

Por su diseño y tecnología, el equipo TEROMATEC 400 y los alambres tubulares TEROMATEC se convierten en una herramienta esencial para la reparación rápida y confiable en este tipo de trabajos de gran volumen de soldadura a aplicar.

### PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

PIEZA RECUPERADA	TUMBLER DE PALA P&H4100	
DESGASTE	Compresión y fricción metálica	
MATERIAL BASE	Acero al Carbono baja aleación	
POSICION DE SOLDADURA	Plana	
PROCEDIMIENTO	UNION Y RECONSTRUCCION	RECARGUE
PROCESO DE SOLDADURA	FCAW (Alambre Tubular)	FCAW (Alambre Tubular)
MATERIAL DE APORTE	EXSATUB 308L-O	EXSATUB MnCr-O
NORMA	AWS E 308LT1- 3	—
DIÁMETRO	2.8 mm	2.8 mm
POLARIDAD	Invertida (Polo +)	Invertida (Polo +)
AMPERAJE	265-450 Amp.	230-450 Amp.
VOLTAJE	26 - 32 V	26 - 32 V
PREPARACIÓN DEL MATERIAL	Eliminación de las fisuras y material deformado presente en la superficie de la zona a soldar. Eliminación total de los óxidos, grasas, etc.superficiales, presentes.	
TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO	Precalentar un MÍNIMO de 220 °C al inicio del trabajo, mantener esta temperatura a 300mm a la redonda. Utilizar llama oxi-acetileno, gas propano y/o resistencia eléctrica.	
TEMPERATURA DE INTERPASE	Entre 160 a 260°C, no excediendo este rango. Se recomienda usar lápices térmicos y/o pirometros para el control de la temperatura.	
POST CALENTAMIENTO	NINGUNO El enfriamiento al finalizar el trabajo debe ser lento, proteger la zona soldada con material aislante.	
PROCEDIMIENTO	Iniciar la reconstrucción realizando una cama liga inicial con el alambre tubular EXSATUB 308L-O, en este caso realizar un PRE-CALENTAMIENTO MÍNIMO de 220 °C y NO EXCEDER de 300 °C. Reconstruir el diente del tumbler utilizando el EXSATUB MnCr-O como corazón del diente, mantener una temperatura de interpase de MÍNIMO 160°C y MÁXIMO 260°C. Cambiar el sentido de soldeo en cada pase EN AMBOS CASOS, (ejemplo: 1° pase longitudinal, 2° pase trasversal al anterior), realizar esta secuencia hasta finalizar la forma del diente.	
INSPECCIÓN	Realizar INSPECCIÓN VISUAL y LÍQUIDOS PENETRANTES en caso sea necesario resanar las discontinuidades relevantes que puedan afectar la performance del diente recuperado, utilizar el mismo procedimiento.	
RECOMENDACIONES	Controlar ESTRICTAMENTE la temperatura de PRE-CALENTAMIENTO al inicio del trabajo o jornada, y asimismo la temperatura de INTERPASE durante todo el proceso de soldeo. Proteger durante todo el proceso de las corrientes de viento, el enfriamiento FINAL debe ser totalmente lento. Utilizar únicamente alambres totalmente secos.	
REQUERIMIENTOS DEL SOLDADOR	El soldador deberá DOMINAR el proceso de soldadura FCAW., El soldador deberá DOMINAR la técnica de aplicación de recubrimientos duros.	

## **7.5 REPARACIÓN DE ZAPATAS DE PALA P&H 4100**

Las palas P&H 4100 se movilizan sobre dos juegos de zapatas llamadas cadenas, cada cadena consta de 39 zapatas. El peso aproximado de cada zapata es de unos 1000Kg. La máquina tiene un peso total de 500 toneladas.

El tren de rodaje en general sufre un desgaste por fricción, abrasión y compresión principalmente. Las zapatas que tienen posibilidad de reconstruirse llegan a perder unos 20 a 35 Kg de peso, esto representa entre 25 a 40 Kg de soldadura a aplicar.

### **7.5.1 Material Base:**

La composición química del metal de la zapata se determino, mediante pruebas empíricas como rayado, ensayo de chispa y experiencias anteriores de nuestro personal llegando a la conclusión que estábamos frente a una colada de acero al carbono de baja aleación con alma de acero al manganeso, revestimiento duro para hacer frente al la abrasión y compresión con los cuales es desgastado la zapata, el lado de cuerpo de rodadura, contacto metal – metal con el tumbler o tambor impulsor de pala, esta es la zona de mayor desgaste de la zapata, y por el exterior la abrasión que sufre por el contacto con el terreno, aquí el desgaste es menor.

### **7.5.2 Proceso de Soldadura:**

Utilizaremos el proceso semiautomático FCAW bajo los siguientes parámetros:

- 1 Material base usado, Colada de acero al carbono.
- 2 Material de aporte:
- 3 CHAMFERTRODE para biselado.

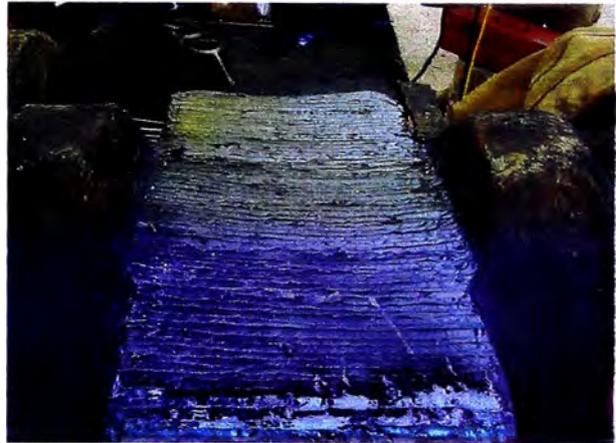
- 4 XUPER 646 XHD, Para relleno de fisuras.
- 5 TeroMatec OA 690, enmantequillado de áreas desbastadas.
- 6 TeroMatec OA3205, deposito de Cr Mn para acabado final.
- 7 Gas de protección CO<sub>2</sub>, electrodos autoprotegidos.
- 8 Temperatura de precalentamiento: 180 – 220 C.
- 9 Temperatura de interpase: 170 – 260.
- 10 Elemento de limpieza: escobilla circular de acero inoxidable trenzado, Esmeril 7<sup>o</sup> eléctrico.
- 11 1er – N pases: Diámetro del electrodo 2.8 mm DC + 210 – 250 pulg/min, 21 – 28 V 25 – 30 cm/min.

### **7.5.3 Procedimiento de Reparación:**

1. Se debe realizar una limpieza rigurosa de toda la zapata para eliminar grasa, aceite, óxidos, tierra, etc.
2. Antes de empezar cualquier operación, es necesario tomar medidas y ubicar los centros de los orificios por donde se colocan los pasadores y el centro sobre el muñón de rodadura. Esto se hace necesario porque las zapatas llegan a deformarse debido al peso de la máquina y al desgaste por rodadura. El diseño de la reconstrucción está dado para redimensionar los orificios de alojamiento de los pines, las garras de la parte inferior, el muñón de engrane con el tumbler y la superficie de contacto con los rodillos y bordes de los tumblers.
3. Todas las superficies laminadas y deformadas deben ser retiradas con disco de esmeril o con proceso ARCAIR (para esta operación se debe de precalentar el área a 100° C).

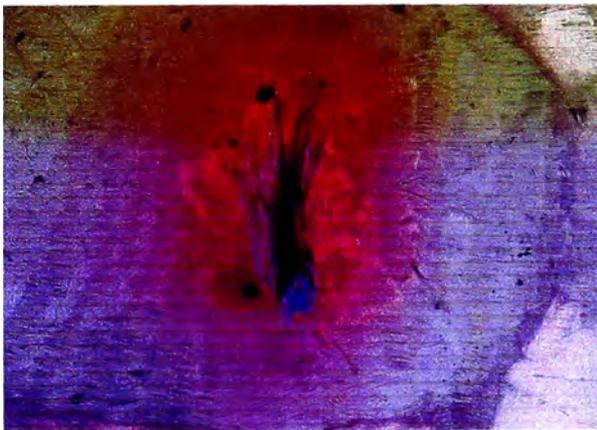


**Fig 7.65.** Operación de esmerilado del material fatigado



**Fig 7.66** Desbastado del apoyo de rueda guía con proceso ARCAIR

4. Antes de la reparación pueden aparecer fisuras, estas deben ser biseladas a  $60^\circ$  con CHAMFERTRODE y reparadas con el electrodo manual XUPER 646 XHD una vez hecho el precalentamiento recomendado en el punto siguiente.



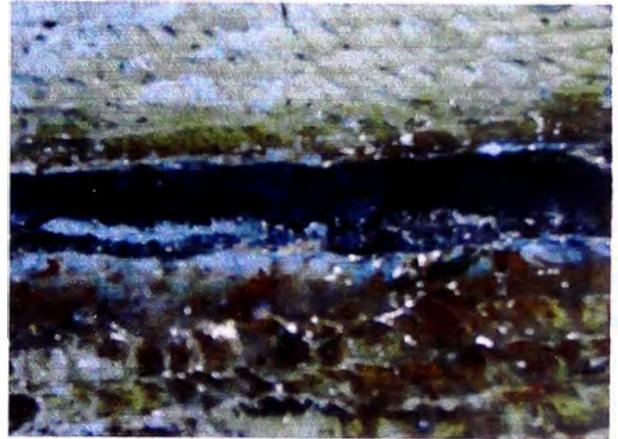
**Fig. 7.67.** Fisura que apareció en el momento



**Fig 7.68.** Fisura revelada por líquidos penetrantes



**Fig 7.69.** Biselado de la fisura con CHANFFERTRODF



**Fig 7.70.** Fisura eliminada

5. Las zapatas son fabricadas en acero y se ha calculado un carbón equivalente de 0,55% y de acuerdo a los espesores se exige una temperatura de precalentamiento entre 180°C a 220°C.



**Fig. 7.71.** Precalentamiento homogéneo sobre toda la zapata que evita Tensiones que pueden llegar a fisurar la pieza.

6. Para evitar las pérdidas de calor durante la aplicación de la soldadura, se recomienda cubrir la zapata con una tela de asbesto o material aislante térmico y dejar al descubierto solo la zona que inicialmente se va a rellenar.



**Fig.7.72.** Protección total de la zapata para evitar la Pérdida de calor durante el soldeo.

7. Se recomienda aplicar una capa de alambre de soldadura tubular TeroMatec OA 690 sobre todas las zonas a reconstruir, generalmente estamos hablando de un espesor de capa de 4 mm.



**Fig. 7.73.** Aspecto del enmantequillado de la zona de rodadura con alambre TeroMatec OA690.

8. La soldadura debe ser aplicada por capas traslapadas a 90° para disipar esfuerzos.
9. La soldadura en alambre tubular TeroMatec OA3205 debe ser aplicada cuidando de no llegar a los 260°C para evitar la precipitación de carburos de manganeso. Cada vez que se aplique

un cordón de esta soldadura se debe martillar para incrementar su dureza.



**Fig. 7.74.** La temperatura de soldeo durante la aplicación del alambre TeroMatec 3205 debe estar entre 170°C a 260°C.

10. Se debe soldar en forma continua hasta llegar a las dimensiones originales de la zapata.



**Fig 7.75** Verificación de las medidas finales después de haber rellenado con TeroMatec OA3205.

11. Otras zonas a reconstruir en cada zapata son los orificios en donde van colocados los pines que sirven para amar toda la cadena, antes de realiza un premaquinado para eliminar las superficies fatigadas, estos orificios se rellenan con el electrodo manual EutecTrode 54L que garantiza el maquinado final.



**Fig. 7.76** Relleno de alojamientos con FutecTrode 54



**Fig. 7.77.** Maquinado final de los alojamientos



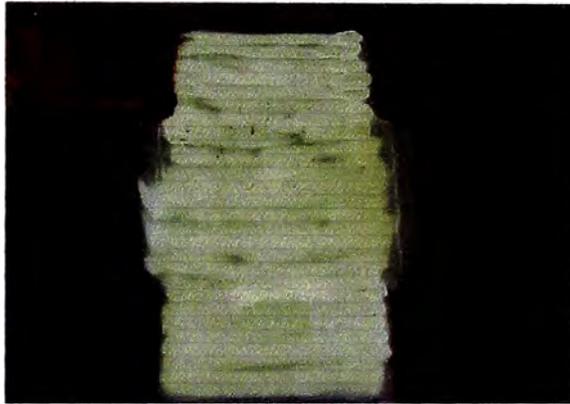
**Fig. 7.78.** Las zapatas están listas para amarlas y montarlas

12. Finalmente el trabajo de soldadura termina sin realizar ningún post-calentamiento. Las superficies de rodadura y rebordes son alisados con el disco de pulidora, aunque en algunos casos no se requiere de

esta operación ya que dependiendo de la manualidad del soldador este puede dejar superficies de muy buena presentación.

#### **7.5.4 Resultados:**

Después de la inspección visual se hizo un ensayo de líquidos penetrantes para verificar la presencia de fisuras en la cara de apoyo de la rueda guía.



**Fig. 7.79.** Las zapatas se prueban con líquidos penetrantes.

En este momento se están evaluando 8 zapatas que fueron montadas entre una cadena con zapatas nuevas, los resultados de una primera inspección han sido muy buenos ya que al comparar las zapatas, las nuevas han mostrado un mayor desgaste en casi dos meses de operación mientras que las zapatas reparadas no muestran ningún desgaste apreciable. Es difícil en este momento poder dar medidas de desgaste por la incomodidad para tomarlas en el terreno donde se encuentra operando la máquina pero se tendrán datos reales en próximas inspecciones. Se calcula que el promedio de vida de las zapatas reconstruidas pueda llegar a ser un 150% con respecto a las originales y el costo de reparación es casi la mitad de una nueva.

## PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

<b>Pieza recuperada:</b> "Zapata de Pala P&H 4100"		
<b>Desgaste:</b> Compresión, fricción metálica.		
<b>Material:</b> Acero al carbono de baja aleación.		
<b>Posición de soldadura</b>	plana	
<b>Procedimiento</b>	unión y reconstrucción	Recargue
<b>Proceso de soldadura</b>	FCAW (Alambre tubular)	FCAW (Alambre tubular)
<b>Material de Aporte</b>	Teromatec OA 690	Teromatec OA 3205
<b>Norma</b>	AWS E 308 LD-1 3	—
<b>Diámetro</b>	2.8 mm	2.8 mm
<b>Polaridad</b>	Invertida (polo +)	Invertida (polo +)
<b>Amperaje</b>	265 – 450 Amp.	230 – 450 Amp.
<b>Voltaje</b>	26 – 32 V.	26 – 32 V.
<b>Preparación del Material</b>	Eliminación de las fisuras y material deformado presente en la superficie de la zona a soldar. Eliminación total de los óxidos, grasas, etc. superficiales, presentes.	
<b>Temperatura de precalentamiento</b>	Precalentar un MÍNIMO de 220 °C al inicio del trabajo, mantener esta temperatura a 300mm a la redonda. Utilizar llama oxi-acetileno, gas propano y/o resistencia eléctrica.	
<b>Temperatura de interpase</b>	Entre 160 a 260°C, no excediendo este rango. Se recomienda usar lápices térmicos y/o pirometros para el control de la temperatura.	
<b>Postcalentamiento</b>	NINGUNO. El enfriamiento al finalizar el trabajo debe ser lento, proteger la zona soldada con material aislante.	
<b>Procedimiento</b>	<p>Iniciar la reconstrucción realizando una cama liga inicial con el alambre tubular Teromatec OA 690, en este caso realizar un PRE-CALENTAMIENTO MÍNIMO de 220 °C y NO EXCEDER de 300 °C.</p> <p>Reconstruir el diente del tumbler utilizando el Teromatec OA 3205 como corazón del diente, mantener una temperatura de interpase de MÍNIMO 160°C y MÁXIMO 260°C. Cambiar el sentido de soldeo en cada pase EN AMBOS CASOS, (ejemplo: 1° pase longitudinal, 2° pase trasversal al anterior), realizar esta secuencia hasta finalizar la forma del diente.</p>	
<b>Inspección</b>	Realizar INSPECCIÓN VISUAL y LÍQUIDOS PENETRANTES en caso sea necesario resanar las discontinuidades relevantes que puedan afectar la performance del diente recuperado, utilizar el mismo procedimiento.	
<b>Requerimientos del soldador</b>	El soldador deberá DOMINAR el proceso de soldadura FCAW. El soldador deberá DOMINAR la técnica de aplicación de recubrimientos duros.	
<b>Recomendaciones</b>	Controlar ESTRICTAMENTE la temperatura de PRE-CALENTAMIENTO al inicio del trabajo o jornada, y asimismo la temperatura de INTERPASE durante todo el proceso de soldeo.	

## **CONCLUSIONES**

Luego de realizadas varias reparaciones por soldadura de componentes mayores de acarreo de mineral se llega a las siguientes conclusiones:

1. Cada componente tiene un desgaste diferente y en zonas localizadas, es importante conocer el trabajo de dicho componente y/o pieza para recomendar el mejor mantenimiento a realizar, materiales y soldaduras a usar.
2. En el caso de las tolvas para volquetes las partes que sufren más desgaste está comprendida entre las dos terceras partes de la tolva medidos desde el final de la tolva o cola, en éste tramo sufre dos tipos de desgaste.

a) En los laterales de tolva: existe gran desgaste por abrasión por efecto de descargue o vaciado de tolva en los chutes, en las reparaciones se pudo observar que esta parte generalmente no tiene ya planchas de desgaste por el trabajo continuo, o en su defecto las planchas bases se están desprendiendo por fisuramiento de los cordones de soldadura.

Otro lado del lateral que sufre bastante deformación es el ultimo canal lateral, en las reparaciones que se realizó se observó que éstos generalmente están muy deformados (doblados) e incluso rotos por tramos, esto se debe a la mala operación por efecto del carguío de la pala (cuando la tapa del cucharón choca con el lateral, el impacto deforma este ultimo).

Generalmente los laterales se encuentran ligeramente desalineados uno respecto al otro, el porcentaje máximo permitido es del 0.5% en reparaciones de éste tipo.

- b) **Piso de Tolva:** existe dos partes que sufren dos tipos de desgaste, en el centro del piso de tolva se produce el impacto de las rocas de mineral contra la plancha de desgaste, estos golpes desprenden las planchas de desgaste y deforman los canales del chasis.

Otra de las partes que sufre desgaste por abrasión es la zona final de cola, en esta zona se le coloca una estructura llamada cola de pato. Las tolvas que entraron en reparación no tenían esta estructura, el constante trabajo y el impacto a la hora del descargue ocasionan que esta estructura salga.

Se instala una estructura entramada en la tercera parte del piso medido desde la cola llamada Wafer, los lados de los cuadrados formados con platinas de 2" x 1" son de 12" x 12". Esta estructura se coloca sobre una plancha de ½" o ¾" HBN 400. Toda esta estructura está sobre una plancha base ASTM A514<sup>o</sup>B de ¾".

La estructura entramada y la plancha de desgaste sirven para proteger a la plancha base de la abrasión severa en esta última parte del piso. En este punto la abrasión es máxima.

La plancha de desgaste de ½" o ¾" cumple la función de fusible mecánico, debido a que el primero en desgastarse es la estructura entramada, casi en su totalidad se desprende y/o se desgasta. Una vez desprendida el wafer, el desgaste empieza en la plancha de desgaste dándonos tiempo suficiente (de 02 meses aproximadamente)

para poder programar un mantenimiento preventivo de cambio de wafer y así prolongar la vida útil del piso de tolva.

3. La preparación de las superficies a soldar debe de ser el adecuado, generalmente es un bisel de 30°-60°; las planchas tanto de piso, lateral, Canopy y/o otros deben de tener un grado de embridamiento (estructura tensionada) mínimo, para disminuir la sensibilidad a fisuramiento en frío.

Cuando se sueldan planchas de acero, estos tienden a deformarse (torcerse) debido al efecto de dilatación en el sentido de la soldadura, por ello para evitar tensiones residuales en el cordón de soldadura, se deben de soldar tramos aleatorios conocidos como pase de peregrino, el cual consiste en dividir el tramo a soldar en partes iguales de tal manera que empieza el soldeo en un tramo de la parte central, luego en uno de los tramos extremos, y finalmente en el otro tramo extremo de tal manera de siempre seguir este orden. Esta técnica es muy difundida y se aplica para evitar embridamientos y deformaciones en las planchas.

4. Al desoldar las planchas deterioradas se usa electrodos de carbón los más usados son de la marca "Arcair", se debe de regular la corriente, presión y caudal del aire comprimido según recomiendan los fabricantes, generalmente los soldadores usan toda la presión disponible, generalmente mucho mayor a lo recomendado, se cree que el aire comprimido ayuda a la eliminación del metal fundido por el electrodo de carbón y mientras más presión tenga más será lo que se elimina. La practica demuestra que el aire es usado como vehiculo de para la salida del metal fundido. Si se usa una mayor presión y/o caudal lo que se consigue es enfriar el baño de fusión, pudiéndose provocar

microtemple o elevación de la dureza en algunos lugares, lo cual es muy perjudicial para la subsiguiente soldadura.

5. Se debe tener presente que toda soldadura debe estar libre de defectos, pero puede tener discontinuidades en el cordón, también se debe considerar que todo defecto es una discontinuidad pero no toda discontinuidad es un defecto.
6. El grado de aceptación y/o rechazo de una unión soldada esta claramente establecida en las normas aplicables, generalmente se realizan en conformidad a la American Welding Society y de acuerdo a su norma AWS D1.1/1.1M – 200X Structural Welding Code – Steel.
7. En tolvas una inspección especial se debe realizar en la zona del piso y la soldadura del chasis (canales con planchas de piso), allí se tiene la mayor probabilidad de falla, por destreza del soldador, las fallas comunes encontradas son socavación, falta de penetración y mal acabado de cordón sobre todo en las esquinas.
8. Una soldadura jamás debe terminar en Angulo recto siempre tiene que tener un radio de curvatura para disipar las tensiones que se producen por el trabajo continuo.
9. Se debe de usar una soldadura especial, para resistir impacto para soldar las planchas de piso y los cánsale del chasis, debido a que siempre están presentes los impactos con rocas de mineral, en esta parte se usa la soldadura AWS A5.20 (ESAB II70 ultra), que tiene buenos resultados.

Cuando una plancha se desprende este llega al chute y posteriormente a la chancadora primaria en la planta concentradora, lo que produce atoramientos del chancador principal lo cual produce paradas para desatoros y perdidas de

producción. Por ello es muy importante la buena fijación de las planchas de desgaste sobre todo los que van en el piso y usar la soldadura adecuada (contra impacto) en esta zona.

10. El costo promedio de una reparación total de una tolva varia respecto a la marca, modelo , material de acarreo y capacidad de carga de los mismos, en promedio se manejan los siguientes costos:

TOLVA DE VOLQUETE	CAPACIDAD DE CARGA	MATERIAL DE ACARREO	REPARACION		MANTTO
			GENERAL	PARCIAL	PREVENTIVO
Komatsu K830E	240 Ton	Mineral	\$128.358,20	\$71.922,47	\$9.075,16
Komatsu K930E	300 Ton	Mineral	\$164.015,54	\$77.917,78	\$10.300,77
Caterpillar 793C	250 Ton	Mineral-lixiviable	\$95.769,20	\$38.124,20	\$8.618,81
Titán 2200	200 Ton	Desmonte	\$96.572,69	\$38.124,20	\$8.618,81

Según éstos costos, se puede implementar un buen programa de mantenimiento preventivo para alargar la vida de las tolvas antes del mantenimiento correctivo o reparación total de la tolva.

11. En los cucharones las partes que más sufren desgaste son los labios, la zona donde se aloja en barretón conocido como el lanchkiper, los alojamientos frontales y la tapa.

La recuperación de los labios se de hacer con soldadura inoxidable tipo AWS A5.22 (Shield bringht 308L) debido a que el material del labio es un acero al manganeso austenítico, se debe tener especial cuidado con no sobrepasar la temperatura de 250°C entre pases y nunca realizar un precalentamiento en la zona a soldar.

Los Adapters y las uñas que van instalados en los labios deben de quedar ajustados con tolerancias según los manuales no mas ni menos; debido a que si la recuperación es menor al requerido, el adapter tiende a moverse con facilidad pudiendo resultar esta acción en la fractura de los seguros de los adapters en los labios y/o fisuramientos.

12. En los tumblers o tambores impulsores de pala, el material a usar tanto de respaldo como de recargue deben de ser de una excelente calidad para evitar fallos prematuros, generalmente se sueldan estos componentes con soldaduras de la marca Eutectic Castolin.
13. Para realizar un buen programa de reparaciones y mantenimientos a componentes mayores de minería a tajo abierto es necesario conocer el trabajo de la pieza o equipo, tener un buen concepto de soldadura y de los materiales a usar, esto es requisito imprescindible. Lo demás es el cambio de planchas y/o estructuras deterioradas por nuevas, resoldeo o recargue de piezas desgastadas.
14. Un buen programa de mantenimiento da realse al mantenimiento preventivo, en Southern Peru Copper Corporation, unidad de producción Toquepala, este último no esta muy difundido, la mayor parte de mantenimientos que se realizan son correctivos, dejando así que el equipo sufra un deterioro extremo, se puede ver tolvas con huecos en las planchas de piso, rotos los canales superiores y otros. Si se aplicará un buen programa de mantenimiento preventivo estos deterioros serian menores con un menor costo al final de una reparación.

## **BIBLIOGRAFIA**

- **DR CARLOS FOSCA.**  
Introducción a la metalurgia de la soldadura PUCP.  
Quinta edición Lima – 2005.
- **GERMÁN HERNÁNDEZ RIESSCO**  
Manual del soldador.  
Sexta edición Madrid – 2005.
- **MANUAL DE SOLDADURA EXSA – OERLIKON**  
Edición – 1995.
- **ASM – HANDBOOK**  
Welding Brazing and Soldering
- **WELDING HANDBOOK**  
American welding Society.
- **GUIA PARA LA INSPECCION VISUAL DE SOLDADURAS AWS  
B1.1**

**ANEXOS**

## ANEXO 1

### DEFECTOS TÍPICOS EN UNIONES SOLDADAS

#### 1. Porosidad.

La porosidad esta caracterizada por discontinuidades del tipo cavidad formado por gas atrapado durante la solidificación. La discontinuidad formada es generalmente esférica pero puede ser cilíndrica. Frecuentemente, la porosidad es una indicación que el proceso de soldadura no esta siendo apropiadamente controlado, o que el metal base o metal de aporte esta contaminado, o que el metal base es de una composición incompatible con el metal de aporte de la soldadura y el proceso.

##### 1.1 Porosidad Dispersa.

La porosidad dispersa es la porosidad ampliamente distribuida en un solo pase de soldadura o en varias pasadas de una soldadura multipase. La porosidad estará presente en una soldadura, si la técnica de soldeo, materiales a ser usados o las condiciones de la preparación de junta, con lleve a la formación de gas y a su atrapamiento. Si la soldadura enfría suficientemente lenta para permitir al gas pase a la superficie andes de la solidificación, no habrá porosidad en la soldadura.



Fig. 80. Porosidad Dispersa

##### 1.2 Porosidad Agrupada y Porosidad Alineada.

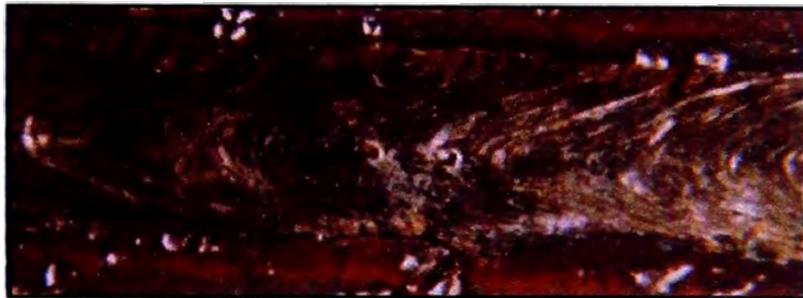
La porosidad agrupada es un grupo de poros localizados. Frecuentemente resulta de un inapropiado inicio o parada del pase de soldadura. Las condiciones que causan el soplado del arco pueden también resultar en porosidad agrupada. La porosidad alineada es un número de poros los cuales están alineados. Frecuentemente ocurre a lo largo de la interfase de la soldadura, la raíz de la soldadura o un límite entre pases, y desarrolla por contaminación que causa gases a ser liberados en aquellas ubicaciones.



Fig. 81.- Porosidad Alineada con fisura

### **1.2.1.1 Porosidad Vermicular (tubular)**

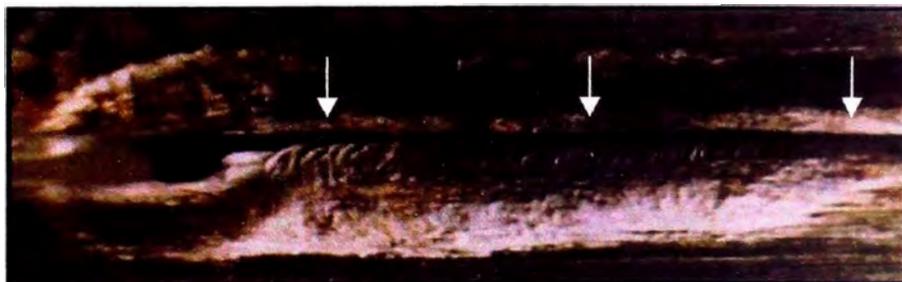
La porosidad vermicular (también referida como agujero de gusano, o porosidad alargada) es un término para discontinuidades de gas alargadas. La porosidad vermicular en soldaduras de filete se extienden desde la raíz hasta la cara de la soldadura. Cuando se ven pocos poros en la cara de la soldadura, una cuidadosa excavación mostraran frecuentemente la existencia de muchos poros sub-superficiales que no se extiende todos hacia la cara de la soldadura. La Figura 82 muestra algunos poros superficiales, los cuales, cuando son excavados, determinaron ser porosidad vermicular.



**Fig. 82. Apariencia superficial de la porosidad vermicular**

### **1.2.2 Fusión incompleta.**

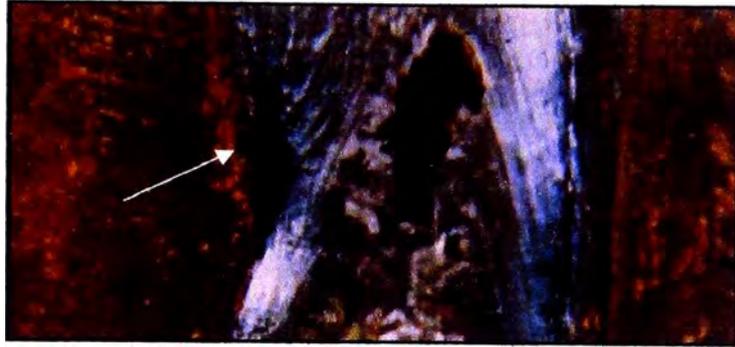
Fusión incompleta es llamada a la falta de fusión entre las superficies del metal base a ser soldadas y entre todos los pases de soldaduras. La Figura 84 muestra fusión incompleta que no podría ser detectada durante la inspección visual, pero debería ser detectada por exámenes de radiografía o ultrasonido.



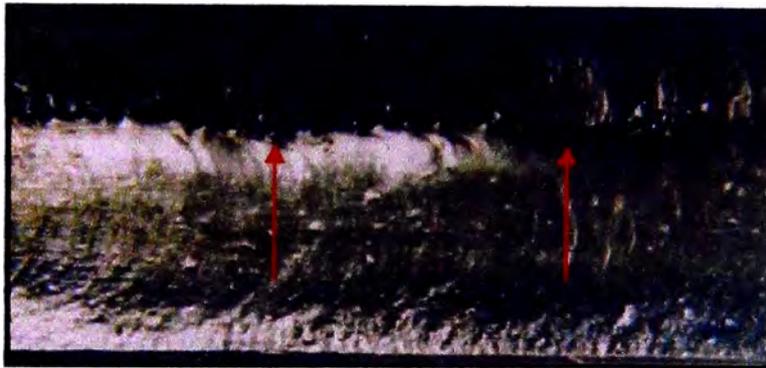
**Fig. 84. Fusión incompleta**

La fusión incompleta puede resultar debido al insuficiente calor aportado o la manipulación impropia del electrodo de soldadura.

La figura 85 muestra un ejemplo que sucede en la cara de una junta en canal de una cerro soldado con soldadura tubular (FCAW). La Figura 86 y 87 muestran la presencia de fusión incompleta (traslape en frío) entre pases individuales y entre el metal de soldadura y el metal base.



**Fig. 85 Fusión incompleta en la cara de la junta en canal**



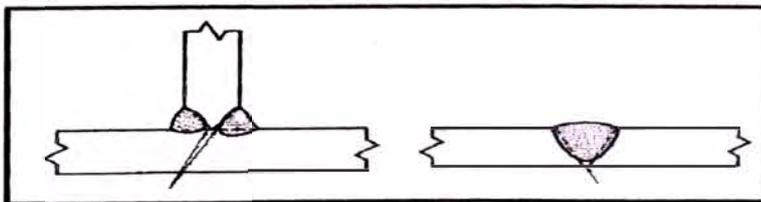
**Fig. 86 Fusión incompleta entre pases.**



**Fig. 87 Fusión incompleta entre el metal fundido y el metal base.**

### **1.2.3 Penetración de junta incompleta.**

La penetración incompleta de una junta esta definida como la penetración deficiente del metal de soldadura en una junta en canal, este no se extiende en todo el espesor del metal base.

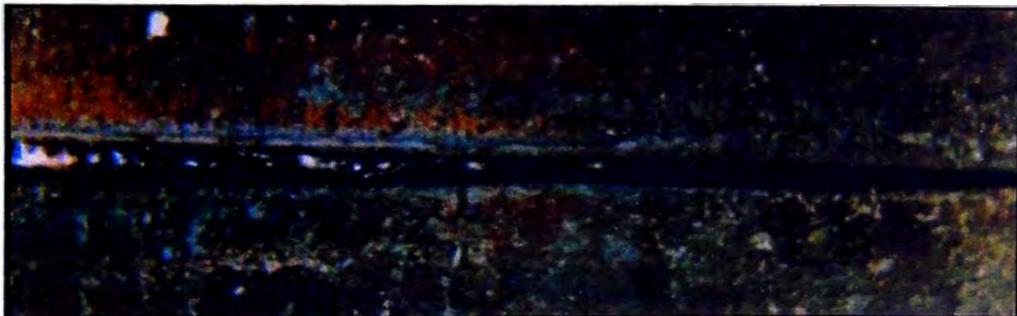


**Fig. 88. Algunas condiciones las cuales son clasificadas como penetración de junta incompleta.**

La condición mostrada para la soldadura de canal de V simple solamente será evidente usando examen visual si hay acceso a l lado de la raiz de la soldadura. La condición mostrada en la junta en T de doble bisel no será evidente en la soldadura terminada, excepto en el inicio y en las paradas. La penetración incompleta de junta puede resultar por el insuficiente calor de soldadura, inapropiado control lateral del arco de soldadura, o inapropiada configuración de la junta. Algunos procesos de soldadura tienen más grandes habilidades de penetración que otros y deberían por tanto ser menos susceptibles a este problema.



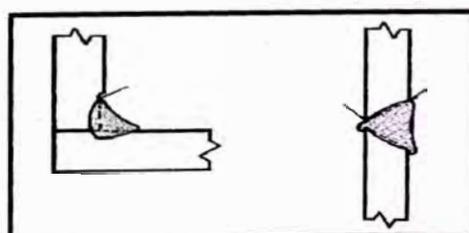
**Fig. 89. Fusión incompleta con inserto consumible**



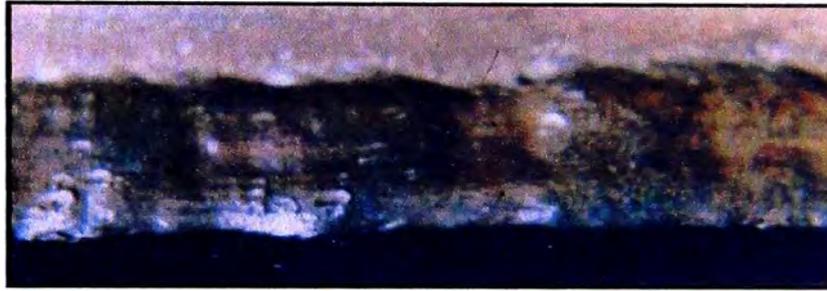
**Fig. 90. Penetración de Junta Incompleta**

#### **1.2.4 Socavación.**

La socavación crea una transición en la sección transversal de la soldadura esta discontinuidad debe ser controlada rigurosamente en situaciones en donde la fatiga del material cumple un papel importante. La socavación, controlada dentro los límites de la especificación, no es considerada un defecto de soldadura. La socavación esta usualmente asociada con técnicas de soldadura inapropiada o parámetros de soldadura, corrientes o voltajes de soldadura excesiva, o ambos.



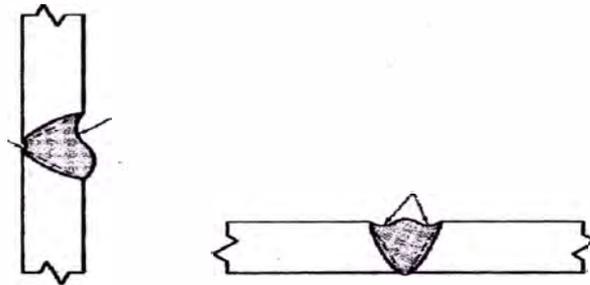
**Fig. 91. Ejemplos de Socavación**



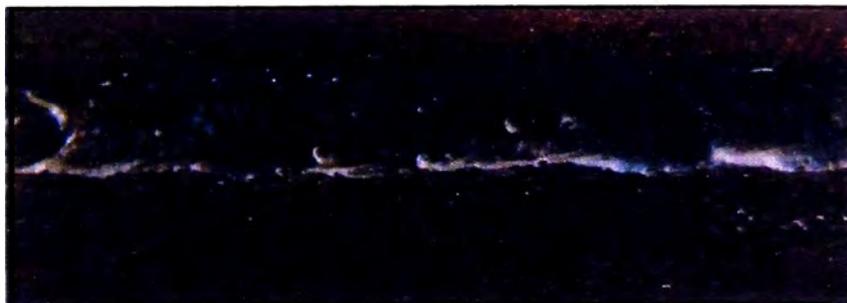
**Fig. 92. Socavación en el pie de una junta de filete.**

### **1.2.5 Falta de llenado (underfill)**

La falta de llenado es una depresión en la cara de la soldadura o superficie de la raíz extendiéndose por debajo de la superficie adyacente del metal base. La falta de llenado está definido usualmente como una condición donde el espesor total a través de la soldadura es menor que el espesor del metal base adyacente. Resulta de la falla de un soldador o operador de soldadura para completar de manera uniforme la soldadura



**Fig. 93. Falta de Llenado**



**Fig. 94. Falta de llenado en un Proceso de Arco Eléctrico con Electrodo Tubular en acero**

### 1.2.6 Traslape.

El traslape es la acumulación del metal de soldadura hacia el pie de la soldadura, o raíz de la soldadura. Puede aparecer como resultado de un pobre control de los procesos de soldadura, selección inapropiada de los materiales de soldadura, o preparación inapropiada de los materiales previo a la soldadura. Si hay óxidos adheridos en el metal base que interfieren con la fusión, frecuentemente resultara en traslapes.

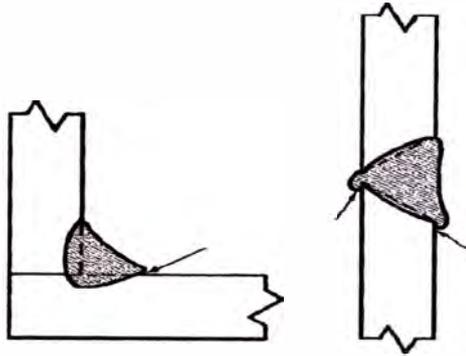


Fig. 95. Traslape.

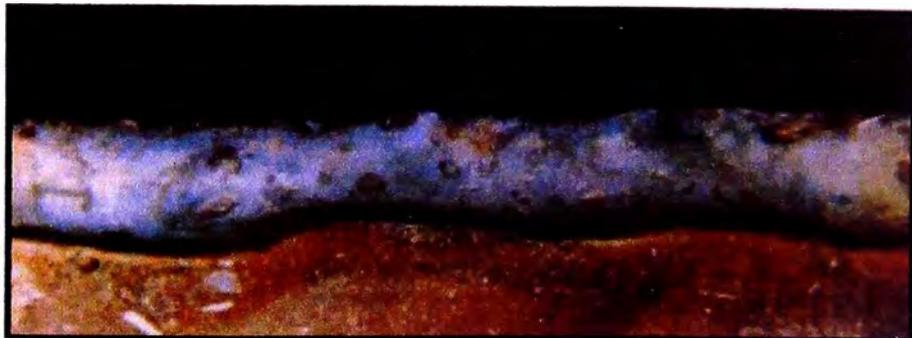


Fig. 96. Traslape.

### 1.2.7 Laminaciones.

Las laminaciones son discontinuidades del metal base planas, generalmente alargadas, encontradas en el área central del espesor de productos forjados. Las laminaciones pueden ser completamente internas, y entonces solo detectadas no destructivamente por el ensayo ultrasónico. Ellas pueden también extenderse a un extremo o borde donde son visibles en la superficie y pueden ser detectadas por inspección visual, ensayos por líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Ellas pueden también ser reveladas cuando se exponen por operaciones de corte o maquinado.

Las laminaciones se forman cuando una cavidad de gas, cavidad de contracción, o inclusiones no metálicas en el lingote original son laminadas. Ellas generalmente se disponen paralelas a la superficie de los productos laminados y comúnmente encontradas en barras y planchas. Algunas laminaciones son parcialmente soldadas por forja a lo largo de su interfase por las altas temperaturas y presiones de la operación de laminado.

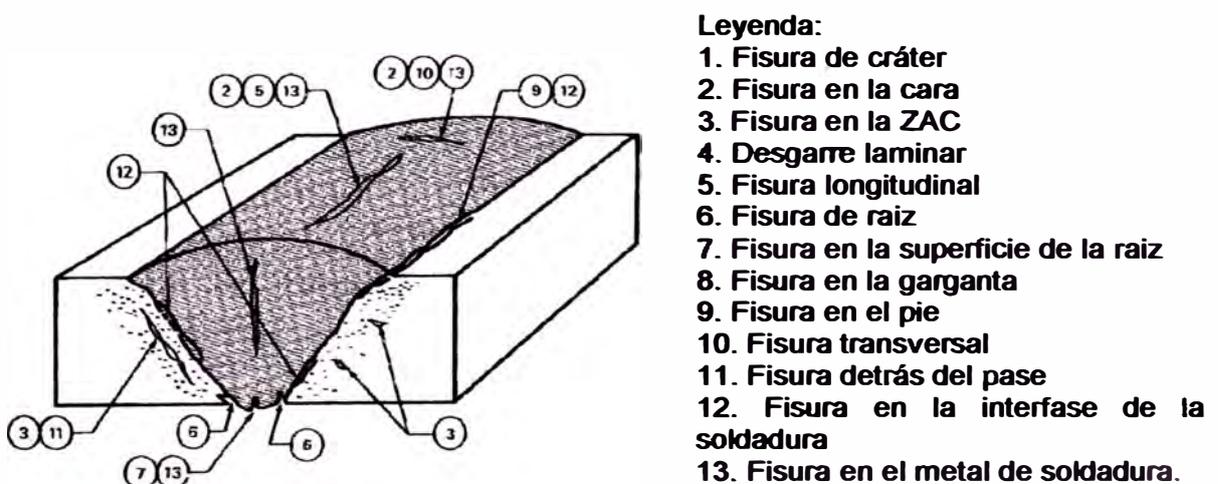


**Fig. 97. Laminación**

### 1.2.8 Fisuras.

Las fisuras se forman en la soldadura y en el metal base cuando tensiones localizadas exceden la resistencia máxima del material. El fisuramiento puede ocurrir a temperatura elevada durante la solidificación del metal de soldadura, o después de la solidificación, cuando la soldadura ha disminuido la temperatura. La fisuración es generalmente asociada con la amplificación de las tensiones cerca de las discontinuidades en la soldadura y en el metal base, o entallas cercanas asociadas con el diseño de la junta soldada. Altas concentraciones de tensiones están presentes generalmente, y la fragilidad por hidrógeno es frecuentemente un contribuyente a la formación de fisuras.

Las fisuras relacionadas a las soldaduras son generalmente frágiles en naturaleza, exhibiendo pequeña deformación plástica en los bordes de la fisura. La figura 98 representa los variados tipos de fisuras y ubicaciones de las fisuras en la zona de soldadura, algunos de los cuales no serán visibles durante el examen visual de la superficie de la soldadura.



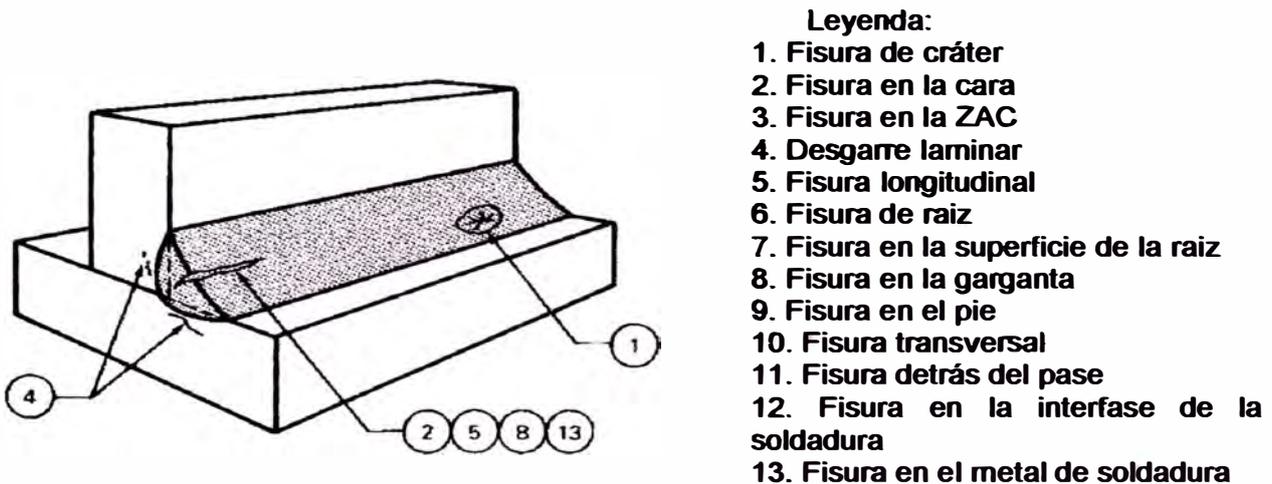
**Fig. 98. Tipos de fisuras y ubicaciones en la zona de soldadura**

Las fisuras pueden ser clasificadas como fisuras en caliente o fisuras en frío. Las fisuras en caliente se desarrollan a temperaturas elevadas. Ellas se

forman durante la solidificación del metal a temperatura cercana a la del punto de fusión.

Las fisuras en frío se desarrollan después que la solidificación es terminada. El fisuramiento asociado con la fragilidad por hidrógeno, comúnmente llamada "fisuramiento retardado" es una forma de fisuración en frío.

Las fisuras en frío se propagan a través de los límites de grano y también a través de los granos.



**Fig. 99. Tipos de fisuras y ubicaciones en la zona de soldadura**

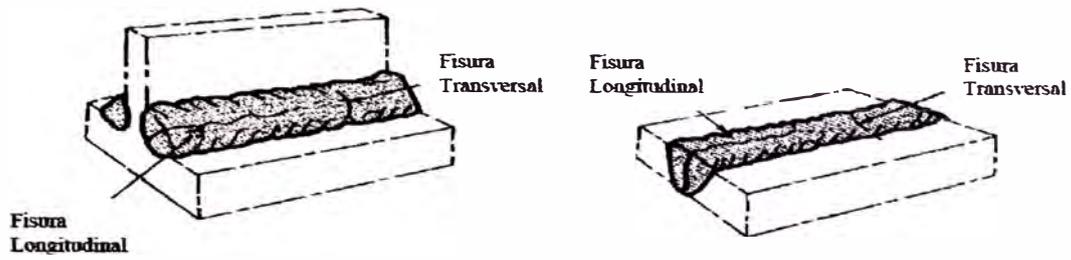
### **1.2.8.1 Orientación.**

La orientación de la fisura puede ser llamada longitudinal o transversal dependiendo de la dirección de la fisura con respecto al eje de la soldadura. Cuando una fisura es paralela al eje de la soldadura, es llamada fisura longitudinal, sin importar de donde está en la línea central de la fisura en el metal de soldadura, o en el pie de la soldadura en la zona afectada por el calor del metal base.

Las fisuras transversales caen transversales al eje de la soldadura. Estas pueden ser limitadas en tamaño y confinadas al metal de soldadura o ellas pueden propagar desde la soldadura en la zona afectada adyacente y dentro del metal base. En algunas soldaduras, las fisuras transversales forman en la zona afectada por el calor y no en la soldadura.

Las fisuras longitudinales en las soldaduras, hechas en máquinas automatizadas, están asociadas comúnmente con la alta velocidad de soldado y están algunas veces relacionadas a la porosidad que no se muestra en la cara de la soldadura. Las soldaduras que tienen altos radios de profundidad – ancho pueden ser susceptibles a fisuración longitudinal debido al patrón de solidificación.

Las fisuras longitudinales en soldaduras pequeñas entre secciones gruesas son frecuentemente el resultado de rápidas velocidades de enfriamiento y de alto embridamiento. Las fisuras en frío transversales están generalmente el resultado de esfuerzos de contracción longitudinales actuantes en metal de soldadura duro de baja ductilidad.



**Fig. 100. Fisuras Longitudinales vs. Transversales.**



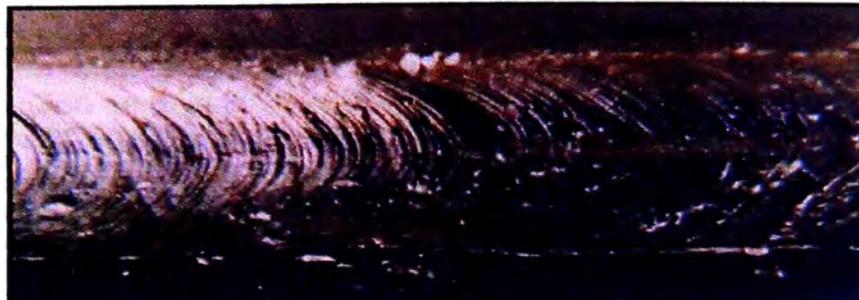
**Fig. 101. Fisura Longitudinal la cual ha propagado a lo largo de la soldadura entre poros de una porosidad alineada**



**Fig. 102 Fisuras en la soldadura transversales que aparecen en una soldadura de arco protegida por gas multipase en una unión soldada de acero de alta resistencia.**

### ***1.2.8.2 Fisuras de Garganta.***

Las fisuras de garganta son fisuras longitudinales en la cara de la soldadura en la dirección del eje de la soldadura. Ellas son generalmente, pero no siempre, fisuras en caliente.



**Fig. 103. Fisura de garganta.**

### 1.2.8.3 Fisura de Raíz.

Las fisuras de raíz son fisuras longitudinales en la raíz de la soldadura. Ellas son generalmente fisuras en caliente.

### 1.2.8.4 Fisuras de Cráter.

Las fisuras de cráter ocurren en el cráter de la soldadura y son formadas por culminación inapropiada del arco de soldadura. Un termino no estándar para las fisuras de cráter es fisura estrella a pesar que ellas pueden tener otras formas. Las fisuras de cráter son fisuras en caliente usualmente formadas en una agrupación tipo estrella.



Fig.104. Fisura de Cráter

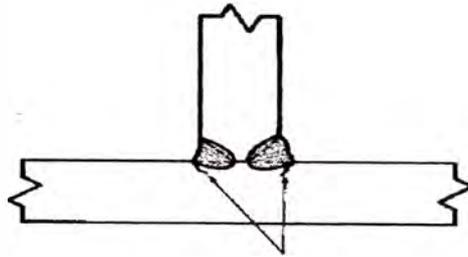


Fig. 105. Fisura Longitudinal propagada a partir de una fisura de cráter

### 1.2.8.5 Fisura de Talón.

La fisura de talón son generalmente fisuras en frío. Ellas se inician y propagan desde el talón de la soldadura donde los esfuerzos de embridamiento son los mas altos. Cambios abruptos en el perfil en el talón causados por una convexidad o sobremonta excesiva pueden amplificar as tensiones.

La fisura de talón se inicia aproximadamente normal a la superficie del metal base. Estas fisuras generalmente son el resultado de contracciones de tensiones térmicas de contracción actuantes en la Zona afectada por calor de la soldadura. Algunas fisuras de talón ocurren porque las propiedades de tracción transversales de la ZAC no pueden acomodarse a las tensiones de contracción que son impuestas por soldadura.



**Fig. 106. Fisura de Talón**



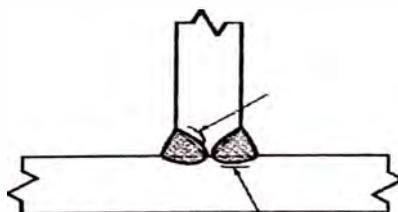
**Fig. 107. Fisuras de Talón en soldadura de filete.**

#### **1.2.8.6 Fisuras debajo del Cordón y en ZAC.**

Las fisuras debajo del cordón y en ZAC generalmente son fisuras en frío que se forman en la ZAC del metal base. Pueden ser longitudinales o transversales. Ellas son encontradas a intervalos regulares debajo de la soldadura y también delineando los bordes de la soldadura donde las tensiones residuales son las más altas. Las fisuras debajo de los pases pueden convertirse en serios problemas cuando los siguientes tres elementos están presentes simultáneamente:

- (1) Hidrógeno
- (2) Microestructura susceptible a la fisuración
- (3) Tensiones

La figura 108 esquematiza la ocurrencia de fisuras debajo del cordón, la cual no puede ser detectada por examen visual, excepto si el material es seccionado



**Fig. 108. Fisuras Debajo del cordón**

### **1.2.9 Inclusión de escoria**

Las inclusiones de escoria son materiales sólidos no metálico atrapado en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. Las inclusiones de escoria son regiones dentro de la sección transversal de la unión soldada o en la superficie donde el flux fundido usado para protegerle metal fundido es mecánicamente atrapado cuando solidifica el metal. Esta escoria solidificada representa una porción de la sección transversal donde el metal no se ha fundido consigo mismo.

A pesar que normalmente pensamos que se trata de una discontinuidad subsuperficial, las inclusiones pueden también aparecer en la superficie de la soldadura. Como aparece en la figura 109. Al igual que la fusión incompleta, la inclusión de escoria puede ocurrir entre el metal de soldadura y el metal base o entre pases de soldadura individuales. En efecto, las inclusiones de escoria están frecuentemente asociadas con fusión incompleta.



**Fig.109. Inclusión de escoria.**

### **1.2.10 Sobremonta o refuerzo de la soldadura.**

La sobremonta es el metal de soldadura en exceso que la cantidad requerida para llenar un junta de canal (Groove).

Es aquella cantidad de metal de soldadura en una soldadura de canal que esta sobre la superficie del metal base.

Toda la sobremonta produce un efecto de entalla al pie de la soldadura. La sobremonta, cuando es excesiva, no agrega resistencia a la soldadura pero puede actuar de un concentrador de tensiones y amplificar los esfuerzos aplicados. La sobremonta mas grandes, están asociadas con ángulos de reentrada reducidos, los cuales resultan en efecto de entalla mas grandes.

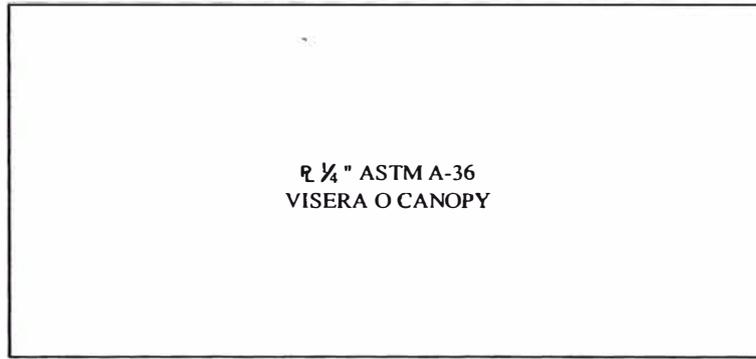
Las sobremontas las cuales son excesivas tienden a producir efecto entalla significativa, en el pie de la soldadura, los cuales actúan como concentrador de tensiones y pueden producir fisuración en servicio.

### **1.2.11 Convexidad y concavidad.**

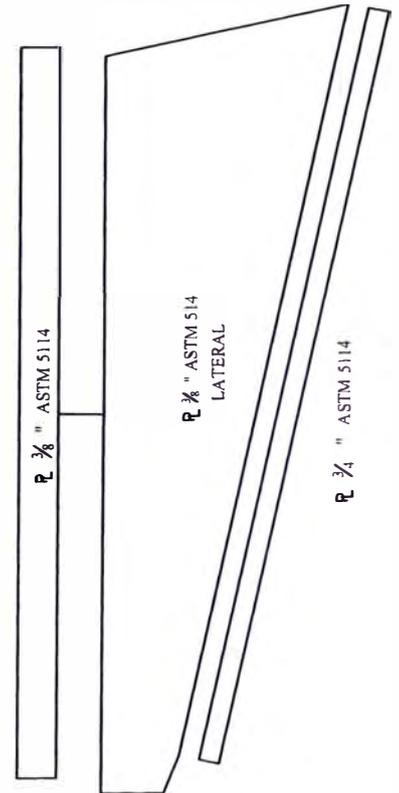
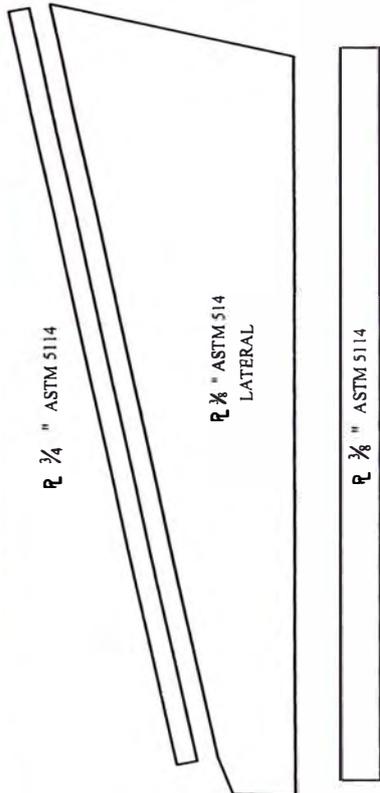
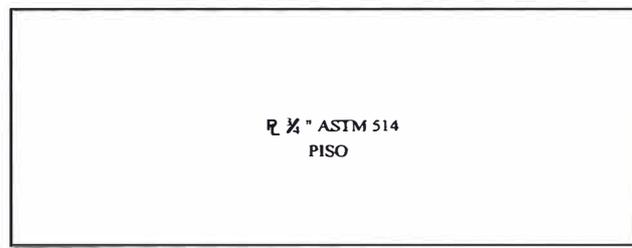
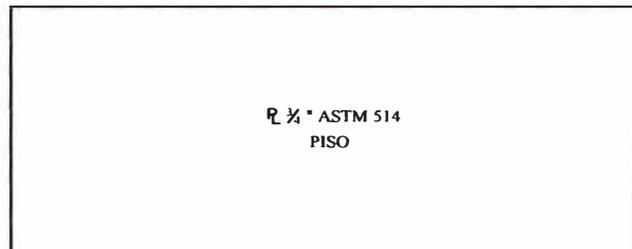
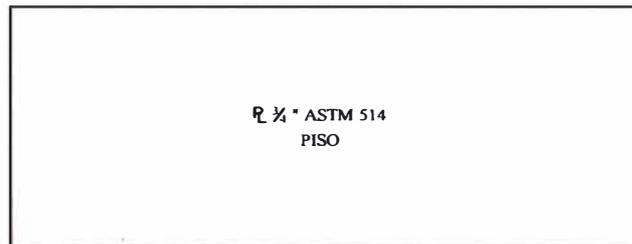
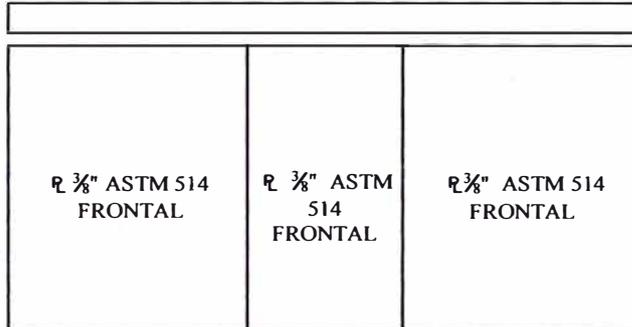
La convexidad es la máxima distancia, de la cara de un filete convexo de soldadura de filete, perpendicular a la línea que une los (pies) talones de la soldadura. La convexidad es un término aplicado a la soldadura de filete. De la misma manera que la sobremonta, cuando la cantidad de esta convexidad es excesiva, la entalla creada en el talón de la soldadura puede resultar en una fisura de talón. Durante la soldadura, una convexidad excesiva puede ocurrir en los pases intermedios de soldaduras Multipases lo cual puede inhibir el proceso de limpieza y puede llevar a inclusiones de escoria o fusión incompleta.

**PLANOS**

ESTANDAR DE REPARACION DE TOLVAS - PLANCHIA BASE



R 3/4" ASTM 514  
REFUERZO UNION  
FRONTAL Y VISERA



R 1/2" ASTM 514 COLA DE PATO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA



ESTANDARES DE REPARACION DE TOLVAS

DISPOSICION DE LAS PLANCHAS BASES

Piso	N° 1
Departamento	Tacna
Provincia	Jorge Basadre
Districto	Toquepala - Ilabaya
Fecha	Octubre de 2005
Ejecuta	S/E

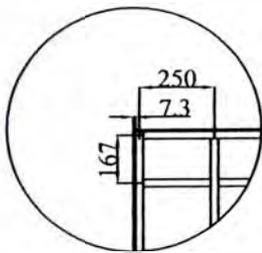
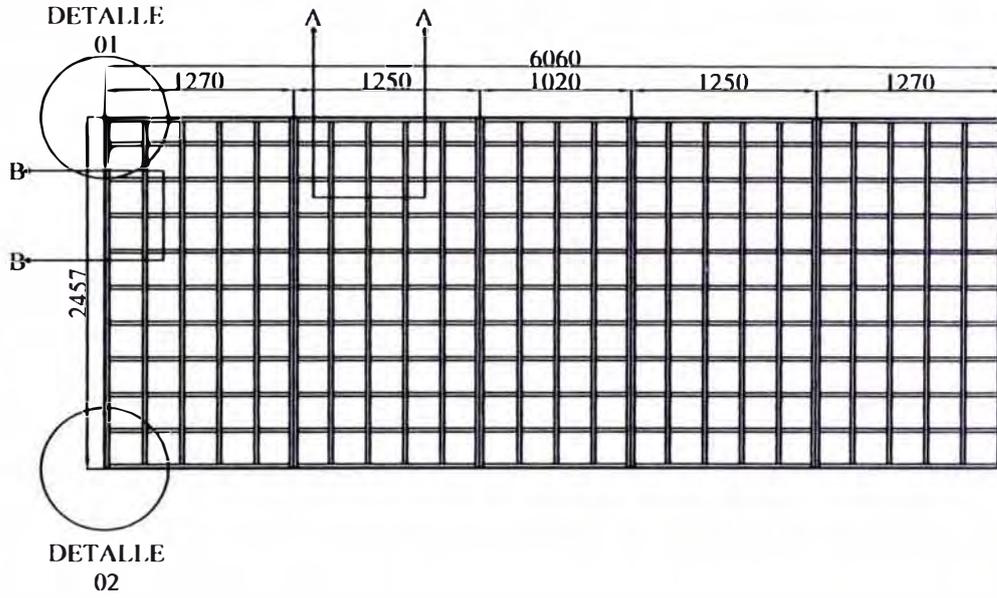
INFORME DE SUFICIENCIA

Responsable: Juan Carlos Salas Espíntu

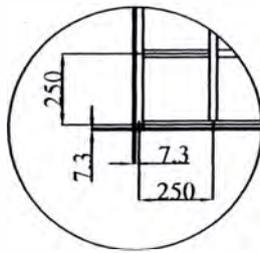
Proy: Reparación de tolvas  
Asesor: Ing. Javier Franco G.  
Dibujó: JCS



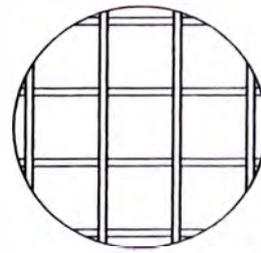
ESTANDAR DE REPARACION DE TOLVAS - PARRILLA



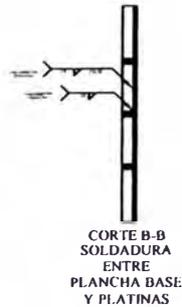
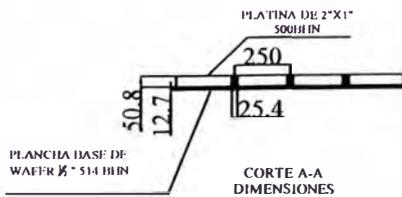
DETALLE 01  
DIMENSIONES



DETALLE 02  
DIMENSIONES



DETALLE 03  
SOLDADURA



CORTE B-B  
SOLDADURA  
ENTRE  
PLANCHA BASE  
Y PLATINAS

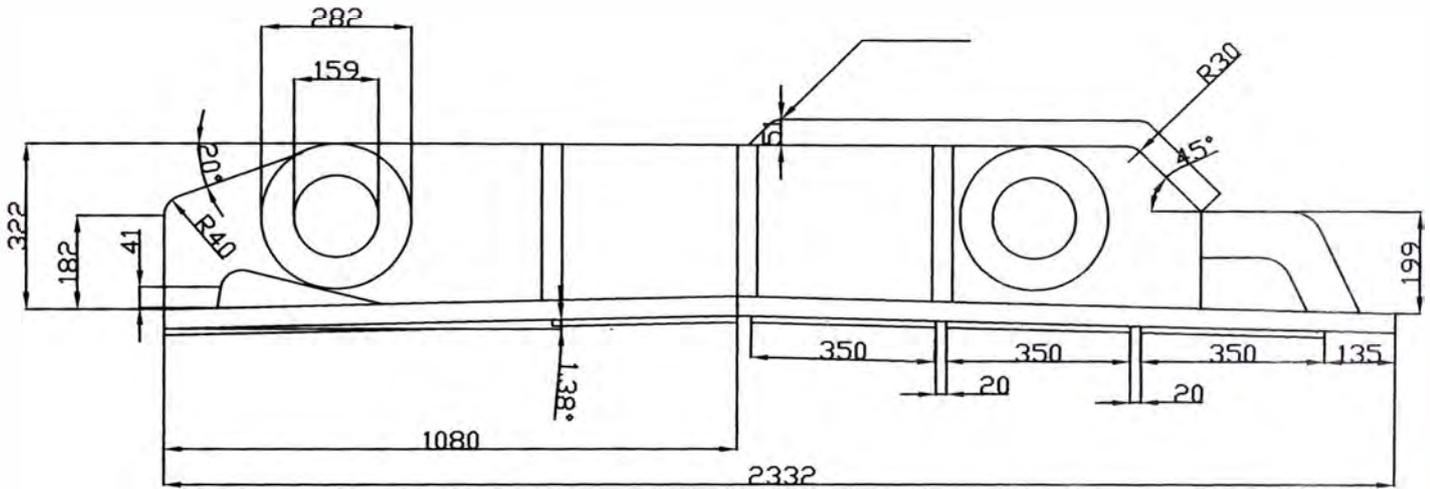


DETALLE  
SOLDADURA  
ENTRE PLATINAS

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>				
		ESTANDARES DE REPARACION DE TOLVAS		
DISPOCIONDEL ENTRAMADO WAFER		Plan:	N° 3	
		Departamento:	Tacna	
INFORME DE SUFICIENCIA		Proyecto:	Jorge Basarite	
		Distrito:	Toquepala - Ilabaya	
Responsable:		Juan Carlos Salas Espino	Fecha:	Octubre de 2005
Proy:	Asesor:	Dibujó:	Escala:	
Reparacion de tolvas	Ing. Javier Franco G.	JCSB	S/E	

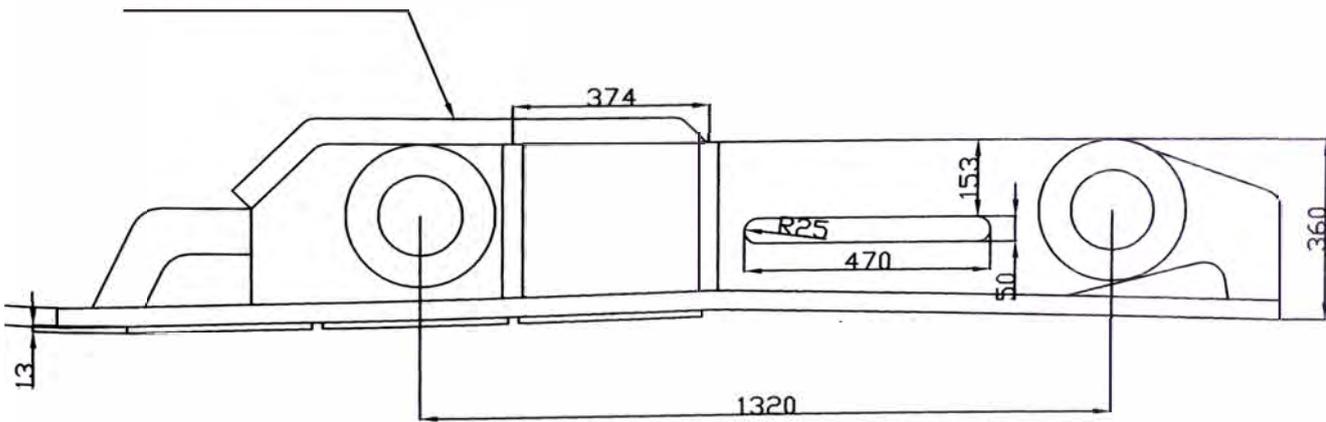
ESTANDAR DE REPARACION DE CUCHARON P&H 2100 - TAPA

PLANCHA DE ACERO  
2PULG. 500 BHN



VISTA LATERAL DERECHO

PLANCHA DE DESGASTE 1 1/2"  
500 BHN



VISTA LATERAL IZQUIERDO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA



ESTANDARES DE REPARACION DE  
CUCHARONES P&H2100BL

VISTA LATERAL DE TAPA DE  
CUCHARON

INFORME DE SUFICIENCIA

Responsable: Juan Carlos Salas Espiritu

Proy: Reparación de tolvas  
Aprob: Ing. Javier Franco G  
Dibuj: JOSE

Plano: N° 4

Org./Oficina: Tacna

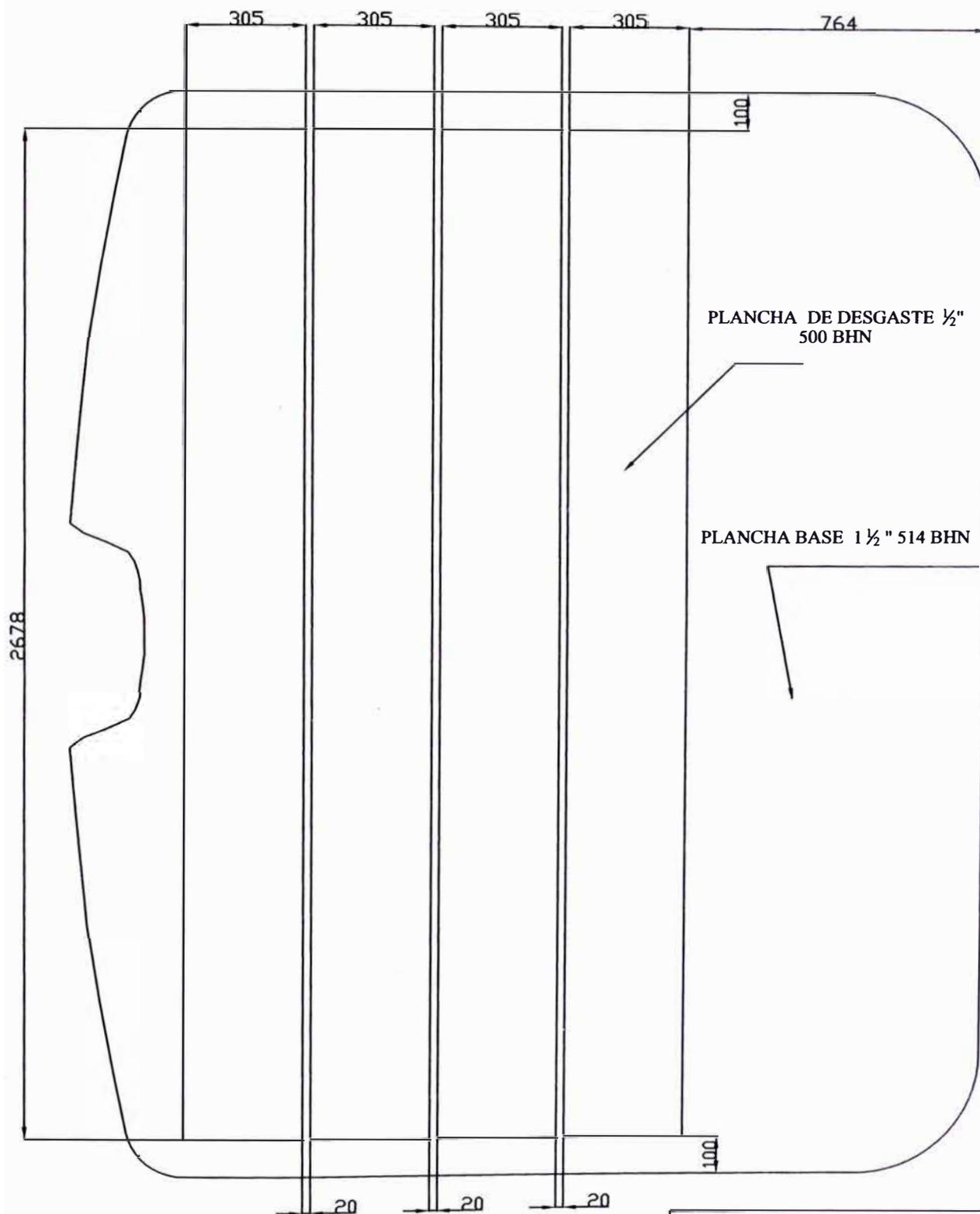
Provincia: Jorge Basadre

Distrito: Toquepala - Ilabaya

Fecha: Octubre de 2005

Escala: S/E

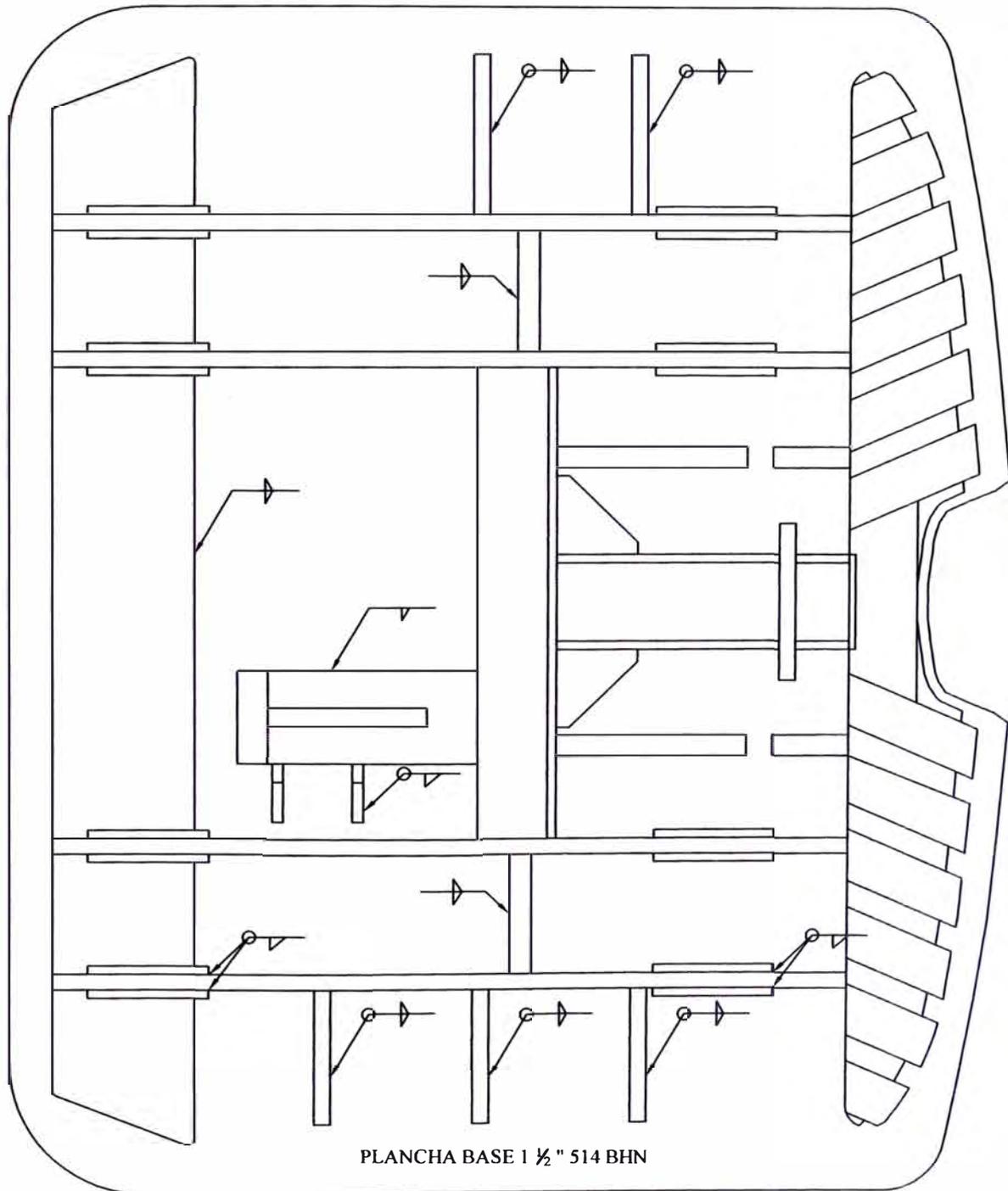
ESTANDAR DE REPARACION DE CUCHARON P&H 2100 - TAPA PLANCHA ANTIDESGASTE



VISTA INFERIOR

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>		
	ESTANDARES DE REPARACION DE CUCHARONES P&H2100BL	
	DISPOCION DE PLANCHAS ANTIDESGASTE DE TAPA	
INFORME DE SUFICIENCIA		Plano: N° 5
		Departamento: Tacna
		Provincia: Jorge Basadre
		Districto: Toquepala - Ilabaya
Responsable: Juan Carlos Salas Espiritu		Fecha: Octubre de 2005
Proy: Reparación de tolvas	Asesor: Ing. Javier Franco G.	Escala: S/E
	Dibujó: JCSE	

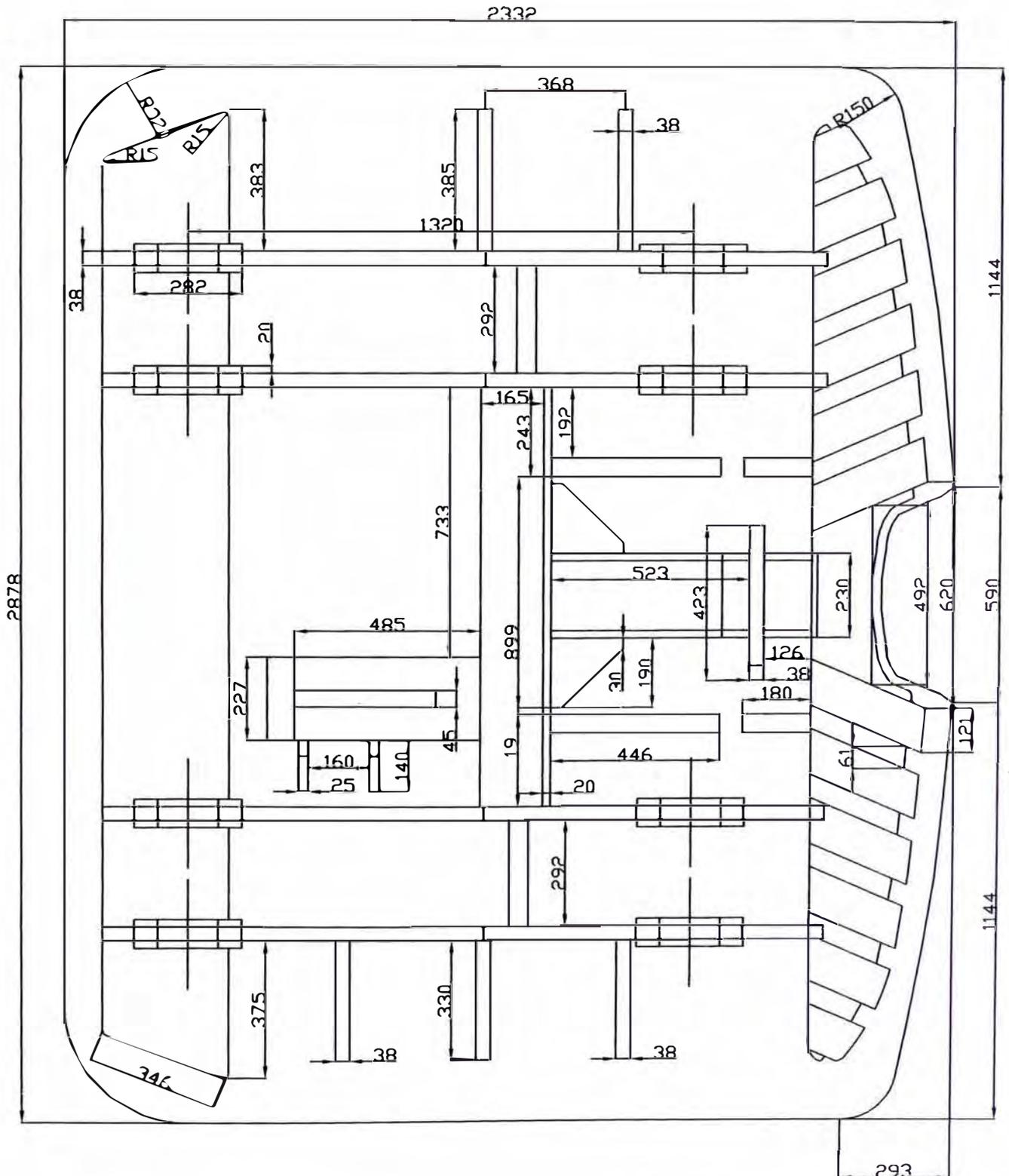
ESTANDAR DE REPARACION DE CUCHARON P&H 2100 - TAPA PLANCHA BASE



VISTA DE PLANTA

<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>			
		ESTANDARES DE REPARACION DE CUCHARONES P&H2100BL	
PLANCHAS BASES DE TAPA DE CUCHARON		Plano	N° 6
		Ocupamiento	Tacna
INFORME DE SUFICIENCIA		Provincia	Jorge Basadre
		Distrito	Toquepala - Ilabaya
Responsable		Juan Carlos Salas Espinosa	Fecha
Proy:		Asesor:	Dibaja:
Reparacion de tubos		Ing. Javier Franco G.	JCSE
			Escala
			S/E

ESTANDARD DE REPARACION DE CUCHARON P&H 2100 - TAPA



VISTA DE PLANTA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA



ESTANDARES DE REPARACION DE CUCHARONES P&H2100BL

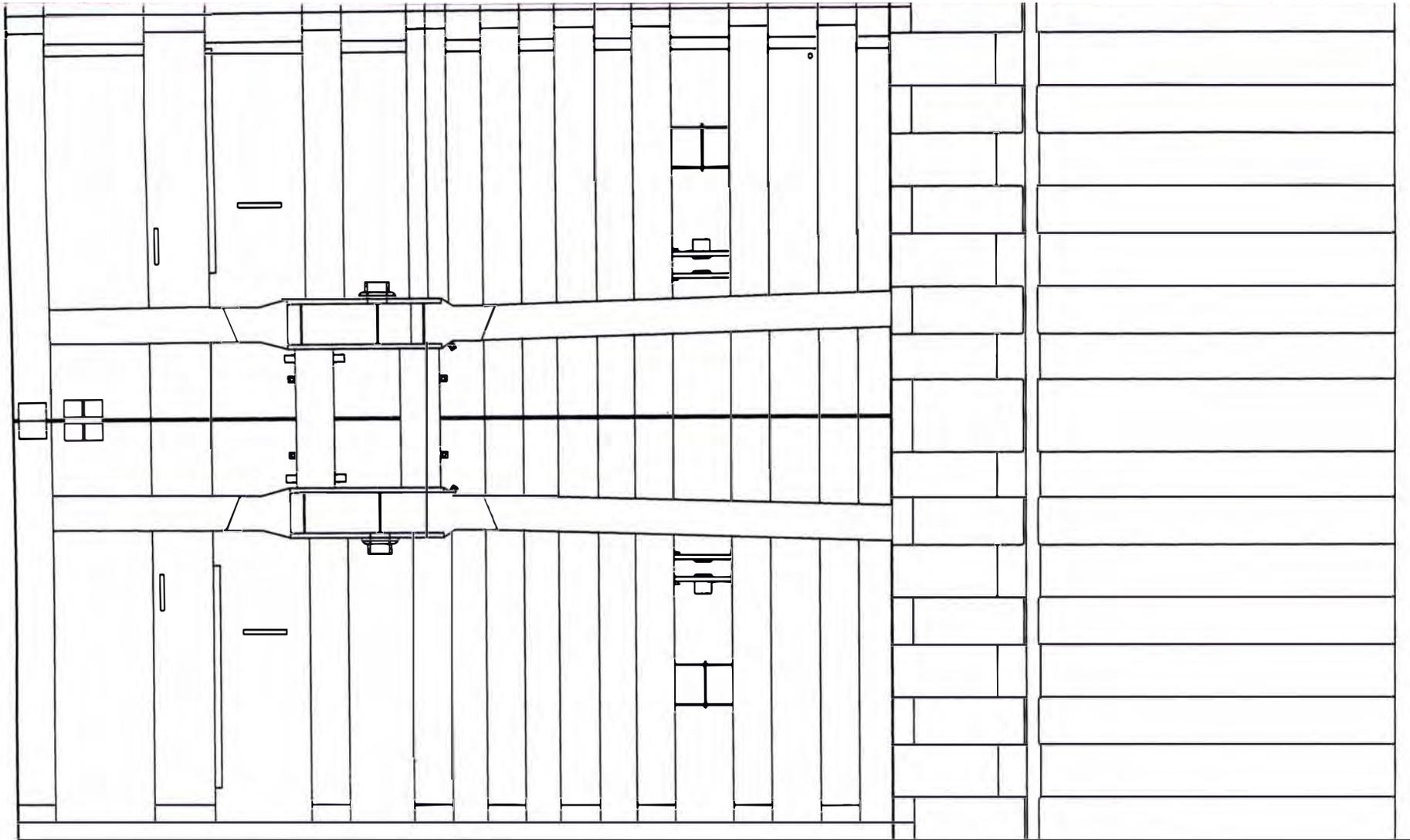
PLANCHAS DE DESGASTE DE TAPA DE CUCHARON

INFORME DE SUFICIENCIA

Responsable	Juan Carlos Salas Espiritu	Fecha	Octubre de 2005
Proy.	Admón.	Dibujó	Escala
Reparacion de tolvas	Ing. Javier Franco G.	JESE	S/E

Plano	N° 7
Departamento	Tacna
Provincia	Jorge Basadre
Distrito	Toquepala - Ilabaya





<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA</b>			
		ESTANDARES DE REPARACION DE TOLVAS	
VISTA INFERIOR		Plano:	N° 9
		Departamento:	Tacna
		Provincia:	Jorge Basadre
INFORME DE SUFICIENCIA		Distrito:	Toquepala - Ilabaya
Responsable:		Juan Carlos Salas Espirtu	Fecha:
			Octubre de 2005
Proy:	Asesor:	Dibujo:	Escala:
Reparación de tolvas	Ing. Javier Franco G.	JCSE	S/E