



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

**Facultad de Ingeniería**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**

**“ESTUDIO Y RECUPERACIÓN  
DE UN YUNQUE DE ASTILLADOR  
POR SOLDADURA”**

**Seminario de Título presentado en  
conformidad a los requisitos para  
obtener el título de Ingeniero de  
Ejecución en Mecánica.**

**Profesor Guía:**

**Sr. Juan Carlos Figueroa Barra**

**MARCO ANTONIO PEZO MUÑOZ**

**2014**

## **OBJETIVO**

El objetivo general de este Seminario de Titulación fue establecer pautas que permitan realizar un procedimiento para la recuperación, a través de soldadura, de elementos o piezas de acero que hayan estado expuestas a desgaste, perdiendo su forma original, y por lo tanto, la capacidad de seguir cumpliendo una función determinada en un proceso.

Por lo anterior, la confección del procedimiento debe considerar una amplia gama de factores involucrados en la pérdida de material en los elementos mecánicos, además de los pasos necesarios que se deben realizar antes, durante y después de su recuperación, todo lo cual permitirá minimizar costos y pérdida de tiempo, que pueden estar relacionados a errores o desconocimiento en la forma de aplicación de la soldadura, por parte del operador o de los materiales a utilizar, entre otros factores.

El objetivo específico fue desarrollar un procedimiento para la recuperación del Yunque del Astillador basado en el análisis de los factores involucrados en el trabajo en cuestión, y la empresa productora y exportadora de chips (FULGHUM FIBERS), concretamente de madera de eucaliptus globulus, aborda la recuperación del Yunque del Astillador que es una de las piezas que participa en el proceso de chipiado, y cuyo rendimiento influye directamente en los resultados del volumen y la calidad de su producción.

## INTRODUCCIÓN

En el mundo actual, las empresas deben lidiar en un ambiente de gran competitividad, que va diariamente en aumento, por la obligación de satisfacer de mejor manera posible, a clientes con requerimientos cada vez más específicos y complejos.

Las compañías que han incorporado el concepto de satisfacción del cliente, saben que para surgir destacarse y sobrevivir frente a sus competidores, deben perfeccionar sus procesos de producción, eliminando tiempos muertos y costos de operación innecesarios, para lograr un nivel de producción, con la calidad requerida, que les garantice una rentabilidad adecuada y les permita mantenerse como una empresa competitiva y crecer en el tiempo.

Uno de los grandes costos, que tanto las pequeñas, medianas y grandes empresas deben afrontar, es la adquisición y mantención de repuestos para la operación de su maquinaria, lo que hace necesario buscar alternativas y aunar esfuerzos para lograr aumentar la vida útil, sin incrementar los costos operativos.

En la octava región, existen empresas que han decidido involucrarse en estudios que permitan avalar y respaldar procedimientos utilizados en el área de procesos de recuperación mediante soldadura, de superficies de piezas de acero que se han visto expuestas a diversos tipos de desgaste.

De aquí que el presente estudio tiene como objetivo desarrollar un procedimiento general para la recuperación del yunque del astillador empleado en la fabricación de astillas por medio de revestimientos por procesos de soldadura.

## ÍNDICE

<b>Título</b>	<b>Página</b>
<b>OBJETIVO</b> .....	2
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>CAPITULO I</b> .....	7
<b>1.1.- Antecedentes Generales de la empresa</b> .....	7
<b>1.2.- Productos</b> .....	8
<b>1.3.- Mercados</b> .....	8
<b>1.4.- El proceso de astillado</b> .....	9
<b>1.5.- Astillador</b> .....	9
<b>CAPITULO II</b> .....	9
<b>2.1.- Descripción y uso del yunque del astillador</b> .....	14
<b>2.2.- Recuperación de los yunques por proceso de soldadura</b> .....	15
<b>2.2.1.- Dilución</b> .....	16
<b>2.3.- Mecanismos de desgaste</b> .....	18
<b>2.3.1.- Impacto</b> .....	18
<b>2.3.2.- Abrasión</b> .....	19
<b>2.3.3.- Corrosión</b> .....	19
<b>2.4.- Surfacing</b> .....	20
<b>2.4.1.- Hardfacing</b> .....	20
<b>2.5.- Clasificación de materiales de aporte para recubrimiento</b> .....	22
<b>2.5.1.- Categorías de aleaciones para hardfacing</b> .....	22
<b>CAPITULO III</b> .....	23
<b>LA Recuperación del yunque del astillador</b> .....	23

3.1.- Recuperación con electrodo CITODUR – 600.....	23
3.2.- Recuperación con electrodo E-6011 Y TUNGSTEL.....	25
3.3.- Procedimiento general para recuperación con soldadura.....	28
3.4.- Identificación del metal base.....	28
3.5.- Identificación del tipo de desgaste.....	29
3.6.- La selección del proceso de soldadura.....	29
3.7.- Compatibilidad de la soldabilidad entre el metal base y el recubrimiento.....	30
3.8.- Selección del material de recubrimiento intermedio.....	31
3.9.- Procedimiento de aplicación de soldadura.....	31
3.10.- Proceso de acabado superficial.....	32
3.11.- Selección del material para recubrimiento (hardfacing).....	32
3.12.- Metales base aceros al carbono.....	33
3.12.1.- Aceros con bajo contenido de aleación.....	33
3.13.- Selección del material de la soldadura intermedia.....	35
<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>35</b>
<b>Cálculo de la dilución.....</b>	<b>37</b>
4.1.- Relación entre elementos químicos y soldabilidad.....	38
4.2.- Tratamientos térmicos para el proceso de soldadura.....	42
4.2.1.- Aceros con bajo porcentaje de carbono.....	42
4.2.2.- Aceros con bajo-medio % de carbono.....	42
4.2.3.- Aceros con medio % de carbono.....	43
4.2.4.- Aceros con alto % de carbono.....	44
4.2.5.- Aceros con bajo contenido de aleación.....	45
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>46</b>

<b>Resultados del procedimiento de recuperación.....</b>	<b>46</b>
5.1.- Antecedentes.....	46
5.2.- Desgaste en el yunque del astillador.....	46
5.3.- Recuperación con electrodo CITODUR – 600.....	48
5.4.- Recuperación con electrodo TUNGSTEL.....	49
5.5.- Análisis de la composición química según dilución.....	51
5.6.- Metal base A – 36.....	52
5.7.- Electrodo CITODUR – 600.....	52
5.8.- Electrodo E – 6011 Y TUNGSTEL.....	53
<b>CAPITULO VI.....</b>	<b>55</b>
<b>Análisis del proceso descrito.....</b>	<b>55</b>
6.1.- Identificación del metal base.....	55
6.2.- Identificación del tipo de desgaste.....	55
6.3.- Selección del electrodo para el hardfacing.....	56
6.4.- Electrodo CITODUR – 600.....	56
6.5.- Electrodo E-6011 Y TUNGSTEL.....	57
<b>Conclusiones.....</b>	<b>58</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>60</b>

## **CAPÍTULO I**

### **1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA**

La empresa Fulghum Fibras, está ubicada con dos de sus plantas productivas en la ciudad de Coronel, en el sector Maule, a unos 200 metros del mar. Su objetivo es producir astillas de eucaliptus globulus y pino radiata, las cuales son exportadas principalmente al mercado asiático, para la producción de celulosa y papel.

Su política como empresa es producir bajo un sistema integrado de gestión incorporando las normas (ISO-9001, ISO-14000 y OSHA-18000).

Esta empresa como otras del rubro maderero/forestal, poseen astilladores, los cuales como todos los elementos que participan directamente del proceso de producción están sometidos a desgaste, lo que amerita poseer planes de mantenimiento eficaces, sobre todo con los equipos críticos, que cuentan con tiempos reducidos de parada.

La empresa tiene una alta disponibilidad funcional de sus equipos e interés en aumentar la productividad de las distintas áreas, como también realizar un mejoramiento continuo a sus procesos productivos con el fin de mantener la calidad de los productos que comercializa. A su vez la empresa se preocupa de la seguridad de su personal, del medio ambiente, con su entorno y comunidad.



Figura N°1.1 Planta de astillado FULGHUM FIBRES (Coronel)

## 1.2.- MERCADO

La producción de esta empresa tiene como destino el mercado asiático, principalmente Japón, Corea del Sur y en menor proporción China e India.

## 1.3.- PRODUCTOS

La producción de astillas de la empresa FULGHUM FIBRES se clasifica en tres productos:

- Astillas de pino radiata
- Astillas de eucaliptus glóbulos
- Micro chip
- Biomasa triturada (corteza)



#### **1.4.- EL PROCESO DE ASTILLADO**

El proceso a describir, pertenece a una empresa FULGHUM FIBRES, la cual posee dos de sus plantas de producción de astillas de eucaliptus (chips) ubicada en la ciudad de Coronel, sector de Maule.

La madera utilizada en la fabricación de las astillas es principalmente, eucaliptus glóbulos, el cual es considerado de mediana dureza, alrededor de 30 HB, y posee una densidad seca al aire aproximada de entre los 490 y 520 kg/m<sup>3</sup>, considerando una humedad de un 56%

El proceso comienza con la llegada de los camiones con los troncos a la planta, los que son acopiados en las canchas, de la planta a la espera de ser transportados a la zona de trozado y lavado. Posteriormente son llevados al chipeador para convertirlos en astillas o chips.

Antes de ser procesados los troncos seleccionados (2,4 hasta 6 metros) dispuestos sobre una mesa de acopio, son progresivamente ubicados sobre la línea de alimentación, conformada por tres cadenas paralelas dentro de una canal, con la ayuda de la garra especial que posee en el extremo de su brazo hidráulico una grúa estacionaria que gira sobre su propio eje. Los troncos son transportados por estas cadenas hacia unos chorros de agua que caen desde arriba desprendiendo en parte la sílice adherida en la superficie de los troncos.

#### **1.5.- ASTILLADOR**

##### **Especificaciones técnicas y elementos que componen el astillador:**

- Posee un motor sincrónico de 1.250 HP giro del motor 1500 RPM.
- Reductor de velocidad.
- Acoplamiento.
- Velocidad de rotación del ( volante ) 418 RPM.
- Volante de 96 pul. de diámetro con 15 cuchillas ubicadas radialmente.
- Yunque del astillador largo: 786 mm; ancho: 127 mm ; espesor: 50 mm.



Figura 1.2 Línea de astillado

En la figura 1.2 se presenta una visión general de la planta que muestra la zona de acopio de troncos de eucaliptus, sistema de alimentación de troncos, línea de lavado de troncos, el chipeador de eucaliptus y la cinta transportadora de chips al silo de acopio.



Figura 1.3 Volante del astillador

En la Figura 1.3 se observan las ranuras donde van insertados los cuchillos que producen el corte del tronco y la producción de astillas.

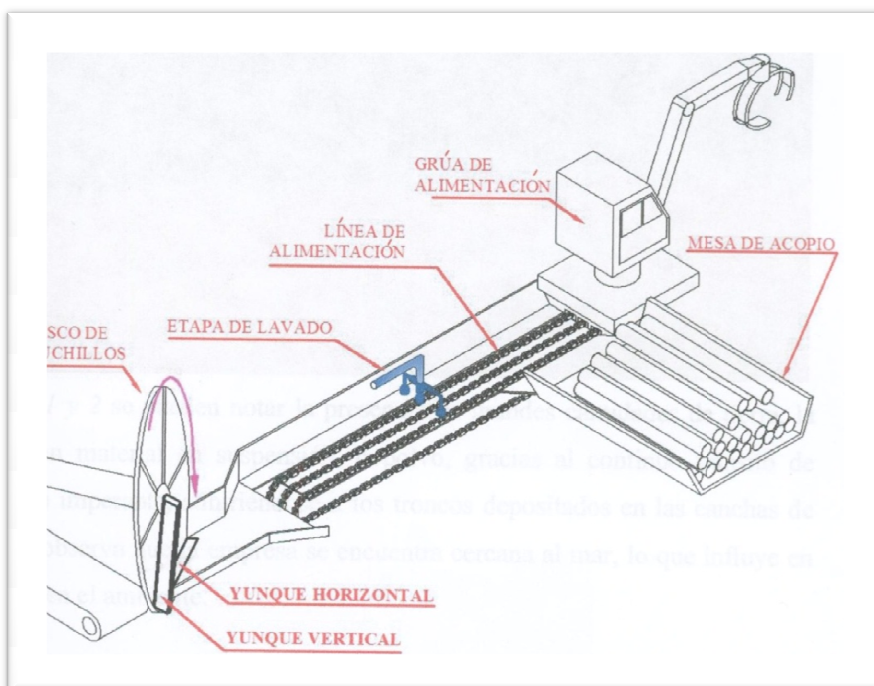


Figura 1.4 Esquema línea de chipeado

En la Figura 1.4, se observa la ubicación de cada uno de los componentes que participa en el proceso de chipeado.

En las siguientes figuras se presentan imágenes de las instalaciones de la planta de chipeado



Figura 1.5 Las canchas de acopio de materias primas

En la Figura 1.5 se observa el contacto directo de los troncos con la tierra incrementando el desgaste por abrasión del Yunque y los cuchillos, debido a la sílice - arena que se adhiere a la superficie de los troncos.



Figura 1.6 Mesa de entrada al astillador

En la Figura 1.6 se aprecia el ingreso de los troncos, por medio de una grúa a la canal, en la cual estos son trozados, lavados y enviados al chipeador.



Figura 1.7 Entrada astillador

En la Figura 1.7 se aprecia la entrada de los troncos al astillador por medio del sistema de arrastre, empujándolos contra el volante, donde los cuchillos proceden a generar la producción de astillas.

Se observa en la canal de la línea, la presencia de barro y restos de corteza, los que a pesar de tratar de ser eliminados a través del lavado, igualmente llegan a la línea de corte.

El agua utilizada para el lavado proviene de punteras del sector, la cual posee, según mediciones realizadas por la empresa, un PH de 7,3.

En la etapa misma de astillado es donde la pieza de interés (YUNQUE) participa en el proceso de producción, y cuya función es la de servir como contrafilo de las cuchillas giratorias, generando el corte de la madera.

En efecto, el tronco que es transportado a través de la línea de alimentación es empujado en la boca de entrada hacia el volante giratorio por el sistema de arrastre, el cual, tiene su eje desviado con respecto al trayecto de alimentación en unos  $20^{\circ}$  aproximadamente. Esto último, con la finalidad de que las cuchillas a medida que éstas hacen contacto con el tronco producen un acomodo de éste contra el yunque, produciéndose el corte y a su vez un avance por efecto del ángulo de ataque de éstas, y así sucesivamente hasta consumir completamente el trozo de madera.



Figura 1.8 Reductor y acoplamiento del volante del astillador

La figura 1.8, presenta la parte exterior del astillador, con su transmisión de velocidad y potencia al eje del disco volante desde el motor, que permite generar las astillas por parte de los cuchillos.

## CAPÍTULO II

### RECUPERACIÓN Y RECUBRIMIENTO POR SOLDADURA, DEL YUNQUE DEL ASTILLADOR

#### 2.1.- DESCRIPCIÓN Y USO DEL YUNQUE DEL ASTILLADOR

Esta pieza, tiene como función la de servir como contra filo de las cuchillas, produciendo así el corte del tronco. El metal base de esta pieza está conformada por un acero estructural A-36, cuyas propiedades se resumen en las tablas 2.1 y 2.2.

**TABLA 2.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO A - 36**

Elemento	Carbono	Manganeso	Fosforo	Azufre	Silicio
Contenido (%)	0,28	0,7	0,03	0,4	0,3

Origen: Norma ASTM A 36/A 36M – 97a para aceros al carbono estructurales

**TABLA 2.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO A - 36**

Límite de fluencia mínimo ( $kg/cm^2$ )	2530
Resistencia a la tracción ( $kg/cm^2$ )	4080 – 5620 (*)
Soldabilidad	Buena
Elongación en 200 (mm)	20%
Elongación en 50 (mm)	23%

(\*) Para espesores de 2,0 y 2,5 mm la resistencia a la tracción mínima es de 3.500 ( $kg/cm^2$ ) Origen: Norma ASTM A – 36

En la Figura 2.1 se muestra un yunque nuevo utilizado en el astillador de la empresa, sus dimensiones son:

- Largo: 786 mm
- Ancho: 127 mm
- Espesor: 50 mm

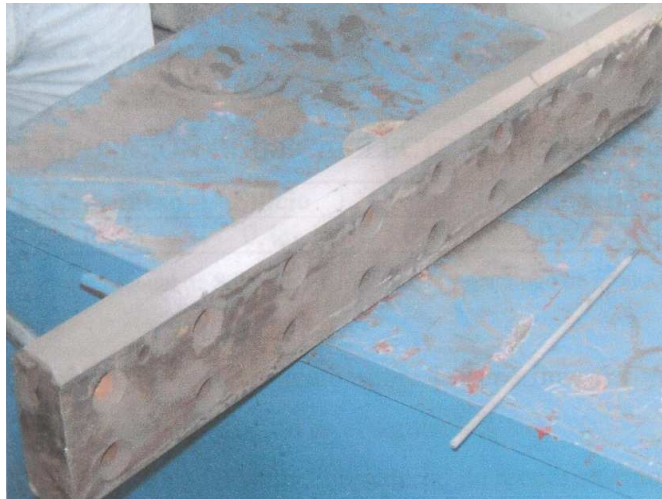


Figura 2.1 Yunque nuevo del astillador

Esta pieza se ve expuesta a un régimen de trabajo continuo las 24 horas del día, excepto ciertas interrupciones producidas cada 3 horas aproximadamente, en las que se debe realizar una pequeña parada de planta con el objeto de realizar el cambio de cuchillas al volante del chipeador.

Adicionalmente, el día sábado la planta efectúa un mantenimiento general de los equipos y piezas, donde se tiene la oportunidad para realizar la rotación del mismo yunque, y así cambiar la cara desgastada por una que no haya sido utilizada anteriormente, situación que puede repetirse tres veces por pieza (cuatro caras).

## **2.2.- RECUPERACIÓN DE LOS YUNQUES POR PROCESO DE SOLDADURA**

Con el fin de prolongar la vida útil de los yunques desgastados se ha considerado su recuperación por soldadura.

Para la selección del proceso que se aplicará para la recuperación por soldadura, los factores a considerar son: los requerimientos de servicio de la pieza, golpes, vibraciones, esfuerzos variables, las características físicas de la pieza, las propiedades metalúrgicas del metal base, la forma y composición de la aleación para

el recubrimiento, los requisitos en cuanto a las propiedades y calidad del depósito de soldadura, la habilidad del soldador y consideraciones económicas.

Cada uno de estos ítems influirá, de una manera o de otra, en la selección del proceso de soldadura y en el material de aporte a seleccionar, con el cual se desea lograr la formación de una capa de material de aporte, lo suficientemente gruesa y con una buena capacidad de fusión con el metal base, con el fin de proteger su superficie, de los efectos que provoquen la disminución de su vida útil, según sean los requerimientos de servicio de la pieza.

Las piezas mecánicas de gran tamaño, pesadas y difíciles de mover o transportar, requieren generalmente de la selección de un proceso de soldadura que pueda ser realizado en el sitio en donde se encuentran. En esos casos, lo habitual es realizar la soldadura por medios manuales o semiautomáticos, particularmente cuando se aplican recubrimientos duros en zonas de difíciles acceso.

Por otra parte, las piezas que son fácilmente transportables hasta el equipo de soldadura, y las que son procesadas en grandes cantidades, pueden ser tratadas en forma más eficiente por métodos automáticos o semiautomáticos.

Las propiedades del metal base, determinan el precalentamiento, el calentamiento en proceso y los regímenes de post calentamiento a la soldadura.

El precalentamiento del metal base, es en ocasiones necesario para minimizar las deformaciones de la pieza, prevenir el descostramiento o agrietamiento del metal aportado y evitar el choque térmico y controlar la velocidad de enfriamiento. Con el objeto de determinar la temperatura de precalentamiento, se debe conocer o determinar la composición química del metal base al que se le aplicará un recubrimiento duro (Anexo N° 1: Factores a considerar para realizar calentamiento).

**2.2.1.- Dilución** es el cambio en la composición química del metal de aporte, causado por la mezcla que ocurre con la parte fundida del metal base y se expresa como porcentaje del metal base que está presente en el depósito del recubrimiento.

Por ejemplo, una dilución del 10% significa que el depósito contiene 10% del metal de base y 90% de la aleación utilizada como recubrimiento duro.



En el recubrimiento por soldadura si se busca un revestimiento duro, sobre un material base dúctil, al aumentar la dilución se reduce: la dureza, la resistencia al desgaste y a la abrasión.

A veces, para poder controlar la composición química y contrarrestar los efectos adversos de las diferencias de dilatación térmica (contracción entre la pieza de trabajo y la aleación para recubrimiento duro) se deposita una capa amortiguadora de metal de soldadura entre la pieza de trabajo y la aleación para recubrimiento duro. En el anexo N° 2, se indica la tabla con las características de los procesos de soldadura que se emplean para la aplicación de recubrimientos duros superficiales.

Es importante mencionar, que la destreza del soldador calificado que realiza la aplicación, influirá en los resultados para obtener el nivel de los requerimientos del recubrimiento por soldadura.

Ahora para la recuperación del yunque del astillador, se considera utilizar el proceso de soldadura arco manual, por las condiciones de trabajo de estos elementos mecánicos, del tipo de revestimiento a aplicar y los electrodos disponibles.

Como se ha mencionado, las piezas metálicas, al estar expuestas a cargas de trabajo, sufren desgaste de manera gradual, lo que influye en variaciones del funcionamiento esperado de la máquina o proceso y en el resultado final del producto. Es importante, por lo tanto, verificar la influencia e importancia del desgaste sobre los elementos de máquinas.

Para lograr un adecuado resultado final, debe considerarse la identificación de los tipos de desgaste involucrados en el deterioro de la pieza, a fin de determinar la dureza y composición de los depósitos de material de aporte que se aplicarán a través de soldadura.

## **2.3.- MECANISMOS DE DESGASTE**

El desprendimiento de metal originado por el desgaste de una pieza mecánica puede variar notablemente, de muy intenso a insignificante. En cualquier caso, resulta de ello una pérdida de eficacia o un deterioro de la pieza.

La tecnología de los recubrimientos protectores puede contribuir a la solución de numerosos problemas de desgaste mediante la aplicación de aleaciones diseñadas específicamente para combatir cada uno de los mecanismos de deterioro superficial, como ser la abrasión, corrosión, calor, etc. A objeto de seleccionar un sistema de aleación apropiado para cada caso, es de primordial importancia poder determinar con el mayor grado de aproximación posible, el tipo de desgaste al cual se retribuye el fenómeno de deterioro superficial.

De lo anterior, se desprende la necesidad de conocer y entender los principales mecanismos de desgaste con los cuales se enfrenta la industria en su operación. Tanto los ingenieros responsables del mantenimiento, como de la administración de planta deben tomar conciencia del alto costo que significa la pérdida de material en sus sistemas mecánicos y estar al tanto de los beneficios que brinda la tecnología de los recubrimientos protectores.

Para efectos prácticos, se consideró definir sólo los siguientes mecanismos de desgaste: Impacto, Abrasión y Corrosión, en atención a las condiciones de trabajo del yunque del astillador.

### **2.3.1.- Impacto**

El impacto está definido como el efecto de una fuerza aplicada en forma brusca contra una superficie, durante un pequeño lapso de tiempo. Esta acción, puede generar fracturas o un deterioro gradual de la superficie, y está generalmente asociado a una baja o alta abrasión que ocurre cuando el material que está siendo utilizado experimenta golpes de alta energía por parte del material que causa el desgaste. Su influencia, dependerá de la frecuencia y velocidad de aplicación de los golpes y adicionalmente si su magnitud supera el límite elástico del material afectado generará una deformación plástica en este último.

### 2.3.2.- Abrasión

La abrasión es causada por el deslizamiento de un material abrasivo a través de la superficie que está siendo utilizada. En los metales se ha clasificado en tres tipos generales:

**Abrasión por ralladura de esfuerzo reducido:** Son partículas duras y generalmente agudas, las que ocasionan el desprendimiento del metal. En este tipo de abrasión son importantes la dureza original y la agudeza del abrasivo, ya que mientras mayor sean ambas, la severidad del proceso abrasivo se verá incrementada. A su vez, el aumento de la velocidad del agente abrasivo, como la arena, también influirá en un rápido incremento de la acción abrasiva. (Las fuerzas de impacto en este tipo de desgaste son en general, despreciables. Es el menos severo de los tres tipos de abrasión).

**Abrasión por ralladura de esfuerzo elevado:** Es producido debido a la fragmentación de pequeños granos duros y abrasivos, situados generalmente entre las superficies, los que al quebrarse adquieren bordes afilados, pudiendo producir profundos surcos. Las fuerzas de impacto son, en general, despreciables.

**Abrasión por corte:** Implica una abrasión a gran escala y va generalmente asociado al impacto. En algunas situaciones las fuerzas son aplicadas a velocidades relativamente bajas, como es el caso de un cargador frontal y en otros son aplicadas a altas velocidades, como sucede con barras rompedoras en un pulverizador. El mecanismo de desprendimiento es similar al producido al maquinar con una herramienta de corte, o con una rueda de esmeril a alta velocidad. Los filos salientes resultan achatados o arrancados de la superficie de desgaste.

### 2.3.3 Corrosión

Por su parte, la corrosión participa en el desgaste a través de la influencia de agentes químicos o electroquímicos sobre la superficie de una pieza, lo que sucede en casi todos los metales, excluyendo a los metales nobles, como lo son el oro y el platino. El ejemplo más común de corrosión es la oxidación, en donde el oxígeno presente en el ambiente, aire o agua reacciona con la superficie del acero, formando en ella óxidos que se van desprendiendo en el momento en que se produce el deslizamiento con un segundo cuerpo. Una vez rota esta película de óxido, queda expuesta una nueva capa de substratos sobre la cual nuevamente se producirá una reacción, incrementando la velocidad de corrosión. Este tipo de desgaste es identificado como desgaste adhesivooxidativo. A su vez, una corrosión combinada con otro tipo de desgaste acelerará la falla de material, conocida como Fatiga por corrosión.

## **2.4.- SURFACING**

El surfacing, es una aplicación de soldadura que se refiere a la deposición de un metal de aporte sobre un metal base o sustrato, con la finalidad de dotar a la superficie de la pieza, de propiedades deseadas que no son intrínsecas del material base.

**Existen variados tipos de surfacing:**

- Hardfacing (endurecimiento superficial o recargue).
- Buildup (reconstrucción).
- Weld cladding (soldadura de revestimiento).
- Battering (enmantequillado).

Para efectos de este seminario de titulación, se considerará el Hardfacing.

### **2.4.1.- Hadfacing**

Es una forma de Surfacing, que es aplicado con el propósito de reducir el desgaste por abrasión, impacto, erosión o al que se vea afectada la pieza durante su trabajo.

Esto se logra con la aplicación de materiales duros y resistentes al desgaste, a la superficie de un componente a través de soldadura.

No se consideran como procesos de Hardfacing, aquellos que involucran el uso de tratamientos termoquímicos o procesos de modificación de la estructura de la superficie, como lo son, la cementación, la nitruración, el endurecimiento por llama o implantación de iones. Así también, se excluye la aplicación de materiales que se utilizan primordialmente para prevenir el control de la formación de óxido por corrosión o por altas temperaturas. Sin embargo, estos dos últimos factores influirán en gran medida en la selección de los materiales adecuados de aporte para el recargue de la superficie.

Las aplicaciones del Hardfacing para el control del desgaste varían enormemente, extendiéndose desde servicios con desgaste por abrasión muy severo, como lo son el aplastamiento y pulverizado de rocas, hasta aplicaciones donde se

busca minimizar el desgaste metal-metal, como lo son el control de válvulas, donde pequeños sobrepasos en la tolerancia permitida de desgaste es intolerable.

Otros usos del Hardfacing son el control del desgaste abrasivo, como el encontrado en martillos de molienda, herramientas excavadoras, tornillos de extrusión, hojas de corte, partes de equipos para el movimiento de tierra, bolas de molienda y partes de trituradoras. También es utilizado para el control del desgaste entre contactos deslizantes metal-metal, sin o muy poca lubricación, como lo son válvulas de control y partes de tractores y palas, como igualmente en el control de combinaciones de desgaste y corrosión, como los que se encuentran en los cuchillos de la industria de alimentos, entre otros.

En la mayoría de los casos, las partes están fabricadas con un acero simple al carbono o acero inoxidable, materiales que no previenen apropiadamente el desgaste por ellos mismos. A ciertas áreas de este equipo original expuestas a desgaste crítico, se le aplica un Hardfacing como parte del proceso de fabricación, con aleaciones o durante la recuperación de piezas desgastadas.

Los metales de aporte para recubrimientos superficiales, se presentan como electrodos revestidos para el proceso de soldadura arco manual y como alambre sólido o tubular para el proceso de soldadura MIG Y Tubular.

Como las aleaciones para recubrimientos superficiales se ofrecen en tantas formas, la norma AWS tiene dos especificaciones, los electrodos recubiertos por la AWS A5.13, los electrodos desnudos por la AWS A5.21.

Se debe señalar, que si bien muchas aleaciones para recubrimientos superficiales están cubiertas por las especificaciones de la AWS, otras no lo están, ya sea por estar bajo otras normas, patentadas o por tener una disponibilidad limitada.

## **2.5.- CLASIFICACIÓN DE METALES DE APORTE PARA RECUBRIMIENTO**

El sistema para clasificar metales de aporte para recubrimientos superficiales y varillas de soldadura para el mismo uso que se aplica en las especificaciones (AWS A5.13 y AWS A5.21), sigue el patrón estándar empleado en las demás especificaciones para metales de aporte AWS-ASTM.

Los materiales utilizados en Hardfacing pueden ser agrupados en cinco categorías generales

### **2.5.1.- Categorías de aleaciones para hardfacing**

- Aleaciones para reconstrucción (Buildup)
- Aleaciones para desgaste Metal-Metal
- Aleaciones para abrasión Metal-Tierra
- Carburos de wolframio (para deslizamiento extremo de tierra)
- Aleaciones no ferrosas

**Las aleaciones para la reconstrucción** incluyen aceros perlíticos de baja aleación y aceros austeníticos altamente aleados al manganeso. En la gran mayoría de los casos, estas aleaciones no están diseñadas para resistir al desgaste, pero si son utilizadas para recuperar la forma de la pieza desgastada o al menos obtener lo más cerca posible las dimensiones originales y proveer de un adecuado soporte para las posteriores capas de materiales de Hardfacing. Sin embargo, los aceros austeníticos al manganeso son utilizados como materiales anti desgaste para condiciones de desgaste medias.

## CAPÍTULO III

### LA RECUPERACIÓN DEL YUNQUE DEL ASTILLADOR

Las altas exigencias de trabajo continuo y desgaste a que está expuesto el yunque del astillador, obliga a un continuo recambio de esta pieza, siendo conveniente su recuperación a través de soldadura, permitiendo utilizar el mismo elemento en reiteradas ocasiones y prolongar su vida útil. Lo anterior hace de esta forma innecesaria la compra, internación y bodegaje de un stock determinado de yunques nuevos, logrando así importantes ahorros y reducción de costos. Esta recuperación se realiza la maestranza Metalmon E.I.R.L. Coronel, externa a la empresa chipeadora.

La maestranza Metalmon E.I.R.L. para la recuperación de los yunques del astillador desgastados, considero los siguientes electrodos:

- Electrodo CITODUR – 600
- Electrodo E 6011 y TUNGSTEL.

#### 3.1.- RECUPERACIÓN CON ELECTRODO CITODUR - 600

##### Características técnicas del electrodo CITODUR – 600

Este electrodo pertenece a la marca OERLICON, cuya procedencia es peruana, y su composición química está indicada en la siguiente tabla

**TABLA 3.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO CITODUR - 600**

Carbono	Manganeso	Silicio	Cromo	Molibdeno	Vanadio
0,5%	0,3%	0,4%	7,0%	0,5%	0,5%

Origen: Manual de Soldadura OERLICON Y Catalogo de productos

El electrodo CITODUR – 600 es recomendado utilizar en: recuperación de piñones de cadena, martillos, bordes de yunques, árbol de levas, rejas de arados, parillas de zarandas. También se recomienda utilizar como (soldadura preventiva) para recubrir equipos nuevos, que van a estar expuestas a desgastes abrasivos con golpes. Su dureza fluctúa entre 52 – 55 HRC ( VICKERS 560 – 610 )

El procedimiento de aplicación del recubrimiento sobre la superficie del Yunque del astillador por parte del personal de la maestranza a cargo es el siguiente:

1. Se remueve la mayor cantidad posible del material de recubrimiento que haya quedado del uso anterior, con el objeto de desnudar y exponer el material base, con la ayuda de herramientas de desbaste.
2. Posteriormente se aplica la soldadura arco manual CITODUR - 600 (de carburos de cromo), electrodos de 5/32 pulg de diámetro, utilizando corriente alterna de 180 A, sin realizar procesos de pre y pos calentamiento. La forma en que se aplica es lineal, figuras 3.1 y 3.2.



Figura 3.1 Detalle de la dirección del cordón con CITODUR – 600 en la recuperación del yunque del astillador.



Figura 3.2 Acercamiento del cordón depositado con CITODUR – 600 en la recuperación del yunque del astillador



3. Una vez completado el trabajo de recuperación por soldadura, la pieza es mecanizada en una rectificadora de piedra, en donde se le restituye la forma original al yunque en sus cuatro caras, figura 3.3.



Figura 3.3 Rectificado del yunque



Figura. 3.4 Yunque del astillador recuperado con electrodo CITODUR - 600

### **3.2.- RECUPERACIÓN CON ELECTRODO E- 6011 Y TUNGSTEL**

Debido al interés por parte de la empresa de experimentar con otro recubrimiento, se tomó la decisión de realizar una recuperación del yunque del astillador con un nuevo depósito base carburos de tungsteno, empleando un electrodo denominado TUNGSTEL, marca DELORO STELLITE, el cual fue obtenido a través del proveedor KEZVER ALLOYS CHILE LTDA.

Características del electrodo TUNGSTEL (por proveedor):

- Resistencia al desgaste para servicios muy severos de abrasión, erosión y corrosión y sus depósitos no son maquineables.
- Todo es por aportación (sin escoria). Ideal para recargue sobre todo tipo de aceros, incluso aceros al manganeso.

**Procedimiento.**

- Eliminar superficies fatigadas.
- En aceros con un contenido de carbono menor al 0.4% no es necesario aplicar precalentamiento.
- Se debe utilizar un rectificador de corriente continua, polo positivo, regulando el amperaje indicado para el diámetro del electrodo (Tabla 3.2). Siempre se debe emplear el mínimo de amperaje y arco corto.

Debido a las tensiones internas generadas por la contracción durante el enfriamiento podría producir un cuarteamiento, el cual es beneficioso. Se recomienda aplicar como mínimo dos pasadas y máximo tres.

**TABLA 3.2 AMPERAJE PARA LA APLICACIÓN DEL ELECTRODO TUNGSTEL**

$\phi$ electrodo(mm)	4,00	5,00
Intensidad (A)		
<b>Mínimo</b>	120	150
<b>Máximo</b>	160	180

Dureza después de la primera pasada: 56 HRc Dureza después de la segunda pasada: 72 HRc

**(DATOS PROPORCIONADOS POR EL PROVEEDOR)**

Los datos de la composición química de este electrodo están dados en la siguiente tabla.

**TABLA 3.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO TUNGSTEL**

<b>Carbono</b>	<b>Manganeso</b>	<b>Silicio</b>	<b>Wolframio</b>	<b>Hierro</b>
3,40%	2,90%	0,70%	41,00%	52,00

Para la recuperación de los yunques, empleando electrodos TUNGSTEL, el procedimiento de aplicación de la soldadura aplicado en la maestranza, se indica a continuación:

1. Se remueve la mayor cantidad posible del material de recubrimiento aplicado anteriormente, si lo tuviera, con el objeto de exponer el material base, con la ayuda de herramientas de desbaste.
2. Posteriormente se realiza un BUILDUP para recuperar gran parte del volumen original del yunque con un electrodo E-6011, tomando la precaución de llegar hasta una altura inferior a la final entre unos 2 a 3 mm. La corriente utilizada es alterna, con una intensidad de alrededor de 120 a 160 Amperes.
3. Finalizado este paso, se procede a limpiar cualquier presencia de escoria con disco de desgaste y galletera.
4. Luego se procede a aplicar el material de recubrimiento, con cordones que no superan los 2 mm aproximadamente, en forma paralela uno de otro a lo largo de la pieza, con una corriente alterna de 100 Amperes. Cabe señalar que para este caso, debido a la dureza del metal de aporte, al finalizar la primera capa de recubrimiento duro de la pieza es enviada a mecanizar en la rectificadora de piedra, con el objeto de detectar si es necesario rellenar en lugares donde faltaba material.
5. Finalmente, una vez terminado el primer lado (el que incluye dos caras) se prosigue con la recuperación del otro lado, que en esta ocasión se realiza con el electrodo CITODUR – 600 considerando que lo que se busca en este caso es evaluar el comportamiento de este nuevo electrodo, su soldabilidad y propiedades con este recubrimiento obtenidas.

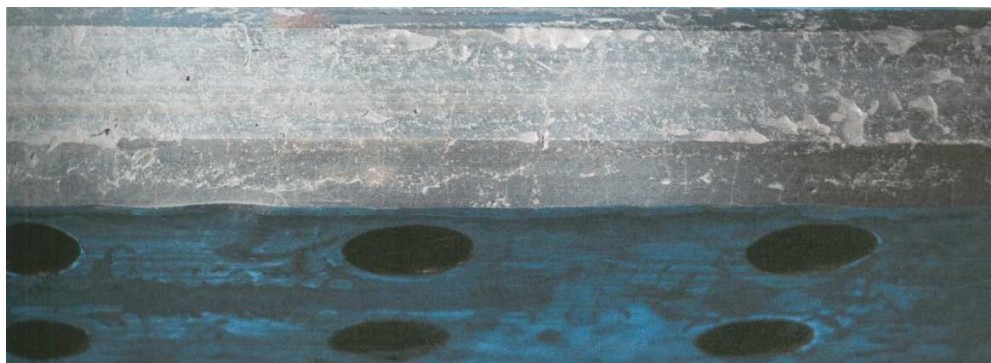


Figura 3.5 Yunque recuperado con electrodo TUNGSTEL

### **3.3.- PROCEDIMIENTO GENERAL PARA LA RECUPERACIÓN MEDIANTE SOLDADURA DE RECUBRIMIENTO**

Este procedimiento tiene como objetivo generar una pauta de los pasos a seguir, a fin de planificar una recuperación a través de soldadura. Al conocer el orden en el cual es más factible analizar los factores que influyen en la toma de decisiones de que utilizar y como se aplica, minimizando al máximo la prueba y error. A continuación se identifican los pasos a seguir considerando el orden de prioridades para la confección de un procedimiento:

- . Identificación del material base
- . Identificación del tipo de desgaste
- . Selección del proceso de soldadura y de recubrimiento para Hardfacing
- . Compatibilidad de la soldabilidad entre el material de recubrimiento superficial el metal base
- . Selección del material de recubrimiento intermedio ( de ser necesario )
- . Procedimiento de soldadura
- . Proceso de acabado superficial

### **3.4.- IDENTIFICACIÓN DEL METAL BASE**

Se debe analizar en primer lugar el metal base, ya que al conocer su composición química permitirá saber sus propiedades de soldabilidad, facilitando así la elección del o los electrodos que se utilizarán posteriormente en el recubrimiento de la pieza. Lamentablemente, en la mayoría de los casos no se cuenta con las especificaciones de la pieza. Sin embargo, existen algunos métodos que pueden ser utilizados en conjunto, o por si solos, para obtener una aproximación de la composición del material.

Algunas de estas técnicas de ayuda son:

- Método de la chispa
- Apariencia superficial
- Prueba magnética

Antes de tomar una decisión definitiva, se debe tener en cuenta que estos métodos, no entregan resultados exactos, ya que dependen de varios factores como son: la persona que lo efectúa, la experiencia que posee el operador y los elementos utilizados.

**3.5.-LA IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE DESGASTE**, involucrado en el deterioro superficial de una pieza es otro paso que debe ser revisado antes de efectuar cualquier recuperación a través de soldadura, ya que la elección del material de aporte depende directamente de los mecanismos de desgaste.

Cabe señalar lo importante de este paso, ya que si no se identifica correctamente el tipo de desgaste presente, el recubrimiento duro simplemente no soportará la continua acción sobre él, dañándose rápidamente la superficie influyendo negativamente en la calidad de la producción, así como también, incrementando los costos asociados por pérdidas y reparaciones.

**3.6.-LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA**, se encuentra directamente ligada con la elección del metal de aporte para Hardfacing (electrodo), debido a que en el mercado, la disponibilidad de los distintos tipos de electrodos que se detallan en catálogos según el tipo de proceso al que pertenecen. Es así, como se indican a continuación los factores que se identificaron como los más influyentes.

. La identificación del tipo de desgaste en la deformación y/o pérdida de material de la pieza está directamente relacionada con la selección del material para Hardfacing.

Se deberán considerar las características mecánicas que mejor resistencia otorgue a la pieza, protegiéndola y aumentándole la vida útil. Para ello, se debería considerar una lista de electrodos posibles a utilizar, según cumplan con los parámetros de resistencia contra el desgaste requeridos.

. Tamaño y forma de la pieza. Influye en la selección del proceso de soldadura, al considerar la posibilidad de transportar la pieza o el equipo de soldadura hacia el

lugar de recuperación. Por ejemplo; el equipo de soldadura manual puede desplazarse casi a cualquier parte, no así el MIG/MAG que se ve limitado al largo de las mangueras y línea de alambre.

Por otra parte, influye en el costo de la operación la cantidad de material de aporte que se deberá adquirir y el rendimiento que posea el electrodo.

- . Tiempo disponible para la recuperación. Equipos semiautomáticos o automáticos, a pesar de tener mayores costos operativos, pueden disminuir considerablemente los tiempos de aplicación de la soldadura, por lo que serían una alternativa válida cuando se necesite recuperar piezas de gran tamaño y/o una gran superficie o una gran cantidad de material a depositar. Equipos manuales tienen menor costo operativo, pero menor rendimiento y mayores tiempos de detención de los equipos.

- . El costo/beneficio de la recuperación de la pieza es uno de los principales factores que influyen en la elección entre un material de aporte y otro, lo que a su vez involucra al tipo de proceso de soldadura que se utiliza, en forma tal que el Hardfacing sea lo más viable posible frente a la adquisición de piezas nuevas.

El rendimiento mínimo esperado influirá en la selección del metal de aporte para Hardfacing, ya que también incrementa los costos. Además se deberá verificar su soldabilidad con el metal base.

**3.7.- La compatibilidad de la soldabilidad entre el metal base y el material de Hardfacing,** debe ser corroborada antes de que este último sea aplicado, tomando en consideración la composición química y las propiedades mecánicas de ambos, de tal manera que al aplicar la soldadura se produzca una completa fusión entre el metal de aporte y el metal de base.

En efecto, si a una pieza se le aplica en forma directa un recubrimiento muy duro (por ejemplo), la fusión de los metales sólo se logra parcialmente, por lo que una vez puesta en servicio, esto influirá en la pronta generación de grietas y fisuras superficiales que irán incrementando su tamaño y profundidad en forma rápida y sostenida, dando paso en poco tiempo a que fragmentos de material se desprendan, dañando innecesariamente a la pieza y otros elementos del equipo, además de producir rechazos por contaminación del producto. Para evitar aquello, se deberá buscar un segundo material de recubrimiento intermedio, tal que permita soldar el metal base y el de Hardfacing.

**3.8.- La selección del material de recubrimiento intermedio,** debe realizarse cuando estén presentes una o las siguientes situaciones:

- . Se presente una incompatibilidad en la soldabilidad del electrodo para Hardfacing y el metal base. Lo anterior, es posible encontrar en aleaciones que tienen durezas extremadamente distintas o cuando la fusión entre ellos es deficiente.
- . Cuando se desea tener una capa colchón o amortiguadora intermedia entre el material superficial y el material base, con el objeto de añadirle tenacidad a la pieza recuperada.
- . Cuando se necesite reconstruir una gran porción de la pieza, la cual ha sufrido una excesiva pérdida de material debido a una sobreexposición al desgaste presente en el medio de trabajo. Esto también puede utilizarse para evitar que se incrementen los costos por el uso de materiales demasiado caros.

**3.9.- PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN DE SOLDADURA,** tiene como fin el incorporar la totalidad de los criterios tomados con respecto a la forma en cómo se realizará la recuperación de la pieza, confeccionando una planilla en la que se especifica detalladamente:( ANEXO N° 3)

- . Material base, características completas o con las que se cuente.
- . Procesos de soldadura que se utilizarán.
- . Si se deberá realizar algún tipo de procedimiento de precalentamiento a la pieza antes, de aplicar la soldadura de recuperación.
- . Forma y velocidad de aplicación de la soldadura de recuperación
- . Detalles de los electrodos que se utilizarán en cada etapa, como diámetro, intensidad y polaridad de corriente, entre otros.

Con la creación de un procedimiento, se busca evitar cualquier tipo de improvisación y minimizar al máximo los errores de aplicación por parte del operador. Además, sirve como guía para futuras recuperaciones, permitiendo mantener las mismas propiedades mecánicas de la pieza al realizar de manera similar la recuperación una y otra vez, así como también, facilita verificar pasos errados y/o volver atrás si se hubiese modificado algún paso, por ejemplo, para experimentar el rendimiento con materiales nuevos sin que se hayan obtenido los resultados esperados.

**3.10.- PROCESOS DE ACABADO SUPERFICIAL.** En ocasiones, la pieza en cuestión posee un diseño, forma y terminaciones específicas debido al rol que cumple dentro del proceso, por lo que una vez aplicada la soldadura para la recuperación del volumen, la superficie deberá ser tratada con un proceso de maquinado para devolverle la forma original, sin dejar de lado precauciones durante la ejecución del modelado de la superficie, como lo son: el uso de refrigerantes, herramientas con características especiales, velocidades de avance y de corte, entre otros, principalmente si la dureza es muy alta.

Lo anterior debe ser considerado si se desea minimizar la cantidad de soldadura perdida por el modelado de la superficie, o si se cuenta con un recubrimiento muy duro que sea muy difícil de maquinar, lo que permitirá reducir los costos de la recuperación. Para evitar problemas de este tipo, se recomienda anticiparse a estas situaciones, eligiendo un electrodo que transfiera las propiedades buscadas, pero que a su vez permita el trabajo de maquinado de la superficie. Además, se deberá detallar si la pieza recién recuperada, tendrá que ser expuesta a algún proceso post soldadura de alivio de tensiones, sobre todo cuando se trata de grandes aportes de metales duros.

La selección de una aleación para recubrimiento duro en una superficie metálica, tratándose de cualquier aplicación, se basa en los ahorros y ventajas que se obtienen por la aplicación de la aleación. Tales ahorros y ventajas provienen del aumento de producción, del uso de un menor número de partes de repuesto y de la reducción de tiempos muertos. Prácticamente, en todas las aplicaciones de recubrimientos duros en superficies, los materiales de recubrimiento representan el elemento menos importante en el costo total. Los salarios, la producción perdida durante los tiempos muertos y las tasas de sobre costo administrativo son importantes.

### **3.11.- SELECCIÓN DEL MATERIAL PARA RECUBRIMIENTO HARDFACING**

Para seleccionar la aleación correcta para el recubrimiento superficial en cualquier aplicación en particular, deben determinarse las causas del deterioro de la superficie de trabajo expuesta al desgaste. Probablemente intervengan uno o más de los factores siguientes:

- Contacto deslizante de metal con metal, con o sin lubricación.
- Contacto de rodamiento contra una superficie metálica o no metálica.
- Carga intensa de choque o impacto sin deformación ni agrietamiento serio.



- Abrasión por partículas de tierra u otros tipos de desgaste que ocasionen pérdida de metal.
- Corrosión (atmosférica o de otro tipo).
- Resistencia a la deformación en caliente.
- Maquinabilidad.
- Ausencia de porosidad en el depósito.
- Facilidad de aplicación a un proceso específico de soldadura.

En la práctica, la elección de una aleación para recubrimiento superficial se basa generalmente en la experiencia del usuario o del proveedor.

### **3.12.- METALES BASE, ACEROS AL CARBONO**

Los aceros al carbono (también conocidos como aceros al carbono simple), conforman una amplia gama de composiciones, y como tales, no sobrepasan las siguientes:

- Carbono 1,70% máx.
- Manganeso 1,65% máx.
- Silicio 0,65% máx.

Estos aceros comprenden las aleaciones de Hierro-Carbono, con un nivel de carbono casi tan bajo como el hierro dulce y no más alto que el de hierro fundido (que contiene más de 1,7% de carbono).

Los aceros al carbono que contienen los elementos de aleación en los porcentajes indicados pueden soldarse con facilidad por todos los procesos de soldadura.

- Carbono entre 0,13 y 0,20%
- Manganeso entre 0,40 y 0,60%

#### **3.12.1.- Aceros con bajo contenido de aleación**

Los aceros con bajo contenido de aleación son aceros al carbono a los que se han agregado elementos de aleación para obtener ciertas propiedades deseables. Los aceros estructurales con bajo contenido de aleación se clasifican como se indica en la Tabla 3.4, donde para los fines de descripción de su soldabilidad se han clasificado en cuatro grupos.

**TABLA 3.4 ACEROS ESTRUCTURALES DE BAJO CONTENIDO ALEACIÓN**

GRUPOS			
1	2	3	4
A 572 gr 42, 45, 50 A441 A242	Aceros 13 y 14 'a'	ASTM A36 A242 gr Soldable A375 A441 A529 A570 gr D y E; A572 gr 42, 45, 50 A588 Aceros 13 y 14	ASTM A572 gr 55, 60,65

'a' Composición del acero

Acero 13: 0,24 C; 1,45 Mn; 0,49 Si; 0,028 P

Acero 14: 0,23 C; 1,47 Mn; 0,44 Si; 0,016 P; 1,05 Cu

Origen: 'SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICA', HORWITZ, 1997 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. DE C.V. p.555

Los aceros del grupo 1 se denominan comúnmente aceros estructurales de alta resistencia (32 a 50 kg/mm<sup>2</sup>). Difieren principalmente del acero al carbono en que además de contener manganeso, se les agrega cantidades variables de cromo, vanadio, zirconio, níquel y fósforo. Estos elementos refuerzan la ferrita, promueven la templabilidad, y regulan el tamaño del grano. La mayoría de estos aceros están cubiertos por especificaciones ASTM.

Los aceros del grupo 2 se emplean templados por enfriamiento rápido y tratados térmicamente; tienen un contenido de carbono que generalmente no excede de 0,22%; y, dependiendo de su composición química, espesor y tratamiento térmico, desarrollan resistencias a la fluencia que varían de 35 a 127 kg/mm<sup>2</sup>.

Los aceros del grupo 3 se emplean para fabricación estructural soldada y están cubiertos por las especificaciones ASTM A242, A441, A572 y A588.

Los aceros utilizados para la fabricación de recipientes sujetos a presión están cubiertos por las especificaciones ASTM A203, A204, A225, A353, A553 y A537.

Los aceros del grupo 3 se emplean principalmente para fabricar partes tales como levas, rodamientos de rodillos, tuercas tratadas térmicamente, ejes de transmisión, y otros elementos. Pueden soldarse fácilmente por todos los procedimientos normales de soldadura.

Los aceros con bajo contenido de aleación que más frecuentemente se usan en conjuntos soldados que deben templarse y revenirse después de soldados contienen entre 0,25 y 0,45% de carbono. Estos son, por designación SAE/AISI : 4027, 4037, 4130, 4135, 4140, 4320, 4340, 5130, 5140, 1630, 8640, 8740, 4335V, AMS6334, D-6, 300-M, H-11 y HP 9-4-45.

Los aceros al cromo-molibdeno del grupo 4 son templables al aire y resistentes a la corrosión, y se emplean para fabricar piezas forjadas, tubos, piezas vaciadas, y

placas para el uso por la industria de generación de fuerza con vapor de agua. Son soldables por la mayoría de los procesos de soldadura de aplicación comercial, pero siendo necesario realizar un precalentamiento

La utilización de una soldadura intermedia, o colchón, en la recuperación de un elemento de máquina es en ocasiones muy necesaria, sobre todo si se trata de una situación en donde se presentan uno o más de los siguientes casos;

**Pérdida severa de material de la pieza**, debido a una exposición excesiva al desgaste, en donde se necesita de un metal de aporte más económico para recuperar volúmenes perdidos importantes y que a su vez cumpla con la función de colchón.

**Recubrimiento de alta dureza**, la soldadura intermedia cumplirá con la función de material colchón, amortiguando y deteniendo la profundidad de las grietas hacia el interior de la pieza.

**Incompatibilidad en la soldabilidad del metal base y el recubrimiento duro**, al revestir directamente el metal base con el recubrimiento duro, el desgaste al cual se verá expuesta la pieza durante su utilización, podría producir la aparición de fisuras en la superficie, las que gradualmente aumentarían de tamaño sin control, hasta el desprendimiento del material superficial.

Es por lo anterior, que se analizará la selección de un material de soldadura intermedia o colchón.

### 3.13.- SELECCIÓN DEL MATERIAL DE LA SOLDADURA INTERMEDIA

La selección de los electrodos para la soldadura intermedia se enfocará, para fines de este seminario, a aquellos que pertenezcan al grupo que son utilizados en el proceso de soldadura al arco eléctrico. La norma AWS - ASTM clasifica a los electrodos del grupo anterior de la siguiente forma:

- A5.1 Electrodo para soldadura de arco, de acero al carbono recubierto.
- A5.5 Electrodo de acero al cromo níquel, resistente a la corrosión, recubiertos.
- A5.6 Electrodo de cobre y aleaciones de cobre para soldadura de arco.

Existe una diferencia considerable entre la soldadura que se emplea para reconstruir piezas y equipos desgastados (Buildup) a la que se emplea para la formación de recubrimientos duros en superficies (Hardfacing). Como la mayoría de los materiales de aporte para recubrimientos duros están limitados en su aplicación a dos capas de material depositado, las partes de maquinarias muy desgastadas deben restaurarse hasta lograr un espesor de 7,8 a 9,5 mm.), por debajo del tamaño terminado, utilizando un material de relleno o engrosamiento apropiado antes de aplicar el recubrimiento superficial duro.

Cuando se aplica un proceso de soldadura de arco eléctrico en cualquier superficie metálica aparecen las siguientes zonas:

La primera de ellas es la comprendida por el **material depositado o región compuesta**, que es una mezcla entre el material base de la pieza a recubrir y el material de aporte del electrodo. Dependiendo de la dilución que exista entre los dos materiales, esta zona tendrá determinadas características mecánicas que son propias de la aleación generada.

La segunda zona afectada solamente por la temperatura del proceso, es la **zona afectada térmicamente** y sus propiedades mecánicas dependerán de la composición química del material base, de la temperatura a la que estuvo expuesta y la velocidad de enfriamiento.

Es por esto que los criterios utilizados en este seminario de titulación, para la selección de este material de aporte, son enfocados básicamente a como son afectadas estas zonas en relación a sus composiciones químicas.

## CAPITULO IV

### CÁLCULO DE LA DILUCIÓN

El coeficiente de dilución es un criterio importante a considerar en la recuperación de piezas utilizando soldadura y en todo proceso de soldadura en general.

La dilución en soldadura es el cambio en la composición química del metal de aporte causado por la mezcla que ocurre con el metal base o bien con los cordones de soldadura previamente depositados. El coeficiente de dilución expresa el grado de mezcla del metal empleado con aporte con la pieza a rellenar; según su valor, la composición del cordón puede variar significativamente y a la vez modificar las características de resistencia al desgaste del depósito, dureza y fragilidad.



Figura 4.1 Detalle de las áreas que se forman en la soldadura por fusión

La Figura 4.1 muestra la zona A,mb (área del material base fundido en el depósito) y la zona A,ma (área del metal de aporte), para el cálculo de la dilución.

El coeficiente de dilución obtenido en las operaciones de recubrimiento superficial constituye uno de los factores determinantes en la composición química y dureza de la capa aportada y a la vez en las propiedades tribológicas de los depósitos.

Frecuentemente se presentan en la literatura valores del coeficiente de dilución para los diferentes procesos de soldadura, los cuales ofrecen información general sobre el grado de participación del material de aporte y su influencia en las propiedades finales de la capa aportada.

Cuando se depositan electrodos de alta aleación sobre superficies no aleadas, para ofrecer una capa protectora (Hardfacing) contra determinados medios que resultan agresivos, es importante conocer cuál es el verdadero valor del coeficiente de dilución, para decidir el número de capas a realizar en el relleno superficial, en función de la dureza y composición química deseada de acuerdo a recomendaciones existentes.

Está demostrado que la velocidad de avance de soldadura y la intensidad de corriente afectan notablemente la dilución, existiendo referencias en la literatura de expresiones que permiten calcular dichos valores.

A partir de ecuaciones desarrolladas en función del coeficiente de dilución, se puede determinar bajo ciertos criterios la dureza y la composición química de la capa aportada, y obtener la información sobre la resistencia al desgaste del metal depositado ante determinados mecanismos de desgaste.

El coeficiente de dilución se ha determinado según la siguiente ecuación:

$$D = \frac{A_{mb}}{A_{ma}}$$

**Donde:**

- D: Dilución;
- A, mb: Área metal base
- A, ma: Área metal de aporte

#### **4.1.- RELACIÓN ENTRE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS Y LA SOLDABILIDAD**

La selección del material intermedio debe tomar en cuenta la composición porcentual de ciertos elementos químicos presentes tanto en el metal base como en el electrodo, ya que tendrán una menor o mayor influencia en las características de la zona afectada térmicamente y en la zona de deposición, afectando la soldabilidad del material.

A continuación se señalan las características de algunos de los elementos y su influencia en la soldabilidad, según su porcentaje en la composición química del acero.

**Carbono.** Es el elemento endurecedor con mayor influencia. Al aumentar el contenido de carbono, el acero aumenta su dureza y se vuelve más templable.

Si el contenido de carbono es alto un enfriamiento rápido de la temperatura de soldadura puede conducir a una zona dura y frágil adyacente a la soldadura (ZAT), y si el metal de la soldadura (material depositado), capta una cantidad considerable de carbono por mezcla, el depósito mismo de soldadura puede ser duro y frágil, con tendencia a agrietarse.

La influencia del porcentaje de carbono en la resistencia, porcentaje de alargamiento y soldabilidad.

Los aceros al carbono con contenido de carbono mayor de 0,10% y hasta el 1,2% tienen mayor resistencia a la tensión que los aceros cuyo contenido de carbono es menor de 0,10%. Sin embargo, estos aceros no son tan soldables como los de menor contenido de carbono.

Por otro lado, pequeños porcentajes de otros elementos de aleación incorporados a los aceros de bajo contenido de carbono, permiten incrementar su resistencia y límite elástico sin reducir su soldabilidad.

**Silicio.** Se agrega principalmente para producir homogeneidad en el acero. Cuando se emplea en grandes porcentajes (en conjunto con el manganeso, que es más ligero) incrementa la resistencia a la tensión. Si el contenido de carbono es relativamente alto la adición del silicio agrava la tendencia al agrietamiento.

**Manganeso.** Permite aumentar también la templeabilidad y la resistencia a la tensión. Un contenido mayor a 0,60% (con contenido de carbono relativamente alto) aumentará la tendencia al agrietamiento. Cuando es inferior al 0,30%, puede aumentar la susceptibilidad a la porosidad interna, así como el agrietamiento.

El contenido de manganeso entre 0,20 y 0,30%, y de azufre sobre 0,03%, producen aceros que se agrietan muy fácilmente al ser soldados.

**Azufre:** Los aceros al carbono a los que se les ha agregado azufre, como los Aceros de maquinado libre, mejoran su maquinaabilidad. Sin embargo, tienen tendencia a ser quebradizos en caliente y el depósito de soldadura tiende a agrietarse, porque no tiene la resistencia suficiente para soportar los esfuerzos de contracción desarrollados en la soldadura al comenzar la solidificación y en el enfriamiento.

Además del agrietamiento debido a la fragilización en caliente, los aceros al carbono con contenido de azufre sobre 0,05%, tienen tendencia a volverse porosos con cualquier técnica de penetración profunda, especialmente cuando se sueldan con electrodos de las clases E 6010 y E 6011, debido a que el hidrógeno producido por la combustión del recubrimiento de estos electrodos, se combina con el azufre presente en el acero que se está soldando. Estos aceros son fácilmente soldables con electrodos de bajo hidrógeno.

Otra causa común de una calidad deficiente en la soldadura, que no es detectable por análisis espectrográfico (de una muestra de los aceros tomada antes de soldar), son unas capas segregadas de azufre que se presentan en forma de sulfuro de manganeso o de hierro, las que dan origen a la formación de bolsas de gas, u otros defectos, en la línea de fusión durante la soldadura de arco. Pueden determinarse por examen microscópico, o más fácilmente por el ataque profundo con ácido de una sección transversal de la soldadura.

**Fósforo.** Se clasifica generalmente como una impureza en la soldadura, y debe mantenerse al más bajo nivel posible. Un contenido mayor de 0,40% tiende a hacer frágiles las soldaduras, y reduce los valores de tenacidad, al choque o a la fatiga; además aumenta la tendencia al agrietamiento.

**Cromo.** Adicionados a aceros con un contenido de carbono de 1,15%C, tanto el cromo como el molibdeno incrementan el esfuerzo de fluencia del material. Aumentos muy

significativos de cromo por encima del 2% reducen la ductibilidad debido al incremento en la fracción en volumen de los carburos en la microestructura.

El cromo provee resistencia a la corrosión atmosférica y al desgaste, sin embargo, el efecto no siempre es consistente y depende de aplicaciones individuales.

Debido al efecto estabilizante del cromo sobre los carburos de hierro, se deben utilizar temperaturas más altas durante los tratamientos térmicos con el fin de disolver los carburos previamente formados antes del temple en agua.

**Molibdeno.** Adiciones, usualmente de 0,5 a 2% Mo, se realizan para mejorar la dureza y resistencia al agrietamiento de los aceros aleados. Además sirve para aumentar el esfuerzo a la fluencia y la dureza, de secciones sometidas a tratamientos térmicos. Estos efectos ocurren debido a que el molibdeno en los aceros al manganeso es distribuido parcialmente en soluciones en la austenita formando carburos primarios durante la sollicitación del acero.

El molibdeno en carburos primarios tiende a cambiar la morfología desde las dendritas de austenita a una forma nodular menos perjudicial, especialmente cuando el molibdeno excede el 1,5%.

La adición de molibdeno en cantidades mayores al 1% puede incrementar la susceptibilidad de los aceros al manganeso a la fusión incipiente durante el tratamiento térmico. La fusión incipiente se refiere al fenómeno de licuefacción que ocurre debido a la presencia de constituyentes con bajo punto de fusión en áreas interdendríticas, esto puede ocurrir tanto dentro de los granos como a lo largo de los límites de grano. Esta tendencia es agravada por mayores niveles de fósforo ( $\%P > 0,05\%$ ), altas temperaturas (la cual promueve la segregación en la fusión) y altos niveles de carbono ( $\%C > 1,3\%$ ) en el acero.

**Níquel.** En cantidades superiores al 4%, el níquel estabiliza la austenita debido a que es retenida en solución sólida. El níquel es particularmente efectivo para suprimir la precipitación de carburos laminares, los cuales se pueden formar entre 300 y 550° C.

La presencia de níquel ayuda a retener las cualidades magnéticas en el acero, especialmente en las capas superiores decarburadas. Adiciones de níquel incrementan la ductibilidad, disminuye ligeramente el esfuerzo de fluencia y disminuye la resistencia a la abrasión de los aceros al manganeso.

**Vanadio.** Este elemento es un gran formador de carburos y su adición a los aceros al manganeso incrementa sustancialmente el esfuerzo de fluencia, pero con su correspondiente pérdida de ductibilidad.

El vanadio se emplea en aceros al manganeso endurecibles por precipitación en cantidades de 0,5 a 2%. Esfuerzos de fluencia por encima de 700 Mpa son obtenidos dependiendo el nivel de ductibilidad que pueda ser tolerado para una aplicación dada.



**Cobre.** Como el níquel, el cobre en cantidades de 1 a 5% ha sido utilizado en aceros austeníticos al manganeso para estabilizar la austenita.

El efecto del cobre sobre las propiedades mecánicas no ha sido claramente establecido. Algunos reportes indican que puede tener efectos fragilizantes, el cual puede deberse a la limitada solubilidad del cobre en la austenita.

**Boro** es un “metaloide”, posee una baja solubilidad en los aceros pero tiene un efecto importante en la templabilidad.

El boro retarda la formación de ferrita y perlita permitiendo así que la martensita se forme durante un enfriamiento rápido.

Un nivel mínimo de 0,0017% es suficiente para una mayor templabilidad con poco efecto posterior si las adiciones son mayores (>0,005%). Un 0,002 a 0,003% de boro en solución en aceros al carbono tiene el mismo efecto sobre la templabilidad que 0,7% Cr, 0,5% Mo o 1,0% Ni.

El boro es más económico que cualquiera de estos elementos de aleación tradicionales.

Tiene el mayor efecto sobre la templabilidad cuando se lo retiene en solución dentro del grano (temple rápido) que cuando se permite su difusión a los bordes del grano si se lo enfría lentamente.

Si el boro se combina con oxígeno o nitrógeno, su efecto sobre la templabilidad se pierde. Por lo tanto, el acero debe ser desoxidado antes de la adición de boro y debe agregarse un elemento formador de nitruros, como el titanio.

El efecto del boro sobre la templabilidad se reduce progresivamente a medida que se aumenta el contenido de carbono. Por lo tanto, el boro es más efectivo en aceros de bajo carbono (hasta 0,25%C) y es también ampliamente utilizado en aceros de medio carbono (hasta 0,4%C). Las adiciones de boro pueden también ser utilizadas eficazmente en aceros de baja aleación.

La modificación en el porcentaje de alguno de estos elementos de aleación, puede ser de gran beneficio si se efectúa adecuadamente, ya que permitirá aumentar o disminuir la templabilidad o tendencia al endurecimiento del material, según sean los requerimientos de trabajo.

Por ejemplo, puede mejorarse la soldabilidad en los aceros de alta resistencia reduciendo el contenido de carbono, y obtener la resistencia de fluencia requerida mediante el uso de los elementos de aleación adecuados.

Sin embargo, algunos aceros necesitarán de un proceso de precalentamiento antes de aplicarse algún proceso de soldadura, lo que será analizado a continuación.

## **4.2.- TRATAMIENTO TÉRMICOS PARA EL PROCESO DE SOLDADURA**

En el procedimiento de recuperación de elementos mecánicos y piezas por soldadura es importante considerar la implementación de un precalentamiento y/o un poscalentamiento en la soldadura, según sea la composición química, tamaño y espesor del metal base.

El principal objetivo del precalentamiento y el postcalentamiento es reducir la velocidad de enfriamiento durante la operación de soldadura, con el fin de:

- Modificar y controlar las microestructura.
- Promover la difusión de Hidrógeno.
- Modificar el nivel y distribución de las tensiones internas.

### **4.2.1.- Aceros con bajo porcentaje de carbono (hasta 0,15% C)**

Estos aceros, en atención a su bajo porcentaje de carbono pueden unirse por cualquiera de los procesos de soldadura y no tienen problemas de soldabilidad. En raras ocasiones, los aceros que tienen un contenido de carbono menor de 0,10% muestran tendencia a producir soldaduras porosas.

La porosidad no ofrece un serio problema (excepto si es excesiva) desde el punto de vista de la resistencia. Las picaduras superficiales en la soldadura son indeseables desde el punto de vista de la apariencia. Para reducir al mínimo este defecto se deben considerar los siguientes aspectos:

- Cambiar el procedimiento de soldadura.
- Reducir la cantidad de calor que se esté aplicando.
- Asegurarse de eliminar completamente toda la escoria y el fundente de cada cordón antes de depositar el siguiente.

### **4.2.2.- Aceros con un bajo – medio porcentaje de carbono (0,15 – 0,30% C)**

Estos aceros, en espesores hasta de 6 mm son soldables con mínimas precauciones.

Ahora bien, al soldar secciones de mayor espesor de estos aceros, en la medida que aumenta el porcentaje de carbono presentan cierta tendencia al agrietamiento. Lo cual implica la necesidad de realizar un precalentamiento o bien considerar:

- Utilizar las técnicas que produzcan una forma plana o ligeramente convexa.

- Fundir lo menos posible la porción del metal base (donde se aplica la soldadura) tal de Provocar la menor dilución con el metal de aporte.
- En la primera pasada hacer un cordón tan grande como resulte práctico, usando una velocidad de avance más lenta; esto aumenta la sección transversal de la soldadura.

El uso de una velocidad de avance más lenta, incrementa también la aportación de calor correspondiente a una longitud dada de soldadura, lo cual hace que la placa se caliente más, reduciendo con ello el régimen de enfriamiento y de endurecimiento de la zona afectada térmicamente de la soldadura.

Aplicar la segunda pasada mientras la placa esté todavía caliente por la primera, para disminuir la velocidad de enfriamiento.

**TABLA 4.1 TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO SEGÚN ESPESOR PARA ACEROS CON BAJO-MEDIO PORCENTAJE DE CARBONO (0,15 – 0,30 % C)**

Temperatura (°C)	Espesor (mm)
20	Hasta 6
70	6 a 13
150	13 a 25,4
205	25,4 o más

Origen: 'SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICA', HORWITZ, 1997 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. DE C.V.

#### **4.2.3.- Aceros con un medio porcentaje de carbono (0,30 – 0,40% C)**

La soldadura de estos aceros puede requerir considerar mayores precauciones y procedimientos especiales que incluyan procesos de precalentamiento y poscalentamiento para la liberación de tensiones internas y evitar la presencia de estructuras duras.

Sin experiencia previa en la soldadura de estos aceros, es aconsejable verificar su tendencia al agrietamiento, realizando un cordón de soldadura, de un largo de 300 a 350 mm. , en la placa en cuestión (a temperatura ambiente y sin precalentamiento), rompiendo después la soldadura para examinarla visualmente en busca de grietas.

En las soldaduras de filete en fractura abierta, las grietas aparecen ordinariamente como zonas de color púrpura, debido a la oxidación de la superficie de las mismas. Esto indica que las grietas son de "agrietamiento en caliente", es decir, que se formaron a temperaturas sobre los 315º C. Sólo raras veces se formará una grieta después que se haya enfriado la soldadura a la temperatura ambiente.

Si el acero no presenta tendencia al agrietamiento pueden aplicarse los procesos normales de soldadura.

Si se observa una tendencia al agrietamiento, se deben seguir las recomendaciones indicadas anteriormente para la soldadura de aceros con contenido bajo a medio de carbono.

Si por causa del agrietamiento se requieren tratamientos de precalentamiento, la tabla 2.1.1. Indica las temperaturas aproximadas recomendadas.

**TABLA 4.2 TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO PARA ACEROS CON UN MEDIO PORCENTAJE DE CARBONO SEGÚN SU ESPESOR**

Las temperaturas están en ° C	Espesor	≤ 6,35 mm	12,7 mm	25.4 mm	≥ 50,8 mm
Acero	% Carbono	Temperaturas	Temperaturas	Temperaturas	Temperaturas
SAE 1030	0.30	21	65	150	205
SAE 1035	0.35	21	93	150	260
SAE 1040	0.40	93	205	260	290

Origen: 'SOLDADURA, APLICACIONES Y PRÁCTICA', HORWITZ, 1997 ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. DE C.V.

En estos aceros medios en carbono, cuando se requiere postcalentamiento (liberación de tensiones internas) después de efectuada la soldadura, éste ayuda a reducir las zonas duras producidas por el enfriamiento de la soldadura.

La temperatura usual de liberación de tensiones internas es de entre 590 a 650 °C. Es práctica común mantener el acero durante una hora a esta temperatura por cada 20 a 30 mm de espesor hasta un máximo de 8 horas.

**4.2.4.- Aceros con alto porcentaje de carbono (0,45 – 1,00% C)**

Los problemas que pueden surgir durante la soldadura de los aceros de alto carbono son:

- Agrietamiento del metal de la soldadura. Las grietas pueden ser transversales al cordón o pueden correr por el centro del mismo. Las grietas longitudinales prevalecen más.
- A veces no aparecen en la superficie del cordón, aunque el interior del mismo sí esté agrietado.
- Porosidad en el metal de la soldadura.
- El agrietamiento del metal de base, comprende tanto la formación de grietas bajo el cordón (precisamente abajo de la zona de fusión), como grietas radiales en la zona de fusión que se extienden hasta el metal base.
- Ablandamiento excesivo del metal base.

Para reducir al mínimo la ocurrencia de estos problemas en los aceros de contenido bajo - medio y contenido medio de carbono, las siguientes precauciones ayudarán a realizar las correcciones necesarias para evitar el agrietamiento de las soldaduras.

1. Preparar cuidadosamente la superficie de soldadura mediante maquinado, esmerilado, etc. Eliminar la mayoría de las irregularidades, tales como melladuras, grietas y ranuras que pudieran actuar como concentradores de esfuerzo.

2. Evitar la penetración excesiva, y mantener el metal de la soldadura con el contenido más bajo de carbono que resulte práctico. El depósito tendrá entonces la máxima ductibilidad. De lo contrario se producirán sobreesfuerzos en el acero y éste fallará (por ruptura o agrietamiento).

3. Avanzar con la lentitud suficiente para depositar un cordón o capa substancial de metal de soldadura, para cordones más anchos recurrir al ondeado, en vez de realizar cordones rectos paralelos.

Evitar las secciones transversales delgadas de soldadura. Un cordón delgado, cóncavo tiene todas las probabilidades de agrietarse. Las grietas de cráter, conocidas también como "grietas calientes", se originan en el cráter cóncavo que deja a menudo el soldador en el extremo de un cordón de soldadura.

Al soldar en una ranura o al hacer una soldadura de filete, el primer cordón, o cordón de fondo, es el más susceptible a agrietarse.

4. Después de terminar la soldadura, el procedimiento usual consiste en liberar las tensiones internas de la parte soldada, como se describe para los aceros con contenido medio de carbono.

#### **4.2.5.- Aceros con bajo contenido de aleación**

Estos aceros son empleados mayormente para la fabricación de recipientes sometidos a presión, y están cubiertos por las especificaciones ASTM A203, A204, A225, A353, A553 y A537.

Cuando se sueldan calderas y los recipientes sujetos a presión, de acuerdo con el Código ASME, se requiere el uso de metales de aporte específicos, así como tratamientos de precalentamiento y postcalentamiento.

Aunque pueden calcularse las temperaturas aceptables de precalentamiento, la AWS recomienda las indicadas en el *ANEXO N°1* que aparecen en la Tabla "*Temperaturas mínimas recomendadas para precalentamiento y entre pasadas*"

## CAPITULO V

### RESULTADOS DEL PROCEDIMIENTO DE RECUPERACIÓN

#### 5.1.- ANTECEDENTES

La forma en que la empresa mide la duración de los yunques, es a través de la unidad de producción BDMT, cuyas siglas en inglés son BONE DRIED METRIC TON (toneladas métricas de astillas seca), lo que permite mantener un control más efectivo sobre el desgaste y cambio de la pieza.

De acuerdo a la información proporcionada por la empresa:

- El chipeador al cual pertenece la pieza en estudio, posee una capacidad de producción promedio de 180 Ton/hr, lo que se traduce a 83,34 BDMT/hr (considerando un porcentaje de humedad de la madera de alrededor del 56%). Esto significa una producción diaria de 2.000 BDMT.
- Un yunque nuevo del astillador , importado desde EEUU tiene un valor de U\$800.- (\$ 400.000) debería tener una duración (por cara) de alrededor de 12.000 BDTM.( 6 días )

#### 5.2.- DESGASTE EN EL YUNQUE DEL ASTILLADOR

La pieza en estudio es afectada por la acción de una combinación de desgastes, los que se detallan a continuación en orden de influencia.

**Impacto:** al producirse el corte de la madera, se genera una acción conformada por tres etapas: golpe de la cuchilla al tronco – golpe del tronco al yunque – cizalle del tronco por efecto de la inercia de la cuchilla y el contrafilo del yunque.

La constante acción de los troncos sobre el yunque, produce el impacto y genera este desgaste, viéndose agravado por la presencia de sílice y arena, que aumenta la dureza de la superficie de la madera, y por consiguiente la resistencia al corte, lo que tiene un gran efecto sobre la pieza si se considera que la rotación del disco, que contiene las 15 cuchillas, es de 418 RPM, traduciéndose en aproximadamente 6.200 golpes por minuto contra los troncos y estos contra el yunque.

**Abrasión por corte:** este tipo de desgaste, ocurre cuando el tronco es impactado por las cuchillas, cuyo movimiento y ángulo, generan el corte y el avance del trozo de madera contra la cara expuesta del yunque, y debido a la presencia de sílice y arena que no es eliminada completamente en el proceso de lavado, se produce el desprendimiento del material base a medida que las partículas rayan la superficie, acortando la vida útil de la pieza. Esta pérdida de material se comprobó al determinar que existía una diferencia de masa de la pieza antes y después de terminado con el servicio.

Esta combinación de los mecanismos de desgaste de impacto y abrasión por corte, son los responsables de la deformación y pérdida de material del yunque del astillador.

**Corrosión:** Es el tipo de desgaste que menos influye en la pérdida de material inmediato, en gran medida por la alta rotación que posee la pieza y a la gran participación de los otros dos tipos de desgaste. Sin embargo, en la superficie del yunque del astillador, se puede observar rastros de formación de óxidos debido al ambiente salino imperante, y posiblemente al agua utilizada en el lavado de los troncos, la que es extraída de punteras del sector en donde se encuentra la planta (a 300 m del mar).

Como se trata de un factor imposible de eliminar, al recuperar por soldadura el yunque desgastado se deberán tomar las precauciones necesarias para eliminar cualquier rastro de óxido presente, con el objeto que no participe como elementos contaminante en el proceso de soldadura.

En la Figura 5.1 se observa el desgaste con que queda un yunque después de su ciclo de trabajo y ser retirado para su recuperación.



Figura 5.1 Yunque del astillador desgastado

### 5.3.- LA RECUPERACIÓN DEL YUNQUE DEL ASTILLADOR CON ELECTRODO DE CARBUROS DE CROMO (CITODUR 600)

El análisis comienza con la medición de la masa inicial que posee el yunque antes de ser puesto en servicio, con la finalidad de conocer la masa de material perdido que sufrirá la pieza debido al desgaste producido durante su ciclo de trabajo.

Para ello, se realiza un seguimiento de la pieza, que consiste en medir su masa antes de ser puesta en servicio y después de su operación, antes de ser recuperada nuevamente. Las mediciones fueron realizadas con una balanza digital de resolución 100 gr. Los cuales se detallan a continuación.

**TABLA 5.1.- MEDICIÓN DE MASA INICIAL Y FINAL, EFECTUADAS AL YUNQUE DEL ASTILLADOR RECUPERADO CON ELECTRODOS CITODUR - 600**

MEDICIÓN DE MASA	Kg
Inicial	34,4
Final	32,6
<b>Diferencia TOTAL</b>	<b>1,8</b>

Como se señalo anteriormente, la rotación de las caras del yunque vertical se cumple cuando se cumple una cierta cuota de producción.

La empresa considera que el momento en que se debía realizar la rotación del yunque, es al cumplirse los 12.000 BDMT, antes de que el desgaste produzca una pérdida de material lo suficientemente importante como para poner en riesgo la calidad de la producción, lo que se traduce en una duración aproximada de 6 días por cada cara.

A continuación se presenta la tabla 5.1 que resume los costos de recuperación del yunque con electrodos CITODUR - 600 , tales como (materiales utilizados, mano de obra y rectificado con piedra de esmeril) esta información fue entregada por la maestranza METALMON E.I.R.L. la cual realizó los trabajos de la recuperación del yunque del astillador.



**TABLA 5.2.- COSTOS DE RECUPERACIÓN DEL YUNQUE CON ELECTRODO  
CITODUR - 600**

DETALLE		VALOR	TOTALES
Kg de electrodo utilizado	7 Kg.		
Electrodo \$/kg	\$ 8.000/kg		
<b>TOTAL Costo de Material de Soldadura</b>		<b>\$ 56.000.-</b>	<b>\$ 56.000</b>
Horas Hombre (HH) utilizadas	2 turnos de 8 hr		
Costo HH (Soldadura y Mecanizado)	\$ /HH 2.000.-		
<b>TOTAL Costo Mano de Obra</b>		<b>\$ 32.000.-</b>	<b>\$ 32.000</b>
Horas Maquina utilizadas en la recuperación	5 hr		
Costo Hora Máquina	\$/HM 5.000.-		
TOTAL Costo Máquina		<b>\$ 25.000.-</b>	<b>\$ 25.000</b>
<b>TOTAL (Costo Maestranza)</b>		<b>\$ 113.000.-</b>	
<b>Administración y Utilidades</b>			<b>\$ 137.000</b>
<b>Costo recuperación yunque</b>			<b>\$ 250.000</b>

Como alternativa a la compra de yunques nuevos después de su ciclo de vida, se considera el estudio de la recuperación de estos yunques desgastados. Para ello se considera el estudio de la recubrir estos yunques con electrodos de carburos de cromo ( CITODUR – 600 ) y electrodos de carburos de tungsteno ( TUNGSTEL ), analizando los resultados caso a caso

#### **5.4.- RESULTADOS DE RECUPERACIÓN DEL YUNQUE DEL ASTILLADOR CON ELECTRODO TUNGSTEL**

La aplicación del recubrimiento en el yunque, se realiza sólo en dos caras, debido al elevado costo de estos electrodos. Luego el estudio de los costos asociados sólo se referirá a la mitad de su recuperación, considerando los datos proporcionados por la maestranza a cargo del trabajo de: materiales utilizados en el recubrimiento, la mano de obra y el rectificado con piedra de esmeril. A continuación se tiene el siguiente cuadro resumen ( tabla 5.2 ).

**TABLA 5.3.- COSTOS DE RECUPERACIÓN A YUNQUE VERTICAL CON LOS ELECTRODOS E-6011 Y TUNGSTEL**

DETALLE		VALOR	TOTALES
kg de electrodo utilizado en Buildup	2 kg.		
Valor del kg de electrodo (Buildup)	\$ 5.000/kg		<b>\$ 10.000</b>
kg de electrodo utilizado en Hardfacing	2 kg.		
Valor del kg de electrodo (Hardfacing)	\$ 105.000/kg		
<b>TOTAL Costo Material de Soldadura</b>		<b>\$ 235.000</b>	<b>\$ 235.000</b>
HH utilizadas en la recuperación	4 turnos de 8 horas		
Costo HH(Soldadura y Mecanizado)	\$/HH. 2.000		
<b>TOTAL Costo Mano de Obra</b>		<b>\$ 64.000</b>	<b>\$ 64.000</b>
Horas Maquina utilizadas en recuperación	16 horas		
Costo Horas Maquina	\$/HM 5.000		
TOTAL Costo Maquina		<b>\$ 80.000</b>	<b>\$ 80.000</b>
<b>TOTAL (Costo Maestranza)</b>		<b>\$369.000</b>	
<b>Administración y Utilidades</b>			<b>\$ 150.000</b>
<b>Costo recuperación yunque</b>			<b>\$ 519.000</b>

\* Valor referido a la recuperación de un solo lado (2 caras).

Después de haber recuperado dos de las caras del yunque con el electrodo TUNGSTEL, se monto el yunque en el astillador y se coloco en servicio. Lamentablemente los resultados obtenidos fueron desfavorables debido a que la superficie recuperada, producto de las condiciones de trabajo, comenzó a desprenderse a las 4 horas, debiendo ser cambiado por otro yunque.

### 5.5.- ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN DILUCIÓN

Con el fin de estudiar las características mecánicas que se obtiene con cada electrodo depositado, es que se hace necesario analizar la influencia de cada elemento de aleación presente en el material de aporte del recubrimiento y la dilución obtenida al aplicar la soldadura. Para ello, se utilizará la referencia indicada en la tabla 5.3 , que indica un resumen de las propiedades que aporta cada elemento en el depósito de soldadura.

**TABLA 5.3.- INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LAS PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE LOS REVESTIMIENTOS APLICADOS**

Elemento	Propiedad
<b>Carbono</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A mayor % d C, incrementa la templabilidad.</li> <li>• Mayor a 2,5%, incrementa la fragilidad en zona afectada térmicamente y el depósito es frágil.</li> <li>• Aumentar su porcentaje, incrementa el esfuerzo de tracción per baja su soldabilidad,.</li> <li>• Porcentaje menor a 0,15, aceros fácilmente soldables.</li> <li>• Aumentar el porcentaje, incrementa la dureza pero reduce la ductilidad</li> </ul>
<b>Silicio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produce homogeneidad.</li> <li>• Incrementa la resistencia a la tensión sin afectar su soldabilidad.</li> <li>• Si el porcentaje de C es alto, aumenta la posibilidad de agrietamiento.</li> </ul>
<b>Manganeso</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la templabilidad y la resistencia a la tención, sin afectar mayormente su soldabilidad.</li> <li>• Un porcentaje mayor al 0,60% con contenido mayor de 0,4% de C, aumenta la tendencia al agrietamiento. Cuando es inferior al 0,30%, asociado al porcentaje de C, aumenta las porosidades internas, así como el agrietamiento</li> <li>• El contenido d manganeso entre 0,20 y 0,30%, y de azufre sobre 0,03%, producen aceros que se agrietan muy fácilmente al ser soldados</li> </ul>
<b>Fósforo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es una impureza.</li> <li>• Contenidos mayores a 0,4% hace frágiles, reduciendo la resistencia al choque al choque o a la fatiga.</li> </ul>
<b>Cromo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En aceros con contenido cercano a 1,15%C, tanto el cromo como el molibdeno incrementan el esfuerzo a la fluencia del material.</li> <li>• Por arriba del 2%Cr, se reduce la ductibilidad debido al incremento de los carburos de cromo</li> <li>• El cromo provee resistencia a la corrosión atmosférica y al desgaste.</li> </ul>
<b>Molibdeno</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se agrega de 0,5 a 2%Mo, para mejorar la dureza y resistencia al agrietamiento de aleaciones.</li> </ul>
<b>Vanadio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un fuerte formador de carburos y su adicción, junto con el manganeso incrementa sustancialmente el esfuerzo de fluencia, pero con su correspondiente decrecimiento de ductibilidad.</li> </ul>
<b>Boro</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Un nivel de 0,0017% es suficiente para una mayor templabilidad con poco efecto posterior si las adiciones son mayores (&gt;0,005%). Un 0,002 – 0,003% de boro en solución en aceros al carbono, tiene el mismo efecto sobre la templabilidad que 0,7%Cr, 0,5% Mo, o 1,0%Ni.</li> <li>• El efecto del boro sobre la templabilidad se reduce progresivamente a medida que se aumenta el de carbono (hasta 0,25%C)</li> </ul>

### 5.6.- METAL BASE A - 36

La composición química del yunque del astillador, ( metal base) es un acero A - 36, ( ver tabla 2.1 ).

Con esta composición química, debido a la presencia 0,20% de carbono y 0,9% de manganeso, se trata de un acero tenaz, de baja dureza y con buena soldabilidad.

### 5.7.- ELECTRODO SITODUR – 600

La composición se obtuvo utilizando el 15 % de dilución, Lo que permite obtener una aproximación de la composición química de la aleación resultante en el primer cordón de soldadura.

**TABLA 5.3.- ESTIMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PRIMER CORDÓN DE SOLDADURA APLICADO AL MATERIAL BASE CON CITODUR – 600**

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO ESTRUCTURAL A – 36								
Elemento	C	Mn	P	Az	Si			
Contenido (%)	0,28	0,7	0,03	0,4	0,3			
COMPOSICIÓN QUÍMICA ELECTRODO CITODUR – 600								
Elemento	C	Mn	Si	Cr	Mo	V		
Contenido (%)	0,5	0,3	0,4	7,0	0,5	0,5		
RESULTADO COMPOSICIÓN, OBTENIDO CON UNA DILUCIÓN DEL 15%								
Elemento	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	V
Contenido (%)	0,467	0,36	0,0045	0,06	0,385	5,95	0,425	0,425

De la composición química resultante con un 15% de dilución se observa un aumento de carbono del metal depositado en el primer cordón (sobre 0,4 %), lo que permite la formación de carburos de cromo cuando la soldadura es bien aplicada y facilitada por la presencia de vanadio, los que aportan una dureza media junto con el molibdeno

Debido a que todos los elementos se encuentran compuestos en cantidades medianas, se puede decir que se trata de una deposición medianamente tenaz, la cual sumada a la tenacidad de la pieza, se logra buena resistencia al impacto.

La aplicación de los cordones posteriores, debe realizarse cuando la pieza esta aún caliente, con el objeto de obtener una buena soldabilidad y evitar esfuerzos residuales.

### 5.8.- ELECTRODO E-6011 Y TUNGSTEL

Al igual que en el caso anterior, la composición química se obtuvo utilizando el 15% de dilución

**TABLA 5.4.- ESTIMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PRIMER CORDÓN DE SOLDADURA APLICADO AL MATERIAL BASE CON E 6011**

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ACERO ESTRUCTURAL A-36					
Elemento	Carbono	Manganeso	Fosforo	Azufre	Silicio
Contenido (%)	0,28	0,7	0,03	0,4	0,3
COMPOSICIÓN QUÍMICA ELECTRODO E 6011					
Elemento	Carbono	Manganeso	Fosforo	Azufre	Silicio
Contenido (%)	0,10	0,680	0,01	0,020	0,340
RESULTADO COMPOSICIÓN, OBTENIDO CON UNA DILUCIÓN DEL 15%					
Elemento	Carbono	Manganeso	Fosforo	Azufre	Silicio
Contenido (%)	0,127	0,683	0,013	0,077	0,334

De la composición obtenida se puede observar un bajo porcentaje de carbono, el que junto con el manganeso, permite aseverar que la superficie cuente con propiedades de muy buena tenacidad y soldabilidad.

**TABLA 5.5.- ESTIMACIÓN DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CORDÓN DE SOLDADURA APLICADO CON ELECTRODO TUNGSTEL**

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PRIMER CORDON CON E 6011						
Elemento	Carbono	Manganeso	Silicio	Fosforo	Azufre	
Contenido (%)	0,127	0,683	0,334	0,013	0,077	
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ELECTRODO TUNGSTEL						
Elemento	Carbono	Manganeso	Silicio	Hierro	Tungsteno	
Contenido (%)	3,40	2,90	0,70	52,00	41,00	
RESULTADO COMPOSICIÓN, OBTENIDO CON UNA DILUCIÓN DEL 15%						
Elemento	Carbono	Manganeso	Silicio	Fosforo	Azufre	Tungsteno
Contenido (%)	2,9	2,57	0,65	0,002	0,012	41,00

Con la composición química obtenida, con una dilución de un 15% del electrodo TUNGSTEL se puede observar el elevado porcentaje de carbono y de tungsteno, lo que genera un recubrimiento muy duro y frágil del depósito con el metal de aporte, lo cual fue comprobado con los resultados prácticos de esta alternativa.

Sin embargo, no se pudo confirmar la formación de carburos: debido a que la corriente utilizada fue de una intensidad más baja que la recomendada (100A vs 120A) y además, por no realizarse un precalentamiento a la pieza esta pudo enfriarse muy rápido, sin dejar tiempo para la formación de carburos y generando tensiones

internas entre ambos elementos (también afectando la fusión entre ellos), e influyendo en el agrietamiento que sufrió la pieza durante el trabajo.



Figura 5.2 Desprendimiento del material de aporte electrodo TUNGSTEL



Figura 5.3 Más detalles del desprendimiento electrodo TUNGSTEL



Figura 5.4 El Descostramiento

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DEL PROCESO DESCRITO

**6.1.- IDENTIFICACIÓN DEL METAL BASE:** El metal base del yunque del astillador es un acero estructural A – 36, con un 0,28% C, 0,7% Mn, 0,3% Si, 0,03% P, 0,04% S. Tiene un límite de fluencia de 25,3 kg/, una resistencia a la tracción de 40.8 kg/mm<sup>2</sup> y un porcentaje de alargamiento de 20%.

**6.2.- IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE DESGASTE:** Según el análisis de la secuencia en que se produce el contacto entre las cuchillas, el tronco y la cara del yunque del astillador, se identifica la acción de un tipo de desgaste combinado, conformado por impacto y abrasión por corte, que son los más influyentes en la deformación y pérdida de material de la pieza.

Una de las principales causas de la alta abrasión, presente se debe al deficiente sistema de lavado de los troncos, el que debería ser mejorado para lograr una significativa reducción de sílice, arena y lodo en la superficie de los troncos, sin que se altere las propiedades y características propias de la madera. Esto, permitiría aumentar el rendimiento de los yunques recuperados con el electrodo CITODUR – 600 y prolongar la vida útil de ellas.

La aplicación del recubrimiento para esta pieza, tomando en consideración los tipos de desgaste presentes, debe ser realizada con un electrodo (diferente al electrodo TUNGSTEL), que resista satisfactoriamente la abrasión producida por las partículas de sílice (más abrasivas que la madera), pero que a su vez permita el maquinado de la pieza una vez aplicada la recuperación por soldadura y que el revestimiento no sea frágil.

Como se trata de un desgaste combinado de abrasión por corte e impacto, el material también debe poseer una tenacidad adecuada, que logre impedir la formación de grietas o fracturas en la superficie, que deriven en el descostramiento de la superficie recuperada. Una alternativa para ello, es la aplicación de un material intermedio que tenga dicha característica, y que mejore (o logre) la soldabilidad entre el metal base y el de Hardfacing.

**6.3.- SELECCION DEL PROCESO DE SOLDADURA Y ELECTRODOS PARA EL HARDFACING.** El proceso de soldadura utilizado para realizar la aplicación del

Hardfacing con los electrodos CITODUR-600 y TUNGSTEL (más el E-6011 como colchón), fue el proceso de soldadura por Arco Manual, el cual es sencillo y económico, a pesar de contar con un bajo rendimiento de aporte de material y caracterizarse por la pérdida de tiempo durante el recambio de varillas de electrodo y en la aplicación de soldadura. El análisis de los electrodos utilizados es el siguiente;

**6.4.- ELECTRODO CITODUR-600.** Es un electrodo cuyo fabricante especifica que una de sus aplicaciones es la recuperación de los bordes de Yunques, expuestos a la presencia de desgaste por impacto moderado combinado con abrasión severa.

Sus características principales se basan en la deposición de un revestimiento que contiene de carburos de cromo, con los que se logran durezas entre 52 y 55 HRC.

Si bien es un electrodo relativamente económico (\$8.000.-x Kg), su rendimiento de deposición es de alrededor del 65%.

La recuperación del yunque con este electrodo, tiene un valor inferior a una pieza nueva (\$250.00 vs \$400.000). En el año se realizan aproximadamente 40 cambios de Yunque, lo que significa un ahorro de \$6.000.000.- al año. (\$150.000 x 40). Con un valor del dólar aproximado de \$ 500.

Debido al contenido de carbono del yunque, existe una tendencia al agrietamiento en la zona adyacente al cordón de soldadura (Zona Afectada Térmicamente), cuando se producen enfriamientos rápidos o una gran disipación de calor a la conductividad del acero.

En el caso que persistan o empeoren los resultados (a pesar del precalentamiento), se recomienda como segunda alternativa, elegir otro tipo de electrodo, para aplicaciones según el tipo de desgaste identificado, tal que el aumento de la vida útil del Yunque no signifique un alza significativa de los costos.

La forma para abordar la selección del electrodo, es verificando las especificaciones dadas por el proveedor, no solo de dureza, si no de resistencia a la tracción, límite de fluencia, ductilidad, tenacidad y composición química del yunque, ya que estos datos darán información respecto a las características mecánicas del material depositado, y considerando el valor de la dilución, se podrá estimar el comportamiento de las zonas formadas en la soldadura, con respecto a la tenacidad, tensiones residuales, formación de carburos y tendencia al agrietamiento.



Por ejemplo, una alta resistencia a la tracción y límite de fluencia junto con un bajo porcentaje de alargamiento, podrían indicar que el material es demasiado frágil, por lo que no resistirá el desgaste por impacto.

Una solución que podría ser considerada, incluye el uso de un material colchón, de dureza media, que aporte tenacidad y que permitiría, obtener una aproximación de las propiedades necesarias que este debería tener, mientras que el material superficial involucraría un electrodo que deposite, por ejemplo, carburos de cromo, con características mecánicas de alta resistencia a la tracción y límite de fluencia, y con un bajo porcentaje de alargamiento, de modo de lograr un aumento de protección contra la abrasión, si se compara con la entregada por el electrodo CITODUR-600

**6.5.- ELECTRODOS TUNGSTEL Y E-6011.** El electrodo TUNGSTEL, es especificado por el fabricante para aplicaciones que se presentan servicios con desgastes muy severos de abrasión, erosión y corrosión; inclusive bajo influencia de temperatura.

De los tipos de desgaste mencionados, no se incluye el impacto, debido a que se trata de un recubrimiento extremadamente duro, y que explicaría en parte del fracaso de la aplicación de este recubrimiento.

El recubrimiento E-6011, es un electrodo de valor comercial muy bajo (\$2.000 x Kg), y su aplicación fue para cumplir como material de relleno y colchón.

- En primer lugar, debido a que no se logro una correcta fusión con el E-6011, al no tomar las precauciones dadas por el fabricante con la intensidad de corriente y de no precalentar la pieza recubierta con el E-6011 se produjo una deficiente dilución junto con una tensión residual derivada lo que dio como resultado el desprendimiento de secciones completas de la capa dura superficial.
- En segundo lugar, la dureza del TUNGSTEL era demasiado elevada, y por lo tanto frágil, lo que no lo hacía buen candidato para el tipo de desgaste por impacto, factor que en gran medida influyo en el resultado final.
- Por último, el maquinado necesario para darle la forma final a la pieza era muy difícil de realizar.

## CONCLUSIONES

- La aplicación de Hardfacing, además de otorgar las propiedades mecánicas necesarias para la protección contra el desgaste, debe cumplir con un costo / beneficio que lo haga viable y atractivo frente a la adquisición de piezas nuevas. Esto se logra con una correcta planificación y aplicación de soldadura y de procesos previos a ella (y/o posteriores), a través de un Procedimiento de Aplicación de Soldadura, permitiendo además:

Minimizar los errores (y por lo tanto los costos) por parte de los operadores en la ejecución y selección de materiales.

Dejar un registro con toda la información necesaria, para no olvidar la forma de aplicación cuando existen grandes periodos de tiempo entre una recuperación y otra o si se buscan mejores resultados al experimentar con la modificación o añadidura de algún paso al procedimiento.

- Debido a que la superficie de la pieza se desgasta de forma pareja, una nueva solución debe ser buscando un aumento de la capacidad contra la abrasión, evitando durezas extremas que terminen siendo afectadas por el impacto.
- Importante aspecto a considerar, es que la dureza no es un factor determinante para la selección de un recubrimiento para Hardfacing, ni tampoco su valor, ya que no guarda ninguna relación con su durabilidad.

Entre más dura sea una superficie, mayor será su oposición a dejarse rayar, mientras que su tenacidad disminuirá, haciéndola más frágil a los golpes. Es por lo anterior, que la selección del electrodo deberá basarse en su composición química y la del metal base, y las propiedades mecánicas necesarias para otorgar la capacidad de resistencia al tipo de desgaste presente, y de ser necesario, se deberá seleccionar un segundo material de aporte que cumpla como material colchón y / o ayude a obtener una mejor soldabilidad entre el electrodo de Hardfacing y el metal base.

Un claro ejemplo de lo anterior, es el caso analizado del recubrimiento que se aplicó con el electrodo TUNGSTEL (\$105.000.- por kg) al Yunque del astillador, logrando una superficie muy dura pero que no resistió el impacto generado por los troncos, causando un desprendimiento de casi toda la superficie del revestimiento, después de cuatro horas de puesto en servicio.

Si lo comparamos con el recubrimiento con el electrodo CITODUR-600 (\$8.000.- por kg), con el que se logra una duración aproximada de trece días, se comprueba lo mencionado inicialmente.

- Con respecto a la empresa chipeadora, uno de los factores que más afecta el desgaste del Yunque del astillador, es la presencia de sílice arena y lodo. Por esto, se recomienda analizar la posibilidad de mejorar el proceso de lavado de los troncos, tal de lograr un aumento de la vida útil de la pieza. Si no fuera posible o si el rendimiento de la pieza recuperada continuara siendo insuficiente, se recomienda otros recubrimientos, estudiar la aplicación de otros materiales de aporte que permitan que los costos no aumenten proporcionalmente con respecto al incremento de la vida útil.

Al comparar el rendimiento de un yunque del astillador pieza recuperado con el de uno nuevo, los costos involucrados en ambas, al cambio de dólar actual es más recomendable su recuperación con electrodos CITODUR-600 que la adquisición de yunques nuevos.

## BIBLIOGRAFIA

- Metals Handbook, Welding and Vol. VI, 1993, American Society Metals(ASM)
- Soldadura, Aplicaciones y Práctica, Horwitz, 1997, Alfaomega Grupo Editor, S.A.De C.V.
- Welding Engineer Data Sheets, 3ª. Edicion.
- AWS Welding Handbook, 6ª Edicion. Seccion 4
- [www.steeluniversity.org](http://www.steeluniversity.org); Tipos de Acero
- Fundamentos teóricos de los aceros austeníticos al manganeso (Aceros Hadfield), Oscar Higuera, José Trispancho, Luis Flores, 2007, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- American Society for Testing and Materials (ASTM), Designacion: A -36/A 36M97a
- Manual de Soldadura y Catálogo de Productos OERLIKON (Perú)