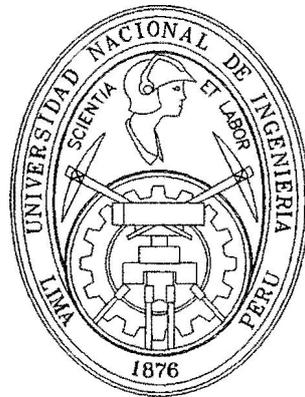


# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Departamento Académico de Metalurgia



## RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE PIEZAS CON SOLDADURA

Tesis de Grado para optar el Título  
Profesional de Ingeniero Metalurgista

Presentado por:

OLGGER LÓPEZ ORTIZ

Promoción 1979 - 2

Lima, 12 de enero de 1984

## AGRADECIMIENTOS

Quiero hacer llegar mi mas sincero agradecimiento a mis queridos padres, la Sra.CELMIRA ORTIZ CASTRO y el Sr.OCTAVIO LÓPEZ CASTRO, por su invaluable esfuerzo y dedicación a la educación de sus hijos y por hacer de todos nosotros profesionales útiles a la patria y a la sociedad.

A mis PROFESORES por sus sabias y desinteresadas enseñanzas.

A la Sra.TERESA LÓPEZ DE NANO; por su valiosa colaboración en el tipeado de esta tesis.

Y a todas las personas e Instituciones que de una u otra forma han colaborado para llevar a cabo este trabajo.

OLGGER LÓPEZ ORTIZ

## PROLOGO

La constante preocupación de las personas que dirigen las diferentes industrias en nuestro país, por bajar los costos de mantenimiento de piezas, como un medio para bajar los costos de producción ha originado el presente trabajo denominado "RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE PIEZAS CON SOLDADURA", en el cual además de demostrar la factibilidad técnica y económica de esta tecnología también plinto los conocimientos técnicos a considerar para llevar adelante un programa eficiente de recuperación y protección de piezas mediante soldadura.

El primer capítulo es un análisis de la importancia y ventajas del uso de aleaciones especiales con características superiores de resistencia mecánica y de resistencia a los desgastes, los cuales una vez aplicados adecuadamente prolongan la vida útil de las piezas; cabe mencionar que el estudio se refiere al mantenimiento de piezas mediante aleaciones especiales (Soldadura de Mantenimiento) para trabajos de mantenimiento, por lo tanto, los trabajos de producción de piezas mediante soldadura de producción no es parte de este estudio. En el segundo capítulo hago un análisis de lo que actualmente se hace y lo que hay por hacer en las princip

les industrias de nuestro país, desde el punto de vista de recuperación y protección de piezas que fallan durante el trabajo.

Los capítulos dos y tres son una introducción al capítulo cuatro, con la finalidad de que el lector, tenga una introducción de los procesos de soldadura y metalurgia de la soldadura como conocimientos básicos para entender los casos que se presentan en la soldabilidad de los diferentes metales usados en la fabricación de piezas.

Los procedimientos a seguir para soldar los diferentes metales, y la explicación del por qué de cada caso se encuentran en el capítulo cuatro.

Las piezas fallan ya sea por rotura o por desgaste, en el primer caso se debe a esfuerzos imprevistos o errores de diseño de las piezas, y el segundo a causas mecánicas o químicas, la forma de identificar el tipo de falla, la solución al problema y el control de cada aplicación se encuentran explicados en los capítulos cinco, seis y siete.

El capítulo ocho, es un resumen de los principales defectos y sus controles, los cuales se presentan en soldadura tanto para la recuperación de piezas falladas por rotura, como para piezas recuperadas o protegidas contra el desgaste.

Los procedimientos a seguir para calcular los costos en soldadura de mantenimiento, son dados en el capítulo nueve, el cual es un complemento del capítulo diez, que a su vez es un resumen del estudio realizado para la recuperación y protección de piezas críticas en la Refinería de Zinc de L. Oroya, con el cual quiero demostrar los altos beneficios (horros) que se puede obtener al aplicar esta tecnología bastante joven en nuestro país.

## INDICE ANALITICO

AGRADECIMIENTOS	III
PRÓLOGO	IV
1. SOLDADURA DE MANTENIMIENTO Vs. RECUPERACIÓN DE PIEZAS EN EL PERÚ.	1
1-1. ¿Por qué fallan las piezas y que hacemos con ellas.-1-2. - Ventajas económicas al prolongar la vida útil de las piezas.-1- 3. Recuperación de piezas mediante soldadura en el Perú.- 1-4. Procesos usados para la recuperación y protección de piezas en el Perú.- 1-5. Principales tipos de industrias del Perú.-1-6. - Piezas críticas de desgaste de las principales industrias del - Perú	
2. PRINCIPIOS DE SOLDADURA	23
2-1. Por forja.- 2-2. Por resistencia eléctrica.- 2-3. Soldadu- ra por combustión de gases.- 2-4. Soldadura por arco eléctrico. -2-5. Soldadura por electrodo de carbón.- 2-6. Soldadura con e- lectrodo metálico revestido.- 2-7. Soldadura con electrodo con- tínuo con fundente interior.- 2-8. Soldadura por arco sumergido . - 2-9. Proceso MIG.- 2-10. Proceso MAG.- 2-11. Proceso TIG.-2- 12. Proceso plasma.- 2-13. Soldadura por rayo electrónico.- 2-14.	

Soldadura por electroescoria.- 2-15. Soldadura por rayo laser.-2-16. Soldadura termítica.- 2-17. Soldadura fuerte (BRAZING).- 2-18. Soldadura blanda.- 2-19. Fundamentos del proceso oxi-acetilénico.- 2-20. Llama neutra.- 2-21. Llama con exceso de acetileno.- 2-22. - Llama con exceso de oxígeno.- 2-23. Fundamentos de la soldadura - BRAZING.- 2-24. Contacto sólido líquido mojado.- 2-25. Liga metal-base-metal aporte.- 2-26. Fundamentos de la soldadura por arco eléctrico.- 2-27. El arco de soldadura.- 2-28. Prendido del arco.- 2-29. Longitud del arco.- 2-30. Temperatura del arco.- 2-31. Arco de corriente alterna y continua.- 2-32. Transformador.- 2-33. Transformador-rectificador.- 2-34. Generador.- 2-35. Corriente continua.- 2-36. Polaridad directa.- 2-37. Polaridad inversa.- 2-38. Corriente alterna.- 2-39. Soplo magnético del arco.- 2-40. Formas de corregir el soplo magnético.- 2-41. Soldadura en posición.- 2-42. Factores que influyen en los cambios de temperatura durante la soldadura.- 2-43. Soldadura con electrodo metálico revestido (Fundamentos).- 2-44. Electrodo revestidos especiales.- 2-45. Funciones - del revestimiento.- 2-46. Materiales usados en el revestimiento.- 2-47. Soldadura con electrodo continuo y revestimiento interno.- 2-48. Fundamentos del proceso.- 2-49. Fuente de poder.- 2-50. Sistema de alimentación de alambre.- 2-51. Electrodo continuo con revestimiento interno.- 2-52. Soldadura por arco bajo protección gaseosa-Proceso TIG.- 2-53. Corriente recomendada al soldar con - TIG.- 2-54. Gases de protección y funciones.- 2-55. Electrodo de tungsteno.- 2-56. Soldadura por arco bajo protección gaseosa-proceso MIG y MAG.- 2-57. Ventajas del proceso MIG - MAG.- 2-58. Desventajas del proceso MIG - MAG.- 2-59. Aplicaciones del proceso - MIG -MAG.- 2-60. Fuente de poder.- 2-61. Unidad de alimentación - de alambre.- 2-62. Pistola de soldar.- 2-63. Argón.- 2-64. Dióxido

de carbono.- 2-65. Mezcla de gases.- 2-66. Alambre electrodo.-2-67. Transferencia por spray.- -68. Transferencia globular.- 2-69. Transferencia por corto circuito.- 2-70. Soldadura por arco sumergido.- -71. Ventajas del proceso por arco sumergido.- 2-72. Desventajas del proceso por arco sumergido.- 2-73. Aplicaciones del proceso por arco sumergido.- 2-74. El amperaje en arco sumergido.- -75. Tipo de corriente y polaridad en arco sumergido.- 2-76. Voltaje en arco sumergido.- 2-77. Velocidad de avance en arco sumergido.- 2-78. Longitud del electrodo en la boquilla en arco sumergido.

### 3. INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA DE LA SOLDADURA

87

3-1. Efectos de la temperatura al soldar.- 3-2. Zona de fusión.-3-3. Zona afectada térmicamente.- 3-4. Zona no afectada térmicamente.-3-5. Cambios químicos.- 3-6. Absorción de gases por el metal fundido.- 3-7. Solubilidad del oxígeno.- 3-8. Solubilidad del hidrógeno.-3-9. Transformaciones eutécticas.- 3-10. Formación de la estructura cristalina.- 3-11. Precipitación de compuestos de la soldadura sólida - madre.- 3-12. Precipitación de compuestos en el metal base.- 3-13. Endurecimiento por precipitación.- 3-14. Soldadura de las aleaciones endurecibles por precipitación.- 3-15. Cambios de dimensiones en un proceso de soldadura.- 3-16. Dilatación y contracción libre.-3-17. Dilatación obstaculizada y contracción libre.- 3-18. Dilatación y contracción obstaculizada.- 3-19. Precalentamiento.- 3-20. Post-calentamiento.-3-21. Transformaciones de fase en el acero.- 3-22. Relación entre las temperaturas alcanzadas al soldar con el diagrama Fe-Fe<sub>3</sub>.- 3-23. Diagrama TTT.- 3-24. Cálculo de temperatura de precalentamiento para aceros.

### 4. SOLDABILIDAD DE LOS METALES

129

4-1. Introducción a la soldabilidad de los aceros.- 4-2. Clasificación de los aceros al carbono.- 4-3. Soldabilidad de los aceros al carbono.- 4-4. Aceros aleados.- 4-5. Aceros de baja aleación.-4-6. Solda

bilidad de los aceros de baja aleación.- 4-7. Aceros de alta aleación .- 4-8. Aceros rápidos.- 4-9. Soldabilidad de los aceros rápidos.-4-10. Aceros al manganeso.- 4-11. Aceros al manganeso con 1% a 2%.-4-12. Aceros al manganeso austeníticos.- 4-13. Soldabilidad de los aceros al manganeso austeníticos.- 4-14. Aceros inoxidable.- 4-15. Elementos de aleación de los aceros inoxidable.- 4-16. Clasificación de los aceros inoxidable.- 4-17. Aceros inoxidable martensíticos.- 4-18. Aceros inoxidable ferríticos.- 4-19. Aceros inoxidable austeníticos.- 4-20. Aceros inoxidable endurecibles por precipitación.- 4-21. Grado semi-austeníticos.- 4-22. Grados martensíticos.- 4-23. Grados austeníticos.- 4-24. Soldabilidad de los aceros inoxidable martensíticos.- 4-25. Soldabilidad de los aceros inoxidable ferríticos.- 4-26. Soldabilidad de los aceros inoxidable austeníticos.- 4-27. Tratamiento térmico de disolución de carburos de cromo.- 4-28. Aceros inoxidable de bajo carbono.- 4-29. Aceros estabilizados.- 4-30. Soldabilidad de los aceros de la serie 500.- 4-31. Soldadura de aceros disímiles.-4-32. Efectos de la dilución al soldar con aceros inoxidable.-4-33. Diagrama de SHAEFFLER.- 4-34. Aceros fundidos.- 4-35. Hierro fundido.-4-36. Fundición blanca.- 4-37. Fundición gris.- 4-38. Fundición maleable.- 4-39. Fundición maleable de corazón blanco.- 4-40. Fundición maleable de corazón negro.- 4-41. Fundición maleable perlítica.- 4-42. Fundición de grafito esférico.- 4-43. Fundiciones leadas.-4-44. Influencia de los elementos de aleación.- 4-45. Fundición de alta resistencia a la tracción.- 4-46. Fundiciones resistentes al desgaste.- 4-47. Fundiciones resistentes al calor.- 4-48. Soldabilidad del hierro fundido.- 4-49. Soldadura en frío.- 4-50. Soldadura en caliente.- 4-51. Productos para soldar hierro fundido en el Perú.- 4-52. Introducción a la soldabilidad del cobre.-4-53. Bronces.- 4-54. Latones.-4-55. Soldadura por oxiacetilénico del cobre.- 4-56. Soldadura por sistema TIG del cobre.- 4-57. Soldadura por el sistema MIG del cobre.-4-58. Sol

dadur con electrodos revestidos del cobre.- 4-59.Soldadura oxiac  
 tilénica del bronce.- 4-60. Soldadura con electrodos revestidos  
 del bronce.-4-61. Soldadura con el sistema TIG del bronce.-4-62.Sol  
 d dur con el sistem MIG del bronce.- 4-63. Soldadura oxiacetilé  
 nica d los latones.- 4-64. Soldadura con sistema TIG de los lato  
 nes.- 4-65. Sold dur con electrodos revestidos de los latones.-4-  
 66.Soldadura con sistem MIG de los latones.- 4-67. Introducción a  
 la soldabilid d de aleaciones ligeras.- 4-68. Aluminio.- 4-69. A  
 le ciones de aluminio.- 4-70. El cobre como elemento leante del -  
 luminio.- 4-71. El silicio como el mento aleante del aluminio.-4-  
 7 . El magnesio como elemento aleante del luminio.-4-73.El zinc -  
 como elemento le nte del luminio.- 4-74. El manganeso como ele -  
 mento leante del luminio.- 4-75. Soldabilidad del aluminio y a -  
 leaciones.- 4-76.Soldadura oxiacetilénica del aluminio.-4-77.Solda  
 dura con lectrodo revestido del luminio.- -78.Proceso MIG para -  
 soldar luminio.-4-79.Proceso TIG p r sold r luminio.-4-80.Pro -  
 duc os usos r l recuperación del aluminio y leaciones en el  
 Perú.- 4-81. Introducción a la soldabilidad del magnesio.-4-82.Ele  
 mentos al n es del m gnesio.- 4-83.Sold bilid d d l magn sio y  
 sus leaciones.-4-84.Soldadura oxiacetilénica del magnesio y alea  
 ciones.- 4-85.Proceso TIG para el m gnesio y aleaciones.-4-86.Pro  
 c so MIG para el magnesio y aleaciones.-4-87. Productos para sold r  
 m gnesio y ale ciones en el Perú.-4-88.Introducción a la soldabili  
 dad de l s aleaciones de zinc.-4-89.Soldabilidad de las aleaciones  
 de zinc.-4-90.Productos para soldar aleaciones de zinc en el Perú.  
 -4-91.Introducción a la soldabilidad del níquel y aleaciones.-4-92.  
 Aleaciones de níquel.-4-93. Soldabilidad del níquel y sus aleacio  
 nes.-4-94.Productos para soldar níquel y aleaciones en el Perú.

## 5. RECUPERACIÓN DE LAS PIEZAS FALLADAS POR ROTURA

211

5-1.Rotur dúctil.-5-2.Rotur frágil.-5-3.Tensión de tracción y ro

tur .-5-4.Tensión de compresión y rotura.-5-5.Tensión de cizalladura.-5-6.Tamaño del grano y endurecimiento por rotura.-5-7.Temperatura y rotura.-5-8.Teoría clásica de la transición dúctil frágil.-5-9.Rotura por fatiga.-5-10. Concentración de tensión y fatiga.-5-11. Modo de carga y fatiga.-5-12.Fatiga térmica.-5-13. Modo de hacer mínimo la tendencia a la fatiga.-5-14.Material de aporte adecuado para rotura frágil.-5-15.Material de aporte para rotura por fatiga.-5-16.Preparación de la pieza a soldar.-5-17.-diseño de la unión.-5-18.Unión de secciones delgadas.-5-19.Unión de secciones gruesas.

#### 6. PRUEBAS DE SOLDABILIDAD

229

6-1.Introducción a la soldabilidad operatoria,metalúrgica y global.-6-2.Prueba REEVE.-6-3.Prueba de severidad térmica controlada (CTS).-6-4.Prueba LEHIGH rajadura por contracción.-6-5.Prueba de contracción TEKKEN.-6-6. Prueba HOULDCROFT de susceptibilidad a rajaduras.-6-7.Prueba de anillo de soldabilidad por fusión.-6-8.Pruebas sintéticas de soldabilidad.-6-9. Pruebas a cordones hechos en una placa.-6-10.Pruebas mecánicas.-6-11.Prueba KINZEL.-6-12.Prueba de combado por explosión.

#### 7. DESGASTES Y RECUBRIMIENTOS

250

7-1.Abrasión.-7-2.Impulso.-7-3.Erosión.-7-4.Cavitación.-7-5.Fricción.-7-6.Corrosión.-7-7.Ataque químico directo.-7-8.Ataque electroquímico.-7-9. Calor.-7-10.Aleaciones con partículas de carburo de tungsteno.-7-11.Fundición austenítica con carburo de cromo.-7-12.Fundiciones martensíticas con carburos de cromo.-7-13.Carburos de cromo en matriz no ferrosa.-7-14. Aleaciones martensíticas y perlíticas.-7-15.Aceros al manganeso austeníticos.-7-16.Aceros inoxidables austeníticos como recubrimiento.-7-17.Aceros inoxidables martensíticos como recubrimiento.-7-18.Aceros de herramienta

t s y matrices.-7-19. Aleaciones de cobalto.-7-20. Recubrimiento anti-abrasión.-7-21. Recubrimiento anti-erosión.-7-22. Recubrimiento contra cavitación.-7-23. Recubrimiento anti-fricción.-7-24. Recubrimiento contra la corrosión.-7-25. Recubrimientos contra los efectos térmicos.-7-26. Aleaciones micropulverizadas.-7-27. Polvo de aleación autofundentes.-7-28. Polvos de aleación no fusible.-7-29. Preparación de l pieza recubrimientos.-7-30. Diseño del depósito.-7-31. Modelo de cordones cruzados.-7-32. Modelos cordones en ocos.-7-33. Modelo - cordones corridos.-7-34. Modelo punto rápido.-7-35. Modelo col+ de pes c do.-7-36. Depósitos alternados.-7-37. Control de distorsión.-7-38. Aplicación de l s le ciones en polvo por metalizado.-7-39. Diversos sistemas de metalizado.-7-40. Consideraciones de tamaño de las partículas.-7-41. Consideraciones de form s de las partículas.-7-42. A - pl'cación de ale ciones en polvo por fusión.-7-43. Requisito térmico dur nte l fusión.- 7-44. Factores de la pieza.-7-45. Recubrimiento a soplete cón aporte en polvo.-7-46. Recubrimiento soplete con por te en v rillas.-7-47. Recubrimientos con sistema TIG.-7-48. Recubri - miento con plasma.-7-49. Recubrimientos por arco manual.-7-50. Recu - brimientos semi-automático al arco.-7-51. Recubrimientos con MIG.-7- 52. Recubrimiento por arco sumergido.

## 8. DEFECTOS Y CONTROL DE SOLDADURAS

2 3

8-1. Porosidad inicial.-8-2. Rajadura en caliente.-8-3. R jadura duran t la solidific ción.-8-4. R j dura en l ZAT.-8-5. Rajaduras en frío .-8-6. Mordedur s.-8-7. Chisporroteo.-8-8. Crát res.-8-9. Inclusiones de escori .-8-10. Penetr ción inadecuada y usión incompleta.-8-11. Dilu - ción.-8-12. Cont minación.-8-13. Control de l s soldaduras.-8-14. Ensa - yos de rotura p ra observación interna.-8-15. Ensayos mecánicos.-8- 16. Ensayos de corrosión.-8-17. Análisis metalográfico.-8-18. Constitu ci ón estructural de una soldadur oxi cétilénica.-8-19. Estructura de una soldadura por rco eléctrico.-8-20. Microestructura efecto de

la desgr fitización en la unión por "BRAZING" de la fundición gris	
.-8-21. Carburo de tungsteno en matriz de níquel.-8-22. Carburos	
complejos en una matriz rica en hierro.-8-23. Carburos complejos en	
Matriz de cobalto o níquel.-8-24. Aceros con estructuras templadas.	
-8-25. Aceros que endurecen en trabajo.-8-26. Análisis químico.-8-27.	
Inspección con medios penetrantes.-8-28. Inspección radiográfica	
8-29. Inspección magnética.-8-30. Inspección ultrasónica.	
9. COSTO EN SOLDADURA DE MANTENIMIENTO	328
9-1. Costo de material de aporte y protección.-9-2. Costo de mano de	
obra.-9-3. Costos generales.-9-4. Costos de energía.-9-5. Costos en	
soldadura oxiacetilénica.-9-6. Costos en soldadura eléctrica.	
10. RECUPERACIÓN DE PIEZAS REFINERÍA DE ZINC LA OROYA	343
10-1. Introducción.-10-2. Factor de prolongación de vida (FPV).-10-3.	
Número de veces que se puede reparar una pieza.-10-4. Prolonga-	
ción de la vida útil de la pieza.-10-5. Costo de mantenimiento de	
inventario.-10-6. Identificación de piezas críticas.-10-7. Paletas	
de mezcladores.-10-8. Gusano de bomba FULLER KYNION.-10-9. Eslabón	
Transportador Redler.-10-10. Eje acoplamiento de gusano transporta	
dor.-10-11. Carcaza de bomba Goulds 8" X 6".-10-12. Disco de bomba	
Goulds 8" X 6".-10-13. Cuadro resumen de ahorros anuales en seis apli	
caciones.	
CONCLUSIONES	362
BIBLIOGRAFÍA	363

# CAPITULO 1

## SOLDADURA DE MANTENIMIENTO Vs. RECUPERACION DE PIEZAS EN EL PERU

### INTRODUCCION

#### 1.1. ¿ POR QUÉ FALLAN LAS PIEZAS Y QUÉ HACEMOS CON ELLAS?

Existen dos razones fundamentales por las cuales las piezas o partes de máquinas y equipos pueden ser desechadas en la industria:

- a) La rotura o falla prematura y accidental de partes y piezas que es causada generalmente por problemas de fabricación, diseño o sobre esfuerzo, etc.. Este tipo de falla se presenta con relativa poca frecuencia en la industria y
- b) Los desgastes que destruyen infinitamente un número mayor de piezas que la causa anterior y que, además, afectan a todas las industrias sin importar su actividad o tamaño.

La soldadura de mantenimiento es una tecnología que tiene enormes consecuencias en la industria mundial, pues brinda a las compañías la oportunidad de prolongar, con frecuencia de manera extraordinaria la vida útil de gran cantidad de piezas metálicas, permitiéndole reducir el número de fallas, paradas de equipos, mantención de stocks de repuestos, con el consiguiente ahorro de dinero.

Por muchos años se consideró normal que una pieza sufriera un desgaste durante su operación normal. Entre los Ingenieros de Mantenimiento existió la idea de que la pieza tiene una vida útil dada, y cumplida esta la pieza debe ser reemplazada. Hoy se introduce un nuevo concepto, hay infinidad de piezas sometidas principalmente a desgaste a las cuales es posible prolongarles la vida útil con las consiguientes ventajas.

Debido a la actual situación económica por la que estamos atravesando, en nuestro país, nuestras industrias se ven obligados a bajar costos al mínimo posible, por lo que hoy más que nunca están empeñados en la recuperación de piezas, las cuales muchas veces ya han sido considerados como parte de la chatarra, el caso más marcado es en la industria de la minería.

Las fábricas están, cada vez más empleando técnicas de soldadura de mantenimiento tratando de prolongar la duración de componentes críticos y con ello reducir los costos de las piezas de reemplazo. Como ventaja adicional, también se reduce por este medio la cantidad de valioso tiempo de inactividad que implica el parar la máquina mientras se reparan, así como también se reduce el nivel de energía consumida en el proceso de destruir y volver a fabricar piezas desechadas.

Los adelantos que se han logrado en este campo han sido rápidos en años recientes y han servido para poner la tecnología a la disposición de las compañías, grandes y pequeñas en todas las ramas de la industria.

El desarrollo ampliamente generalizado de aleaciones especiales resistentes al desgaste, con altas cualidades mecánicas, y los métodos de aplicación que existen ahora, significa que la soldadura de mantenimiento se puede emplear para combatir la falla y deterioro de piezas en todas sus modalidades.

## 1.2. VENTAJAS ECONÓMICAS AL PROLONGAR LA VIDA ÚTIL DE LAS PIEZAS

Las ventajas económicas que se obtienen son:

- Menor tiempo inactivo (parada) de producción debido al montaje de piezas nuevas.
- Menor compra de piezas nuevas.
- Menor mano de obra involucrada en mantenimiento.
- Menor costo en mantención de stocks.

Como ejemplo típico se puede mencionar una compañía empacadora de alimentos que reemplazaba ejes de cabezal de costura de máquinas selladoras de botes, debido al desgaste de las chumaceras de retén de aceite. La solución consistió en proteger el área que se desgasta con una aleación micropulverizada, resistente al desgaste por fricción, esto produjo una superficie que aumentó a tres veces su duración de las piezas, es decir un factor de prolongación de vida útil (ver último capítulo) de 300%.

El eje de cabezal de costura es de acero inoxidable, con un prome

dio de vida útil de la pieza de un mes y los datos importantes de operación son los siguientes:

Costo de la pieza nueva	S/. 48,000
Nro.de piezas usadas	5
Costo de armado y desarmado	S/. 24,000
Costo de recubrimiento por pieza	S/. 9,600
Factor de prolongación de vida	300%
Nro.de piezas en stock anteriormente	15
Nro.de piezas en stock actualmente	5
Nro.de veces protegida por pieza	4
Costo de parada anual anterior	S/.1'440,000
Costo actual de parada anual	S/. 480,000

Así pues la comparación de costos anteriores y con la solución actual, muestra lo siguiente:

#### Solución piezas nuevas de repuesto

Costo en piezas nuevas	5 x 48,000	240,000
Costo armado y desarmado	5 x 24,000	120,000
		360,000
Costo total anual (12/1) x 360,000		4'320,000
Costo en inventario 15 x 48,000 x 0.33 *		237,600
Costo de parada		1'440,000
		5'997,600

\* Se considera como costo de inventario un 33% del costo de la pieza; para mayores detalles ver el último capítulo.

## Solución actual protección

Costo piezas nuevas	5 x 48,000	240,000
Costo protección	5 x 4 x 9,600	192,000
Costo armado y desar.	5 x 4 x 24,000	480,000
		<u>912,000</u>
Costo total anual (12/12) x 912,000		912,000
Costo de inventario	5 x 48,000 x 0.33	79,200
Costo tiempo parado		480,000
		<u>1'471,200</u>
Reducción del costo anual S/. 5'997,600 - S/.		1'471,200
		= S/. 4'526,400

## 1.3. RECUPERACIÓN DE PIEZAS MEDIANTE SOLDADURA EN EL PERÚ

En nuestro país la recuperación de piezas se realiza en variados niveles, unas compañías dan mayor importancia que otras a su ser vicio de mantenimiento, lo cual es función no solamente del tama ño de la compañía, sino de la política de mantenimiento que si - guen, por ejemplo en Lima las compañías Pisopak, Cervecería Pil - sen Callao, y en el Sur Sacos Pisco, mandan sus trabajos a talle res externos, y los talleres de estas empresas solo realizan tra bajos pequeños y rutinarios.

Un taller de mantenimiento debe contar con instalaciones adecua - das, en los que además de los equipos para soldadura a gas y por

arco eléctrico con electrodos revestidos (por lo menos), tengan servicios de torno, fresa, sepiño, esmeril, equipo de rectificado, hornos de tratamiento térmico, durómetro, etc.. En el Perú - existen muchas compañías que cuentan si no es con todos, con la mayoría de estas facilidades como por ejemplo: SIMA, Centromín - Perú, Cervecería Cristal, Graña y Montero, Bertolero, Pacocha, - Casa Grande, Paramonga, Cartavio, Cerro Verde, Minas Del Madri - gal, Cuajone, Toquepala, Cementos Lima, etc..

Otro factor preponderante para la soldadura de mantenimiento es el personal capacitado, en el Perú, los principales centros de formación técnica son el Senati y las ESEP, de los cuales egresan técnicos en soldadura. El personal que se encuentra en los diferentes talleres de nuestro país son generalmente soldadores de mucha experiencia, quienes han llegado a ocupar ese puesto - en forma improvisada, sin ninguna formación técnica, este caso es más frecuente en las empresas de provincia como ocurre en la minería y las cooperativas.

Ademas de los equipos muy comunes en nuestro medio para soldar (oxiacetileno y por arco eléctrico con electrodos revestidos manuales), el taller de mantenimiento debe contar en algunos casos con equipos especiales para la recuperación y protección de las piezas sometidas a desgaste, los cuales dependen de las características de la pieza crítica, como metal base, forma y tamaño de la pieza, forma como trabaja; estos equipos pueden ser: proceso MIG, MAG, TIG, procesos de metalizado y fusión mediante aleaciones en polvo, procesos de arco sumergido, con electrodos continuos y fundente interno, etc.. En el Perú hay muchas compa<sup>ñ</sup>as que cuentan con varios de estos equipos (ver tabla 1.1.) ,

dependiendo del tipo de trabajo que realizan.

Para hacer un análisis del sistema actual de recuperación y protección de piezas en el Perú, se divide en cuatro zonas: zona norte, zona sur, zona del centro, y zona de Lima. De éstas cuatro zonas la más desarrollada es la zona de Lima, por la gran concentración de industrias (ver fig. 1.1.) y la diversidad de estas, en Lima la recuperación de piezas se lleva a cabo no solamente en los talleres de mantenimiento bien equipados de las minas fábricas, sino también en talleres especializados que se dedican en forma parcial o completa a la recuperación de piezas como es el caso de Sermivic, Mecaservis, Servicios y Reparaciones Navales (SERNISA), Suministros y Servicios, Matrix, Empresa Industrial Patrocinio Quincho, Turbipor, Marco Peruana, Ferreyros, etc.. Las industrias de Lima cuentan con personal mejor capacitado técnicamente, la mayoría son egresados de centros de especialización, tienen mayor facilidad para asistir a seminarios y cursos organizados por los mismos centros de enseñanza técnica y por las compañías productoras de aleaciones y procesos para la recuperación y protección de piezas con soldadura.

La zona del centro con su principal representante Centromin Peru, es una zona en la cual se hacen muchos trabajos de recuperación y protección de piezas, cuentan con equipos modernos y personal capacitado más que todo en los talleres de La Oroya, en los demás campamentos, el personal es de mucha experiencia, pero sin mayor preparación técnica, los conocimientos que adquieren por medio de cursillos y seminarios son poco frecuentes y generalmente auspiciados por las compañías que suministran productos para soldar, el factor predominante en este momento es

la parte económica, pues debido a éste, muchas veces las recuperaciones se hacen con aleaciones inadecuadas por su bajo costo, las cuales por su bajo rendimiento no justifican la inversión hecha.

La zona norte se caracteriza por sus cooperativas azucareras y la siderúrgica de Chimbote, éstos tienen buenos talleres de mantenimiento, como es el caso de Casa Grande, Paramonga, Cartavio, Tumán, Pucalá, etc.. El problema es que carecen de solvencia económica, por lo que su sistema de mantenimiento en unos casos es limitado y en otros las reparaciones se hacen con aleaciones inadecuadas por su bajo costo, lo cual lógicamente no siempre es lo más económico, esto se debe también a la escasa formación técnica del personal, aún que cuentan con mucha experiencia en el trabajo que realizan. En la zona de sierra, el norte cuenta con minas, como Alianza, Huanzalá, Raura, Uchucchacua y otras minas pequeñas, que por lo alejado de la costa se encuentran muy poco desarrolladas en la tecnología de la soldadura de mantenimiento.

La zona sur, las empresas que resaltan son las correspondientes a la gran minería: Cujone, Toquepala, Cerro Verde, los cuales cuentan con un personal muy capacitado, talleres modernos, lo que les permite hacer recuperaciones muy importantes pertenecientes a la maquinaria pesada que usan, otras minas de menor tamaño como Arcata, Caylloma y Del Madrigal en Arequipa y San Rafael en Puno cuentan con pequeños talleres mal implementados y personal improvisado, a excepción de la mina Del Madrigal que nada tiene que envidiar a uno de los mejores talleres de Lima. Existen otras

pequeñas industrias principalmente en Arequipa, que tienen un sistema de mantenimiento bastante limitado con talleres generalmente pequeños, entre estas podemos citar: Aceros del Sur, Aceros Arequipa, Abrasivos, Fábrica de Leche Gloria, etc..

#### 1.4. PROCESOS USADOS PARA LA RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE PIEZAS EN EL PERÚ

Los procesos mas usados por todas las industrias son la soldadura mediante gases oxi-acetileno, o con oxi-propano, usando como material de aporte una varilla que puede ser de bronce, latón, hierro fundido, aluminio, aleaciones de níquel, aleaciones de plata, aleaciones de zinc, aleaciones de magnesio, etc. y la soldadura eléctrica, en este caso el material de aporte es un electrodo revestido, la composición de este electrodo puede ser cualquier tipo de aleación metálica.

La soldadura mediante gases se usa generalmente para piezas pequeñas y delicadas de cobre, bronce, latón, aluminio, aleaciones de zinc, magnesio, etc., tanto para recuperar piezas que han fallado por rotura o rajadura, así como también por desgaste, en el caso de la soldadura eléctrica es usado para todo tipo de piezas y todo tipo de desgaste.

En algunas industrias se utiliza procesos que depositan aleaciones micropulverizadas, para recuperar piezas como ejes, los cuales sufren desgaste por fricción y abrasión leve, o para la recuperación de matrices, moldes, engranajes, canal de chaveteros, etc.. Otro proceso muy usado en algunas compañías es el proceso

TIG; para la recuperación de piezas de acero inoxidable, cobre y aleaciones, aluminio, que han fallado por rajadura o rotura.

Para recuperar y proteger piezas pesadas como zapatas de oruga de tractor, algunas compañías usan el proceso de arco sumergido, y de electrodos con fundente incorporado, este último es muy usado para la recuperación de piezas de maquinaria pesada en la industria de movimiento de tierra, en la industria de la minería, y la construcción.

Son muy pocas las compañías que tienen los procesos MAG y MIG para la recuperación y protección de piezas, entre estas tenemos - Centromín Perú, Minero Perú y otros. (Ver tabla 1.1.).

#### 1.5. CLASIFICACIÓN DE PRINCIPALES INDUSTRIAS DEL PERÚ

MINERÍA : Alianza S.A., Atacocha S.A., Atalaya S.A., Barmine S.A., Buenaventura S.A., Canarias S.A., Castrovirreyna S.A., Cata Acari, Caylloma S.A., Centromín Perú, Colquiminas S.A., Condestable S.A., Condoroma S.A., Del Madrigal S.A., El Brocal S.A., Gran Bretaña - S.M.R.L., Hierro Perú, Huampar S.A., Huanzalá, Huarón, Los Mantos S.A., Milpo S.A., Millotingo S.A., Minas de Arcata S.A., Minero Perú, Pacocha S.A., Pativilca S.A., Raura S.A., Río Pallanga S.A., San Ignacio de Morococha, San Juan de Lucanas, Santander Inc., Southern Perú, Copper Corp., San Rafael, Turmalina S.A., Volcán S.A..

CANTERAS: Agregados Calcáreos S.A., Arcillas y Caolines S.A., Arenal "El Toro", Arenera Chancay, Arenera La Molina, Arenera Man -

Empresa	Oxiacet.	Electrodos Revestidos	Aleación en polvo	Electrodo Continuo	Arco Su- mergido	MIG	MAG	TIG	Plasma
Sima	si	si	si	no	si	si	si	si	no
Centromin Perú	Si	si	si	si	si	si	si	si	no
R. Pampilla	si	si	no	no	no	no	no	si	no
Pacocha	si	si	si	no	no	no	no	no	no
Cementos Lima	si	si	si	si	no	no	no	no	no
Cristal	si	si	si	no	no	si	no	si	no
Hidrandina	si	si	si	no	no	si	no	si	no
SiderPerú	si	si	si	no	si	si	no	si	no
CasaGrande	si	si	si	no	no	no	no	no	no
Cerro Verde	si	si	si	si	no	no	no	no	no
Papelera Peruana	si	si	si	no	no	no	no	no	no
Trompeteros	si	si	no	no	no	no	no	no	no
Sem Fap	si	si	si	no	no	no	no	si	si
Caylloma	si	si	no	no	no	no	no	no	no
Arcata	si	si	no	no	no	no	no	no	no
Del Madrigal	si	si	si	no	no	no	no	no	no
Santa Luisa	si	si	no	no	no	no	no	no	no
Raura	si	si	no	no	no	no	no	no	no
Alianza	si	si	no	no	no	no	no	no	no

Tabla 1.1. principales compañías del Perú y los equipos de soldeo con que cuentan

chay, Barmine, Boratos del Perú, Cantera Charo, Cerámica del Pacífico, Chancadura Limatambo, Cía. Minera Churín, Empresa de La Sal, Fábrica de Yeso El Aguila, Fábrica de Yeso La Limeña, La Cantera - Buena Esperanza, Lobitos, Luren, Minera Baribent, Silice Industrial Comercial.

CEMENTO: Cemento Andino, Cemento Lima, Cemento Norte Pacasmayo, Cemento Sur.

CERÁMICO: Ladrillera Kar, Refractarios Rivera, Repsa, Rex S.A., Cerámica del Pacífico, Fábrica de Cerámica Santa Lucía, Ladrillera - Huachipa, Ladrillera Olimpo, Ladrillera Lasa, Ladrillera Unidas Mayólica Nacional, Cerámica El Trebol:

SIDERÚRGICA Y FUNDICIÓN: Aceros Arequipa, Aceros Especiales, Fundición Callao, Fundición De Metales Bera del Perú S.A., Fundición Maleable S.A., Fundición Moreno, Fundición Ventanilla, Hidrostal S.A, Herramientas, Industria Peruana del Acero, Metalúrgica Peruana, SiderPerú.

PETRÓLEO: Petróleos del Perú, Occidental Petroleum Company, Refinería La Pampilla, Refinería Conchán, Comp. De Petróleo Shell del Perú

TEXTIL: Fábrica de Tejidos La Unión Ltda.S.A., Industrial Manufacturera Textil, Industrial Textil Piura S.A., Industrias Textiles - Arequipa, Industrias Textiles Granier, Textil Algodonera, Textil - Maranga, Textil Nylon, Textil Perú Pacífico, Textiles Populares , Universal Textil, Textil San Cristobal, Textil Zárate.

VIDRIO: Fábrica de Vidrios La Unión S.A., Industrial Vidrio Neutro S.A., Vidrios Industriales S.A., Vidrios Planos del Perú, Manufacturera de Vidrios del Perú.

PAPEL: La Papelera Peruana, Soc.Paramónja Ltda.S.A., Papelera Chosica, Papelera Trujillo (TRUPAL), Papelera Zárate.

MADERA: Maderas Y Aserraderos Vialttor, Madera San Carlos, Madera - Vulcano, SHUE, RASQUIU, ABAD.

CONSTRUCCIÓN: Cosapi Ingenieros, Graña y Monteros, Vera y Gutierrez, Bertolero, Bruce, Upaca, Calmel, Villasol.

AZÚCAR: Andahuasi, Cartavio, CasaGrande, Cayaltí, Chucarapi, Ingenio, Laredo, Paramonga, Pomalca, Pucalá, San Jacinto, Tumán, Vichaycoto.

#### 1.6. PIEZAS CRÍTICAS DE DESGASTE DE LAS PRINCIPALES INDUSTRIAS DEL PERÚ

##### MINERÍA SUBTERRÁNEA

- |                                |                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1) Gusano Barrenador           | 11) Charola de transportador blindado |
| 2) Eje motriz                  | 12) Engrane motriz                    |
| 3) Brazo cargador              | 13) Engrane blindado del transport.   |
| 4) Disco de corte              | 14) Desatascador de cadena            |
| 5) Caja recojedora             | 15) Tambor cortador                   |
| 6) Eslabón                     | 16) Zapata                            |
| 7) Cucharón                    | 17) Disco del triturador              |
| 8) Puntas de riel              | 18) Cocholla de arado                 |
| 9) Pistón Hidráulico           | 19) Dientes de arado                  |
| 10) Cubierta de soporte motriz | 20) Tolva del transportador           |



Fig. 1.1. Distribución de Industrias en el Perú:

- |                 |             |                            |
|-----------------|-------------|----------------------------|
| 1) Minería      | 6) Madera   | 11) Siderurgia y Fundición |
| 2) Petróleo     | 7) Papel    | 12) Agricultura            |
| 3) Cantera      | 8) Vidrio   | 13) Tratamiento de agua    |
| 4) Construcción | 9) Cerámica | 14) Textil                 |
| 5) Azucarera    | 10) Cemento |                            |

INDUSTRIA DEL PETROLEO:

- |                                     |                                 |
|-------------------------------------|---------------------------------|
| 1) Engrane motriz de mesa rotatoria | 10) Carcaza de compresor        |
| 2) Cabeza de gato                   | 11) Tubo lavador                |
| 3) Válvula tapón                    | 12) Gancho giratorio            |
| 4) Vástago de bomba                 | 13) Engrane motriz de la cadena |
| 5) Bomba de lodos extremo fluído    | 14) Embrague                    |
| 6) Cruceta                          | 15) Barra                       |
| 7) Garrucha de la corona            | 16) Cable de amarre             |
| 8) Eje principal                    | 17) Buje de la mesa rotatoria   |
| 9) Vástago de bomba desarenador     |                                 |

INDUSTRIA DE LA CANTERA I:

- |                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| 1) Tubería de perforación    | 10) Eje                             |
| 2) Engrane motriz de transp. | 11) Codo reductor                   |
| 3) Placa con junta de codo   | 12) Eje de bomba                    |
| 4) Polea motriz              | 13) Cono                            |
| 5) Campana                   | 14) Hoja de sierra de banda         |
| 6) Cabeza del gusano transp. | 15) Zapata                          |
| 7) Diente de cargador front. | 16) Articulación basculante         |
| 8) Pistón                    | 17) Herramienta nivelada de carburo |
| 9) Sierra de alambre         | 18) Herramienta niveladora          |

INDUSTRIA DE LA CANTERA II:

- |   |                        |
|---|------------------------|
| 1) Palas, Dientes y Mordazas                    | 9) Martillos           |
| 2) Cucharones esquinas y filos de las cuchillas | 10) Placas quebradoras |
| 3) Volveos, Base y Filos                        | 11) Rotores            |
| 4) Rodillos de disco                            | 12) Placas de desgaste |
|   | 13) Camisas de ejes    |

- |                         |                            |
|-------------------------|----------------------------|
| 5) Quijadas             | 14) Cucharones de elevador |
| 6) Placas               | 15) Gusano                 |
| 7) Placas alimentadoras | 16) Conos trituradores     |
| 8) Conos                |                            |

INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN:

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1) Cucnilla de Bulldozer            | 10) Esquineros                            |
| 2) Brazos de Bulldozer              | 11) Cuchillas de Cucharón                 |
| 3) Rodillos de Tensión              | 12) Engrane de tracción                   |
| 4) Eslabones de oruga               | 13) Prisioneros de cucharones de arrastre |
| 5) Cuchillas de removedoras         | 14) Cajas de Volteos y Apiladores         |
| 6) Hojas de esquinas de cucharones  | 15) Dientes                               |
| 7) Cilindros y Pistones Hidráulicos | 16) Viga de Equilibrio                    |
| 8) Diente de Retroescavadora        | 17) Ruedas de compactadoras               |
| 9) Brazos Articulantes              |   |

INDUSTRIA AZUCARERA (Caña):

- |                         |                              |
|-------------------------|------------------------------|
| 1) Garfios              | 11) Masa del molino          |
| 2) Brazos niveladores   | 12) Peine raspador           |
| 3) Cuchillas            | 13) Impulsor de bomba        |
| 4) Martillo desfibrador | 14) Eje de bomba             |
| 5) Catarinas            | 15) Manguito de eje de bomba |
| 6) Eslabón de cadena    | 16) Rotor de bomba           |
| 7) Coronas              | 17) Compuerta de válvula     |
| 8) Flange               | 18) Gusano transportador     |
| 9) Muñón eje masa       | 19) Rotor de bomba rota      |
| 10) Cuadro eje masa     | 20) Canasta de centrífuga    |

INDUSTRIA MADERERA:

- |                                       |                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| 1) Cargador de troncos                | 6) Martillo rasados                  |
| 2) Cadena del descortezador           | 7) Diente de la sierra               |
| 3) Rodillo depresor del descortezador | 8) Collarín para orillas             |
| 4) Engrane motriz de la cadena        | 9) Rodillo de la piña y alimentación |
| 5) Cuchilla descortezadora            | 10) Cuchilla rasera lisa             |

INDUSTRIA DEL PAPEL I (Celulosa por el proceso químico)

- |  |   |
|--|---|
| 1) Dientes                                     | 10) Gusano transportador                |
| 2) Rotores de válvula rotoria                  | 11) Rotores de Bomba                    |
| 3) Gusanos transportadores                     | 12) Ejes de bomba                       |
| 4) Navajas de Molino de Viruta                 | 13) Camisas de Protección de Ejes       |
| 5) Paletas de Molino de Viruta                 | 14) Boquillas de vaciado de licor negro |
| 6) Ductos de alimentación del Molino de viruta | 15) Palas Mezcladoras                   |
| 7) Engranajes Motrices                         | 16) Cuchillas Cortadoras de papel       |
| 8) Martillos trituradores                      | 17) Dados de Prensa de Bola             |
| 9) Eslabones de la cadena transportadora       |   |

INDUSTRIA DEL PAPEL (II)

## Proceso Mecánico Termomecánico y Semi-Químico

- |  |  |
|--|--|
| 1) Cuchillas de la cama Trituradora    | 10) Placa de entrada del disco refinador |
| 2) Córceas del triturador Roberts      | 11) Eje del disco refinador              |
| 3) Eje Stone                           | 12) Rotor de válvula giratoria           |
| 4) Placas de desgaste del desmenuzador | 13) Camisa de válvula giratoria          |

- |  |                                 |
|--|---------------------------------|
| 5) Disco de cuchillas del desmenuzador | 14) Camisa de bomba             |
| 6) Dedos rotatorios del desmenuzador   | 15) Tubos de cambiador de calor |
| 7) Gusano alimentador                  | 16) Rotor de bomba              |
| 8) Estator del gusano alimentador      | 17) Eje de bomba                |
| 9) Gusano transportador                | 18) Sierra para pulpa           |

#### INDUSTRIA DEL PAPEL (III):

- |                                 |                                  |
|---------------------------------|----------------------------------|
| 1) Martillos desmenuzadores     | 11) Anillo limpiador centrífugo  |
| 2) Rotores de Hidropulpa        | 12) Guía de alambre              |
| 3) Rotores de bomba             | 13) Rodillos                     |
| 4) Ejes de bomba                | 14) Rodillos de trefilado        |
| 5) Camisas de ejes              | 15) Rodillo de prensa de succión |
| 6) Dientes de Amasador          | 16) Eje de rodillos              |
| 7) Gusano de fibrador           | 17) Rodillo corrugador           |
| 8) Eje de disco de refinado     | 18) Cuchilla de precortado       |
| 9) Rotor de refinado cónico     | 19) Cuchilla de guillotina       |
| 10) Estator de refinador cónico | 20) Mordazas de Grua             |

#### INDUSTRIA DEL VIDRIO:

- |                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1) Moldes de preformado        | 10) Quijadas de trituración  |
| 2) Bases de sujeción de moldes | 11) Agitadores               |
| 3) Boquillas                   | 12) Cortadores alimentadores |
| 4) Anillos de Guía             | 13) Pistón                   |
| 5) Jarras                      | 14) Espigas de sujeción      |

- |                               |                             |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 6) Moldes de acabado          | 15) Rasadoras               |
| 7) Bases de moldes de acabado | 16) Levas                   |
| 8) Cabezas de soplado         | 17) Soportes de boquilla    |
| 9) Dados                      | 18) Placas de transferencia |

#### INDUSTRIA CERÁMICA:

- |  |   |
|--|---|
| 1) Gusano y cuchillas de trituradores de balsas                  | 10) Brazos de Mezclado  |
| 2) Cuchillas de Mezcladores                                      | 11) Gusano de extracción del silo de arcillas                     |
| 3) Martillos y placas de trituración en molino de martillos      | 12) Extrisor de segmentos de gusano                               |
| 4) Base triturador centrífugo                                    | 13) Cuchillas giratorias y tamices para mezcladores humedecedores |
| 5) Anillo de molino centrífugo                                   | 14) Brazos y navajas extractores de humecedores mezclado          |
| 6) Cuchillo exterior de la rueda trituradora desmenuzadora       | 15) Placa perforada   |
| 7) Hoja desmenuzadora y disco en la base de la rueda trituradora | 16) Revestimiento de guía   |
| 8) Triturador con doble rotor con disco y martillos              | 17) Bombas de lodo de molino                                      |
| 9) Cuchilla de mezclador y partes                                | 18) Guía y carcasa perforadas                                     |
|  | 19) Cabezas de gusanos y prensa de corazones                      |
|  | 20) Punzón y matriz de prensa de fricción                         |
|  | 21) Rieles y placa blindada de triturador de percusión            |
|  | 22) Rodillos trituradores.  |

#### INDUSTRIA DEL CEMENTO:

- |                           |                                     |
|---------------------------|-------------------------------------|
| 1) Martillos trituradores | 10) Placas enfriadoras tipo Folax   |
| 2) Barras trituradores    | 11) Martillos de molino tipo Fuller |
| 3) Separadores de ciclón  | 12) Eslabones de cadena             |

- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 4) Rastras                             | 13) Placas de desgaste tolvas       |
| 5) Gusanos alimentadores               | 14) Gusanos para bombas de cemento  |
| 6) Gusanos de lodos                    | 15) Juntas de segmentos desgastados |
| 7) Rosamiento para el horno de cemento | 16) Boquillas                       |
| 8) Ventiladores de inducción           | 17) Martillos del molino tipo Folax |
| 9) Placas enfriadoras Fuller           |                                     |

#### SIDERÚRGIA I (aglomerado)

- |   |                                  |
|---|----------------------------------|
| 1) Cucharones de excavadora             | 14) Tolvas                       |
| 2) Diente de pala                       | 15) Charola de almacenamiento    |
| 3) Triturador de rodillos               | 16) Niveladoras                  |
| 4) Rodillos de molienda                 | 17) Engrane motriz del separador |
| 5) Excavadores                          | 18) Separador vibratorio         |
| 6) Rueva viajera                        | 19) Acarreadores .               |
| 7) Tamiz FS                             | 20) Rodillos del acarreador      |
| 8) Placa de triturador                  | 21) Carro de carga               |
| 9) Triturador giratorio                 | 22) Barra aseguradora            |
| 10) Quebrantadoras                      | 23) Rueda impulsora              |
| 11) Paleta de lavador                   | 24) Cámara de aire               |
| 12) Placa interior del molino de barras | 25) Triturador de terrones       |
| 13) Martillos                           | 26) Ventiladores de extracción   |

#### SIDERÚRGIA (alto horno)

- |                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| 1) Ruedas de furgón de mineral | 10) Válvulas del soplador |
| 2) Interiores de furgón        | 11) Ruedas de vagón       |

- |                             |                               |
|-----------------------------|-------------------------------|
| 3) Toberas                  | 12) Boquillas de convertidor  |
| 4) Inyectores               | 13) Múltiples de convertidor  |
| 5) Campana chica            | 14) Moldes de colada continua |
| 6) Campana grande           | 15) Rodillos de presión       |
| 7) Alimentador rotatorio    | 16) Cuchillas de guillotina   |
| 8) Barreras fundidas        | 17) Soportes de electrodos    |
| 9) Válvulas de decompresión |                               |

SIDERURGIA (Laminación):

- |                                       |                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------|
| 1) Desgarradores                      | 9) Sierras circulares              |
| 2) Guías y manipuladores              | 10) Rodillos de mesa               |
| 3) Juntas universales                 | 11) Rodillos de guías              |
| 4) Junta giratoria                    | 12) Rodillos de tensión            |
| 5) Cuchillas de corte en caliente     | 13) Ruedas encolladoras Edenborn   |
| 6) Rodamientos y molino de laminación | 14) Rodillos de enderezado         |
| 7) Camisas de juntas                  | 15) Placa protectora de embobinado |
| 8) Soportes de los empujadores        | 16) Bombas                         |

AGRICULTURA:

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| 1) Eje de transmisión delantera | 12) Hojas del aspesor de abono          |
| 2) Barrena para cavadora        | 13) Rastras de cultivador               |
| 3) Partes de arado              | 14) Alimentador de fertilizante líquido |
| 4) Cuchilla de arado            | 15) Discos agitadores de distribución   |
| 5) Cultivador                   | 16) Cuchillas de cultivador rotatorio   |
| 6) Disco de corte de trilladora |   |
| 7) Cincel de corte              |   |
| 8) Resorte de rastra            |   |

- 9) Cuerpo del cultivador
- 10) Puntas del cultivador
- 11) Puntas gruesas del cultivador

- 17) Dedos de la barra de corte del cosechador
- 18) Barra de corte del cosechador
- 19) Tambor del cosechador de maiz
- 20) Golpeador del cosechador combinado
- 21) Hoja volante con cuchillas radiales
- 22) Triturador

#### TRATAMIENTOS DE AGUAS:

- 1) Asientos de válvulas
- 2) Pistones de bomba
- 3) Tornillo de arquímedes
- 4) Diente de engrane
- 5) Superficie de rodamiento
- 6) Carcazas y mamparas de válvulas
- 7) Disco de desgaste en bomba de lodo
- 8) Ejes de bomba y motores
- 9) Engrane de alimentador

- 10) Carcaza de bomba
- 11) Desmenuzadores
- 12) Camisa de bomba
- 13) Marcos filtro prensa
- 14) Pistones hidráulicos
- 15) Cambiadores de calor
- 16) Gusano centrífugos
- 17) Grúas viajeras cucharones
- 18) Recubrimiento hornos calcinación.

## CAPITULO 2

### PRINCIPIOS DE SOLDADURA

Uno de los hechos conocidos más antiguos sobre trabajo con acero es que si se le ablanda llevándolo a un estado plástico por medio del calor, es posible unirlo o soldarlo.

Durante el renacimiento, la soldadura al fuego se transformó en práctica habitual. A las partes a unir se les daba la forma apropiada, se les calentaba en fragua para luego someterlas a martillado o prensado y unirlos. En 1540 Vannoccio Biringuccio publicó en Venecia su "Pyrotechnia", con diversas referencias a estos trabajos.

En 1801, Sir Humphrey Davy descubrió que entre dos terminales de un circuito eléctrico, es posible establecer un arco que produce alta luminosidad y que disipa una considerable cantidad de calor. Hasta 1881, el arco eléctrico continuó siendo una curiosidad científica. Corto tiempo después hizo su aparición el arco eléctrico,

instalándose la primera unidad industrial en 1886 para la producción de aluminio.

Guiado por esas experiencias M.V. Bernardos (científico ruso) ideó un sistema en el cual conectó la pieza metálica al polo negativo de un circuito de corriente continua y una barra de carbono al polo positivo. Este proceso, patentado en 1887 tenía la desventaja de introducir carbono en el metal base, haciéndolo duro y quebradizo. Dos años después, Slavianoff anunció un procedimiento en el cual se reemplazaba la barra de carbono por una de metal, la cual una vez establecido el arco, se fundía gradualmente, adicionándolo de esta manera metal de aporte.

Los primeros electrodos metálicos eran desnudos y se obtenían uniones quebradizas por reacción del metal fundido con el aire. Se desarrollaron electrodos con recubrimientos delgados con lo que se logró hacer el proceso de soldadura más rápido pero sin variar las malas características mecánicas.

Una innovación de primordial importancia se atribuye a Oscar Kjellbor, quien produjo, en 1910 en Suecia, el primer electrodo con recubrimiento grueso, posibilitando de ese modo la soldadura con arco "protegido" la rápida introducción de su invento fue retrasado debido al elevado costo de los recubrimientos que consistían de asbesto, alambres delgados de aluminio y otros metales ingeniosos pero caros.

Durante la primera guerra mundial, se empleó por necesidad el proceso de soldadura al arco para aumentar los niveles de producción

usándose básicamente electrodos desnudos y algunos tipos con recubrimiento. Entre la primera y segunda guerra mundial el desarrollo fué más bien lento, observándose un crecimiento notorio solamente después de la crisis mundial del año 1930 y acelerándose al máximo durante la segunda guerra mundial, período en el cual el procedimiento alcanzó definitivamente su desarrollo.

El desarrollo de la soldadura autógena fué, en un principio, mucho más rápido que la soldadura al arco eléctrico. Este se debe a que la soldadura autógena produce de por sí una atmósfera protectora en la zona de fusión. El sistema comenzó su aplicación industrial masiva a partir de 1900, y una vez que Linde había logrado la licuación del aire en 1895, descubrimiento que permitió fabricar oxígeno en gran escala y a precios módicos.

En 1907 se hizo la primera reparación por soldadura autógena en una caldera a vapor. A partir de 1912 se comenzó a soldar extensamente en cañerías, y en 1927 ya se soldaba partes de acero y aluminio en aviones.

En la actualidad existen muchos procesos de soldadura, los cuales podemos clasificarlos en tres grupos generales de acuerdo al comportamiento del metal base, del metal de aporte, al momento de soldar y de la temperatura a la cual se realiza el proceso, éstos son: soldadura en estado sólido, soldadura por fusión, y la soldadura de aleación superficial.

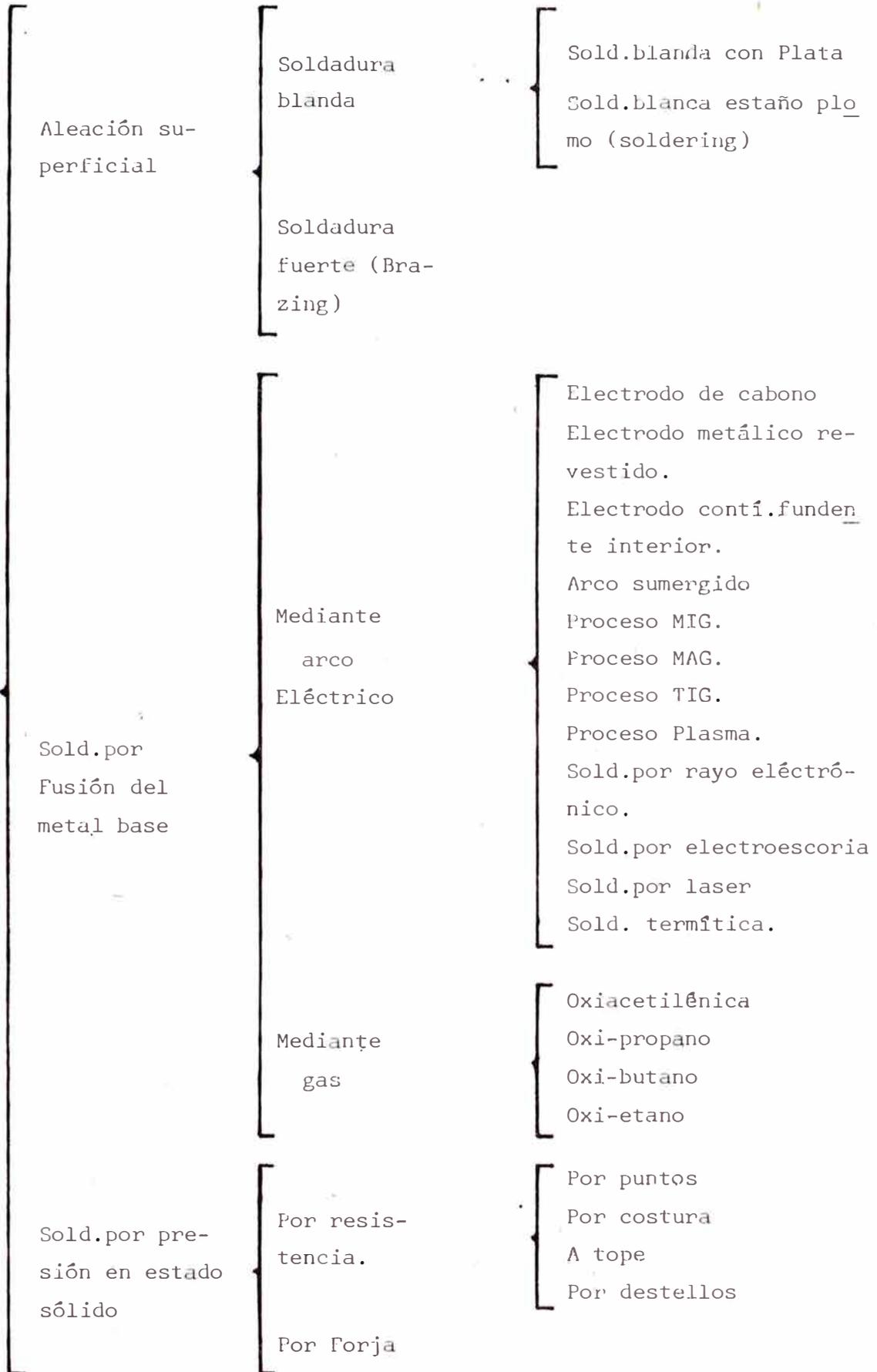
## SOLDADURA EN ESTADO SÓLIDO

La soldadura en estado sólido como su nombre lo indica, se realiza a una temperatura tal que los metales a unir no llegan a fundir

S O L D A D U R A

D E

P R O C E S O S



se y no necesita de metal de aporte, éste proceso es conocido también como soldadura por presión y se subdivide en:

### 2.1. SOLDADURA POR FORJA;

Llamado también soldadura de unión sólida, es el proceso más antiguo que se conoce y consiste en calentar las superficies que han de soldarse a una temperatura muy cercana a la de fusión y luego, aplicar presión en forma de golpes de martillo para causar la unión de las superficies. En este proceso el herrero usa con frecuencia arena como fundente, el cual se combina con el óxido de hierro producido en el calentamiento a una alta temperatura, formando una escoria fusible que es desparramada por los golpes de martillo.

### 2.2. SOLDADURA POR RESISTENCIA ELÉCTRICA:

Utiliza un principio similar a la soldadura por forja (unión sólida), y se usa en las modificaciones siguientes:

- a) Soldadura por puntos.- En el cual las partes que han de unirse se traslapan y sujetan firmemente entre electrodos robustos de metal (fig. 2.1.). Cuando pasa corriente, el calentamiento local de las láminas produce una condición plástica, lo que resulta en la soldadura en un punto. Este método se usa principalmente para la unión de láminas y placas y, particularmente en la producción de juntas provisionales.
- b) Soldadura por costura.- Que en principio es similar a la soldadura por puntos, pero que produce una soldadura continua, empleando ruedas como electrodos (fig. 2.2.).

c) La soldadura a tope.- Se usa para unir tramos de varillas y alambres. Los extremos se prensan (fig. 2.3.) pasando corriente eléctrica por la pieza, de manera que los extremos se calientan a un

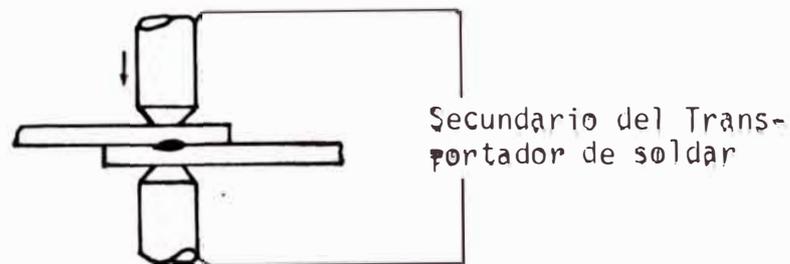


Fig. 2.1. Soldadura por puntos

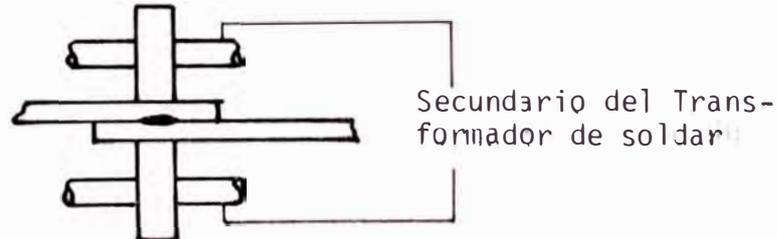


Fig. 2.2. Soldadura por costura

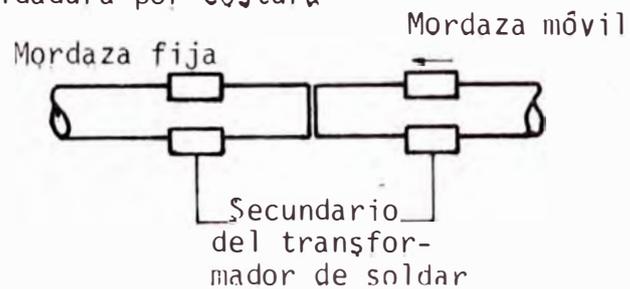


Fig. 2.3. Soldadura a Tope

estado plástico, debido a la mayor resistencia eléctrica que existe en el punto de contacto. La presión es suficiente para formar una soldadura.

- d) Soldadura por destellos.- Es similar a la soldadura a tope, en la que pueden soldarse los extremos de láminas y tubos. La principal diferencia estriba, sin embargo, en que en este caso los extremos se calientan primero haciendo saltar un arco entre ellos. Esto no solamente produce la alta temperatura necesaria, sino que también funde cualquier irregularidad en los extremos, que luego de poner en contacto bajo presión, de manera que se produce una buena soldadura.

## SOLDADURA POR FUSIÓN

Las dos caras o superficie de las piezas a ser unidas o reconstruidas, son calentadas hasta su punto de fusión, haciéndose la soldadura directamente entre las piezas o agregando un material adecuado para llenar el espacio existente entre las mismas o haciendo la reconstrucción de las partes gastadas, mediante disposiciones sucesivas de cordones de soldadura. Estos procesos son:

### 2.3. SOLDADURA POR COMBUSTIÓN DE GASES:

La fuente de calor más familiar es la mezcla de gas oxiacetilénica, también se usan otras mezclas como oxígeno-propano, oxígeno-gas natural (metano), oxígeno-butano, oxígeno-etileno.

### 2.4. SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO:

Actualmente se comprenden en esta denominación, varios procedimien

tos netamente diferentes, según la forma como se establece el arco.

#### 2.5. SOLDADURA POR ELECTRODO DE CARBÓN:

El arco se establece entre un electrodo de carbón y la pieza a soldar, puede o no aplicarse presión, como puede o no usarse metal de aporte.

#### 2.6. SOLDADURA CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO:

El arco se produce entre un electrodo metálico recubierto y la pieza. La protección gaseosa proviene de la descomposición del recubrimiento.

#### 2.7. SOLDADURA CON ELECTRODO CONTÍNUO CON FUNDENTE INTERIOR;

El arco se genera entre el electrodo continuo y la pieza, la protección gaseosa se obtiene al quemarse el fundente interior se puede o no usar protección adicional por medio de un gas externo.

#### 2.8. SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO:

Proceso de soldadura en el cual el arco se forma entre un electrodo desnudo y la pieza. El arco es protegido por una capa de fundente granular.

#### 2.9. PROCESO MIG:

El arco se establece entre un electrodo continuo consumible y la pieza, la protección gaseosa proviene íntegramente de un gas o mezcla de gases inertes externos.

#### 2.10. PROCESO MAG:

Es un proceso muy parecido al anterior, con la diferencia, de que en este caso se utiliza un gas activo como es el  $\text{CO}_2$  para proteger el arco.

#### 2.11. PROCESO TIG:

El arco se establece entre un electrodo de tungsteno no consumible y la pieza, el metal de aporte es aplicado mediante una varilla aparte y la protección del arco es mediante gases inertes.

#### 2.12. PROCESO PLASMA:

El calor es aportado por un arco contenido entre un electrodo y la pieza (arco transferido) o entre el electrodo y la boquilla (arco no transferido), la protección gaseosa proviene del gas caliente e ionizado saliente de la boquilla y que puede o no ser suplementado desde una fuente exterior. El gas protector puede ser inerte o una mezcla de gases, se puede usar o no material de aporte, en el Perú el único equipo PLASMA se encuentra en el taller Motores de la FAP.

Algunos procedimientos relativamente recientes constituyen combinaciones de los métodos que acabamos de describir como son:

#### 2.13. SOLDADURA POR RAYO ELECTRÓNICO:

El calor es originado por un rayo electrónico compuesto básicamente por electrones a alta velocidad que impactan las superficies a unir, no existe en el Perú.

#### 2.14. SOLDADURA POR ELECTROESCORIA:

La unión entre las piezas se produce por escoria en estado de fusión que licúa el metal de aporte y las superficies del metal base. La zona de soldadura en fusión es protegida por esa escoria. La escoria - conductora se mantiene líquida debido a su resistencia al paso de la corriente, no existe en el Perú.

#### 2.15. SOLDADURA POR LASER:

La unión se obtiene por el calor que se genera con aplicación de un rayo luminoso coherente, concentrado que impacta la superficie a unir, no existe en el Perú.

#### 2.16. SOLDADURA TERMÍTICA:

Proceso de soldadura donde la unión se produce al calentar con metal y escoria líquida sobrecalentada por la reacción química entre el óxido metálico y aluminio con o sin aplicación de presión.

#### SOLDADURA DE ALEACION SUPERFICIAL

Proceso en el cual solo llega a fundirse el metal de aporte más no el metal base.

#### 2.17. SOLDADURA FUERTE (BRAZING):

Se realiza a temperaturas superiores a 400°C, pero mucho menor que la temperatura de fusión del metal base. Se utiliza para la unión y recuperación de metales ferrosos, cobre y aleaciones, empleando un material de aporte no ferroso, el cual generalmente es un latón, este proceso se denomina también BRAZING o soldadura amarilla.

Existen aleaciones binarias plata-cobre, cuyas temperaturas de fusión varían entre los 650°C y 800°C. Estas juntas pueden resistir mayores esfuerzos mecánicos y temperaturas de servicio más elevadas que las juntas unidas por soldadura de estaño y plomo.

#### 2.18. SOLDADURA BLANDA (SOLDERING):

Este procedimiento es parecido al anterior, pero con características mecánicas inferiores en la unión y una menor aportación de calor.

La temperatura de fusión del metal de aporte es menor a los 400°C, su composición varía en los porcentajes de estaño y plomo, en algunos casos también tienen de 1% a 3% de antimonio para aumentar la resistencia mecánica.

Como acabamos de ver, existen diferentes procesos de soldadura, de los cuales solo se utiliza unos cuantos para la recuperación y protección de piezas por soldadura, debido a que la mayoría son procesos complicados, de alto costo, aplicables para procesos de gran escala como en la producción de piezas, o que necesitan de personal especializado. En lo que sigue de este capítulo se verá más detenidamente los principales procesos más usados para recuperar y proteger piezas.

#### 2.19. FUNDAMENTOS DEL PROCESO OXIACETILÉNICO:

Como se dijo anteriormente en el proceso de soldadura oxigas se pueden utilizar gases combustibles tales como: acetileno, hidrógeno, butano, propano, etano, metano, gas natural (ver tabla 2.1), los cua-

les producen reacciones exotérmicas con el oxígeno alcanzando temperaturas entre los 2600 y los 3200°C.

De todos estos gases el más utilizado en la industria para los procesos de soldadura, es el acetileno por las ventajas que presenta: una mayor temperatura de combustión 3200°C, una llama flexible fácilmente regulable de acuerdo al metal base.

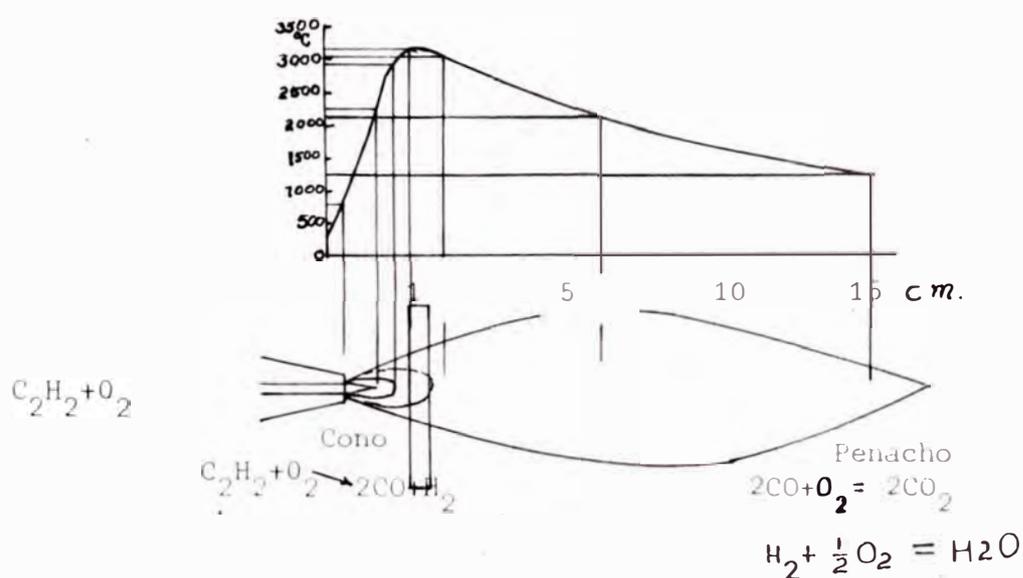


Fig. 2.4. Esquema de una llama oxi-acetilénica.

En el proceso oxiacetilénico el calor es producido por la combustión de los gases en la llama. La fig. 2.4. muestra en forma esquemática la llama oxiacetilénica, el acetileno  $C_2H_2$ , cuando combustiona con el oxígeno se produce la reacción primaria:



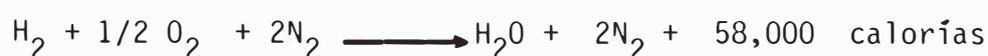
obteniéndose la mayor temperatura en el extremo del cono interno de la llama.

PROPIEDADES DE GASES COMBUSTIBLE PARA SOLDAR

GAS	Fórmula	Volumen específico ft <sup>3</sup> /lb a 60°F	Calor de combust. Hc BTU / FT 1 atm. 60°F NETO	Temperatura teórica de la llama °C	
				Con aire	Con oxígeno
Acetileno	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	14.45	1433	2600	3200
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	188.70	275	2200	3000
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	6.51	3010	2100	2900
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	8.61	2309	2100	2900
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	12.48	1612	2100	2800
Metano	CH <sub>4</sub>	23.64	912	2000	2760
Gas natural	CH <sub>4</sub> +C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	19.20	1000	2000	2500

Tabla 2.1. Propiedades de gases combustibles para soldar

La reacción anterior no es una combustión completa, sin embargo el monóxido de carbono (CO) y el gas hidrógeno (H<sub>2</sub>) combustionan con el aire en la parte externa de la llama, produciéndose las siguientes reacciones:



Al soldar con el proceso oxiacetilénico, la punta del cono interno está cerca a la pieza para aprovechar el máximo efecto de calentamiento y los gases alrededor del área son CO y H<sub>2</sub> los cuales protegen el metal aportado de la oxidación, el oxígeno se combina rápidamente con el CO y el H<sub>2</sub> de la atmósfera protectora para formar CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O que se eliminan.

## TIPOS DE LLAMAS OXIACETILENICAS

En el proceso oxiacetilénico se pueden obtener tres tipos de llama, variando la relación de oxígeno a acetileno al momento de la combustión.

### 2.20. LLAMA NORMAL O NEUTRA (fig. 2.5.a):

Esta llama corresponde a una alimentación de gases en volúmenes iguales de oxígeno y acetileno.

$$\frac{\text{Oxígeno}}{\text{Acetileno}} = 1.04 \text{ a } 1.14$$

Esta llama presenta una temperatura más baja que la producida por la llama neutra. Se utiliza, para la soldadura de aleaciones ligeras. El empleo de esta llama es aconsejable cuando se quiere asegurar una reducción enérgica de óxidos, o cuando se desea mantener un contenido elevado de carbono en el depósito al aplicar recubrimientos protectores.

### 2.22. LLAMA CON EXCESO DE OXÍGENO (Fig. 2.5. c):

Si se aumenta la proporción de oxígeno a una llama neutra, el dardo se acorta, así como el penacho o envoltura exterior se obtiene una llama oxidante:

$$\frac{\text{Oxígeno}}{\text{Acetileno}} = 1.14 \text{ a } 1.70$$

Esta llama puede oxidar o quemar el metal su temperatura, es más elevada que el de las llamas carburante y neutra. Algunos autores como Raymond A. Higgins, recomienda una llama ligeramente oxidante para soldar latones, ya que la masa pastosa de óxido de zinc que se forma en la superficie del metal de soldadura, ayuda a reducir la pérdida de zinc por vaporización.



a) Llama normal o neutra



b) Llama carburante



c) Llama oxidante

Fig. 2.5. Tipos de llama para soldar - por combustión de oxígeno y acetileno

### 2.23. FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA FUERTE (BRAZING):

El proceso de soldadura fuerte es llamado también PROCESO BRAZING, o soldadura de unión sólido-líquido debido a que, el metal de aporte es una aleación cobre zinc (latón), y la temperatura de aplicación es superior a los 400°C, pero siempre inferior al punto de fusión del metal base que se quiere unir o recuperar con soldadura, de tal forma que los bordes achaflanados o no del metal de base permanecen en estado sólido (ver fig. 2.6.)

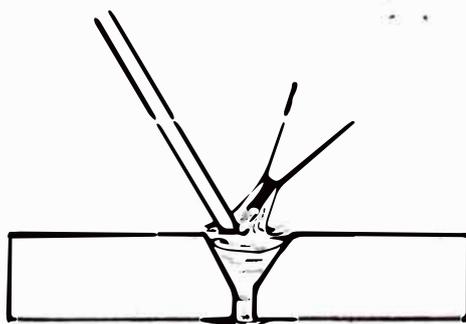


Fig. 2.6 Esquematización de la unión metal base con el metal de aporte, ausencia de fusión del metal base

La fuente de calor mayormente utilizado para la soldadura fuerte es la llama oxiacetilénica, el metal de aporte un latón, cuya composición varía en porcentajes cercanos a Cu = 60%, Zn = 40%, y su punto de fusión próximo a los 800°C. Este latón además contiene pequeños porcentajes de silicio.

Las características mecánicas de la unión son relativamente elevadas, llegando en algunos casos a ser superior a los del metal base.

Resistencia a la tracción	$R = 40 \text{ a } 42 \text{ Kg/mm}^2$
Límite elástico	$E = 24 \text{ a } 26 \text{ Kg/mm}^2$

Alargamiento	A = 20 a 21%
Dureza Brinell	Hb = 100 - 115

Los productos para soldadura fuerte se encuentran en el mercado en varillas de diferentes diámetros, estas varillas vienen con fundente (decapante) incorporado o aparte en forma de polvo.

El fundente decapante que se emplea es a base de borax y ácido bórico, cuya composición varía con la naturaleza del metal base.

La soldadura fuerte se usa tanto para la fabricación de piezas como para la recuperación y protección de piezas mediante soldadura, sus aplicaciones son tanto en aleaciones ferrosas como para el cobre, níquel y sus aleaciones.

En la actualidad se han desarrollado nuevas aleaciones a base de - cobre con otros elementos aleantes además del zinc, de los cuales el principal es la plata (ver tabla 2.2.).

La soldadura fuerte es muy utilizada por que ofrece las siguientes ventajas:

- a. facilita la unión de aceros carburados y moldeados difíciles de soldar por fusión directa.
- b. facilita la unión de chapas galvanizadas o estañadas.
- c. permite soldar aceros con alto contenido de azufre y fósforo.
- d. las deformaciones que se producen son mínimas, evitando la formación de tensiones internas en las uniones.
- e. facilita la unión de chapas de diferente espesor.
- f. permite la fusión de metales disímiles como son: aceros al carbono, aceros inoxidables, cobre y aleaciones.

La soldadura fuerte puede presentar en algunos casos los siguientes inconvenientes:

a) Baja resistencia mecánica en la unión.

Composición nominal %				Líquidus °C	Sólidos °C	P. específico gr/cm <sup>3</sup>
Ag	Cu	Zn	Otros			
45	15	16	24 Cd	620	605	9.42
50	15.5	16.5	18 Cd	635	625	9.45
35	26	21	18 Cd	700	605	9.18
5	89		6 P	705	640	8.14
15	80		5 P	705	640	8.44
7	85		8 Sn	985	665	9.20
28.5	32.5	34.2	5 Mn	750	705	8.60
40	30	28	2 Ni	780	660	9.04
40	30	25	5 Ni	860	660	8.98
49	16	23	7.5Mn 4.5Ni	700	680	8.88
57.5	32.5		7Sn 3Mn	730	605	9.82
63	28.5		6Sn 2.5Ni	800	690	9.85
71.7	28		0.3 Li	760	760	9.67
			82Au 18Ni	950	950	15.82

Tabla 2.2. Algunas aleaciones usadas como soldadura fuerte (Brazing)

b) Tendencia a facilitar la corrosión electroquímica, debido a la gran diferencia de las fuerzas electromotrices.

Hierro	0.00365 V
Latón	0.00018 V

c. En algunos casos la diferencia de color entre el metal base y el metal de aporte (amarillo) puede ser un gran inconveniente.

El principio por el cual el metal de relleno fluye a través de la unión para desarrollar la liga es por acción capilar, para soldar con brazing, el calor se aplica en la vecindad de la unión como indica la figura 2.7. a, luego se pega la punta de la varilla a la pieza caliente, esta se funde instantáneamente por el calor del metal base y fluye por capilaridad a través de toda la unión. Fig. 2.7b

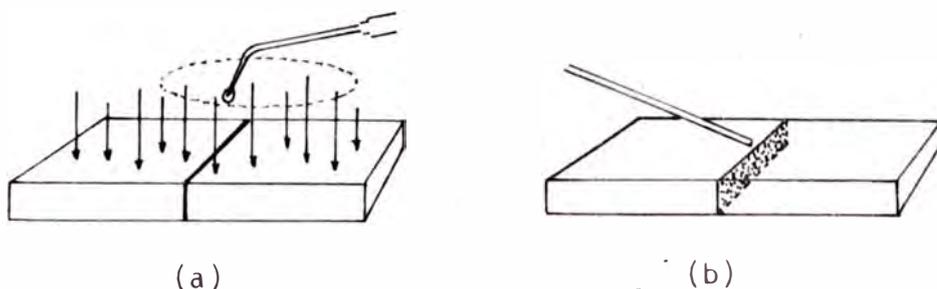


Fig. 2.7. mecanismo de aplicación de la soldadura brazing con aleaciones de alta fluidez.

#### 2.24. CONTACTO SÓLIDO LÍQUIDO.MOJADO:

La superficie libre de un líquido cesa de ser horizontal en las cercanías de los puntos de contacto entre el líquido en reposo y las paredes del recipiente (ver fig. 2.8.)

En la soldadura fuerte el mojado no va a depender solamente de la

composición química de la aleación, sino también del estado de la superficie y de la temperatura del metal sólido en la que va a depositarse el metal fundido.

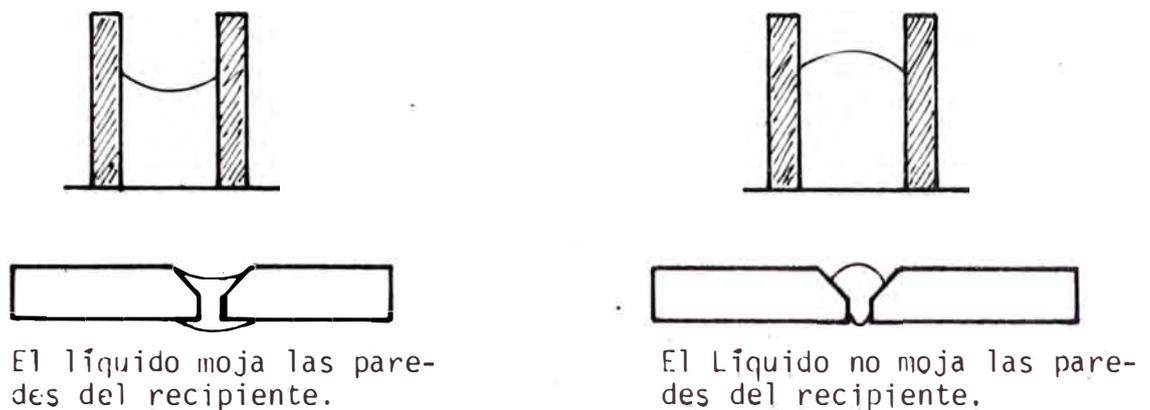


Fig. 2.8. Esquema del mojado de las superficies por un líquido.

En algunos casos se ha podido establecer empíricamente una relación entre la temperatura de mojado y la composición química del metal base. Así para las fundiciones grises se sabe que la temperatura de mojado depende esencialmente de los contenidos de silicio y manganeso de la fundición. La presencia de silicio tiende a aumentar la temperatura de mojado  $t_m$ , el manganeso, por el contrario, tiende a bajar en la misma proporción, con este fin se puede usar la siguiente relación.

$$t_m = 730^{\circ}\text{C} + (28 \times \text{Si}\%) - (25 \times \text{Mn}\%)^{\circ}\text{C}$$

### 2.25. LIGA METAL DE BASE - METAL DE APORTE;

En la soldadura fuerte la liga entre el metal de base y el metal de aporte que generalmente es un latón puede desarrollarse de dos maneras, mediante una interpenetración del metal de aporte por los límites de grano del metal de base, como sucede en el acero y el hierro fundido o mediante una cohesión físico químico, es decir mediante la formación de aleaciones intermedias entre algunos elementos constituyentes del metal de base y elementos del metal de aporte, es el caso de los elementos que pueden dar, con los componentes de los latones, soluciones sólidas diluídas como el cobre, níquel, aluminio, etc. (ver figura 8.12)

### 2.26. FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO;

La soldadura por arco eléctrico es un proceso de soldadura por fusión, que puede usar o no material de aporte, desarrollando una liga metalúrgica después de la soldificación y enfriamiento de la zona fundida, las características de resistencias mecánicas, o a los fenómenos de desgaste que se alcanzan son iguales o superiores a las resistencias de las piezas iniciales, esto es una ventaja que lo diferencia de los procesos de soldadura blanda y soldadura brazing.

### 2.27. EL ARCO DE SOLDADURA;

El arco de soldadura representa una descarga eléctrica potente y prolongada producida en un espacio gaseoso entre el electrodo y la pieza a soldar (o entre dos electrodos), acompañada de un desprendimiento considerable de calor y radiación luminosa. Para que surja una descarga eléctrica, el espacio de gas entre el electrodo y la pieza que se suelda, debe estar ionizado. Como resultado de la ioni

zación, en el gas aparecen portadores de carga libres y se hace electroconductor. (Ver fig. 2.9). Los electrones son sometidos por el cátodo y fluye por medio de los iones negativos del gas ionizado hacia el ánodo positivo. Los iones positivos fluyen en dirección opuesta.

El calor en el cátodo es generado mayormente por los iones positivos golpeando la superficie del cátodo. El calor en el ánodo es generado por los electrones, estos han sido acelerados por el voltaje del arco y entregan su energía como calor cuando golpean el ánodo.

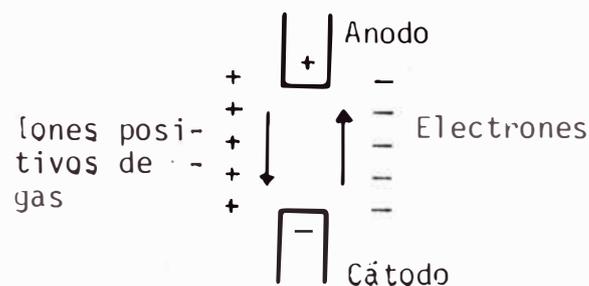


Fig. 2.9. Esquematización del arco formado entre electrodos: ánodo y cátodo.

La distribución del calor en el arco puede ser variado, cambiando la longitud del arco, así como cambiando los gases presentes en el arco, por ejemplo adicionando sales de potasio al revestimiento del electrodo, se reduce el voltaje del arco ya que se incrementa la ionización.

## 2.28. PRENDIDO DEL ARCO:

Al tocar con el electrodo la pieza que se suelda, dentro del circuito de soldadura se produce corto circuito. Como el electrodo y la pieza no tiene una superficie absolutamente plana, el contacto entre ambos se produce por las salientes. A consecuencia de la alta densidad de corriente, en estos puntos se desprende gran cantidad de calor, fundiéndose la punta del electrodo y depositándose una capa final de metal líquido. La posterior separación del electrodo contribuye a la formación de un cuello de metal líquido. La densidad de corriente y la temperatura aumentan aún más, el cuello se rompe por el peso de la gota, y los gases se ionizan formándose el arco de soldadura.

#### 2.29. LONGITUD DEL ARCO:

La longitud del arco varía con el diámetro del electrodo, y la composición del revestimiento. La longitud del arco controla el voltaje, afecta directamente la velocidad de avance y la eficiencia del proceso de soldadura. Los arcos cortos permiten incrementar el amperaje, el cual incrementa la velocidad de deposición y eficiencia del proceso, por otra parte se incrementa la susceptibilidad al soplo magnético del arco y la porosidad debido a la pérdida de protección.

Al soldar con corriente continua se debe usar el arco más corto posible para minimizar el soplo magnético y la contaminación por el aire.

#### 2.30. TEMPERATURA DEL ARCO:

La temperatura en la zona catódica alcanza 3200°C y en la anódica 3400°C. La diferencia de temperaturas es debido a que el cátodo lanza más partículas cargadas, que bombardean fuertemente el ánodo, co

mo resultado de lo cual en este se produce gran cantidad de calor. En el chorro del arco la temperatura oscila entre 5000 y 8000°C.

### 2.31. ARCO DE CORRIENTES ALTERNA Y CONTÍNUA:

El arco de soldadura puede ser alimentado con corriente continua y alterna. Una y otro variante tiene sus ventajas y defectos.

La estabilidad de combustión de un arco de corriente alterna se puede aumentar, aumentando la frecuencia mediante generadores y osciladores especiales, o añadiendo elementos como potasio, sodio y calcio en el revestimiento de los electrodos.

El arco de corriente continua arde con mayor estabilidad, no obstante tiene un defecto considerable que es el soplo magnético del arco, esto dificulta la soldadura y puede, incluso, conducir a ruptura del arco. Cuando se suelda con corriente alterna, el fenómeno del soplo del arco es mucho más débil. Las fuentes de corriente alterna tienen la ventaja de ser más baratas y más simples.

## FUENTES DE ALIMENTACION DEL ARCO DE SOLDADURA

En la soldadura eléctrica se utilizan mayormente tres tipos de fuentes de poder:

### 2.32. TRANSFORMADOR:

Es la máquina más barata para soldar y tiene serias limitaciones para realizar trabajos de buena calidad, particularmente en las alea -

ciones especiales. Es imposible soldar aluminio con corriente alterna.

El transformador recibe corriente alterna de alto amperaje y alto voltaje y lo transforma a corriente alterna de alto amperaje y bajo voltaje.

### 2.33. TRANSFORMADOR - RECTIFICADOR:

Este tipo de máquinas reciben corriente alterna de alto amperaje y voltaje, mediante un transformador entrega una corriente a un voltaje apropiado para soldar, luego mediante un rectificador, rectifica la corriente alterna entregada por el transformador por medio de placas y diodos para obtener en la salida corriente continua con polaridad permanente, la polaridad puede ser cambiada de acuerdo al tipo de trabajo a realizar.

### 2.34. GENERADOR:

Esta máquina es accionada por un motor de explosión a petróleo o gasolina, generando corriente ya sea alterna o continua.

Los generadores son empleados en lugares donde no hay facilidades para conectar a una red eléctrica y son empleados para trabajar de campo.

### 2.35. CORRIENTE CONTINUA:

Se denomina corriente continua cuando este fluye en una sola dirección continuamente, sin importar si la corriente es constante o fluctuante. Las máquinas de soldar a corriente permite un arco sua-

ve y estable debido al flujo constante de la corriente, se puede soldar a bajos amperajes con mayor facilidad que con corriente alterna para electrodos de diámetros pequeños, la corriente continua permite soldar con cualquier tipo de electrodo, presenta mayor facilidad para prender el arco especialmente con electrodos de diámetros pequeños, se puede mantener mas corto que con corriente alterna, la corriente continua permite soldar facilmente en posición y es preferible para soldar planchas delgadas por la estabilidad y fácil prendido del arco.

La corriente continua es altamente susceptible del soplo magnético particularmente cuando se está soldando en los extremos, esquinas o estructuras pequeñas y complejas.

## POLARIDAD

Al soldar con corriente continua es muy importante tener en cuenta el flujo de la corriente, es decir la polaridad como se puede apreciar en la fig. 2.10 cuando el electrodo es negativo es POLARIDAD DIRECTA y cuando el electrodo es positivo es POLARIDAD INVERSA.

Para elegir la polaridad al momento de soldar se debe tener en cuenta el tipo del electrodo, el metal base y la penetración necesaria. Algunos electrodos son especialmente hechos para una mayor penetración y trabajan mejor con polaridad inversa, otros electrodos son diseñados para pequeña penetración y trabajan con polaridad directa.

### 2.36. POLARIDAD DIRECTA:

Puede ser usado para soldar todo tipo de aceros excepto cuando se es-

tá usando electrodos de bajo hidrógeno, no se puede usar para la mayoría de los metales no ferrosos, la velocidad de fusión y deposición son mayores que con polaridad inversa, los cordones son más angostos y de menor penetración, ver fig.2-11 , la polaridad directa es preferible para soldar placas delgadas por su menor penetración, minimiza la fusión en secciones delgadas, se prefiere para soldar uniones con excesivo espacio entre los bordes o raíces.

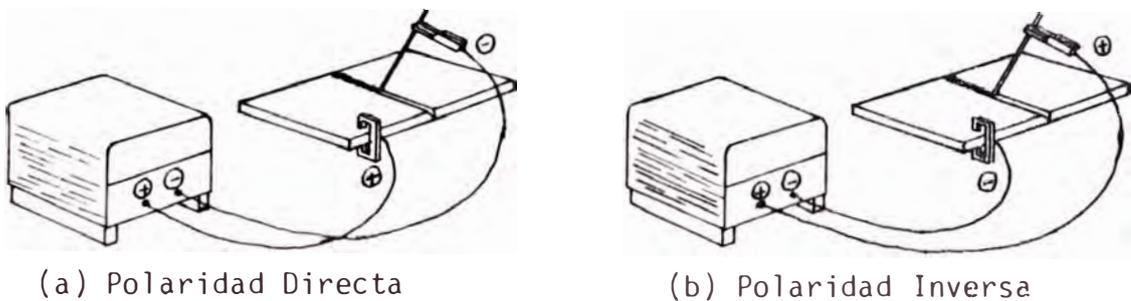


Fig. 2.10. Flujo de la corriente para polaridad directa (electrodo negativo) y polaridad inversa (electrodo positivo)

### 2.37. POLARIDAD INVERSA:

Produce la máxima penetración para unas condiciones dadas de soldadura. Aunque la penetración depende del amperaje usado principalmente, los electrodos con polaridad inversa tiene mayor penetración que con polaridad directa o corriente alterna. Esto hace que la polaridad inversa sea mejor para uniones de raiz y para soldadura en posición.

### 2.38. CORRIENTE ALTERNA:

La corriente alterna combina polaridad inversa y directa, alternativamente en ciclos regulares. En cada ciclo la corriente comienza en cero y se incrementa hasta un valor máximo en una dirección, decae a cero, se incrementa a su máximo valor en la dirección opuesta y decae a cero nuevamente, los ciclos se repite sucesivamente mientras se continúa soldando. Para una corriente de 60 ciclos por segundo, la dirección del flujo y por lo tanto la polaridad cambia 120 veces cada segundo, estos cambios producen un arco pulsante muy rápido el cual es algo fastidioso y menos estable al momento de soldar.

La velocidad de deposición y la profundidad de penetración es intermedio entre los obtenidos con las polaridades directa e inversa al mismo amperaje (ver fig. 2.11.).



Fig. 2.11. Profundidad relativa de la penetración para diferentes características de corriente.

El soplo magnético del arco es raramente un problema en la corriente alterna, ya que la naturaleza reversible de la corriente alterna permite evitar el efecto del campo magnético neutralizándolo.

### 2.39. SOPLO MAGNÉTICO DEL ARCO:

Es un fenómeno que se presenta al momento de soldar, debido a que cuando la corriente pasa a través del electrodo, la pieza de trabajo y el cable

a tierra genera un campo magnético en forma de círculos en planos perpendiculares al camino de la corriente.

Cuando estos campos magnéticos se desbalancean soplan el arco hacia delante (en la dirección del movimiento del electrodo), hacia atrás (de la dirección del movimiento del electrodo), o a un costado del movimiento del electrodo; a ésta desviación del arco se denomina Sopló Magnético.

El soplo magnético del arco se presenta comúnmente cuando se está soldando con corriente continua, debido a que el sentido de la corriente es constante; en el caso de estar soldando corriente alterna este fenómeno ocurre con menor frecuencia ya que el cambio continuo del sentido de la corriente anula el campo magnético tan pronto como se forma.

El soplo hacia delante se presenta cuando se suelda alejándose de la conexión del cable a tierra en el inicio de una unión, el soplo hacia atrás se origina cuando se suelda hacia la conexión del cable a tierra, hacia el final de una unión, o hacia una esquina. Ver figs. 2.12 y 2.13).

A veces la desviación del arco se produce hacia un costado de la dirección del movimiento del electrodo, esto ocurre cuando el electrodo tiene un revestimiento magnético y por defecto de fabricación este revestimiento está más cargado a un lado del electrodo que en el lado opuesto.

La corriente que pasa a través de la pieza que se está soldando, hace que la pieza actúe como un conductor rodeado de un campo magnético perpendicular al camino de la corriente, este campo se presenta entre la punta del electrodo y el punto donde hace contacto el cable a tierra. Este fenómeno es más probable que ocurra en planchas angostas.

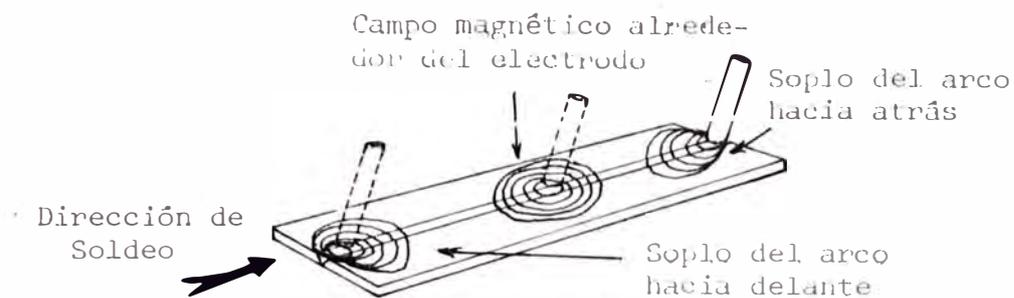


Fig. 2.12 Campo magnético que ocasiona soplo del arco hacia delante y hacia atrás alrededor del electrodo.

#### 2.40. FORMAS DE CORREGIR EL SOPLO MAGNÉTICO:

Cuando se presenta un soplo magnético severo se puede corregir con las siguientes reglas:

- 1.- Usar corriente alterna
- 2.- Reducir el amperaje y mantener un arco corto de una longitud mínima.
- 3.- Soldar hacia un punto de soldadura grande o hacia un cordón de soldadura existente.
- 4.- En cordones largos usar la técnica del paso atrás.
- 5.- Colocar la conexión a tierra (a) tan lejos como sea posible desde el cordón, (b) en el comienzo de la soldadura y soldando hacia un punto grande de soldadura, o (c) al final del cordón.
- 6.- Enrollar el cable de tierra alrededor de la pieza de tal forma que la corriente fluya en una dirección tal que el campo magnético formando, neutralice al campo magnético causante del soplo del arco.

#### 2.41. SOLDADURA EN POSICIÓN:

Las posiciones para soldar son: en plano, en horizontal, en vertical

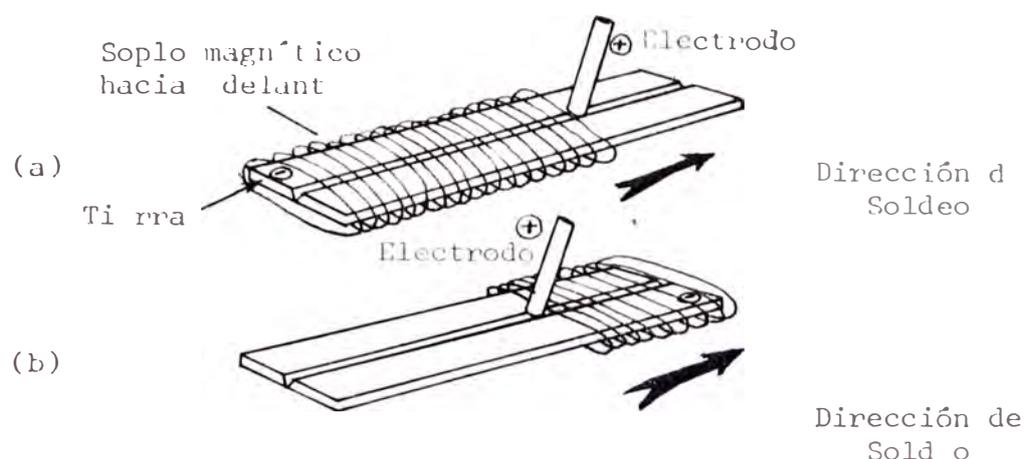


Fig. 2.13. Campo magnético alrededor de la pieza (a) soplo del arco hacia delante (b) soplo del arco hacia atrás.

y sobre cabeza, a estas dos últimas se les denomina también soldadura en posición.

La soldadura en plano es la más fácil de realizar por que la fuerza de la gravedad ayuda considerablemente, y se obtiene una máxima velocidad de deposición. La posición en horizontal es el que le sigue en facilidad de ejecutarse, la fuerza de gravedad también ayuda en este caso, mientras que la soldadura en posición (vertical y sobre cabeza) requieren técnicas de manipulación y electrodos con mayor velocidad de formación y solidificación de escoria para contrarrestar el efecto de la gravedad (ver. fig. 2.14).

#### 2.42. FACTORES QUE INFLUYEN EN LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA DURANTE LA SOLDADURA

La temperatura que influye en el comportamiento del metal de fusión y la zona afectada termicamente, depende de muchas variables de las cuales las más importantes son:

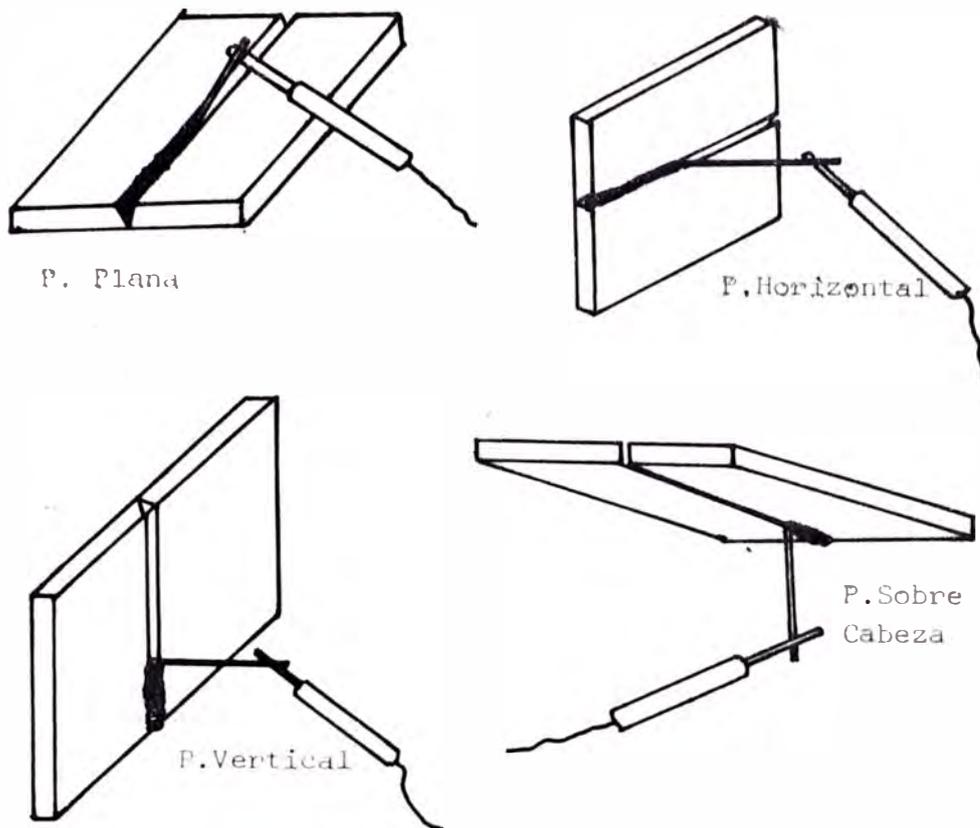


Fig. 2.14 Posiciones adoptadas al momento de soldar.

Las condiciones de soldadura, todo soldador sabe que el amperaje, el diámetro del electrodo, y ciertas manipulaciones físicas, influyen en la cantidad de calor que ingresa a la pieza en un proceso de soldadura por arco manual. El calor entregado ( $Q$ ) a la pieza durante la soldadura por cada pulgada de depósito, puede ser calculado mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{E \times I \times 60}{S}$$

Donde:

$Q$  = Calor aportado, en joule/pulg.

$E$  = Tensión en el arco en voltios.

$I$  = Intensidad del arco, en amperios.

$S$  = Velocidad de avance, en pulg./minuto.

La intensidad del secundario se puede leer en la fuente de poder, pero no la tensión. Para este último se tendría que poner un voltímetro, pero hay una ecuación que da el voltaje usado en función de la intensidad:

$$\text{Soldadura manual } E = 20 + \frac{I}{25}$$

La velocidad de avance, para un proceso de soldadura con electrodos - revestidos manuales, se puede tomar entre 18 a 22 cm/min. en promedio 20 cm/min.

El cálculo del calor aportado nos permite saber el calor necesario para hacer el cordón u operación de soldadura, nos permite saber como varía la energía térmica variando el voltaje o la velocidad de avance, permite una comparación directa del calor usado, para una comparación entre varios procesos de soldadura por ejemplo: para soldar una plancha de aluminio de 1/4", las condiciones recomendadas para un proceso TIG son aproximadamente 275 amps., 12 volts. y 9 pulg. por minuto, con estos datos el calor entregado es de 22,000 joule por pulg., La misma soldadura mediante un proceso MIG se puede hacer con 200 amps., 26 voltios y 30 pulgs. por minuto es decir 10,400 joules por pulgada de calor entregado. Esta comparación indica las intensidades de calor relativa a cada proceso, de otra forma la eficiencia térmica de ambos procesos. El calor entregado es un indicador útil de las condiciones de calentamiento y enfriamiento durante la soldadura.

La tabla 2.3 resume algunas variables adicionales y su relación al calor entregado, estos cambios afectan la facilidad de deposición del metal y el tratamiento térmico que sufre la soldadura.

Los cambios en el calor entregado y otros factores adicionales afectan la dimensión y forma de los cordones así como las condiciones de calentamiento y enfriamiento en sus proximidades. Algunos de estos factores adicionales pueden ser el precalentamiento, las dimensiones, la forma de la pieza y la naturaleza del metal base mismo.

Factor	Efectos en Q	Debido a que:
Mayor diámetro	Incrementa	Necesita mayor amperaje para depositar.
Movimiento	Incrementa	Disminuye la velocidad de avance efectivo.
Menor longitud del arco	Disminuye	Baja el voltaje de operación.
Argón a helio	Incrementa	Incrementa el volt. de operación.
Mayor velocidad de alimentación de alambre MIG, MAG	Incrementa	Mayor amperaje para soldar.
Soldadura en posición	Disminuye	Menor baño metálico, necesita disminuir el amperaje para incrementar la velocidad de avance.

Tabla 2.3 Variables adicionales y su relación al calor entregado (Q).

#### 2.43. SOLDADURA CON ELECTRODO METÁLICO REVESTIDO:

La soldadura con electrodo metálico revestido es un proceso de soldadura por arco en el cual el calor es producto por una descarga eléctrica

ca a través de un gas ionizado, entre una varilla metálica de aporte llamada electrodo y la pieza a soldar, (ver fig. 2.15)

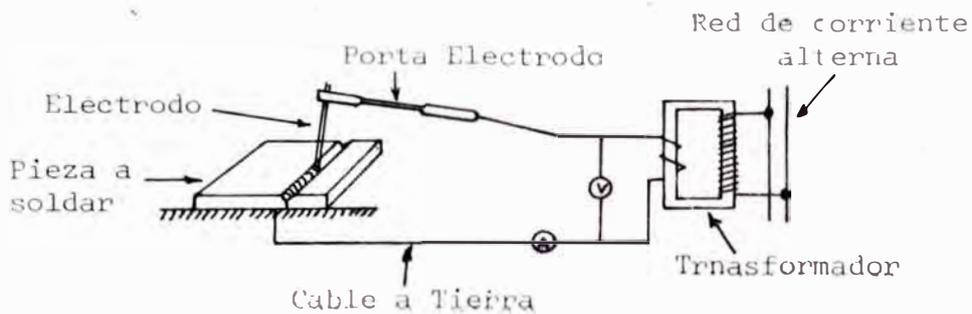


Fig. 2.15. Esquema del principio de soldadura eléctrica con electrodo metálico revestido.

El efecto de calentamiento es mucho más localizado e intenso, evitando pérdidas de calor a los alrededores como ocurre en la soldadura oxigás.

#### 2.44. ELECTRODOS REVESTIDOS ESPECIALES:

Los aceros de gran resistencia mecánica y los de alta resistencia a los desgastes necesarios para la recuperación y protección de piezas con soldadura, requieren de aleaciones especiales; como altos porcentajes de manganeso hasta 14%, o adiciones de cromo, tungsteno, titanio, cobalto, etc.; en el caso de los llamados recubrimientos duros. A este grupo pertenecen las aleaciones duras o metales duros que poseen poco o nada de hierro y que, por esta razón son especialmente tratados al hablar de la soldadura de aceros especiales.

Los electrodos para aceros inoxidables forman otro grupo especial pa

ra soldar aceros inoxidable austeníticos, o aceros resistentes a temperaturas altas, que están generalmente con cromo o níquel, Estas varillas contienen de 0.06 - 0.15% de carbono, 10 a 25% de cromo, 8 a - 20% de níquel, 0 - 2.5% de molibdeno, 0.15 a 0.60% de titanio; 0.8 a 0.15% de silicio y de 0.5 a 0.18% de manganeso.

Para soldar hierro fundido se emplean electrodos de acero, electrodos de metal monel, o varillas de cromo níquel. Para soldadura en caliente (véase soldabilidad de hierro fundido) se usan aleaciones con contenido de 3 a 3.6% de C; 3 a 3.8% de Si; 0.5 a 0.8% de Mn; 0 a 0.8 % de fósforo; y de 0 a 0.8% de S. La elevada proporción de Si y níquel favorecen la precipitación grafitica en la soldadura y la conserva blanda.

Para soldar metales no ferrosos, se usan metales Monel, níquel, cobre, bronce, latón, aluminio y sus aleaciones. El metal monel con 67% Ni ; 28% Cu; y 5% Mn y Fe, se emplea como aleación natural, tanto para soldar el propio metal monel como para soldadura en frío de hierro fundido. Los electrodos de cobre contienen de 1.2 a 1.8% de Mn y además 2.5% de Si.

#### 2.45. FUNCIONES DE REVESTIMIENTO:

- 1.- Genera una campana protectora del baño o metal líquido, por medio de gases que se forman por la combustión y descomposición del revestimiento, esto evita la porosidad y ductibilidad pobre del metal depositado.
- 2.- Estabiliza el arco mediante la ionización de elementos como el sodio y potasio por el calor del arco, manteniendo la distancia adecuada entre el electrodo y la pieza de trabajo.

- 3.- Aporta ingredientes formadores de escoria, que producen una capa fluída sobre la soldadura al enfriarse ésta, el cual protege el baño durante la soldificación y enfriamiento del metal depositado.
- 4.- Contiene elementos que limpian y desoxidan el baño, pasando las impurezas a formar parte de la escoria.
- 5.- Introduce elementos de aleación que mejoran las características del metal depositado.
- 6.- Algunos revestimientos contienen polvo de fierro, el cual aumenta la velocidad de deposición.
- 7.- Al momento de soldar forma un cono en el extremo del electrodo, el cual incrementa la eficiencia térmica y ayuda al soldador a dirigir el metal del electrodo hacia el baño o metal líquido , ver fig. 2.16.

#### 2.46. MATERIALES USADOS EN EL REVESTIMIENTO:

Los materiales más empleados para los revestimientos son:

MINERALES	:	Magnetita	(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )
		Ilmenita	(Fe Ti O <sub>3</sub> )
		Bióxido de Mn	(Mn O <sub>2</sub> )
		Hierro Micaceo	(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )
SILICATOS	:	Feldespató Potásico	(K Al Si <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
		Moscovita o mica	
		potásica	(H <sub>2</sub> K Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> )
		Coalín	(K Al Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> )

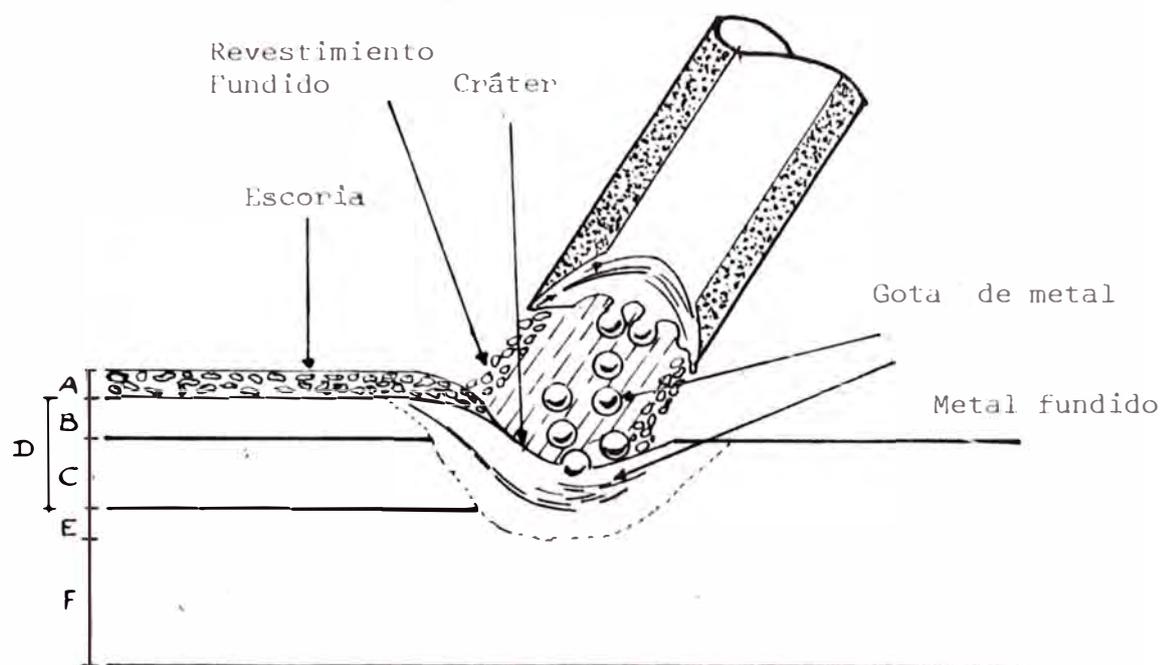


Fig. 2.16 Diagrama del arco metálico durante la deposición A.escoria, B metal aportado, C penetración, D depósito de soldadura zona afectada térmicamente-metal base, F metal base no tado.

ACIDOS	:	Rutilio	(Ti O <sub>2</sub> )
		Cuarzo	(Si O <sub>2</sub> )
FUNDENTE	:	Feldespatos	(Ca F <sub>2</sub> )
BASES	:	Espato calizo	(Ca CO <sub>3</sub> )
		Magnesita	(Mg CO <sub>3</sub> )
		Dolomita	(Ca Mg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> )
SUSTANCIAS ORGÁNICAS	:	Azúcar, Celulosa, Aserrín	
METALES	:	Aleaciones de hierro	

#### 2.47. SOLDADURA CON ELECTRODO CONTÍNUO Y RESVESTIMIENTO INTERNO:

s un proceso de soldadura al arco eléctrico, en el cual el electrodo-

es un alambre tubular continuo con revestimiento interior.

En este proceso la protección del arco y del metal líquido depositado al soldar, es mediante gases que se producen por combustión y - descomposición del revestimiento interior al alambre tubular. Una variación de este proceso es usando además de esta autoprotección, protección mediante un gas externo (generalmente bióxido de carbono).

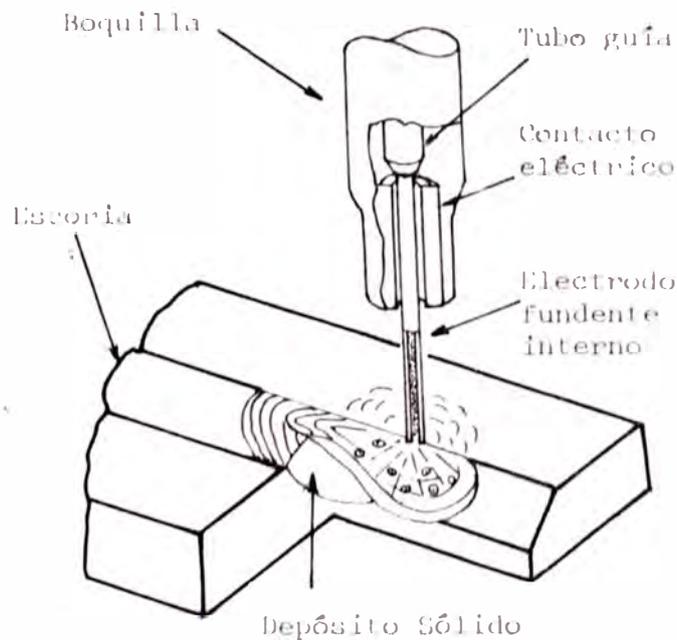


Fig. 2.17. Esquema de un proceso de soldadura por electrodo continuo y revestimiento interno.

La mayor ventaja del método auto protegido es que puede ser usado en la intemperie, sin perder la protección de los gases como sucede en el método que usa protección de gases auxiliares.

La soldadura con electrodo continuo y revestimiento interno en sus -

dos modalidades, solamente permite mayor velocidad de depósito (3 a 4 veces mayor) ver tabla 2.4, sino que proporciona una mayor eficiencia de metal depositado, así tenemos que con electrodos comunes (revestimiento externo), la eficiencia alcanzada es de 60 a 70% mientras que con electrodos continuos se alcanza de 85 a 90%, no hay pérdidas por colillas al momento de soldar, así mismo el método de soldadura por electrodo con revestimiento interno y un gas auxiliar de protección - permite menor bicel para obtener la resistencia requerida en la unión.

La desventaja que presentan ante los electrodos comunes con revestimiento externo es su falta de versatilidad para soldar piezas peque -

	ESPESOR DE LA PLACA EN PULGADA					
	1/4		3/8		1/2	
	ECRI	ERE	ECRI	ERE	ECRI	ERE
Nº de pases	2	2	2	3	2	2
Electrodo	E70T-1	E6010	E70T-1	E6010	E70T-1	E6010
Diámetro (pulg.)	0.045	1/8	0.045	1/8, 5/32	0.045	1/8, 5/32
Amperaje: I- Pase	220	80	220	80	220	80
II Pase	220	80	170	96	170	96
III Pase	-	-	-	96	-	96
IV Pase	-	-	-	-	-	110
Tiempo (minutos)	1.46	5.92	3.58	10.87	5.90	17.53
Cambio elec.(minuto)	-	0.96	-	1.48	-	2.16
Limpieza (minutos)	0.40	1.43	0.40	1.65	0.65	2.69
Tiempo Total	1.86	8.31	3.98	14.00	6.55	22.38

Tabla 2.4 Resultados obtenidos en soldadura vertical con electrodos revestido externo (ERE) y soldadura semiautomática con electrodos continuos con revestimiento interno y gas auxiliar (ECRI)

ñas y en posición, aunque ultimamente se están desarrollando electrodos con diámetros tan pequeños como 0.045 pulg. que permiten superar estas desventajas.

Los procesos con electrodo continuo y por arco sumergido competitivos, ambos son capaces de una alta velocidad de depósito, y de una penetración profunda; aunque el proceso con revestimiento interno y gases auxiliares usualmente tienen mayor penetración.

#### 2.48: FUNDAMENTOS DEL PROCESO:

El equipo básico necesario para el proceso de soldadura con electrodos continuos y revestimiento interno está formado por una fuente de poder, un alimentador de alambre tubular, en el caso de que se utilicen fuentes auxiliares de gas como medio de protección, será necesario también el equipo de gas correspondiente.

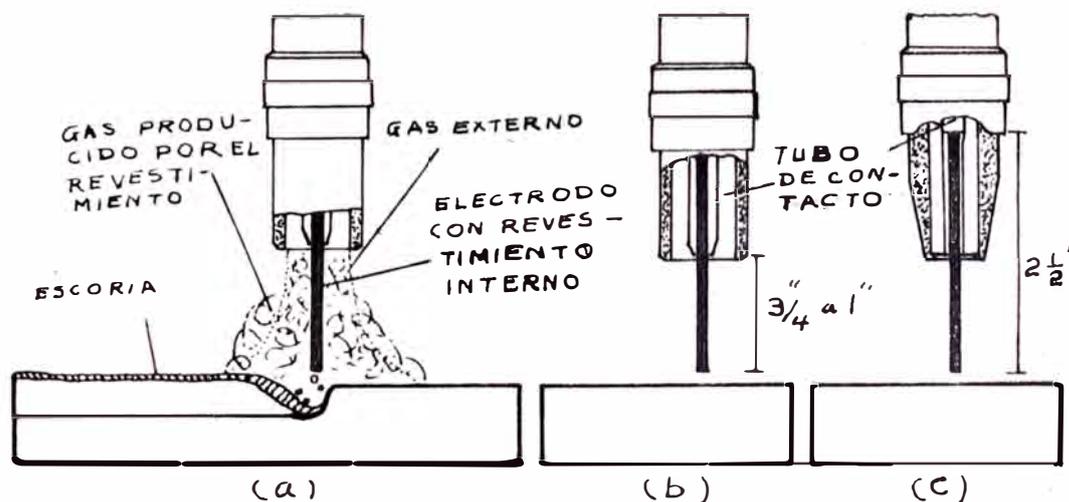


Fig. 2.18 (a) Principios de operación para el proceso de arco continuo y revestimiento interno con protección auxiliar de gas externo (b) y (c) boquillas para los dos métodos con gas auxiliar y autoprotección

Para el proceso de soldadura con arco continuo y revestimiento interno con protección auxiliar de un gas externo, la boquilla debe tener un diseño especial de tal forma que permita alimentar tanto el electrodo tubular como el gas auxiliar de protección al momento de soldar, la distancia entre el extremo del tubo de contacto y el baño metálico debe ser de 3/4 a 1 pulg. Ver fig. 2.18 (b).

Para el método con autoprotección, la distancia entre el extremo del tubo de contacto y el baño metálico es de 2 1/2 pulg. o más, de tal forma que la longitud visible del electrodo sea de 1 a 2 pulgadas siempre al momento de soldar. Fig. 2.18 (c).

#### 2.49. FUENTE DE PODER:

El proceso de soldadura con electrodo continuo y revestimiento interno, puede ser aplicado con corriente alterna o con corriente continua, la corriente alterna es la fuente de poder menos utilizada, se prefiere usar corriente continua especialmente polaridad invertida.

#### 2.50. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE:

Debido a que se usa una fuente de poder de voltaje constante, es necesario un sistema de alimentación constante.

Para ambos métodos el alambre es impulsado mediante un conjunto de rodillos a través de la manguera hasta la boquilla.

En la fig.2.19 se puede apreciar un sistema de empuje de cuatro rodillos, en este alimentador solo dos rodillos son impulsores, los otros solo presiona al electrodo, el sistema de empuje varía considerablemen

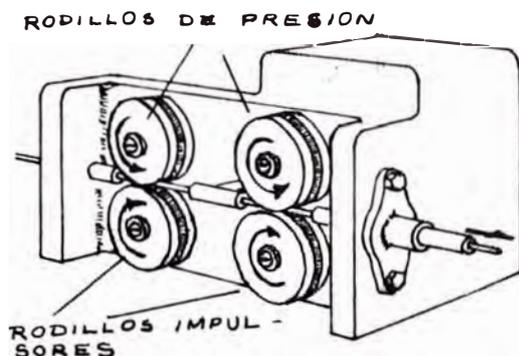


Fig. 2.19. Sistema de empuje formado por dos rodillos cortesía Eutectic + Castolin.

te entre los fabricantes; algunos solo tienen dos rodillos como en este caso y otros tienen hasta 4 rodillos impulsores.

Debido a la construcción tubular de los alambres con revestimiento interno son fácilmente aplanados o deformados al momento que pasan entre los rodillos, por lo que estos deben tener canales o biseles adecuados de acuerdo al diámetro del alambre.

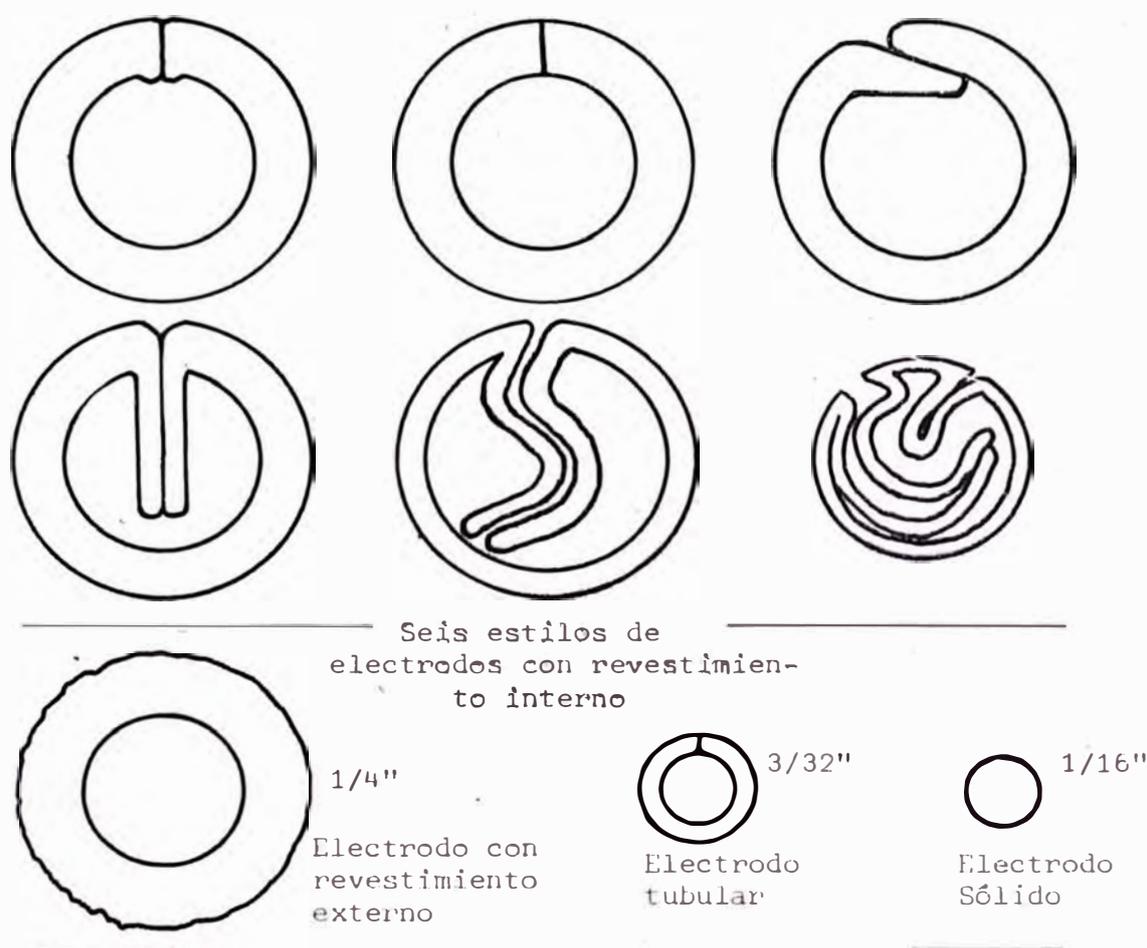
Para diámetros pequeños (por ejemplo 0.045 pulg.) se pueden usar rodillos cóncavos simplemente, ya que estos alambres no se deforman o aplastan fácilmente.

#### 2.51. ELECTRODOS CONTÍNUOS CON REVESTIMIENTO INTERNO:

Los electrodos contínuos con revestimiento interno consisten de una platina de acero de bajo carbono que circunda un núcleo compuesto por materias ionizantes, generadores de gases protectores, productos de escorias y elementos aleantes, los diferentes diámetros requeridos son: 0.045, 1/16, 5/64, 3/32, 7/64, 1/8, 5/32 pulg., siendo los diámetros más usados 3/32, 7/64 y 5/64 pulg. algunos casos.

El electrodo se obtiene en el mercado en carretes de 25 y 50 libras, en algunos casos también en otras dimensiones, colocados en bolsas plásticas para protegerlas de la humedad y embaladas en cajas de plástico o cartón para evitar su deterioro.

En la figura 2.20 se puede ver la sección transversal de varios es-



Dimensiones relativas de electrodos usados con 400 amp.

Fig. 2.20. Sección transversal de los electrodos continuos con revestimiento interno (parte superior); comparación de la cantidad de revestimiento de cada tipo de electrodo (parte inferior)

tilos de electrodos con revestimiento interno, en los tres estilos mostrados en la parte superior el peso de la parte metálica (acero) alcanza del 75 a 85% del peso total y alrededor del 75% del área transversal del electrodo.

La cantidad de revestimiento contenido en el núcleo de un alambre-tubular es menor que el usado en los electrodos simples de arco metálico de diámetro comparable (ver fig. 2.20 parte inferior), esto es debido a que los electrodos con revestimiento externo necesitan sustancias ligantes (binders), para mantener la adherencia entre las partículas del revestimiento y puedan ser extruídas al momento de su fabricación.

La comparación entre un electrodo típico con revestimiento externo y un electrodo continuo con revestimiento interno da los siguientes resultados:

Porcentaje de acero	Electrodo revestido externo E 7016	Electrodo reves interno E 70T - 1
por área	45%	75%
por peso	76%	85%

D NACIO  
NTRM

## 2.52. SOLDADURA POR ARCO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA - PROCESO TIG

El proceso TIG es un proceso de soldadura en el cual el arco se genera entre un electrodo de tungsteno y la pieza metal base, puede usar o no aporte de varilla según las características del metal a soldar.

El arco es rodeado de un chorro de gas inerte generalmente argón.

Con el proceso TIG se pueden recuperar o proteger piezas de aluminio, magnesio, cobre, níquel, aceros inoxidable, aceros rápidos, etc., es decir cualquier metal soldable.

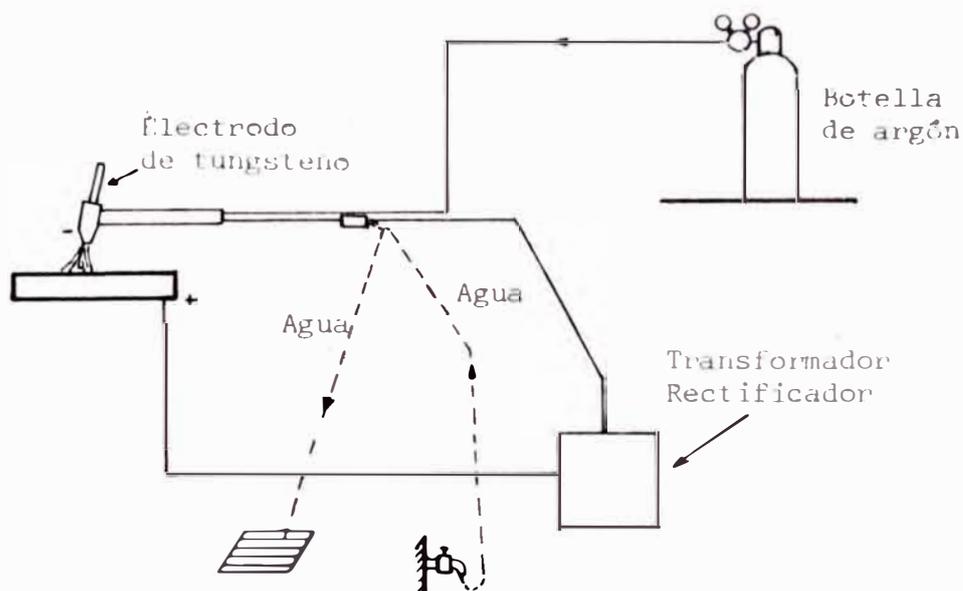


Fig. 2.21. Diagrama esquemático del proceso TIG, en algunos casos se usa un sistema de refrigeración con agua.

### 2.53. CORRIENTE RECOMENDADA AL SOLDAR CON TIG:

Al soldar con proceso TIG se puede usar corriente continua o alterna dependiendo del metal base a soldar. La polaridad inversa no es recomendable con TIG, por que produce un recalentamiento del electrodo - de tungsteno pudiendo llegar a fundirse.

La polaridad directa se usa para soldar aceros inoxidable así como cobre y sus aleaciones, pero no sirve para soldar aluminio y magnesio ni sus aleaciones, por que el óxido se forma en la superficie de estos metales y no permite que haya liga entre el metal base y el metal de aporte.

Para soldar aluminio y magnesio y sus aleaciones, se debe usar corriente alterna, debido a que el cambio continuo de polaridad nos permite romper la película de óxido, desarrollándose una liga perfecta, con buena penetración y pureza del depósito.

#### 2.54. GASES DE PROTECCIÓN Y FUNCIONES;

La soldadura metálica con protección gaseosa en metales no ferrosos emplean gases inertes como protección. Los gases inertes consisten en átomos que son estables y no reaccionan inmediatamente con otros átomos. En la naturaleza se encuentran solamente seis elementos que poseen esa estabilidad, y cada uno de ellos existe como gas. Los seis gases inertes son helio, neón, argón, criptón, xenón y radón .

De los seis gases inertes en la naturaleza, solamente el helio y el argón son importantes en la industria de la soldadura, debido a que son los únicos que pueden ser obtenidos en cantidades y precios razonables.

Los gases mas utilizados para soldar por el proceso TIG son: argón, helio, mezcla de argón con helio, mezcla de argón con hidrógeno, nitrógeno.

ARGÓN.- es un gas inerte monoatómico, que se extrae del aire por destilación fraccionada de este líquido; su peso atómico es de 39,944

la pureza puede llegar al 99.99% y el resto es oxígeno.

Para soldar acero inoxidable, cobre y aleaciones, el contenido de oxígeno debe ser de 0.1% y de nitrógeno de 0.5 a 1.5% como máximo. Para las aleaciones ligeras, como el aluminio, el magnesio, etc., el oxígeno debe ser inferior al 0.01% y el nitrógeno inferior al 0.020%. El flujo de gas argón usado al soldar es de 6 a 10 litros por minuto.

HELIO.- es un gas inerte, su contenido en el aire es muy poco y se obtiene principalmente de los manantiales de gas de petróleo. Su peso atómico es de 4.003, el flujo de gas helio usado al momento de soldar es de 20 litros por minuto aproximadamente, para soldar aluminio y magnesio en espesores a 4 mm es preferible usar argón.

El nitrógeno además de ser un gas más barato que el argón da muy buenos resultados para soldar cobre.

Una mezcla de argón con 20% de hidrógeno se usa frecuentemente para soldar níquel y plata, o bajando a 10% de hidrógeno para soldar aceros inoxidables.

Para la soldadura de piezas de grandes espesores se puede usar ventajosamente helio, debido a que proporciona una mayor penetración y una mayor velocidad de avance.

#### 2.55. EL ELECTRODO DE TUNGSTENO:

El tungsteno sirve para iniciar y mantener el arco, proporcionando calor altamente centrado al momento de soldar, manteniendo un arco estable, los electrodos pueden ser: de tungsteno puro, de tungsteno con 1 a 2% de torio o de tungsteno con 1 a 2% de circonio.

Existen varios diámetros de electrodos de tungsteno y el amperaje a usar al soldar varía con estos diámetros.

#### 2.56. SOLDADURA POR ARCO BAJO PROTECCIÓN GASEOSA-PROCESOS MIG Y MAG:

La soldadura por arco metálico con protección gaseosa, frecuentemente llamado soldadura MIG o MAG, es un proceso en el cual el calor es generado por el arco eléctrico que se forma entre un alambre desnudo utilizado como material de aporte, y la pieza de trabajo. El alambre es alimentado continuamente dentro del baño metálico, protegido por un gas inerte como argón, o helio (proceso MIG, que significa Metal Inerte Gas), o por un gas activo como el  $\text{CO}_2$  (proceso MAG; Metal Activo Gas), o por una mezcla de estos gases.

#### 2.57. VENTAJAS DEL PROCESO MIG - MAG:

La soldadura por arco protegido por gas, permite soldar en toda posición el cual es una limitación en el proceso por arco sumergido y con electrodos con fundente interno.

Las principales ventajas de los procesos MIG y MAG en comparación con la soldadura con electrodos revestidos son:

1. Mayor velocidad de depósito, debido a la alimentación continua de electrodos, ausencia de escoria, uso de electrodos de menor diámetro para un amperaje dado, es decir mayor densidad de corriente.
2. Los procesos MIG y MAG, son más recomendables para secciones delgadas, que los electrodos revestidos, la sección considerada prácticamente soldable con electrodos revestidos es de 1/16 pulg. (0.06 pulg.), en el proceso MIG y MAG con un control cuidadoso

de la corriente, pueden ser soldados hasta espesores de 0.020 pulgadas.

3. La calidad de los depósitos con los procesos MIG y MAG son mejores que con electrodos revestidos, debido a la ausencia de escoria.

#### 2.58. DESVENTAJAS DEL PROCESO MIG - MAG:

Los procesos MIG y MAG en comparación con el proceso de soldadura con electrodos revestidos tiene las siguientes desventajas:

1. El equipo necesario es más complejo y consecuentemente costoso.
2. Dificultad para soldar en áreas reducidas, debido a que la pistola debe estar cerca a la pieza.
3. Mayor susceptibilidad a rajaduras del metal depositado al enfriarse, debido a la ausencia de escoria sobre todo en aceros templables.
4. Dificultad para soldar en la intemperie, donde hay corriente de aire, por que se elimina la campana protectora de gas.

#### 2.59. APLICACIONES DEL PROCESO MIG - MAG:

Este procedimiento ha adquirido actualmente, sobre todo gracias a las velocidades elevadas que permite alcanzar (hasta 10 veces la velocidad alcanzada con electrodos revestidos), un gran desarrollo, especialmente en lo que atañe a la soldadura automática de los aceros no aleados (aceros inoxidable) del aluminio y sus aleaciones, del magnesio y aleaciones, del cobre y aleaciones.

Este proceso puede ser utilizado para soldar un amplio rango de espesores desde 0.020 pulg.. Sin embargo para espesores mayores de 1/2 -

pulgadas, otros procesos como el arco sumergido, electrodos continuos con revestimiento interno o electroslage, pueden ser de menor costo y con mejor apariencia.

### EQUIPO NECESARIO

Los principales componentes del sistema de soldadura por arco metálico con protección gaseosa son:

1. Fuente de poder
2. Unidad de alimentación de alambre
3. Pistola de soldar
4. Gas y sistema de protección
5. Alambre electrodo.

Estos elementos esenciales son ilustrados en la fig. 2.22

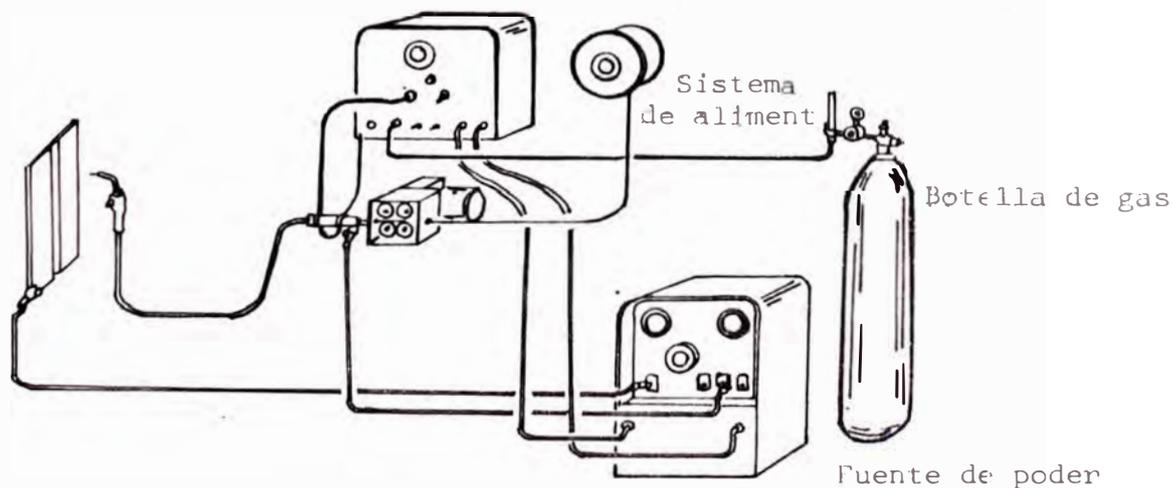


Fig. 2.22. Equipo para soldadura por arco metálico con protección gaseosa

#### 2.60. FUENTE DE PODER:

En este proceso (MIG y MAG) no se usa corriente alterna, pues su aportación es menor y el arco inestable, por lo que generalmente se usa - corriente continua con polaridad inversa, en casos especiales también se usa polaridad directa, esto se hace cuando se quiere aumentar el - coeficiente de difusión o que disminuya la penetración del metal depositado, como ocurre en la recuperación y protección de piezas por soldadura.

Las fuentes de poder de voltage constante del tipo motor-generador o transformador-rectificador, son generalmente preferidos. Con este tipo de maquinaria el voltage permanece constante sin importar la variación del amperaje.

#### 2.61. UNIDAD DE ALIMENTACIÓN DE ALAMBRE:

El sistema de soldadura con voltage constante requiere que el alambre sea alimentado constantemente a velocidad uniforme.

Los alimentadores de alambre utilizan diferentes tipos de rodillos impulsores que pueden instalados rápidamente. Permitiendo el uso de - diferentes clases y diámetros de alambre, por lo general se necesitan diferentes rodillos para alambres duros o para alambres blandos.

#### 2.62. PISTOLA DE SOLDAR:

Su objeto principal es llevar el alambre-electrodo y el gas de protección, así como la corriente de soldar desde el alimentador de alambre y la máquina de soldar hacia el área del arco.

La mayoría de las pistolas para soldar MAG no utilizan enfriamiento con agua, el alambre electrodo y el gas  $\text{CO}_2$  enfrían estas pistolas. Cuando se utilizan gases inertes, o ciclos de trabajo pesados con alto amperaje, es necesario el enfriamiento con agua.

### 2.63. ARGÓN:

El argón tiene un potencial de ionización relativamente mas bajo que el  $\text{CO}_2$ , esto hace que establezca mejor el arco evitando el chisporroteo, el bajo potencial de ionización permite también bajar el voltaje del arco reduciendo la penetración, por estas dos cualidades el argón se utiliza mucho mezclando con otros gases para mejorar las condiciones de soldadura, ver table 2.5..

Cuando se utiliza argon puro en la soldadura de acero, los bordes de los cordones quedan socabados, debido a que la penetración es muy baja en los bordes y alta en el centro de los cordones, esto puede producir falta de fusión en la soldadura de raíz si el arco no es dirigido exactamente sobre el centro de la soldadura.

### 2.64. DIÓXIDO DE CARBONO:

A temperaturas normales el dióxido de carbono es esencialmente un gas inerte, sin embargo cuando está sujeto a altas temperaturas, el dióxido de carbono se separa en monóxido de carbono y oxígeno. Cuando se suelda electricamente con una alta temperatura, esta disociación toma lugar en un grado tal que un 20 a 30% de los gases en el área del arco es oxígeno. Debido a esta característica oxidante del  $\text{CO}_2$ , los alambres, deben contener elementos desoxidantes para evitar la combi-

G A S E S	A P L I C A C I O N E S
Argón	Aluminio y magnesio
Helio	Aluminio, magnesio y cobre. Con este gas disminuye porosidad.
Helio+argón (80% + 20%) hasta (50% + 50%)	Aluminio magnesio y aleaciones de cobre.
Argón + 1 a 2% de CO <sub>2</sub>	Aceros inoxidables, aceros aleados y al carbono. Se requieren varillas desoxidantes.
Argón + 3 a 5% de CO <sub>2</sub>	Aceros inoxidables, aleados y algunas aleaciones de Cu.
Argón + 20 a 30% de CO <sub>2</sub>	Aceros, para obtener transferencia por corto circuito
Argón + 5% de O <sub>2</sub> + 15% CO <sub>2</sub>	Aceros al carbono se requiere varilla altamente desoxidante.
CO <sub>2</sub>	Aceros al carbono y debilmente aleados, varilla especial desoxidante.
CO <sub>2</sub> + 3 a 10% O <sub>2</sub>	El mismo campo de aplicación que el CO <sub>2</sub> .
CO <sub>2</sub> + 20% de O <sub>2</sub>	El mismo campo de aplicación,
Argón + 20 a 30% N <sub>2</sub>	Para soldar cobre.

Tabla 2.5 Parámetros de soldeo recomendables para ciertas condiciones de trabajo.

nación del oxígeno con el carbono o el hierro dentro del metal depositado, produciendo soldaduras de baja calidad. Los desoxidantes más comúnmente usados son manganeso, silicio, aluminio, titanio y vanadio.

La principal desventaja del dióxido de carbono como gas de protección es que produce un arco inestable, con una alta tendencia al chisporroteo, el chisporroteo puede ser minimizado manteniendo un arco corto y uniforme.

#### 2.65. MEZCLA DE GASES:

Frecuentemente las ventajas que presentan los diferentes gases pueden ser aprovechados mezclándolos al momento de soldar, las mezclas comúnmente usadas son argón con oxígeno, argón más oxígeno más dióxido de carbono y dióxido de carbono con oxígeno.

Además de favorecer la estabilidad del arco y la transferencia de metal, la adición de oxígeno y dióxido de carbono ayudan a mejorar la penetración facilitando el mojado del metal a lo largo de los bordes al soldar aceros al carbono y de baja aleación, reduciendo o previniendo las socabaduras.

La adición de oxígeno y dióxido de carbono y argon produce porosidad en algunos metales ferrosos, para evitar estos efectos se debe usar electrodos que contengan elementos desoxidantes.

#### 2.66. ALAMBRE ELECTRODO:

El electrodo para soldar por arco con protección gaseosa es un alambre de alta pureza y composición química controlada, la superficie del electrodo y la exactitud de sus dimensiones influyen en las características de alimentación. Para prevenir los daños de almacenamiento los electrodos para aceros al carbono tienen un recubrimiento de cobre, el recubrimiento de alimentación y no tienen efecto adverso en

la composición del metal depositado.

## SISTEMA DE TRANSFERENCIA DE METAL

El tipo de transferencia que se presenta cuando se suelda con electrodos consumibles, están generalmente divididos en tres grupos: transferencia por spray, transferencia globular, y transferencia por corto circuito. La forma de transferencia del metal dependerá de factores como el diámetro del alambre, gas de protección, corriente de soldadura, y voltaje del arco.

### 2.67. TRANSFERENCIA POR SPRAY:

Este sistema de transferencia se lleva a cabo mediante pequeñas gotitas que se mueven rápidamente a través del arco (fig. 2.23), para obtener este tipo de transferencia por spray se debe conectar el electrodo o pistola al polo positivo, utilizando gas argón o una mezcla de argón y oxígeno, además de una elevada densidad de corriente.

El sistema de transferencia por spray se usa generalmente para la soldadura de piezas de espesores medianos y grandes, para recubrimientos especiales en posición horizontal, los parámetros varían de 28 a 40 voltios y de 200 a 300 amperios.

### 2.68. TRANSFERENCIA GLOBULAR:

El metal se transfiere por medio de gruesas gotas que se forman en el extremo del electrodo, de un diámetro hasta de tres veces superior al diámetro del alambre electrodo. En esta forma de transferencia se puede observar que la gota al desprenderse va hacia un lado o hacia el otro, mostrando una transferencia muy deficiente, que hace muy difícil acertar con la dirección de la junta.

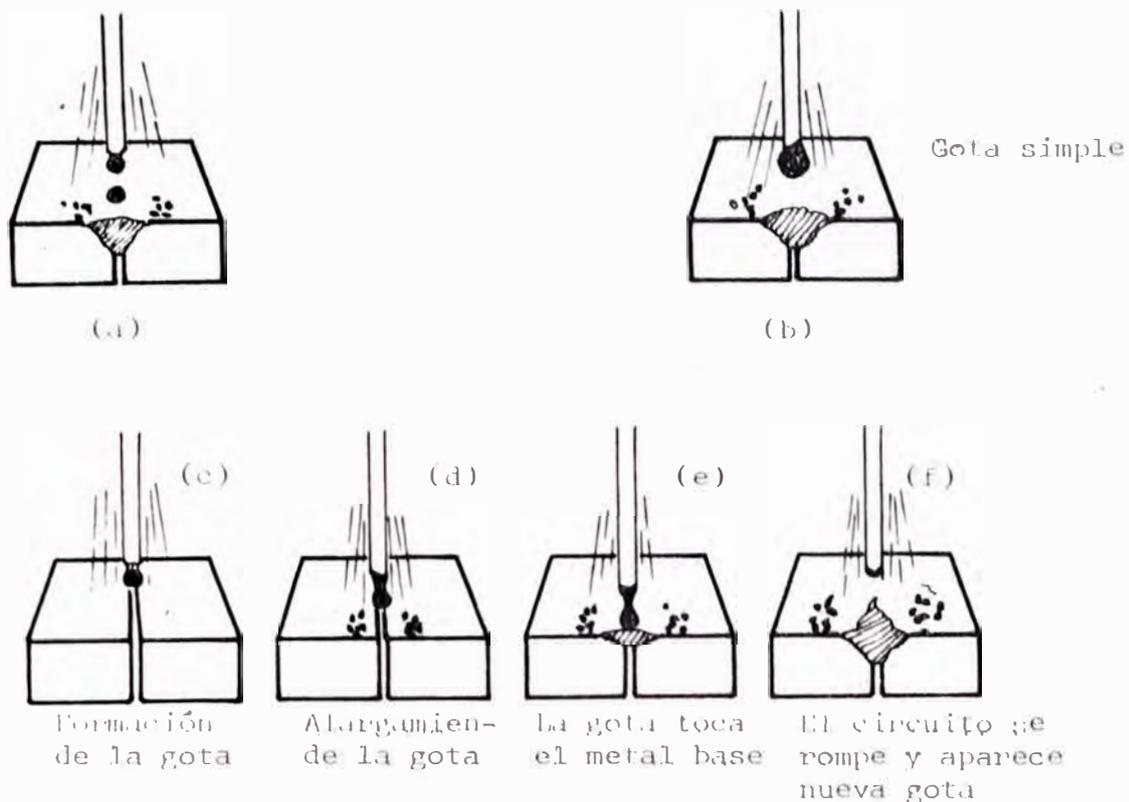


Fig. 2.23. Forma de transferencia de metal (a) Spray, (b) Globular, (c d e f) Corto Circuito.

Las condiciones de trabajo para que se produzca este fenómeno, pueden ser: por usar polaridad directa, o por trabajar con densidad de corriente menores que para spray.

Este sistema produce poca penetración y mucho chisporroteo por lo que se debe evitar siempre.

#### 2.69. TRANSFERENCIA POR CORTO CIRCUITO:

En este sistema de transferencia, se forma una gota de metal líquido en el extremo del electrodo, la cual se alarga hasta que en un momento dado, toca al metal de base formándose un corto circuito, lo cual hace que la intensidad sufra un gran aumento y como consecuencia las

fuerzas axiales rompen el cuello de la gota que pasa al baño de fusión, y así sucesivamente durante todo el proceso de soldadura.

Para obtener este sistema de transferencia la polaridad debe ser inversa, el diámetro del electrodo de 1.2 mm. o menor, usando como gases de protección una mezcla de 75% de argón y 25% de CO<sub>2</sub> también se puede usar CO<sub>2</sub> sólo.

Este tipo de transferencia se usa para soldar piezas de reducidos espesores.

En la soldadura por corto circuito se usa menos tensión y menos intensidad, por lo que en este sistema de transferencia se emplea alambre de poco diámetro, que es lo ideal para las soldaduras en vertical y sobre cabeza, los parámetros utilizados son: tensión de 16 a 23 voltios e intensidad de 40 a 200 amperios.

Los gases usados para un sistema de transferencia por corto circuito, frecuentemente difieren de los usados por sistema de transferencia por spray, por ejemplo, mezclas de argón con 20 a 30% de dióxido de carbono se usa para una transferencia por corto circuito, pero son raramente usados para transferencia por spray, sin embargo - cuando se está soldando con arco por spray se puede usar casi cualquier gas o mezcla de gases.

#### 2.70. SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO:

La soldadura por arco sumergido se diferencia de otros procesos por arco, en que para proteger el arco y el metal fundido se usa una ca

pa fusible de material granular comunmente llamado fundente, el arco se forma entre la pieza de trabajo y una varilla de electrodo, cuya punta está sumergido en el fundente, no existe chisporroteo, ni rayos luminosos, debido a que el arco está completamente cubierto por el fundente.

Durante la soldadura el calor del arco funde algo del fundente en la punta del electrodo como se ilustra en la fig. 2.24, la punta del electrodo y la soldadura siempre están protegidos por fundente líquido, cubierto a su vez por una capa de fundente sólido. El electrodo es mantenido a una pequeña distancia sobre la pieza, el fundente líquido de menor densidad forma una escoria sobre el metal fundido. El metal líquido tiene un punto de fusión mayor que el de la escoria, por lo que solidifica primero que esta, lográndose de esta forma la protección del metal de los gases atmosféricos como el oxígeno y el nitrógeno durante la solidificación.

Cualquier fundente que no se funda, es eliminado por un sistema de succión y puede usarse de nuevo. La capa de escoria se puede separar fácilmente de la superficie metálica, después de que se ha enfriado.

Los fundentes para arco sumergido pueden contener también elementos de aleación, los cuales se añaden al metal de soldadura para obtener depósitos de acero aleado a partir de electrodos de acero al carbono.

#### 2.71. VENTAJAS DEL PROCESO POR ARCO SUMERGIDO:

Debido a que la corriente es aplicado al electrodo una pequeña distancia más arriba de su extremo, se puede usar amperajes hasta de 600

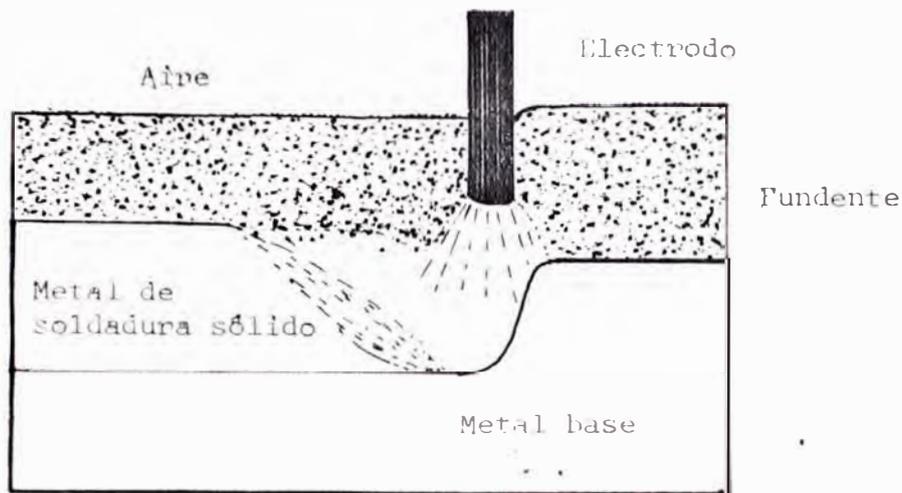


Fig. 2.24 Mecanismo del proceso de arco sumergido.

amperios con electrodos tan pequeños como  $5/64$ " , dando una densidad del orden de 100,000 amperios por pulgada cuadrada, esto es de 6 a 10 veces el obtenido con electrodos revestidos.

Debido a la alta densidad de corriente, la velocidad de fusión del metal es mucho mayor para un diámetro de electrodo dado, que el obtenido con electrodos revestidos comunes.

La capa de fundente sobre el arco evita la pérdida inmediata del calor concentrándolo en la zona de soldadura, por lo cual obtiene no solamente una velocidad de fusión mayor para el electrodo y el metal base, sino que la fusión es profunda en le metal base.

#### 2.72. DESVENTAJAS DEL PROCESO POR ARCO SUMERGIDO:

La limitación del arco sumergido es impuesto por la fuerza de la gravedad, en la mayoría de las veces el proceso tiene que llevarse a ca

bo en posición plana y horizontal, para poder mantener el fundente-granulado, estos problemas pueden ser eliminados o reducidos utilizando posicionadores que permitan colocar la zona de soldadura en posición plana u horizontal.

### 2.73. APLICACIONES DEL PROCESO POR ARCO SUMERGIDO:

El proceso de arco sumergido, permite soldar un gran número de aceros al carbono y de baja aleación, algunos aceros de alta aleación y tratados térmicamente, es un proceso ventajoso para reconstruir y proteger piezas, puede ser automatizado en cualquier grado desde el proceso con pistola manual hasta el proceso de cabeza múltiple.

## PARAMETROS PARA SOLDAR CON ARCO SUMERGIDO

### 2.74. EL AMPERAJE EN ARCO SUMERGIDO:

El amperaje usado determina la velocidad a la cual el electrodo se funde, la penetración en el metal de base, y la cantidad de metal base fundido. Un incremento en la corriente incrementa la penetración y la velocidad de fusión, pero un excesivo amperaje produce un cordón alto, angosto, arco errático y sobrecortado. Amperajes excesivamente bajos produce un arco inestable.

### 2.75. TIPO DE CORRIENTE Y POLARIDAD EN ARCO SUMERGIDO:

La corriente continua polaridad inversa es recomendable para la mayoría de las soldaduras por arco sumergido en las cuales sea importante una alta penetración. La polaridad directa dá una velocidad -

de fusión alrededor de un tercio mayor que ha obtenido con polaridad inversa, pero produce menor penetración, esta se usa en los siguientes casos:

1. Para rellenos convencionales en donde la plancha es limpia y libre de contaminaciones.
2. En aplicaciones de protección (endurecimiento),
3. Donde sea necesario una menor penetración para controlar las rajaduras o porosidades en aceros difíciles de soldar.

La corriente alterna es recomendado para dos aplicaciones específicas de arco sumergido:

1. Para electrodos de arrastre
2. En donde el soplo magnético es mutante para la corriente continua y la velocidad de avance es bajo.

Para corriente alterna la inestabilidad del arco usualmente puede ser corregido incrementando la corriente o reduciendo el diámetro del electrodo.

#### 2.76. VOLTAJE EN ARCO SUMERGIDO:

Incrementando el voltaje:

1. Produce un cordón plano y ancho
2. Se incrementa el consumo de fundente
3. Se incrementa la resistencia a la porosidad causada por la suciedad y oxidación.
4. Ayuda en el relleno cuando la fijación es pobre

Voltajes excesivamente altos:

1. Produce cordones con "forma de sombrero", los cuales están sujetos a rajaduras fig. 2.25.
2. Hace difícil la remoción de la escoria
3. Produce rellenos de soldadura cóncavos sujetos a rajaduras.

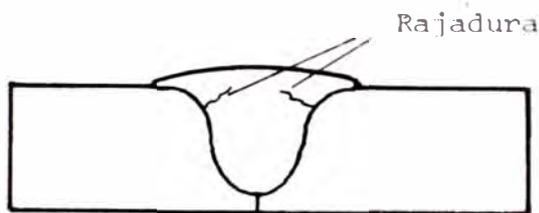


Fig. 2.25. Un cordón en "forma de sombrero" debido a un voltaje excesivo, un efecto similar se produce por una velocidad de avance muy bajo.

#### 2.77. VELOCIDAD DE AVANCE EN ARCO SUMERGIDO:

La velocidad de avance se usa para controlar la dimensión y penetración del cordón.

Si mantenemos constantes las otras condiciones, velocidades excesivamente altas disminuyen la acción humectante e incrementa la tendencia a las mordeduras, al soplo del arco, porosidad, rajaduras cordones de forma irregular. Bajas velocidades de avance tienden y a reducir la porosidad, debido a que el material gaseoso tiene tiempo para salir fuera del metal líquido .

#### 2.78. LONGITUD DEL ELECTRODO EN LA BOQUILLA EN ARCO SUMERGIDO:

La corriente eléctrica es alimentada al electrodo en el punto de contacto eléctrico dentro de la boquilla, luego la corriente viaja hacia la punta del electrodo para alcanzar el arco, la distancia existente entre el punto de contacto eléctrico y la punta del elec-

trodo se denomina "longitud del alambre en la boquilla". Ver fig.2.26

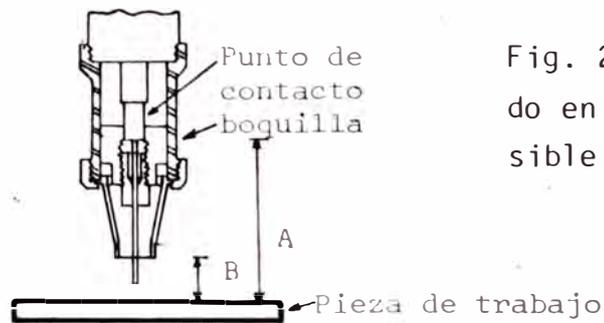


Fig. 2.26 A= longitud del electrodo en la boquilla, B= longitud visible del electrodo en la boquilla

A mayor longitud del electrodo en la boquilla mayor será el calor en él, este calor puede ser usado con ventajas para incrementar la velocidad de fusión y reducir la penetración.

Una mayor longitud del electrodo en la boquilla puede ser usado en forma ventajosa para la reconstrucción y endurecimiento de superficies mediante soldadura, ya que proporciona mayor velocidad, mejor calidad de depósito y mejor apariencia.

La longitud apropiada del electrodo en la boquilla para soldadura por arco sumergido son:

Para 5/64, 3/32, 1/8 pulg. de diámetro 3 pulgadas máximo,

Para 5/32, 3/16, 7/32 pulgadas de diámetro, máximo 5 pulgadas.

## CAPITULO 3

### INTRODUCCION A LA METALURGIA DE LA SOLDADURA

Todos los procesos de soldar que acabamos de ver en el capítulo anterior, tienen ciertas cosas en común al analizarlos como procesos metalúrgicos; tienen una fuente de calor, un medio de protección del metal líquido, y una fuente de cambios químicos.

Así mismo al momento de soldar, ocurren también ciertas generalidades tanto en el comportamiento de los materiales como en los eventos físicos que se presentan:

1. El metal base es fundido por lo menos parcialmente, y la región cercana a la soldadura es calentada a una temperatura bien alta menor que su punto de fusión.
2. El metal líquido se solidifica en la forma de una pequeña fundición, el cual debe poseer ciertas propiedades deseables.
3. Las condiciones encontradas durante la soldadura están relacionados a los cambios de temperatura y la solidificación provoca

cambios internos que resultan en tensiones internas.

4. Pueden ocurrir algunos cambios químicos benéficos o dañinos como, oxidación, contaminación y purificación.
5. Los cambios de temperatura usualmente son muy rápidos en el calentamiento y enfriamiento.

### 3.1.EFECTOS DE LA TEMPERATURA AL SOLDAR:

El calor de soldeo produce ciertos cambios tanto en la estructura del metal que está siendo soldado (metal base), como en el metal de depósito, algunos de estos cambios ocurren durante el soldeo, otro después que el metal se ha enfriado.

La temperatura alcanzada en el depósito fundido depende del que se está aportando y del metal base a soldar, pero para el caso más conocido del acero es de 1650°C o más, una pequeña distancia más allá del depósito la temperatura puede ser de solo 300°C. Cuando el acero o cualquier otro metal alcanza o excede ciertas temperaturas críticas, entre estos valores ocurren cambios que afectan la estructura del grano, la dureza, y las propiedades de resistencia mecánica de estos metales. Debido entonces al rango de temperatura a que se somete la pieza al soldar, se pueden definir tres zonas establecidas en todo proceso de soldadura por fusión y estas son:

### 3.2.ZONA DE FUSIÓN:

Es aquella parte de la soldadura, que se funde y se vuelve a solidificar durante la operación de soldadura, puede estar compuesto de me

tal base, metal aportado o una mezcla de ambos.

### 3.3. ZONA AFECTADA TERMICAMENTE:

Es aquella parte del metal base adyacente al cordón, el cual ha sido calentado durante la soldadura a una suficientemente alta temperatura como para sufrir cambios físicos significantes, pero que no llega a fundirse. El cambio físico puede ser un crecimiento de grano, o un refinamiento de acuerdo a la temperatura alcanzada como se ve en el esquema de la fig. 3.1 . La zona afectada termicamente no es definida por una temperatura particular cualquiera, sino por el criterio particular de algún cambio considerable en el metal base durante la operación de soldadura.

### 3.4. ZONA NO AFECTADA TERMICAMENTE:

Es la que presenta la estructura original a pesar de que puede haber sufrido calentamiento durante la soldadura.

En la fig. 3.1 las zonas ennumeradas son: 1. Metal que se ha fundido y resoldificado, presenta una estructura de grano grueso. 2. Metal que se ha calentado por encima de su temperatura crítica superior ( $830^{\circ}\text{C}$  para un acero de 0.25%) pero que no ha llegado a fundirse, esta área presenta un gran crecimiento de grano, es el lugar donde pueden ocurrir las denominadas "trizaduras bajo el cordón". 3. Metal que ha alcanzado una temperatura ligeramente mayor a la temperatura crítica inferior ( $723^{\circ}\text{C}$ ), por lo que se produce un refinamiento de grano. 4. Metal que ha sido calentado y enfriado pero a una temperatura tal que no se producen cambios estructurales.

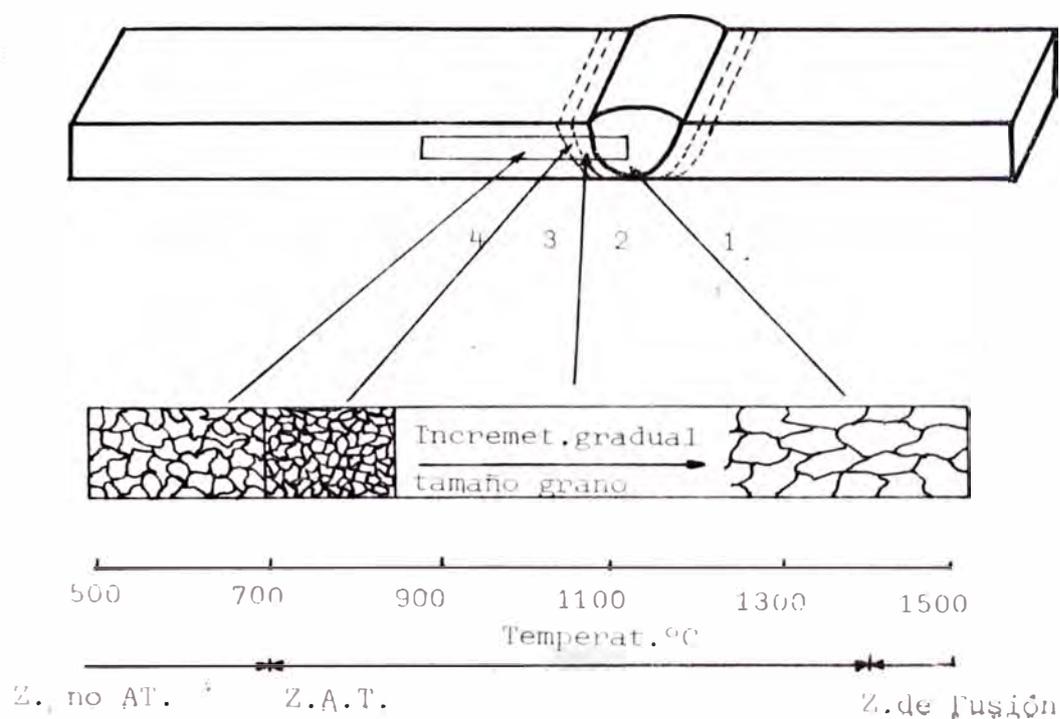


Fig. 3.1 Efecto del calor de soldeo en la microestructura y dureza de un acero de 0.25% C soldado con arco eléctrico.

### FENÓMENOS QUE OCURREN EN LA ZONA DE FUSIÓN

La zona de fusión, es un lugar en el cual se producen los siguientes fenómenos:

- a) Cambios químicos
- b) Absorción de gases
- c) Transformaciones eutécticas

- d) Formación de la estructura cristalina
- e) Precipitación de compuestos de la solución sólida madre

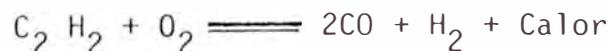
### 3.5. CAMBIOS QUÍMICOS:

Al momento de soldar se producen cambios químicos en la composición del metal base, en la zona de fusión, tanto en el proceso de soldadura por gas como en la soldadura por arco.

En la soldadura oxiacetilénica por ejemplo, las fuentes de cambio químico son la varilla utilizada como material de aporte, generalmente de composición diferente que el metal base y los gases de protección que se forman al momento de soldar.

Los gases presentes CO y H<sub>2</sub>, son capaces de combinarse químicamente con el oxígeno que puede estar presente en el metal líquido, asimismo al variar la relación de oxígeno a acetileno en la llama, los gases presentes pueden contener otros compuestos activos, según las siguientes reacciones:

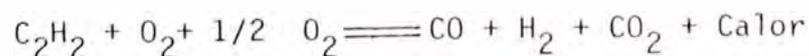
Llama neutra:



Llama carburante



Llama oxidante



En una llama carburante, el carbono libre puede incrementar significativamente el contenido de carbón del depósito, por otra parte una llama oxidante tiende a remover el carbono del baño metálico, ya que el  $\text{CO}_2$  extra en el gas protector se combinará con el carbono del baño metálico para formar "CO" el cual sale y deja una deficiencia de carbono en el depósito, el exceso de oxígeno causa también la oxidación y pérdida de otros elementos como el cromo.

En el proceso de soldadura eléctrica por arco, las fuentes de cambio químico son el revestimiento, el núcleo metálico o los gases de protección al momento de soldar, se puede producir una fijación exagerada de carbono, azufre o fósforo, así como la absorción de nitrógeno y oxígeno, produciendo pérdida en las cualidades de la soldadura.

Por el contrario el aporte voluntario de ciertos elementos aleantes mejoran las características mecánicas.

### 3.6. ABSORCIÓN DE GAS POR EL METAL FUNDIDO:

Los metales en estado de fusión pueden absorber gases con sorprendente rapidez. Los gases disueltos son normalmente indeseables por cuanto, a parte de formar compuestos dañinos, su solubilidad generalmente decrece en la medida que la temperatura baja. La saturación de gases da como resultado poros trizaduras, fragilización, etc..

El gas más frecuentemente disuelto como un elemento simple es el hidrógeno, el cual presenta apreciable solubilidad en la mayoría de aleaciones. El nitrógeno se puede comportar similarmente en el hierro fundido y acero, pero es virtualmente insoluble en las principales aleaciones no ferrosas, en las cuales puede ser usado como un medio para eliminar otros gases. El oxígeno no se disuelve directamente

tendiendo a formar óxidos estables con muchos metales en donde tenga una apreciable solubilidad, sin embargo el elemento puede jugar un rol importante en la formación de porosidades, a través de la disolución de compuestos gaseosos principalmente de monóxido de carbono o vapor de agua.

### 3.7. SOLUBILIDAD DE OXÍGENO:

El oxígeno en solución tiende a reducir la resistencia ténsil, dureza y resistencia al impacto de un acero, y su efecto es particularmente importante cuando el contenido supera el 0.1%. La absorción de oxígeno es mayor en el caso de la soldadura eléctrica que en la oxiacetilénica, dependiendo de la naturaleza del metal de aportación, revestimiento y gases que rodean la zona fundida. Un metal depositado con electrodos desnudos, sin protección gaseosa absorbe aproximadamente 0.3% de oxígeno y 0.2% de nitrógeno, en cambio un metal aportado con buena protección no contiene más de 0.5% de cada uno de estos gases.

El cobre es un metal fácilmente oxidable en estado líquido, en el estado sólido el cobre puede disolver hasta 0.0035% de oxígeno, cualquier exceso se presenta en forma de  $Cu_2O$ .

Las aleaciones de cobre contienen menor oxígeno que el cobre puro en las mismas condiciones de fusión, mucho de los elementos aleantes como el zinc, el estaño, o el aluminio, son desoxidantes en tal grado que previenen al cobre de alcanzar el contenido máximo de oxígeno.

### 3.8. SOLUBILIDAD DEL HIDRÓGENO:

La solubilidad del hidrógeno en el hierro, el cobre, el aluminio y

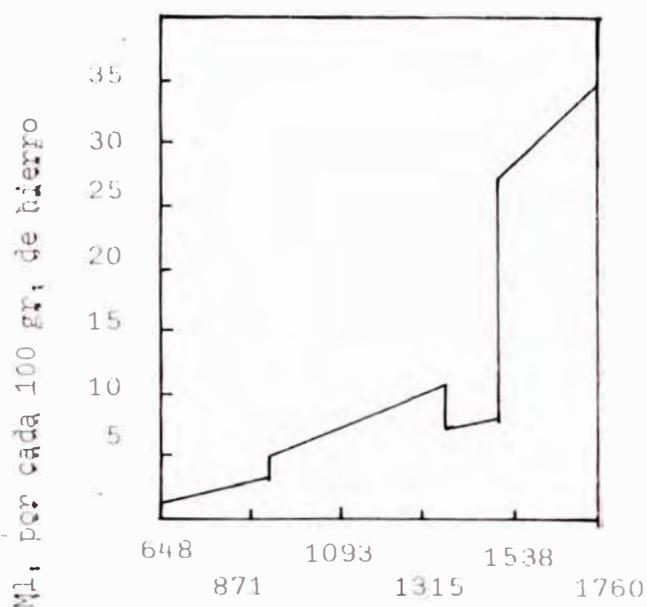


Fig.3.2 Solubilidad del hidrógeno a presión atmosférica en el hierro

En las aleaciones respectivas se incrementa marcadamente con la temperatura como se puede ver en los diagramas de solubilidad respectivo de las figs. 3.2 y 3.3, éste incremento es mucho más pronunciado la temperatura de fusión. Si se alcanza el límite de solubilidad momento de soldeo, el posterior enfriamiento y solidificación resultará en una evolución de gas dejando porosidad en el depósito.

La fig. 3.3. nos muestra también que la solubilidad del hidrógeno en las aleaciones cobre-estaño es menos que en el cobre puro.

El hidrógeno puede provenir de muchas fuentes, ya sea como un gas puro o en combinación como en el agua, acetileno, etc., para el hidrógeno se disuelve en el líquido metálico debe ser en estado atómico

Cuando el acero es soldado por arco eléctrico, el hidrógeno en forma de humedad entra en contacto con el arco, se presume que se verifica la siguiente reacción:

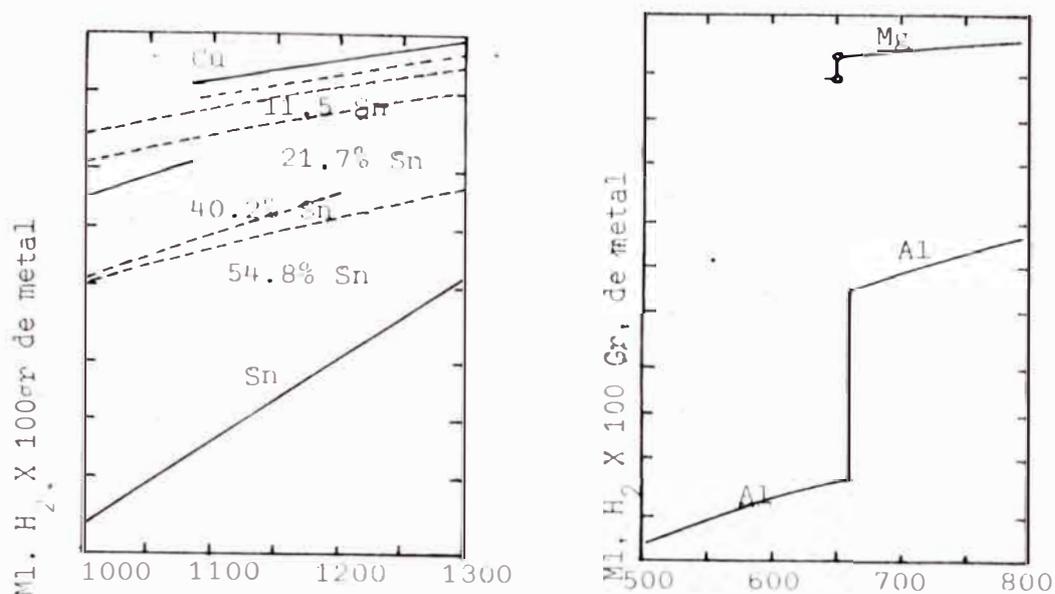
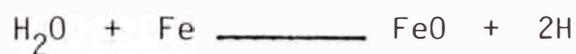


Fig. 3.3. Solubilidad del hidrógeno a presión atmosférica en a) Cobre y b) aluminio y magnesio.



El hidrógeno liberado se disuelve parte en el metal fundido en cantidades que varían con la temperatura como indica la fig. 3.2.

### 3.9. TRANSFORMACIONES EUTÉCTICAS:

Al solidificar el metal depositado puede conducir a un compuesto eutético frágil, como ocurre en la soldadura del cobre oxidado, el cual incluso en pequeñas concentraciones provoca la formación del eutético Cu - Cu<sub>2</sub>O en las proximidades de la zona fundida y conduce la fragilidad de la unión. (Ver soldabilidad del Cobre).

Así mismo al soldar aluminio que contiene hierro se forma el eutéc-

tico Al-Fe, pero esta transformación no tiene el mismo efecto que produce el óxido en el cobre.

### 3.10. FORMACIÓN DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA:

Al momento de solidificarse el metal fundido el proceso seguido es muy parecido al que pasa en la solidificación de piezas en un proceso de fusión y moldeo. (En este caso se puede imaginar al bisel como un pequeño molde (ver fig. 3.4 A). Cuando el metal líquido comienza a enfriarse a su temperatura de solidificación, se forman pequeñas partículas (Núcleos), estas partículas pequeñas sólidas son arreglos atómicos específicos característicos del metal particular, la solidificación continúa por un crecimiento de los núcleos individuales en partículas más grandes (granos) (fig. 3.4 B) conforme se incrementa la cantidad de partículas sólidas, disminuye la cantidad de líquido proporcionalmente hasta que se alcanza la solidificación completa y el resultado es una estructura como muestra la fig. 3.4 C) debido a esto la soldadura puede ser considerada como una pequeña fundición sin embargo se debe tener presente que las condiciones térmicas que existen durante la soldadura por fusión produce estructuras con características únicas a la soldadura y éstas son complejas.

Las consideraciones hechas son para un metal teóricamente, sin embargo la mayoría de los metales usados hoy para ingeniería son aleaciones con propiedades diferentes a los metales puros que los forman.

El tamaño, la forma y la orientación del grano van a depender de la

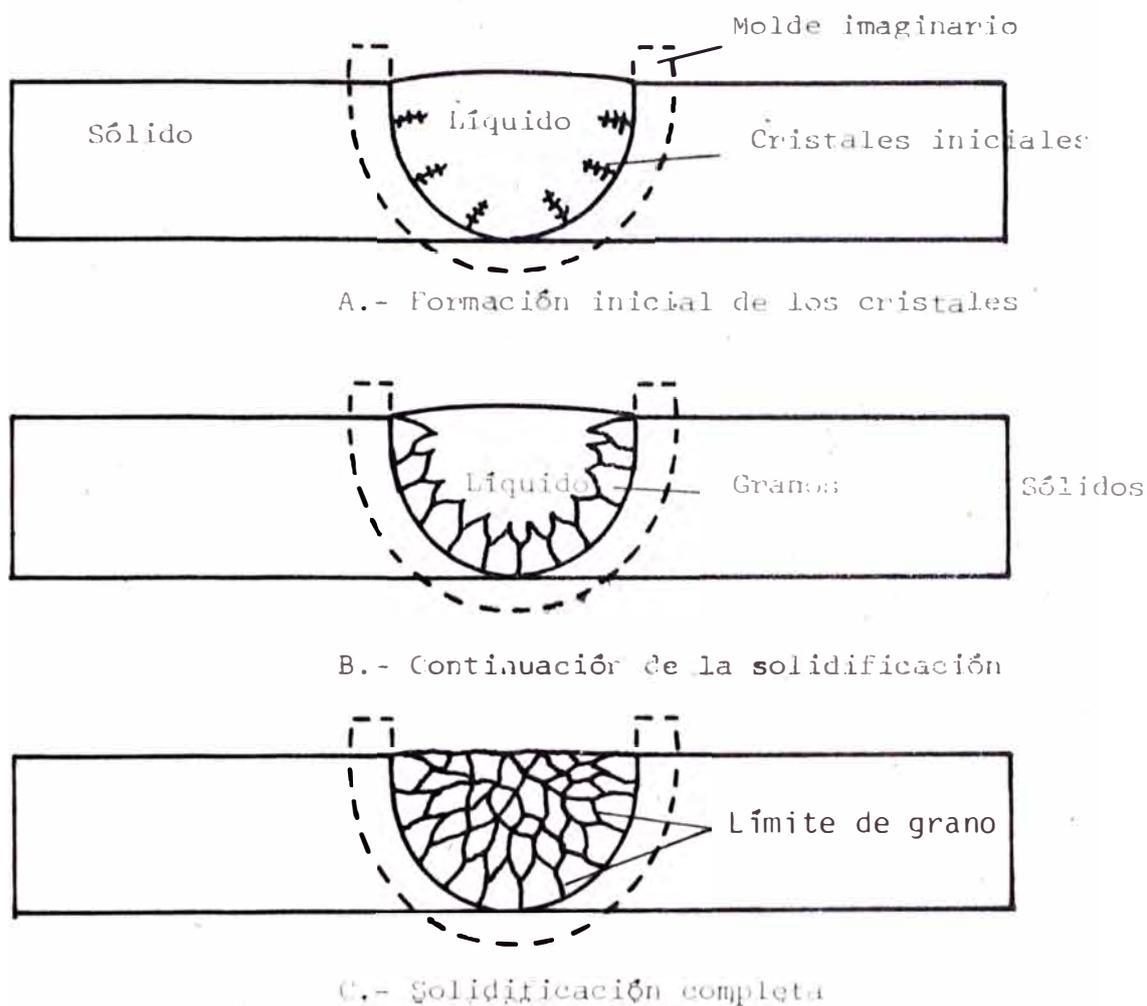


Fig. 3.4. Proceso de solidificación del metal líquido durante la soldadura.

temperatura alcanzada, del tiempo que se hayan mantenido a esta temperatura y de la velocidad de enfriamiento al atravesar las líneas de transformación.

Así en la soldadura oxiacetilénica del acero el metal se mantiene en estado líquido un mayor tiempo que con soldadura eléctrica, este tiempo es a su vez función del volumen del metal fundido por lo que el tamaño del grano varía con el espesor a soldar.

La estructura de la zona fundida por soplete es por lo tanto de granos grandes, irregular y sin orientación definida.

En los bordes del bisel la estructura que se forma es orientada perpendicular a las paredes del bisel, como se dijo anteriormente muy parecido a la solidificación de moldes.

En la zona intermedia (zona de transición) constituida por la mezcla del metal fundido con el de base recalentado, la estructura es de granos grandes.

Cuando la soldadura es de varios pases, es decir de un cordón sobre otro, el recalentamiento posterior que se produce al depositar los cordones siguientes, causan transformaciones en las estructuras de los cordones soldificados generalmente el efecto es parecido a un recocido, la capa superior que sufre un recalentamiento presenta siempre el grano más grueso. La soldadura en varias capas tiene además la ventaja de que la temperatura necesaria para el recocido sin tensiones se alcanza en las capas inferiores y, por lo tanto, las grandes tensiones quedan compensadas.

En la soldadura al arco eléctrico la solidificación es casi instantánea, como consecuencia la estructura del metal fundido es más fina, alineada y acicular (estructura basáltica).

Si la soldadura es de varias pasadas, las últimas capas o cordones - producen un efecto parecido al comentado anteriormente para la solda dura a gas, con un refinamiento de la estructura y a la formación de granos poliedros.

### 3.11. PRECIPITACIÓN DE COMPUESTOS DE LA SOLUCIÓN SÓLIDA MADRE:

Una vez que la zona de fusión se ha solidificado, se pueden producir precipitaciones de un compuesto diferente a partir de la solución sólida, debido a que la condición de temperatura a que está el metal - lo permite, por ejemplo en las aleaciones de aluminio, Al-Cu con cantidades pequeñas de magnesio y silicio, los precipitados son de dos tipos: el  $Mg_2Si$  y el  $Cu-Al_2$ ; asimismo en las aleaciones Al-Mg, hay precipitación del compuesto  $Mg_2Al_3$  (Ver soldabilidad del aluminio y aleaciones.).

## FENÓMENOS QUE OCURREN EN LA ZONA

### A FECTADA TÉRMICAMENTE

Desde un punto de vista metalúrgico, la característica más importante de un proceso de soldadura por fusión es el comportamiento térmico de la zona fundida y la zona afectada térmicamente del metal base (ZAT). Al momento de soldar se produce una variedad de tratamientos térmicos a los cuales responden con cambios de sus propiedades en diferentes grados.

La soldadura es un proceso dinámico, en el cual el electrodo (soldadura eléctrica) cambia de posición continuamente en la dirección del avance, esto hace que la temperatura cambie rápidamente durante la -

soldadura, el calor es entregado por el electrodo en movimiento en un movimiento en un punto específico, y debido a que el metal base está frío en un inicio, el calor fluye a través de la pieza, alejándose de la región calentada por el arco, la velocidad a la cual fluye el calor depende de muchos factores incluyendo las propiedades físicas del metal base y de la velocidad a la que es producido el calor por la fuente térmica. En la fig. 3.5 la cual es una ilustración gráfica de las isotermias (líneas de temperatura constante) que se mueven a lo largo del avance de electrodo y siguiendo al arco como las ondas que se forman por el paso de un bote sobre el agua tranquila.

En resumen las consideraciones generales acerca de los ciclos térmicos son:

1. La máxima temperatura alcanzada disminuye a mayor distancia de la soldadura.
2. El tiempo necesario para alcanzar la máxima temperatura es mayor a mayor distancia desde la soldadura.
3. La velocidad de calentamiento y enfriamiento disminuyen a mayores distancias de la soldadura.

### 3.11. PRECIPITACIÓN DE COMPUESTOS EN EL METAL BASE:

El régimen de temperaturas alcanzadas en la zona afectada térmicamente del metal base, también originan en algunos metales, la precipitación de compuestos que afectan las propiedades iniciales del metal base, aumentando su dureza, su fragilidad y pérdida de su ductilidad.

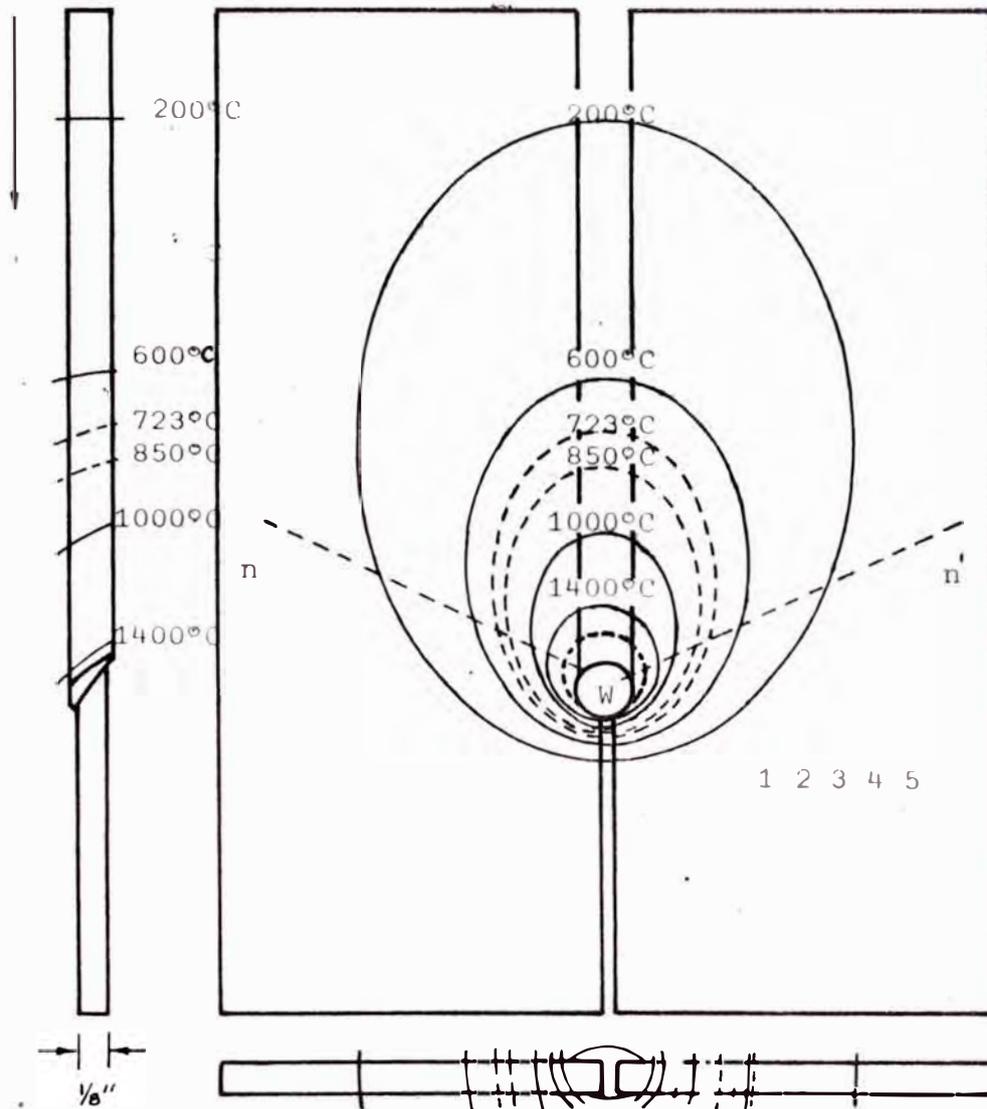


Fig. 3.5 Representación de la temperatura en una placa de acero en un instante dado, durante la soldadura. W = metal líquido, el área oscura, zona en la cual el metal está pastoso entre la temperatura de líquidus y sólidos.

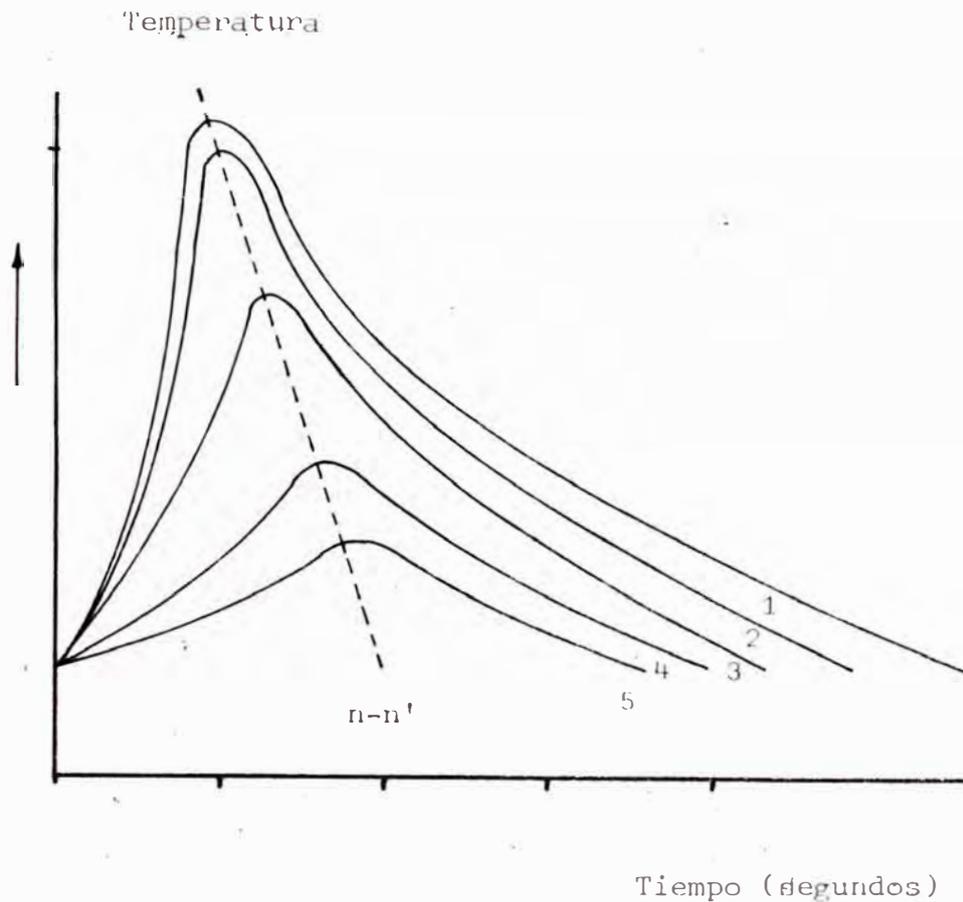


Fig. 3.6 Ciclos térmicos experimentados por los 5 puntos mostrados en la figura 3.5, descritos en una escala arbitraria para mostrar sólo el efecto ( $T_f$  = temperatura de fusión del metal).

Como se dijo anteriormente, un sistema típico de aleación que puede endurecerse por precipitación es aluminio-cobre. El cobre y el aluminio reaccionan químicamente para formar un compuesto intermetálico  $\text{Cu Al}_2$  (46.5% Al, 53.5% Cu) duro y frágil, asimismo en las aleaciones Al-Mg, hay precipitación del compuesto  $\text{Mg}_2\text{Al}$ .

En los aceros inoxidable austeníticos, la temperatura alcanzada al momento de soldar, causan la precipitación de carburos de cromo en los bordes de grano, que dividen posteriormente en la corrosión intergranular (ver soldabilidad de los aceros inoxidable austeníticos).

### 3.12. ENDURECIMIENTO POR PRECIPITACIÓN:

La figura 3.7 muestra una parte de un diagrama de fases, en equilibrio, en donde la fase  $\alpha$  incrementa gradualmente su contenido en el elemento B a medida que se incrementa la temperatura.

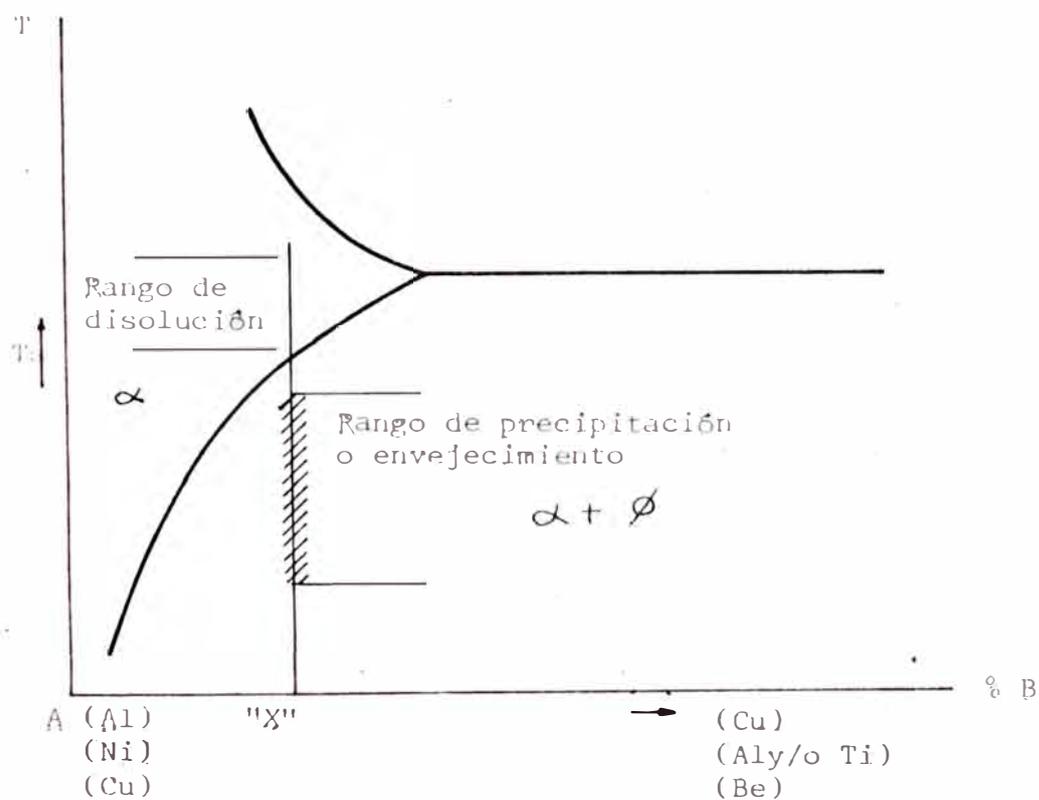


Fig. 3.7. Sistema de aleaciones que sufren reacciones de precipitación por tratamiento térmico.

La aleación "X" estará compuesta de dos fases  $\alpha + \phi$  a la temperatura

ra ambiente, la fase  $\emptyset$  precipita como consecuencia de un enfriamiento en condiciones de equilibrio (enfriamiento lento), en lugares preferidos como son los límites de grano.

La fig. 3.8 muestra las diferentes microestructuras que se pueden obtener en una aleación endurecible por precipitación, variando el tratamiento térmico. Si calentamos lentamente la aleación X hasta la temperatura  $T_s$  o mayor, la fase  $\emptyset$  se disolverá formando una solución sólida homogénea  $\alpha$  (fig. 3.8 b), la microestructura que se obtiene después de un enfriamiento, dependerá de la forma en que se ha enfriado la pieza; mediante un enfriamiento lento, volverá a precipitarse la fase  $\emptyset$  en los bordes del grano (fig. 3.8c). Si a esta misma solución sólida  $\alpha$  se lo enfría rápidamente la fase  $\emptyset$  no tendrá tiempo de precipitarse y permanecerá en solución, presentando a temperatura ambiente una microestructura muy parecida a la obtenida a temperaturas elevadas (fig. 3.8 d), pero esta será inestable como puede verse al analizar el diagrama de equilibrio de la fig. 3.7 En condiciones de equilibrio y a la temperatura ambiente, la aleación debe contener tanto  $\alpha$  como  $\emptyset$  en consecuencia, la  $\alpha$  homogénea expulsa (precipita) lentamente a  $\emptyset$  a la temperatura ambiente. Si se eleva la temperatura al rango de precipitación o envejecimiento de la fig. 3.7, se acelera la precipitación y se obtiene una estructura similar a la de la figura 3.8 e, con precipitados finamente distribuidos.

La formación de los precipitados finos causa distorsiones en la red cristalina de la solución sólida, esta distorsión y tensión produce el endurecimiento de la aleación. El tamaño y distribución de la segunda fase como un precipitado de partículas finas altera significativamente la resistencia de la aleación.

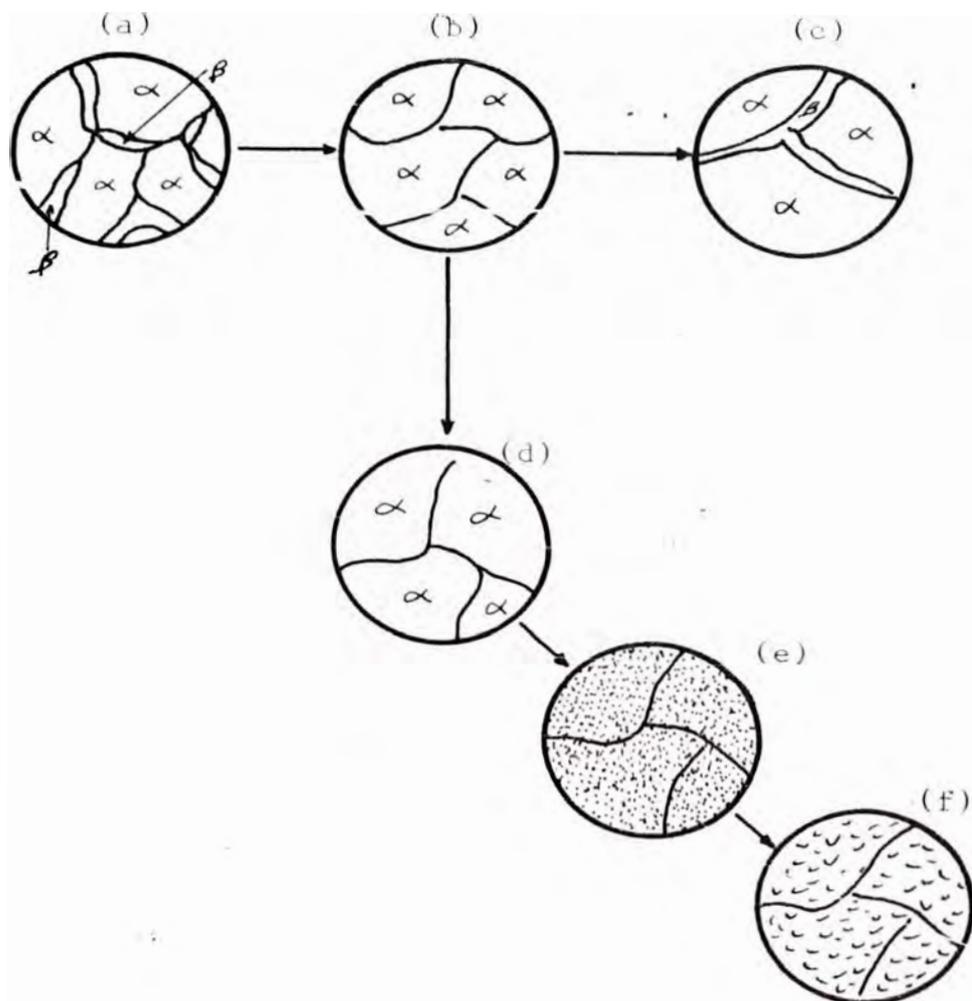


Fig. 3.8. Cambios microestructurales en una aleación endurecible por precipitación, durante varios estados de un tratamiento térmico.

La tabla 3.1 enumera algunas aleaciones que presentan endurecimiento por precipitación o reacción de envejecimiento. Por ejemplo, en las aleaciones a base de níquel, el titanio y el aluminio son dos elementos usados comúnmente para obtener la fase endurecedora, el

compuesto que se forma durante la precipitación es  $Ni_3(Al,Ti)$ , en las aleaciones de aluminio, el cobre, el cual forma  $CuAl_2$  como un resultado del envejecimiento. Ciertas cantidades de cobre al acero, aluminio al magnesio o cromo al titanio producen precipitaciones similares.

Fierro	Níquel	Aluminio	Magnesio	Titanio
17-4PH	Inconel X	2014	AZ 80 A	6Al - 4V
17-7PH	Rene 41	2024	ZK 60 A	4Al-3Mo-1V
PH-15-7Mo	Udimet 500	6061	H M21 A	16V2.5Al
Am 350	Waspaloy	7002	ZE62 A	6Al-6V-6Sn
19-9 DL	Inconel 700	7039	ZH 62 A	13V-11Cr-3Al
A 286	M 252	7075	EZ 33 A	

Tabla 3.1 Aleaciones típicas endurecibles por precipitación.

#### 3.14. SOLDADURA DE LAS ALEACIONES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN:

Cuando éstas aleaciones son soldadas por procesos de fusión, los ciclos térmicos afectan el estado de precipitación de la segunda fase. En la figura 3.9 se pueden ver la distribución de las máximas temperaturas alcanzadas durante una soldadura hipotética, la zona de fusión así como la zona afectada térmicamente alcanzan rangos de temperatura capaces de causar modificaciones en la fase precipitada. Si la aleación ha sido envejecida antes de ser soldada puede ocurrir que: las áreas que alcanzan temperaturas por encima de  $T_s$  redisolven la segunda fase; la zona que alcanza a las justas la temperatura  $T_s$ , redisolverá cuando menos parcialmente la fase precipitada, y a aquellas áreas que alcanzan temperaturas del rango de envejecimiento,

precipitarán o no posteriormente, dependiendo de la velocidad de enfriamiento (de acuerdo a las condiciones de soldeo).

La mejor técnica para soldar las aleaciones endurecibles por precipitación es, cuando los precipitados se encuentran en solución como consecuencia de un tratamiento térmico previo, usando baja entrada de calor.

Puede haber otras consideraciones como el tamaño y la forma de la pieza, la facilidad de tratamiento posterior a la soldadura, la sensibilidad a las rajaduras, todos ellos deben ser considerados antes de soldar para cada caso específico.

La selección del metal de aporte para soldar una aleación endurecible por precipitación es importante en los casos en que las propiedades del metal base sean importantes para el diseño, el material de aporte debe ser de un análisis químico lo más semejante posible al del metal base, si esto no es controlado será imposible obtener las propiedades deseadas por tratamientos posteriores a la soldadura.

### 3.15. CAMBIOS DE DIMENSIONES EN UN PROCESO DE SOLDADURA:

Las diferentes temperaturas presentes en la zona afectada térmicamente del metal base, originan tensiones internas que dan como resultado la deformación de la pieza.

Existen tres formas básicas de cambios de dimensión, la más frecuente es la dilatación térmica (fig. 3.10), y el grado en que se produce es función de la temperatura al cual está sometida la pieza, la dilatación es volumétrica pero se expresa mayormente en forma lineal, el cual es más fácil de medir y calcular por la siguiente relación :

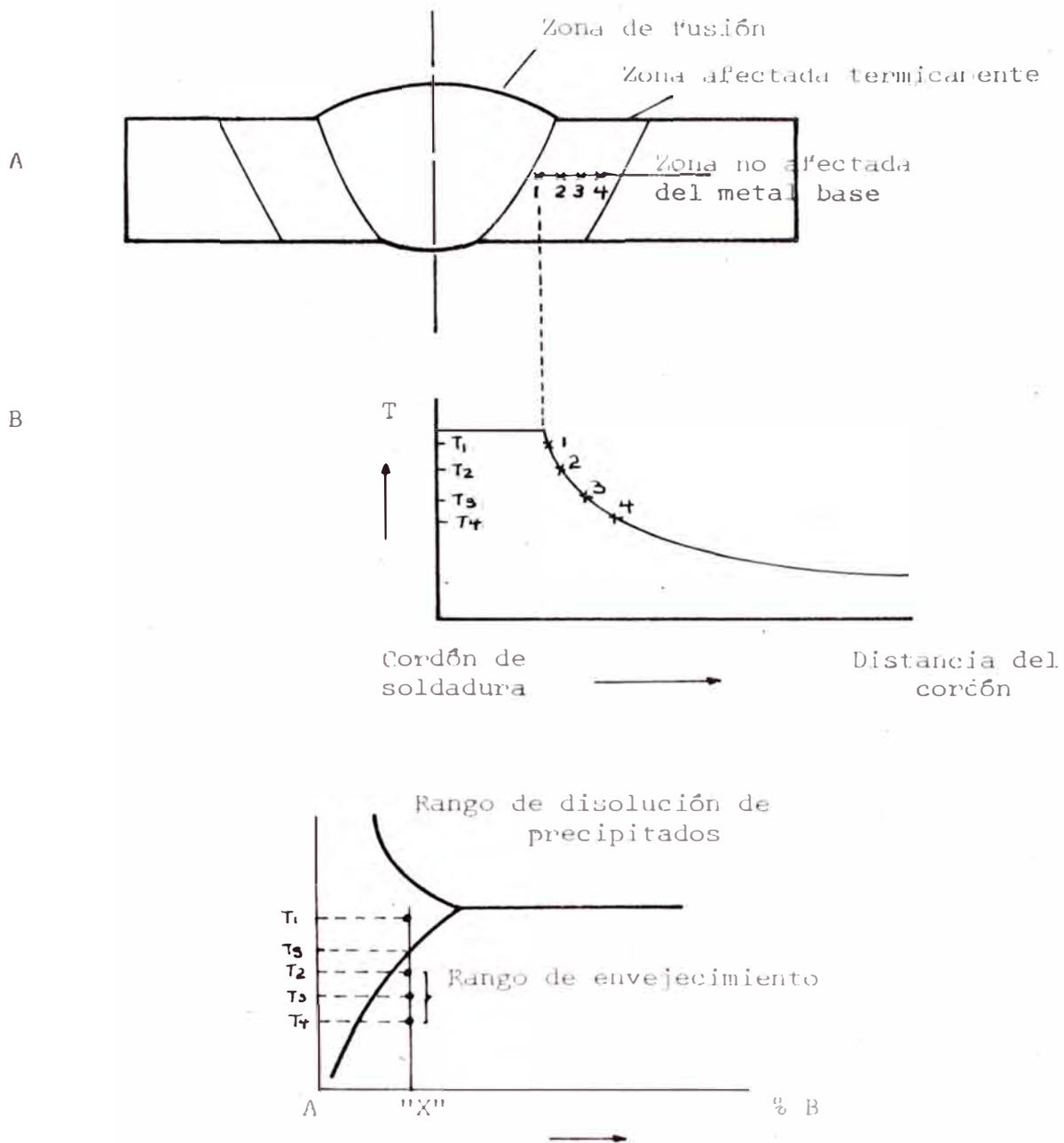


Fig. 3.9 Distribución de la temperatura en la soldadura de una aleación endurecible por precipitación (A) sección transversal de la aleación X; (B) distribución de temperaturas (C) Diagrama de la aleación X con las temperaturas alcanzadas en la zona afectada térmicamente.

$$L_f - L_o = L_o \cdot a \cdot (T_f - T_o)$$

Donde :  $L_f$  = longitud final de la pieza en pulgadas

$L_o$  = longitud inicial en pulgadas

$a$  = coeficiente de dilatación térmica en, pulgadas por pulgada por oF.

$T_f$  = Temperatura final en oF

$T_o$  = Temperatura inicial en oF.

Los coeficientes de expansión térmica no son constantes para rangos grandes de temperatura por ejemplo: desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de fusión.

Los metales que tienen un mayor coeficiente de dilatación térmica presentan mayor problema de deformación, especialmente si la conductividad térmica es baja. La tabla 3.2 muestra algunos coeficientes de dilatación para algunos metales.

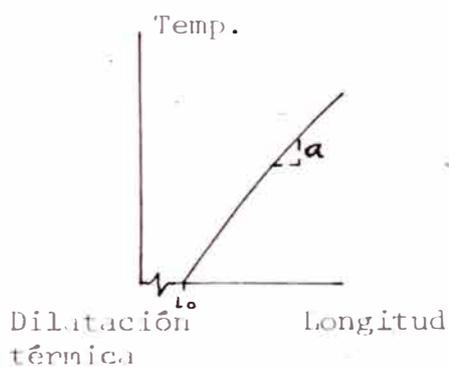


Fig. 3.10 Causa más común de cambio de dimensiones de la pieza.

Para comprender los efectos de dilatación y contracción durante el proceso de soldadura, consideraremos tres casos concretos.

### 3.16. DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN LIBRES:

Consideraremos una pieza metálica en forma de prisma rectangular, o una pieza en forma de C (Fig. 3.11).

Por calentamiento uniforme estas piezas se dilatan en todas direcciones y vuelven a tomar su forma primitiva al enfriarse.

La dilatación y contracción no son estables, la acción es reversible

### 3.17. DILATACIÓN OBSTACULIZADA Y CONTRACCIÓN LIBRE:

Entre los brazos de la pieza A, en forma de U, de gran espesor, colocaremos sin juego otra pieza B (fig. 3.12). Calentamos solamente la pieza B, (el calentamiento del conjunto no es uniforme)

Metal	Pulg/pulg./oF $\times 10^{-6}$	Metal	Pulg./pulg./oF $\times 10^{-6}$
Al	13.1	Mn	2.7
Be	6.4	Ni	7.4
Cu	9.2	Ag	10.9
Fe	6.5	Ti	4.7
Pb	16.3	W	2.6
Mg	15.1	Zn	22.0

Tabla 3.2 Coeficiente de dilatación térmica para algunos metales a 68 oF

Como la dilatación no puede efectuarse en el sentido longitudinal, la

pieza B queda comprimida en caliente por A. Calentando suficiente - mente (de 500 a 600°C) ante el efecto de importantes fuerzas de com - presión sufre una deformación plástica.

Al enfriarse B, se contrae guardando su nueva forma y una longitud - más corta que inicialmente.

### 3.18. DILATACIÓN Y CONTRACCIÓN OBSTACULIZADA:

Si B en lugar de estar libre para concaerse, forma cuerpo con A - los fenómenos por el calentamiento son los mismos, pero al enfriar - se B ejerce un esfuerzo de tracción sobre los brazos de la U (fig. 3.13). Una vez que la pieza se enfría completamente, los brazos se curvan elásticamente.

Se crea una contracción interna en el conjunto AB, esta contracción

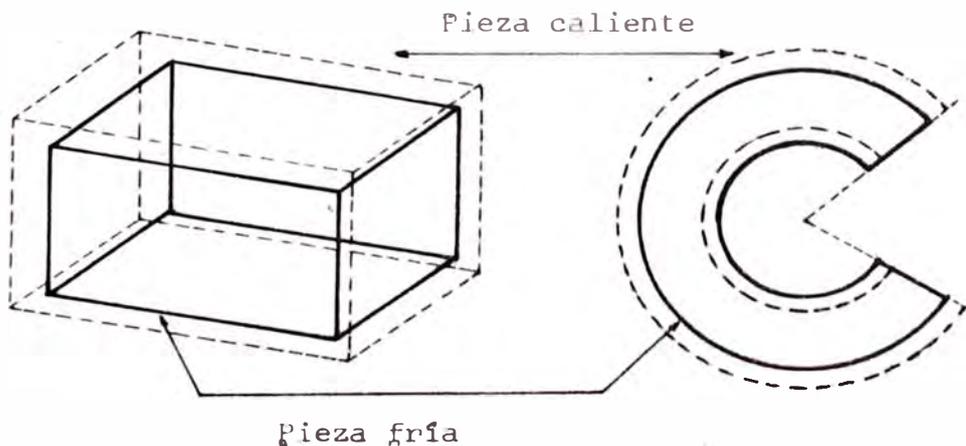


Fig. 3.11 Dilatación y contracción libre, piezas calentadas uniforme - mente.

puede verse en evidencia cortando B por el medio; la U vuelve a tomar su forma y la zona cortada se separan. Así se libran las tensiones internas creadas por el calor no uniforme de la pieza.

En adición a esta forma básica de dilatación y contracción, se produce un cambio de volumen cuando un metal se funde. Este cambio de vo

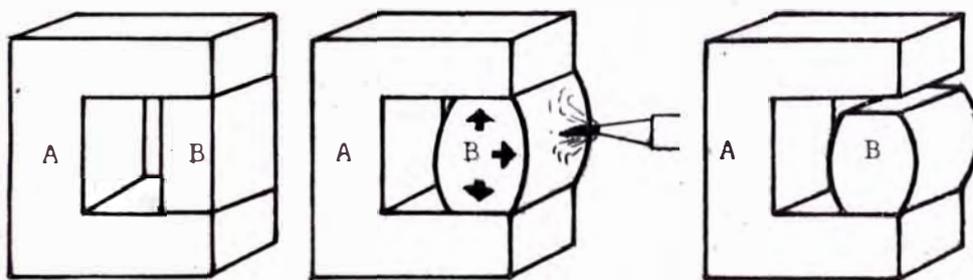
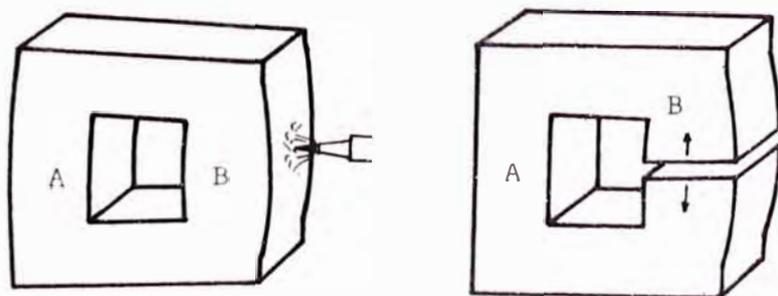


Fig. 3.13. Dilatación obstaculizada y contracción libre

lumen a la temperatura de fusión es brusco como se muestra en la fig 3.14, el cambio de volumen es de 3% a 6% generalmente en la mayoría de los metales. Cuando el metal se enfría a la temperatura ambiente el proceso se invierte dando como resultado un rechupe al final de la soldadura.

Fig. 3.13. Dilatación y contracción obstaculizada



finalmente puede ocurrir un cambio de dimensión como resultado de la transformación de fase. Cuando se produce una transformación de fase, usualmente se produce un cambio de volumen debido a que el arreglo estructural de átomos es diferente produciendo diferentes densidades, este comportamiento puede ser visto en la fig. 3.14 que muestra el cambio de volumen.

No todos los metales cuando alcanzan la temperatura de transformación se contraen, y se dilatan cuando se enfrían como se muestra la figura, esto es una función del arreglo atómico involucrado. No todos los metales sufren transformación, pero los metales más importantes como los aceros y algunas aleaciones de titanio, cobalto y circonio sufren estas transformaciones por cambio de temperatura,

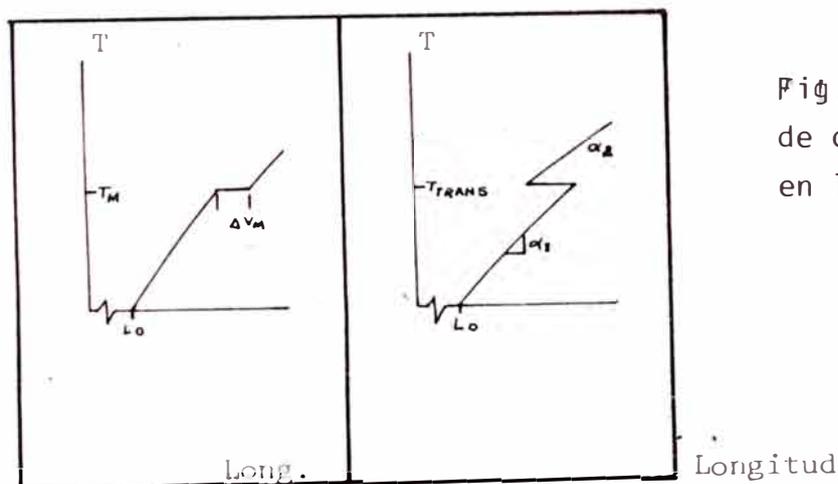


Fig. 3.14 Causas y formas de cambios dimensionales en los metales

Cambio de volumen en el punto de fusión ( 3 a 6%)

Cambio de dimensiones a la temperatura de transformación

### 3.19. PRECALENTAMIENTO:

El precalentamiento consiste en elevar la temperatura de la pieza por encima de la de sus alrededores, puede ser en toda la pieza o localizada, la temperatura necesariamente de precalentamiento depende de la composición del metal base, de las dimensiones de la pieza y del proceso de soldaduras, la temperatura apropiada varía de  $30^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$ .

El precalentamiento tiene como finalidad (a) prevenir las trizaduras en caliente, (b) reducir la dureza en la zona afectada térmicamente, (c) reducir las tensiones residuales y (d) reducir la distorsión.

Como se puede ver en la figura 3.15, a mayor temperatura de precalentamiento menor será la velocidad de enfriamiento después de soldar.

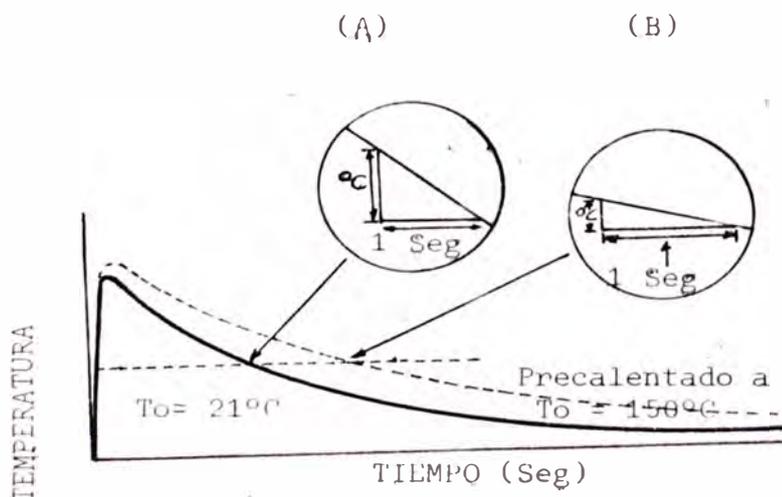


Fig.3.15 El principal propósito del precalentamiento es disminuir la velocidad de enfriamiento como lo muestra los gráficos (A) y (B) sin precalentamiento y con precalentamiento a  $150^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

### 3.20. POST CALENTAMIENTO:

El post calentamiento de toda la pieza o solamente una zona localizada puede ser realizado con las siguientes finalidades:

1. Remover tensiones
2. Aumentar la tenacidad
3. Incrementar la resistencia mecánica
4. Aumentar la resistencia a la corrosión
5. Remover el endurecimiento por trabajo o deformación.

Para conseguir estos cambios se puede hacer uno de los siguientes tratamientos térmicos: 1) tratamiento térmico de alivio de tensiones, 2) revenido, 3) recocido, 4) normalizado, 5) templado, 6) austenitizado y 7) martensitizado.

### 3.21. TRANSFORMACIONES DE FASE EN EL ACERO:

Al igual que otros sistemas aleados, las aleaciones Fe-C se solidifican en un rango de temperaturas, con diferentes temperaturas de "líquido" y "sólido" para cada composición. A medida que el contenido de carbono aumenta (y hasta 4.3%), la temperatura de "líquido" y "sólido" decrecen.

Las transformaciones de fase que pueden producirse en los aceros son:

#### 1. Transformación Ferrita Delta a Austenita

- a) Ocurre a una  $T = 1400^{\circ}\text{C}$ , con esencialmente hierro puro. Pueden incrementarse a una  $T$  máxima = 1492 con mayor contenido de Carbono.

b) La fase Ferrita Delta no puede existir en aceros con C 0.40%.

## 2. Transformación Austenita-Ferrita

a) Es la transformación más importante en los aceros, ya que es la base para casi todos los tratamientos térmicos del acero.

b) Ocurrirá esencialmente en hierro puro a  $T = 910^{\circ}\text{C}$ . Si aumenta el contenido de Carbono, la transformación ocurre sobre un rango de temperatura. La temperatura superior de este rango varía de  $910^{\circ}\text{C}$  a  $723^{\circ}\text{C}$ , a medida que aumenta el Carbono.

3. La temperatura crítica " $A_1$ " inferior permanece constante a  $723^{\circ}\text{C}$  para todos los aceros. La Austenita puede disolver hasta 2.0% de C en Solución Sólida. En todo caso, la Ferrita puede disolver un máximo de solo 0.025% de C. Debajo de la temperatura " $A_1$ ", la Austenita se transforma a Ferrita.

Lo anterior puede ilustrarse en el conocido diagrama Hierro-Carbono.

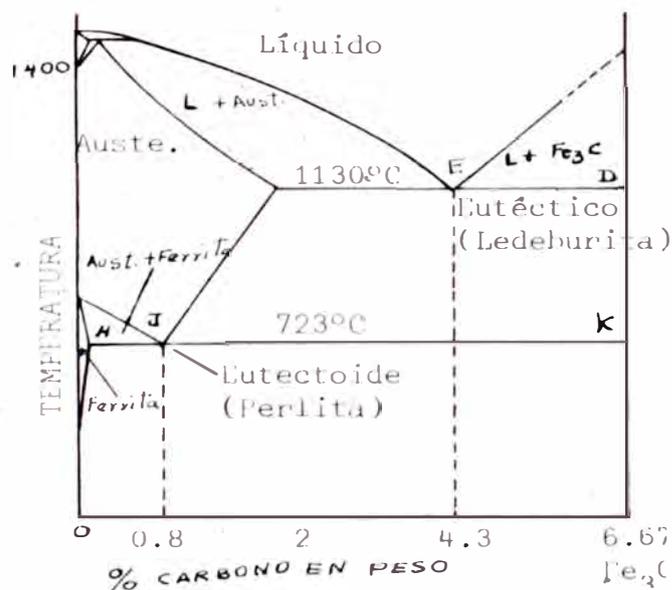


Fig. 3.16 Diagrama Fe -Fe<sub>3</sub>C

### 3.22. RELACIÓN ENTRE LAS TEMPERATURAS ALCANZADAS AL SOLDAR CON EL DIAGRAMA: Fe - Fe<sub>3</sub> C

La fig. 3.17 muestra el perfil de temperaturas máximas alcanzadas en distintos puntos de la ZAT de un acero 1030.

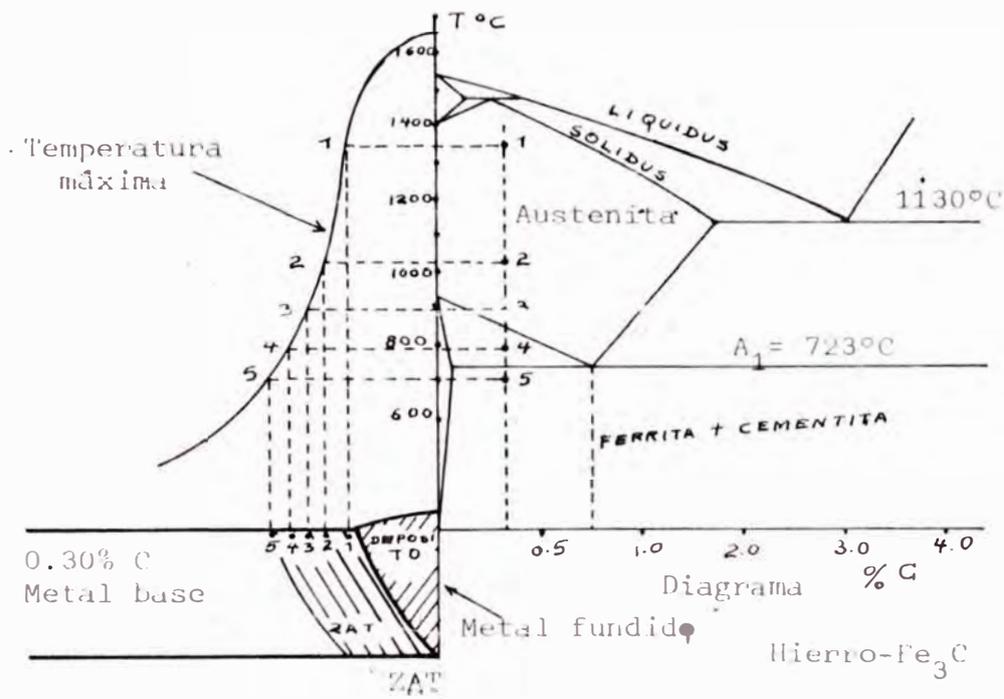


Fig. 3.17. Relación entre temperaturas generadas durante la soldadura y el diagrama Fe - Fe<sub>3</sub> C

El punto superior (1) ha sido calentado por sobre 1315°C. La austenita que se forma será gruesa. (Recordemos que en la ZAT, el metal se encuentra en estado sólido, lo que es corroborado por la figura.

El punto (2), ha sido calentado a  $982^{\circ}\text{C}$  y su estructura es completamente austenítica. A esta temperatura, la austenita no experimenta el fenómeno de crecimiento de grano (estructura frágil).

El punto (3), ha sido calentado justo por sobre  $A_3$  y nos encontramos con una estructura austenítica pero no completamente homogénea.

Punto (4), ha sido calentado a  $760^{\circ}\text{C}$  aproximadamente (Entre  $A_3$  y  $A_1$ ) parte de esta estructura será austenita. Al enfriarse, esta zona puede tener una ductibilidad pobre debido a que no se ha enfriado de una estructura homogénea.

El punto (5), ha sido calentado  $648^{\circ}\text{C}$ , debajo de  $A_1$ , por lo que no se ha formado austenita. El metal base será suave (recocido)

Estas regiones de la ZAT pueden manifestar varios tipos de estructuras y propiedades.

### 3.23. DIAGRAMAS TTT (TRANSFORMACIONES ISOTÉRMICAS)

El diagrama Fe-C sólo nos provee información respecto a las estructuras que se forman bajo condiciones de equilibrio. Es por ello que no nos dice nada respecto de la transformación de la austenita a alguna de las estructuras bajo condiciones de no equilibrio (velocidades de calentamiento y enfriamiento rápidas), como austenita a bainita, austenita a martensita, etc..

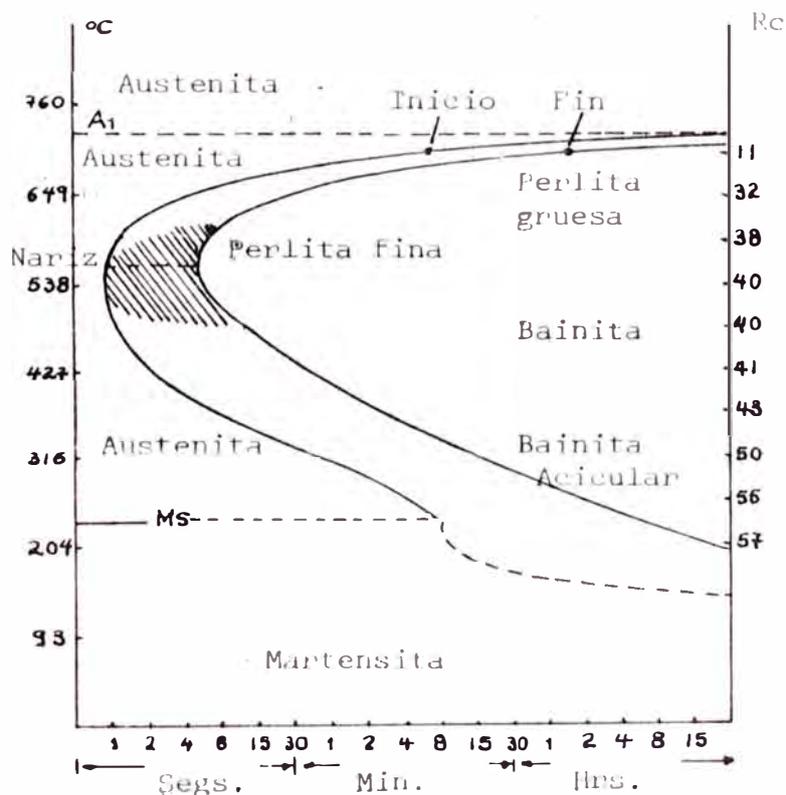
El diagrama TTT es un gráfico, en el cual se muestra a que velocidades, tiempos y temperaturas se transforma la austenita en perlita, bainita, martensita. La fig. 3.18 describe un diagrama TTT para un -

acero al carbono de  $C = 0.8\%$  (existe un diagrama TTT para cada tipo de acero).

Hemos mencionado también al diagrama TTT como diagrama de transformaciones isotérmicas. Ello se debe a que las transformaciones a que se refiere éste gráfico, se producen al mantener la temperatura constante durante tiempos específicos:

Es así como, para el caso de un acero al carbono con  $C = 0.8\%$  lo sometemos primeramente a una temperatura de  $704^{\circ}\text{C}$  y lo mantenemos a dicha temperatura.

Fig. 3.18 Diagrama para la descomposición de austenita en un acero al carbono eutectoide



Con  $T = 704^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 0$ , no ocurre ninguna transformación.

Con  $T = 704^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 500$ , secs (aprox. 8 min.) empieza la transformación de austenita, la cual finaliza con  $T = 704^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 4000$  secs. (1-hora). La estructura que hemos obtenido es perlítica, con una dureza de aproximadamente  $15 R_C$ .

Si se disminuye la temperatura de transformación isotérmica a  $565^{\circ}\text{C}$ , nos situamos en la "nariz" de este diagrama TTT para un acero con  $C = 0.8\%$  y nos encontramos con una aceleración de la transformación, la cual comienza con  $t = 1$  sec. y se convierte completamente en perlita fina en  $t = 5$  secs.. Como se mencionó anteriormente, la perlita fina es bastante más dura que la perlita gruesa, obteniéndose ahora una dureza de  $R_C = 41$

Analicemos el efecto de distintas velocidades de enfriamiento, sobre un diagrama TTT (fig. 3.19)

La curva de enfriamiento 1, muestra una velocidad de enfriamiento muy lenta, típica del recocido convencional. El diagrama indica que el acero permanecerá austenítico, por un período relativamente largo. La transformación empezará cuando la curva de enfriamiento cruce el principio de la transformación (punto  $X_1$ ). El producto de la transformación a esa temperatura será perlita muy gruesa y la transformación continuará hasta el punto  $X_1$ . Como hay una ligera diferencia en temperatura entre el principio y el fin de la transformación, también habrá una ligera diferencia en la finura de la perlita formada al principio y al final. El producto final será perlita gruesa, con bajo grado de dureza. Por debajo de la temperatura de  $X'_1$ , la rapidez de enfriamiento no tendrá efecto en la microestructura en las

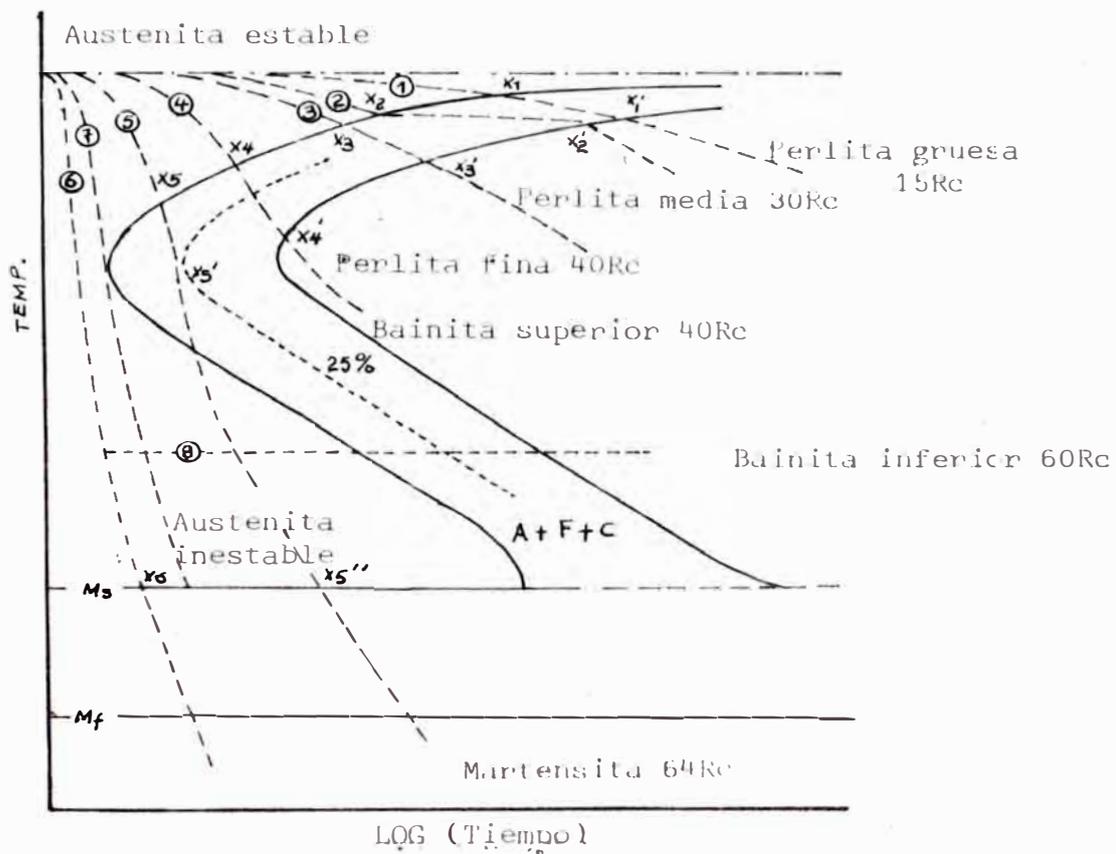


Fig. 3.19 Diagrama TTT con distintas curvas de enfriamiento

propiedades. El material puede ahora enfriarse rápidamente, sin que haya cambio alguno (Se encuentra en fase estable).

La curva de enfriamiento 2, ilustra un ciclo de recocido, que se ha diseñado a partir de este diagrama TTT. El proceso se lleva a cabo enfriando el material rápidamente, desde arriba del intervalo crítico, hasta una temperatura predeterminada  $X_2$  y manteniéndolo durante el tiempo indicado para producir la transformación completa.

El contraste con el recocido convencional, este tratamiento produce una microestructura y dureza más uniforme, con un ciclo más corto.

La curva de enfriamiento 3, está a una velocidad de enfriamiento mayor que la del recocido y puede considerarse de normalización. Como existe una diferencia de temperaturas (gradiente y temperatura) mayor, la microestructura mostrará mayor variación en la finura de la perlita y menor proporción de perlita gruesa.

La curva de enfriamiento 4, es típica de un temple lento en aceite y la microestructura será una mezcla de perlita media y fina.

La curva de enfriamiento 5, típica de una velocidad intermedia de enfriamiento, empezará a transformarse a perlita fina en un tiempo relativamente corto. La transformación continuará hasta que la curva sea tangente a algún porcentaje transformado (25% por ejemplo), punto  $X'_5$ .

Por debajo de esta temperatura, la curva de enfriamiento irá en una dirección de disminución de porcentaje transformado. Como la perlita no puede formar austenita al enfriarse, la transformación deberá detenerse en  $X'_5$  (el enfriamiento continuará, pero sin existir transformación). En  $X'_5$ , la microestructura constará de un 25% de perlita, que rodeada totalmente los granos austeníticos aún existentes. Se mantendrá en esta condición, hasta la línea  $M_5$  se cruce en  $X'_5$ . La austenita restante se transforma ahora en Martensita. La microestructura final a temperatura ambiente consistirá de 75% de Martensita y 25% de perlita fina.

La curva de enfriamiento 6, típica de un temple drástico, es lo suficientemente rápido, como para evitar la transformación (la curva no ingresa al área de transformación).

Se conserva la austenita hasta que la curva 6, alcanza el punto  $X_6$  y

corta la línea de inicio de la martensita. La transformación de austenita a martensita tendrá lugar entre las líneas  $M_s$  y  $M_f$  ( $M_s$ : martensite start,  $M_f$ : martensite finish). La estructura final será 100% martensita, con un elevado grado de dureza.

Obviamente, para tener una estructura totalmente martensítica, es necesario evitar la transformación en la zona de la "nariz" del área de transformación.

Por lo tanto, la curva 7, que es tangente a la "nariz", viene a ser la VELOCIDAD CRÍTICA DE ENFRIAMIENTO para este acero.

Cualquier " $V_e$ " menor cortará la curva arriba de la nariz y formará algún producto de transformación más blando. Cualquier " $V_e$ " mayor formará solo martensita.

La velocidad crítica de enfriamiento es, por lo tanto, un parámetro básico, al considerar la soldabilidad de cualquier acero y tendremos a trabajar con una  $V_2 \approx V_e$  crítica.

En general al aumentar el contenido de carbono, las curvas TTT se trasladan hacia la derecha del diagrama.

Aunque la adición de aleantes tiende, en general a retrasar el comienzo de la transformación y a incrementar el tiempo para su terminación difieren mucho sus efectos, tanto en magnitud como naturaleza.

La comparación de este diagrama con el correspondiente al del acero 1035, muestra que la adición de 1.50% de manganeso cambia la curva entera a la derecha, la nariz de la curva es visible ahora y debe endurecer este acero con más facilidad que el acero al carbono.

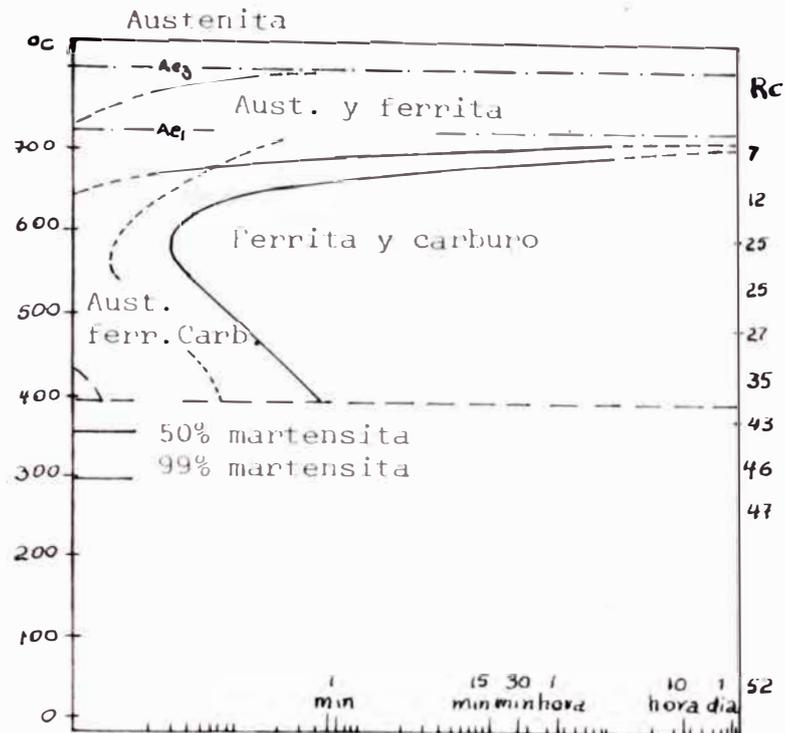


Fig. 3.20 Diagrama +++ para acero SAE 1035

La fig. 3.20 Muestra el diagrama TTT para un acero 1035, la temperatura  $M_s$  es de 398°C aproximadamente. La nariz de la curva no es visible, lo cual indica que resulta muy difícil enfriar este acero con la suficiente rapidez, como para obtener sólo martensita, la microestructura de un acero de bajo carbono templado en agua, muestra una red de ferrita que rodea las áreas grises de martensita de bajo carbono.

En general, el efecto de los elementos de aleación comunes, es el movimiento de la "nariz" del diagrama TTT a la derecha. El vanadio es el elemento de aleación más influyente y, en orden decreciente, tenemos al tungsteno, molibdeno, cromo manganeso, níquel (este último el de menor efecto).

Dado que tanto el carbono como los elementos de aleación influyen en esta traslación de la "nariz" del diagrama TTT, es que a través de investigaciones se ha logrado obtener un equivalente al carbono, del

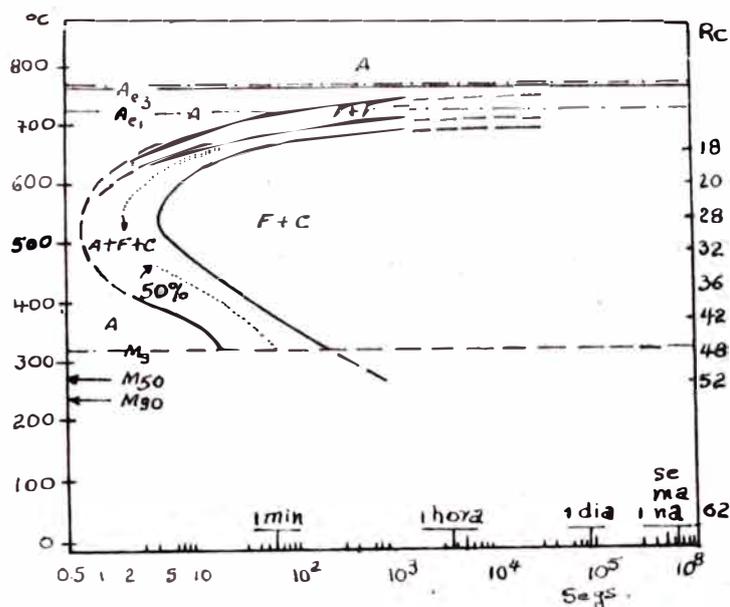


Fig. 3.20 Diagrama +++ para un acero 1050

La fig. 3.21 Muestra el diagrama TTT para un acero 1050, el incremento en el contenido de carbono ha cambiado la curva, alejándola lo suficiente a la derecha, como para hacer que la "nariz" sea ya visible y la temperatura  $M_s$  se ha transformado a  $326^\circ\text{C}$ . En teoría, para formar sólo martensita, será necesario enfriar  $538^\circ\text{C}$ . En teoría, para formar sólo martensita, será necesario enfriar  $538^\circ\text{C}$  en 0.7 segs.

total de los elementos de aleación presentes en un acero.

Una de las fórmulas mas empleadas, es:

$$C_e = \% C + \frac{\%V}{5} + \frac{\%W}{5} + \frac{\%Cr}{5} + \frac{\%Mo}{5} + \frac{\%Si}{5} + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni}{15}$$

En aceros de muy bajo contenido de carbono:

(Fórmula británica).

$$C_e = \% C + \% \frac{\text{elementos aleación}}{20}$$

Nuestro objetivo será el efectuar el trabajo de soldadura tratando de obtener una " $V_e$ " mucho menor que la " $V_e$ " crítica, a objeto de minimizar la formación de martensita.

### 3.24. CÁLCULO DE TEMPERATURAS DE PRECALENTAMIENTO PARA ACEROS:

#### a) Aceros al carbono:

Hasta 0.25% de carbono, no es necesario tomar precauciones especiales, en lo que respecta al precalentamiento de la pieza.

De 0.25% a 0.40% de carbono, es conveniente precalentar la pieza, para no alcanzar la velocidad crítica de enfriamiento.

Por encima de 0.40% de carbono, ES INDISPENSABLE tomar precauciones, en lo que respecta al precalentamiento de la pieza.

#### b) Aceros de baja aleación:

Es preciso controlar la velocidad de enfriamiento en la ZAT y el método de acción más empleado, es el precalentamiento, que tiene por objeto disminuir la pendiente de la curva de enfriamiento ( en diagramas TTT).

El cálculo de la temperatura de precalentamiento lo haremos, considerando el espesor de la pieza, variable fundamental en lo que a disipación de calor se refiere.

$$(1) T_p = 350 \times \sqrt{C_E - 0.25}$$

$$(2) \text{ Donde: } C_E = C_q + C_e$$

$$(3) C_q = \frac{(360 \times C) + 40 \times (Mn+Cr) + 20 \times Ni + 28 \times Mo}{360}$$

$$(4) C_e = 0.005 \times e \times C_q$$

de donde

$$(5) C_E = C_q \times (1 + 0.005 e)$$

Siendo:

$T_p$  = Temperatura de precalentamiento ( $^{\circ}\text{C}$ )

$C_E$  = Carbono Equivalente total (%)

$C_q$  = Carbono equivalente en función de la composición

$C_e$  = Carbono equivalente en función del espesor y de  $C_q$

$e$  = Espesor, (mm).

Ejemplo:

Pieza de acero aleado, de composición:

C = 0.30%

Mo = 0.30%

Mn = 1.00%

Cr = 0.40%

Espesor = 150 mm

Ni = 0.50%

Fe = resto

$$C_q = \frac{360 \times 0.30 + 40(1+0.40) + (20 \times 0.50) + (28 \times 0.30)}{360} = 0.51$$

$$C_E = 0.51 \times (1 + 0.005 \times 150) = 0.89$$

$$T_p = 350 \times \sqrt{0.89 - 0.25} = 280^{\circ}\text{C}$$

c) Aceros de alta aleación:

Debido a la diversidad de aceros que componen este grupo, que presentan particularidades muy diferentes frente a su soldabilidad, es imposible tratarlos en una Introducción. No obstante, conviene dejar aclarado que para estos aceros no son válidas las temperaturas obtenidas por la fórmula  $T_p$  en unos casos, por ser éstas excesivamente elevadas; en otros, porque el precalentamiento puede ser perjudicial, como ocurre con los aceros austeníticos al manganeso y aceros rápidos y/o tratados (hojas de resorte). Por ello, cada uno de estos aceros que forman esta división, deben ser analizados por separado, cuando deban ser soldados.

## CAPITULO 4

### SOLDABILIDAD DE LOS METALES

#### A C E R O S .

##### 4.1. INTRODUCCIÓN A LA SOLDADURA DE LOS ACEROS:

Aleación Hierro-Carbono (Teóricamente entre 0.5 y 1.70% de carbón) con la adición de porcentajes de otros elementos ya sea intencional o inevitable (porcentajes residuales) para obtener determinado resultado. Los aceros son muy utilizados dentro de la industria, - por sus propiedades físicas y mecánicas.

##### 4.2. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS AL CARBONO:

1) Aceros al Carbono.- En estos aceros el porcentaje de Carbón es de vital importancia, ya que al aumentar el mismo, produce cambios en las propiedades de estos aceros.

- Aumenta la dureza
- La resistencia a la tracción también aumenta
- Disminuye la ductibilidad

- Dificulta la soldadura
- Permite el tratamiento térmico del templado
- Disminuye la elongación

El carbón puede estar completamente en solución o bien parte de él, puede formar un compuesto químico llamado carburo de hierro (Cementita). Esta facultad del carbón a formar carburo puede considerarse como un riesgo o factor negativo en la soldadura de los aceros.

#### 4.3. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS AL CARBONO:

Se usa la soldadura oxiacetilénica para los aceros de bajo y mediano carbono y la soldadura al arco para todos los aceros el proceso a seguir en forma general es el siguiente:

1. Limpieza.- La superficie debe estar libre de óxidos, lubricantes, aceites y grasas. Se recomienda usar Perclorohetileno, Tetracloruro de Carbono.
2. Biselar.- De acuerdo al espesor del material a soldar, con medios mecánicos o electrodos para biselar.
3. Pre calentamiento.- Para evitar una disipación muy rápida del calor dado por el arco o el soplete en piezas pequeñas el pre calentamiento muchas veces es innecesario (ver cálculo de la temperatura de pre calentamiento - capítulo anterior).
4. Soldar con electrodos de diámetro más adecuado.-
  - Hacer cordones cortos y alternados

- Martillar el cordón para aliviar tensiones por contracción del cordón cuando se enfría.

#### 5. Enfriamiento lento.-

- Evitar cambio estructural en la zona soldada
- Para facilitar una contracción pareja
- Proteger la pieza con asbesto, ceniza, cal, aserrín, etc..

#### 4.4. ACEROS ALEADOS:

Cuando además del carbón otros elementos son agregados a los aceros al carbono (elementos de aleación) que mejoran sus propiedades físicas y mecánicas, como aumentar o disminuir la propensión al endurecimiento, -aumentar la resistencia a la corrosión, etc..

#### 4.5. ACEROS DE BAJA ALEACIÓN:

Son aleaciones de Fe y C que además tienen otros elementos aleantes en pequeños porcentajes de tal forma que no sobrepasen en total un 6%. Entre estos tenemos como ejemplo:

SAE 2315 Acero al Níquel	3% Ni	0.15% C
SAE 2340 Acero al Níquel	3% Ni	0.40% C
SAE 3240 Acero Níquel Cromo	1.75 Ni	1.0 Cr 0.40 C
SAE 4140 Acero al Molibdeno	1. Cr	20 Mo 0.40 C
SAE 4340 Acero al Molibdeno	1.85 Ni	0.80 Cr 0.25 Mo 0.40 C

#### 4.6 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS DE BAJA ALEACIÓN

Proceso a seguir:

1. Limpieza: La zona a soldar debe estar libre de lubricantes, óxidos y suciedad, para lo cual es conveniente el uso de algún solvent .

2. Biselar: Se puede hacer por medios mecánicos o con un electrodo para biselar.
3. Pre calentamiento: Depende de las dimensiones y complejidad de la pieza.

A continuación, se puede ver aceros de baja aleación más usados y su pre calentamiento:

#### Aceros al Níquel

SAE 2015	Hasta 150°C
SAE 2320	100°C - 250°C
SAE 2340	200°C - 350°C

#### Aceros al Níquel - Cromo

SAE 3115	100°C - 200°C
SAE 3240	350°C - 500°C
SAE 3450	450°C - 600°C

#### Aceros al Molibdeno

SAE 4140	300°C - 400°C
SAE 4340	350°C - 450°C
SAE 4615	200°C - 300°C

4. Soldar: Electrodo adecuados usando diámetros y amperajes mínimos, con cordones cortos y alternos para evitar el sobrecalentamiento de la pieza.
5. Post-Calentamiento: Unos 100°C más que la temperatura de pre calentamiento para evitar las trizaduras y tensiones internas.

6. Enfriamiento lento: Debe ponerse en recipiente tapado con asbesto cal, ceniza, aserrín, etc. de manera que su enfriamiento sea uniforme.

#### 4.7. ACEROS DE ALTA ALEACIÓN:

Cuando el porcentaje en elementos aleantes sobrepasa el 6% en un acero se denomina como altamente aleado. Pertenecen a esta clasificación los siguientes aceros:

- a) Aceros Rápidos
- b) Aceros al Manganeso (Hadfield)
- c) Aceros Inoxidables

#### 4.8. ACEROS RÁPIDOS:

La mayoría de los aceros aleados y todos los aceros al carbono tienen el gran inconveniente de que se ablandan y desafilan a temperaturas superiores a 250°C, lo que limita la velocidad de corte de las herramientas que se fabrican con ellas.

En cambio los aceros rápidos realizados por Taylor y White en 1898 trabajan a temperaturas hasta de 600°C conservando su dureza y filo inicial. Esto permite una velocidad de trabajo mucho mayor y de ahí su nombre de Aceros Rápidos.

Los aceros rápidos contienen relativamente elevados tres elementos de aleación fundamentales: Wolframio, Cobalto, Molibdeno y dos elementos accesorios el cromo y el vanadio.

El Wolframio mejora la resistencia en caliente y aumenta la resistencia al desgaste.

- El Molibdeno en forma similar al Wolframio pero más intensa, tiene el inconveniente de bajar el punto de fusión del acero y aumenta la tendencia a la descarburación.
- El cobalto mejora la resistencia en caliente y eleva la temperatura de fusión.
- El Cromo favorece la formación de carburos, aumenta la templabilidad. El vanadio mejora la resistencia al desgaste
- El carbono de 0.65 a 0.85% para obtener el temple y gran dureza.

#### 4.9. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS RÁPIDOS

1. Limpieza
2. Biselar
3. Las partes grandes y complejadas precalentar de 200-480°C
4. Soldar, determina sobre chatarra de acero el amperaje de operación más bajo posible, dirija el arco sobre el desecho y luego lleve al arco de soldadura. Depositar e 5 a 8 cm. martillar, usar arco corto un poco vaivén.
5. Post-calentamiento de las secciones grandes y complicadas.

#### 4.10. ACEROS AL MANGANESO:

Todos los aceros tienen un contenido de manganeso que es el residuo - del proceso de oxidación y desulfuración en la obtención del acero; - generalmente estas cantidades son menores de 1%, sobre un 1% el manganeso es considerado un elemento de aleación.

Entre los aceros al manganeso que se conocen se pueden diferenciar 2 grupos bien definidos.

#### 4.11. ACEROS AL MANGANESO, CON 1% a 2%:

Estos aceros son clasificados por las normas SAE, con los siguientes números: SAE T 13 XX y se consideran como aceros de baja aleación y el procedimiento para soldarlos es el que se describió.

Los tipos más comunes son:

- a) SAE T 1330 con 1 a 2% Mn y 0.30% C  
precalentar entre 200°C - 300°C
- b) SAE T 1340 con 1 a 2% Mn y 0.40% C  
Precalentar entre 250°C - 400°C
- c) SAE T 1350 con 1 a 2% Mn y 0.50% C

#### 4.12. ACEROS AL MANGANESO AUSTENÍTICO:

También conocido como acero Hadfield, en honor al metalurgista Sir Robert Hadfield, que lo descubrió en 1882.

Este acero contiene entre 10% a 14% de Manganeso y 1.0% a 1.4% de Carbono, que es sometido a un tratamiento térmico, que consiste en llevar la pieza después de fundida, a una temperatura de 1050°C y enfriada bruscamente en agua, quedando con una estructura austenítica.

La dureza del acero recién tratado es de Rc 10 y es dúctil. Cualquier trabajo en frío posterior como impactos, martillamiento, doblado, etc., aumenta su dureza superficial aproximadamente a Rc 55 y su núcleo permanece tenaz. Este acero no es magnético. De esta manera, el acero al

manganeso austenítico tiene una gran resistencia a los impactos, por su alta tenacidad y una gran resistencia al desgaste, por su alta dureza.

El acero al manganeso austenítico adquiere su dureza en trabajo con cargas que exceden su límite elástico.

El aumento de la dureza superficial de un acero austenítico se atribuye frecuentemente a la formación de martensita. En una pieza donde se presenta un indicio magnético (indicando la presencia de martensita en la superficie), en un análisis químico posterior ha dado como resultado una composición fuera del rango estándar.

El mecanismo completo del aumento de dureza en trabajo aun no ha sido claramente establecido. Sin embargo, se deduce que la fragmentación del grano o la orientación cristalográfica es importante.

Un trabajo de investigación de la Canadian Bureau of Mines, declara que se han establecido aspectos gemelos de la deformación en el acero al manganeso austenítico. No fue detectada la evidencia de cristales-alfa (martensita) en las probetas.

Normalmente las piezas de acero al Manganeso austenítico no deben ser recalentadas sobre 300°C o enfriadas lentamente, ya que pueden provocar un inicio de la transformación de la austenita, con lo cual disminuirían sus propiedades mecánicas.

Por lo tanto, para soldar este tipo de acero es necesario evitar todo precalentamiento y enfriamiento lento.

#### 4.13. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS AL MANGANESO AUSTENÍTICO:

1. Limpieza.- La zona a soldar debe estar limpia de óxidos, suciedades y lubricantes.
2. Diseño de la junta. Las superficies endurecidas, propias del acero al manganeso austenítico, deben ser removidas por medio de esmeril o con un electrodo especial para biselar, que es más recomendable.
3. Precalentamiento.- No se debe hacer precalentamiento, pues contribuiría a un calentamiento excesivo de la pieza durante la soldadura. Sólo es aceptable cuando la temperatura ambiente es menor de  $-20^{\circ}\text{C}$  o, de forma complicada entre  $50^{\circ}\text{C}$  y  $100^{\circ}\text{C}$ .
4. Soldar.- Escoger el electrodo de menor diámetro y amperaje posible y de mejor calidad. Emplear un arco lo más corto posible. Soldar - con movimiento oscilatorio, describiendo medias lunas no mayor de 2 a 3 veces el diámetro del electrodo y avanzar en forma rápida; - de preferencia usar corriente continua, polaridad invertida o corriente alterna.

Soldar cordones de 10cm. máximo de longitud y martillar inmediatamente para aliviar las tensiones producidas por la contracción del cordón. El martilleo no debe ser excesivo.

La temperatura de la pieza no debe sobrepasar los  $300^{\circ}\text{C}$  y no deben mantenerse durante mucho tiempo se puede enfriar con agua o con aire, pero no sobre los cordones recién depositados. Una manera práctica de controlar la temperatura es poner el dorso de la mano a unos 15cms y soportarlo.

Los tipos de electrodos a usar pueden ser, principalmente, de dos tipos:

- 1) Electrodos inoxidables austeníticos. Estos pueden unir dos piezas de acero al manganeso austenítico o con otro acero al carbono. Solo tiene el inconveniente que no posee la dureza igual al metal base.
- 2) Electrodos de alto contenido de Mn, más un cierto contenido de Cr y Ni, que mantiene un estado austenítico en el depósito, además de adquirir dureza en trabajo. Este tipo de electrodos es mejor que el anterior en estas aplicaciones.

Existe otro tipo de acero al manganeso austenítico, con una adición de 4% de níquel. Esta adición de Ni evita el tratamiento térmico después de la fundición, ya que impide la formación de cementita y mantiene el estado austenítico. El níquel es demasiado caro y resulta económico hacer el tratamiento térmico a un acero al Mn austenítico sin níquel.

#### 4.14. ACEROS INOXIDABLES:

Los aceros inoxidables son básicamente aleaciones de hierro que contienen al menos un 11.5% de cromo.

Los aceros inoxidables se fabrican por procesos convencionales, tales como TREFILADO, EXTRUSIÓN, ESTAMPADO, FORJA, FUNDIDO, SINTERIZADO, etc., su aplicación se encuentra en cualquier tipo de industria, especialmente en la industria de alimentos, petroquímicas, aviación, textil, química, papelera, hospitales, medicina, etc..

De estos aceros útiles por sus propiedades de resistencia, tanto a la

corrosión como al calor, algunos tipos pueden ser tratados térmicamente y proveen excelentes características para herramientas de corte.

SERIE	PRINCIPALES ALEACIONES	CARACTERÍSTICAS
2 XX	Cromo-Níquel Manganeso	Austenítico no Templable
3 XX	Cromo-Níquel	Austenítico No Templable
4 XX	Cromo	(1) Templable Martensítico (2) No Templable Ferrítico
5 XX	Cromo 4-6%	Templable al Aire Martensítico

TABLA 4.1 Designación numérica AISI para los aceros inoxidable

Su rango de aplicaciones incluye estanques, cilindros, containers, tubos, ejes, engranajes, impulsores, válvulas, moldes, matrices, etc..

Los aceros inoxidable son designados por medio de tres dígitos numéricos, según la clasificación establecida por American Iron & Steel - Institute (Ver tabla 4.1).

Como se muestra en la tabla 4.3 la clasificación AISI incluye la serie 5XX, a pesar de que en realidad no son aceros inoxidable son inclui -

dos en la clasificación, generalmente se conocen como "Chrom-Moly" (de Cromo-Molibdeno). Estos aceros contienen solamente de 4 a 6% de cromo con porcentajes aproximados al 0.5% de molibdeno, todos son Martensíticos, ya que responden al temple (inclusive al enfriarse al aire). Sus únicos tipos son 501 y 502 siendo, este último el más utilizado principalmente en la refinería de Petróleo.

#### 4.15. ELEMENTOS DE ALEACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES:

CROMO: Es el elemento de aleación básico por si sólo, el cromo es un metal que tiene capacidad de formar delgadas capas protectoras de óxido, evitando que el resto del metal se siga oxidando.

Este óxido es altamente resistente a la corrosión y a la acción de las temperaturas elevadas (por ser refractorio).

La presencia de cromo en cantidades mayores de 11% asegura la formación de la película protectora en el resto del acero.

Como resultado los aceros inoxidable de Cromo-Puro contienen hasta un 20% de cromo. Al exponer un acero inoxidable a altas temperaturas la película superficial se hace más espesa, pierde transparencia, formando un sello hermético e impermeable altamente resistente a la corrosión y temperatura.

Físicamente el cromo también introduce otros notables efectos, hasta el 14% aproximadamente de cromo en los aceros inoxidable de "Cromo Puro", les permite temple mediante tratamientos térmicos, mientras que los aceros con un contenido superior al 14% de cromo, poseen buena resistencia y mantienen su ductilidad, su posibilidad de temple es un orden más bajo. Estos aceros se vuelven quebradizos como resultado de la formación de carburos de cromo después de haber estado expuesto a altas temperaturas. Por esta razón los aceros de cromo puro imprimen -

ciertas limitaciones a la soldadura.

NIQUEL: La adición de níquel en los aceros inoxidables es siempre en forma complementaria al cromo.

En los aceros inoxidables de cromo-níquel por lo general varía aproximadamente desde el 6 al 22% y el contenido de cromo generalmente de 14 al 26%.

Las propiedades físicas y mecánicas que se imparten a los aceros inoxidables al añadir una cantidad suficiente de níquel son:

- 1.- Se vuelven no-magnéticos
- 2.- Se vuelven no-templables
- 3.- Se endurecen rápidamente al trabajo frío
- 4.- Son especialmente dúctiles bajo condiciones normales
- 5.- Proveen excelentes características de soldabilidad
- 6.- En operaciones a alta temperatura retienen un alto grado de ductibilidad.

COLUMBIO: Se añade como "Estabilizador" en los aceros inoxidables de cromo-níquel por su gran afinidad al carbón.

TITANIO: Al igual que el columbio el titanio se utiliza también como "estabilizador".

MOLIBDENO: Se añade para impartir mayor resistencia al ataque de los medios corrosivos. Además este elemento imparte mayor dureza y resistencia durante el trabajo a altas temperaturas. En aceros "Cromo-Puro", pequeñas cantidades de molibdeno entre 0.50 al 1.0% son altamente be-

neficiosas. En los aceros Cromo-Níquel se ha encontrado que con cantidades del 2 al 4% se obtienen mejores resultados.

OTROS ELÉMENTOS: Hay otros elementos que están siempre presente, en cantidades menores o que se adicionan intencionalmente para usos especiales estos son principalmente el Manganeseo.

#### 4.16. CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS INOXIDABLES:

Desde el punto de vista metalúrgico existen tres tipos fundamentales de aceros inoxidable:

I. MARTENSÍTICOS	Serie 400 Magnéticos 11-5 a 17% Cr 0.1 - 1.6/C
II. FERRÍTICOS	Serie 400 - Magnéticos 17 a 27% Cr 0.18 a 0.20% C
III. AUSTENÍTICOS	Serie 300 - No magnéticos 27% aprox.de Cr. + Ni, C 0.25%

#### 4.17. ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS:

Estas aleaciones tienen una estructura dura y son endurecibles por tratamiento térmico. Todas las aleaciones de este grupo son usados en lugares donde la mayor resistencia, mecánica y al desgaste obtenibles por tratamiento térmico son una ventaja, como por ejemplo, ejes de bomba, paletas de turbinas, toneles de fraccionamiento de aceites, válvulas de agua, etc..

#### 4.18. ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS:

Las aleaciones de este grupo al igual que los martensíticos son "Cromo-

puros" debido a que tienen un mínimo o nada de níquel. La estructura normal ferrítica de estas aleaciones a temperatura ambiente es debido al bajo contenido de carbón en relación al alto contenido de cromo.

Estos aceros no obedecen tratamiento térmico y corresponden a los de mayor resistencia a la corrosión y temperatura en el grupo de los inoxidables al cromo puro.

Se emplean fundamentalmente en la fabricación de matrices de piezas de la industria automotriz, partes de hornos, moldes para vidrios, etc

En este grupo están los tipos AISI 405, 430 y 446, la soldabilidad de estos aceros es limitada por cuanto la zona de soldadura queda quebradiza; no por dureza sino por su tendencia a excesivo crecimiento de grano, provocando una fuerte disminución de la tenacidad y una apreciable reducción de la resistencia al impacto y cargas dinámicas.

A objeto de restaurar el máximo de tenacidad después de soldar, las piezas deben ser calentadas a unos 870°C y enfriados rápidamente en especial a través del rango de temperaturas donde se produce el crecimiento de grano (entre 370 y 750°C).

#### 4.19. ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS:

Son aquellos de la serie AISI 300 con un contenido de 16 a 26% de cromo, de 6 a 22% de níquel y de 0.03 a 0.25% de carbón como máximo. Estos aceros son todos no magnéticos por lo cual pueden ser fácilmente distinguibles de los otros inoxidables.

El acero inoxidable austenítico más conocido es el llamado 18-8 (AISI - 308 y 304) que tienen 18% de cromo y 8% de níquel. El acero inoxidable austenítico tiene muchas propiedades excelentes, incluyendo alta resistencia mecánica y resistencia al escamado a altas temperaturas.

A excepción de unos pocos tipos usados para maquinarias (los cuales contienen azufre, fósforo y selenio), estos aceros con otros aceros de alta aleación, no requieren de precalentamiento ni de recocido después de soldar cuando son usados en condiciones atmosféricas normales.

Los aceros inoxidable austeníticos no endurecen por tratamiento térmico, pero pueden ser trabajados en frío para obtener una mayor dureza. Cuando se ha seguido un proceso de manufactura como el laminado, estos pueden ser luego tratados a 1030 -1120°C y enfriados rápidamente. Una vez que el acero se ha tratado de esta forma se encuentra en las mejores condiciones para resistir la corrosión.

Los aceros de la serie 300 tienen una baja conductividad térmica, y un alto coeficiente de expansión térmica, debido a esto se presenta distorsión a menos que se sigan diseños adecuados a procesos de soldadura para controlar la distorsión.

#### 4.20. ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN:

Estos aceros son usados en aplicaciones que requieren alta resistencia (Desde 125000 a casi 300,000 PSI) dependiendo del tratamiento térmico, buena resistencia a la fractura, resistencia a la corrosión.

Las tres clases de aceros inoxidable endurecibles por precipitación son los aceros inoxidable semiausteníticos, martensíticos, y austeníticos. La composición de algunos aceros representativos son mostrados en la tabla 4.2.

#### 4.21. GRADOS SEMI-AUSTENÍTICOS:

La soldabilidad de los aceros semiausteníticos endurecibles por precipitación es buena, no requiere de precalentamiento ni post-calentamiento, estos aceros son fácilmente unidos por la mayoría de métodos de soldadura por arco, y resistencia, sin embargo para evitar la centralización del calor en soldaduras de paso simple y para evitar la pérdida de aluminio en la soldadura debe utilizarse soldadura con gas inerte en soldadura por fusión.

#### 4.22. GRADOS MARTENSÍTICOS:

Estos aceros tienen mayor resistencia a la corrosión que los aceros inoxidable martensíticos regulares, son magnéticos tanto en la etapa de solución como cuando está endureciendo por precipitación, no requieren de precalentamiento ni postcalentamiento para ser soldados. Sirve para la fabricación de válvulas, engranajes, ejes de impulsor, pines para cadenas.

#### 4.23. GRADOS AUSTENÍTICOS:

Estos aceros tienen mejor resistencia a la corrosión que la mayoría de los aceros inoxidable cromo-níquel excelente resistencia a altas temperaturas (mayores de 650°C).

Estos aceros retienen su estructura austenítica a temperatura ambiente después de un tratamiento de solución seguido por el tratamiento de endurecimiento por precipitación.

Los grados austeníticos son los más difíciles de soldar de los tres tipos de aceros inoxidable, endurecibles por precipitación. El proceso que da mejores resultados es el proceso TIG, manteniendo el calor aportado lo más bajo posible, el metal debe estar en la etapa de tratamiento

ALEACIÓN	COMPOSICIÓN (%)							
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Al	Mo	OTROS
S E M I - A U S T E N Í T I C O S								
17 - 7	0.09	1.0	1.0	17	7	0.75-1.5		
PH 15-7 Mo	0.09	1.0	1.0	15	7	0.75-1.5	2.5	
AM 350	0.12	0.9	0.5	16.5	4.5		2.9	0.10 N
PH 14-8 Mo	0.04			14	8.0	1.2	2.3	
M A R T E N S Í T I C O S								
INOX W	0.12	1.0	1.0	17	7	1.0		1.0 Ti, 0.2 N
17-4 PH	0.07	1.0	1.0	16	4			4 Cu, 0.3 Cb+Ta
15-5 PH	0.07	1.0	1.0	14.8	4.5			4 Cu, 0.3 Cb+Ta
414 Ti	0.08	1.0	0.75	11.5	2.5			0.75 Ti
ALMAR 363	0.05	0.3	0.15	11.5	4.5			0.5 Ti
PH 13-8 Mo	0.03			12.5	8.0	1.1	2.2	
AM 362	0.03			14.5	6.5			0.8 Ti
A U S T E N Í T I C O S								
A 286	0.08	7.5	0.7	1.47	2.6	0.35		1.3 Ti, 0.3 V
17-10P	0.12	0.7	0.6	17	10.25			0.3 P
HM	0.30	3.5	0.5	18.5	9.5			0.25P

Tabla 4.2 Composición de aceros inoxidable endurecibles por precipitación

de solución, y es más recomendable hacer pases múltiples con cordones ligeros.

#### 4.24 SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS:

Como se dijo anteriormente estos aceros inoxidable son muy duros y - frágiles, con una alta tendencia a trizaduras durante la soldadura, - para soldarlos se debe seguir el siguiente procedimiento:

- 1) Precalentamiento de 150 a 200°C, especialmente para piezas con espesores mayores de 1/8 de pulgada, y porcentajes de carbono mayores a 0.10%.
- 2) Soldar con el electrodo adecuado; si el depósito de soldadura va a recibir un tratamiento térmico posterior para alcanzar un nivel de resistencia específica, la pieza debe ser soldada con un electrodo de cromo puro como el mostrado en la tabla 4.2.

En el caso de piezas que va a entrar a trabajar sin tratamiento térmico deben ser soldadas con electrodo E 308 ó E 310. Estos electrodos de cromo-níquel son muy dúctiles y resisten las trizaduras por deformación o impacto mejor que cuando la pieza es soldada con un electrodo de cromo puro, sin embargo puede ser necesario usar electrodo de cromo puro por la diferencia en las velocidades de expansión térmica, diferencia de color entre el metal de aporte y el metal base y otras propiedades físicas, aún cuando la pieza no va a recibir tratamiento térmico posterior para entrar a trabajar,

- 3) Post-calentamiento. La pieza soldada debe recibir un recocido o normalizado de 700 a 800°C.

Si la pieza debe recibir un tratamiento térmico antes de entrar a

trabajar (templado y revenido) éste debe ser ejecutado inmediatamente después de finalizar el soldeo.

#### 4.25. SOLDABILIDAD DE ACEROS INOXIDABLES FERRÍTICOS:

Para evitar el crecimiento de grano, no se debe mantener por mucho tiempo el material en rangos de temperatura de 370 a 750°C, para soldar se puede seguir cualquiera de estos métodos

##### I MÉTODO

- 1.- No es necesario precalentamiento
- 2.- Post-calentamiento a una temperatura aproximada de 300°C por 4 horas o más dependiendo del espesor de la sección
- 3.- Enfriamiento rápido a partir de esta temperatura.

##### II MÉTODO

- 1.- Enfriamiento inmediato al mismo tiempo de soldar. para esto, el soldador debe enfriar el depósito en agua a medida que avanza al soldar.

El material de soldadura recomendado para ambos casos es el tipo E 310.

#### 4.26. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS:

Los aceros inoxidable más soldables de la serie AISI son los de tipo austenítico, pero aún estos tienen limitaciones que deben ser tomados muy en cuenta al momento de soldarlos.

Físicamente los aceros inoxidable de la serie 300 defieren marca-

damente de los aceros al carbono comunes, los aceros del tipo austenítico tienen un coeficiente de expansión 50% mayor que los aceros al carbono o los aceros inoxidable de la serie 400, lo cual demanda máximo cuidado para evitar la distorsión de las piezas soldadas.

Por otro lado, la conductividad térmica de los aceros inoxidables es considerablemente menor que la de los aceros comunes.

Esto significa que al soldar el calor aportado permanece por un período mayor en una pequeña área, dando lugar a serios problemas de distorsión luego minimizar el aporte de calor, significa minimizar la distorsión.

Los aceros de bajo carbono tienen una resistencia eléctrica inferior a la de los aceros inoxidables austeníticos, es por esto que los electrodos de aceros inoxidables, tienden a ponerse al rojo más rápidamente que los electrodos de aceros al carbono.

Algunos de estos aceros inoxidables son susceptibles a la formación de la fase sigma cuando están expuestos a ciertos rangos de temperatura altas, las cuales pueden causar trizaduras después de ser soldadas. Este problema puede ser corregido usando electrodos que dejen un depósito con pequeños porcentajes de ferrita (3 a 10%) en una matriz austenítica.

El contenido de ferrita puede ser estimado mediante el cálculo del cromo equivalente y el níquel equivalente, los cuales son graficados en el diagrama de Schaeffler mostrado en la figura 4.1..

La fase sigma es una constituyente cristalográfico que se forma len

tamente a altas temperaturas en los aceros con alto contenido de cromo (20% más), la fase sigma incrementa la dureza, pero disminuye la ductilidad, y la resistencia a la corrosión. Debido a su lenta formación (En el rango de aproximadamente 530 a 870°C), la fase sigma es un problema que se presenta cuando la pieza está expuesta durante largos períodos de tiempo a altas temperaturas (Temperatura de servicio de algunas piezas) esto normalmente no se desarrolla durante la soldadura. La fase sigma puede ser disuelta por un calentamiento a temperaturas mayores de 900°C en un tiempo relativamente corto.

Aunque mecánicamente el cordón de soldadura puede ser satisfactorio en los aceros de cromo-níquel (Austeníticos) el calentamiento de estos materiales pueden causar la corrosión intergranular como se mencionó anteriormente, los aceros más susceptibles a este fenómeno son los que contienen alrededor del 18% de cromo, las condiciones necesarias para la precipitación se presenta mayormente en las soldaduras de pases múltiples, de piezas dobles.

Existen varios métodos usados para reducir o prevenir la precipitación de carburos de cromo en los aceros inoxidable austeníticos.

#### 4.27. TRATAMIENTO TÉRMICO DE DISOLUCIÓN DE CARBUROS DE CROMO:

Calentando la pieza soldada a temperaturas de 1000° a 1100°C y enfriando rápidamente (En agua). Este tratamiento disuelve los carburos precipitados y el enfriamiento rápido no permite que los carburos se precipiten nuevamente.

Este método tiene algunas desventajas, ya que puede causar distorsión de la pieza, y para piezas grandes es imposible acomodarlos en

un horno de tratamiento térmico.

#### 4.28. ACEROS INOXIDABLES DE BAJO CARBONO:

Otra forma de prevenir la precipitación de carburos de cromo es usando aceros inoxidable de bajo carbono, para fabricar piezas y electrodos de soldadura, el contenido de carbón máximo debe ser de 0.038%, y en este pequeño porcentaje el grado de sensitización es tan leve que casi no afecta.

Estos aceros son denominados de "Bajo Carbono" o de "Extra Bajo Carbono" (L.C. o ELC) y deben ser soldados con aleaciones que cubran el análisis del acero y que sean de bajo carbono a extra bajo carbono.

#### 4.29. ACEROS ESTABILIZADOS:

La forma mas comun para prevenir la precipitación de carburos de cromo, especialmente a temperaturas críticas de servicio o donde las condiciones ambientales son severas, es mediante el uso de aceros que contienen Columbio o Titanio, estos elementos tienen mayor afinidad por el carbono, formando carburos de Columbio o carburos de titanio, dejando libre el cromo en solución.

Los aceros que contienen Columbio o Titanio son llamados "Estabilizados" (AISI 347 y 32), debido a que no son sensibles a la corrosión a altas temperaturas.

Para soldar estos aceros deben ser hechos con electrodos estabilizados.

#### 4.30. SOLDABILIDAD DE LOS ACEROS DE LA SERIE 500

Estos aceros deben soldarse con aleaciones que cubran las especificaciones del tipo.

Las piezas a unir deberán precalentarse entre 200 a 260°C a fin de evitar rajaduras durante la soldadura, teniendo la precaución de no dejar bajar la temperatura a menos de 100°C.

Después de soldar la pieza debe calentarse de 870 a 940°C donde se deja enfriar al aire.

En caso de no poder efectuar el recocido, se recomienda usar una aleación para soldar del tipo E 310.

#### 4.31. SOLDADURA DE ACEROS DISÍMILES:

Se llaman aceros disímiles cuando presentan una diferencia sustancial, no solo en composición química, sino también en microestructura, propiedades mecánicas y principalmente en el comportamiento frente a procesos de soldadura, ejemplo acero al carbono con aceros inoxidable.

#### 4.32. EFFECTOS DE LA DILUCIÓN AL SOLDAR CON ELECTRODOS INOXIDABLES:

Debido a la dilución de los metales base, para evitar la formación de una estructura dura y frágil de martensita, es necesario conservar un porcentaje mínimo de cromo, que permita retener en función del níquel, una estructura austenítica-ferrítica (3-10% de ferrita). Debe recordarse que los aceros con bajos porcentajes de cromo y níquel, tales como el SAE 3130 con 0.65% Cr y 1.25% Ni, se caracteriza por su gran templeabilidad.

De otra forma los depósitos totalmente austeníticos son sensibles a las

fisuras de solidificación o fisuración en caliente; por lo que se debe elegir un electrodo con una composición tal que retenga algo de ferrita en una matriz austenítica.

Otra probable causa de fisuración es el hidrógeno presente en el depósito. Estas fisuras en frío, se evitan en primera instancia, empleando consumibles que depositan un metal con niveles bajos de hidrógeno, en cuanto al metal de soldadura, su matriz austenítica lo hace insensible a la fragilización inducida por el hidrógeno presente.

En la tabla 4.3 se muestra designaciones y composiciones químicas para algunos consumibles, según las normas AWS A5.4 del año 1978.

A excepción del E 307 y E 310 con estructuras totalmente austeníticas, todos depositan un metal de aporte puro austeno-ferrítico

Las propiedades mecánicas no son incluidas debido a que el desarrollo en el uso de estos metales de relleno no han progresado lo suficiente como para permitir una estandarización.

Se puede establecer sin embargo que las uniones hechas bajo condiciones de proceso de soldeo controladas tendrán las propiedades mecánicas cuando menos iguales a las del metal base de la misma composición química.

#### 4.33. DIAGRAMA DE SCHAEFFLER;

Mediante su uso es factible predecir en forma aproximada la estructura que tendrá el metal de soldadura como resultado de la participación de los materiales base y de aporte. Para su empleo se parte del cromo y níquel equivalentes, los cuales se determinan mediante las siguientes fórmulas:

Design.	C	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	P	S	Cu
E 307	0.13	18/20.5	9/10.5	0.5/1.5	3.3/4.75	0.9	0.04	0.03	0.50
E 308	0.08	18/21	9/11	0.5	0.5/2.5	0.9	0.04	0.03	0.50
E 308 Mo	0.04	18/21	9/12	2/3	0.5/2.5	0.9	0.04	0.03	0.50
E 309	0.15	22/25	12/14	0.5	0.5/2.5	0.9	0.04	0.03	0.50
E 309 Mo	0.12	22/25	12/14	2/3	0.5/2.5	0.9	0.04	0.03	0.50
E 310	0.20	25/28	20/22.5	0.5	1/2.5	0.75	0.03	0.03	0.50
E 312	0.15	28/32	8/10.5	0.5	0.5/2.5	0.9	0.04	0.03	0.50
E 316	0.08	17/20	11/14	2/2.5	0.5/2.5	0.9	0.04	0.03	0.50

Tabla 4.3 Composición química del metal de aporte puro de los electrodos citados en este artículo según AWS A5.4 - 78

$$\text{Cr eq.} = \% \text{ Cr} + \% \text{ Mo} + 1.5 \times \% \text{ Si} + \% \text{ Nb}$$

$$\text{Ni eq.} = \% \text{ Ni} + 30 \% \text{ C} + 0.5 \times \% \text{ Mn}$$

La fig.4.1 muestra un diagrama Schaeffler donde se han identificado las zonas típicas correspondientes a las propiedades de cada estructura.

Cuando se trata de uniones sobre un único metal base, el punto correspondiente al metal de soldadura estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal de aporte puro, dependiendo su ubicación del grado de dilución que se obtenga con el proceso de la soldadura. En el proceso manual con electrodos revestidos se acepta un 30% como valor típico del grado de dilución, por lo que es usual dividir.

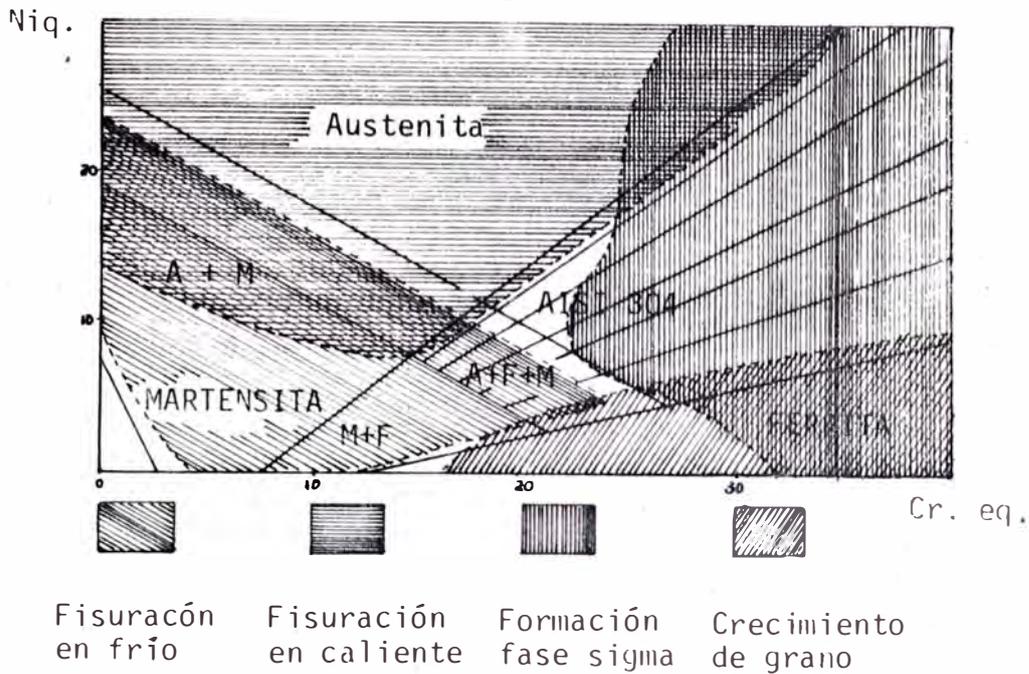


Fig. 4.1 Diagrama Schaeffler y determinación del punto medio a considerar para la aleación del metal de aporte en la unión de SAE - 1010 y AISI 304.

la recta mencionada en diez partes iguales, siendo de ese modo el punto correspondiente al metal de soldadura, el tercero contando a partir del punto de metal de aporte puro.

Cuando la unión involucra dos metales base distintos, el punto correspondiente al metal de soldadura en el diagrama estará ubicado sobre la recta de unión entre el punto correspondiente al metal de aporte puro y algún punto de la recta de unión entre los puntos correspondientes a los metales base, cuya ubicación será función de la participación de cada uno de ellos en el metal de soldadura o grado de dilución.

Usualmente participan en igual grado, por lo que dicho punto puede ubicarse en el centro de la recta (punto MB fig. 4.2). El punto definitivo

del metal depositado se determina luego en forma análoga al caso de considerar un único metal base en la unión.

En el diagrama de la fig. 4.2 se muestra que el electrodo más adecuado para unir dos aceros diferentes ASTM A 204 y AISI 310, es el E 309 Mo, ya que considerando un 30% de dilución de ambos metales base, el punto correspondiente a la composición del depósito tendrá de un 5 a 10% de ferrita en una matriz austenítica.

#### 4.34. ACEROS FUNDIDOS:

Esta denominación es dada al acero que es conducido directamente del horno y vaciado en moldes de donde toma su forma definitiva.

Su clasificación obedece a su composición química dividiéndose en cinco grupos:

- a) Acero fundido al carbón
- b) Acero fundido de baja aleación
- c) Acero fundido de aleación
- d) Acero fundido al manganeso
- e) Acero fundido inoxidable

Estos aceros poseen características parecidas a los aceros mencionados anteriormente.

#### 4.35. HIERRO FUNDIDO:

El hierro fundido llamado también fundición es la designación que se le da a las aleaciones de hierro-carbón que pueden contener de 1.7% a 6.7% de carbono. Sin embargo en la práctica, el contenido de carbono de las-

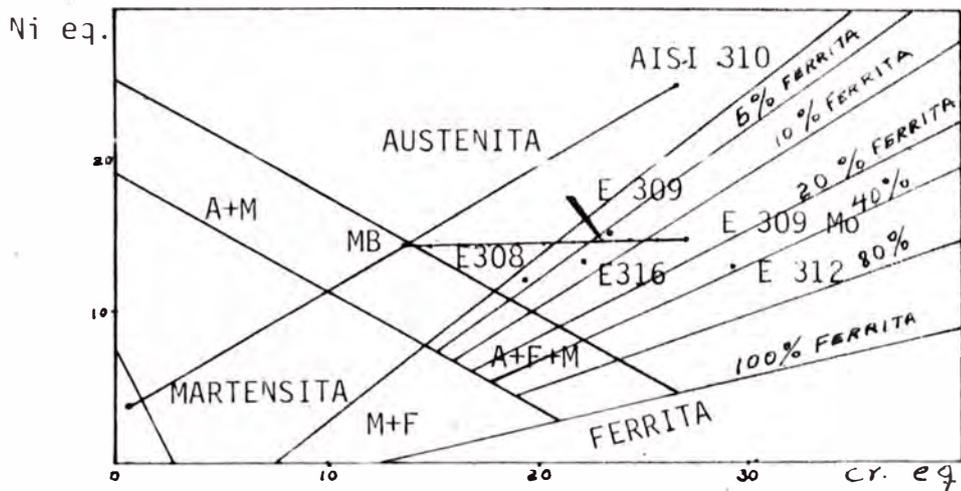


Fig. 4.2 Electrodo más adecuado (E 309 Mo) para unir un acero ASTM A 204 y AISI 310 considerando 30% de dilución.

fundiciones varía entre 2.5 y 4.5%. Además del carbono suelen contener otros elementos como silicio, manganeso, azúfre y fósforo en las proporciones siguientes:

Silicio	0.5	a	4%
Manganeso	0.3	a	2%
Azúfre	0	a	0.20%
Fósforo	0	a	1.5%

Hay también fundiciones especiales que tienen hasta un 15% de silicio y elementos de aleación como el níquel, cromo, molibdeno, cobre, etc. En primera aproximación, la fundición puede ser considerada como un acero que contiene un exceso de carbono bajo la forma de cementita (fundición blanca) o de grafito (fundición gris).

## PRINCIPALES PROPIEDADES DE LA FUNDICIÓN

Las fundiciones son aleaciones hierro-carbono que presentan ciertas ventajas sobre los aceros para la fabricación de piezas:

- 1.- La menor temperatura de fusión, facilidad para fundir piezas grandes y pequeñas por su alta fluidez, mayor facilidad de mecanización, son cualidades que hacen que la fabricación de piezas con fundición sea simple que con acero.
- 2.- Las fundiciones tienen muy buena resistencia a la compresión de 50 a 100 Kg/mm<sup>2</sup> (70,000 a 140,000 psi), por lo que son utilizadas en la fabricación de bases de prensa de estampado, matrices, toqueles, etc., su resistencia a la tensión varía de 12 a 80 Kg/mm<sup>2</sup> (17,000 a 112,000 psi). Ver tabla 4.4, tienen buena resistencia al desgaste y absorben muy bien (mucho mejor que el acero) las vibraciones de máquinas, motores, etc..

Fundición	Hb	R (Kg/mm <sup>2</sup> )	E (Kg/mm <sup>2</sup> )	A %
- gris no aleada	200-220	12-30	-	-
- gris aleada de alta resistencia	240-290	40-45	-	-
- maleable	125-145	35-38	21-25	12-18
- acero dulce moldeado	120-250	40-50	25-28	15-22
- maleable perlítica	207-235	42-63	30-49	10-2
- grafito esferoidal no aleado perlítico	250-300	62-80	46-68	1-2
- grafito esferoidal no aleado ferrítico	160-180	42-53	32-39	10-20

Tabla 4.4 Algunos tipos de fundición y sus propiedades típicas.

3.- Las piezas de fundición son en general más baratas que las de acero, por emplearse instalaciones menos costosas y las cualidades propias antes mencionadas.

## CLASIFICACION DEL HIERRO FUNDIDO

### 4.36. FUNDICIONES BLANCAS:

En las fundiciones blancas, llamadas así debido al aspecto de su fractura, la mayor parte del carbono se encuentra en forma de carburos de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) o sea cementita.

La fundición blanca se obtiene a partir de una fusión de fundición gris, la que es vaciada en moldes metálicos refrigerados con agua, por el rápido enfriamiento producido se obtiene una fundición con gran formación de carburos de hierro, los que le proporcionan una alta dureza (350 a - 550 Hb), alta fragilidad y poca tenacidad; estas propiedades está relacionadas a la microestructura la cual consiste de perlita con grandes porcentajes de cementita.

El principal uso de la fundición blanca es en la fabricación de piezas en fundición maleable, sin embargo algunas piezas de fundición blanca son usadas como tal por su alta resistencia a la abrasión en aplicaciones como: placas de molinos pulverizadores, cilindros de laminadoras, mandíbulas de chancadoras, ruedas de bagones, émbolos (pistones) hidráulicos, punzones, anillos estiradores (trafiles, hileras), máquinas de imprenta, de papel, de tejidos.

Por su estructura formada exclusivamente por cementita y su extraordinaria

ria fragilidad, la fundición blanca es prácticamente insoldable.

#### 4.37. FUNDICIÓN GRIS:

La fundición gris contiene la mayoría de su carbono en forma de grafito, lo que dá origen a una fractura de color gris.

La formación de fundiciones grises en lugar de fundiciones blancas se debe, primeramente a la influencia del silicio que en porcentajes del 0.6 a 3.5% favorece la formación de grafito. Otra circunstancia que ejerce una gran influencia en la formación de fundiciones grises o fundiciones blancas es la velocidad de enfriamiento. Los enfriamientos lentos favorecen la formación de grafito y por lo tanto la formación de fundiciones grises. Los enfriamientos rápidos favorecen la formación de fundiciones blancas. Así se ha observado que en piezas que tienen secciones de diferente espesor se forman fundiciones blancas en las secciones delgadas y grises en las gruesas, a pesar de ser toda la pieza de la misma composición. Las fundiciones grises se mecanizan fácilmente, tienen una gran resistencia a la corrosión intempélica, tienen también gran resistencia al desgaste, buenas cualidades autolubrificantes y una buena capacidad de amortiguación a las vibraciones, todas estas cualidades son debidas al grafito.

La resistencia a la tracción de las fundiciones grises ordinarias varía entre 12 (16,000 - PSI) y 25 (35,000 psi)  $\text{Kg/mm}^2$ , no superando nunca los 30  $\text{Kg/mm}^2$  (42,000 PSI).

#### 4.38. FUNDICIÓN MALEABLE:

Las fundiciones ordinarias son poco costosas y muy fácil de moldear, lo

que es una ventaja en la elaboración de piezas de formas complicadas, tienen buena resistencia a la oxidación, propiedades autolubrificantes, pero su porcentaje de elongación menor que uno, lo que hace poco recomendable cuando han de resistir golpes o tracciones bruscas. Este defecto capital es debido a la fragilidad de la cementita en la fundición blanca y a la del grafito en la fundición gris; las laminillas de grafito desempeñan la misión de grietas.

El proceso de fabricación de las fundiciones maleables se realiza a partir de piezas fabricadas primeramente en fundición blanca mediante un recocido de maleabilización, como resultado de este tratamiento se obtienen piezas con porcentajes de elongación hasta de un 20 por ciento. Para la realización de este tratamiento existen los procedimientos que se han denominado Europeo y Americano, con los que se producen fundiciones maleables de corazón blanco (proceso europeo), y fundición maleable de corazón negro (proceso americano). La fundición maleable perlítica es una maleable de corazón negro de constitución especial.

#### 4.39. FUNDICIÓN MALEABLE DE CORAZÓN BLANCO:

Es el resultado de una reacción química: descomposición a alta temperatura de la cementita de la fundición blanca mediante el oxígeno del óxido de hierro, para lo cual la pieza es rodeada de mineral de fierro, cascarilla de laminación, etc., dentro de cajas cerradas que se calientan en un horno a temperaturas comprendidas entre 900° y 1000°C, el proceso dura seis días, como se puede ver en la figura 4.3.

Por medio de este recocido se descarbura la fundición blanca, por la acción oxidante de la cascarilla que rodea la pieza y se obtiene un producto cuya composición química es parecida a la de un acero al carbono-hipoeutectoide (menos de 0.83% C) y cuya carga de rotura a la tracción-

es de 40 a 50  $\text{Kg/mm}^2$  (56,000 a 70,000 PSI) pero su porcentaje de elongación no sobrepasa el 5%.

#### 4.40, FUNDICIÓN MALEABLE DE CORAZÓN NEGRO:

La fundición maleable americana de corazón negro se obtiene también a partir de la fundición blanca, el recocido de maleabilización se realiza colocando las piezas rodeadas de un material neutro (escoria granulada, arena silicosa o desechos de arena de fundición) dentro de cajas cerradas que se someten luego a un calentamiento de  $875^\circ\text{C}$ , según el diagrama mostrado en la figura 4.4.

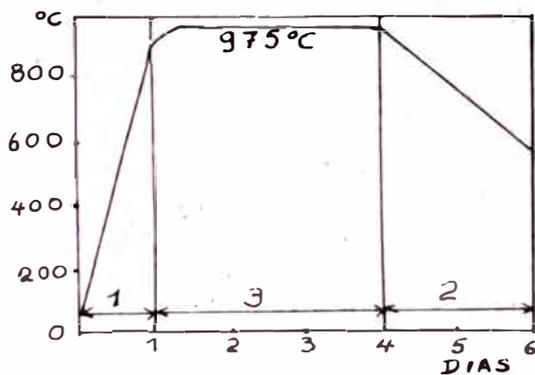


Fig. 4.3 Ciclo de recocido para la obtención de la fundición maleable de corazón blanco.

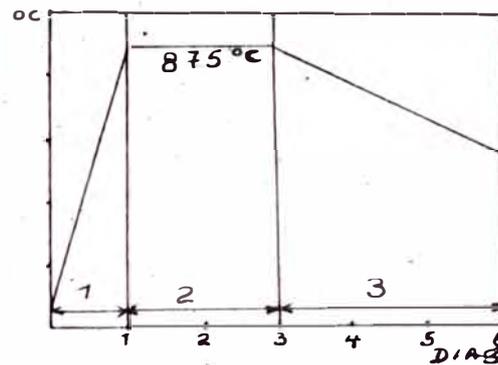


Fig. 4.4. Ciclo de recocido para la obtención de la fundición maleable de corazón negro.

Con este recocido el carbono se precipita en forma de nódulos de grafito, obteniendo un material tenáz con una resistencia a la tracción hasta de 35 a 45  $\text{Kg/mm}^2$  (50,000 a 64,000 PSI) con un alargamiento de 12% a 20% .

#### 4.41. FUNDICIÓN MALEABLE PERLÍTICA:

La fundición maleable perlítica llamada también "intermedia" se presenta como una fundición de corazón negro, que tiene en lugar de matriz - ferrítica una matriz perlítica más dura y resistente.

Para obtener una fundición maleable perlítica se sigue un procedimiento parecido al usado para fabricar la maleable de corazón negro con la diferencia en el enfriamiento, que en este caso es mucho más rápido. Si se utilizan fundiciones blancas con un mayor contenido de manganeso se pueden obtener fundiciones maleables perlíticas con la misma velocidad de enfriamiento que la usada para la maleable de corazón negro, debido a que el manganeso favorece la formación de perlita.

La fundición maleable perlítica tiene una resistencia a la tracción aproximadamente de  $40 \text{ Kg/mm}^2$  (56,000 PSI) y el porcentaje de elongación varía de 6% a 10%.

#### 4.42. FUNDICIÓN DE GRAFITO ESFEROIDAL:

La fundición gris es frágil y no soporta la deformación plástica, las láminas de grafito son prácticamente zonas de discontinuidad en la masa metálica y las fracturas progresan fácilmente de lámina en lámina.

La fundición de grafito esferoidal es una forma de disminuir el efecto debilitador del grafito para mejorar la resistencia alcanzada en la fundición gris.

Al fabricar una fundición de grafito esferoidal, el metal líquido inicial tiene una composición media:

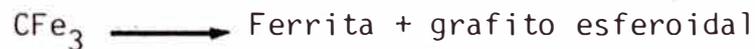
C	=	3.2	a	3.6%
Si	=	1.8	a	3.0%
Mn	=	0.3	a	0.4%

$$P = 0.05\%$$

Metal que al enfriarse directamente en un molde de arena sería una fundición gris; para obtener el grafito en forma de esferas al metal líquido se añade magnesio en la cuchara de colada en forma de aleaciones Ni-Mg, Cu-Mg, o Si-Mg con 20% de Mg aproximadamente, después, inmediatamente antes de la colada, se introduce ferro-silicio (grafitizante).

La fundición de grafito esferoidal puede ser utilizada en el estado bruto de colada; la microestructura de la matriz es entonces perlítica, pero puede presentar ferrita o cementita libre.

Generalmente se somete esta fundición a un tratamiento térmico que destruyen la cementita (recocido ferritizante).



Las fundiciones de grafito esferoidal responden a los tratamientos térmicos de forma muy parecida a los aceros. Templan de 850°C a 925°C en friados en aceite, el revenido disminuye su resistencia y dureza y aumenta su tenacidad.

Estas fundiciones de grafito esferoidal tienen una resistencia mecánica y una ductilidad mayores que las de las fundiciones grises esencialmente de la matriz, interviniendo poco la cantidad de grafito. La facilidad de mecanización es excelente. La fundición de grafito esferoidal constituye en suma un material intermedio entre la fundición gris y el acero moldeado; es preferible a la fundición maleable, pero es más costosa.

Las principales aplicaciones de la fundición de grafito esferoidal son:

tubos para conducción de agua, de gas, de petróleo, obtenidos por colada centrífuga, cilindrios de laminadores, engranajes, cigueñales.

#### 4.43. FUNDICIONES ALEADAS:

Con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y de resistencia a los desgastes, las fundiciones aleadas contienen elementos aleantes - como Ni, Cr, Mo, Cu, etc..

#### 4.44. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN:

**NÍQUEL.-** El níquel afina el grano y provoca una mejor repartición de grafito, dividiéndolo en filamentos pequeños, además hace posible la transformación de la perlita en sorbita aumentando así la tenacidad de la fundición.

Por encima del 4% el níquel transforma la perlita en martensita y si el contenido es superior al 10% aparece la estructura austenítica. Por debajo del 4% el níquel facilita la grafitización, se disuelve en el hierro y disminuye la estabilidad del carburo, su acción es menos activa - que la del silicio, pero tiene la ventaja de no disminuir la resistencia a la tracción.

La aportación de níquel combate el endurecimiento de las partes delgadas, manteniendo una dureza uniforme pero maquinable. La acción del níquel sólo está limitada por el aumento de dureza, exige que su contenido no sobrepase el 4%, lo que origina una mayor cantidad de carburo libre.

**CROMO.-** El cromo estabiliza la cementita y evita la grafitización, redu

ce ligeramente el tamaño de las láminas de grafito, afina y aumenta la resistencia de la matriz. Se fabrican fundiciones con 12 a 30% de cromo para resistir la corrosión y a altas temperaturas. Forma carburos de cromo que son muy estables a altas temperaturas.

MOLIBDENO.- Se utiliza para la fabricación de fundiciones que tienen una tenacidad muy elevada, favorece ligeramente la estabilidad del carburo de hierro; reduce el tamaño de las láminas de grafito y también aumenta la resistencia de la matriz.

COBRE.- Favorece ligeramente la grafitización, endurece y aumenta la resistencia de la matriz, mejora la resistencia al desgaste y al choque de las fundiciones proporcionándoles buenas cualidades de resistencia a la fricción, mejora la resistencia a la corrosión atmosférica y de agentes corrosivos débiles.

FÓSFORO.- En algunas fundiciones se añade fósforo a propósito para aumentar la fluidez y facilitar el moldeo, el fósforo tiene un efecto dañino sobre la estabilidad de la cementita, su efecto directo es el de promover la dureza y la fragilidad debido al gran volumen de fósforo eutéctico que se produce con una cantidad comparativamente pequeña de fósforo.

## CLASIFICACION GENERAL DE LAS FUNDICIONES ALEADAS

### 4.45. FUNDICIONES DE ALTA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN:

Alcanzan resistencia hasta de  $50 \text{ Kg/mm}^2$ , sus composiciones aproximadas son: 4.5% Ni, 2% Cr, 1% Mo, y 1.75% Cu.

#### 4.46. FUNDICIONES RESISTENTES AL DESGASTE:

##### 1. Fundiciones Blancas al Níquel

Una vez templadas estas fundiciones obtienen durezas de 700 a 900 vickers, contienen de 2.75 a 3.35% de C, 4.5% Ni, 2% Cr y 0.5% Si.

##### 2. Fundiciones Blancas al Manganeso

Una vez templadas alcanzan una dureza de 700 vickers, son menos duros y más frágiles que los anteriores pero son más baratos.

##### 3. Fundiciones Grises Auto Templantes

Su dureza varía entre 450 y 500 vickers, se tiemplan al enfriarse en colada, tienen 3% C, 1.75% Si, 4% Ni, 0.8% Cr.

#### 4.47. FUNDICIONES RESISTENTES AL CALOR:

Contienen de 1.5 a 2% de Si para limitar la grafitización del carbono y evitar el hinchamiento a temperaturas superiores a 500°C, con 1.25% Cr para estabilizar los carburos; resisten temperaturas hasta de 750°C.

##### Fundición de Níquel:

de 15 - 35% de Ni, austeníticas resistentes al calor y la corrosión  
de 10% Ni, 5% Mn, austeníticas.

##### Fundición al Cromo:

6% Cr	gran dureza
16% Cr	buena resistencia al calor
20 - 35% Cr	buena resistencia al calor y a la corrosión

##### Fundición al Silicio:

5% Si	resiste al calor
15% Si	resiste a la corrosión

#### Fundición al Aluminio:

8% - 10% Al	resiste al calor
-------------	------------------

#### 4.47. SOLDABILIDAD DEL HIERRO FUNDIDO:

La soldabilidad de un hierro fundido puede analizarse bajo diferentes aspectos.

##### 1.- Aspecto metalúrgico:

Evidentemente lo que hay que evitar es la formación de cementita en la zona de unión, cualquiera sea el tipo de hierro fundido. Esto representa una zona demasiado frágil y dura que al menor esfuerzo de la pieza va a producir trizaduras. De ahí que es prácticamente insoluble la fundición blanca. Para evitar la formación de cementita en las uniones hechas con electrodos al arco, estos son en base a níquel (aprox. 90%). Como el níquel ayuda a la grafitación y al mismo tiempo afina y uniforma al grano en la zona de unión, se obtienen soldaduras de alta resistencia y depósitos maquinables.

Otro factor importante es la temperatura que alcanzará la pieza en el momento de soldar y su posterior enfriamiento. Si la temperatura alcanzada en la zona que se está soldando sobrepasa los 721°C el carbono libre se disolverá en el hierro (austenita) y con un enfriamiento brusco esa zona quedará con una estructura martensítica demasiado dura y frágil. Es por esto la importancia de un enfriamiento lento que permita que la austenita se disocie en carbono libre, en ferrita y el perlita.

Para evitar levadas temperaturas de aplicación para soldar al arco, se emplea el método de soldar "EN FRÍO" con el ctrodos de níquel.

## 2.- Aspecto Físico:

En el hierro fundido es de mucha importancia considerar sus características físicas: baja resistencia a la tracción, elasticidad prácticamente nula, estructura porosa.

Si se suelda una pieza, ya sea al arco o al soplet , se le está introduciendo calor, esto es sinónimo de dilatación, y cuando se enfría vendrá la contracción.

A simple vista, es necesario una cierta elasticidad del metal base para soportar la dilatación y la contracción, y esto no sucede con el hierro fundido. La mayoría de las piezas fundidas son de formas complicadas, con secciones gruesas y otras más delgadas, en el momento del enfriamiento, las partes delgadas se contra n más rápidamente produciendo trizaduras y/o fuertes tensiones que producirán nuevas trizaduras en su funcionamiento.

Para eivtar esto al soldar al arco se prefiere el método de soldar "en frío" y enfriamiento lento. Al soldar con soplete se dará un post-calentamiento parejo a la pieza para uniformar su temperatura seguido de un enfriamiento lento con asbesto, cal, ceniza, etc..

Si la pieza está en contacto con aceite, agua, ácidos, etc., debido a su estructura porosa, absorberá una cierta cantidad que dificultará su soldabilidad lo que en muchos casos se puede remediar en forma aceptable con una limpieza rigurosa con algún solvente.

La elección del procedimiento de soldadura depende de; las condiciones de trabajo de la pieza, su estado, sus dimensiones, si es una rotura o un desgaste, de la capacidad de los soldadores, de los equipos disponibles para soldar.

- a) Soldadura por arco eléctrico.- Es el método mas empleado para la reparación de piezas delicada de hierro fundido, como por ejemplo: blocks de motores, culatas, carcazas, engranajes, etc.. Especialmente se impone el método "en frío" para evitar las deformaciones en piezas complicadas y se suelda con electrodos en base a níquel cuyos depósitos son trabajables.

Si el estado de la pieza se considera difícil de soldar, se hace un test de soldabilidad. Esto consiste en probar con varios tipos de electrodos, haciendo un cordón sin movimiento de 1" de largo aproximadamente y luego tratar de arrancarlo con un martillo y un cincel.

Si el cordón se desprende no es el electrodo apropiado, si no se desprende o se desprende con algo de metal base, es el electrodo adecuado.

- b) Soldadura oxiacetilénica.- Se emplea principalmente cuando la temperatura de aplicación produce una cierta deformación, y esto no tiene mucha importancia, para reconstrucciones de secciones gruesas, etc.. Se usan básicamente de dos tipos de aleaciones:

1) Varillas de hierro fundido:

Para la reconstrucción de secciones quebradas o gastadas, en especial para unir o reconstruir hierro fundido "quemado" por ejemplo múltiples de escape, en el que la fundición está totalmente descarbada, los depósitos que se obtienen son completamente maquina

bles y muy semejantes al metal base. Para aplicar las varillas de hierro fundido se usa el procedimiento "En Caliente".

## 2) Varillas de aleaciones de cobre:

Para unir hierro fundido, acero con hierro fundido, cobre, bronce o latón con hierro fundido. La ventaja del uso de estas aleaciones es que la temperatura de aplicación es más baja, no se necesita fundir el metal base y actúan por capilaridad, evitando hacer biseles grandes. La única exigencia es que las superficies estén muy limpias (esmeriladas o maquinadas).

Para soldar con varillas de aleaciones de cobre se usa el procedimiento en caliente.

### 4.49. SOLDADURA EN FRÍO:

Para soldar en frío es necesario seguir los siguientes pasos:

- a) Limpieza.- Con algún solvente apropiado para eliminar lubricantes, óxidos, pinturas (tetracloruro de carbono, perclorohetileno, solución de soda cáustica en agua, etc.); la finalidad de la limpieza es evitar la porosidad, especialmente cuando se está usando electrodos de níquel, para eliminar el agua y el aceite que pueda haber penetrado en los poros de la pieza, puede dar mejores resultados calentando al rojo por un corto tiempo o quemándola con calentadores de soplete.
- b) Biselado.- Se puede hacer con electrodos para biselar, con cincel o esmeril. Algunas veces cuando se está reparando una rajadura el calor puede propagar aún más la rajadura, para evitar esto se debe perforar huecos al final de cada trizadura, el bisel en V debe llegar hasta el fondo de la rajadura; para espesores mayores a 3/16" -

hacer un bisel como el mostrado en la figura 4.5

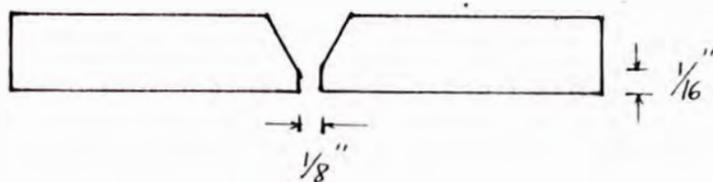


Fig. 4.5 Bisel recomendado para piezas de hierro fundido con espesores mayores a  $3/16$ ".

- c) Precalentamiento.- La mayoría de las piezas pequeñas son soldadas sin precalentamiento, aunque éste asegura la ausencia de trizaduras en la pieza soldada el precalentamiento es de  $100$  a  $250^{\circ}\text{C}$ ; esto puede ser en toda la pieza si ésta es pequeña o en la zona del soldeo si es grande ( $400$  mm alrededor de la soldadura).
- d) Soldar.- Se debe mantener una temperatura baja (max.  $250^{\circ}\text{C}$ ) durante el soldeo para así evitar las fisuras, tanto en la pieza como en el metal depositado, para ello debe usarse electrodos de diámetro pequeño, así como cordones de longitud  $4$  cm aproximadamente y en forma alternada, martillar los cordones para ayudar a aliviar tensiones internas, escobillar cada cordón para evitar inclusiones de escoria, tocar la pieza con la mano para comprobar la temperatura, si la mano no es capaz de soportarla es necesario dejar enfriar la pieza un rato, soldar al último las perforaciones hechas en los extremos de la trizadura.
- e) Enfriamiento lento.- Poniendo la pieza en recipiente cubierta con asbesto, cal, ceniza, etc..

#### 4.50. SOLDADURA EN CALIENTE:

- a) Precalentar la pieza en un horno de 350 a 400°C, con un soplete en lugares abrigados.
- b) Soldar hasta terminar procurando mantener la temperatura de precalentamiento en toda la pieza.
- c) Normalizar la temperatura en toda la pieza después de haber terminado de soldar (calentando de ser posible a 600°C).
- d) Procurar que el enfriamiento sea lo más lento posible en el mismo horno o "enterrar" la pieza en cal apagada, arena seca, asbesto molido, lana mineral, mica, etc., dentro del mismo horno, para obtener un enfriamiento uniforme y aliviar tensiones internas.

#### 4.51. PRODUCTOS PARA SOLDAR HIERRO FUNDIDO EN EL PERÚ:

- Electrodo revestido con núcleo de aleaciones a base de níquel, los depósitos son maquinables.
- Electrodo revestido con núcleo de hierro fundido.
- Electrodo revestido con núcleo de acero, el depósito no es maquinable.
- Varillas para soldar oxiacetilénica en aleaciones a base de cobre.
- Varillas para soldadura oxiacetilénica con núcleo de hierro fundido.

### COBRE Y SUS ALEACIONES

#### 4.52. INTRODUCCIÓN A LA SOLDABILIDAD DEL COBRE:

El cobre es un metal de color rojo oscuro, de aspecto agradable, su peso específico es de 8.96 gr/cm<sup>3</sup> y su punto de fusión de 1083°C

Casi el 50% de la producción de cobre es utilizada en la industria eléctrica debido a su alta conductividad de la electricidad. Así mismo el -

EUTECTIC	OERLIKON	FONTARGEN
CASTEC	CITOFONTE	E 114
XYRON 223	-	-
XYRON 244	SUPERCITO	E 115
2250	-	E 116 - E 119
27	FERROCORD	E 117
147FC	-	AF 210
185FC	-	AF 700
14 FC	-	AF 110
10185	-	-
10224	-	-

Tabla 4-5 Productos para soldar hierro fundido en el Perú.

cobre presenta una buena conductividad del calor, por lo cual se usa - mucho en la fabricación de calderos, serpentines, radiadores. El agua-pura no afecta al cobre a ninguna temperatura. Los agentes atmosféri - cos forman en su superficie una pátina verde-gris que reduce la veloci - dad de oxidación del metal. Al calentar el cobre se forma a los 120°C una película rojiza de  $Cu_2O$ , que más tarde se convierte en negruzca al formarse  $CuO$ .

El cobre es un metal muy dúctil y maleable, alcanza tener un alargamien - to del 50% antes de romperse, el cobre recocido tiene una resistencia a la tracción de  $23 \text{ Kg/mm}^2$  y una elongación de 34%, mientras que lamina - do en frío tiene  $30 \text{ Kg/mm}^2$  y 2% de resistencia a la tracción y elonga - ción, respectivamente.

El cobre tiene una baja fluidez que no facilita su moldeo. En el estado líquido, el cobre disuelve ciertos gases ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  ...) que se desprenden en el enfriamiento dando un metal poroso; además el cobre fundido se oxida dando óxido cuproso  $\text{Cu}_2\text{O}$  soluble en caliente, en el enfriamiento, éste se aísla bajo la forma de eutéctico  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$  entre los granos de cobre creando zonas débiles.

El hidrógeno es soluble en el cobre líquido, especialmente cuando contiene óxido cuproso, expulsándolo de nuevo al enfriarse en forma de burbujas, dejando poros y rechupes.

La dilatación térmica del cobre calentando de  $10^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$  en un metro de longitud es de 1.6 mm, ó 26mm calentándolo hasta temperaturas cercanas al punto de fusión, cosa que debe tenerse muy en cuenta al momento de soldarlo.

Generalizando, podemos establecer 2 grupos de calidades de cobre:

1° Cobre con contenido de oxígeno (en forma de óxido cuproso  $\text{Cu}_2\text{O}$ )

Cobre = 91.9%

Oxígeno = 0.03% - 0.07% (Como óxido cuproso)

Conductividad eléctrica = 100%

Estos tipos son los más usados comercialmente para fabricar láminas, planchas, alambres, barras para trefilación y extrusión.

Al soldarlo con soplete oxiacetilénico, el cobre absorbe monóxido de carbono e hidrógeno a  $650^\circ\text{C}$  que se combinan con el óxido cuproso, formando dióxido de carbono y vapor de agua no solubles en el cobre. Estos gases causan pérdida de ductilidad y fragilidad en la zona de transición en la zona soldada. Este problema no sucede con la soldadura por arco eléctrico. En la soldadura oxiacetilénica este problema se puede eliminar

utilizando aleaciones de bajo punto de fusión y en porcentajes de fósforo que sirva de desoxidante.

2º Cobre desoxidado (Sin óxido cuproso)

Fósforo = 0.01 - 0.04%

Silicio = 0.05 - 0.15%

Cobre = resto

Conductividad eléctrica =  $\pm$  80%

En este grupo están los siguientes tipos:

Estos tipos de cobre son usados para cañerías de tido tipo, láminas, - planchas, piezas fundidas de alta conductividad calórica.

#### 4.53. BRONCES:

Originalmente se denomina bronce a las aleaciones cobre-estaño, pero - actualmente se aplica también esta denominación a las aleaciones bina - rias del cobre con todos los metales, excepto con el zinc, los elemen - tos más usados como aleantes son: aluminio, níquel, silicio, plomo, fósforo, berilio, cromo, etc., en estos casos el bronce toma el nombre principal elemento de aleación como: bronce al aluminio, bronce al plomo, bronce al níquel, etc..

Los bronce antifricción tienen 84% Cu, 16% Sn, y 2% de zinc, para mejo - rar la colabilidad disminuyendo la temperatura de fusión. Otro tipo de bronce antifricción son los bronce al plomo; el plomo no es soluble en el cobre y permanece separado en forma de glóbulos repartidos dentro de la masa; para presiones elevadas y velocidades bajas se emplea la aleación:

Cu = 75%, Pb = 20%, Sn = 5%.

Existe también el bronce fosforoso con excelentes cualidades antifricciónantes, el contenido de fósforo varía de 0.30% a 0.60%, además de su efecto endurecedor, el fósforo actúa como desoxidante, eliminando la porosidad y aumentando la resistencia a la corrosión, combinado con el estaño.

En los bronce al manganeso, el manganeso juega el mismo papel que el fósforo, pero puede ser añadido en mayor cantidad (1.0 a 2.20% ) obteniendo una alta resistencia mecánica y alto límite elástico, los bronce rojos son aquellas aleaciones de cobre, estaño, zinc y plomo, de fácil maquinabilidad, especial para cojinetes, válvulas de todo tipo , su composición es 85/5/5/5, en Cu, Sn, Zn y Pb respectivamente.

El bronce al silicio, es una aleación cobre-silicio en la cual el contenido puede variar de 1.25% a 3.25%, además contiene hasta un 2% de otros elementos como zinc, hierro, manganeso y estaño. Su principal uso en productos laminados, para cañerías hidráulicas y por su excelente conductividad eléctrica para hilos telefónicos.

Bronce al aluminio, es una aleación Cu-Al con Cu = 88-92%. Una pieza colada en arena con 90% de Cu y 10% de Al tiene las siguientes características:

Resist. a la tracción =  $50 \text{ Kg/mm}^2$   
 Elongación = 10%

Colado en molde metálico:

Resist. a la tracción =  $60 \text{ Kg/mm}^2$   
 Elongación = 12%

El bronce al aluminio es sensible a los tratamientos térmicos, se reco

nocen de 800 a 850°C, templado 820-830°C y revenido 600°C.

Los bronce al aluminio pueden ser mejorados añadiendo hierro y níquel: Cu= 79.70%, Al = 5.20%, Fe = 5.20%, y Ni = 5.0%, los cuales después de un recocido a 800°C tienen 75.30 Km/mm<sup>2</sup> 1 15% de elongación.

Los bronce al aluminio son muy resistentes al agua de mar (superior a los latones y demás bronce), también resisten la acción de agentes corrosivos como potasa, soda cáustica, ácidos diluidos, petróleo y derivados y numerosos productos químicos.

Bronce al berilio, es una aleación de cobre que contiene de 1.0 a 2.5% de berilio, puede tener además estaño, zinc, aluminio, fósforo, etc.. - La solución sólida del berilio en cobre tiene su máxima solubilidad de 2.6% a 862°C y la mínima, 0.7%, en frío. Este cambio de solubilidad permite el temple por precipitación y el revenido de maduración.

Los bronce al berilio tienen una resistencia a la tensión igual al acero dulce y dos veces superior a la del bronce fosforoso. Además son mucho mejores conductores que los bronce ordinarios.

Debido a su alta resistencia mecánica, elasticidad, dureza, buena conductividad eléctrica y calórica, resistencia a la corrosión, amagnetismo y buen coeficiente de fricción se usa para fabricar: resortes, contactores, reles, muelles para válvulas de motores de explosión, membranas elásticas para barómetros y altímetros, piezas de relojería, herramientas que no produzcan chispas como martillos buriles y llaves para las fábricas de explosivos.

#### 4.54. LATONES:

El latón es una aleación cobre-zinc, en la que el zinc varía de 5 a 40% y eventualmente otros elementos en pequeñas proporciones para darle características especiales. Lo que distingue a los latones es que en su mayoría son maleables en frío, mientras que los bronce lo son muy poco.

Las características mecánicas de los latones varían con sus composiciones químicas, la resistencia a la tracción de 24 a 40 Kg/mm<sup>2</sup> y la elongación de 15 a 20% , el forjado a 650°C - 700°C permite aumentar tanto la resistencia a 50 Kg/mm<sup>2</sup> como la elongación a 25%. Mediante el trabajo en frío el latón aumenta su resistencia hasta 60 Kg/mm<sup>2</sup>, pero disminuye su elongación en un 10% aproximadamente.

Los latones de uso más común sirven para productos laminados, forjados, estampados, cañerías, perfiles, pernos, engranajes, válvulas y piezas fundidas.

Los elementos sometidos a ambiente salino o agua de mar, como hélices de barcos, válvulas, pernos, son hechos de latón naval, con o sin plomo.

Latón naval sin Pb		Latón naval con Pb	
Cobre	= 60%	Cobre	= 60%
Zinc	= 39.25%	Zinc	= 37.5%
Estaño	= 0.75%	Plomo	= 1.75%
		Estaño	= 0.75%

Como aplicación especial de los latones navales se puede citar las varillas de soldadura destinadas a servir de metal de aporte para la soldadura de otros latones de menor contenido de zinc.

Se fabrican también latones especiales de alta resistencia y los elemen

tos de adición mas eficaces son el manganeso y el hierro, obteniéndose resistencia a la tracción de 50 - 80 Kg/mm<sup>2</sup> con elongación no inferior al 15%.

La adición de 0.10% de aluminio en los latones aumenta la resistencia a la corrosión, formando una película de aluminio que impide la evaporación del zinc.

En general los latones no son sensibles a los tratamientos térmicos, - salvo algunos tipos, después de trabajos en frío los latones deben ser recocidos.

#### 4.55. SOLDADURA POR OXIACETILÉNICO DEL COBRE:

Como ya se dijo anteriormente el contenido de óxido cuproso genera gases (agua, CO<sub>2</sub>) al absorber el monóxido de carbono e hidrógeno, para eliminar este problema se debe usar aleaciones de bajo punto de fusión y un porcentaje de fósforo que sirva como desoxidante.

Por todos estos inconvenientes el cobre destinado a uniones por fusión debe estar perfectamente desoxidado, lo que ha conducido a exigir un metal afinado llamado "cobre soldable" que ha sufrido una operación suplementaria de desoxidación.

Otro factor importante que se debe controlar para el éxito de la soldadura de cobre es el tipo y tamaño de la llama, siendo recomendable usar llama neutra y más grande que las usadas para el caso de los aceros; esto es debido a que la conductividad térmica es nueve veces mayor.

#### PROCESO:

1. Limpieza de las zonas a unir.

2. Bisel adecuado al espesor, para espesores menores a 4mm se puede soldar a tope.
3. Precalentar fuertemente a unos 400°C por la alta conductividad térmica del cobre y aplicar fundente en la zona a unir.
4. Cuando el fundente se licúe, aplicar la varilla de soldadura haciendo la fluir por capilaridad. El producto desoxida y aumenta la fluidez.
5. Enfriamiento normal al aire.

#### 4.56. SOLDADURA POR SISTEMA TIG DEL COBRE:

Para uniones de óptima calidad, sobre todo cuando la soldadura a soplete por su mayor calor deforma las piezas de pequeño espesor, al soldar con TIG se debe usar corriente continua polaridad directa regulando el amperaje, la presión de gas argón y el diámetro del electrodo de tungsteno - de acuerdo al espesor a unir. El precalentamiento puede ser innecesario para espesores delgados.

Si se desea mantener una buena conductividad térmica y eléctrica en la unión, se debe seleccionar una varilla RCu (Ver tabla 4.6). Si la consideración más importante es la resistencia se debe usar ya sea una varilla RCuSi-A o RCu-Sn-A.

#### 4.57. SOLDADURA POR EL SISTEMA MIG DEL COBRE:

Para piezas masivas de cobre y de espesores gruesos, se puede soldar con el sistema MIG, con atmósfera inerte de gas argón y precalentamiento previo.

Para el cobre electrolítico es necesario precalentar hasta 530°C dependiendo del espesor, usando como electrodo E Cu para la mejor conductividad y ECuSi para la mejor resistencia.

Para el cobre desoxidado, precalentar a 200°C para espesores mayores de 1/4" de pulgada.

#### 4.58. SOLDADURA CON ELECTRODOS REVESTIDOS DEL COBRE:

Para soldar piezas macizas de cobre puro especialmente, aunque son casos raros. El electrodo a usar debe ser con núcleo de cobre, pero se pueden obtener buenos resultados con electrodos para soldar bronce.

Hay que seguir el siguiente procedimiento:

1. Limpieza de la zona a soldar
2. Biselar perfectamente con cincel o uñeta
3. Precalentar fuertemente a 600°C debido a la alta conductividad calorífica del cobre. Si la pieza está fría no se conseguirá hacer un cordón.
4. Soldar con cordones continuados y con movimientos. Se aconseja martillar los cordones para evitar una contracción violenta de estos que producirían trizaduras.

#### S O L D A B I L I D A D   D E   L O S   B R O N C E S

Los bronce pierden rápidamente parte de su resistencia conforme aumenta la temperatura rajándose al menor descuido, bajo el propio peso de su cuerpo. La resistencia del bronce a 600°C es solamente el 20% del material a temperatura ambiente, al pasar los 500°C bastan pequeños movimientos o golpes para que se quiebre la pieza de bronce, razón por la cual se aconseja no sobrepasar los 400°C.

La mayoría de los elementos de aleación disminuyen la conductividad térmica de los bronce, dejándola semejante a la del acero, de manera que no presentan el problema del cobre puro.

#### 4.59. SOLDADURA OXIACETILÉNICA DEL BRONCE:

Para soldar en general todo tipo de bronce, es necesario usar aleaciones de bajo punto de fusión y alta resistencia. Una aplicación excesiva de calor puede precipitar algunos de los elementos de aleación de la pieza.

Los bronce al plomo, es necesario soldarlos a soplete exclusivamente. Los bronce al berilio, solamente a soplete con una aleación de alto contenido de plata y en forma rápida.

Los demás tipos de bronce no presentan indicaciones especiales para soldarlos a soplete. Mientras más delicada sea la pieza de bronce o su aleación, será necesario soldar con una varilla con contenido de plata para asegurar una temperatura baja de aplicación. Es necesario seguir los siguientes pasos:

- 1.- Limpieza rigurosa para quitar la capa de óxido superficial, lubricantes, etc., por medios mecánicos o con solventes.
- 2.- Biselar de acuerdo al espesor
- 3.- Precalentamiento a 300°C. Aplicar fundente en la zona de unión.
- 4.- Soldar cuando el fundente se licúe. Hacer fluir la soldadura y evitar sobrecalentar la pieza.
- 5.- Enfriamiento lento al aire.  
Si fuera una pieza tratada térmicamente, darle el tratamiento necesario.

#### 4.60. SOLDADURA CON ELECTRODOS REVESTIDOS DEL BRONCE:

Para todos los bronce fosforosos, bronce rojos, bronce al silicio, bronce al aluminio. Para piezas de espesores gruesos, reconstrucciones de partes gastadas.

- 1.- Limpieza rigurosa.
- 2.- Biselar.
- 3.- Precalentar de 100°C a 200°C. Los bronce al silicio deben precalentarse sólo a 50°C por su alta tendencia a trizarse.
- 4.- Soldar con electrodo adecuado, diámetro y amperaje de acuerdo al espesor. Evitar el sobrecalentamiento.
- 5.- Enfriamiento lento.  
En el caso de bronce al aluminio, se podrá volver a dar el tratamiento térmico pertinente.

#### 4.61. SOLDADURA CON SISTEMA TIG DEL BRONCE:

Para piezas no muy grandes o soldaduras finas, el bronce al silicio, sólo se suelda con corriente continua polaridad directa. El bronce al aluminio se suelda mejor con corriente alterna (alta frecuencia) pero también con corriente continua polaridad invertida.

El material de aporte se selecciona de acuerdo a la composición del bronce, así tenemos que para un bronce al silicio se obtiene mejores resultados con los electrodos R CuSi-A, tanto los bronce al níquel como los bronce al aluminio son fácilmente soldados con electrodos RCuNi.

#### 4.62. SOLDADURA CON SISTEMA MIG DEL BRONCE:

Para aplicaciones masivas, reconstrucción o revestimiento de piezas grandes. Para todos los casos se usa corriente continua, polaridad invertida. La soldadura MIG es frecuentemente preferida para soldar los bronce al silicio, ya que se obtiene depósitos de muy buena calidad con electrodos ECuSi y una mezcla de gases de argón y helio; no es necesario precalentar y el soldeo debe ser rápido para evitar el sobrecalentamiento.

El proceso MIG da muy buenos resultados para soldar los bronce al níquel, posiblemente lo mejor comparado a otros procesos; se puede usar electrodos ECuNi y argon o una mezcla de argón más helio.

## **S O L D A B I L I D A D   D E   L O S   L A T O N E S**

El fenómeno que interviene en la soldabilidad de los latones es la evaporación del zinc, que origina el empobrecimiento en este elemento y además tiende a aumentar su fragilidad en caliente. La soldadura con electrodos revestidos y con proceso MIG es bastante crítica ya que el zinc empieza a evaporarse a 930°C, pero se han desarrollado electrodos que permiten obtener buenos resultados.

### 4.63. SOLDADURA OXIACETILÉNICA DE LOS LATONES:

Para evitar la pérdida de zinc, la soldadura oxiacetilénica debe realizarse con llama oxidante, la cual produce una capa de óxido de zinc en equilibrio con el metal líquido. Para espesores menores a 4 mm., los soldadores realizan sobre bordes rectos, por encima de dicho espesor hay que biselar a 45°.

Las aleaciones para soldar latón con soplete son de baja temperatura de aplicación y los mejores resultados se obtiene con aleaciones que contienen plata, por su fluidez y buena resistencia mecánica. El procedimiento a seguir es el mismo que se usa para soldar bronce (ver soldabilidad de los bronce).

### 4.64. SOLDADURA CON SISTEMA TIG DE LOS LATONES:

El material de aporte debe ser de baja temperatura de aplicación. De acuerdo al espesor a unir, se regularán todos los parámetros como se des-

Clasif. AWS	% Cu+Ag	% Zn	% Sn	%Mn	%Fe	% Si	% Ni+Co	% P	% Al	% Pb	% Otros
RCu	98.0 min.		1.0	0.5		0.50		0.15	0.01	0.02	0.50
RCuSi-A	98.0 min.	1.5	1.5	1.5	0.5	2.8-4.0			0.01	0.02	0.50
RCuSn-A	93.5 min.	4.0-6.0						0.1-0.35	0.01	0.02	0.50
RBCuZn-A	57-61	el resto	0.25-1.0						0.01	0.05	0.50
RCuZn-B	56-60	el resto	0.8-1.1	0.01- 0.50	0.25-1.2	0.04- 0.15	0.2-0.8		0.01	0.05	0.50
RCuZn-C	56-60	el resto	0.8-1.1	1.01- 0.50	0.25-1.2	0.04- 0.15			0.01	0.05	0.50
RBCuZn-D	46-50	el resto				0.04- 0.15	9-11	0.25	0.01	0.05	0.50
RCuAl-A2	el resto	0.02			1.5	0.10			9.0-11.0	0.02	0.50
RCuAl-B	el resto	0.02			3.0-4.25	0.10			11.0-12.0	0.2	0.50

Tabla 4.6 Composición química para varillas de soldar sobre y aleaciones según la norma AWS A5.7-69

Clasif. AWS	% Cu+Ag	% Zn	% Sn	% Mn	% Fe	% Si	% Ni+Co	% P	% Al	% Pb	% Otro
ECu	98.0		1.0	0.5		0.50		0.15	0.01	0.02	0.50
ECuSi	el resto		1.5	1.5	0.5	2.8-4.0			0.01	0.02	0.50
ECuSn-A	el resto		4-6					0.10-0.35	0.01	0.02	0.50
ECuSn-C	el resto		7-9					0.05-0.35	0.01	0.02	0.50
ECuNi	el resto			1.00	0.4-0.75	0.50	29.0			0.02	0.50
ECuAl-A1	el resto	0.20				0.10			6-9	0.02	0.50
ECuAl-A2	el resto	0.20			1.5	0.10			9-11	0.02	0.50
ECuAl-B	el resto	0.20			3.0-4.25	0.10			11-12	0.02	0.50

Tabla 4.6 Requerimientos químicos para electrodos de cobre y aleaciones de cobre según la norma AWS-A5.6-69

cribió para soldar bronces.

#### 4.65. SOLDADURA CON ELECTRODOS REVESTIDOS DE LOS LATONES:

Habrá que diferenciar la aleaci3n de lat3n, si es de bajo o alto contenido de zinc. Se podrá usar un electrodo para soldar bronce fosforoso - en aquellos latones que tienen menos del 20% de zinc. Los electrodos E CuSn-A, ECuSn-C o E Cu Al-A2, dan buenos resultados para soldar latones de bajo y alto zinc. Aquellos latones que tengan de 20% a 40% de zinc, se podrán soldar con un electrodo para soldar bronce al aluminio. El proceso a seguir para soldar latones es el mismo descrito para soldar bronces (ver soldabilidad de los bronces).

#### 4.66. SOLDADURA CON SISTEMA MIG DE LOS LATONES:

Los electrodos E CuSn-C y E CuSi dejan dep3sitos de buena calidad para soldar latones rojos, el primero deja dep3sitos del mismo color y el segundo da mejores características de operaci3n.

Se puede usar gas helio para soldar con electrodos E CuSn-C precalentando a 400°F para espesores mayores a 3/16" de pulgada, para electrodo E CuSi se puede usar gas arg3n; algunas especificaciones indican un bisel de 70° en piezas pesadas cuando se está soldando con electrodo E Cu Sn-C y de 60° cuando se suelda con electrodo E CuSi.

Las aleaciones de alto zinc (metal MUNTZ), pueden ser soldados con electrodos E CuAl-A2 o E Cu Si, usando gas de protecci3n helio, no es necesario precalentamiento y se debe usar bajos amperajes (en lo posible) - para evitar la volatilizaci3n del zinc

## ALEACIONES LIGERAS

### 4.67. INTRODUCCIÓN A LA SOLDABILIDAD DE ALEACIONES LIGERAS:

Se denominan aleaciones ligeras a las aleaciones que tienen como elemento base o principal al aluminio. Los metales más frecuentes de aleación son el cobre, silicio, zinc, manganeso, níquel, hierro, titanio, cromo, cobalto, cadmio y estaño, en porcentajes que no sobrepasan el 15%.

Las característica principal de las aleaciones ligeras es su bajo peso específico, que en algunos de ellos llega a ser 1/3 del peso específico del acero, otra característica importante es la relación resistencia mecánica a peso específico, que en algunas aleaciones ligeras es la mas alta entre todas las aleaciones conocidas, lo cual los hace muy útiles en aplicaciones como en la Industria aeronéutica.

### 4.68. ALUMINIO:

Es un metal de color plateado brillante, de peso específico ( $2.7 \text{ gr/cm}^3$ ) una tercera parte del hierro y el acero, es un metal completamente inalterable en el aire, debido a la formación de una película de óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) que protege al resto de la masa de la oxidación posterior, esta película se forma instantáneamente por la alta afinidad del aluminio por el oxígeno.

Debido a esta película protectora resiste también la acción del vapor de agua, del ácido nítrico concentrado y muchos otros compuestos químicos, en cambio es atacado por los ácidos sulfúricos, clorhídrico, nítrico diluido y por soluciones salinas.

Tienen una alta conductividad eléctrica (60% de la del cobre y 3.5 veces mayor que la del hierro). Su punto de fusión es 660°C y el de ebullición 2450°C. Este punto de fusión relativamente bajo, unido a su punto de ebullición alto facilita su fusión y moldeo.

Es altamente maleable y dúctil que permite forjarlo, trefilarlo en hilos delgadísimos y laminarlo en láminas, tan finas como las del oro, hasta en un espesor de 0.0004 mm (0.4 micras), a la temperatura de 500°C se vuelve frágil y se puede pulverizar fácilmente.

#### 4.69. ALEACIONES DE ALUMINIO:

Las aleaciones a base de aluminio pueden en general ser caracterizadas como sistemas eutécticos, que contienen compuestos intermetálicos o elementos como fases en exceso. Estos compuestos intermetálicos muchas veces de composiciones complejas son debidas a la relativamente baja solubilidad de la mayoría de elementos aleantes en el aluminio y debido a la complejidad de aleaciones que se producen. La solubilidad de estas fases generalmente es mayor a las temperaturas cercanas al eutéctico que a temperatura ambiente, lo cual hace posible los tratamientos térmicos de estas aleaciones, (disolución y tratamiento térmico de envejecimiento).

Todas estas propiedades son, por su puesto, influenciadas por los efectos de varios elementos con los cuales está aleado el aluminio. Los principales elementos aleantes de las aleaciones a base de aluminio son: cobre, silicio, magnesio, zinc, cromo, manganeso, estaño y titanio, El hierro es un elemento que está presente normalmente y usualmente es considerado como impureza. Veamos los efectos más simples de estos elementos de aleación:

#### 4.70. COBRE COMO ELEMENTO ALEANTE DEL ALUMINIO:

Los efectos del cobre en la estructura de las aleaciones Al-Cu son presentados en el diagrama de equilibrio de la Fig. 4.6. El diagrama muestra la solubilidad del cobre en el aluminio, el cual se incrementa en el estado sólido desde menos de 0.50% a la temperatura ambiente hasta 5.65% a 548°C.

El cobre con porcentajes mayores al límite de solubilidad aparece formando la fase  $\theta$  para cualquier temperatura, la cual tiene una composición aproximadamente  $\text{Cu Al}_2$  (46.5% Al, 53.5% Cu), una alta dureza y fragilidad. Por el contrario la solución sólida K es relativamente blanda y dúctil, se incrementa el contenido de cobre en las aleaciones Cu-Al; se incrementa el porcentaje de la fase dura  $\theta$  por lo que las propiedades mecánicas de estas aleaciones también se incrementa con el porcentaje de cobre, mientras que la ductilidad disminuye.

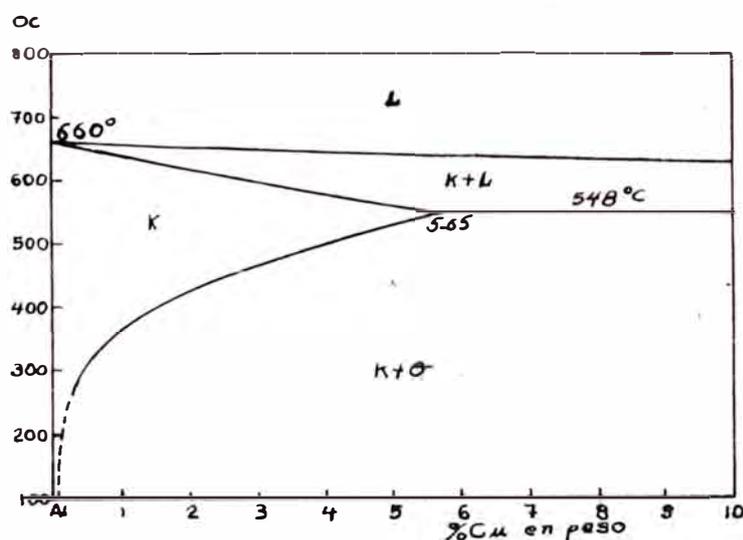


Fig. 4.6 Sector del diagrama de equilibrio Al-Cu, para los porcentajes mayores de Al (de ASM)

#### 4.71. SILICIO COMO ALEANTE DEL ALUMINIO:

El silicio está presente en todas las aleaciones comerciales de aluminio

para la producción de piezas por moldeo, se usa como elemento aleante - hasta en un 14%.

En general el incremento del contenido de silicio significa el incremento de la resistencia hasta que se alcanza la composición del punto eutéctico (11.6%), sin embargo la ductilidad disminuye.

#### 4.72. EL MAGNESIO COMO ALEANTE DEL ALUMINIO:

El comportamiento aleante del magnesio en el aluminio es similar al del cobre, el diagrama de equilibrio binario es mostrado en la figura 4.7. - El sistema muestra un cambio de solubilidad sólida de fase  $\alpha$  con la temperatura, esto es de 14.9 por ciento de magnesio a 451°C y menor a 2.90 por ciento a temperatura ambiente. Cuando el límite de solubilidad es excedido, se presenta una fase más dura  $\beta$ . Estas aleaciones son tratables térmicamente, ya sea por tratamiento de disolución o envejecimiento y las propiedades mecánicas varían con el porcentaje de magnesio en forma similar a las aleaciones Al-Cu.

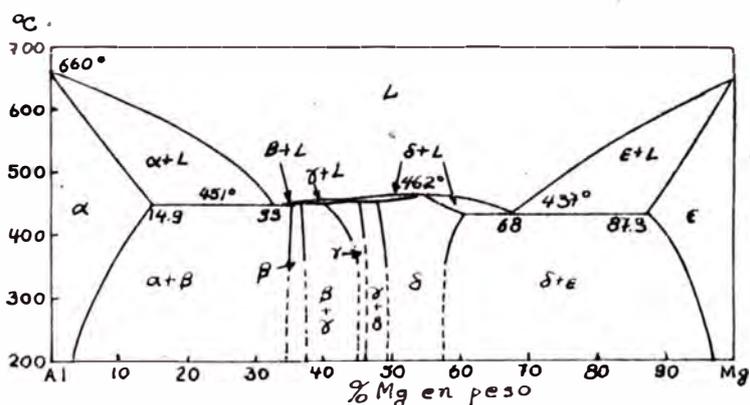


Fig. 4.7 Sistema de equilibrio Al-Mg.

#### 4.73. ZINC COMO ALEANTE DEL ALUMINIO:

El zinc se encuentra en porcentajes máximas del 20 por ciento. Como no se

forman compuestos químicos no puede aplicarse a estas aleaciones el tratamiento de endurecimiento por precipitación.

Las aleaciones de zinc son más baratas que las de cobre a igualdad de propiedades mecánicas, pero menos resistentes a la corrosión y más pesadas.

#### 4.74. MANGANESO COMO ELEMENTO ALEANTE DEL ALUMINIO:

El manganeso se encuentra disuelto en el aluminio desde 0.35 por ciento a 500°C hasta 1.32 por ciento a la temperatura eutéctica. (658.5°C). La concentración eutéctica es de 1.95 por ciento de Mn a la temperatura ambiente. El manganeso aumenta la dureza, la resistencia mecánica y la resistencia a la corrosión de las aleaciones de aluminio.

#### 4.75. SOLDABILIDAD DEL ALUMINIO Y ALEACIONES:

El aluminio y la mayoría de sus aleaciones son perfectamente soldables ya sea con soplete oxiacetilénico, con electrodos revestidos, con el sistema TIG o el sistema MIG.

El aluminio presenta algunas dificultades, que han sido totalmente solucionados. La dificultad es el desconocimiento de las características del aluminio. Analicemos cada factor:

1° Formación de óxido de aluminio en la superficie de la pieza.

Es sabido que el punto de fusión del aluminio puro es 658°C y en cualquier pieza de aluminio o aleación de aluminio, existe una capa de alúmina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) cuyo punto de fusión es de 2100°C aproximadamente. Si se desea eliminar esta capa de alúmina por medios mecánicos (con una lima, por ejemplo),

instantáneamente el oxígeno del aire se combina con el aluminio, formando esa capa superficial de óxido. Por este motivo se puede calentar mucho tiempo el metal base con un soplete, sin conseguir fundir su superficie, mientras que el núcleo ya está líquido.

En la soldadura oxiacetilénica, se usa una llama carburante y el fundente tiene la función de desoxidante. En la soldadura por arco eléctrico, el revestimiento posee una función desoxidante enérgica, ya que sus depósitos son más rápidos. En la soldadura con TIG, la alta frecuencia del arco de corriente alterna elimina la capa de óxido y la campana protectora de gas argón, impide la nueva oxidación, por lo que no se necesita fundente.

2º Alta conductividad calórica del aluminio.

Si una pieza de aluminio se quiere soldar a temperatura ambiente, no se consigue depositar material de aporte, pues el calor se propaga muy rápidamente y la soldadura se escurre en bolitas. Por lo tanto, es necesario dar un precalentamiento a la pieza, si ésta es insuficiente ocurrirá el problema descrito.

Para soldar con soplete oxiacetilénico se da un precalentamiento de 300°C aproximadamente, con electrodos revestidos, en piezas pequeñas el precalentamiento de 100°C a 200°C y con TIG, el precalentamiento puede ser muy suave casi innecesario.

3º El aluminio no cambia de color con la variación de temperatura, esto toma importancia al soldar con soplete. En los metales ferrosos hay un cambio de color en la pieza que indica aproximadamente su temperatura. En el aluminio es un problema, pues el precalentamiento puede ser demasiado

y derretir parte de la pieza.

Para solucionar ésto, en el momento de precalentar se aplica un poco de fundente en el principio de la zona a unir y, cuando éste se licúe, indicará la temperatura precisa de aplicación. Esta es una función importante del fundente. La llama del soplete no se aplica directamente al fundente, sino en forma indirecta.

4° Solubilidad de algunos elementos de aleación durante la operación de soldadura.

En aquellas aleaciones de aluminio sin tratamiento térmico que se han soldado, será necesario efectuar un recocido de 350 a 380°C, con un enfriamiento lento, para destruir las tensiones internas producidas por la soldadura.

Aquellas aleaciones de aluminio cuyas características son función de los tratamientos térmicos, es indispensable tener en cuenta la aplicación de estos tratamientos, después de soldarlos.

Desde el punto de vista de tratamientos térmicos, hay que tener en cuenta que las aleaciones ligeras tratadas tienen sus propiedades mecánicas algo disminuídas en las proximidades de soldadura, si es que ésta no se ha hecho con la aleación exactamente igual al metal base.

#### 4.76. SOLDADURA OXIACETILÉNICA DEL ALUMINIO:

Para soldar aluminio y sus aleaciones con soplete, hay que seguir el siguiente procedimiento:

- 1.- Limpieza rigurosa, libre de suciedad y lubricantes.
- 2.- Biselar los espesores mayores de 5mm.. Para espesores menores, la unión se puede hacer a tope.

- 3.- Precaliente la pieza a 300°C. Ponga un poco de fundente de la varilla en el comienzo de la unión.
- 4.- Deposite la varilla de soldadura en forma continuada, usando llama-carburante, para asegurar un depósito sin óxidos.
- 5.- Enfriamiento lento en el medio ambiente. Lavar el fundido con agua tibia, ya que este es muy corrosivo.

#### 4.77. OLDADURA CON ELECTRODOS REVESTIDOS DEL ALUMINIO:

Procesos para soldar aluminio y sus aleaciones por arco eléctrico y electrodos revestidos:

- 1) Limpieza rigurosa, libre de suciedad y lubricantes.
- 2) Biselar por medios mecánicos
- 3) Precalentar de 100°C a 200°C de acuerdo al volumen de la pieza.
- 4) Soldar con cordones continuados, usar solamente corriente continua polaridad invertida; quitar la escoria con escobilla de acero.
- 5) Enfriamiento lento en el medio ambiente, lavar la escoria con agua tibia.

#### 4.78. PROCESO MIG PARA SOLDAR ALUMINIO:

La mayoría de las soldaduras de aluminio y aleaciones por fusión se hacen con arco eléctrico, y protección gaseosa (MIG). La zona afectada térmicamente es más angosta que el obtenido con oxiacetileno o con electrodos revestidos. Para soldar el aluminio y aleaciones por proceso MIG, se usa corriente continua, polaridad invertida, durante el soldo se funden tanto el metal de relleno como la zona de soldeo del metal base. La alta velocidad de depósito del proceso MIG produce menor deformación, mayor resistencia mecánica del depósito, y menor costo para un trabajo dado.

que con cualquier otro proceso de soldadura por fusión.

Lo eficiente en el uso de la energía, característica del proceso MIG, hacen innecesario el precalentamiento de la pieza de aluminio en la mayoría de casos, en consecuencia este proceso es ampliamente usado para soldar piezas grandes de aluminio; también es aplicable para espesores tan delgados como 0.062 pulgadas.

Para soldar aluminio y aleaciones en posiciones planas, vertical y horizontal, es preferible usar argón, ya que produce un arco más estable que con helio.

Como se puede ver en la tabla 4.8 también se puede usar mezclas de gases Argón-Helio para obtener ciertas ventajas de mayor voltaje y penetración:

Posición	Flujo del gas protector (pies <sup>3</sup> / hora)		
	Argón	Helio	75% He + 25% A
Plana	50 - 70	70 - 90	60 - 80
Horizontal	50 - 70	70 - 90	60 - 80
Vertical	50 - 70	70 - 90	60 - 80
Sobre cabeza	70 - 90	80 - 100	70 - 90

Tabla 4.8 Flujo sugerido para soldar con MIG en unión a tope el aluminio y aleaciones.

#### 4.79. PROCESO TIG PARA SOLDAR ALUMINIO:

El aluminio puede ser soldado con el proceso TIG usando corriente contí-

nua polaridad directa (C.C.P.D.), polaridad invertida (C.C.P.I.) o corriente alterna. Generalmente se usa C.C.P.I. para sección delgadas, C.C.P.D. para sección relativamente gruesas con pistolas de avance mecanizado. y C.A. para placas delgadas.

El proceso TIG es más rápido que un proceso de soldadura eléctrica en electrodos revestidos manuales, pero mas lento que un proceso de soldadura MIG.

Se puede usar como gases protectores argón o helio, el primero da una mejor estabilidad del arco; la adición de helio al argón le dá ciertas ventajas al momento de soldar, generalmente cuando se usa 10% o más de helio mezclado con argón, la penetración se incrementa significativamente,

#### 4.80. PRODUCTOS USADOS PARA LA RECUPERACIÓN DE ALUMINIO Y ALEACIONES EN EL PERÚ

EUTECTIC	FONTARGEN	OERLIKON
2109	E 406	ALCORD 451
190	A 407	-
21	A 405	-

#### ALEACIONES DE MAGNESIO

##### 4.81. INTRODUCCIÓN A LA SOLDABILIDAD DEL MAGNESIO:

Las aleaciones de magnesio son llamados también ultraligeras, debido a su

baja densidad de 1.80, comparada con 2.60 de las aleaciones de aluminio. La temperatura de fusión del magnesio puro es de 651°C.

El magnesio resiste bastante bien los agentes atmosféricos, por que en el aire húmedo se forma en su superficie una película de hidróxido de magnesio ( $Mg(OH)_2$ ) que protege de la oxidación y corrosión el resto del material.

#### 4.82. ELEMENTOS ALEANTES DEL MAGNESIO:

Aún cuando el magnesio puro es un metal relativamente débil (resistencia ténsil 12 Kg/mm<sup>2</sup>, dureza 35 HB), puede reforzarse considerablemente aleándolo con cantidades adecuadas de aluminio, zinc, manganeso y, recientemente, por la adición de pequeñas cantidades de circonio y metales de "minerales raros". Algunas de estas aleaciones pueden endurecerse por precipitación siendo usadas ventajosamente en aplicaciones para las cuales el peso es un factor limitante como es en la industria aeronáutica, trenes de aterrizaje, tanques de combustibles, de aceite, carters de cigueñales y tornillos, además de muchas partes de motor, tanto en motores de pistones como de reacción.

Los principales elementos de aleación del magnesio son:

##### ALUMINIO

El aluminio se disuelve en el magnesio, en porcentajes que varían con la temperatura, desde 2 por ciento a temperatura ambiente hasta 12.7 por ciento a 437°C (Ver fig. 4.8).

Esta variación de la solubilidad y la precipitación del compuesto químico  $Al_2Mg$ , hacen posible que las aleaciones de Mg-Al, con más de 3% de Al sean endurecibles por precipitación o envejecimiento.

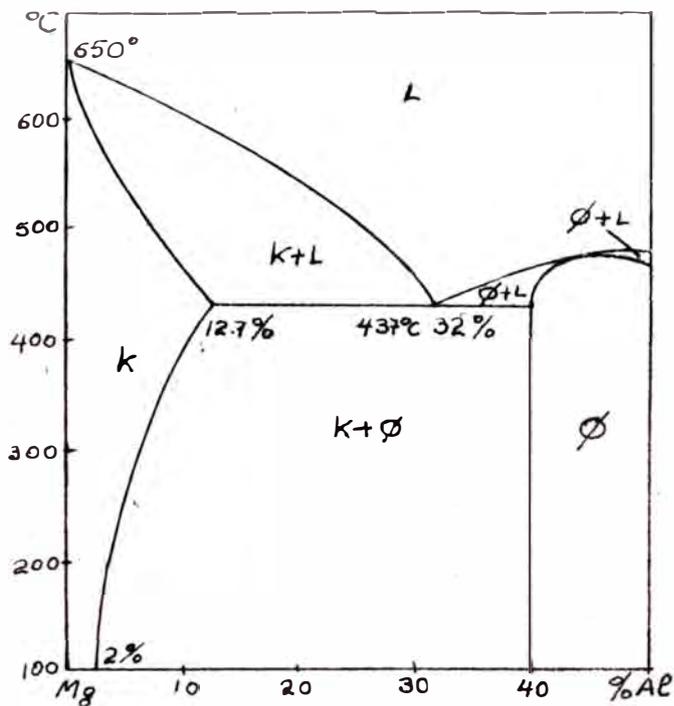


Fig. 4.8 Diagrama de equilibrio magnésio - aluminio

## ZINC

Las aleaciones Mg-Zn, están representadas en la fig. 4.9, donde se puede ver la solubilidad de Zn, en el magnesio; varía con la temperatura, desde 1.8 por ciento a temperatura ambiente hasta 8.4 por ciento a 340°C.

Para porcentajes mayores al límite de solubilidad precipita un compuesto químico Mg-Zn<sub>2</sub>, que aumenta la dureza de aleación, esta variación de la solubilidad del zinc, con la precipitación del compuesto químico hacen posible, que las aleaciones Mg-Zn, sean endurecibles por precipitación o envejecimiento.

## MANGANESO

Se emplea como elemento secundario en las aleaciones de magnesio, mejora la resistencia a la corrosión, sobre todo si la aleación contiene impurezas de hierro.

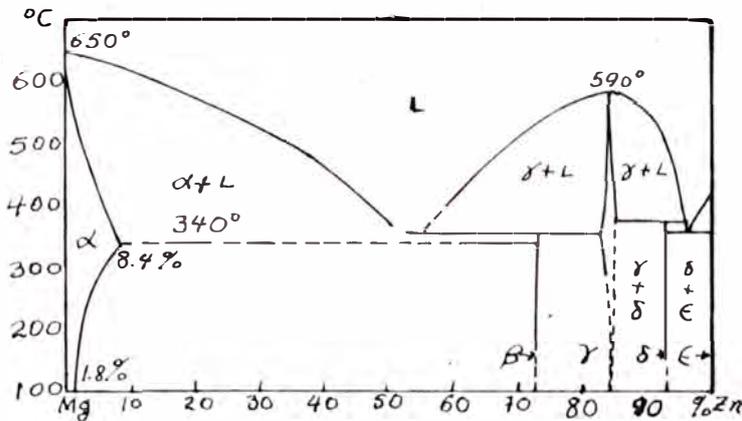


Fig.4.9 Diagrama de equilibrio magnésio Zinc.

#### CIRCONIO

Del mismo modo que el manganeso, es empleado como elemento secundario. El circonio refina el grano y mejora, por tanto, las propiedades mecánicas de la aleación.

Las principales aleaciones de magnesio son las conocidas comercialmente como "ELECTRÓN" y "MAGNUMINIO", las cuales incluyen aleaciones tanto vaciadas como forjadas (Ver tablas 4.9 y 4.10).

#### 4.83. SOLDABILIDAD DEL MAGNESIO Y SUS ALEACIONES:

Básicamente la soldabilidad de las aleaciones ultraligeras presentan los mismos problemas que las aleaciones de aluminio.

- Formación de una capa superficial de óxido
- Alta conductividad calórica
- No cambia de color con la temperatura
- Pérdida de las propiedades mecánicas por el calor de la soldadura en las aleaciones tratadas.

La solución a cada uno de estos problemas es exactamente igual a las dadas para las aleaciones de aluminio.

COMPOSICIÓN (%)					PROPIEDADES MECÁNICAS	
Al	Mn	Zn	Zr	Cd	R.T.Kg/mm <sup>2</sup>	% Elongación
-	1.5	-	-	-	20 - 23	5.0 - 4.0
6.0	3.0	1.0	-	-	28 - 22	8.0
8.0	0.3	0.4	-	-	28	8.0
-	-	3.0	0.7	0.3	26 - 31	8.0
-	-	-	0.7	0.5	20 - 23	12.0 - 14.0

Tabla 4.9. Aleaciones a base magnesio, forjadas

COMPOSICIÓN (%)					PROPIEDADES MECÁNICAS	
Al	Mn	Zn	Zr	Tierras Raras	R (Kg/mm <sup>2</sup> )	% Elong
7-4	0.1-1.0	0.5-1.5	-	-	14	2.0
9-10.5	0.15-0.4	0.3-1.0	-	-	23	2.0
-	-	3.5-5.0	0.4-1.0	1.0-1.75	17	5.0
-	-	3.5-5.0	0.4-1.0	-	23	1.0
-	-	3.5	0.4-1.0	2.5-4.0	17	5.0

Tabla 4.10. Aleaciones a base de magnesio, vaciadas

#### 4.84. SOLDADURA OXIACETILÉNICA DEL MAGNESIO:

Para soldar con soplete oxiacetilénico, es necesario seguir el siguiente procedimiento:

- 1.- Limpieza rigurosa, libre de suciedad y lubricantes.
- 2.- Biselar de acuerdo al espesor, preferentemente con lima.
- 3.- Precalentar a 300°C; aplicar bastante fundente sobre la unión, para- que desoxide enérgicamente e indique la temperatura de aplicación de la soldadura.
- 4.- Aplique la soldadura con llama carburante, para evitar la oxidación- y sobrecalentamiento de la pieza.
- 5.- Enfriamiento lento en el medio ambiente, lavar con agua tibia los re- siduos de fundente.
- 6.- Si se trata de una pieza tratada térmicamente, templar calentando de 380°C a 400°C y luego dar un tratamiento de precipitación de 180°C du- rante 20 - 24 hrs.. Si se trata de pieza fundida o que no tiene trata- miento térmico, hacer un recocido de estabilización, para aliviar las tensiones internas a 300°C durante 3 hrs. con un enfriamiento lento.

#### 4.85. PROCESO TIG PARA SOLDAR MAGNESIO:

Para soldar magnesio con el sistema TIG, es necesario regular todos los parámetros en función del espesor de la unión: diámetro del electrodo de tungsteno, presión de argón, corriente alterna y asu alta frecuencia. El precalentamiento puede ser innecesario si son piezas pequeñas. La alta frecuencia del arco rompe la capa de óxido y no necesita fundente.

Se usan procesos de soldadura TIG tanto manuales como automáticos, sien- do de suma importancia la limpieza del metal base y del metal de aporte- para obtener soldaduras de calidad. Se puede usar Argón o Helio, o una - mezcla de ambos, este último es el más comunmente utilizado.

#### 4.86. PROCESO MIG PARA SOLDAR MAGNESIO:

La virtud del proceso MIG es su alta velocidad de depósito, de 2 a 3 ve-

ces mayor que la soldadura TIG (manual), esto reduce la distorsión e incrementa (de 1000 a 2000 PSI) la resistencia a la tensión. La alta velocidad de depósito reduce los costos de soldeo y el tiempo requerido para una determinada soldadura.

El gas argón es el más usado para soldar el magnesio con MIG, ocasionalmente se usan mezclas de argón helio para incrementar el flujo del metal de relleno y la penetración del depósito, el gas helio puro no es deseable como gas de protección, ya que produce chisporroteo.

#### 4.87. PRODUCTOS PARA SOLDAR MAGNESIO Y ALEACIONES EN EL PERÚ:

EUTECTIC	FONTARGEN	OERLIKON
1900	A 411	

#### ALEACIONES DE ZINC

#### 4.88. INTRODUCCIÓN A LA SOLDABILIDAD DE LAS ALEACIONES DE ZINC:

Para obtener aleaciones estables, se usa zinc con 99.95% de pureza. Las aleaciones a base de zinc, con aluminio, cobre y magnesio se llaman ZAMAK.

Erróneamente en nuestro país a estas aleaciones se les llama antimonio, debido a que hace 20 años atrás los carburadores de los automóviles venían en una aleación de plomo, estaño y antimonio (10% aproximadamente).

Las aleaciones Zamak presentan la ventaja de una excelente colabilidad a baja temperatura (400-450°C), buena conductividad térmica y bajo costo.

Las aleaciones más usadas para la fundición a presión (en la fabricación de carburos, bombas de agua, de bencina, aparatos fotográficos, etc.), - son las aleaciones ZAMAK 3 (SAE 903) y ZAMAK 5 (SAE 905).

#### ZAMAK 3 (SAE 903)

Aluminio	=	4%
Cobre	=	menos de 0.10%
Magnesio	=	0.02 - 0.05%
Zinc	=	resto
Resistencia tensil	=	29 Kg/mm <sup>2</sup>
Elongación	=	10%

#### ZAMAK 5 (SAE 905)

Aluminio	=	4%
Cobre	=	0.5 - 1.0%
Magnesio	=	0.02 - 0.05%
Zinc	=	resto
Resistencia tensil	=	34 Kg/mm <sup>2</sup>
Elongación	=	7.5%

#### 4.89. SOLDABILIDAD DE LAS ALEACIONES DE ZINC:

El método más usado es por soldadura oxiacetilénica, para lo cual se debe usar aleación de bajo punto de fusión y alta fluidez. Seguir el siguiente procedimiento:

- 1.- Limpieza rigurosa
- 2.- Biselar de acuerdo a espesor
- 3.- Precalentar a 200°C. Aplicar fundente en la zona de unión.
- 4.- Soldar con llama carburante para evitar la oxidación y sólo cuando el fundente se licúa. No sobrecalentar la pieza.
- 5.- Enfriamiento lento en el medio ambiente.

#### 4.90. PRODUCTOS PARA SOLDAR ALEACIONES DE ZINC EN EL PERÚ:

EUTECTIC

OERLIKON

FONTARGEN

196

A 602

#### NIQUEL Y ALEACIONES DE ALTO CONTENI- DO DE NIQUEL

#### 4.91. INTRODUCCIÓN A LA SOLDABILIDAD DEL NIQUEL Y ALEACIONES:

El níquel es un elemento bastante parecido al hierro, en algunos aspectos, es sólo ligeramente más denso que el hierro y sus propiedades magnéticas y mecánicas, son bastante similares, sin embargo, su estructura cristalina es completamente distinta a la del hierro y por lo tanto también lo es su metalurgia.

Contrariamente al hierro, este metal presenta una estructura invariable hasta el punto de fusión. Como las aleaciones de níquel no sufren cambio cristalográfico o de fase, el tamaño de grano del metal base o del metal de aporte no puede ser modificado por tratamiento térmico. El tamaño de grano solo puede reducirse por deformación en frío, seguido de un recocido adecuado.

El níquel por tener una amplia solubilidad para una considerable gama de otros elementos, es que se producen muchas aleaciones comerciales, el níquel y el cobre totalmente solubles en estado sólido, el hierro y cobalto

son solubles en el níquel hasta altos porcentajes. El límite de solubilidad de cromo es de 35 - 40% y del molibdeno alrededor del 20%.

Las aleaciones de níquel con cobre, cromo, molibdeno, hierro y cobalto no presentan desventajas desde el punto de vista de la soldabilidad.

El azufre, fósforo, plomo, circonio y boro son prácticamente insolubles en el níquel y aleaciones, y pueden causar tendencia a roturas en caliente. Los efectos muy negativos del azufre sobre la ductilidad de estas aleaciones son controlados con pequeñas adiciones de magnesio. Sin embargo, en los procedimientos de soldadura por arco, las pérdidas de magnesio a través del arco son tan grandes que su efecto se pierde, es por ello, que el magnesio es reemplazado en los metales de aporte por aluminio, titanio o columbio.

Las soldaduras por fusión sin material de aporte pueden presentar porosidad en la zona de unión, esto se debe a la contaminación por gases como el oxígeno, nitrógeno y monóxido de carbono, situación que es controlable con material de aporte que contenga titanio u otros elementos que fijan los gases.

#### 4.92. ALEACIONES DE NÍQUEL:

Generalmente, la identificación de una aleación de níquel en particular se basaba en marcas de fabricación o especificaciones del tipo militar o naval

La mayoría de los fabricantes, emplea un sistema de numeración de tres dígitos que va a continuación del nombre comercial.

DÍGITO	GRUPO DE ALEACIONES
200	Níquel, solución sólida
300	Níquel, endurece por precipitación
400	Níquel-cobre, solución sólida
500	Níquel-cobre, endurece por precipitación
600	Níquel-cromo, solución sólida
700	Níquel-cromo, endurece por precipitación
800	Níquel-hierro-cromo, solución sólida
900	Níquel-hierro-cromo, endurece por precipitación

#### 4.93. SOLDABILIDAD DEL NÍQUEL Y ALEACIONES:

1° Preparación de la Junta. El diseño de la junta debe efectuarse de acuerdo al proceso de soldadura a emplear. En general el níquel y sus aleaciones son menos fluídos que el hierro y que por lo tanto, los biselados deben ser más abiertos que en el caso de los aceros.

2° Limpieza. Este es sin duda el requerimiento más importante para un trabajo de soldadura. Las aleaciones de níquel son susceptibles a agrietamiento por contaminación debido al azufre, plomo, fósforo u otros materiales de bajo punto de fusión. Debido a que frecuentemente estos elementos se presentan en aceites, pinturas, lápices para marcar, líquidos para cortar, suciedad general, etc.; es fundamental proceder a una buena limpieza en toda la zona que será calentada.

3° Precalentamiento. Por lo general no se requiere precalentamiento, sin embargo, si el metal está frío se recomienda pre-calentar a unos 20°C para evitar la condensación de humedad que podría causar porosidad en la soldadura.

ALEACIÓN	Ni	C	Mn	Fe	S	Si	Cu	Cr	Al	Ti	Mo	Co	W	Cb
Nickel 200	99.5	0.08	0.18	0.2	0.005	0.18	0.13	-	-	-	-	-	-	-
Nickel 201	99.5	0.01	0.18	0.2	0.005	0.18	0.13	-	-	-	-	-	-	-
Monel 400	66.5	0.15	1.0	1.25	0.012	0.25	31.5	-	-	-	-	-	-	-
Monel K 500	66.5	0.13	0.75	1.00	0.005	0.25	29.5	-	2.73	0.60	-	-	-	-
Monel 502	66.5	0.05	0.75	1.00	0.005	0.25	28.0	-	3.00	0.25	-	-	-	-
Inconel 600	76.0	0.08	0.5	8.00	0.008	0.25	0.25	15.5	-	-	-	-	-	-
Inconel 601	60.5	0.5	0.5	14.5	0.007	0.25	0.50	23.0	1.35	-	-	-	-	-
Inconel 625	61.0	0.05	0.25	2.5	0.008	0.25	-	21.5	0.2	0.2	9.0	-	-	3.65
Inconel 706	41.5	0.03	0.18	40.0	0.008	0.18	0.15	16.0	0.2	1.75	-	-	-	2.9
Inconel 718	52.5	0.04	0.18	18.5	0.008	0.18	0.15	19.0	0.5	0.90	3.5	-	-	5.13
Inconel X-750	73.0	0.04	0.50	7.00	0.005	0.25	0.25	15.5	0.7	2.50	-	-	-	0.95
Stroloy	56.0	0.05	0.05	-	-	-	-	15.0	4.4	3.5	5.25	15.0	-	-
Inconel 800	32.5	0.05	0.75	46.0	0.008	0.50	0.38	21.0	0.38	-	-	-	-	-
Incaloy 825	42.0	0.03	0.50	30.0	0.015	0.25	2.25	21.5	0.10	0.90	3.0	-	-	-
Carpenter 20 Cb3	36.0	0.04	1.00	36.0	0.017	0.50	3.50	20.0	-	-	2.5	-	-	0.50
Incoloy 901	42.7	0.05	0.45	34.0	0.010	0.40	0.10	13.5	0.25	2.50	6.2	-	-	-
Hastelloy B	61.0	0.05	1.00	5.0	0.03	1.00	-	1.0	-	-	28.0	2.5	-	-
Hastelloy C	54.0	0.08	1.00	5.0	0.03	1.00	-	15.5	-	-	16.0	2.5	4.0	-
Hastelloy C 276	57.0	0.02	0.75	5.5	0.02	0.02	-	15.5	-	-	16.0	1.5	4.0	-
Hastelloy D	82.0	0.12	0.80	2.0	-	9.00	3.00	1.0	-	-	-	1.5	-	-
Hastelloy	47.0	0.05	1.5	17.0	0.03	1.00	-	22.0	-	-	6.5	2.5	1.0	-
Hastelloy G	46.0	0.03	1.30	19.5	-	0.35	2.00	22.25	-	-	6.5	-	0.5	2.12
Hastelloy N	69.5	0.06	0.80	5.0	0.02	0.5	-	7.0	(Ti-Al)	0.5	16.5	-	-	-
Hastelloy R-235	63.5	0.16	0.25	10.0	0.03	0.60	-	15.5	2.00	2.5	5.5	2.5	-	-
Hastelloy	60.0	0.12	1.00	5.0	0.03	1.00	-	5.0	-	-	24.5	2.5	-	-
Hastelloy X	47.0	0.10	1.00	18.0	0.02	1.00	-	22.0	-	-	9.0	1.5	0.6	-

Tabla 4.11 Composición nominal de aleaciones de alto contenido de níquel.

4°Efectos debido a la temperatura. El calor proveniente de la soldadura al arco, no suele tener efectos negativos en metales a base de níquel. Invariablemente se presentará en la zona de influencia térmica un cierto grado de crecimiento de grano, cuya magnitud dependerá del calor aportado por el proceso de soldadura.

#### 4.94. PRODUCTOS PARA SOLDAR NÍQUEL Y ALEACIONES EN EL PERÚ:

EUTECTIC	OERLIKON	FONTARGEN
6800	-	E 717H
2222	-	E 521
18FC	-	AF 211

## CAPITULO 5

### RECUPERACION DE PIEZAS FALLADAS POR ROTURA

Un trabajo muy frecuente en el taller de mantenimiento es la recuperación de piezas que han fallado por rotura, el éxito de esta operación depende mucho de un conocimiento de las causas del problema, la selección del material adecuado y de la calidad del depósito de soldadura, por lo que en el siguiente capítulo se analizará los diferentes tipos de falla, y las pruebas para determinar tanto la soldadura adecuada, como la futura performance de la pieza recuperada en el trabajo.

#### LA FALLA POR ROTURA

Es la separación o fragmentación de una pieza en dos o más partes bajo la acción de una tensión. Se puede considerar que la rotura es el resultado de la iniciación y propagación de grietas.

Las roturas se pueden clasificar en dos categorías generales:

##### 5.1. ROTURA DÚCTIL:

Se caracteriza por una deformación plástica apreciable antes y durante -

la propagación de las grietas. En las superficies fracturadas se observa normalmente un grado perceptible de deformación macroscópica.

Se produce a causa del lento desgarramiento del metal debido a un consumo considerable de energía. La rotura dúctil en tracción es precedida usualmente por una reducción local del diámetro llamado estricción.

### 5.2. ROTURA FRÁGIL:

Es aquel tipo de rotura en que hay una deformación plástica aparente despreciable antes de la rotura. Se caracteriza por una rápida velocidad de propagación de grietas sin deformación macroscópica y muy poca microdeformación.

La tendencia a que se produzca una rotura frágil aumenta al disminuir la temperatura, al incrementar la velocidad de deformación y en condiciones de tensión triaxial (producida normalmente por una entalla). La rotura frágil debe evitarse a toda costa, ya que ocurre sin previo aviso y normalmente produce consecuencias desastrosas.

## INFLUENCIA DE LA CONDICIÓN DE TENSIÓN EN LA ROTURA

### 5.3 TENSIÓN DE TRACCIÓN Y ROTURA:

Es la condición de tensión más probable para producir rotura debido a que:

- 1) La tracción tiende a separar el metal en dos partes por lo que no existe oportunidad de "curar" una grieta una vez que esta se ha formado.

2) Produce contracción lateral, reduciendo el área de la sección normal, aumentando la intensidad de la tensión real.

3) La tensión equivalente de cizalladura de una fuerza de tracción tiene sólo la mitad de la intensidad de la tensión de tracción y, en la mayor parte de los casos, es más probable que conduzca a deformación plástica que a fractura por cizalladura.

#### 5.4. TENSIÓN DE COMPRESIÓN Y ROTURA:

Es la clase de tensión con menor probabilidad de producir rotura debido a que:

1) La compresión tiende a colocar muy junta la estructura de un material teniendo así a "curar" cualquier grieta que pueda iniciarse.

2) La compresión produce expansión lateral, aumentando el área de la sección normal y reduciendo la intensidad de tensión real.

3) La tensión equivalente de cizalladura de una fuerza de compresión tiene solamente la mitad de la intensidad de la fuerza de compresión y es más probable que de deformación plástica que fractura plana.

#### 5.5. TENSIÓN DE CIZALLADURA Y ROTURA:

La resistencia a la cizalladura normal es usualmente mayor que la mitad de su resistencia a la tracción, así la cizalladura no es probablemente el criterio de rotura bajo tracción o compresión, luego la rotura por cizalladura es más probable que ocurra en condiciones de carga torsional.

#### 5.6. TAMAÑO DE GRANO Y ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN EN ROTURA:

La resistencia a la rotura aumenta con la disminución del tamaño de grano, y la deformación se hace más uniforme a través de la sección sometida a tensión. Así por ejemplo, en tracción, la estricción se hace menos localizada.

Una velocidad de endurecimiento por deformación baja, hace la condición de tensión multiaxial menos severa y la tendencia hacia el adelgazamiento plástico bajo tracción se hace mayor. Inversamente una alta velocidad de endurecimiento por deformación tiende a producir condiciones de tensión multiaxial más severa, aumentando así la posibilidad de rotura por crucero antes que por cizalladura. (Ver figs. 5.1a y 5.1b.)

#### 5.7. TEMPERATURA Y ROTURA:

Una temperatura mas baja está asociada con una más alta resistencia a la rotura y viceversa.

A temperaturas decrecientes, por debajo de la temperatura ambiente, tanto la resistencia a la deformación plástica como la rotura por tracción, tiende a aumentar uniformemente, pero el aumento en la tensión de rotura es menor que el aumento en la resistencia a la deformación, de modo que la plasticidad tiende a disminuir. Inversamente, a medida que la temperatura sube por encima de la temperatura ambiente, dentro de ciertos límites, la resistencia a la deformación y a la rotura disminuye a la plasticidad aumenta.

## T I P O S   D E   R O T U R A                      L O S   M E T A L E S

Los metales pueden presentar muchos tipos diferentes de roturas dependiendo del material, temperatura, estado de tensión y velocidad de carga. Las roturas frágiles (Fig. 5.1a) se caracteriza por una separación normal a -

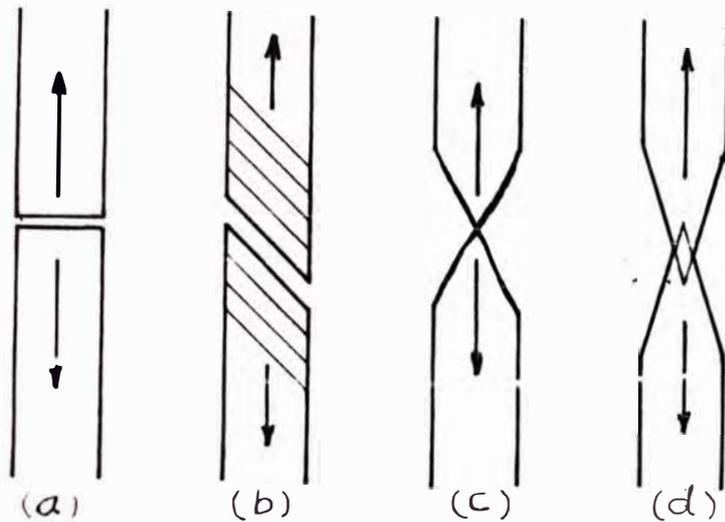


Fig. 5.1 Tipos de rotura - observados en metales sometidos a tracción monoaxial a) rotura frágil de monocristales y policristales, b) rotura de cizallamiento en monocristales dúctiles c) rotura completamente dúctil en policristales, d) rotura en "copa" de policristales.

la tensión de tracción, por difracción de rayos X es posible detectar una fina capa de metal deformado en la superficie de rotura.

Las roturas dúctiles adoptan formas diferentes. Los microcristales de los metales hexagonal compacto pueden deslizarse en planos base sucesivos - hasta que el cristal finalmente se separa por cizallamiento (Fig.5.1b).

La rotura por estricción plástica (Fig.5.1c) ocurre a veces a la temperatura ordinaria con metales muy plásticos (ejemplo, oro y plomo), pero es más frecuente a temperaturas elevadas. El metal se deforma hasta que fluye en un área que causa separación completa del metal en los lados del área de concentración. Puede ocurrir bajo tracción y torsión aunque no tan fácilmente en lo último.

En la fig. 5.1d se muestra un tipo de rotura en "Copa, esto se produce en materiales razonablemente dúctiles bajo esfuerzos de tracción.

La estricción comienza en el punto de estabilidad plástica, cuando el aumento de la resistencia causada por el endurecimiento por deformación cesa de compensar la disminución producida en el área de la sección transversal (fig. 5.2).

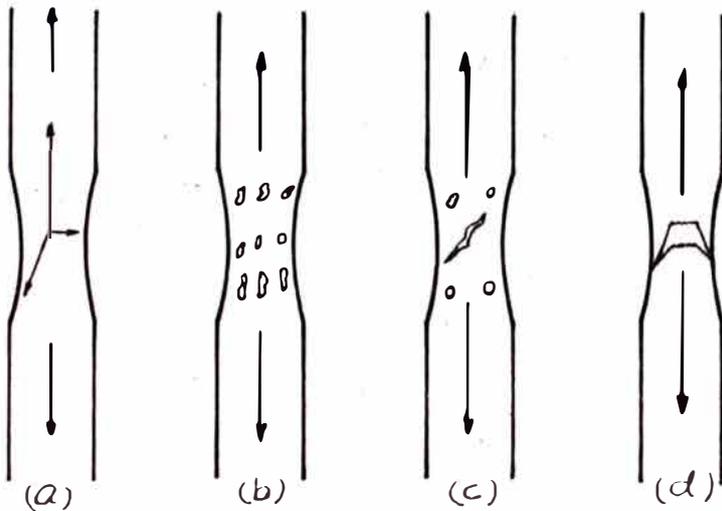


Fig. 5.2 Fases de formación de una rotura de "copa y cono"

Esto tiene lugar en el punto de carga máxima, o en una deformación real igual al coeficiente de endurecimiento por deformación. La formación de un cuello de estricción local introduce en la región un estado triaxial de tensiones, por lo que se forman muchas cavidades pequeñas (fig. 5.2b) que bajo una deformación continua, crecen transformándose en una grieta central (fig. 5.2c). Esta grieta crece en dirección perpendicular al eje de la probeta, hasta que se aproxima a la superficie de la misma. A continuación se propaga a lo largo de planos de cizallamiento situados, aproximadamente a  $45^\circ$  con relación al eje, formando así el "Cono" de la rotura (fig. 5.2d).

#### 5.8. TEORÍA CLÁSICA DE LA TRANSICIÓN DÚCTIL - FRÁGIL:

Tres factores son los que estimulan la rotura frágil 1) un estado tria-

xial de tensiones, 2) en una temperatura baja, y 3) una velocidad de deformación elevada. La presencia de una entalla (ranura) origina la condición 1) y contribuye a la condición 3) La temperatura tiene un efecto importante sobre las propiedades básicas de fluencia rotura del metal, el límite elástico o tensión de fluencia aumenta en todos los metales con el descenso de temperaturas. En los metales con red cúbica de caras centradas en los que no hay transición dúctil-frágil, se multiplica el límite elástico al variar la temperatura desde el ambiente hasta la del nitrógeno líquido ( $-196^{\circ}\text{C}$ ), por un factor aproximadamente igual a 2.

En los metales con red cúbica centrada, que presentan la transición dúctil-frágil, el límite elástico se multiplica por un factor que varía de 3 a 8 sobre el mismo intervalo de temperatura.

La estricción de rotura de una probeta en tracción disminuye rápidamente dentro de un corto intervalo de temperatura. La gama de temperaturas en que tiene lugar esta transición recibe el nombre de "Temperatura de Transición".

La existencia de temperatura de transición se debe a la diferencia en las variaciones con la temperatura de las resistencias al cizallamiento y al despegue. Los valores relativos de estos dos parámetros determinan que la rotura sea dúctil o frágil. Por encima de la temperatura de transición se alcanza el límite elástico antes que la tensión de rotura, mientras que por debajo se alcanza en primer lugar la tensión de rotura.

### 5.9. ROTURA POR FATIGA:

La acción destructiva de las tensiones repetidos o fluctuantes en los metales, es mucho mayor que las de las tensiones estáticas, y el material rompe siendo el valor de la tensión considerablemente más bajo que el de

su carga de rotura en tracción. La rotura de un metal en condiciones de carga dinámica se llama fatiga, y el esfuerzo máximo que puede soportar sin romperse para un número de ciclo grande se denomina límite de fatiga. El límite de fatiga de los aceros al carbono es normalmente del 35-55% de su resistencia a la tracción.

La rotura se produce sin ninguna manifestación externa previa. En este aspecto se diferencia de la rotura dúctil de un metal, que va siempre precedida de una notable deformación del metal en la zona de rotura. Puede decirse por esto que la fatiga presenta una fractura frágil. La superficie de fractura suele ser, macroscópicamente, normal al eje de la tensión de tracción principal. Las roturas por fatiga se pueden reconocer usualmente por el aspecto de la superficie de la fractura que muestra una región lisa, debido al frotamiento que ocurre cuando se propaga la grieta a través de la sección (Fig. 5.3) y una región rugosa, originada cuando el miembro ha roto dúctilmente por haber disminuído la sección sana al no poder so-

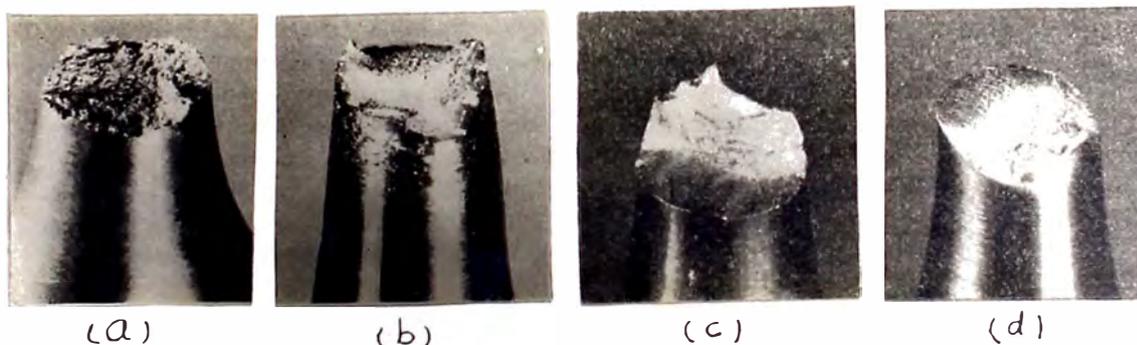


Fig. 5.3 fracturas por fatiga típicas (a) tracción compresión alternada de cobre (b) tracción-compresión alternada de un acero (c) flexión de una viga rotatoria de aleación de aluminio (d) flexión de una viga rotatoria de una acero (tamaño natural aproximadamente).

portar la carga. Es frecuente que el progreso de la fractura aparezca señalado por una serie de marcas anulares, que parecen propagarse, desde el punto de iniciación de la falla, como se muestra en la fig. 5.4.

Usualmente la falla se inicia en un punto de concentraciones de tensiones de origen metalúrgico tal como una inclusión.

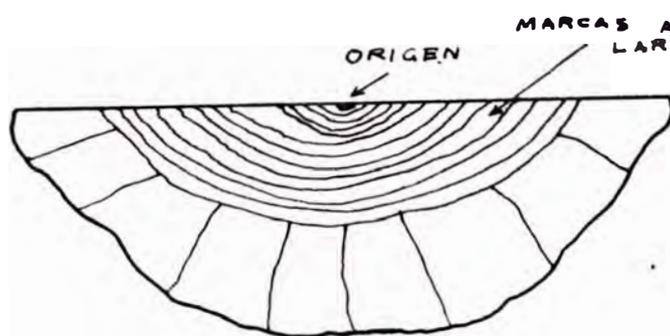


Fig. 5.4 Marcas anulares, que se ven a veces en la cara de fractura de una rotura por fatiga, extendiéndose a partir del punto de origen de la rotura.

#### 5.10. CONCENTRACIÓN DE TENSION Y FATIGA:

La resistencia a la fatiga disminuye de manera muy importante por la introducción de un concentrador de tensiones, tal como una entalla o un agujero.

Todas las esquinas agudas apuntando hacia dentro, son fuertes potenciales de peligro y el acabado superficial puede tener un gran efecto en las propiedades de fatiga de un material, particularmente si el material es muy sensible a la entalla. Como las piezas reales presentan accidentes que concentran las tensiones, tales como filetes, chaveteros, roscas y taladros, uniones con soldadura (Fig. 5.5), las grietas de fatiga se inician, generalmente en esas irregularidades geométricas.

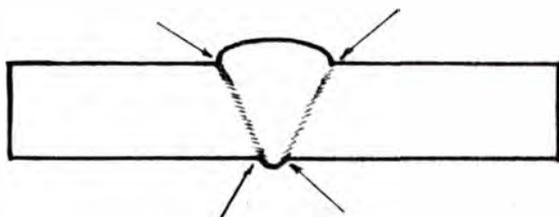


Fig. 5.5 Puntos críticos de debilidad por fatiga en un perfil soldado a tope sencillo. Los puntos débiles se señalan por flechas.

Con frecuencia, es necesario determinar la sensibilidad de un material a la rotura en presencia de una discontinuidad de sección, es decir, medir la sensibilidad a la entalla por fatiga. Esto se realiza por ensayo de probetas con entallas o ranuras apropiadas bajo condiciones de carga normalizadas.

Cualquier irregularidad en la estructura metálica puede actuar como elevador de tensión interna. Esta irregularidad puede adoptar la forma de una fisura interna, una impureza no metálica frágil empotrada, fases desiguales, una estructura monofásica con bordes de grano débiles o una estructura monofásica con tamaño de grano irregular.

#### 5.11. MODO DE CARGA Y FATIGA:

El modo y secuencia de carga pueden tener tanto efecto en el comportamiento a la fatiga de un metal como la intensidad de tensión máxima. El principal factor parece ser el intervalo de tensión en un ciclo de carga al que está sometido el material.

El intervalo de tensión de fatiga o intervalo de fatiga, como se le llama a veces, es la diferencia entre la tensión máxima y la mínima a la que se somete el material durante un ensayo de fatiga o en servicio.

La fig. 5.6 sirve para ilustrar sobre los ciclos típicos de tensiones de fatiga. La fig. 5.6a representa un ciclo de inversión completa de la tensión de forma sinusoidal, la fig. 5.6b muestra un ciclo de tensiones repetidas en el que la tensión máxima y la tensión mínima son iguales, y ambas son de tracción. El ciclo de tensiones repetidas pueden ser también de forma compleja, como el encontrado en una parte de una ala de avión sometido a sobrecargas periódicas imprevisibles debidas al viento. Fig. 5.6c.

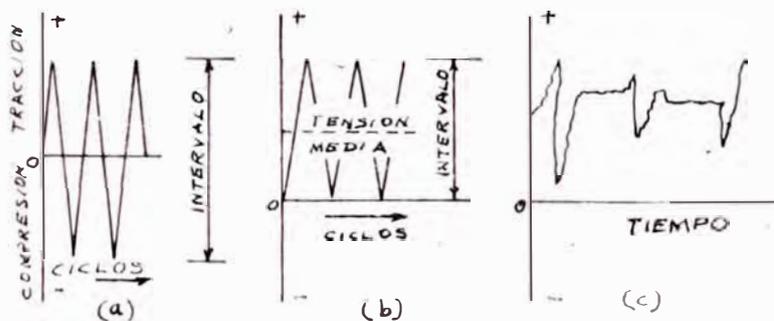


Fig. 5.6 Ciclos típicos de fatiga a) tensión alterna (inversión), b) tensión repetida; c) tensión o aleatoria.

### 5.12. FATIGA TÉRMICA:

Las tensiones de origen térmico se producen cuando de alguna manera se constriñe el cambio de dimensiones de una pieza resultante de la variación de temperatura.

Para el caso sencillo de una barra fija en sus extremos la tensión de origen térmico que se produce por una variación de temperatura  $\Delta T$  es:

$$\sigma = \alpha E \Delta T \quad \text{en donde}$$

$\alpha$  es el coeficiente de dilatación lineal y  $E$  el módulo elástico. Si la rotura ocurre por aplicaciones repetidas de tensiones de origen térmico, se llama fatiga térmica. En los equipos para temperaturas elevadas se

presentan frecuentemente las condiciones necesarias para la falla por fatiga térmica. El acero inoxidable austenítico es particularmente sensible a este fenómeno debido a su baja conductividad térmica y su elevado coeficiente de dilatación.

### 5.13. MODO DE HACER MÍNIMA LA TENDENCIA A FATIGA:

Las principales recomendaciones para hacer mínima la debilidad por fatiga son:

1. Control preciso del acabado superficial, esta varía con la naturaleza del material, un material plástico blando, no es tan sensible al acabado superficial como un material frágil y duro.
2. Tratamiento superficial, el endurecimiento por cementación y nitruración del acero, pueden elevar la resistencia a la fatiga siempre que no se produzcan resquebajaduras en la superficie, asimismo el endurecimiento superficial por deformación.
3. Control de la geometría de la pieza, adaptándola para que produzca la mínima concentración de tensión o para desarrollar compresión más bien que tracción.

### SELECCION DEL MATERIAL DE APORTE ADECUADO PARA EL TIPO DE FALLA

Material de aporte adecuado para rotura dúctil. En el caso de que una pieza falle por rotura dúctil, ésta ocurre como se vió generalmente por que el esfuerzo al cual está sometido la pieza es mayor que la resistencia del metal base, y a su vez tiene la suficiente elasticidad

y plasticidad como para originarse una rotura con deformación previa, antes que una rotura frágil.

Parece lógico que la solución a este problema sería unir la pieza fallada con un material de aporte que tenga igual o mayor resistencia mecánica que el metal base, para que de esta forma, la pieza no vuelva a fallar en la zona soldada, sino que si se excede la capacidad de resistencia del metal base, la falla sea en otra parte de la pieza mas no en la soldadura. Esta solución puede ser temporal, ya que la pieza puede volver a fallar en otra zona del metal base. En nuestro mercado tenemos los siguientes productos para recuperar piezas de acero fallados por rotura dúctil.

Resist.	Elongac.	PRODUCTOS PARA ACEROS			
		Eutect.	Oerlikon	Fontarg.	Proceso
PSI	%				
70,000	22-30	709	Univers Superci.	-	Electrodos revestidos
65,000	30	147FC	-	AF 210	Oxiaceti.
80,000	25	66	Tenacito 80	E 103	Electrodos revestidos
100,000	17-22	16FC	-	AF 102	Oxiacet.
110,000	15-18	110	Tenacito 110	E 105	Electrodos revestidos
95,000	30-40	670	Inox CW	E 126	Electrodos revestidos
120,000	25	675	Inox 29/9	E 106	Electrodos revestidos
120,000	24	680	-	-	Electrodos revestidos

#### 5.14. MATERIAL DE APORTE ADECUADO PARA ROTURA FRÁGIL:

Para rotura frágil, como se vió anteriormente, este tipo de falla se produce por el exceso de fragilidad y dureza en el metal base, para recuperarlo con soldadura, se debe usar una soldadura con alta resistencia mecánica, y alto porcentaje de elongación, se puede usar los productos 680, 675 de la compañía EUTECTIC DEL PERÚ o sus equivalentes según el cuadro anterior, aunque la mayor confiabilidad se obtiene con el primero de los mencionados. Cuando se recupera una pieza frágil con soldadura se debe tener mucho cuidado por su alta tendencia a trizarse o a la formación de estructuras duras, para evitarlo se debe seguir el procedimiento adecuado de acuerdo al metal base a soldar (ver soldabilidad de los metales).

#### 5.15. MATERIAL DE APORTE PARA ROTURA POR FATIGA:

Cuando una pieza ha fallado por fatiga, la posibilidad de recuperarla con soldadura dependerá de las dimensiones de la zona fatiga, si esta es limitada, para poderla recuperar habrá que eliminar toda la zona fatiga y rellenarlo con una soldadura adecuada al metal base.

En el caso de que la fatiga sea generalizado en toda la pieza, la recuperación con soldadura no es una solución, puesto que no se obtendrá un buen rendimiento de ésta.

#### 5.16. PREPARACIÓN DE LA PIEZA A SOLDAR:

La calidad de una unión soldada, depende mucho de la preparación del metal y del ensamble de las piezas a soldar. El metal base debe ser limpiado de óxidos, aceite, pintura, humedad, suciedad, en la zona de unión y hasta 20 ó 30mm. del mismo. El contenido de estas sustancias conduce a la aparición de defectos en los depósitos como, poro-

sidades y trizaduras.

Después de haber hecho el bisel adecuado a cada una de las partes a unir de la pieza, el primer paso en el soldeo es colocar las partes en posición y fijarlos mediante puntos de soldadura ("Punteo").

Para las uniones que requieren más de un pase simple, el soldeo es iniciado depositando un cordón angosto al fondo de la unión. El soldeo continuará luego mediante depósitos consecutivos sobre el cordón original hasta obtener la dimensión deseada. El depósito debe ser limpiado (sacar la escoria) después de cada pase.

#### 5.17. DISEÑO DE LA UNIÓN:

El diseño de la unión (forma y dimensiones) es determinado por el diseño de la pieza y las consideraciones metalúrgicas.

Los métodos usados para la preparación de los bordes son: maquinado, cicelado, esmerilado, soplete de corte, electrodos, herramientas y electrodos de carbón. Los biseles de un solo chaflán y biseles en V son los tipos más usados, debido a que son fácilmente preparados con sopletes de corte. Los biseles en "U" pueden ser preparados con sopletes de corte, usando boquillas y técnicas especiales, o por maquinado, el cual produce biseles más uniformes.

Un bisel en "U", el cual tiene una base redonda, permite el uso de electrodos de mayor diámetro para el primer pase que en el caso del bisel en "V"; el cual tiene una base aguda o ligeramente redondeado. Sin embargo no existe gran diferencia en la velocidad de depósito para biseles en "U" y en "V" para espesores menores de una pulgada en espesor.

Los biseles de un solo chaflán, y en "J" son muy adecuados para uniones en "T" y uniones de esquina, los biseles en "V" y "U" son usados para uniones a tope con espesores de  $3/16"$  ó  $1/4"$  hasta  $3/4"$  de espesor; para espesores de  $3/4"$  o más se recomienda usar biseles de doble "J", donde "V" y doble "U". Las uniones con estos biseles producen menor distorsión de las piezas soldadas, y reducen la cantidad de metal depositado. En la fig. 5.6, se ve tres biseles diferentes para espesores de piezas mayores de 4", los biseles (b) y (c) son diseñados de tal forma que se reduzca el ángulo de bisel, una reducción en el ángulo, reduce la cantidad de material de aporte y minimiza las rajaduras de uniones dobles.

Los ángulos de  $45^\circ$  a  $60^\circ$  son usados para espesores delgados, pero no son recomendables para espesores dobles debido al excesivo material de aporte requerido para rellenar biseles tan grandes.

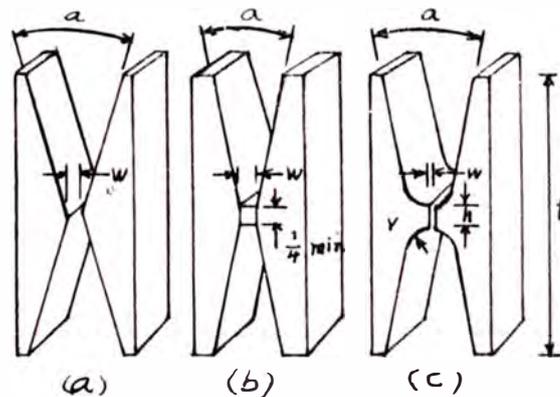


Fig. 5.7 Forma y dimensiones para tres biseles usados para espesores mayores de 4 pulgadas.

Unión	t (pulg)	a (pulg)	W (pulg)	r (pulg)	h (pulg)
(a)	4 - 6	30	3/16	---	---
(b)	4 - 6	20	1/4	---	---
	Más de 6	10	1/2	---	---
(c)	4 - 6	20	0 - 1/16	3/16	1/4 - 5/16
	Más de 6	10	0 - 1/16	5/16	1/4 - 5/16

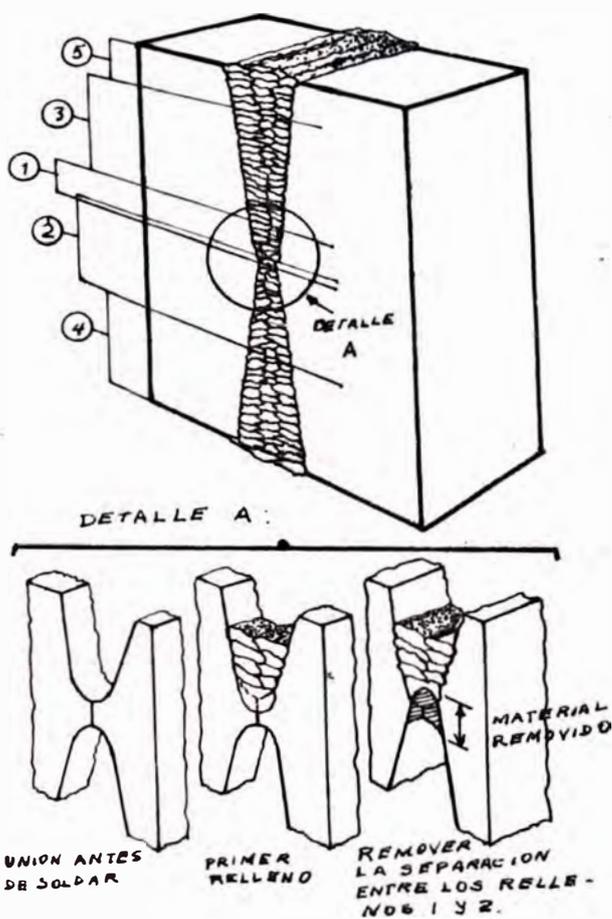


Fig. 5.8 Secuencia típica de un relleno de secciones gruesas con bisel en doble "U"

#### 5.18. UNIÓN DE SECCIONES DELGADAS:

Generalmente el mínimo espesor que puede ser soldado con un proceso de -

soldadura con electrodos revestidos es de 0.060 pulg. usando electrodos de 1/16" o en algunos casos hasta de 3/32", polaridad directa.

#### 5.19. UNIÓN DE SECCIONES GRUESAS:

Como se dijo anteriormente para espesores de 3/4" o más se usa un doble-bisel. La fig. 5.8 muestra una secuencia típica para soldar secciones con un bisel en doble "U"; el primer relleno se hace con una serie de pases, como se ve en el detalle A intermedio de la fig. 5.8, luego se elimina la raiz del depósito con un electrodo herramienta, como se puede ver en la figura de la derecha del detalle A. La secuencia de los rellenos adicionales, cada uno de los cuales consiste de una serie de pases, es mostrado en la parte superior de la fig. 5.8

## CAPITULO 6

### PRUEBAS DE SOLDABILIDAD

#### 6.1. INTRODUCCIÓN A LA SOLDABILIDAD OPERATORIA METALÚRGICA Y GLOBAL:

En el capítulo anterior se ha hablado sobre la soldabilidad de los diferentes metales, se puede sacar como conclusión que los metales no se comportan de igual manera, cuando su superficie toma contacto con un metal de aporte (soldadura) a una alta temperatura, dependiendo de ciertas propiedades propias tanto del metal base como del metal de aporte. Entre estas propiedades tenemos: La temperatura de fusión del metal; la temperatura de ebullición; el calor total de fusión; la dilatación y la contracción; la conductividad térmica; la absorción de gases; la volatilización, la segregación; la carburación y descarburación de los aceros, etc..

Una forma de averiguar la performance que va a tener una unión o un recubrimiento por la soldadura, tanto al momento del soldeo como en las condiciones del trabajo de la pieza, es mediante las denominadas pruebas de soldabilidad, llamadas también "pruebas de soldabilidad operatoria" cuando estudia el comportamiento del metal base depositado al momento del soldeo por cualquier proceso de soldadura, es decir la facilidad para hacer liga al momento de soldar; "prueba de soldabilidad metalúrgica",

cuando se estudian las modificaciones físico-químicas que sufre el metal o aleación; o "soldabilidad global", cuando estudian las propiedades mecánicas de la unión para resistir las condiciones de trabajo de la pieza.

Aunque el ingeniero tenga experiencia en metales de composición parecida, debe encontrar una respuesta a un número pertinente de preguntas:

- ¿Cuáles o cuál de los procesos comunes de soldar se podrá utilizar?
- ¿Debe el metal de aporte ser de la misma composición que el metal base?

¿Tienen los metales de esta composición una alta tendencia a presentar porosidades?

- ¿Será el depósito susceptible a rajaduras en caliente o en frío?
- ¿Cuál será la naturaleza del metal intermedio entre el metal de aporte y el metal base?

¿Se producirán cambios significativos en la microestructura y propiedades de la zona afectada térmicamente (ZAT) y será esta zona susceptible a rajadura?

Las respuestas a estas preguntas son más fáciles de encontrar recurriendo a la información metalúrgica presentada en el capítulo anterior "soldabilidad de los metales" y asegurándose detalles específicos de los datos obtenidos mediante pruebas de soldabilidad.

Por otra parte, los talleres no cuentan con las instalaciones y equipos adecuados como para desarrollar un trabajo de investigación, esto es una realidad más palpable en nuestro país, por lo que frecuentemente se recurre a pruebas sencillas, rápidas y económicas de soldabilidad, como son: hacer depósitos y examinar la liga entre estos y el metal base, tratando de arrancarle con un cincel, examinar si hay porosidades y triaduras, pruebas de tensión, pruebas de doblado, etc..

Las pruebas aplicadas a la soldadura proporcionan información de su calidad, de su capacidad para deformarse plásticamente y sus propiedades ingenieriles (resistencia, dureza, ductilidad, etc.). Estas pruebas no dan una información directa de rendimiento de la pieza en las condiciones de trabajo ya que en este caso la unión no está sometida a una tensión simple a lo largo de un solo eje, o a un doblado de 180 grados, o sujeto a una carga medida de impacto, o a un ranurado de forma preestablecida, como las condiciones bajo las cuales han sido hechas las pruebas.

Ninguna de las pruebas de soldabilidad proporcionan datos que pueden ser aplicables a un amplio rango de procesos de soldar, el principal inconveniente es la gran diferencia entre las condiciones metalúrgicas impuestas por cada proceso de soldar, por ejemplo no se puede asegurar la buena soldabilidad de un acero por un proceso de soldadura mediante gas, a partir de los datos de buena soldabilidad obtenidos mediante soldadura con arco eléctrico, la única similitud es que ambos procesos producen el calentamiento de una zona localizada, pero aún en estos casos las velocidades de calentamiento y enfriamiento son diferentes.

Se han desarrollado pruebas de soldadura sintética con algunos éxitos, para encontrar un común denominador entre las pruebas de soldabilidad estas, cuando menos son capaces de reproducir el efecto térmico al cual está sujeta la sección del metal base al momento del soldeo.

#### PRUEBAS DE SUSCEPTIBILIDAD A RAJADURA

Se han desarrollado pruebas de soldabilidad en las cuales el único interés es evaluar la tendencia de una unión por soldadura al agrietamiento (rajadura) en el depósito o en la zona afectada térmicamente del metal base (ZAT).

La principal característica de estas pruebas es el alto grado de fijación impuesto, lo cual genera alta tensión en el área de soldeo durante el enfriamiento y prueba la habilidad del metal para soportar estas tensiones sin rajarse.

## 6.2. PRUEBA REEVE:

Esta prueba se desarrolla en una placa de 6 pulgadas cuadradas de área, empernada a otra placa de 7 x 10 pulgadas como se muestra en la figura 6.1 ambas placas se encuentran fijas por medio de los mismos pernos o una placa masiva. Se deposita cuatro cordones de soldadura alrededor de la placa superior siguiendo la secuencia indicada, la mayor tensión se genera en el cuarto cordón depositado. Una vez que la probeta se ha enfriado a la temperatura ambiente, el ensamble es desempernado, luego se saca dos muestras del cuarto cordón como se muestra en la figura 6.1. para hacer un examen metalográfico por rajaduras.

La prueba REEVE ha perdido popularidad debido a que la fijación con pernos es variable. Esta variación puede ser reducida usando un torque para apretar los pernos. Sin embargo la experiencia ha demostrado que el fijado requerido en una prueba de rajadura puede ser fácilmente asegurada fijando las probetas con soldadura.

## 6.3. PRUEBA DE SEVERIDAD TÉRMICA CONTROLADA (CTS):

Esta prueba está diseñada para determinar la tendencia al agrietamiento en frío del acero cuando se suelda en condiciones variadas de velocidad de enfriamiento.

La probeta como se muestra en la figura 6.2 consta de una placa superior empernada a otra placa inferior, unidas por soldadura. Se supone que el -

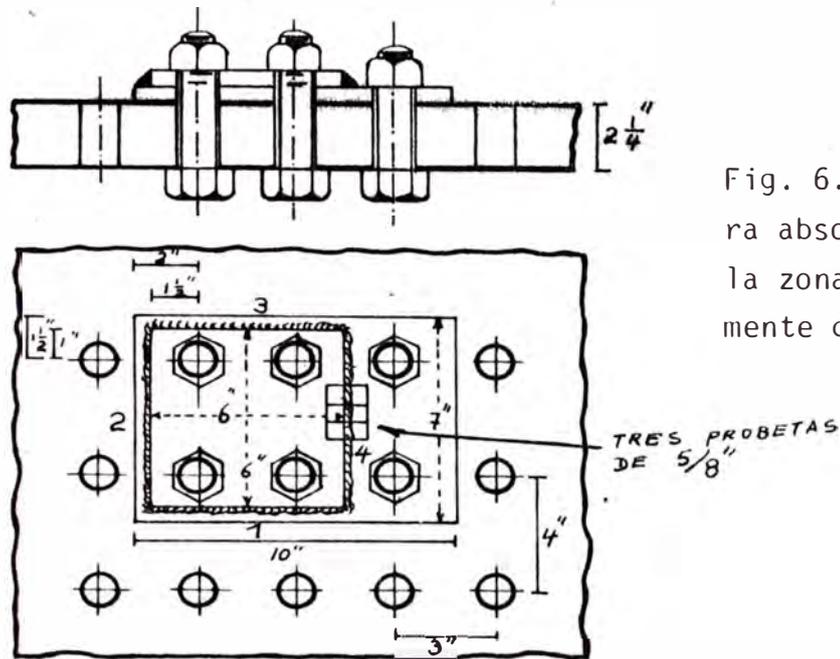


Fig. 6.1 Prueba REEVE para absorber rajaduras en la zona afectada térmicamente del metal base (ZAT)

perno no ejerce acción alguna sobre los cordones de soldadura. Después de depositar los cordones de anclaje la probeta es enfriada a temperatura ambiente antes de depositar el cordón Bitérmico y antes del cordón Tritérmico. La extensión de la rajadura de la ZAT es determinada metalográficamente y depende de la velocidad de enfriamiento del metal base. Las dimensiones T y B varían para cambiar la severidad térmica y el número de severidad térmica es obtenido por las fórmulas:

$$TSN = 4 (T + B) \text{ Para el cordón de prueba "Bitérmico" y}$$

$$TSN = 4 (T + 2B) \text{ Para el cordón de prueba "Tritérmico"}$$

Se preparan varias probetas de diferentes espesores para determinar la velocidad crítica de enfriamiento para una combinación dada de electrodo y metal base. Es importante por supuesto mantener una cantidad fija de calor

entregado (joules/pulg) para todas las pruebas si queremos que el espesor del metal base indique en forma apropiada la velocidad de enfriamiento.

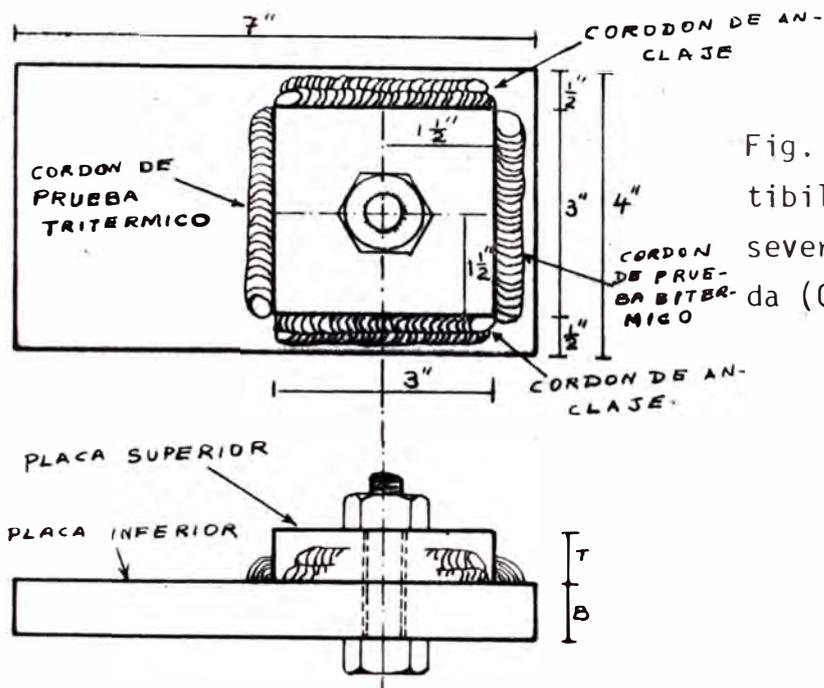


Fig. 6.2. Prueba de susceptibilidad a rajadura con severidad térmica controlada (CTS) (Cottrell)

#### 6.4. PRUEBA LEHIGH DE RAJADURA POR CONTRACCIÓN:

Permite una evaluación cuantitativa del grado de contracción al cual puede ocurrir una rajadura en una soldadura durante el enfriamiento. La probeta ilustrada en la figura 6.3. Consiste de una placa con un bisel especial para la soldadura en el centro. La placa tiene cortes de sierra hechos a propósito, tanto en los costados como en los finales de la placa, para medir el grado de contracción que sufre bajo los efectos de la soldadura depositada, generalmente es necesario una serie de placas para cada electrodo o metal base a probarse para lo cual se varía la longitud de

los cortes de una probeta a otra, e ir obteniendo una graduación del grado de contracción, esto puede ser expresado numéricamente midiendo la distancia entre las puntas de los cortes de lado a lado, o sea dos veces "X" en la fig. 6.3. El grado inicial de contracción causante de rajadura es determinado incrementando la profundidad de los cortes hechos a la placa, los cuales varían desde cero, es decir desde una placa sin cortes, el proceso continúa hasta que se alcance una profundidad de corte en la placa, tal que no se produzca rajadura. La probeta con la mínima contracción tal que produce rajadura, se considera como la probeta con grado inicial de contracción y la distancia entre las puntas de los cortes es usado para expresar el grado de susceptibilidad a rajaduras de la combinación metal base-electrodo en prueba, conforme este número disminuye, la susceptibilidad a rajarse aumenta. La prueba Lehigh es muy usada, no solo

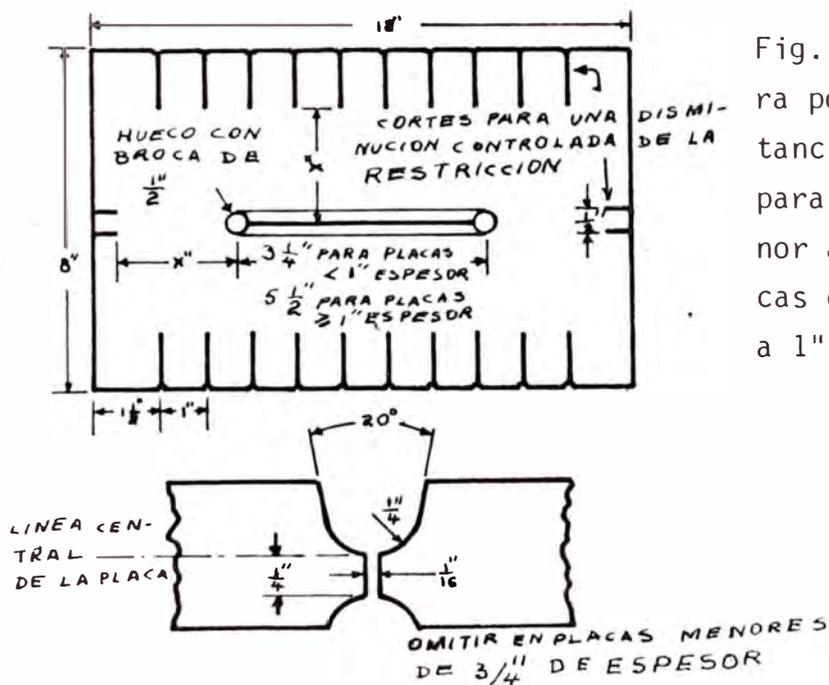


Fig. Prueba LEHIGH de rajadura por contracción. La distancia A puede variar de  $3 \frac{1}{4}$ " para placas e un espesor menor a 1" y de  $5 \frac{1}{2}$ " para placas de espesor mayor o igual a 1".

para diferenciar entre varias clases de electrodos, sino que para evaluar la influencia de los diferentes metales base con respecto a la tendencia a rajarse, y para detectar la diferencias en el performance entre varios -

lotes de electrodos dentro de una clase particular.

#### 6.5. PRUEBA DE CONTRACCIÓN TEKKEN:

Es una variación interesante hecha por Investigadores japoneses a la probeta usada en la prueba Lehigh. La probeta Tekken se caracteriza por tener una separación oblicua en la raiz del bisel, como se ve en la figura-6.4.

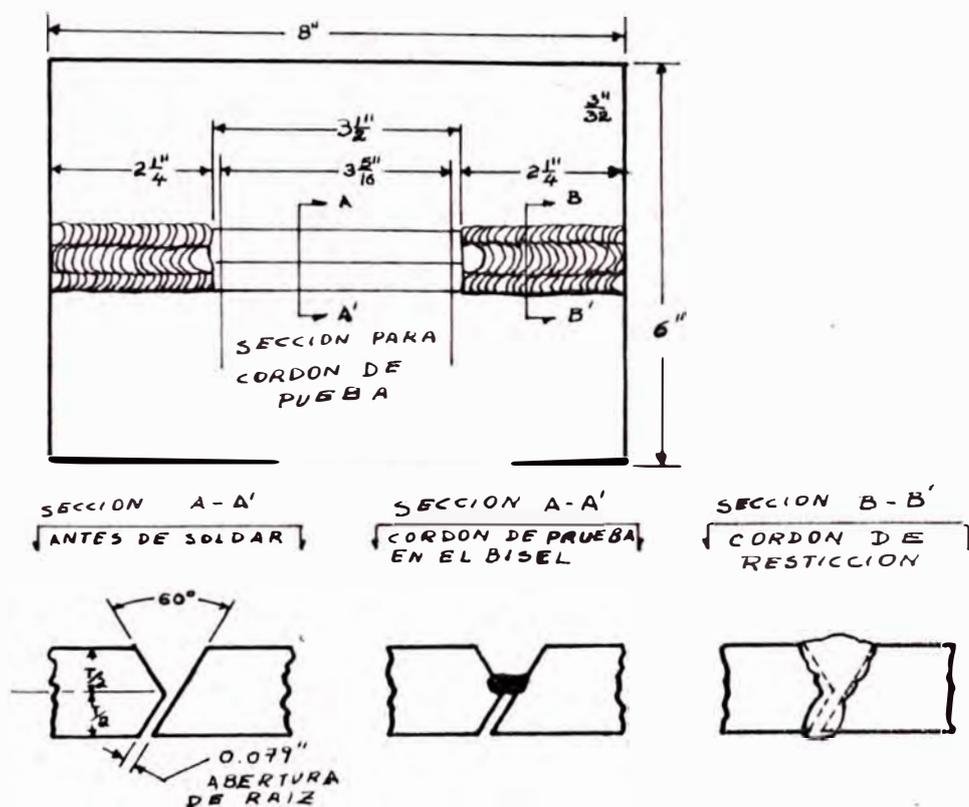


Fig. 6.4. Probeta Tekken para prueba de rajadura por contracción.

La probeta es fácilmente preparada ya sea con soplete de corte o por maquinado y se pueden emplear menores espesores de placa. Los inventores de la probeta Tekken dicen haber encontrado, una mayor sencibilidad que la probeta Lehigh para detectar la susceptibilidad a trizaduras en el -

metal base, mientras que la probeta Lehigh parece ser mejor para probar electrodos. Aunque el comportamiento de la rajadura es influenciado por la forma del bisel y la posición de la separación de raíz, virtualmente todas las rajaduras se inician a partir de la raíz del cordón tanto para la probeta Tekken como para la probeta Lehigh.

#### 6.6. PRUEBA HOULDCROFT DE SUSCEPTIBILIDAD A RAJADURAS:

La prueba de susceptibilidad a rajaduras Houldcroft ha sido desarrollado para evaluar cuantitativamente la tendencia a rajadura de placas delgadas durante el soldeo con un proceso TIG. La probeta Houldcroft mostrado en la figura 6.5, tiene como característica particular una graduación de las contracciones debido a la presencia de ranuras en sus bordes de un tamaño que aumenta en forma gradual.

La prueba se inicia soldando en el borde sin ranuras de la placa (zona A). Si la placa es sensible a rajaduras, esta se iniciará y propagará a lo largo del depósito hasta que el grado de contracción sea lo suficientemente débil como para producir rajaduras. La longitud de la rajadura puede ser usado como una medida de la susceptibilidad a la rajadura en caliente, esto es a mayor longitud de rajadura mayor susceptibilidad.

En general durante la prueba, los depósitos de mayor ancho, y la mayor velocidad de avance, tienden a incrementar la tendencia a rajadura, es por eso que, estas dos condiciones de soldeo son ajustadas para producir rajadura justo al comienzo de la probeta y prolongarse hasta que las condiciones de contracción lo permitan.

#### 6.7. PRUEBA DE ANILLO DE SOLDABILIDAD POR FUSIÓN:

Es una prueba de agrietamiento sencillo que da solamente resultados cualitativos, pero es muy fácil de realizar en material relativamente delgado.

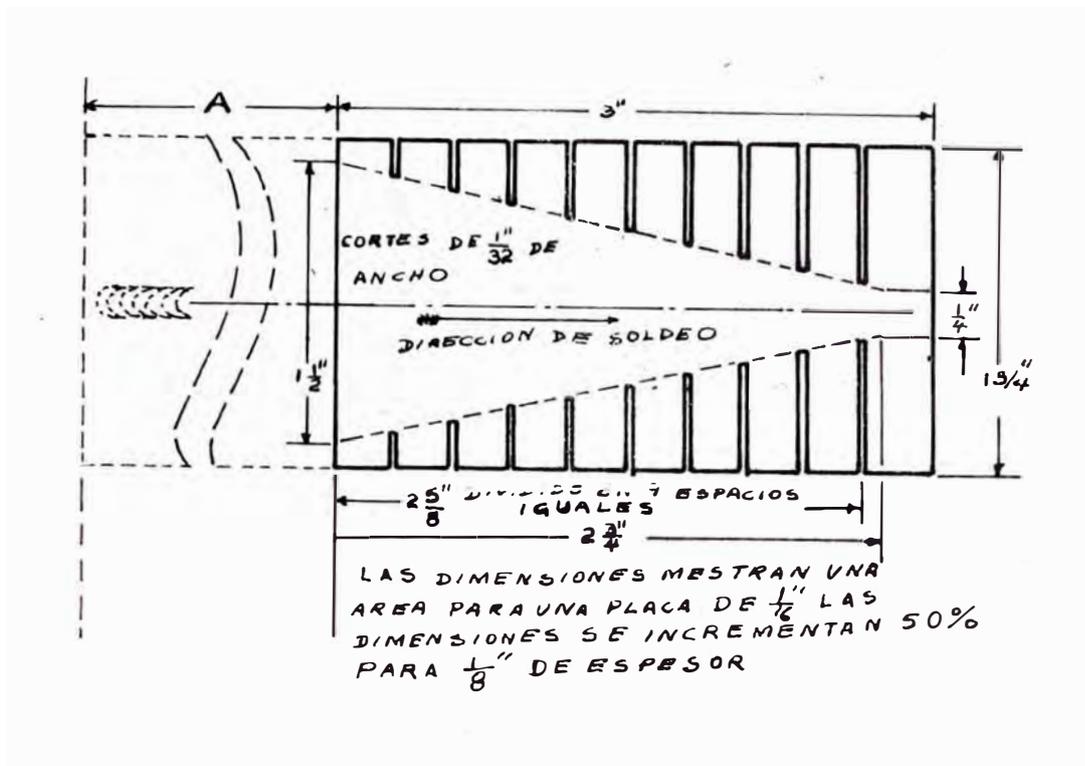


Fig. 6.5 Prueba HOULDCROFT de susceptibilidad a rajaduras. La zona A es una última modificación considerada para que sea el inicio del depósito y obtener así un cordón estable cuando se alcanza la primera ranura. Las dimensiones dadas son para una placa de  $\frac{1}{16}$ " de espesor, estas aumentan en un 50% para placas de  $\frac{1}{8}$ ".

Se corta cuidadosamente un disco de una chapa fina del material y espesor en prueba. El disco se fija con puntos de soldadura a una chapa tres veces más ancha que el diámetro del disco, el cual puede ser de 4 a 6 pulgadas, a continuación se suelda totalmente en su sitio como se muestra en la figura 6.6. cualquier agrietamiento que tenga lugar es una medida de deficiencia de soldabilidad en las condiciones particulares. Debe observarse que son posibles dos tipos de rajadura: a) rajadura en caliente, usualmente en el medio de la soldadura en acero, y b) rajadura en frío, usualmente a lo largo del borde soldado en acero.

#### 6.8. PRUEBAS SINTÉTICAS DE SOLDABILIDAD:

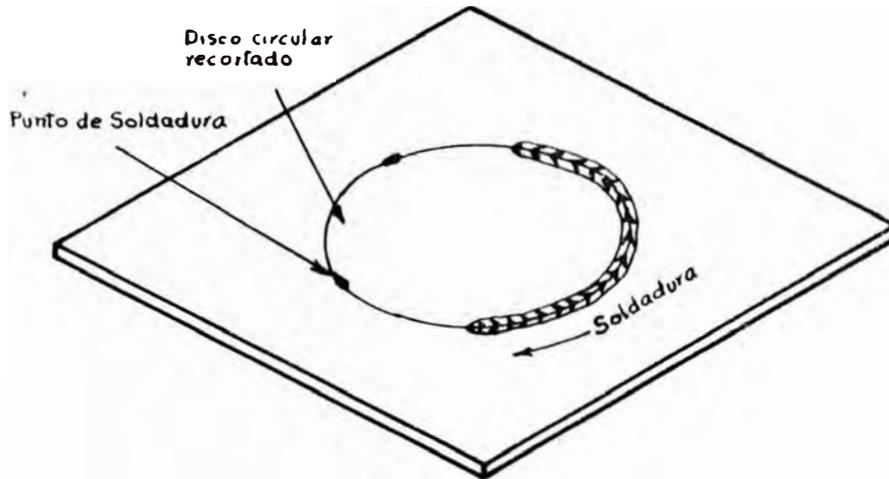


Fig. 6.6. Prueba de soldabilidad por soldadura de anillo.

Se han diseñado aparatos para desarrollar los efectos que produce el calor de soldadura, creando así, pruebas de soldabilidad sintéticas, las cuales pueden ser de dos formas:

- 1) Con una unidad que calienta y enfría una probeta metálica siguiendo un ciclo térmico exactamente igual al que se produce en un soldeo particular.
- 2) Con una unidad que no solamente calienta y enfría la probeta siguiendo el ciclo térmico de soldeo, sino que también aplica cargas de tensión controladas, durante el ciclo.

En el primer tipo de máquinas la microestructura y la dureza de las probetas, son bastante parecidas a las encontradas en la unión de soldadura real que está siendo simulada. La presencia de tensiones residuales, el atrapamiento de hidrógeno, y otras condiciones impuestas a la ZAT, tienden a producir resultados erróneamente favorables en las probetas tratadas sintéticamente.

En el segundo tipo de máquina que somete a la prueba tanto a un ciclo térmico como a una carga tensil, se aproxima mucho a las condiciones a las cuales está sometida la ZAT, en un proceso de soldadura. Después de esta exposición al ciclo térmico y tensión de un soldeo simulado, la probeta puede ser sujeta a una prueba mecánica u observación metalográfica, para ver los efectos causados en la zona afectada térmicamente (ZAT).

#### 6.9. PRUEBAS A CORDONES HECHOS EN UNA PLACA:

Los cordones hechos en una placa representan las pruebas de soldabilidad, mas simples de realizar. El cordón de soldadura es depositado en una placa, ver fig. 6.7, o puede usarse un soplete para hacer un surco en la superficie de la placa.

Las observaciones hechas al cordón después del soldeo, dependerá de la naturaleza del metal base, el metal de aporte y los defectos o condiciones a las cuales se cree que el metal es susceptible. Una observación general hecha cuando se trata de un material nuevo o desconocido, consta en la preparación de secciones para macroataque, para determinar si existe porosidad, trizaduras, segregación, etc., ya sea en el depósito o cerca de él; y la preparación de muestras metalográficas donde pueden ser estudiadas, la zona no afectada térmicamente, la zona afectada térmicamente (ZAT), y el depósito o zona de fusión. Si el metal base o el metal soldadura es un acero templable se debe extraer una sección transversal para pruebas de dureza, tanto en el depósito como en la ZAT.

Las probetas sacadas de la placa pueden ser sometidas a pruebas de soldado, impacto u otras pruebas mecánicas, maquinado ligeramente los cordones.

Se pueden hacer también pruebas de doblado en probetas con el cordón ranu

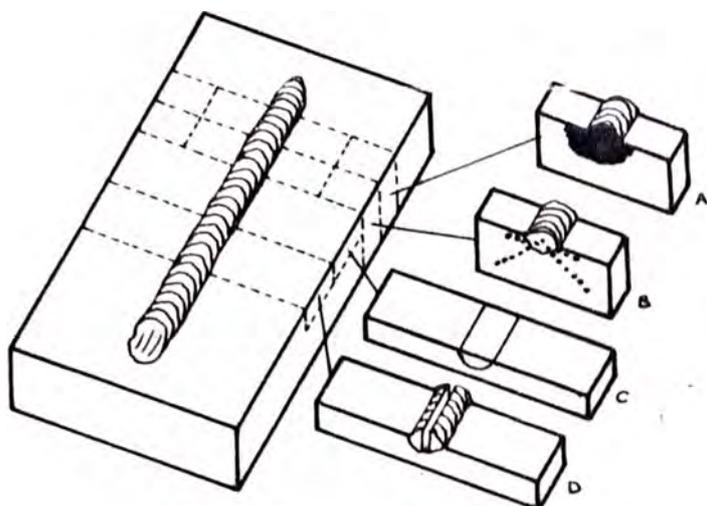


Fig. 6.7 Cordón de soldadura simple en una placa para prueba de soldabilidad.

- A. Probeta para macroataque
- B. Probeta para dureza
- C. Probeta para doblado
- D. Probeta ranurada para doblado

rado, variando las formas y tamaños de las ranuras. El propósito de la ranura es concentrar las tensiones del doblado, en la parte más crítica de la ZAT del metal base. Otro propósito de las ranuras es el de imponer esfuerzos multiaxiales, en el metal base conforme este se deforma en el doblado, de tal modo que pueda ser determinado la habilidad de fluir del metal bajo estas condiciones. La severidad de la prueba se incrementa alternando las siguientes condiciones durante el doblado: (1) disminuyendo la temperatura de la probeta, (2) incrementando la velocidad de doblado, y (3) intensificando los esfuerzos multiaxiales ya sea incrementando la profundidad de la ranura, o disminuyendo el ángulo de la ranura.

#### 6.10. PRUEBAS MECÁNICAS:

TENSIÓN.- Resistencia tensil, límite proporcional, punto de cedencia, módulo de elasticidad, porcentaje de elongación, y reducción del

area de rotura.

- USOS.- Comparada esta información con los del metal base, indica la eficiencia de la unión.
- DUREZA.- Resistencia a la deformación o penetración.
- USOS.- La dureza da una idea general de la resistencia mecánica y al desgaste por abrasión.
- DOBLADO.- Elongación de las fibras externas, ángulo de doblado, radio mínimo de doblado, ocurrencia de fisuras o rajaduras.
- USOS.- Da una idea general de la resistencia y la capacidad de deformación plástica, también revela la presencia de fisuras.
- IMPACTO A UNA BARRA RANURADA.- Absorción de energía de una probeta estándar, energía por cambio de temperatura, rotura por cambio de temperatura, contracción lateral en la ranura y expansión lateral debajo de la ranura.
- USOS.- Da una medida de la tenacidad, el cual relaciona en forma grocera con la performance de la pieza en servicio de las soldaduras.
- FATIGA.- Límite de endurecido, resistencia finita a la fatiga, tiempo de vida antes de fatiga.
- USOS.- Los datos de fatiga nos dice las tensiones que puede soportar la soldadura bajo la acción de cargas dinámicas.
- TORSIÓN.- Límite elástico torsional, resistencia en el punto de ceder -

cia, y último esfuerzo aparente de deslizamiento.

USOS.- Estos datos pueden ser usados para diseñar la resistencia apropiada y rigidez en piezas sujetas a esfuerzos de torsión.

TENSIÓN RANURADA.- Resistencia cohesiva del metal bajo diferentes grados de esfuerzos de tensión multiaxial, los cuales se consiguen variando el diseño de la ranura.

USOS.- La relación entre las resistencias tensiles de barras con ranuras y sin ranura, es otro indicador de la resistencia mecánica de la unión.

ROTURA.- El examen de las superficies de rotura revela, escoria atrapada, porosidad, y da una idea del tamaño del grano y la resistencia.

USOS.- Examen de la calidad, algunas veces nos indica el tamaño del grano fino o grueso.

TENSIÓN ROTURA.- Las probetas para tensión son calentadas a una temperatura elevada pre-establecida y cargada, la velocidad de deformación es apreciable y la rotura de la probeta usualmente en el tiempo.

USOS.- Para determinar el número de horas que soportará la unión por soldadura, la carga preestablecida a temperatura elevada antes que ocurra la falla. Los datos de tensión - rotura usualmente son reportados como el esfuerzo para producir la falla en 100; 1000; y 100,000 horas.

- CREEP.- Las probetas para tensión son calentadas a una temperatura elevada pre-establecida y cargada. La carga es menor que en una prueba de tensión-rotura, las probetas en prueba CREEP ordinaria son sometidas a un esfuerzo no mayor que el 0.5% del esfuerzo total, la resistencia y el esfuerzo son graficados para calcular la resistencia que produce una velocidad de Creep del 1% para 10,000 horas, ó 1% en 100,000 horas.
- USOS.- Para determinar la tensión permitida en las piezas soldadas las cuales trabajan a altas temperaturas en servicio, en donde la soldadura no debe contraerse excesivamente y distorsionarse lentamente.

De las pruebas que acabamos de describir se puede notar que la tenacidad ha sido tomada en cuenta como la cualidad fundamental de mayor importancia en todas las uniones por soldadura, es por eso que muchas pruebas de soldabilidad propuestas para medir el rendimiento de la unión en las condiciones de trabajo son diseñadas para medir de alguna manera la tenacidad.

#### 6.11. PRUEBA KINZEL:

Uno de los mas recientes métodos desarrollados para pruebas de fractura - tenacidad, el cual ha recibido considerable atención en los Estados Unidos es la prueba de doblado, de un cordón depositado longitudinalmente y ranurado ligeramente, llamado prueba KINZEL.

Se deposita un cordón sobre una placa probeta, al cual se le hace una ranura (de la misma forma como se hace en la probeta Charpy-U) cortando el metal base en forma normal al eje del cordón como se muestra en la figura 6.8 se comienza a cargar en forma progresiva con la cara ranurada de la -

probeta en tensión hasta que la carga alcance un máximo y regrese hasta mas o menos la mitad de este valor. Los datos tomados son el ángulo doblado a la máxima carga, la energía total absorbida y la forma de la fractura si esta ocurre. Sin embargo la observación de mayor importancia pa-

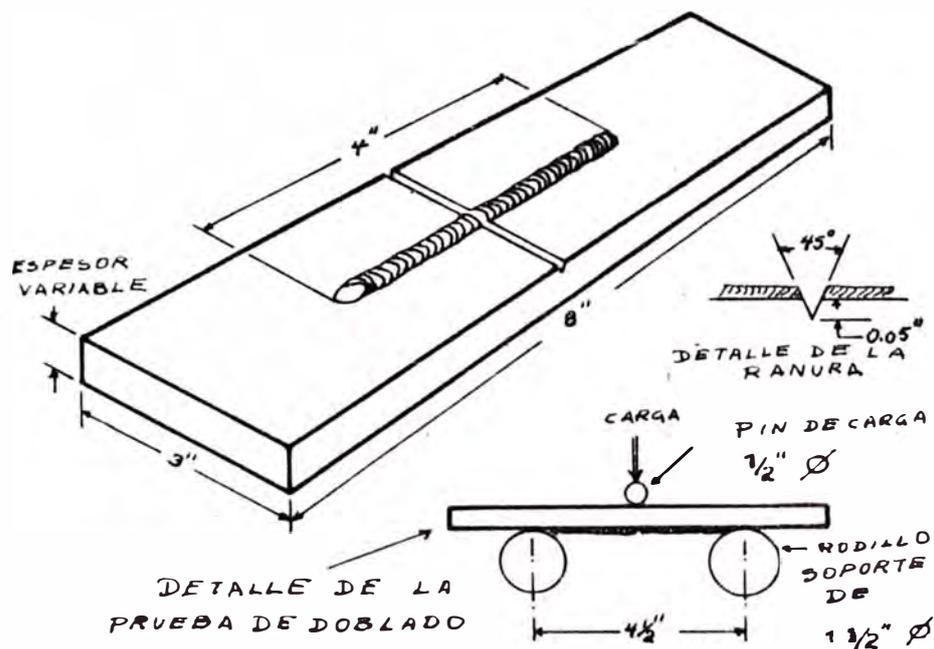


Fig. 6.8 Cordón longitudinal en una placa para una práctica de prueba KINZEL.

rece ser el porcentaje de reducción del ancho de la probeta el cual ocurre justo debajo del vértice de la ranura, esta disminución en el ancho es llamado contracción lateral, y parece ser el índice de performance más sensitivo. A medida que disminuye la temperatura al cual se realiza la prueba Kinzel, parecen ocurrir dos cambios: (1) cambio en la ductilidad (medido por la contracción lateral) y (2) un cambio en la apariencia de la fractura. El cambio en ductilidad parece estar determinado por

el inicio de la fractura frágil y el cambio en la apariencia parece estar determinado por la resistencia del acero a la propagación de la rajadura.

## MECANISMOS DE FRACTURA EN LA PRUEBA

### KINZEL

Los cambios en la ductilidad y fractura indicados por la probeta KINZEL para un acero en particular son controlados por la facilidad con que se inicia la fractura y la resistencia del metal base a la propagación de la fractura conforme disminuye la temperatura. La fractura frágil (clivaje) se inicia frecuentemente en la región de grano grueso de la ZAT; esta región consiste de perlita dura o martensita con porcentaje limitado de ferrita en los límites de grano.

Esta estructura disminuye la resistencia a las fracturas, la próxima región de la ZAT, un poquito más alejado del depósito, normalmente presenta un refinamiento del grano consecuentemente presenta una mejor tenacidad, esta región es la que algunas veces frena las fracturas los cuales se inician en la zona de grano grueso.

La próxima región más alejado aún del depósito es una zona calentada a temperaturas entre A3 y A1 de los aceros, la microestructura consistirá de partes de perlita, debido a que se ha transformado parcialmente a austenita, generalmente ofrece una menor resistencia a la fractura que la zona anterior.

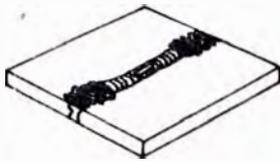
#### 6.12. PRUEBA DE COMBADO POR EXPLOSIÓN:

Esta prueba hace uso de una placa grande como probeta, el cual incorpora

nobles características en su preparación y proceso de prueba, se desarrolló en el laboratorio de Investigación Naval U.S. (N.R.L.) para estudiar el problema de la fracturas frágiles en aceros estructurales usados en los cascos de los barcos.

La figura 6.9 muestra una placa cuadrada de 20 pulgadas<sup>2</sup>, de acero, e una pulgada de espesor. La otra característica es un cordón corto de un material muy duro, muy frágil al cual se le hace un ranura para asegurar la iniciación de una rajadura frágil tan junto como el metal base está sujeto a algún doblado. La probeta con la superficie ranurada hacia abajo, es colocada sobre la matriz soporte circular, y detonado una carga explosiva standarizado en una posición fija sobre la probeta. Durante el extremadamente rápido cargado de la placa probeta, se inicia una rajadura frágil en la raíz de la ranura en el metal de aporte y se prolonga hasta el metal base, el comportamiento de la placa prueba depende de la habilidad del metal base para resistir la rajadura y para deformarse mientras permite una alta absorción de la energía, si el acero no es capaz de detener la prolongación de la rajadura, la placa presenta varias rajaduras y roturas esto es, se produce una pequeña deformación dentro de la cavidad de la matriz circular.

La carga standard de explosivo ha sido seleccionado para asegurar un almacenamiento continuo de energía para alimentar la rajadura en formación. En esencia, la presión de gas es mantenido durante el tiempo suficiente de tal forma que no se produzca una descarga de tensiones durante la rotura. Finalmente otra característica importante de la prueba de combado por explosión es que mediante una serie de probetas calentadas o enfriadas a temperaturas progresivas en el rango de temperatura de transición de rotura frágil - dúctil acero, por abajo de esta temperatura, la placa no muestra deformación ya que la rajadura del depósito es aceptado por el metal base (comenzando en la ZAT) como una rotura frágil, y no es capaz de evitar su propagación. Por encima del rango de temperatura de cambio, la rotura frágil del depósito es detenido, y la energía proporcionada por el



Placa con ranura para el inicio de la fractura. Depósito de un metal frágil en una unión a tope, el depósito es pulido en los extremos para permitir un mejor contacto en la matriz - soporte

ENSAMBLAJE PARA LA PRUEBA:

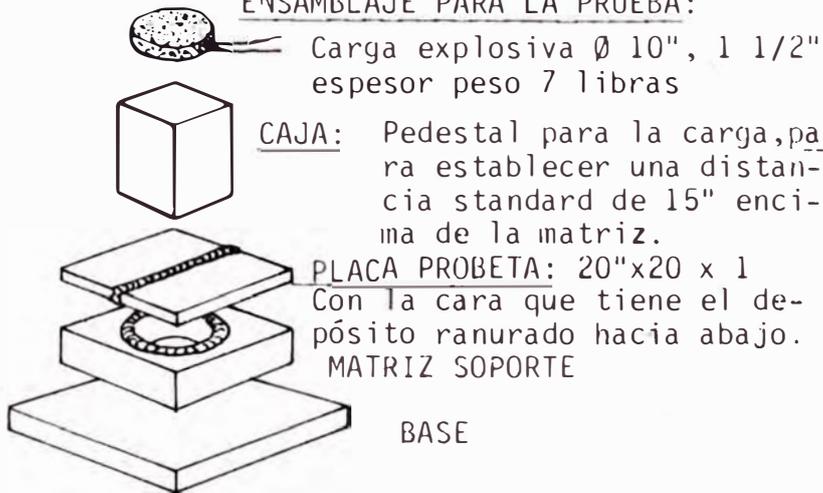
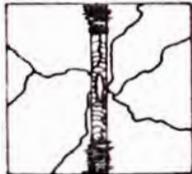


Fig. 6.9 Prueba de combado por explosión usado en el NRNL.



N.D.T.

Temperatura de fractura nada dúctil. Fractura frágil se extiende hasta los bordes de la placa



F.T.E.

Cambio a fractura elástica. La fractura es detenida en la región cargada elásticamente



F.T.P.

Cambio a fractura plástica, la fractura es detenida en la región cargada plásticamente.

explosivo es utilizado efectivamente para el deformado de la placa dentro de la cavidad de la matriz, cualquier rotura que ocurra es del tipo dúctil.

El rango de temperatura del cual se produce el cambio de rotura determinado por la prueba de combado por explosión; representa el rango de temperaturas por sobre el cual no pueden propagarse roturas frágiles en una soldadura del acero en prueba.

## CAPITULO 7

### DESGASTES Y RECUBRIMIENTOS

#### DESGASTES

El desgaste es un fenómeno por medio del cual son removidas pequeñas partículas de la superficie de trabajo de una pieza. El desgaste produce frecuentemente una visible disminución en las dimensiones de la pieza afectada.

Como consecuencia de este fenómeno gran cantidad de piezas y herramientas de maquinaria son descartadas. El valor de éstas piezas representa sólo una décima parte del costo real y total del desgaste, este costo real aparece en varias formas.

- 1.- Es causado por el paro de la maquinaria, conduciendo a las pérdidas costosas de producción.
- 2.- Se le encuentra en la operación de inventarios importantes de piezas de repuestos; así como también en la creación del espacio de almacenamiento para dichos inventarios y en la inversión de sumas considerables de capital para adquirir las piezas de repuestos.

3.- El desgaste involucra además costos de mano de obra para desmontar y volver a montar la maquinaria al reemplazar las piezas de repuesto.

Para poder combatir el desgaste, es necesario comprender las acciones mecánicas y químicas que lo causan. Todo desgaste se basa en la pérdida de materia en forma gradual, sin embargo este hecho se verifica de diferentes maneras y sin esas maneras precisamente las que identifican los diferentes tipos de desgaste. Si sabemos en que forma ocurre el desgaste, estaremos en condiciones de seleccionar la manera más correcta y apropiada de prevenir o protegernos contra él. Las causas del desgaste puede clasificadas básicamente como:

MECÁNICOS	:	- Abrasión
		- Impacto
		- Erosión
		- Cavitación
		- Fricción
QUÍMICOS	:	- Corrosión
		- Calor

Sin embargo estos actúan no solamente en forma combinada en muchas condiciones de trabajo, sino que cada uno de ellos puede operar con muchas variaciones.

### 7.1. ABRASIÓN:

Es el desgaste provocado por la acción de partículas sólidas, extrañas al metal base que rozan su superficie.

El grado de abrasión es influenciado por la naturaleza del abrasivo y por las condiciones físicas de operación:

Tamaño de la partícula.- Cuando menor es el tamaño de la partícula, la velocidad del desgaste será mayor, ya que cuanto mayor sea la cantidad de partículas presentes en una área dada, mayor será el contacto del material abrasivo, con la misma área del metal base, o depósito de soldadura.

Forma.- Cuanto más angular es la forma de la partícula, mayor será la penetración en el metal base. La forma de las partículas están relacionadas a la textura del material o a su composición química.

Dureza.- La dureza de la partícula abrasiva es el factor más importante, cuanto mayor es la dureza del material abrasivo, en relación a la dureza del metal base, mayor será la velocidad del desgaste. La dureza de los materiales no metálicos son expresados en términos de la escala MoHs, en esta escala cada mineral de la serie raya a su antecesor y es rayado por el mineral que ocupa el siguiente lugar en la escala del 1 al 10 (Ver tabla 7.1.).

Textura.- A mayor velocidad de las partículas, mayor es la velocidad del desgaste, algunas velocidades de las partículas en algunas aplicaciones típicas son: en hidrociclones 90 pies/seg, en ventiladores 30 a 90 pies/seg, en transportadores de partículas por aire comprimido 30 pies/seg..

Angulo de Incidencia.- Cuanto mayor es el ángulo de incidencia de la partícula, significa un menor tiempo de contacto, lo cual disminuye la velocidad de desgaste, un caso extremo será cuando el ángulo de incidencia sea de  $90^\circ$  originando desgaste por impacto más que por abrasión.

Condición del medio abrasivo.- El medio abrasivo puede ser de tres formas: Seco (ausencia de humedad), Pastoso (ocasiona velocidades de desgaste ligeramente altas, el cual incrementa con la velocidad de las partículas), y Líquido barroso (en esta condición, las partículas tienen mayor movimien

Mineral Típ.	Rayado por:	Mineral Típico.	Efecto de rayado
1. TALCO	La uña	6.FELDESPATO	No lo raya el acero
2. YESO	La uña	7.CUARZO	No raya al vidrio
3. CALCITA	La uña	8.TOPACIO	- o -
4. FLUORITA	El acer	9.CORINDON	Raya al vidrio
5. APATITO	-o-	10.DIAMANTE	Raya al vidrio

Tabla 7.1. Minerales típicos de escala Mohs

to, por lo que la velocidad de desgaste es mayor).

CARACTERÍSTICA	FACTOR DE DESGASTE										FACTOR DE SEVERIDAD	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Tamaño (Pulg.)	2.5 3.0	2.0 2.5	1.5 2.0	1.0 1.5	0.7 1.0	0.5 0.7	0.2 0.5	0.1 0.2	.075 .10	.05 .07		X 3
Forma (% Angulo)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	X 1	
Dureza (MOHS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X 4	
Textura	Fi- bro- so			Des- ne- ruza			Ce- men- tado			Cli- vaje	X 1	
Velocidad(Pies/Seg)	6	16	26		46	55		75	85	98	X 3	
Angulo Contacto	90	80	70		50	40		20	10	0	X 1	
Condición del me- dio	Seco	-	Pas- ta		Bar- ra						X 1	
	FACTOR DE DESGASTE ABRASIVO =											

Tabla 7.2. Factores estimados de severidad del desgaste de acuerdo al material abrasivo.

La tabla 7.2. nos ayuda a calcular la severidad del desgaste de acuerdo a las características del material abrasivo.

La abrasión es la principal causa de desgaste en operaciones de movimiento de tierra, en la industria de la minería, de la construcción y agricultura (Ver piezas críticas de desgaste en las industrias del Perú, primer capítulo).

### 7.2. IMPACTO:

Es el contacto violento entre la pieza y un material extraño que puede ser metálico o no metálico. El impacto es un golpe que produce cambios en la estructura del metal base. La magnitud de las alteraciones dependerá del tamaño del elemento extraño como también de la fuerza del golpe. Si el metal frágil se fractura rápidamente, de otra manera, si el metal es tenaz cede por deformación plástica o elástica, esto provoca a su vez trizaduras, laminación de tal forma que otros fenómenos de desgaste encuentran ahí terreno fértil para actuar vertiginosamente.

El desgaste por impacto se presenta con frecuencia en industrias como de forja, ferrocarriles, del acero, automotriz, transporte, etc..(ver piezas críticas de desgaste en las industrias del Perú).

### 7.3. EROSIÓN:

Es un desgaste en el cual un medio en movimiento generalmente líquido, con partículas extrañas en suspensión causa ranuras en el metal base.

La erosión es una forma de abrasión en la que las partículas abrasivas son transportadas por un fluido. El desgaste es por lo general más violento cuando el medio es turbulento o cuando el flujo cambia de dirección.

ción. En efecto la erosión puede ser clasificado en dos mecanismos:

- a) Erosión por deformación de impacto a altos ángulos de incidencia de las partículas.
- b) Erosión por un ocrte abrasivo a ángulos bajos de incidencia de las partículas.

Las causas mas comunes de la erosión son el agua, el vapor u otros líquidos corriendo en forma rápida a lo largo o contra la superficie del metal. La forma exacta del desgaste dependerá de la dureza y del tamaño del grano del material erosivo, su velocidad y su ángulo de incidencia.

Los efectos mas severos en la industria se observan en cuerpos y piezas de bombas, particularmente si el medio impulsado es de naturaleza barrosa, como los relaves de las concentradoras mineras.

#### 7.4. CAVITACIÓN:

Cuando existe una diferencia de velocidad relativa entre el agua y una superficie, se forman burbujas de vapor, que se rompen en la superficie. La presión en las burbujas es muy baja y ellas mismas son inestables, se produce un colapso repentino y se ejerce una acción de golpeo que tiende a eliminar metal, así como también las películas de protección :

Este desgaste se observa en hélices de barcos e impulsores de bombas.

#### 7.5. FRICCIÓN:

El desgaste por fricción aparece como resultado del contacto deslizante o rodante de una superficie metálica con otra . A la vista, estas superficies pueden aparecer lisas y altamente lustradas, pero bajo un microscó -

pio demuestran "colinas y valles" pronunciados. El contacto deslizante - continuo causa un cizallamiento microscópico de las "colinas" de una o - ambas superficies.

Además, las cimas más duras producirán nuevos valles en las superficies más blandas, y este procedimiento continuará hasta que las superficies - de apoyo se desgasten a un punto en el cual el espacio libre entre ellas cause la vibración. Si se permite que esto continúe, este procedimiento - culminará en la rajadura, la rotura u otros defectos serios.

No hay ningún tipo de industria que no sea afectada por el desgaste fric - cional.

#### 7.6. CORROSIÓN:

Es un ataque químico gradual a un metal, por su medio ambiente, que da - por resultado la conversión de un metal en un óxido, una sal o algún otro compuesto. Los metales que han experimentado corrosión pierden su resis - tencia, su ductilidad y otras propiedades mecánicas y físicas convenien - tes. El ataque corrosivo se produce frecuentemente en combinación con o - tros mecanismos de fallas, tales como la fatiga, la erosión, cavitación - y el esfuerzo. Hay muchos medios corrosivos, tales como el aire, las at - mósferas industrial s, el su lo, los ácidos, las bases y las soluciones - salinas.

Con frecuencia, se produce una corrosión a elevadas temperaturas en me - dios que a bajas temperaturas, son por lo común inertes. Se han reconoci - do dos mecanismos básicos de corrosión:

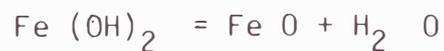
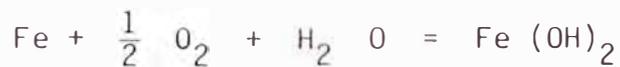
#### 7.7. ATAQUE QUÍMICO DIRECTO:

Incluye todos los tipos de corrosión en los que no hay un flujo aprecia -

ble de corriente a través del metal. Por supuesto, los electrones abandonan los átomos de un metal, cuando estos se convierten en cationes metálicos de un compuesto; sin embargo no hay zonas macroscópicas claras de ánodo y cátodo.

El ataque químico da como resultado una reacción uniforme sobre toda la superficie expuesta. Por lo común, se produce en el material metálico una capa escamosa adherida fuertemente o no a la superficie.

Un ejemplo de corrosión directa es el ataque al hierro por el aire húmedo, para producir herrumbre. En el aire húmedo los hidróxidos de hierro formados se descomponen habitualmente para formar el óxido correspondiente, más agua:



### 7.8. ATAQUE ELECTROQUÍMICO:

Es el mecanismo principal de la corrosión y se caracteriza por el establecimiento de zonas catódicas y anódicas, separadas por distancias finitas y entre las cuales fluyen electrones, a través del metal. En el corrosivo electrolítico, la electricidad fluye por medio del movimiento de los iones, de modo que el ataque es localizado. Se presentan celdas galvánicas o de concentración, dependiendo de las circunstancias.

Cuando se conectan eléctricamente dos metales distintos y se sumergen en una solución electrolítica, se forma una celda galvánica.

<u>METAL</u>	<u>ION</u>	<u>POTENCIAL DE ELECTRODO SIMPLE</u>
Magnesio	Mg ++	+ 2.34
Aluminio	Al +++	+ 1.67
Zinc	Zn ++	+ 0.76
Cromo	Cr ++	+ 0.71
Fierro	Fe ++	+ 0.44
Cadmio	Cd ++	+ 0.40
Níquel	Ni ++	+ 0.25
Estaño	Sn ++	+ 0.135
Plomo	Pb ++	+ 0.125
Cobre	Cu ++	- 0.345
Plata	Ag +	- 0.80

Tabla 7.3 Serie de fuerza electromotriz para algunos metales.

En la tabla 7.3 se ve la serie de fuerza electromotriz para algunos metales en el cual el metal que tenga el potencial de electrodo mayor tiende a sufrir un ataque (se oxida) y se convierte en el ánodo. Cuando éste se disuelve, se deposita en el cátodo una cantidad electroquímicamente equivalente de hidrógeno o del elemento metálico de menor potencial de electrodo. Cuando el ánodo se disuelve, se liberan electrones, que fluyen por cualquier conexión eléctrica presente.

La rapidéz del ataque galvánico depende del area del cátodo en relación a la del ánodo, un área anódica relativamente pequeña será atacada con mucha mayor rapidéz que si es grande. Los efectos del área explican el rápido ataque que se produce cuando se utiliza remaches de acero para fijar miembros de cobre, mientras que el empleo de remaches de cobre para fijar miembros de acero produce una corrosión insignificante. Los factores si-

guientes causan o aceleran el desgaste por corrosión:

- 1.- La existencia de porosidad o de irregularidades superficiales (mayor superficie expuesta).
- 2.- Elevadas temperaturas.
- 3.- Presencia de elementos químicos fuertemente activos en la atmósfera o en el medio en que trabaja la pieza.

#### 7.9. CALOR:

El resultado del enfriamiento o calentamiento bruscos en un metal provoca dilataciones o contracciones violentas, que si están por encima del límite elástico del metal, genera fatiga térmica.

Por otra parte, es sabido que los metales a temperaturas elevadas son ávidos de oxígeno y esto es quizás la forma en que más frecuentemente el calor desgasta las piezas por oxidación violenta. El desgaste ocurre cuando la capa de óxido sufre daño causado por un ciclo de expansión y de contracción y la operación de oxidación vuelve a repetirse.

En este caso, es necesario hacer ensayos en la que hay que determinar; los coeficientes de dilatación tanto en la base como del material de aporte, condiciones de servicio, ya que muchas veces este tipo de desgaste - está acompañado de otros que también influyen. En general cuando un metal trabaja bajo condiciones de elevadas temperaturas, se aceleran todos los otros fenómenos de desgaste descritos anteriormente.

## RECUBRIMIENTOS

Se define como recubrimiento al depósito hecho de un material de aporte-

sobre un metal base a objeto de lograr ciertas características o dimensiones. Se emplea usualmente para alargar la vida útil de una pieza determinada a la que por otro método no se le puede dar las propiedades necesarias. El recubrimiento puede mejorar la resistencia a los diversos tipos de desgaste.

En aquellos casos en que el recubrimiento contribuye a mejorar la resistencia a desgaste mecánicos, se le suele denominar como "recubrimiento duro". A pesar de que esos recubrimientos tienden a prolongar la vida útil de la pieza o elemento, es conveniente dejar claro que la dureza no siempre es un índice proporcional de la resistencia al desgaste (ver figura 7.1).

Las principales ventajas de un recubrimiento son:

- a) Aumento de la resistencia al desgaste en el lugar preciso donde se necesita.
- b) Fácil empleo de compuestos extra duros.
- c) Fácilmente aplicable en terreno.
- d) Empleo ventajoso de aleaciones caras.
- e) Disponer de capas duras sobre una base tenaz.
- f) Economías para el usuario por:
  - Mayor vida útil
  - Reducción de mantenimiento y reemplazo
  - Recuperación de piezas gastadas
  - Uso de metales base de bajo costo
  - Disminución del consumo de energía en trabajo.

#### 7.10. ALEACIONES CON PARTÍCULAS DE CARBURO DE TUNGSTENO:

Estas aleaciones tienen la máxima resistencia a la abrasión y una moderada resistencia al impacto. Los carburos de tungsteno se utilizan en forma de polvo y también en forma de partículas de dimensiones variables enbebidas

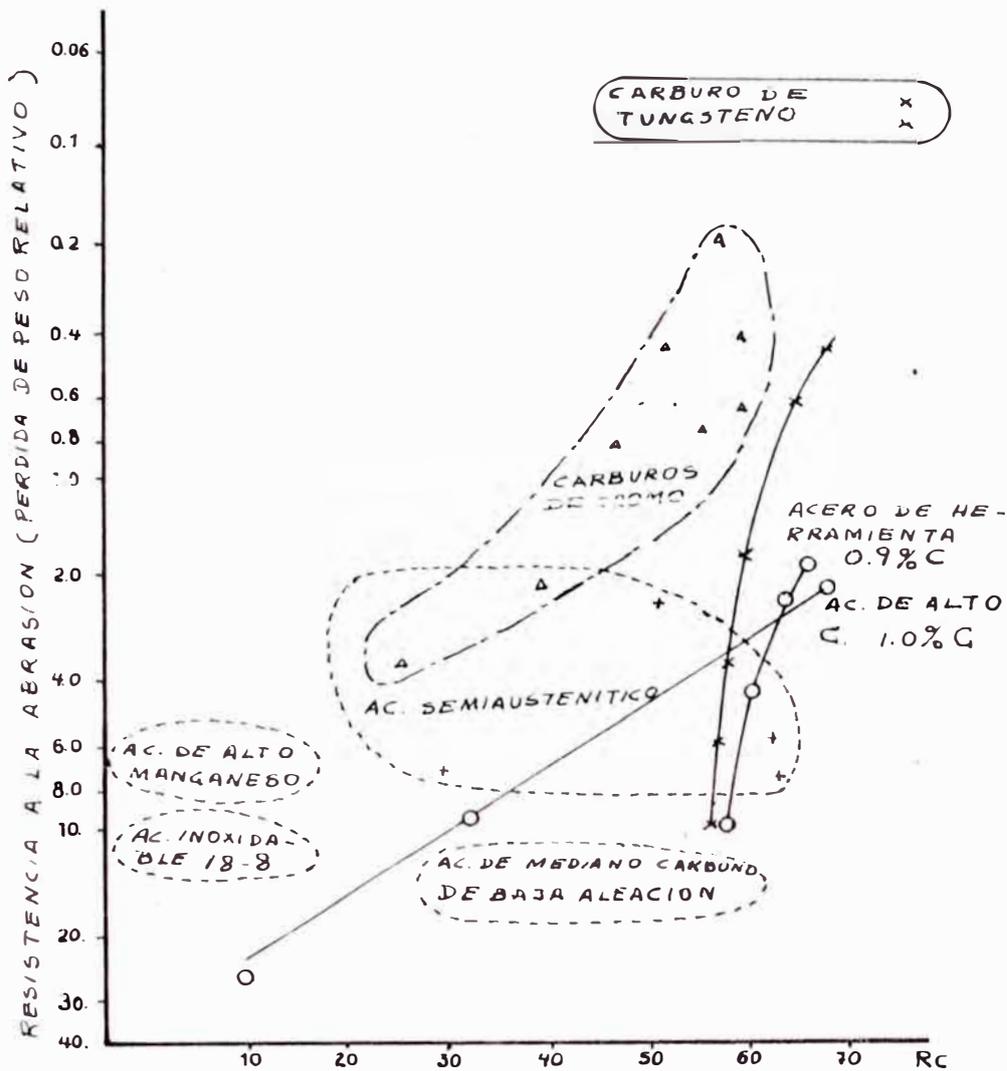


Fig. 7.1 Dureza y resistencia a la abrasión de algunos recubrimientos duros.

dos en una matriz, el cual puede ser una aleación a base de hierro de níquel, o para casos específicos (recuperación de brocas de perforación) una aleación de cobre. Los carburos de tungsteno en forma de polvo, están encapsuladas en una platina de acero al carbono, como es el caso de los electrodos continuos, o formando parte del revestimiento de los electrodos ma

nuales para soldadura por arco eléctrico; otra forma de aplicar los carburos de tungsteno es formando parte de aleaciones micropulverizadas, los cuales son aplicados con soplete de diseño especial.

## ALEACIONES CON CARBURO DE CROMO

Hay muchas aleaciones que contienen carburos de cromo, algunas de estas aleaciones a base de hierro, y otras a base de cobalto. Las aleaciones ferrosas con carburos de cromo (Tabla 7.4) son muy duras para ser maquinadas y proporcionan una excelente resistencia al desgaste por abrasión, ellos mantienen también una alta dureza a temperaturas elevadas. Las tenazas y pinzas para el manejo de los lingotes calientes generalmente son recubiertos con carburos de cromo.

Dentro de las aleaciones ferrosas tenemos:

### 7.11. FUNDICIÓN AUSTENÍTICA CON CARBURO DE CROMO:

Las aleaciones de este tipo presentan una excelente resistencia a la abrasión y también una alta resistencia al impacto y oxidación.

PROCESO	COMPOSICIÓN QUÍMICA					DUREZA TÍPICA	
	C	Mn	Si	Cr	Mo	1 Capa T.ambient	Capa Mul T.ambien
Electrodos Manuales	4.2	5.4	0.70	22.5	0.25	40-52	50-58
Electrodos Manuales	4.5	1.0	0.7	18.5	6.0	45-55	55-64
Arco Sumergido	3.8	0.9	0.5	29.0	1.2	53-58	58-61

Tabla 7.4 Depósito de recubrimientos ferrosos con carburo de cromo en acero de bajo carbono.

La microestructura de los depósitos de fundición austenítica con carburos de cromo, muestran un gran porcentaje de carburos de cromo en una matriz austenítica de alta resistencia al impacto.

#### 7.12. FUNDICIONES MARTENSÍTICAS CON CARBURO DE CROMO:

La principal diferencia entre los productos de esta categoría y los austeníticos anteriores es en la estructura matriz. Las fundiciones martensíticas son mayormente martensíticas o martensítica-austenítica, las cuales son comparables en resistencia a la abrasión pero no en los casos en que sea necesario una alta resistencia al impacto.

Las aleaciones martensíticas son particularmente resistentes a la abrasión y erosión por arena de sílice húmeda, arcilla y residuos de mineral.

#### 7.13. CARBUROS DE CROMO EN MATRIZ NO FERROSOS:

Los carburos de cromo no ferrosos (tabla 7.5) son llamados frecuentemente "STELLITE". Estas aleaciones son ideales para recubrir piezas que operan a altas temperaturas y las cuales están sujetas a corrosión. Su principal característica física es su alta dureza.(40 a 60 RC), el cual es mantenida a alta temperatura, su bajo coeficiente de fricción y su habilidad para adquirir un alto pulido le dan una buena resistencia al desgaste friccional.

#### 7.14. ALEACIONES MARTENSÍTICAS Y PERLÍTICAS:

Estas aleaciones están formados por aceros de mediano y alto carbono y aceros de baja aleación. Los depósitos obtenidos con estos aceros son tratables térmicamente y presenta una estructura martensítica si son enfriados rápidamente o una estructura perlítica si su enfriamiento es lento.

RESISTE A:	Composición Química % *					Dureza (RC) *			
	C	Si	Cr	W	Co	Temp. ambien.	340°C	560°C	760°C
Máxima abrasión	3.2	0.8	26.0	13.5	53.0	43-58	36-46	30-37	51-54
Abrasión Lig. Impact.	1.1	1.5	29.0	5.5	62.0	23-47	26-47	19-32	15-50

\* La composición química y la dureza son tomados en depósitos de varias capas.

\*\* Rockwell A

Tabla 7.5 Depósitos de recubrimientos no ferrosos con carburos de cromo.

La resistencia a la abrasión se incrementa con dureza, y la mejor combinación de dureza y ductibilidad se obtiene por un revenido después de un templado, sin embargo estas cualidades pueden ser obtenidas por el proceso de soldeo solo.

Los aceros de baja aleación son usados frecuentemente para protección antifricción y para reconstruir piezas antes de depositar recubrimientos con carburo de cromo, son tenaces y tienen una baja resistencia a la abrasión, algunos de ellos tienen una alta resistencia tensil y ductilidad, y de esta forma resisten la deformación y rajadura debido al impacto, mientras que los aceros martensíticos son caracterizados por una resistencia media a la abrasión e impacto, los aceros perlíticos tienen menor resistencia a la abrasión y ligeramente alta resistencia al impacto. La deposición perlítica de electrodos son ideales para reconstruir partes desgastadas en piezas de acero al carbono.

#### 7.15. ACEROS AL MANGANESO AUSTENÍTICOS:

PROCESO	COMPOSICIÓN QUÍMICA * %						DUREZA (RC)		
	C	Mn	Si	Cr	V	Mo	Capa Simple	Doble Capa	Capa Multip.
*** Arco Manual	0.37	2.20	0.15	3.3	-	-	40-45	48-52	50-55
** Arco Manual	0.16	1.15	0.60	1.4	-	-	15-20	18-23	23-28
** Arco Sumergido	0.24	1.20	0.70	1.8	-	0.30	25-32	30-43	34-45
*** Arco Sumergido	0.10	2.50	0.30	2.8	0.15	0.30	34-39	39-42	39-42

- \* Depósito de tres capas en acero de bajo carbono
- \*\* Los depósitos pueden ser maquinados con herramientas carburadas sin recocido.
- \*\*\* Debe ser recocido antes de maquinar

Tabla 7.6 Depósito de aceros tratables térmicamente.

Los recubrimientos de acero al manganeso austenítico son muy tenaces y son considerados como extremadamente buenas aleaciones para resistir el impacto. Una aplicación típica puede ser para recubrir los hechaderos de mineral (CHUTES) en el cual las grandes rocas ocasionan impacto con grandes esfuerzos.

El depósito contiene normalmente de 11 a 14% de manganeso y es endurecible por trabajo. Las piezas desgastadas de acero al manganeso generalmente son reconstruidos con este acero y luego protegidos por una capa de recubrimiento con carburo de cromo austenítico para darle mejor resistencia al desgaste.

En aceros al manganeso como metal base, la dilución no tienen ningun efec-

to en la resistencia al desgaste del depósito, mientras que en metal base de aceros al carbono la dilución puede disminuir ligeramente la resistencia al desgaste por lo que recomienda usar un doble pase para mejor performance. La velocidad de enfriamiento no tiene ningún efecto en la resistencia al desgaste, sin embargo un calentamiento prolongado por encima de 250°C, puede fragilizar el metal base de acero al manganeso.

#### 7.16. ACEROS INOXIDABLES AUSTENÍTICOS COMO RECUBRIMIENTOS:

Este tipo de acero inoxidable proporciona un depósito extremadamente tenaz, recubrimiento dúctiles con excepcional resistencia al laminado y astillado debido a fuerzas de impacto, estos depósitos proporcionan también buena resistencia a la corrosión, y son usados para proteger paletas de turbinas - de agua de la corrosión, cavitación y erosión, endurecen en trabajo pero - no tanto como los aceros al manganeso, su resistencia a la abrasión es mayor que el de los aceros de alto carbono de igual dureza.

Los depósitos de acero inoxidable austenítico son usados algunas veces como capa base para otros recubrimientos duros, para evitar la fragilidad que puede formarse al recubrir aceros al carbono, en este caso el electrodo E-312 es el más usado ya que su composición se ve menos afectado por la dilución en el metal base.

#### 7.17. ACEROS INOXIDABLES MARTENSÍTICOS COMO RECUBRIMIENTOS:

Los áceros 410 y 420 producen depósitos con buena resistencia a la rajadura para mejores resultados los depósitos deben ser de varias capas.

El acero 420 debe ser rectificado con esmeril y el 410 puede ser maquinado con cuchilla carburada, estos depósitos usualmente entran a trabajar sin tratamiento térmico, y son muy usados para fricción, como el encontrado en

las chumaceras que trabajan a alta temperatura y en los rodillos de laminación.

#### 7.18. ACEROS DE HERRAMIENTAS Y MATRICES:

Estas aleaciones son muy usadas para recuperar bordes desgastados o superficies de herramientas y matrices. Los electrodos para estas aplicaciones son generalmente del tipo cromo o molibdeno y tungsteno (Ver tabla 7.7.)

Tipo de Acero	Composición Química (%)						Dureza (RC)
	C	Cr	V	W	Mo	Co	
Acero rápido común	0.7	4	0.7	14	-	-	60-63
Tungsteno 18%	0.75	5	1.5	19	-	-	60-63
Tungsteno 30%	0.8	5	1.5	22	-	-	63-65
Cobalto 6%	0.8	5	1.5	19	0.5	6	61-63
Cobalto 12%	0.8	5	1.5	21	0.5	12	63-65
Molibdeno	0.8	3.5	1	1.5	9	-	58-60

Tabla 7.7 Aceros típicos para recuperar herramientas y matrices.

Los aceros del tipo cromo son usados en matrices cuya temperatura no excede de 300°C y los aceros del tipo molibdeno para herramientas de corte o trabajos a alta temperatura, estos aceros llamados también aceros rápidos resisten hasta 540°C de temperatura.

### 7.19. ALEACIONES DE COBRE:

Las aleaciones de cobre se usa como recubrimiento protector contra el desgaste por fricción y corrosión, y para este propósito existen bronce aluminicos, bronce fosforosos, bronce al níquel, y bronce al silicio.

Los bronce al aluminio tienen las mejores características de resistencia a la fricción y a la corrosión, el bronce fosforoso aunque no es tan duro como el bronce al aluminio también proporciona buenas superficies de resistencia y resiste la corrosión, el bronce al silicio tiene bajas cualidades de resistencia y es usado solo para resistir.

RECUBRIMIENTOS APLICABLES A CADA TIPO

DE DESGASTE

### 7.20. RECUBRIMIENTOS ANTIABRASIÓN:

Para piezas que sufren abrasión pura, en general, se emplean aportes de elevada dureza. Debemos de tener presente que la dureza no es la única referencia para evaluar la resistencia a la abrasión de un determinado recubrimiento. Esto se ve claramente si comparamos el rendimiento en trabajo de un acero altamente aleado y de otro acero simple al carbono, teniendo los ambos una dureza de 60 Rc. El acero aleado resiste las condiciones de trabajo en mucho mejor forma que un acero sin alear. Esto se debe a que los elementos de aleación presentan características antidesgaste muy superiores. (Ver figura 7.1.).

Para obtener los mejores resultados se recomienda aplicar el recubrimiento directamente sobre el metal base, siempre que se trate de un acero semi -

duro o de baja aleación. Si se requiere un relleno muy grueso, debe usarse una base blanda más o menos plástica. En aceros templables o aceros al manganeso, es conveniente disponer una base plástica para evitar desprendimiento del recubrimiento.

#### 7.21. RECUBRIMIENTO ANTI-EROSIÓN:

Como se ha visto la erosión puede ser considerada como una forma combinada de abrasión e impacto, causada por materiales de grano fino y distribuidos de manera homogénea en un fluido. De acuerdo a estas características y teniendo en cuenta el efecto del fluido se recomienda recubrimientos de una dureza homogénea y superior a la del material que arrastra el fluido, pero que no sean tan rígidos para que soporten mejor el efecto de microfátiga causado por la erosión.

#### 7.22. RECUBRIMIENTOS CONTRA LA CAVITACIÓN:

La cavitación produce microfátiga. Los recubrimientos que mejor se acomodan a este tipo de desgaste son los de comportamiento plástico. Otros factores a considerar son la homogeneidad de la dureza y la uniformidad de la superficie, características que disminuyen el desgaste por cavitación. El emplear un recubrimiento duro es ventajoso si el fluido arrastra partículas abrasivas como es frecuente que suceda.

#### 7.23. RECUBRIMIENTO ANTI-FRICCIÓN:

Se deben aplicar recubrimientos que permitan obtener superficies de contacto muy pulidas, cuyas crestas y valles sean menos pronunciados. Las partículas de óxido que se desprenden de las superficies en contacto pueden ser de tipo refractario (óxido de hierro) en cuyo caso el desgaste se acelera o pueden actuar como medio lubricante, (óxidos de níquel, de cobre).

Recomendamos el uso de aceros inoxidables o aleaciones de alto contenido de níquel así como cobre y sus aleaciones. En los trabajos de fricción - debemos tener presente que si una de las superficies en contacto es mas - blanda, se desgastará más rápido. Esto es beneficioso si queremos prote - ger del desgaste a una de las piezas por ser su precio comparativo muy - elevado o por algún otro motivo.

#### 7.24. RECUBRIMIENTOS CONTRA LA CORROSIÓN:

Para protección contra el ataque químico directo se emplean aceros inoxi - dables, aleaciones en base a níquel (Hastelloy, Inconel, Monel, etc.), a cobalto y en base a cobre. La aleación se escoge de acuerdo al medio co - rrosivo.

En el caso de la corrosión galvánica, la mejor precaucion es soldar con - materiales cuya composición sea similar a la del metal base.

#### 7.25. RECUBRIMIENTOS CONTRA LOS EFECTOS TÉRMICOS:

Se emplean aleaciones que trabajen a la mas altas temperaturas posibles - sin sufrir alteraciones estructurales o cambio de sus propiedades en for - ma significativa. Además, especialmente en el caso de las piezas que es - tén sometidas a ciclos térmicos se requiere soldaduras del tipo plástico - o de elevado índice de elongación que acepten las dilataciones-contraccio - nes que se presentan, como por ejemplo la soldadura a base de níquel.

#### 7.26. ALEACIONES MICRUPULVERIZADAS PARA RECUPERACIÓN Y PROTECCIÓN DE PIE - ZAS:

Al tratar de recuperación y protección de piezas que sufren desgaste, no se puede dejar de hablar obre una tecnología qu cada vez va adquiriendo

mayor auge en nuestro medio.

En el Perú esta tecnología está muy difundida y casi todas las industrias importantes cuentan con procesos de aplicación de aleaciones en polvo, para la recuperación de ejes de bombas, pistones, hidráulicos, bocinas, cojinetes de apoyo, rodillos alimentadores, levas, taladros, tornillos, dados, cortadores de cerámicas, cadenas, paletas, mezcladoras, guasanos, transportadores, engranajes, aspas de ventilador, cuchillas cortadoras, matrices, etc.. Como se puede ver hoy en día, los procesos de proyección mediante aleaciones micropulverizadas tienen una gran aceptación en la industria, tanto en procesos de fabricación como de mantenimiento y el campo de aplicación se extiende y amplía cada día más debido al desarrollo de nuevas aleaciones y procesos.

## TIPOS DE ALEACIONES POLVOS

Las compañías que proporcionan aleaciones en polvo en el Perú son Eutectic del Perú y Fontargen, siendo la más importante la primera, no solo por la variedad de procesos modernos con que cuenta sino por los diferentes tipos de polvos que pone a disposición del mercado, como son:

- 1.- Polvos de aleaciones autofundentes
- 2.- Polvos de aleación no fusible

### 7.27. POLVOS DE ALEACIÓN AUTOFUNDENTES:

Las aleaciones autofundentes son materiales que tienen diversos factores en común, como es el contenido de Boro y Silicio como elementos fundentes y cuando se alcanza su temperatura de fusión, fluyen de manera similar a los vidrios en estado líquido.

Las aleaciones autofundentes a su vez se dividen en dos categorías:

- a) Aleaciones de un solo paso, roceado y fusión simultáneo al momento de aplicar.
- b) Aleaciones de dos pasos, roceado seguido de un proceso de fusión.

#### 7.28. POLVOS DE ALEACIÓN NO FUSIBLE:

Los polvos de aleación no fusible son aquellos depositados y usados en la condición de roceados sin proceso de fusión adicional, generalmente no contienen boro e incluyen todas las aleaciones usadas para procesos de metalizado, inclusive para el proceso plasma.

Las aleaciones en polvo no fusibles a su vez se subdividen en:

- a) Polvos de mezcla que necesitan de una capa base para una buena liga con el metal base.
- b) Polvo de unión propia no necesita de capa base
- c) Polvo cerámicos.

EUTECTIC	DUREZA	FONTARGEN
50000	(Base)	FM 1
19112	N.A.	-
19985	RB 75/80	-
19850	RB 65/70	FM 2
19222	RB 70/75	-
19919	RC 35/40	FM 4
19300	RB 80/85	-
19666	RB 85/90	-

Tabla 7.8 Principales aleaciones para metalizado existentes en nuestro medio.

Los revestimientos de plasma generalmente no requieren de un revestimiento base aún cuando se recomienda, para máxima seguridad de liga. En el caso de materiales de revestimiento cerámico, si se requiere de un revestimiento de liga.

#### 7.29. PREPARACIÓN DE LA PIEZA PARA APLICAR RECUBRIMIENTOS EN GENERAL:

El primer paso para aplicar un recubrimiento es la preparación de la superficie para la cual se debe considerar los siguientes casos:

- a) CONTAMINACIÓN.- Se debe remover, los aceites, grasas, y residuos no metálicos de la superficie a ser recubierto, para lo cual se usan solventes adecuados o por medio de herramientas mecánicas y escobillas metálicas. La falta de limpieza ocasiona defectos como falta de penetración, inclusiones, sopladura, trizaduras y un mal acabado superficial en el depósito.
- b) TRATAMIENTO SUPERFICIAL ORIGINAL.- Los tratamientos originales de la superficie de la pieza como de cementación, nitruración, electroplataado, etc., deben ser removidos por medios mecánicos, antes de aplicar un recubrimiento, para evitar interacción metalúrgica con el depósito de recubrimiento, falta de difusión en el caso de depósito de aleaciones micropulverizadas, y la obtención de depósitos frágiles con soldadura por arco eléctrico.

Los depósitos de recubrimiento originales deben también ser eliminados, solo se debe permitir la presencia de éstos, si el depósito original va a ser repetido. En el caso de ser necesario capa base, ésta debe repetirse solo si la capa dura final ha sido completamente desgastado, de otra forma se debe eliminar los más mínimos residuos mediante herramientas mecánicas o con electrodos herramienta.

c) DEFECTOS SUPERFICIALES.- Un metal sujeto a desgaste, puede en general estar sujeto a una tensión de fatiga superficial, resultando en trizaduras superficiales, al depositar recubrimientos sobre esta superficie puede conducir a rajaduras u otros tipos de defectos es por eso que se debe remover todos estos defectos superficiales por medios mecánicos, usando para el caso de piezas delicadas métodos no destructivos como penetrantes para asegurar la remoción total. Las esquinas y cambios bruscos de sección deben ser eliminados, para evitar el sobrecalentamiento y la excesiva dilución.

### 7.30. DISEÑO DEL DEPÓSITO:

Los depósitos de soldadura o recubrimientos son hechos siguiendo ciertos dibujos o modelos para obtener mejor performance del recubrimiento al momento que trabaja la pieza.

Estos modelos son establecidos por la naturaleza en el cual se impone el desgaste abrasivo, por ejemplo: si un balde de pala trabaja con materiales como polvo, scoria, cenizas o arena y los cordones de soldadura son depositados en forma paralela al flujo o movimiento de los materiales cuando estos entran en el balde, los cordones proporcionarán una mínima protección debido a que permite que el material abrasivo desgaste el metal base entre los cordones.

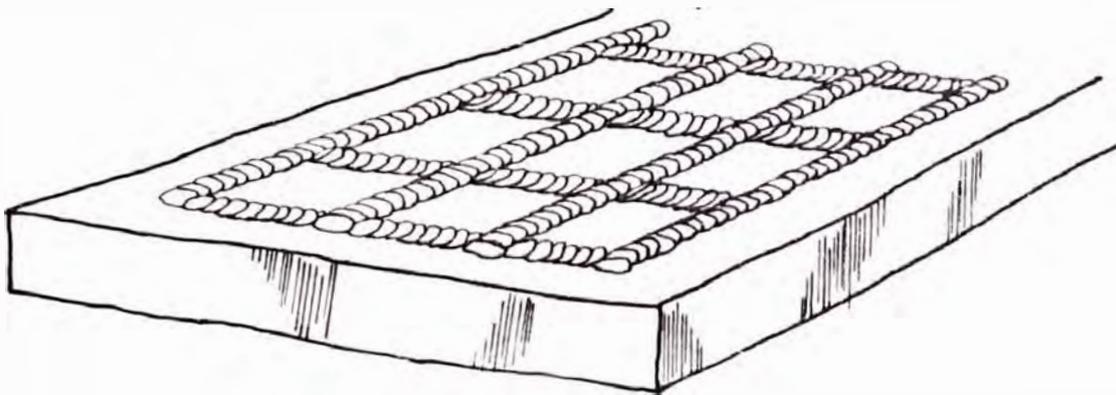
El modelo de depósito correcto para este caso es en forma de "cocos" o cordones " Cruzados", por que estos modelos proporcionan además de la protección por el recubrimiento, una protección por el mismo material abrasivo que se deposita en estos pequeños espacios formado por los cordones, dando lugar a capas compactadas que protegen al metal base.

Sin embargo cuando se trata de baldes que trabajan removiendo rocas secas

de grandes dimensiones, no se puede usar un modelo de "cocos" o "cruzado" ya que el flujo de las rocas someten a los cordones a impacto y abrasión acelerando el desgaste. Para una mejor eficiencia del recubrimiento en este caso será de cordones paralelos al movimiento de las rocas, de esta forma el material abrasivo rodará sobre los cordones, sin imponer desgaste al metal base entre los cordones depositados.

#### 7.31. MODELO CORDONES "CRUZADOS":

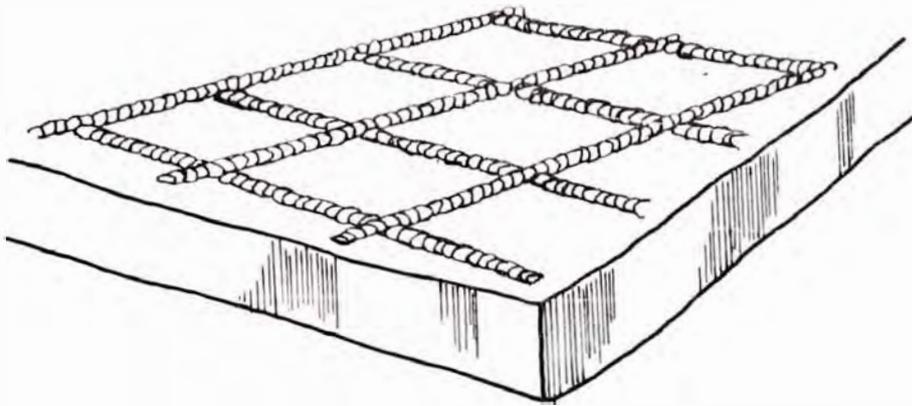
Este modelo es frecuentemente usado para proteger varios componentes de baldes y dientes de cucharón de pala, con un material de recubrimiento.



Cuando el equipo trabaja con arena, basura, polvo o arcilla, el agregado fluye a través del depósito de cordones y llenan las cavidades entre ellos; de esta forma el material abrasivo actúa como un protector de superficie al rozamiento ocasionado por el mismo.

#### 7.32. MODELO EN "COCOS":

Este modelo se usa generalmente en equipos que trabajan con una combinación de material fino y rocas. Los cordones diagonales son recomendados para que las rocas grandes rueden sobre estas, y las partículas abrasivas

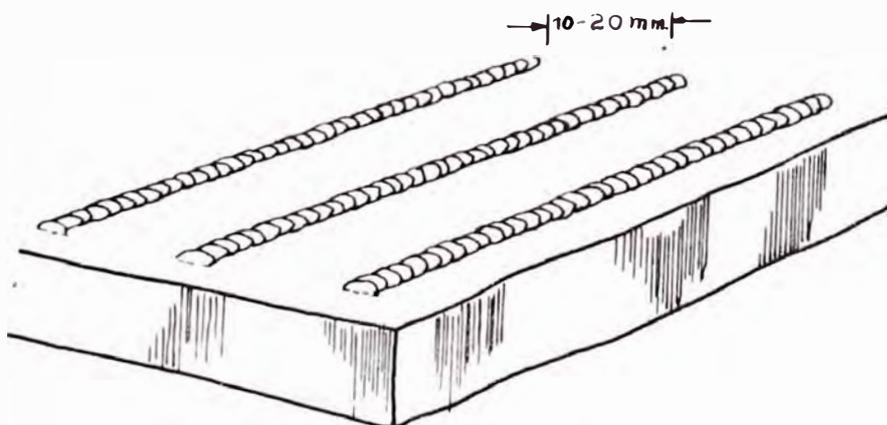


pequeñas como se indicó anteriormente llenarán los espacios entre los cordones depositados conforme estos fluyen a través de la superficie, esto - proporcionan una protección adicional al metal base.

Este modelo proporciona una significativa reducción del volumen de recubrimiento necesario para proteger una pieza.

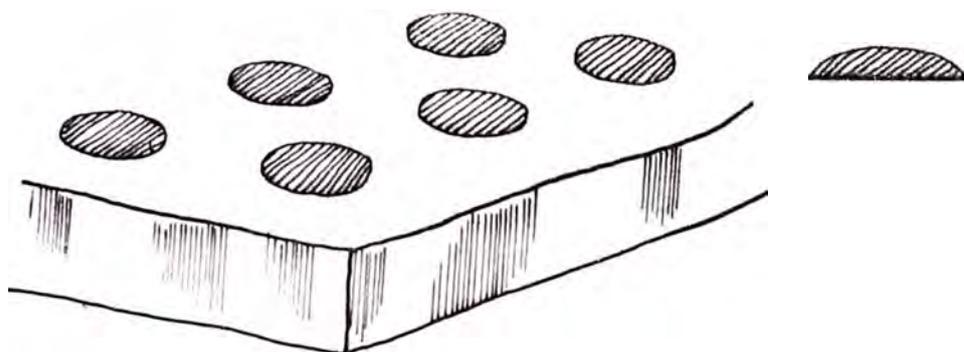
### 7.33. MODELO "CORDONES CORRIDOS":

Este modelo es generalmente usado para proteger la base de los cucharones



y dientes de baldes, los cuales trabajan principalmente en roca, estas piezas son tratadas con cordones continuos paralelos al movimiento del material abrasivo. El objetivo es permitir que la roca resbale sobre las simas de los depósitos duros evitando así el desgaste en las caras del cucharón. Los depósitos son hechos con contornos altos, separados de 10 a 20mm. entre cordones, estos pueden ser de un pase simple o de tres pases, dependiendo de la naturaleza de aplicación.

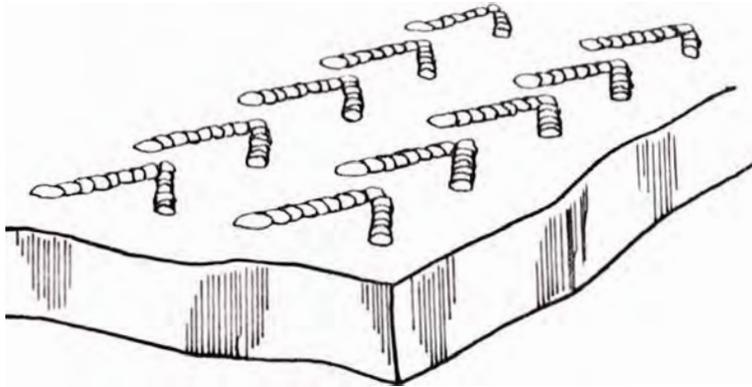
#### 7.34. MODELO "PUNTO RÁPIDO":



La deposición de puntos de 15mm de diámetro aproximadamente separados - 15 mm uno del otro, de un material muy duro resistente a la abrasión, en partes tales como bases de cucharones y baldes, incrementará el tiempo de vida de la pieza en forma significativa. Esta es particularmente una ventaja en casos en los que está presente una combinación de abrasión e impacto, en el caso de un excesivo impacto sólo se deteriorará un sólo botón y no todo el depósito de recubrimiento.

#### 7.35. MODELO "COLA DE PESCADO":

El modelo cola de pescado, es otra técnica frecuentemente usado en la base de los cucharones, para ayudar a mover el polvo, arcilla o arena de -

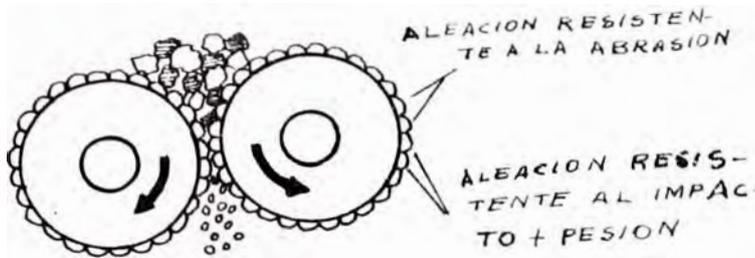


las esquinas del cucharón. Se ha usado extensivamente también en los baldes de bulldozers para mover el agregado a los costados del balde y evitar de esta forma estar empujando la misma carga, cuando esta rueda al frente del balde. Para hacer estos depósitos se usa un electrodo de gran diámetro y una velocidad de deposición lenta para hacer cordones de contorno alto.

#### 7.36. DEPÓSITOS ALTERNADOS:

Algunas piezas, como por ejemplo los rodillos moledores, están sujetos a alta abrasión, presión e impacto. En estos casos se puede depositar dos tipos de recubrimientos con propiedades diferentes para obtener mejores resultados.

Se deposita cordones de un material duro de alta resistencia a la abrasión, alterando con cordones de un material tenáz para evitar el levantamiento del metal duro. La relación de cordones de metal duro a metal tenáz puede variar de acuerdo al grado de abrasión presente; por ejemplo para condiciones de alta presión e impacto se puede usar un pase simple de aleación de alta resistencia a la abrasión, seguido de dos o tres pa-



ses de aleación tenáz resistente a la presión e impacto.

### 7.37. CONTROL DE DISTORSIÓN:

Uno de los principales requisitos durante la aplicación de recubrimiento es minimizar la distorsión resultante de la soldificación y contracción del metal, el uso de procesos y recubrimientos que permitan una baja entrada de calor a la pieza y una baja temperatura de aporte, combinado con las siguientes precauciones prácticas logran sobreponer este problema:

- a) Determinar el grado de calor entregado, seleccionando electrodos del menor diámetro posible en relación con los parámetros de soldeo.
- b) Chequear la posibilidad de disipar el calor, determinando la habilidad de la masa (dimensiones de la sección y espesor de la pieza) para eliminar el calor entregado por el depósito de recubrimiento.
- c) Sin localizar un excesivo calentamiento, esto se puede lograr mediante una planeada secuencia de soldeo.
- d) Determinar si la pieza puede ser sumergida parcialmente en agua para reducir la cantidad de calor absorbido
- e) Trabajar en varias piezas a un mismo tiempo, aplicando depósitos cor -

tos de metal en cada uno, esto sin embargo limitado por la aplicación y el mantenimiento de temperaturas de precalentamiento si es que han sido aplicados para óptimos resultados.

- f) Fijar la pieza mediante pinzas, ganchos o prensas dándole una curvatura a la pieza (generalmente planchas), con la cara a recubrir hacia afuera, una vez hecho el depósito se suelta los ganchos, para que la plancha regrese a su posición original. Si al soltar los ganchos la pieza permanece deformada se puede aplicar presión directamente al recubrimiento, como el recubrimiento está en compresión no se presentan rajaduras.

### 7.38. APLICACIÓN DE ALEACIONES EN POLVO POR METALIZADO:

Genéricamente el metalizado consiste en efectuar un roceado de partículas sobre un metal preparado mecánicamente a una temperatura menor de  $-250^{\circ}\text{C}$ .

El roceado se efectúa mediante una pistola metalizadora que tiene como entradas una fuente de energía (generalmente oxígeno y acetileno para producir una combustión a la temperatura más alta posible) y una alimentación de aleación en polvo y/o alambre.

Como se aprecia en la figura 7.2. la llama oxiacetilénica y la aleación siguen la misma trayectoria. En esta trayectoria la partícula de aleación adquiere energía calórica de la llama en dicho trayecto, definido por la distancia  $L$  y la velocidad " $V$ ", la aleación deforma consecuentemente produciéndose un entramamiento mecánico entre partículas. Más aún, en algunos casos discretos la partícula se funden en el trayecto " $L$ ", la cual al impactar posee la suficiente energía como para lograr un cierto grado de difusión produciéndose microsoldaduras.

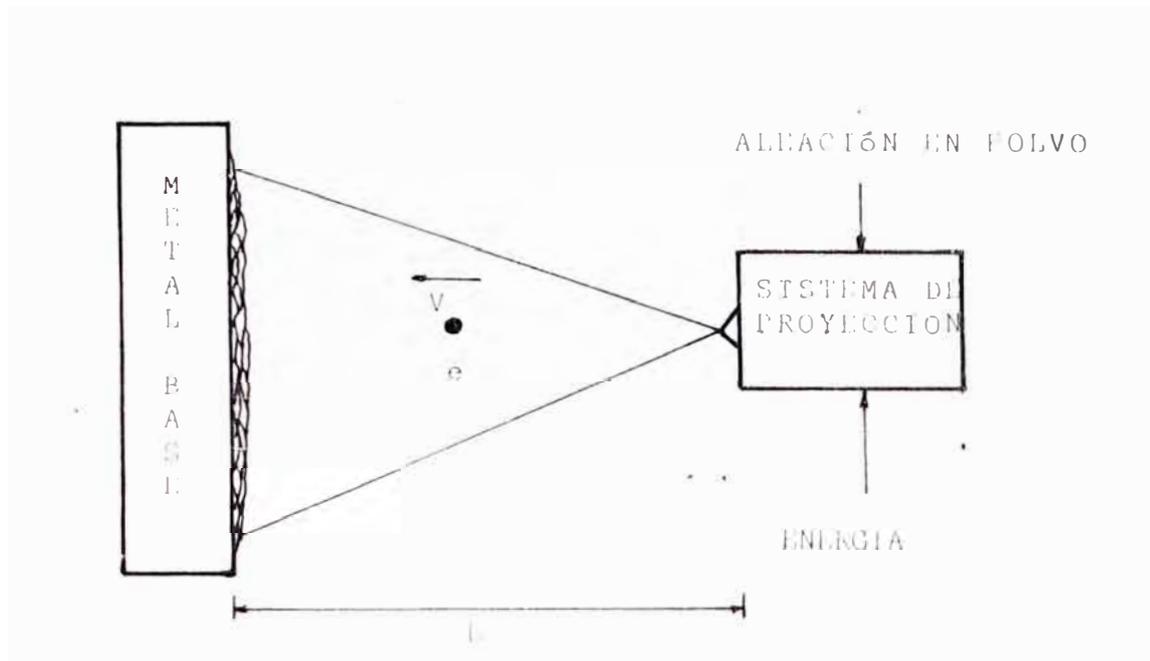


Fig. 7.2 Esquema de un proceso de metalizado

### 7.39. DIVERSOS SISTEMAS DE METALIZADO:

A medida que aumentan la energía calórica y la energía cinética proporcionada a la partícula, aumenta la calidad del depósito y los tipos de aleaciones que son posibles de proyectar. Por ejemplo: Un sistema definido por  $C = 25000$  BTU,  $V = 200$  pies/seg, (Ver tabla 7.9); es capaz de proyectar aleaciones de bajo y medio punto de plastificación/fusión, pero el depósito tendrá una alta porosidad partículas no plastificadas, etc.. En cambio, en un sistema con  $C = 80$  KW  $V = 1800$  pies/seg. tipo plasma (ver tabla 7.9,) obtendremos un depósito denso uniforme con valores de resistencia equivalentes al doble del sistema anterior y con la posibilidad de depositar aleaciones del tipo refractario (cerámicas), aleaciones de cobalto, etc..

VARIABLES INCIDENTES EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR LLAMA - PARTICULA EN METALIZADO

Fuente de energía	Transporte de la partícula	Energía disponible	Velocidad pies/seg.	Aleación en
OXI- ACET.	LLAMA	20000-30000 BTU	150 - 300	POLVO
OXI- ACET.	OXI./LLAMA	45000-80000 BTU	200 - 250	POLVO
OXI- ACET.	AIRE COMPRIMIDO LLAMA	30000-40000 BTU	200 - 400	ALAMBRE
OXI- ACET.	AIRE COMPRIMIDO LLAMA	45000-80000 BTU	300 - 600	POLVO
ARCO ELECTRICO	AIRE COMPRIMIDO LLAMA	10-40 K W	600	ALAMBRE
(IONIZACIÓN DE Ar y He)	GAS PLASMA Y/O AUXILIAR	40-80 KW 16-22,000°C	1200-2000	POLVO

Tabla 7.9 Diversos sistemas de metalizado para la recuperación y protección de piezas.

Dado un sistema con parámetros "e", "V" y "L" constantes, ver figura 7.2 la eficiencia de la transferencia de calor de la llama a la partícula dependerá del tamaño y forma de ésta.

#### 7.40. CONSIDERACIONES DE TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS:

La partícula debe tener un diámetro nominal prestablecido para el tipo de sistema que se va a usar, por ejemplo, para un sistema de alto poder calorífico, una partícula de diámetro nominal inferior al requerido implicará una excesiva transferencia de calor por unidad de área superficial produciéndose oxidación por alta temperatura.

De otra forma, si la partícula es de un diámetro nominal mayor al requeri

do no absorberá suficiente calor como para plastificarse y menos fundirse, depositándose duras e impidiendo el entrapamiento mecánico.

#### 7.41. CONSIDERACIONES DE FORMA DE LAS PARTÍCULAS:

La forma de la partícula influye en la capacidad de absorción de calor - por esta; una partícula esférica absorberá calor en la trayectoria "L" - en forma uniforme en toda su superficie, una partícula angular absorberá calor preferencialmente desde su sección más débil (puntos) las cuales - tenderán a oxidarse debido a la alta temperatura que estas aristas alcanzarán.

#### 7.42. APLICACIÓN DE ALEACIONES EN POLVO POR FUSIÓN:

En el proceso de fusión, se altera la composición química de la aleación de metalizado, agregándose a esta los contenidos de boro y silicio de 1.5 a 5.0% para ambos elementos. Al adicionar boro y silicio y someter - la aleación a un proceso térmico del orden de los 950°C se produce la oxidación preferencial del boro a  $B_2O_3$  y del silicio a  $SiO_2$ , ya que estos elementos actúan como fundentes en la aleación, desoxidando los demás elementos (Cr, Al, Fe, etc.). Además, el compuesto  $B_2O_3$  (punto de fusión 450°C) baja el punto de fusión de la aleación total al rango de - 950°C (punto eutéctico para dicho sistema), la cual exenta de óxidos ( $B_2O_3$  y  $SiO_2$  actúan como escoria y flotan a la superficie) fluyen y se - produce una difusión con la superficie del metal de base, obteniéndose - una liga metalúrgica con dilución mínima.

El proceso queda limitado a la geometría de la pieza esencialmente de - bido a la necesidad de producir una fusión superficial en el orden de los 950°C, esto se logra fácilmente en ejes con diámetros menores a 4" en los cuales, el cociente del largo entre el diámetro sea menor que 20.

#### 7.43. REQUISITO TÉRMICO DURANTE LA FUSIÓN:

Como se mencionó anteriormente las aleaciones fusibles deben ser sometidas a un proceso de calentamiento del depósito para producir la fusión y la oxidación de los elementos fundentes boro y silicio. La temperatura debe elevarse desde 200°C - 300°C hasta el orden de los 900°C - 1,050°C, lo que implica efectuar una transferencia de calor que debe cumplir con las siguientes características:

- a) El gradiente de temperatura  $\Delta T/T$ , durante el proceso térmico debe ser mínimo, ya que si el calentamiento es rápido se producirá el levantamiento (desprendimiento) del depósito en el proceso de fusión, debido a la diferencia de dilatación entre este y el metal base.
- b) Una vez alcanzado la temperatura de oxidación del boro y silicio, debemos contar con la suficiente energía calórica como para avanzar el estado de fusión puntual en la forma más rápida posible.

Un poder calorífico "e" menor al requerido implicará detenerse demasiado tiempo en la zona puntual de fusión produciéndose un sobrecalentamiento excesivo, que no fundirá la aleación, pero que será suficiente como para agotar el boro y silicio de la aleación y esta sin fundente, no logrará desarrollar su propiedades de oxidación preferencial, imposibilitando la fusión del depósito. Como norma empírica, se ha determinado que es necesario aportar entre 200,000 a 250,000 BTU/hora por cada pulgada de espesor característico de la pieza, es decir, si deseamos lograr una adecuada fusión superficial en un eje de 2 pulgadas de espesor por 8 pulgadas de largo, deberemos aproximadamente 500,000 BTU/hora.

Sabiendo que el calor específico del acetileno en mezcla estequiométrica es de 1400 BTU/pie cúbico (ver tabla 2.1) necesitamos un soplete con un flujo de 357 pies cúbicos por hora según la fórmula:

$$Q = \frac{250,000 \times D}{1400}$$

Donde Q = aporte de oxígeno-acetileno durante el proceso de fusión; D = dimensión característica (diámetro, espesor, etc.) más pequeña de una pieza.

## SELECCION DEL PROCESO PARA APLICAR RECUBRIMIENTOS

Se emplean una variedad de métodos de soldadura y de materiales de aporte para efectuar recubrimientos. Para una aplicación dada, la selección del proceso de recubrimiento más adecuado y la técnica de deposición a ser empleado puede ser tan importante como la selección del mismo material recubrimiento. Los principales factores a considerar en la selección son: los requerimientos en trabajo, las características físicas de las piezas, las propiedades metalúrgicas del metal base, la forma y composición del material recubrimiento, la habilidad del operario y las consideraciones económicas.

### 7.44. FACTORES DE LA PIEZA:

El tamaño, la forma y peso de la pieza a recuperar o proteger siempre influye en la selección del proceso. Las piezas muy grandes que requieren de un tratamiento o que son difíciles o no prácticas para transportarlo usualmente requieren seleccionar un proceso de recubrimiento el cual pueda ser llevado al mismo lugar. En estos casos el proceso es más recomendable que sea manual o semiautomático. Cuando las piezas pueden ser transportadas al taller de mantenimiento y recuperación de piezas, o en el caso de piezas nuevas, las cuales son producidas en grandes cantidades pue

den ser tratadas frecuentemente en forma mas efectiva y económica usando máquinas automáticas.

Los procesos de soldadura oxiacetilénico, por arco manual, con electrodos continuos, y con sopletes para depositar aleaciones micropulverizadas son más adecuadas para aplicaciones en el campo, mientras que las máquinas TIG, PLASMA, ARCO SUMERGIDO son mas adecuadas para trabajos en el taller.

Propiedades del metal base.- La composición química, el rango de temperatura de fusión, y otras propiedades físicas son factores principales. La susceptibilidad del metal base a transformaciones metalúrgicas como, oxidación, contaminación a temperatura y la trizaduras térmicas necesitan ciertas consideraciones, el calentamiento o enfriamiento de algunos metales base pueden conducir a trizaduras en caliente, por lo que se debe tener en cuenta un adecuado pre calentamiento y/o selección de un proceso que produzca una moderada velocidad de calentamiento (calor entrado), sin sacrificar la eficiencia de deposición. Además las velocidades de enfriamiento deberán ser controlados y en algunos casos hasta aplicar un post-calentamiento.

El tipo de recubrimiento.- La imposibilidad de obtener algunos recubrimientos en ciertas formas, como por ejemplo en polvo, o en varillas oxiacetilénicas, debido a sus propiedades físicas y metalúrgicas, limitan en ciertos casos el proceso a usar para aplicar el recubrimiento. La composición química de algunas aleaciones no permiten producirlas en polvo por atomización, por lo que estos pueden ser añadidos formando parte del recubrimiento del electrodo o contenidos en tubos hechos con láminas de acero, como es el caso de los electrodos continuos, o pueden ser usados como polvos para deposición mediante la llama de combustión de un soplete a gas o usando un proceso plasma.

Propiedades y espesores requeridos.- Las propiedades de un revestimiento depende principalmente de la composición química, y de la microestructura resultante en el depósito, pero el resultado puede ser material afectado variando las técnicas de deposición con un proceso dado. Estos factores que influyen son la composición del metal base, las características del proceso, el número de pases o espesor del depósito, y el grado de aleación con el metal base (dilución).



TECNICA INCORRECTA



TECNICA CORRECTA

$$\% \text{ DILUCION} = \frac{b}{a+b} \times 100$$

La extensión de la dilución en el metal base durante la deposición varía con el proceso empleado (ver tabla 7.10) y el espesor del depósito en relación con las características de deposición. La resistencia del depósito al desgaste y la calidad disminuye considerablemente conforme aumenta el porcentaje de dilución. Uno de los principales factores que influyen en la selección de un proceso para aplicar recubrimientos es su habilidad para mantener una mínima dilución, esto asegurará propiedades óptimas y evitará la necesidad de espesores mayores al requerido para las condiciones de servicio de la pieza.

Debido a la naturaleza de los recubrimientos los cuales presentan una mi

PROCESO DE SOLDADURA	MODO DE APLICACIÓN	FORMA DE ALEACIÓN PARA RECUBRIMIENTO PROTECTOR	DILUCIÓN (%)	ESPESOR MÍNIMO DEL DEPÓSITO
Eléctrico	Manual	Electrodo revestido Electrodo Tubular	15 - 25	1/8"
Arco abierto (OPEN ARC)	Semiautomático	-Alambre tubular con núcleo de aleación	15 - 25	1/8"
	Automático	-Alambre tubular con núcleo de aleación	15 - 25	
TIG	Semiautomático	-Varilla sólida desnuda -Varilla tubular con núcleo de aleación	10 - 20	
	Automático	-Alambre sólido desnudo -Varilla fundida desnuda -Varilla tubular con polvo de carburo de tungsteno -Alambre tubular con núcleo de aleación	10 - 20	3/32"
Arco Sumergido	Semiautomático	-Alambre sólido-flujo	20 - 60	1/8"
	Automático	-Alambre sólido-flujo -Alambre tubular	30 - 60	1/8"
Oxiacetilénico	Manual	-Varilla sólida desnuda -Varilla tubular	1 - 10	1/32"
	Manual	-Polvo	1 - 10	
	Automático	-Varillas/alambre tubular	1 - 10	

Tabla 7.10 Dilución, Proceso de soldadura y forma de aleación usada

croestructura dura, la deposición de espesores dobles puede ser indeseable ya que esto puede conducir al levantamiento del depósito, por lo que no debe excederse generalmente de 6 mm de espesor, para estructuras metalúrgicas complejas hechos con proceso de soldadura por arco, o de 4mm de espesor para depósitos hechos con sopletes oxiacetilénicos que depositan aleaciones micropulverizadas.

Habilidad del operario.- La calidad de un recubrimiento puede variar en la habilidad del soldador, así por ejemplo: el recubrimiento de válvulas de motores requiere absoluta perfección en la aplicación por soplete de aleaciones del tipo Cr-Co-W-C. Un control de calidad cuidadoso en la producción de los materiales de aporte es indispensable y un período de entrenamiento adecuado se requiere antes que el soldador pueda efectuar un trabajo de calidad. En recubrimientos anticorrosivos, la precisión debe ser igual e incluso mayor. Por otra parte, recubrimientos en ciertos equipos de movimiento de tierra que se ejecutan en terreno pueden ser realizados por soldadores relativamente inexpertos. En muchos casos quedan con trizaduras, poros y sin embargo alargan la vida útil de la pieza considerablemente.

## PROCESOS PARA APLICAR RECUBRIMIENTOS

Los procedimientos que emplean gases combustibles tienen la ventaja de disminuir las velocidades de calentamiento y de enfriamiento, permiten mayor precisión en la ubicación del aporte, tienen poca o ninguna dilución con el metal base y emplean por lo general equipos simples y de bajo costo. La soldadura al arco en cambio es más rápida, generalmente mas económica (tomando el procedimiento como un todo), requiere menos práctica pero tiene gradientes térmicos más violentos que favorecen la aparición de grietas y trizaduras.

#### 7.45. RECUBRIMIENTOS A SOPLETE CON APORTE EN POLVO:

Uno de los sistemas emplea un soplete oxi-acetilénico con un dispositivo que permite alimentar a través de la boquilla un material de aporte en forma de polvo. Sus ventajas principales están en que es de bajo costo, requiere poca experiencia en la aplicación, los depósitos son muy homogéneos y libres de poros, gran exactitud en la aplicación y la dilución es mínima. Para recubrimientos de 0.1 a 3mm de espesor.

Otro sistema de aporte de polvos los impulsa a través de una llama oxiacetilénica y deposita sobre una pieza, generalmente un eje que rota en un torno. La principal ventaja de este proceso (Metalizado) es que la pieza no alcanza temperaturas mayores de 300°C, lo cual es muy importante en el caso de los ejes, para evitar alabeos y deformaciones. Este tipo de recubrimiento son recomendados específicamente para trabajos de fricción.

#### 7.46. RECUBRIMIENTOS A SOPLETE CON APORTE EN VARILLAS:

Este método se usa ampliamente para recubrimientos de gran calidad y alta precisión, pero requiere operadores con mucha práctica. Pero su naturaleza es un proceso lento, no apto para recubrimientos masivos. Es recomendable para espesores de 0.5 - 5mm.

#### 7.47. RECUBRIMIENTOS CON SISTEMA TIG:

Tiene algunas semejanzas con respecto al recubrimiento con soplete oxiacetilénico, especialmente en lo que a habilidad del operador se refiere. Tiene la ventaja de calentar menos el metal base, disminuir la distorsión. Por otra parte la dilución es algo mayor. Se recomienda para espesores de 0.5 a 5mm.

#### 7.48. RECUBRIMIENTOS CON PLASMA:

Trabaja con temperaturas extremadamente elevadas (5,500 - 22,000°C) depositando material de aporte en forma de polvo. En cuanto a la estructura metalúrgica de los depósitos que se logran, son muy similares a los que se consiguen con TIG.

Las ventajas particulares de plasma son: posibilidad de depositar un amplio rango de materiales de aporte, incluyendo los refractarios, aplicación de capas muy delgadas como también gruesas y control muy preciso del acabado superficial para disminuir el maquinado posterior. Con equipos usuales se logran depositar 5 Kg. de aporte por hora. Su principal desventaja reside en el elevado costo y complejidad del equipo.

#### 7.49. RECUBRIMIENTOS POR ARCO MANUAL:

Su bajo costo, gran versatilidad y fácil uso en terreno lo hacen ser uno de los procedimientos más extensamente usados. La aplicación se puede ejecutar en cualquier posición y es perfectamente controlable e influenciable por el soldador. Su desventaja principal reside en la elevada dilución. Se recomienda para espesores de 4 a 15 mm.

#### 7.50. RECUBRIMIENTOS SEMI-AUTOMÁTICOS AL ARCO:

Sistema de alto rendimiento compuesto de una máquina soldadora habitual y de un equipo alimentador de alambre. El alambre viene provisto de fundente interior por lo que no se hace necesario el empleo de gases adicionales. Mejora notablemente el rendimiento por hora/hombre con respecto al arco manual y es fundamentalmente de característica similares.

#### 7.51. RECUBRIMIENTOS CON MIG:

Según sea el caso, se trabaja con gas protector que puede ser argón he -

lio, dióxido de carbono o mezcla de ellos.

Fundamentalmente con MIG se logra disminuir la dilución en comparación con la soldadura al arco manual e incrementar ligeramente el depósito/hora. El equipo es de costo mediano, pero por su peso y volumen no es fácilmente trasladable en terreno.

#### 7.52. RECUBRIMIENTO POR ARCO SUMERGIDO:

Debido a sus grandes ventajas con respecto a otros procesos mencionados, es el que más se emplea como sistema automático para aplicaciones masivas. Se logran rendimientos de depósitos muy elevados, de alta calidad, muy uniforme y libres de defectos. Sin embargo, el empleo de corrientes elevadas significa aportes de calor más elevados en el metal base que con cualquier otro sistema. La dilución es elevada, lo que generalmente hace necesario depositar 3 cordones para lograr depósitos relativamente puros. Se aplica para recubrimientos de hasta 30 mm. de espesor.

## CAPITULO 8

### DEFECTOS DE LAS SOLDADURAS Y SU CONTROL

En el presente capítulo trataré de resumir en la primera parte los principales defectos que se presentan en la soldadura, y en la segunda parte veremos también en forma resumida la forma de controlarlos. Todo esto debido a que el principal objetivo de esta tesis es demostrar la posibilidad y los beneficios que se obtienen al recuperar y proteger piezas que fallan o que ya han fallado durante el servicio.

Obviamente los problemas de deformación, desnivelación de bordes, preparación incorrecta de chaflanes, etc., ya han sido considerados en capítulos anteriores, analizaremos los defectos e irregularidades superficiales e internos más frecuentes, entre los que podemos citar: porosidad, rajaduras, mordeduras, chisporroteo, cráteres, inclusiones de escoria, penetración inadecuada, dilución y contaminación.

#### 8.1. POROSIDAD:

Son aquellos espacios vacíos más o menos esféricos en el interior o en la superficie del metal aportado, como resultado de una reacción química, -

con desprendimientos gaseosos durante el soldo. Las causas pueden ser:

- a) impurezas como azufre o fósforo en el metal base;
- b) contaminación de la superficie del metal base con suciedad, grasa, humedad o polvo;
- c) excesiva humedad en el revestimiento de los electrodos;
- d) longitud de arco inapropiado;
- e) excesivo amperaje;
- f) soldar a una velocidad muy alta que no permite que los gases escapen;
- g) solidificación del depósito antes que los gases escapen.

Las recomendaciones para evitar estas causas de porosidad son respectivamente:

- a) cambiar a un metal base de diferente composición;
- b) limpieza del metal base, y remover la humedad de las superficies a unir;
- c) resecado de humedad de las superficies a unir;
- d) resecado de revestimiento a los electrodos a los contenidos de humedad recomendados para el tipo de revestimiento;
- e) usar una longitud de arco apropiada;
- f) reducir el amperaje;
- g) reducir la velocidad de avance para permitir que los gases escapen y h) precalentar el metal base o usar un tipo de electrodo diferente, o ambos.

En algunos casos cuando se suelda con electrodos revestidos, se forman porosidades al inicio del depósito, esto puede deberse a una falta de protección del depósito de los gases atmosféricos por ineficiencia del revestimiento al inicio del electrodo. Para solucionar este problema el soldador debe iniciar el arco aproximadamente una pulgada delante del punto de partida real y retroceder depositando un cordón delgado, luego volver con avance lento sobre ese cordón, volviendo a llevar al punto de fusión eliminando la porosidad inicial.

## RAJADURAS

Las rajaduras son probablemente los defectos en soldadura más temidos, las rajaduras se presentan en muchas formas, ubicadas (ver fig.8.1), y ocurren en un amplio rango de temperaturas.

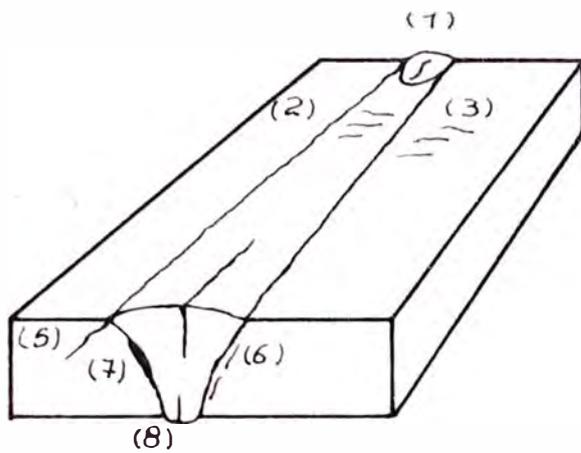


Fig. 8.1. Clasificación de las rajaduras de acuerdo a su localización en una soldadura.

- |                                      |                                  |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1.- Trizadura en cráter              | 5.- Trizadura en talón           |
| 2.- Trizadura transversal al cordón  | 6.- Trizadura bajo el cordón     |
| 3.- Trizadura en la ZAT              | 7.- Trizadura en línea de fusión |
| 4.- Trizadura longitudinal al cordón | 8.- Trizadura de raíz            |

Al soldar algunos metales frágiles, como aceros de alto carbono, aceros -inoxidables martensíticos, o las fundiciones, el uso de una fuente de calor intenso, que produzca un levantamiento de la temperatura extremadamente rápida en una pequeña área del metal base, ocasiona la rajadura inmediata de la pieza. En algunos casos la deposición posterior de metal de aporte, funde y rellena las trizaduras, pero en la mayoría de veces continuar calentando la pieza solamente ocasiona una prolongación de las trizaduras.

Para evitar este problema se recomienda dar precalentamiento antes de empezar a soldar.

Las rajaduras son fallas del metal por tensiones, cuando este se encuentra en un estado frágil y el esfuerzo ocasionado por las tensiones, es ma

yor que la resistencia del metal en ese estado. Las rajaduras varían en tamaño desde macrorrajaduras fácilmente visibles hasta pequeñas trizaduras o microrrajaduras. Estos últimos usualmente son detectados con la ayuda de un microscopio (frecuentemente por examen metalográfico). Aún cuando las rajaduras pueden ocurrir a cualquier temperatura, hasta el punto en el cual el metal está completamente fundido, las rajaduras se clasifican en rajaduras en caliente o rajaduras en frío, de acuerdo a ciertas características que generalmente presentan.

### 8.2. RAJADURAS EN CALIENTE:

Se llama rajadura en caliente, cuando las rajaduras ocurren a una temperatura elevada mayor a  $500^{\circ}\text{C}$ , y el camino seguido es por los límites de grano (intergranular), en vez de atravesar los granos mismo, cuando estas rajaduras se han extendido hasta la superficie de la pieza y ha estado en contacto con el aire la rajadura se cubre de un óxido que puede ser observado por exámenes metalográficos.

### 8.3. RAJADURAS DURANTE LA SOLDIFICACIÓN:

Las soldaduras comerciales tienen elementos de aleación e impurezas (carbono, manganeso, fósforo, molibdeno, etc.) que hacen que la soldificación se realice en un rango de temperatura, por ejemplo de  $10$  a  $25^{\circ}\text{C}$  para el acero al carbono, aún cuando de la impresión como si ya estuviera totalmente sólido, en éste estado no tiene resistencia ni ductilidad y los granos pueden ser disgregados con absoluta facilidad. Por tal razón, si un acero es sometido a vibración, tracción o cualquier tipo de esfuerzo mecánico en el momento que se verifica su soldificación final, falla a tensiones bajísimas y raramente con alguna elongación. La rajadura se prolonga por los límites de grano debido a que lo último es solidificarse ocupaba estos espacios, si se realiza un examen a temperatura ambien-

te de la superficie de la rajadura se observa coloración s térmicos u óxidos.

Es importante observar que para contrarrestar la tendencia a rajaduras es mejor usar una soldadura de alta elongación, que una soldadura de alta resistencia tensil, si el metal es capaz de deformarse sólo hay una pequeña diferencia si la resistencia es de 100 ó 10,000 PSI para resistir la rajadura.

La ocurrencia de rajadura al momento de la soldificación está ligado a la cantidad de calor entregado al soldar la pieza, por lo que una forma de evitar es disminuyendo el calor entregado, esto es menor tamaño de la llama y mayor velocidad de aporte con el mismo amperaje. En algunos casos al soldar con oxiacetileno se acostumbra usar una llama carburante, para levantar la resistencia del depósito, y disminuir la temperatura de soldificación (por el carbono absorbido) a la vez que baja el calor aportado, pero esto trae influencias indeseables en las propiedades.

#### 8.4. RAJADURAS EN LA ZAT:

Las trizaduras en caliente no sólo se presentan en la porción de metal que ha sido fundida, sino que también suelen aparecer en el metal base en la zona afectada térmicamente (ZAT). Algunos aceros altamente aleados tienen en su microestructura constituyentes en formas de carburos complejos o de combinaciones intermetálicas. Estos componentes tienen una amplia variedad de propiedades, que incluyen su propio punto de fusión, la ZAT alcanza temperaturas del orden de los 1200 a 1300°C, por lo que estas zonas pierden resistencia, si en ese momento aparecen tensiones en la ZAT, es factible que se presenten trizaduras.

#### 8.5. RAJADURA EN FRÍO:

Cuando el camino es guiado por la rajadura es transgranular, o sea a través de los granos significa que la rajadura se ha ocasionado a temperatura moderadamente baja, menores a 300°C, en este rango bajo de temperatura, los mecanismos de rajadura son diferentes de aquellos para rajaduras en caliente.

La rajadura en caliente se forma siempre durante el proceso de soldeo o - al menos antes que el metal haya vuelto a la temperatura ambiente, la rajadura en frío puede aparecer horas, e incluso semanas después.

Las causas que provocan este tipo de rajaduras son básicamente tres: 1) aumento de la dureza en la zona afectada térmicamente, 2) tensiones residuales y tensiones de reacción y 3) fragilidad por hidrógeno. De todas ellas el hidrógeno es la principal causa.

#### 8.6. MORDEDURAS:

Las mordeduras o socabaciones, son los surcos que pueden aparecer en el metal base, en uno o en los dos costados del cordón de soldadura. Usualmente son debidos a una excesiva intensidad de corriente, una longitud de arco demasiada, excesivo diámetro del electrodo y ángulos incorrectos del electrodo con el metal base. Provocando una fusión excesiva del metal base, también influye la naturaleza del revestimiento del electrodo, así por ejemplo un electrodo básico producirá más fácilmente mordeduras que un electrodo ácido, es por ello que con el primero se debe avanzar el electrodo más lentamente que con el segundo.

La velocidad de avance debe ser tal que se logre llenar completamente los biselados del metal base, y cuando se use un movimiento ondeado en el electrodo, se debe hacer una ligera pausa a cada costado del depósito que se -

va dejando. El arco debe ser lo más corto posible, con el amperaje apropiado para el diámetro del electrodo y para la posición de soldeo en uso.

Las mordeduras son un defecto importante por que reducen la sección y aumentan el efecto de entalladura que produce el sobre-espesor de la propia soldadura.

#### 8.7. CHISPORROTEO:

Las finas gotas de metal que salen proyectados del área de soldeo durante un proceso de fusión, son llamados chisporroteo, estas gotas pueden ser disparadas del baño metálico, pero lo más frecuente es que se produzcan a partir del electrodo o varilla de soldadura.

El chisporroteo es causado por la liberación del excesivo gas, en el enfriamiento rápido del metal, también es causado cuando se forma un puente a través del espacio del arco por el metal fundido que está siendo transferido, dando origen a un corto circuito, el incremento de corriente que ordinariamente ocurre sobrecalienta el glóbulo de metal líquido y lo hace explotar en una lluvia de chispas blancas calientes.

Las partículas pueden acarrear la suficiente energía térmica, como para crear pequeñas áreas afectadas térmicamente, similares a las causadas por inicio del arco.

#### 8.8. CRÁTERES:

Consiste en un rechupe o depresión de la superficie causado por la solidificación del metal depositado una vez que se extingue el arco. Los cráteres frecuentemente sirven de origen para trizaduras lineales posteriores, por lo que usualmente son removidos con incels o esmeriles, o rellena-

dos con un pequeño depósito de un metal de relleno.

El soldador puede evitar este defecto si en lugar de retirar buscamente el electrodo al interrumpir la soldadura, va elevando lentamente el arco sin movimiento de avance hasta que este se apague, o también regresando un poco al final del cordón antes de levantar el electrodo.

#### 8.9. INCLUSIONES DE ESCORIA:

A excepción del grafito, toda partícula no metálica atrapada en el metal puede definirse como inclusión de escoria. El origen de esa partícula no es necesariamente la escoria que se forma en la superficie del depósito, puede también provenir del metal como resultado de una reacción de desoxidación.

Al soldar con electrodos revestidos, tanto el metal líquido como el revestimiento entran al charco. Si el depósito solidifica demasiado rápido, es posible tener escoria atrapada. Este fenómeno sucede con frecuencia cuando se suelda sobre cabeza, debido a que el soldador mantiene el charco lo más pequeño posible.

Cuando existen desoxidantes como manganeso, aluminio o silicio, suelen formarse óxidos complejos insolubles en hierro que pueden estar sólidos o líquidos a la temperatura de fusión del hierro. Otra fuente que provoca inclusiones son los residuos de cordones anteriores, especialmente si se han depositado cordones muy convexos.

Aunque este defecto se debe a diversas causas, la causa más general es una falta de limpieza, como consecuencia, la aparición de este defecto, se evita en gran parte limpiando de toda traza de escoria el cordón de soldadura antes de depositar la pasada siguiente.

### 8.10. PENETRACIÓN INADECUADA Y FUSIÓN INCOMPLETA:

La profundidad de penetración de la soldadura en una unión y la profundidad de fusión en las caras de una unión son conceptos absolutamente diferentes, AWS define tres términos básicos en esta materia.

- Penetración de unión.- es la profundidad mínima del cordón, medida desde la superficie del metal base.
- Penetración de raíz.- es la profundidad del cordón en la raíz, medida en el eje de un corte transversal.
- Profundidad de fusión.- es la extensión de la zona fundida, medida desde la superficie inicial.

Estos conceptos se ilustran en la figura 8.2.

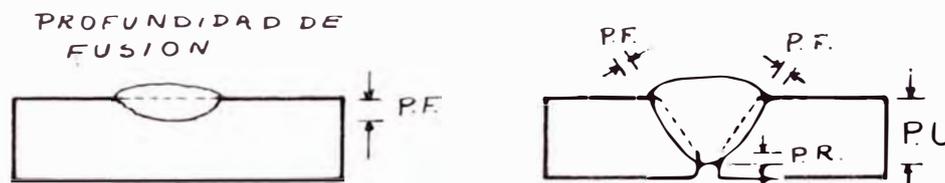
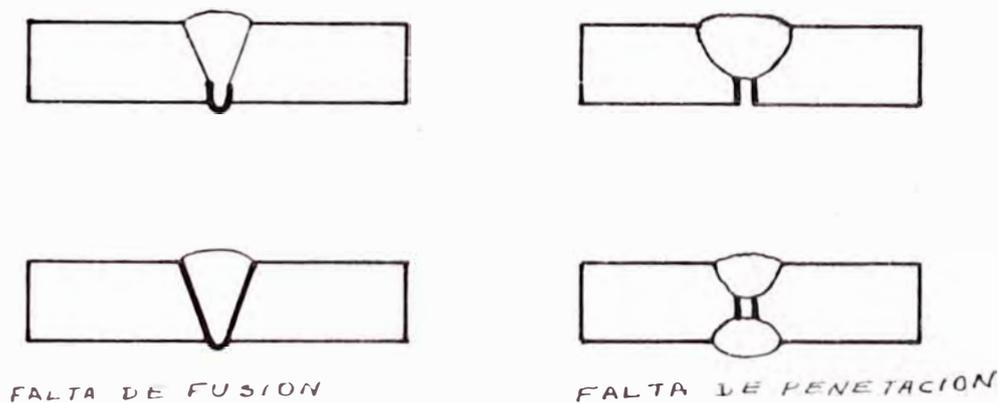


Fig. 8.2. Esquemmatización de los conceptos de penetración de P.U., penetración de raíz = P.R., y profundidad de

La falta de fusión, es un defecto que puede ocurrir entre el metal de aporte y el metal base, debido a la falta de fusión simultánea de los bordes del chaflán del metal base y del metal de aporte, o también puede presentarse entre los cordones de soldadura de un relleno por pase múltiple. Este problema puede producirse por interponerse entre el metal de base y el de aporte materias extrañas, que no son disueltos por elementos

contenidos en el revestimiento (fundentes), o a veces, por una mala inclinación del electrodo durante la soldadura, excesiva velocidad de avance; excesivo diámetro del electrodo, bajo amperaje, o una mala preparación de la unión.

La falta de fusión puede ser prevenido reduciendo la velocidad de avance, mejorando la preparación de los biseles, incrementando el amperaje, limpiando previamente los chaflanes y llevando una inclinación del electrodo adecuado, que permita fundir simultáneamente ambas superficies.



La falta de penetración es un defecto que se produce cuando no se funde todo el metal de base, en la raíz, y por falta de metal de aporte en la misma.

Las causas pueden ser: ángulo del bisel y talones incorrectos, excesiva velocidad de avance del electrodo, baja intensidad de corriente y arco excesivamente largo.

### 8.11. DILUCIÓN:

Se denomina dilución a la combinación o aleado del metal de aporte con el metal base, hecho posible a lo largo de la penetración, la extensión de la dilución puede ser expresado como un porcentaje del metal base en el depósito final, Fig. 8.3.

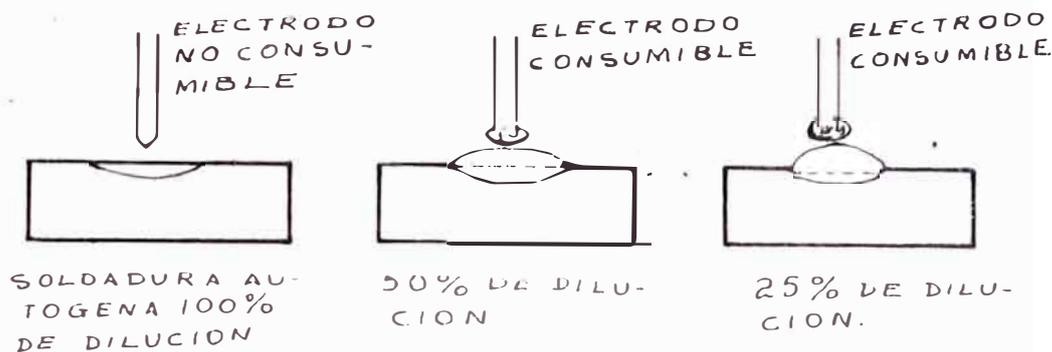


Fig. 8.3 Dilución en soldadura.

La agitación que se genera en el metal líquido durante el soldado es debido a los efectos electromagnéticos y corriente de convección. Cuando el calor es generado por la electricidad; esta agitación hace que el depósito tenga una composición homogénea, en toda su área transversal, el cual está determinado básicamente por las proporciones del metal aportado y el metal base fundido, esta composición será homogénea a menos que la velocidad de avance sea tan rápida que impida la agitación del metal líquido para lograr la difusión necesaria.

#### 8.12. CONTAMINACIÓN:

Frecuentemente el metal base que se suelda, el metal aporte, o los accesorios usados a soldar están contaminados en su superficie con materiales extraños, los cuales producen dificultades o defectos.

En la tabla 8.1. se ven algunos materiales comunes y elementos químicos que hacen las veces de contaminantes en la soldadura el arco.

## MATERIALES COMUNES

- Recubrimientos de aluminio	Aceite y grasas
- Recubrimientos galvanizados	Pinturas
- Lubricantes grafitico	Polvo
- Excamas de óxidos	

## ELEMENTOS QUÍMICOS

- Aluminio	- Carbón	Plomo	Azufre
- Boro	- Cobre	Oxígeno	Estaño
- Cadmio	- Hidrógeno	Fósforo	Zinc

Tabla 8.1. Materiales comunes y elementos químicos que pueden ser contaminados al soldar

Los óxidos, aceites, grasas, pinturas, etc. causan porosidad, debido a que contienen hidrógeno, ya sea como humedad o formando partes de la composición.

El carbón, que puede ser un peligro contaminante, es otro elemento que se encuentra en la composición de los aceites, grasas y pinturas y en los lubricantes grafiticos. El carbón es el elemento más influenciado en las propiedades del acero. Un cordón depositado en un bisel que contiene aceite en su superficie puede incrementar su composición en carbón desde 0.10% hasta 0.25%, este incremento elevaría la resistencia y la dureza, substancialmente, y bajaría la ductilidad y tenacidad.

El zinc es un elemento que comúnmente se le encuentra al soldar aceros galvanizados, ocasionando trizaduras, particularmente en uniones por sol

dadura de fusión, el zinc líquido penetra la superficie del cordón de soldadura depositado y produce trizaduras intergranulares

Por otra parte el zinc tiene un bajo punto de fusión ( $906^{\circ}\text{C}$ ), formando gases al momento de soldar. Este gas formado por evaporación del zinc no solamente genera porosidad, sino que no permite estabilidad en el arco.

El aluminio, es otro elemento muy usado para proteger al acero de la corrosión y oxidación. El aluminio no causa trizaduras intergranulares como hace el zinc, pero produce tres efectos metalúrgicos distintos. El aluminio forma aleaciones con el hierro, por difusión aún a temperaturas moderadas por decir a  $538^{\circ}\text{C}$  y más, la aleación aluminio hierro es algo frágil. Cuando el hierro se alea con pequeños porcentajes de aluminio, se estabiliza la estructura ferrítica en el acero, obteniéndose un grano grueso, un depósito frágil en el cual el grano no puede ser refinado por tratamiento térmico. El tercer problema es la gran afinidad por el oxígeno, formándose una película viscosa de alúmina (escoria), el cual interfiere con el flujo del metal líquido depositado, quedando atrapado dentro del depósito en algunos casos.

El boro puede presentarse en los fundentes al momento de soldar, el excesivo boro puede causar rajaduras en caliente.

El cobre puede penetrar por los límites de grano del acero calentado a altas temperaturas y causar trizaduras intergranulares.

El cadmio, el estaño y el plomo son usados como recubrimientos metálicos en el acero y pueden causar rajaduras en caliente, en soldadura de fusión, si este es tomado en cantidades suficientes por el metal de soldadura. El fósforo y azufre pueden estar presente en varios recubrimientos

superficiales aplicados para la adherencia de las pinturas o con propósito de insulación eléctrica y antifricción, pero cuando estos elementos son tomados por el metal de soldadura pueden causar trizaduras y fragilidad.

#### 8.13. CONTROL DE LAS SOLDADURAS:

En la actualidad hay numerosos métodos para realizar el control de las soldaduras, los cuales pueden ser agrupados en Destructivos y no destructivos.

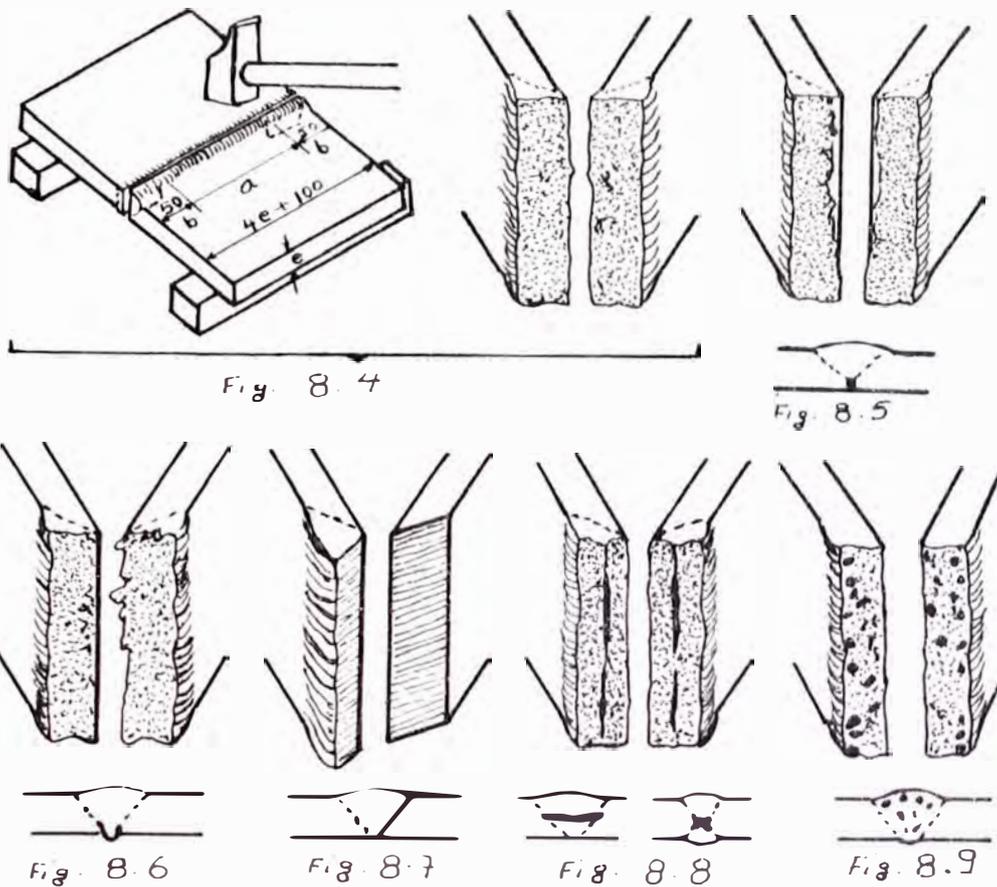
Los ensayos destructivos, exigen la destrucción de la pieza soldada, para examinar su estructura interna del metal base y metal aportado, en otros casos en probetas tomadas de la soldadura para determinar las propiedades mecánicas de la junta o de sus diferentes partes.

#### 8.14. ENSAYOS DE ROTURA PARA OBSERVACIÓN INTERNA:

Estas pruebas deben llevarse a cabo en juntas soldadas, a partir de 3mm de espesor, para los espesores de 3 a 10mm se produce a efectuar un plegado en el tornillo una banda de 80 a 100mm de ancho, ranurada en el depósito.

Para chapas de espesores mayores a 100mm, la observación se hace en una pieza rota en plena soldadura, golpeándola con un martillo, después de haberla ranurado con sierra como indica la fig. 8.4 . Una vez rota la zona soldada pueden aparecer los siguientes defectos:

- Falta de penetración (Fig. 8.5) al examinar la raíz del cordón.
- Falta de fusión (Fig. 8.6; y 8.7)
- Inclusiones de escoria (Fig. 8.8)
- Porosidad (Fig. 8.9)



### 8.15. ENSAYOS MECÁNICOS:

Son utilizados principalmente para el control de los materiales de base y de los metales de aportación; mediante estos ensayos se determina los valores de resistencia a la tracción, del límite elástico y el alargamiento de los metales. Los ensayos mecánicos más usados son:

- Ensayos de tensión
- Ensayos de dureza en la soldadura o en sus proximidades
- Ensayos de doblado
- Ensayos de resistencia (energía de rotura por choque, de una probeta en tallada)

- Ensayo de fatiga.

Los ensayos mecánicos han sido ya explicados anteriormente, en esta tesis, como medios para medir la soldabilidad de los metales.

#### 8.16. ENSAYOS DE CORROSIÓN:

Son y generalmente practicados sobre probetas, a fin de determinar la aleación que se debe utilizar para obtener uniones resistentes en servicio a los medios corrosivos.

Los materiales utilizados deben tener un uso muy prolongado y en consecuencia el estudio de la corrosión en las condiciones de empleo real no da conclusiones más que al cabo de un tiempo muy largo (del orden de 10 años) por consiguiente, es necesario considerar ensayos de laboratorios que correspondan a una corrosión acelerada.

La condición primordial es que, cualquiera que sea el método utilizado, es preciso obtener el mismo tipo de corrosión que en el caso real, pero con una intensidad acrecentada. Los resultados deben ser reproducibles e independientes del operador y expresables por un número.

El medio de ataque debe ser el mismo del caso real y para acelerar la reacción, se puede aumentar la temperatura, la presión, la concentración y la aireación.

La determinación de las características mecánicas (alargamiento y carga de rotura) constituyen en general el criterio fundamental para calificar los efectos de la corrosión. Pero el procedimiento es largo a causa de la duración de cada ensayo y del gran número de medidas que es preciso efectuar; esto es debido a que la corrosión es un fenómeno heterogéneo y es necesario varios resultados para tomar un valor medio único significativo.

La pérdida de peso es un medio muy empleado, pero no es válido más que para una corrosión uniforme.

La variación del aspecto de la superficie es fácil de notar, da indicaciones sobre el tipo de corrosión.

#### 8.17. ANÁLISIS METALOGRÁFICO:

Se denomina análisis metalográfico al examen que se lleva a cabo en una sección de la unión metal base metal de aporte, ya sea longitudinal o transversal, el cual ha sido pulido y atacado con un reactivo apropiado, para poner de manifiesto las diferentes zonas de la unión (metal base, metal depositado), la profundidad de la penetración, el orden en que se van depositando las diferentes capas sucesivas, la forma de estas y los diferentes defectos de las soldaduras. El examen se hace con pocos aumentos (macrografía) o por medio de un microscopio con muchos aumentos (micrografía).

#### 8.18. CONSTITUCIÓN ESTRUCTURAL DE UNA SOLDADURA OXIACETILÉNICA:

En la fig. 8.11 se ve un examen macrográfico y micrográfico de una soldadura realizada por un proceso oxiacetilénico en un acero al carbono, en este gráfico se puede apreciar la soldadura total (Zona fundida + ZAT), aumentada 3.5 veces. Las cuatro micrografías inferiores dan detalles para las diferentes zonas de temperatura.

- 1.- Zona de Transformación  $A_1 - A_3$  ( 720 - 900°C), presenta una agrupamiento o globulación de la estructura sin mucha variación del tamaño de grano. La transformación será más marcada cuanto mayor es el contenido de carbono en el acero.
- 2.- Zona de Recocido .- (900 - 1000°C) La estructura se afina y tiende a homogenizarse, la estructura se aproxima a la de un acero normalizado.

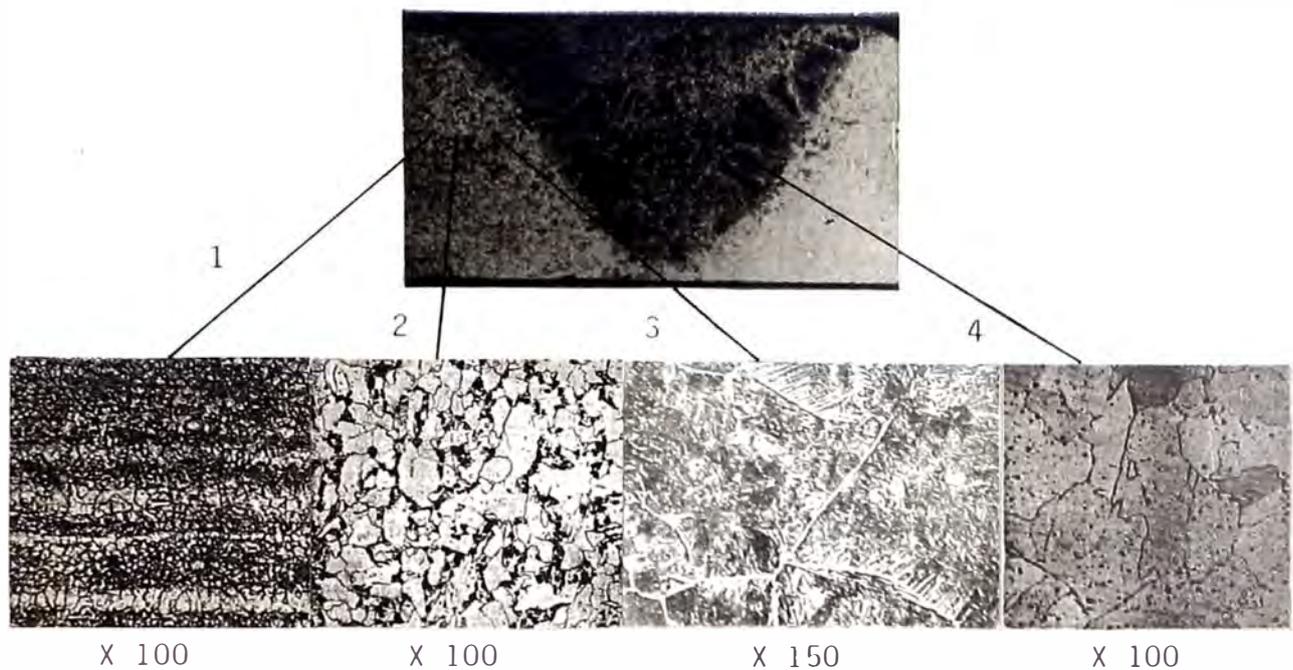


Fig. 8.10 Constitución estructural de una soldadura oxiacetilénica.

Si el metal base ha recibido un tratamiento térmico o mecanizado, se observa una regeneración o una cristalización parcial en esta zona.

- 3.- Zona de Recalentamiento.- ( $1500 - 1000^{\circ}\text{C}$ ), el grano desarrollado se encuentra invadido por un agregado fino que ocupa el interior de la red de ferrita. Los ciclos de enfriamiento rápidos (como en el caso de las soldaduras), provocan un desplazamiento de las líneas de transformación del acero hacia temperaturas bajas, e incluso un desdoblamiento del punto eutectoide, dando lugar a una estructura grosera, con precipitación de un agregado laminar más o menos fino semejante a la perlita.
- 4.- Zona de Fusión.- Presenta un crecimiento de la estructura ferrítica sin una orientación definida como sucede en la zona de ligazón o de fusión parcial (fig. 8.10 macrofotografía). En esta última zona se no

ta una clara orientación de los granos en forma perpendicular a las caras de bisel inicial.

#### 8.19. ESTRUCTURA DE UNA SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO:

En la figura 8.11 se puede apreciar macrofotografías (parte superior y microfotografías (parte inferior), el aumento obtenido es de 6 y 200 veces respectivamente. La vista superior izquierda sin tratamiento posterior, y a la vista superior derecha, la misma soldadura pero recocida a una temperatura mayor al punto de transformación superior.

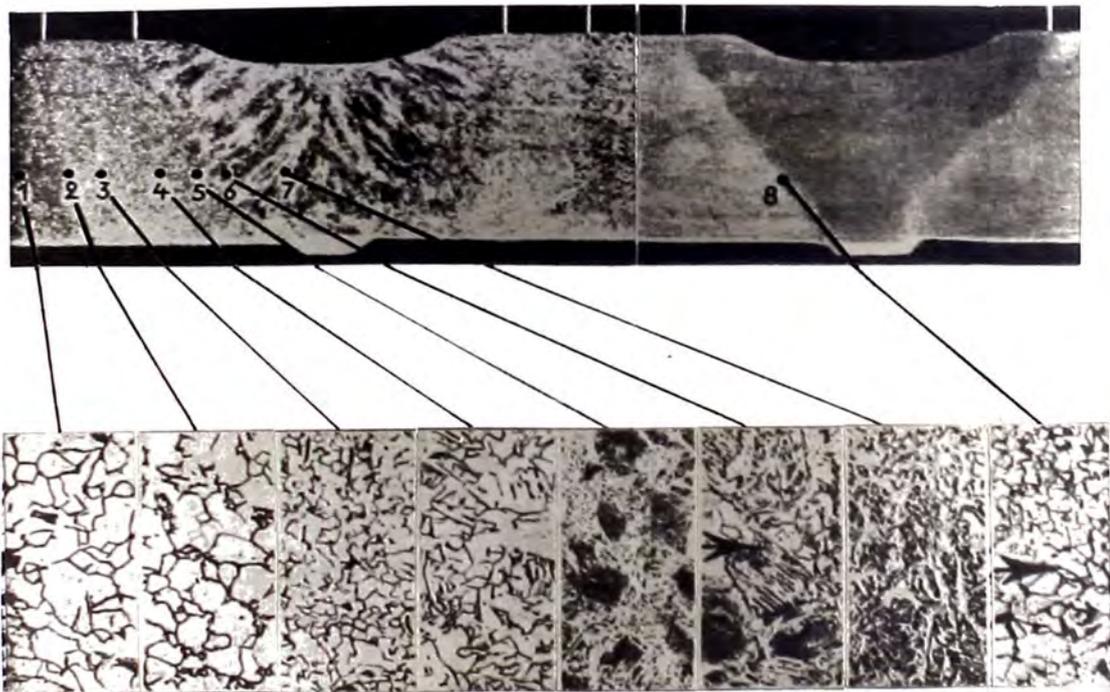


Fig. 8.11 Estructura de una soldadura por arco eléctrico con electrodos revestido.

Los puntos marcados con números corresponden a: 1) estructura de la plancha (C=0.08%, Mn 0.98%, Si 0.07%) formado por granos, principalmente de ferrita y algunos de perlita; 2) principios de transformación de la ferrita por acción de la temperatura alcanzado en la ZAT; 3) punto que alcanzó temperaturas cercanas a  $A_{c3}$ , afectando el tamaño de grano a una estructura fina; 4) principio de la formación de granos gruesos por la temperatura alcanzada superior a  $A_{c3}$ ; 5) estructura de grano grueso por el recalentamiento sufrido al momento de soldar; 6) límite entre la zona de fusión y la ZAT; 7) zona de fusión; el metal depositado presenta una estructura de ferrita más perlita; 8) microfotografía de un punto situado también entre la zona de fusión y la ZAT; al igual que el punto 6, pero esta vez el metal ha sido recocido a temperaturas superiores a  $A_{c3}$ , por lo que se ha eliminado el efecto del recalentamiento al minuto de soldar.

#### 8.20. MICROESTRUCTURA EFECTO DE LA DESGRAFITIZACIÓN EN LA UNIÓN POR "BRAZING" DE LA FUNDICIÓN GRIS:

Al soldar por brazing (soldadura fuerte) el hierro fundido, las láminas de grafito hacen difícil la acción humectante de la aleación fundida de soldeo. Con la finalidad de obtener uniones fuertes, es necesario remover las láminas de grafito de la superficie de unión de la pieza. Existen 3 formas de desgrafitizar:

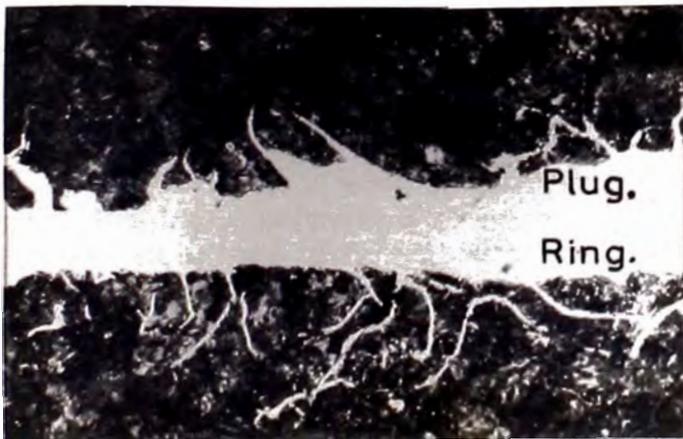
- 1) Tratamiento de la superficie con llama oxidante, seguido de llama reductora para remover el óxido de hierro formado.
- 2) Tratamiento químico, sumergiendo la superficie en una combinación de sales fundidas de Nitrato de potasio y de sodio a 350 ó 400°C. Luego tratado con fluoruro de hidrógeno al 10% para eliminar el óxido de hierro formado durante el proceso.
- 3) Tratamiento electrolítico de la superficie de unión en un baño de sal ( $\text{NaOH}$ -75%,  $\text{NaCl}$ -5%,  $\text{NaF}$ -5%,  $\text{NaCO}_3$ -14%, y  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) a 460 - 490°C. Las pruebas hechas demuestran que con el primer método se obtienen incremen-

tos de la resistencia al cizallamiento de hasta un 50%, con respecto a las piezas soldadas sin desgrafitización. Esto puede ser debido a que se forma una liga mecánica a través del efecto penetrante, como se muestra en la fig. 8.12, puede ser también debido a que se incrementa la difusión del metal líquido por las mayores temperaturas alcanzadas, y mayor tiempo de calentamiento.

Este método además tiene la ventaja de que es un proceso simple, práctico y económico. Sin embargo depende mucho de la habilidad del soldador.



(a)



(b)

Fig. 8.12 Microestructura de unión por "Brazing" de fundición gris, a) desgrafitizado por llama, b) desgrafitizado por ataque electroquímico a  $0.5 \text{ Amperios/cm}^2$

M I C R O E S T R U C T U R A D E A L E A C I O N E S U S A D A S  
R E C U B R I M I E N T O S

Con la finalidad de tener una mejor idea de la relación que existe entre los diferentes tipos de desgaste y la microestructura de la aleación utilizada como recubrimiento presento las siguientes microfotografías.

#### 8.21. CARBUROS DE TUNGSTENO EN MATRIZ DE NÍQUEL:

Como se dijo en el capítulo siete la aleación muy usada para combatir la abrasión es, las que están formadas por partículas de carburo de tungsteno con una matriz que puede ser de níquel, cobre o hierro.

Con la finalidad de incrementar la resistencia al desgaste se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La densidad de los carburos debe ser de acuerdo al tamaño de grano del material abrasivo.
- La distribución del tamaño de los carburos debe ser de acuerdo a la severidad del desgaste. Investigaciones al respecto han demostrado que, especialmente para abrasión, el desgaste se incrementa con el incremento del tamaño de grano de las fases duras.
- Las propiedades físicas de la matriz debe ser controlada de tal forma que específicamente los carburos que son más pesados, solo se sumergan en la matriz lo mínimo posible y que sean humedecidas completamente, como se puede ver en la fig. 8.18.

En el caso de un desgaste por abrasión pura con presión leve como por ejemplo el causado por arena fina o partículas pequeñas, lo más deseable es una alta densidad de carburos de un rango de tamaños particular.

- Para los casos donde haya mayor presión (ejemplo gusanos extrusores), es



Fig. 8.13. Microestructura típica de una aleación que contiene partículas de carburo de tungsteno en una matriz de níquel Gritalloy 10011 Eutectic + Castolin

necesario que a parte de tener un pequeño espaciado entre carburos, debe incrementarse la dureza de la matriz (Fig. 8.14).



Fig. 8.14 Depósito de carburos de tungsteno con menor espaciado entre los carburos y mayor dureza en la matriz Tungtec 10112 Eutectic + Castolin

- Si el ataque ocurre por partículas abrasivas muy finas a un ángulo particular ejemplo, en las aletas de un ventilador, el desgaste ocurrirá preferentemente en la matriz entre los carburos, produciéndose la pérdida prematura de los carburos, en este caso se disminuye la matriz así como su dureza, esto se hace con la finalidad de evitar el quebrado de las partículas por impacto depositando una matriz más elástica; al mismo tiempo que se incrementa el porcentaje de carburos finos en igual cantidad, incrementando de esta forma la probabilidad de que el impacto de las partículas finas sean en los carburos resistentes al desgaste.

#### 8.22. CARBUROS COMPLEJOS EN UNA MATRIZ RICA EN HIERRO:

La mayoría de aleaciones resistentes al desgaste, existentes en el mercado son fundiciones con altos porcentajes de cromo, los cuales además pueden contener carburos especiales del tipo MC. En estas aleaciones se puede lograr una mejor resistencia al desgaste, desarrollando ciertas estructuras favorables.

Ya que las fundiciones aleadas con cromo son aplicadas mayormente por arco eléctrico, el grado de dilución en el metal base es variable, pero en general mayor que el alcanzado con soldadura oxiacetilénica, por lo que se desarrollan estructuras variadas en el recubrimiento.

Para una misma composición de aleación, los carburos pueden mostrar varias formas, distribuciones y orientaciones, los cuales dependerán de la homogeneidad de la aleación, de las condiciones de solidificación y de los agentes nucleizantes como catalizadores heterogéneos.

Las aleaciones hipereutécticas Fe-Cr-C, contienen carburos primarios  $M_7C_3$ , que pueden ser reconocidos en una microsección como placas hexagonales o-



Fig. 8.15 Microestructura de una fundición con carburos de cromo (placas hexagonales y agujas) OA 4601 E + C

como agujas, de acuerdo a la orientación en cada caso. Estas formas aparentes representan secciones longitudinales y transversales de los carburos (Ver fig. 8.16)

Fig. 8.16 Microestructura de un depósito de dilución con carburos de cromo mas numerosos y de menor tamaño, con mayor resistencia a la abrasión e impacto moderado CHROMCARB 6006 E + C



Una forma de incrementar la resistencia a la abrasión de estas aleaciones es controlando la cristalización de los carburos primarios por medio de catalizadores heterogéneos más pequeños, de esta forma debido al mayor número de núcleos la formación de carburos primarios será más numerosa. Estas aleaciones tienen excelente resistencia a la abrasión, y en adición pueden resistir mayor presión e impacto moderado (Fig. 8.17)

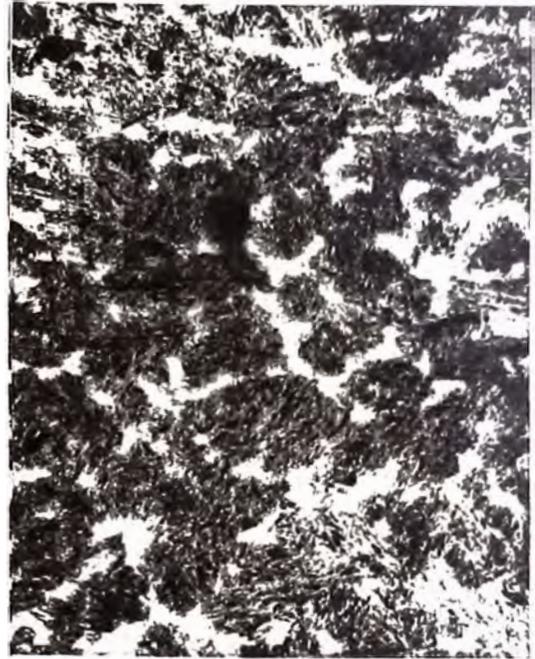


Fig. 8.17 Depósito de aleación de cobalto con carburos de tungsteno, por arco eléctrico EUTECTRODE 9010 E + C

### 8.23. CARBUROS COMPLEJOS EN MATRIZ DE COBALTO O NÍQUEL:

Estas aleaciones son similares a las aleaciones Fe, Cr, C, en los carburos de esta aleación rica en cobalto, el hierro y parte del cromo son reemplazados en las celdas unitarias por cobalto y tungsteno, lo cual incrementa su dureza en caliente, y simultáneamente la solución sólida rica en cobalto contribuye a incrementar la resistencia de la aleación a altas temperaturas, en la figura 8.18 se muestra una microfotografía de aleación de cobalto aplicados con arco eléctrico.

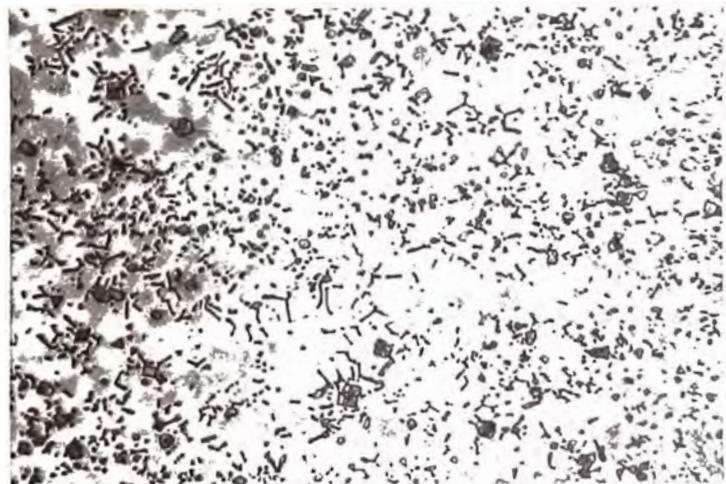
Fig. 8.18 Depósito de un acero tratable térmicamente EUTECTRODE N2 E+C



#### 8.24. ACEROS CON ESTRUCTURAS TEMPLADAS:

Las aleaciones homogéneas guardan relación entre la dureza y la resistencia al desgaste, la dureza varía con los elementos aleantes y presentan una microestructura martensítica o bainítica. Se usan para proteger piezas del desgaste abrasivo acompañado de presiones y/o moderado impacto. Fig. 8.18.

Fig. 8.19 Microestructura de un depósito hecho con acero al manganeso del 10 a 14% de Mn EUTECTRODE 40 EUTECTIC + CASTOLIN



### 8.25. ACEROS QUE ENDURECEN EN TRABAJO:

Los aceros endurecibles por trabajo en frío, especialmente los aceros al manganeso Hodfield, tienen alta resistencia al impacto, se asume que bajo los efectos del impacto estas aleaciones son transformados superficialmente a martensita, lo cual incrementa la resistencia a la abrasión. Los recubrimientos protectores de este tipo pueden contener carburos cúbicos para incrementar la resistencia a la abrasión, pero esto afecta la resistencia al impacto de las aleaciones, fig. 8.19.

### 8.26. ANÁLISIS QUÍMICOS:

Determinan los elementos químicos que están presentes en el metal de base o de aporte (cualitativo) y la proporción de cada uno de ellos (cuantitativo)

### 8.27. INSPECCIÓN CON MEDIOS PENETRANTES:

La inspección no-destruictiva con medios penetrantes se emplea para hacer visible discontinuidades que llegan a la superficie del elemento examinado. Se usa un líquido penetrante que aplicado sobre la superficie se introduce en las discontinuidades. Una vez eliminado de la superficie el exceso de penetrante se aplica un líquido revelador, la salida del líquido que ha penetrado en grietas o defectos similares, marca la ubicación exacta de éstas.

El sistema es particularmente útil en metales no-magnéticos y se emplea frecuentemente para inspeccionar aluminio, magnesio y acero inoxidable austeníticos. Es de bajo costo y de aplicación rápida y existen muy pocas posibilidades de mal-interpretación de resultados.

Existen dos tipos de penetrantes:

Penetrantes fluorescentes que se hacen visibles con luz "negra" (luz invisible muy cercana al ultravioleta, 3650 Å).

- Penetrantes coloreados.

La aplicación de ambos es semejante. La diferencia consiste solamente en la forma visual de observación de la falla.

### 8.28. INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA:

Se trata de un método de inspección no-destrutivo que muestra la presencia y naturaleza de defectos en el interior de una unión soldada.

El procedimiento se basa en las propiedades fundamentales de las ondas electromagnéticas ultra-cortas, generados por equipos de rayos X o provenientes de isótopos radioactivos.

Las cualidades básicas de esas ondas son:

- Atraviesan cualquier material y son parcialmente absorbidos por él.
- Ennegrecen la capa foto-sensible de películas.
- Excitan a ciertas sales a la fosforescencia.
- Dañan las células vivas.

En base a las tres primeras propiedades indicadas trabaja la inspección radiográfica. Ahora bien, la absorción de radiación depende de:

- Espesor del material
- Densidad del material (absorción creciente, madera, aluminio, hierro, cobre, plomo).
- De la longitud de onda, esto es, cuanto más corta la onda, tanto menor la absorción.

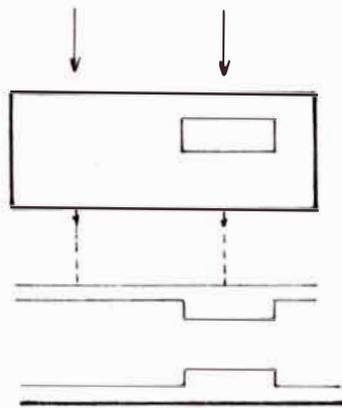


Fig. 8.20 Mayor absorción en zona de falla.

FALLA

PELICULA MAJOR

ENNEGRECIMIENTO

MAYOR LUMINOSIDAD  
PANTALLA FOSFORESCENTE.

<u>Longitud de onda</u>	<u>Radiación</u>	<u>Poder de penetración</u>
Corto	Dura	Grande
Largo	Blanda	Menor

Si en el interior de un cordón de soldadura existe alguna cavidad por ejemplo un poro, el haz de radiación tendrá que atravesar en esa zona un espesor de material menor, lo que a su vez significa menor absorción o sea, mayor intensidad de la radiación que atravieza el material. Esta ennegrece más intensamente la película fotográfica o excita más fuertemente a las sales fosforescentes.

En general, el sistema radiográfico produce películas con una sensibilidad de a lo menos un 2%. Esto es, el mínimo porcentaje de diferencia de espesor que puede detectarse con una radiografía.

Los factores más importantes que afectan el contraste son dos: tipo de radiación empleada y tipo de película. Si por ejemplo un cordón de soldadura con defectos pequeños y grandes es radiografiado 2 veces empleando

el mismo tipo de película y con un tiempo de exposición ajustado para conseguir igual densidad de fondo, primero con rayos X de bajo voltaje y luego con elevado voltaje, las imágenes individuales de los defectos en la primera radiografía serán más densas que en la segunda y habrá una mayor diferencia entre la densidad máxima y mínima de la primera película.

En resumen, se dice que la primera película tiene mayor contraste que la segunda. El contraste se mejora:

1.- Empleando la fuente de radiación más blanda posible. En rayos X, esto significa mínimo voltaje y para isótopos radioactivos mayor longitud de onda.

<u>Radiosótopo</u>	<u>Vida media</u>	<u>Empleo recomendado para</u>
Iridio 192	74 días	Acero 5-50 mm
Cesio 137	30 años	Acero 25-90 mm
Cobalto 60	5, 3 años	Acero 50-150 mm

2.- Usar película de alto contraste. Por lo general, cuanto mayor es el contraste, tanto más lenta es la película.

#### Defectos que muestra la radiografía:

Existe una variedad de fallas comunes en soldaduras que pueden mostrarse con facilidad por medio de una radiografía.

Escoria

La imagen en la película es generalmente de forma irregular

Porosidad	En la película suele reflejarse como pequeños puntos negros
Trizaduras	Aparecen como una línea oscura irregular a lo largo o transversal al cordón de soldadura.
Socavación	Se caracteriza como mancha más oscura que el cordón de soldadura y que el metal base.
Falta de fusión	Cuando existe falta de fusión en la raíz o en los flancos de bisel, aparece en la radiografía una línea oscura pero que a diferencia de una grieta suele ser menos irregular.
Falta de penetración	Imagen muy similar al caso anterior.

#### 8.29. INSPECCIÓN MAGNÉTICA:

Se trata aquí de un sistema de control no-destrutivo para detectar la presencia de trizaduras, inclusiones extrañas, porosidad, falta de fusión u otras discontinuidades en materiales magnéticos. El método revela discontinuidades finas en la superficie (Fig. 8.21a) que no pueden observarse a simple vista; acusa defectos que están inmediatamente debajo de la superficie y con equipos especiales puede también mostrar defectos que están a cierta profundidad. (Fig. 8.21b).

En las inmediaciones de una interrupción del circuito magnético se produce un campo difuso que puede hacerse visible a simple vista con elementos muy sencillos. Parte de las líneas de fuerza se concentran hacia el mate-

rial sano y otra parte va hacia afuera de la falla. Si se espolvorea so-

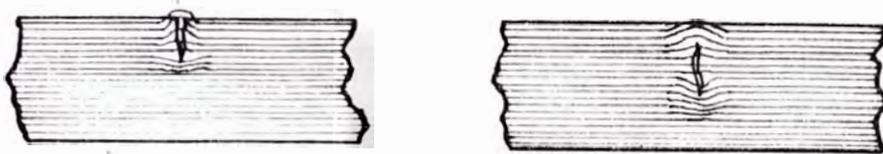


Fig. 8.21. Desviación de líneas de fuerza debido a fallas (a) defecto superficial, (b) defecto subsuperficial.

bre la pieza imantada polvo de hierro fino o si se vierte sobre ella un líquido con polvo de hierro en suspensión las partículas metálicas se encadenan sobre el sector de la falla, tratando de formar un puente encima de la interrupción. Se forma un cordón de polvo de hierro de varias décimas de milímetro de ancho que puede observarse a simple vista.

#### Limitaciones del sistema:

El método es aplicable solamente a metales base que sean ferromagnéticos y que hayan sido soldados con aportes de similares características. No puede emplearse para materiales no-ferrosos ni para inoxidable austeníticos. Ciertas dificultades pueden presentarse también cuando hay diferencias magnéticas marcadas entre metal de aporte y metal base. Uniones entre ese tipo de materiales crean discontinuidades magnéticas que pueden llevar a indicaciones erróneas. Porosidad debajo de la superficie e inclusiones de escoria producen concentraciones de líneas de fuerza de definición poco clara. A su vez, no se puede esperar de éste sistema gran precisión en la ubicación de grietas internas por cuanto la sensibilidad disminuye rápidamente por debajo de 1/16" a 1/8".

#### 8.30. INSPECCIÓN ULTRASÓNICO:

Aprovecha ondas acústicas de alta frecuencia para detectar, ubicar y medir discontinuidades en una soldadura. Su empleo exitoso depende de diferentes elementos: definición adecuada del problema, conocimiento de los principios del ensayo por ultrasonido, selección apropiada de la técnica a emplear, evaluación de la información y habilidad del operador.

El ultrasonido se obtiene por efecto pieza-eléctrico por el cual se excita una placa de cuarzo con corriente alterna provocando en la placa oscilaciones. Este efecto es reversible, vale decir, si la placa recibe oscilaciones, las transforma en corriente eléctrica, que llevadas a un tubo de Braun se hacen visibles. Las características fundamentales del ultrasonido y que se emplea en la inspección por este método es, que el tiempo de recorrido del ultrasonido es proporcional al espesor del material. En base a esta propiedad se pueden medir espesores y se pueden determinar la profundidad de una falla (Ver fig.8.22)

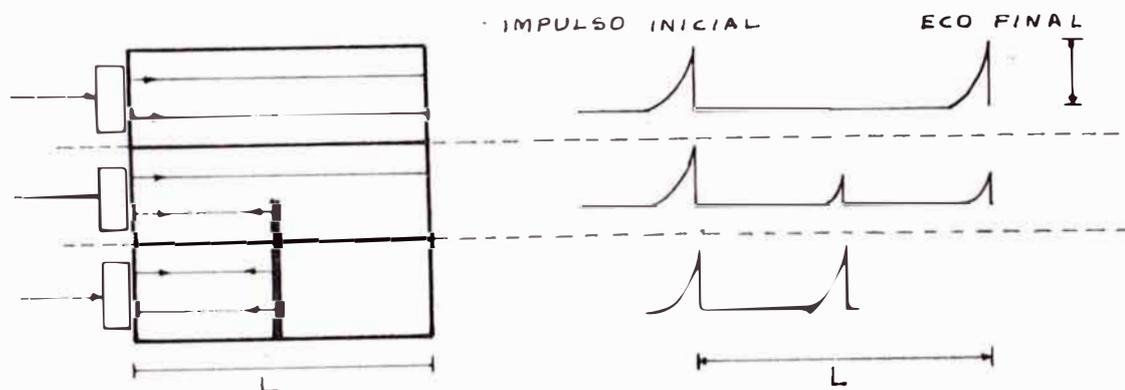


Fig. 8.22. Diferentes indicaciones en pantalla según posición del impulsor; a=energía emitida, b=distancia o tiempo recorrido.

Reflexión de la onda sonora, el monto de ondas sonoras que se reflejan dependen en gran parte de la naturaleza de los materiales que se combinan -

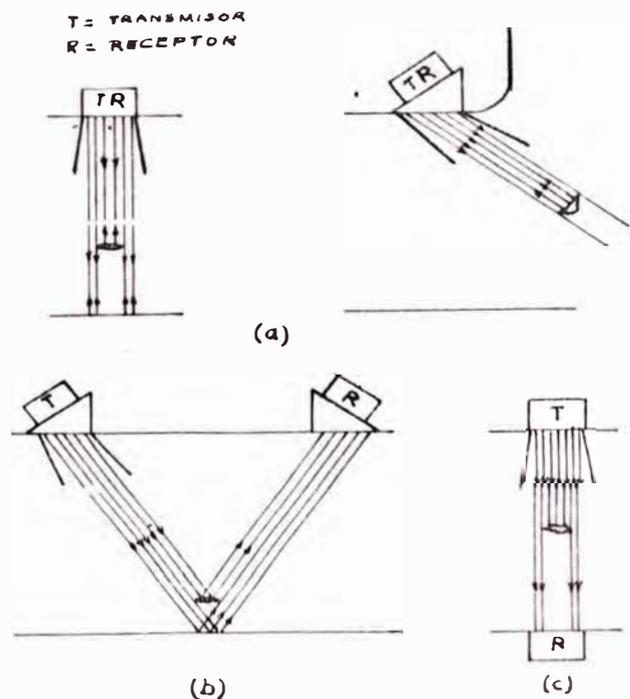
en el lugar de la reflexión. En el caso de sólido/aire (por ejemplo en una trizadura) la onda reflejada es del 100%.

En la unión metalúrgica de dos metales diferentes se produce por lo general una reflexión inferior al 10%. Si la unión es de un elemento metálico con otro no-metálico, la reflexión es de 30 - 50%.

Selección de la técnica apropiada, escoger la técnica de ensaye más apropiada significa combinar en forma eficiente los datos del problema con la capacidad propia del sistema de inspección por ultrasonido. Como regla fundamental cabe señalar que el sonido debe encontrar una falla en forma perpendicular al plano principal de ella, en esas circunstancias se obtiene máxima reflexión.

La elección entre un cabezal de emisión recto o de ángulo (Ver fig.8.23) dependerá de las consideraciones anteriores y de la ubicación que se supone tendrá el plano de defectos. Si las condiciones no pueden predecirse con mediana exactitud, deberán emplearse cabezales con diferentes ángulos.

Fig. 8.23 Prueba ultrasónica (esquemático) (a) Técnica de reflexión con cabezal simple, (b) Técnica de transformación con dos cabezales



## CAPITULO 9

### COSTO E SOLDADURA DE MANTENIMIENTO

Cuando una pieza falla ya sea por rotura o desgaste, la solución al problema generalmente tiene dos salidas; o se cambia la pieza fallada por una nueva y se evitan responsabilidades y complicaciones, o la pieza es recuperada. Generalmente la idea más tentadora es la primera por las comodidades que esta sugiere, pero no siempre es la solución económica y eso, es lo que se quiere demostrar en esta tesis, por lo tanto para hacer una evaluación económica de una recuperación o protección de una pieza es necesario hacer cálculos de los costos involucrados al hacer dicho trabajo.

En este capítulo se verá algunos procedimientos más usados para efectuar dichos cálculos, los cuales pueden ser realizados antes de soldar, en cuyo caso los resultados constituirán un costo estimado, o el análisis puede ser hecho una vez ejecutado el soldeo para fines de evaluación; cualquiera que sea el momento del análisis de costos, los objetivos pueden ser:

Proveer datos necesarios para el estudio económico de una recuperación o protección de una pieza.

Comparar los costos de soldeo con otros métodos de recuperación o protección de piezas

Evaluar cambios propuestos en procedimientos de recuperación o protección de piezas

Comparar las ventajas económicas entre procesos de soldeo competitivos

El costo de un trabajo de soldadura está constituido por la suma de los siguientes factores que intervienen en ella:

- a) Costo del material de aporte y protección
- b) Costo de la mano de obra
- c) Costos generales
- d) Costo de energía

Algunas operaciones como inspección radiográfica, pruebas ultrasónicas, y eliminación de tensiones son costeadas separadamente y no son incluidas en el costo de soldeo.

#### 9.1. COSTO DE MATERIAL DE APORTE Y PROTECCIÓN:

El costo del material de aporte se encuentra multiplicando el peso en libras del material de aporte (WA) por el costo en dólares por libra (CA).

$$\text{Costo material de aporte} = (WA) (CA)$$

El costo del fundente o recubrimiento (solo para el proceso por arco sumergido) es similarmente el peso del fundente (WF) requerido en libras -

multiplicado por el costo de una libra (CF).

$$\text{Costo fundente} = (WF) (CF)$$

El costo del gas de protección es el volumen de gas requerido (VG) en pies cúbicos por el costo de un pie cúbico de gas (CG)

$$\text{Costo de gas protector} = (VG) (CG)$$

Luego el costo de material de aporte y protección es:

$$CM = (WA) (CA) + (WF) (CF) + (VG) (CG)$$

Esta fórmula puede ser aplicado tanto para el proceso de soldadura oxia-cetilénica, como para procesos de soldar por arco eléctrico como (electrodos revestidos, electrodos continuos, arco sumergido, proceso TIG, MIG y MAG).

## 9.2. COSTO DE MANO DE OBRA:

El costo de mano de obra es igual al producto del salario del soldador - por hora (S), por el número de horas (T) que se demora para depositar el metal, dividido por un factor de operación (F.O.)

$$C.M.P. = \frac{(S) (T)}{(F. O. )}$$

El factor de operación es la fracción del tiempo total, durante el cual - el soldador realiza efectivamente el depósito, generalmente es menor que el tiempo total usado para un trabajo de soldadura, ya que el soldador además de depositar realiza trabajos de: corte y maquinado, limpieza antes

y después de soldar, precalentamiento, post-calentamiento y posteriormente, fijación o punteo, cambio de un electrodo por otro etc. por lo tanto:

$$F.O. = \frac{\text{Tiempo de deposición}}{\text{Tiempo total}}$$

Los valores de F.O., varían de 0.2 a 0.6 y debe ser determinado cuidadosamente ya que influye considerablemente en el costo final de soldadura.

### 9.3. COSTO GENERALES:

Los costos generales comprenden las cargas sociales, estos costos gravan la mano de obra productiva y vienen constituidos por la amortización, interés de capital, impuestos, seguros, administración, etc.). También suelen incluirse en ellos la mano de obra indirecta, que no es cargada directamente sobre la obra.

La mano de obra y costos generales pueden ser calculados como uno solo, la fórmula para la mano de obra y costos generales es:

$$C.M.O. \text{ Total} = \frac{(S.Total) (T)}{(.F.O.)}$$

En donde (S total) es el salario por hora, considerando la mano de obra más gastos generales.

### 9.4. COSTOS DE ENERGÍA:

El costo de energía es de menor importancia que los costos antes mencionados, por lo que en muchas oportunidades son ignorados para los efectos del cálculo de costos.

Se llama costo de energía a los costos ocasionados por el consumo de gases, como el oxígeno y acetileno (soldadura oxi-acetilénica), para generar la energía térmica durante la combustión, o al consumo de kilovatios hora (energía eléctrica), en soldadura por arco eléctrico.

En el caso de la soldadura oxiacetilénica se calcula el costo por el consumo en litros de acetileno y oxígeno por kilo o libra de soldadura; y en el caso de la soldadura eléctrica el cálculo se hace por el número de kilovatios consumidos y para ello, lo más sencillo es relacionar el consumo de energía eléctrica con el número de electrodos que hay que fundir como se verá más adelante.

#### 9.5. COSTOS EN SOLDADURA OXIACETILÉNICA:

Material de aporte.- Existen muchos libros y manuales que nos ofrecen tablas y gráficos, para el cálculo del material de aporte, éstos datos son muy útiles para el caso de soldadura de producción en donde, el diseño de la unión o bisel es de forma regular y constante en longitudes significativas, pero para el caso de una recuperación o protección de una pieza no son muy aplicables ya que la forma de los biseles o de las áreas a reconstruir, generalmente son irregulares, el método más práctico en estos casos es calcular el volumen (V) lo más aproximado posible del bisel o de la zona a reconstruir o proteger con soldadura. Luego el volumen encontrado en centímetros cúbicos se multiplica por el peso específico (W) en gramos por centímetro cúbico para obtener el peso (WW) del metal efectivamente depositado en la pieza de trabajo. El peso (WW) así obtenido se divide por el coeficiente de rendimiento del producto (ED), para obtener el consumo de varillas (WA) en soldadura oxiacetilénica: o sea:

$$WW = (V) (W) \quad WA = \frac{(W W)}{(E D)}$$

En donde (ED), es la eficiencia de depósito, un factor que compensa las pérdidas de material en gases de protección, chisporroteo, vaporización de metales como por ejemplo el zinc, formación de óxidos que pasan a formar parte de la escoria, formación de escoria resultante de la acción de limpieza durante el proceso de soldadura (Ver. tabla 9.1). La eficiencia de depósito para soldadura oxiacetilénica varía de 0.93 a 0.95.

METAL DE APORTE	PESO ESPECÍFICO gr/cm <sup>3</sup>	EFICIENCIA DE DEPÓSITO (ED)
COBRE PURO	8.9	0.95
BRONCES Y LATONES	8.4	0.95
ALUMINIO Y ALEACIONES	2.7	0.70
ALEACIONES DE ZINC	7.14	0.69
ALEACIONES DE NIQUEL	8.4	0.95
ALEACIONES DE MAGNESIO	1.8	0.69

Tabla 9.1. (W) eficiencia de depósito (ED) para algunas aleaciones usados en soldadura oxiacetilénica.

Las varillas de aporte para soldadura oxiacetilénica, a veces son usadas sin revestimiento (fundente incorporado), en estos casos, se usa fundente a parte, para limpiar y desoxidar el depósito. Para efectos de cálculos se considera un consumo de 0.09 kg por cada kg de material de aporte.

Costo de mano de obra.- Para calcular el costo de la mano de obra, se debe

calcular primero el tiempo necesario para realizar el trabajo, las libras por hora que quema el soldador, dependerá de la habilidad del régimen del trabajo, del proceso específico de acuerdo a la pieza.

En soldadura oxiacetilénica se considera para efecto de los cálculos un promedio de 1.5 libras por hora (trabajo corriente en acero común, de un soldador calificado).

Luego el tiempo de soldeo (T) será:

$$T = \frac{(WA) \text{ Kilos}}{0.68 \text{ kilos/hora}}$$

y el costo de mano de obra total será:

$$\text{C.M.O Total} = \frac{(S.Total) (T)}{(F. O.)}$$

en donde (S.Total) es el salario por hora, considerando la mano de obra más gastos generales. Para la soldadura oxiacetilénica se considera un factor de operación (F.O.) de 0.4.

Costo de energía.- Los costos de energía en soldadura oxi-acetilénica se refiere al costo que genera el consumo de oxígeno y acetileno para generar calor al momento de soldar, Para calcular el consumo de estos dos gases nos valdremos de fórmulas dadas en el libro LAS SOLDADURAS DE D.SEFERIAN. (pag. 50 y 51), en donde la potencia del soplete para soldar acero es proporcional al espesor de la pieza.

$$P = (100) (X) \text{ litros/hora}$$

Definiéndose por potencia del soplete como el consumo horario de acetile-

no expresado en litros. Para el caso del cobre la potencia del soplete es una función parabólica del espesor:

$$P = 30X^2 + 40X \text{ litros/hora}$$

Para el aluminio, la ley de la potencia es de la misma forma que para el cobre con valores distintos para la constante del término cuadrático:

$$P = 12X^2 + 40X \text{ litros/hora}$$

y el consumo de acetileno  $C_a$  será:

$$C_a = (P) (T) \text{ litros}$$

El consumo de oxígeno  $C_o$  se puede calcular, basándonos en lo que se afirmó en el capítulo 2 al hablar de los tipos de llama,

$$\text{En llama neutra } \frac{\text{Vol } O_2}{\text{Vol } C_2 H_2} = 1.04 - 1.14$$

Luego el consumo promedio de oxígeno para llama neutra será:

$$C_o = (1.09) (C_a) \text{ litros}$$

Una vez obtenido los consumos de oxígeno y acetileno, el costo de energía será igual a:

$$CE = (C_a) (S_a) + C_o (S_o)$$

en donde  $S_a$  = soles por litro de acetileno y  $S_o$  = soles por litro de oxígeno.

El costo que genera el trabajo de soldadura oxiacetilénica es la suma de todos los costos antes mencionados, osea:

$$\begin{array}{l} \text{Costo Total} \\ \text{Soldadura} \\ \text{Ox-Acetileno} \end{array} = C_{\text{material}} + C_{M.O.} + C_E$$

#### 9.6. COSTOS EN SOLDADURA ELÉCTRICA:

Así como en la soldadura oxiacetilénica, en la soldadura eléctrica, también existen manuales que ofrecen tablas y gráficos para el cálculo de material de aporte, del tiempo de soldeo y la velocidad de avance, para ciertos parámetros establecidos como son el tipo de electrodo, las dimensiones y la forma de los biseles, el espesor de la plancha, la posición de soldeo, el diámetro del electrodo, etc., en la soldadura de mantenimiento muchos de estos parámetros no se pueden fijar y otros son desconocidos, por lo que las tablas y gráficos no son prácticas para la determinación de los costos en soldadura de mantenimiento. En estos casos se pueden usar las mismas ecuaciones, pero los valores para el peso en electrodo (WE), el tiempo de soldeo (T), el peso del fundente (WF), y el volumen de gas de protección (VG), si son aplicables, deben ser calculados por mediciones hechas en pruebas de soldadura.

Costo en material de aporte y protección.- El peso del material de aporte (WW) puede ser calculado mediante pruebas directas, midiendo el consumo de electrodos en un trabajo similar al trabajo de soldadura mismo a realizar, o encontrando el volumen (V) en  $\text{cm}^3$ , este valor se multiplica por el peso específico (W) del metal de aporte para determinar (WW) en gramos (el peso específico de diferentes metales de aporte se puede ver en la tabla 9.1).

Cualquiera que sea el método empleado para calcular (WW), el consumo de electrodos (WE) se determina por la ecuación en donde (ED) es la eficiencia de depósito, un factor que compensa las pérdidas de material en gases de protección, escoria, y chisporroteo, estos factores para algunos tipos son:

$$WE = \frac{(WW)}{(E.D.)}$$

cia de depósito, un factor que compensa las pérdidas de material en gases de protección, escoria, y chisporroteo, estos factores para algunos tipos son:

- Electrodos manuales..... 0.65
- Electrodos continuos y revestimiento interno..... 0.82
- Soldadura TIG, MIG y MAG..... 0.92
- Arco Sumergido..... 1.00

El proceso por arco sumergido tiene una eficiencia de depósito de 1.00, debido a que el fundente es aplicado por separado y no existe chisporroteo. Sin embargo el consumo de fundente (WF) por arco sumergido puede aproximarse a razón de 1.5 Kg. por cada metro de electrodo fundido o aportado. Luego:

$$\begin{aligned} \text{Costo material de aporte} &= (WA) (CA) \\ \text{Costo fundente} &= (WF) (CF) \end{aligned}$$

En el caso de la soldadura con protección gaseosa del arco eléctrico (proceso TIG, MIG, MAG), debemos calcular además el costo del gas consumido para la protección, para esto el volumen del gas protector (VG) se obtiene en pruebas experimentales, fijando parámetros para las condiciones de trabajo de tal forma que se obtenga los mejores resultados, por ejemplo para soldar planchas de acero al carbono y acero de baja aleación con el proceso

MAG tiene los datos mostrados en la tabla 9.2

Gas Argón con 25% CO <sub>2</sub> Flujo 10-15 pies cúb/hor Diám.Elec.=0.030 pulg.						
Espesor Plancha (pulg)	0.035	0.047	0.063	0.078	0.100	0.125
Amperaje CC. P.I.	55	65	85	105	110	130
Alimentación de alambre pulg/mi	117	140	170	225	235	300
Voltage	16	17	17	18	18	19
Tiempo total (hr/pie depositado)	.0154	.0133	.0133	.0133	.0133	.0125

Tabla 9.2. Datos obtenidos al soldar un acero al carbono por unión a tope

Con los datos obtenidos para cada caso en particular, se obtendrá el flujo del gas auxiliar de protección (argón, helio, CO<sub>2</sub>), el cual en el ejemplo de la tabla 9.2 considerado es de 12.5 pies<sup>3</sup>/hora en promedio.

El tiempo de trabajo se calcula una vez obtenido el metal depositado (WF), con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{(WF)}{R}$$

en donde R es el número de libras o de kilos que deposita en promedio un soldador calificado, por hora como se dijo anteriormente al calcular el costo de mano de obra en soldadura oxiacetileno, esta velocidad de aporte

varía, pero para fines prácticos se considera 1.5 libras/hora (0.68 kilos/hora) en posición plana y de 1 libra/hora (0.46 kilos/hora) en posición vertical o sobre cabeza.

Luego el número de pies cúbicos a consumir en un proceso con protección gaseosa será:

$$V = \frac{Q}{T}$$

en donde Q es el flujo que en el caso de nuestro ejemplo es 12.5 pies cúbicos por hora.

Costo en mano de obra.- Para calcular el costo de la mano de obra se debe estimar primero el tiempo de trabajo el cual es igual a:

$$T = \frac{(WE)}{(R)}$$

donde T = tiempo en horas, (WE) = peso en electrodos, (R) = Kilos por hora que deposita el soldador (velocidad de aporte).

Para un trabajo de soldadura en un acero al carbono, un soldador calificado deposita 0.68 kilos por hora en posición plana.

Una vez que se tiene el tiempo (T) de trabajo, la mano de obra y gastos generales pueden ser calculados como uno solo considerando que ambos son combinados como un solo reglón, la fórmula para el costo de la mano de obra y gastos generales es:

$$\text{M.O.} = \frac{S(T)}{(F.O.)}$$

donde S = salario por hora, considerando mano de obra - mas los gastos generales, (F.O.) es un factor de operación, que compensa las pérdidas de tiempo por diferentes motivos que no sean el acto de depositar metal en si, sobre el metal base. En la soldadura con electrodo revestidos, el soldador suelda efectivamente durante un 30% o menos de su tiempo, mientras que el operario con proceso MIG, MAG, electrodos continuos con revestimiento, o con arco sumergido está produciendo soldaduras en más de un 60% de su tiempo.

Costos de energía.- El costo de energía eléctrica se puede calcular conociendo el número de KW-hora necesarios para fundir un electrodo (ef), para esto se calcula primero el número de electrodos del diámetro adecuado que serán necesarios (N), para recuperar o proteger la pieza con soldadura. En la tabla 9.3 se dan la energía necesaria (KW/h) y el mínimo de electrodos por kilo para cada diámetro de electrodo.

Diámetro (pulg)	3/32	1/8	5/32	3/16	1/4
Diámetro (mm)	2.5	3.25	4	5	6.3
Kilovatios/hora	0.035	0.079	0.120	0.188	0.300
Electrodos/kilo	63	30	20.	14	7

Tabla 9.3. Consumo de energía para fundir un electrodo de un diámetro dado

$$N = \frac{(WA)}{(\text{Número de electrodos por kilo})}$$

$$Ef = (ef) (N)$$

En donde  $E_f$ -energía necesaria en Kw/hora para fundir los electrodos del diámetro dado al momento de soldar.

Al número de Kw/h así calculado será necesario añadir la pérdida de energía ( $E_p$ ) en los cables de soldar, la cual depende del diámetro del cable la longitud y el amperaje usado.

$$E_p = (e_p) (L) (T_f)$$

En donde ( $e_p$ ) son los Kw/h pérdidas por metro de cable del diámetro dado y para el amperaje usado (ver fig. 9.1); ( $L$ ) es la longitud del cable y  $T_f$  es el tiempo de fusión del electrodo para el amperaje dado (ver fig. 9.2)

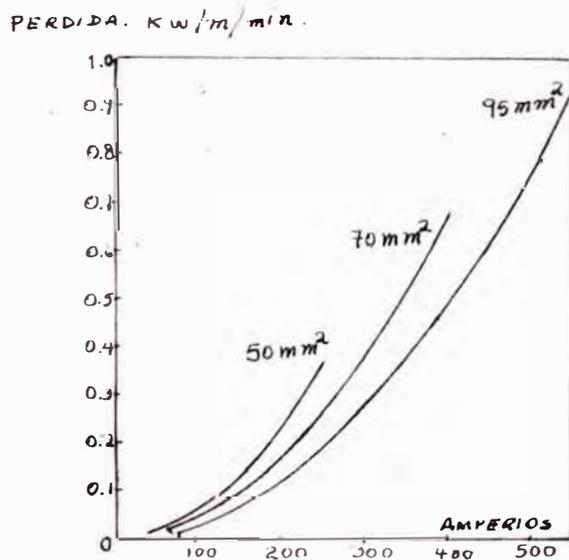


Fig. 9.1. Kw/h perdidos para el diámetro del cable dado, y el amperaje usado al soldar

La energía total será :

$$E_{\text{total}} = E_f + E_p$$

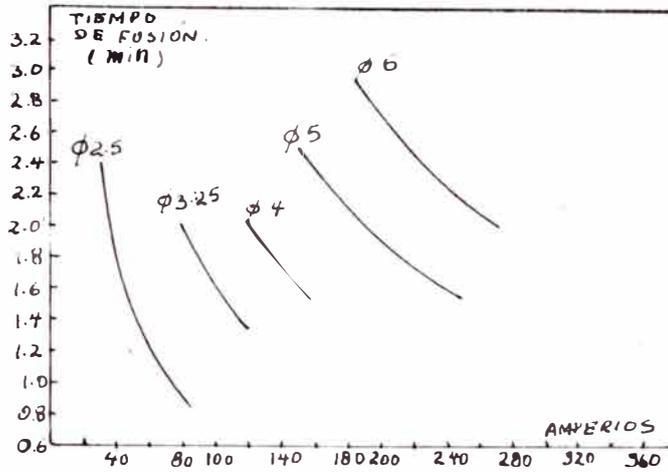


Fig .9.2 Tiempo de fusión en minutos Amp. para un - electrodo de diámetro dado y el amperaje usado.

Luego el costo de energía será igual al producto del E total por el costo de un Kw/hora.

$$\text{Costo energía} = (C \text{ Kw}) (E \text{ total})$$

$$C_{\text{Kw/h}} = \text{Costo de kw/hora}$$

## CAPITULO 10

### RECUPERACION DE PIEZAS REFINERIA DE ZINC LA OROYA

#### 10.1. INTRODUCCIÓN:

Para concluir finalmente ésta tesis en este capítulo, presento un resumen del estudio hecho para la recuperación de piezas críticas en la Refinería de Zinc de La Oroya; para lo cual, es necesario dar algunas definiciones.

#### 10.2. FACTOR DE PROLONGACIÓN DE VIDA(FPV):

Es el factor por el cual se incrementa la vida en servicio de la pieza original (tantas veces como este número indica), debido a la protección o recuperación con soldadura de mantenimiento.

Para encontrar el FPV se divide el tiempo de servicio original de la pieza entre el tiempo de servicio alcanzado para la misma pieza una vez recuperada o protegida con soldadura. Este cociente se acostumbra expresarlo como porcentaje por lo que se multiplica por 100. Por ejemplo: si en una industria utiliza corrientemente 24 piezas por año y actualmente estuvie-

ra utilizando 5. Dividiendo  $1/5$  entre  $1/24$  obtendremos 4.8; que en porcentaje representa 480%

### 10.3. NÚMERO DE VECES QUE SE PUEDE REPARAR UNA PIEZA:

Según el FPV, algunas piezas pueden ser reparadas indefinidamente, otras, por estar sujetas a esfuerzos en áreas críticas, pueden separarse sólo un número limitado de veces antes de fallar completamente y ser desechadas.

Este factor influirá en el inventario de repuestos que son necesarios mantener en stock.

### 10.4. PROLONGACIÓN DE LA VITA ÚTIL DE LA PIEZA:

Es el lapso de tiempo en servicio de una pieza que durará más que su respectiva vida en servicio original debido a la recuperación o protección - con soldadura de mantenimiento.

Para calcular esto, debe conocerse o estimarse la vida en servicio original de la pieza antes de la recomendación, luego multiplique este período de tiempo por el FPV y el número de veces que la pieza puede ser reparada.

Por ejemplo: La vida en servicio original es de seis meses, el FPV es 200%; y la pieza puede ser reparada 4 veces.

$$\begin{aligned} 6 \text{ meses} \times 2 &= 12 \text{ meses} \\ 12 \text{ meses} \times N^{\circ} \text{ reparación} &= 48 \text{ meses} \end{aligned}$$

Es decir 48 meses más que la vida original de la pieza, esto es para una recuperación, en el caso de una protección la prolongación de la vida útil será de 42 meses.

#### 10.5. COSTO DE MANTENIMIENTO DE INVENTARIO:

Deduciendo el número de piezas mantenidas en el inventario la empresa se libera de mantener fuertes suma de capital invertidas en él, utilizando dicho capital para actividades más productivas. El costo de mantener inventario en una planta por cada pieza tiene un valor en porcentaje promedio del costo inicial de la pieza; esto es:

Interés Bancario .....	62 %
Depreciación.....	10 %
Obsolescencia.....	3 %
Area ocupada.....	6 %
Mano de obra en compras y al-	
macenes.....	3 %
Seguros.....	1 %
	85 %

Estos porcentajes pueden variar de un usuario a otro de acuerdo a sus costos de mantenimiento de inventario.

En un caso general, en nuestro país las cifras mencionadas son promedio - bastante aproximados, pero teniendo en cuenta la inflación anual que este año parece que será superior al 100%, parecería más conveniente mantener el mayor número de piezas en inventario (por que su costo sube considerablemente); es por esto que en el estudio que viene a continuación no consideraré los costos de inventario para la evaluación económica de la recuperación o protección de las piezas con soldadura de mantenimiento.

#### 10.6. IDENTIFICACION DE PIEZAS CRÍTICAS:

El presente estudio se ha llevado a cabo en la Refinería de Zinc de La Oro

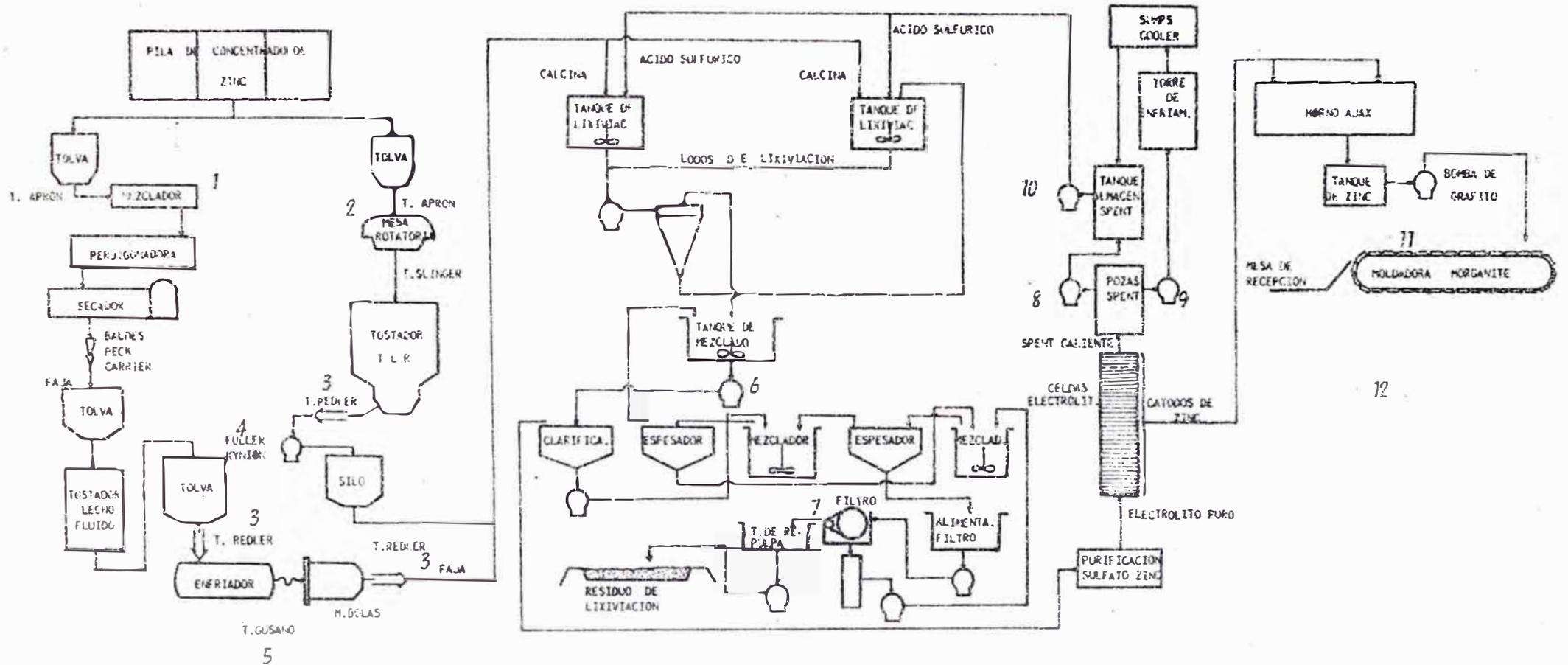
ya, en la cual se realizan las transformaciones correspondientes para obtener el Zinc metálico en forma de barras, o de jumbos, partiendo de su mineral formado por sulfuros de zinc.

El mineral en forma de concentrado de zinc que proviene de la mina, es almacenado en pilas, de donde se alimenta al proceso de tostación para obtener el óxido de zinc que posteriormente pasará en forma de calcina al sistema de lixiviación. El proceso de tostación se efectúa mediante dos tipos de hornos diferentes como son, en hornos de cama fluidizada que requieren de una alimentación especial en forma de perdigones, y en horno de cama turbulenta fluidizada, al cual se alimenta el concentrado de zinc en forma directa sin perdigonado. Del proceso de lixiviación se obtiene dos productos, el residuo de lixiviación llamado CAKE o TORTA que después de un filtrado pasa a la planta piloto para la obtención de otros metales; y la solución de sulfato de zinc principalmente llamado electrolito, pasa a las celdas electrolíticas para el proceso de electrodesposición del zinc en cátodos de aluminio, el metal de zinc depositado se extrae en forma de placas, las cuales pasan a un sistema de fusión en un horno eléctrico, luego el zinc ya en estado líquido se moldea en una máquina moldeadora MORGANITE, la cual entrega el zinc en barras listas para su embalaje. A veces, de acuerdo a pedidos especiales, el zinc se moldea en forma de JUMBOS que son piezas de mayor tamaño y peso.

Como se puede apreciar por la complejidad del proceso, están presentes diferentes tipos de desgaste como son abrasión, fricción, corrosión, temperatura, erosión, cavitación, los cuales generalmente actúan en forma combinada causando un gran desgaste en las piezas, elevando los costos de producción del zinc como producto final.

Seleccionando y aplicando materiales resistentes al desgaste, que son compatibles a las condiciones de operación, lograremos significativas reduc-

# REFINERIA DE ZINC LA OROYA



- |             |                         |                      |                  |           |
|-------------|-------------------------|----------------------|------------------|-----------|
| 1 Páletas   | 4 Gusano de bomba       | 6A Carcaza de bomba  | 8 Tapa de bomba  | 11 Moldes |
| 2 Rueda     | 5A Eje de acoplamiento  | 6B Disco o frame     | 9 Bocinas        | 12 Jumbo  |
| 3 Eslabones | 5B Gusano transportador | 7 Cabecial de filtro | 10 Tapa de bomba |           |

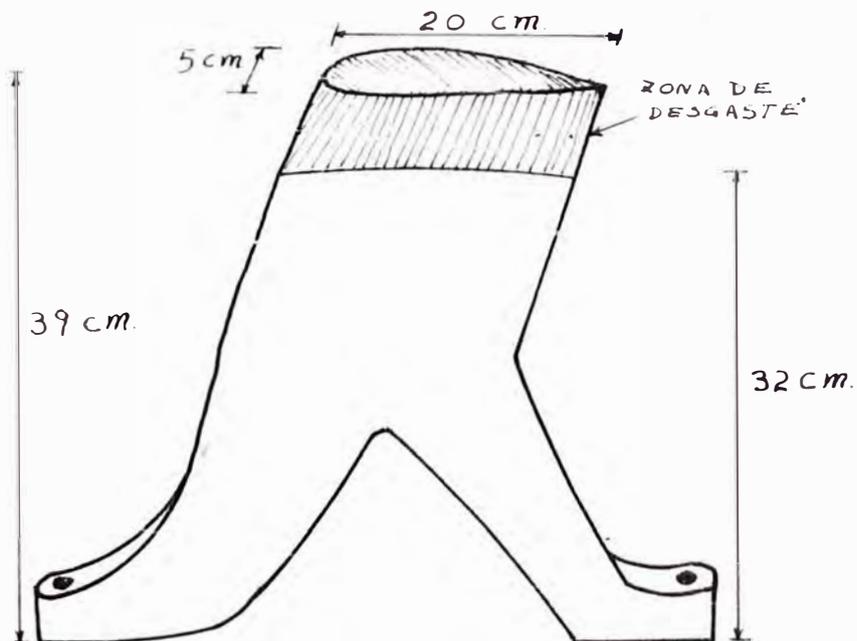
ciones de las incidencias de fallas.

Como consecuencia, el tiempo de operación, la vida de servicio total, la capacidad de producción, productividad, rentabilidad, son grandemente incrementadas, excediendo la capacidad máxima del equipo original.

Para los objetivos de esta tesis se han seleccionado seis piezas principales de las trece aplicaciones encontradas en el estudio, como se puede ver en el sinóptico de la planta de refinera de zinc. (Ver fig. 10.1).

#### 10.7. PALETAS DE MEZCLADOR:

Esta pieza está colocada en la zona de perdigonado y tostación, tiene un costo aproximado de 72 dólares, y son fabricados en MÉPSA, de acero fundido. Trabajan en dos máquinas mezcladoras en un número total de 112 paletas, las cuales tienen una duración de 0.5 meses.



FUNCIÓN DE LA PIEZA.- Cada mezclador tiene dos ejes en su interior, paralelos entre si, las paletas vienen montadas en estos ejes en forma intercalada (12 paletas por eje). A los mezcladores se alimenta concentrado de zinc, solución de sulfato de zinc y ácido sulfúrico. La función de las paletas es mezclar el concentrado con las soluciones al momento de girar los ejes.

PROBLEMA.- El rozamiento de la mezcla con las paletas origina un desgaste abrasivo acompañado de corrosión y temperatura (aprox.35°C) por la reacción exotérmica del agua con el ácido sulfúrico, el desgaste es mayor en las piezas del centro del mezclador que en la zona donde se alimenta el concentrado y las soluciones, las piezas son cambiadas cuando su altura llega a los 32 cm.

SOLUCIÓN ACTUAL.- Las piezas antes de entrar a trabajar reciben una protección con un recubrimiento duro antiabrasivo, alcanzando un costo de protección de US\$ 11 Dólares Americanos.

SOLUCIÓN RECOMENDADA.- Debido a las condiciones de trabajo de la pieza se recomienda un electrodo que deposite una aleación de acero inoxidable martensítico, el cual tenga resistencia no sólo a la abrasión, sino también a la corrosión en caliente (30°C). El producto seleccionado es EUTECTRODE 530; y el costo de recuperación sera US\$ 11 estimándose un factor de prolongación de vida de 200%.

EVALUACIÓN ECONÓMICA.-

Solución Actual:

Costo en piezas nuevas	72 x 112	=	US\$ 8,064 *
------------------------	----------	---	--------------

\* Costo de piezas nuevas= Costo de la pieza nueva X N° de piezas en servicio.

Costo de la protección:	$1 \times 112 \times 11 =$	US\$ 1,232 *
Costo Total Anual	$: 12 \div 0.5 \times 9296 =$	US\$ 223,104 **

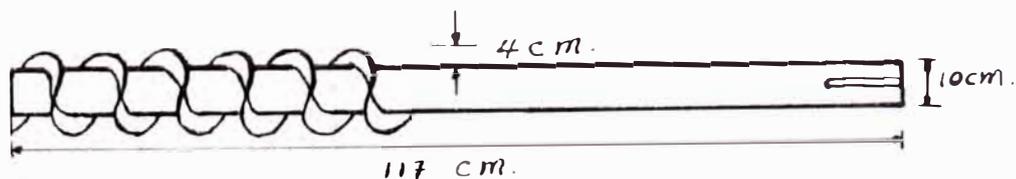
#### Solución Propuesta:

F.P.V. = 200% (Estimado)

Costo en piezas nuevas	: 72 X 112	=	US\$ 8,064
Costo de la protección	: 1 X 112 X 11	=	US\$ 1,232 *
Costo total anual	= 12 ÷ 1 X 9296	=	US\$ 111,552 **
Ahorro anual	= US\$ 223,104 - US\$ 111,552	=	US\$ 111,552

#### 10.8. GUSANO DE BOMBA FULLER KYNION:

Es una pieza localizada en la zona de perdigonado y tostación de la Refinería de Zinc de La Oroya, tiene un costo de US\$ 995, y son fabricados en un acero SAE 4140, existen dos bombas Fuller, cada una con su respectivo-



- \* Costo protección = N° de veces realizada X N° de piezas X Costo de recubrimiento.
- \*\* Costo total anual = 12 ÷ tiempo de servicio de la pieza X (Costo de piezas nuevas + Costo de la protección)

gusano, la duración promedio es de 6 meses.

**FUNCIÓN DE LA PIEZA.-** Transporta la calcina caliente e una tolva en el interior de la bomba, de donde la calcina es impulsada con aire comprimido.

**PROBLEMA.-** El continuo rozamiento de las tres primeras aletas con la calcina a altas temperaturas genera un desgaste por abrasión acompañado de calor; el desgaste es tanto en las aletas como en el extremo del mismo eje del gusano.

Solución Actual: Las piezas desgastadas son descartadas y cambiadas por piezas nuevas.

Solución Recomendada: Recuperar la zona desgastada del eje con una aleación que contiene carburos de tungsteno en una matriz de níquel, en forma de electrodo revestido, cambiar las tres aletas desgastadas por aletas nuevas de acero de bajo carbono, protegerlas con una aleación micro-pulverizadas y carburo de tungsteno en matriz de níquel.

Debido a las características de las aleaciones recomendadas, el factor de prolongación de la vida se estima en un 200%

**EVALUACIÓN ECONÓMICA.-**

**Solución Actual:**

Costo en piezas nuevas  $2 \times \text{US\$ } 995 = \text{US\$ } 1,990$

Costo de desarmado y armado:  $1 \times 2 \times 8 \times 3.9 \times 3 = \text{US\$ } 187.2 *$

\* Costo de desarmado y armado = N° de veces realizado X N° de piezas X N de horas por pieza X costo hora hombre X N° de hombres.

Costo total anual :  $12 \div 6 \times 2,177.2 =$  US\$ 4,354.4

Solución Propuesta:

Costo en piezas nuevas :  $2 \times \text{US\$ } 995 =$  US\$ 1,990

Costo de recuperación :  $5 \times 2 \times 236 =$  US\$ 2,360

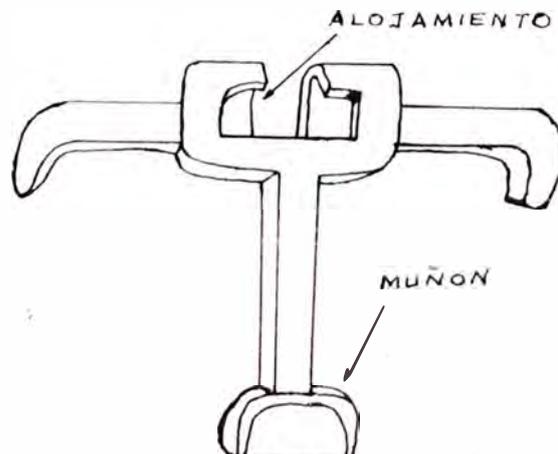
Costo desarmado y armado:  $6 \times 2 \times 8 \times 3.9 \times 3 =$  US\$ 1,123.2

Costo Total Anual :  $12 \div 66 \times \text{US\$ } 5,473.2 =$  US\$ 995.1

Ahorro Anual :  $\text{US\$ } 4,354.4 - \text{US\$ } 995.1 =$  US\$ 3,359.3

10.9. ESLABÓN TRANSPORTADOR REDLER:

En la zona de cernido y molienda de la Refinería de Zinc de La Oroya existen 9 máquinas Redler, en las cuales trabajan un total de 3,995 eslabones; fabricados en MEPSA en un acero de mediano carbono. Las piezas tienen una duración promedio de un año. El costo de la pieza nueva es de US\$ 95.



FUNCIÓN DE LA PIEZA.- El movimiento de la cadena de eslabones en el interior de cajones extensos, transporta la calcina ya sea en forma vertical u horizontal a los diferentes compartimientos de la planta.

PROBLEMA.- El rozamiento del muñón en el alojamiento ocasiona un desgaste por fricción acompañado de abrasión por la calcina que se introduce en los espacios, e impacto solamente en algunas oportunidades cuando hay entramamiento de la cadena de eslabones.

La rotura de la cadena produce paradas hasta de dos días en algunos casos. Lo reducido del alojamiento no permite ser recuperado con electrodos, y con varillas los depósitos no quedan uniformes.

SOLUCIÓN ACTUAL.- Cambio de la pieza desgastada por una nueva.

SOLUCIÓN PROPUESTA.- Recuperar las piezas desgastadas, para lo cual se corta la zona desgastada del alojamiento y se reemplazó con planchitas soldadas de acero de bajo carbono, las cuales son protegidas con una aleación micropulverizada a base de níquel con carburos de tungsteno, y luego soldadas al cuerpo del eslabón; la unión se hace con una aleación de alta resistencia tensil (110,000 PSI). El desgaste del muñón se rellena con el mismo electrodo mencionado y luego se protege con una aleación micropulverizada a base de níquel con carburos de boro.

El costo de esta recuperación es en total US\$ 11 aproximadamente y se estima que el factor de prolongación de vida será de 250%.

ANÁLISIS DE COSTOS.-

Solución Actual:

Costo piezas nuevas :  $3,995 \times \text{US\$ } 95 = \text{US\$ } 379,525$

Costo desarmado y armado:  $1 \times 3,995 \times 0.083 \times 3.9 \times 1 = \text{US\$ } 1,293$

Costo Anual :  $12 \div 12 \times \text{US\$ } 38,081.8 = \text{US\$ } 380,818$

Solución Propuesta:

Costo piezas nuevas :  $3,995 \times \text{US\$ } 95 = \text{US\$ } 379,525$

Costo de Recuperación :  $2 \times 3,995 \times 11 = \text{US\$ } 87,890$

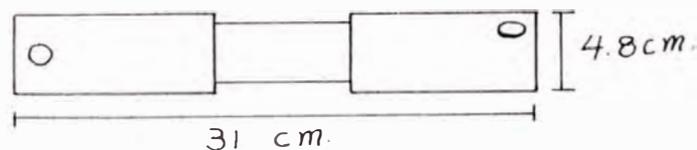
Costo desarmado y armado:  $3 \times 3,995 \times 0.083 \times 3.9 \times 1 = \text{US\$ } 3,879.5$

Costo Total Anual :  $12 \div 72 \times 471,294.5 = \text{US\$ } 78,549$

Ahorro Anual :  $380,818 - 78,549 = \text{US\$ } 302,269$

10.10. EJE ACOPLAMIENTO DE GUSANO TRANSPORTADOR:

Es otra pieza crítica en la refinera electrolítica de Zinc, ubicada en la zona de cernido y molienda, el costo de esta pieza es aproximadamente de US\$ 52 y son fabricados en el taller de maestranza de La Oroya, en un acero SAE 4140, la duración promedio en servicio es de 0.5 meses, los acoplamientos trabajan en 6 máquinas simultáneamente en un total de 41 piezas.



**FUNCIÓN DE LA PIEZA .-** Sirve de empalme entre dos gusanos transportadores contínuos. Trabaja suspendido por una chumacera a la cara superior interna del cajón por el cual el gusano transporta la calcina.

**PROBLEMA.-** Como se dijo anteriormente el eje trabaja suspendido de una chumacera, el rozamiento de ésta con el eje produce el desgaste por fricción; una vez que la pieza pierde sus dimensiones originales la calcina - ingresa en el espacio libre e incrementa el desgaste por abrasión.

**SOLUCIÓN ACTUAL.-** En algunos casos los ejes son recuperados con electrodos de la norma A WS 7018, obteniendo una vida útil de 15 días máximo, a un costo de reparación de US\$ 7.

**SOLUCIÓN RECOMENDADA.-** Recuperar los ejes con un electrodo que deposite una aleación inoxidable austenítico-ferrítico, para obtener un bajo coeficiente de fricción con una baja dureza, y evitar desgastes excesivo de la chumacera, que es más costosa y difícil de recuperar. La pieza recuperada entra a trabajar directamente sin necesidad de maquinado previo.

Otra ventaja del electrodo inoxidable austenítico es su baja entrada de calor, lo cual disminuye el cambio de las propiedades físicas y metalúrgicas del metal base.

El factor de prolongación de vida obtenido en esta recomendación fue de 300%.

**ANÁLISIS DE COSTO.-**

Solución Actual;

Costo piezas nuevas	41 X US\$ 52	= US\$ 2,132
---------------------	--------------	--------------

Costo reparación actual	: 4 X 41 X US\$ 7	=	US\$ 1,148
Costo desarmado y armado:	5 X 41 X 0.5 X 3.9 X 1	=	US\$ 399.8
Costo Total Anual	: 12 ÷ 2.5 X US\$ 3,679.8	=	US\$ 1,763.04 ?

Solución Recomendada:

Costo piezas nuevas	: 41 X US\$ 52	=	US\$ 2,132
Costo Reparación	: 4 X 41 X 12	=	US\$ 1,968
Costo desarmado y armado:	5 X 41 X 0.5 X 3.9 X 1	=	US\$ 399.8
Costo Total Anual	: 12 ÷ 6.5 X US\$ 4,499.8	=	US\$ 8,324.6
Ahorro Anual	: 17,663 - 8,324.6	=	US\$ 9,338.4

10.11. CARCAZA DE BOMBA GOULD 8" X 6":

La bomba de Compensador Goulds está ubicado en la zona de lixiviación, es de acero inoxidable 316, el costo de la pieza nueva es de US\$ 1,481, y su tiempo de vida útil de 6 meses, existen dos piezas trabajando continuamente.

FUNCIÓN DE LA PIEZA.- La bomba de compensador bomba, el lado de lixiviación desde el tanque de almacenamiento a los tanques clasificadores.

PROBLEMA.- El lodo es bombeado a una velocidad de 2007 litros por minuto y consiste de una mezcla de sólido más líquido, con 3.9% de sólidos, PH 4.9, y una temperatura de 60°C aproximadamente, todos estos factores ha -



cen que la pieza esté sometida a un alto grado de desgaste, bajando su rendimiento considerablemente por lo que tiene que ser cambiada.

SOLUCIÓN ACTUAL.- Las piezas desgastadas son recuperadas con un acero inoxidable austenítico de bajo carbono, a un costo de US\$ 11 aproximadamente, y un tiempo de servicio de 6 meses igual que una pieza nueva.

SOLUCIÓN PROPUESTA.- Rellenar el desgaste con una aleación a base de níquel de alta resistencia a la corrosión y mayor dureza que un acero inoxidable austenítico, llegando a alcanzar de 300 a 380 HB en trabajo.

El factor de prolongación de vida estimado con esta solución es de 200% y el costo de la recuperación de US\$ 76.

## ANÁLISIS ECONÓMICO.-

Solución Actual:

Costo pieza nueva	: 2 X 1,481	=	US\$ 2,962
Costo de reparación	: 5 X 2 X 11	=	US\$ 110
Costo armado y desarmado:	6 X 2 X 4 X 3.9 X 2	=	US\$ 374.4
Costo Total Anual	: 12 ÷ 36 X US\$ 3,446.4	=	US\$ 1,148.8

Solución Recomendada:

Costo Pieza Nueva	: 2 X 1,481	=	US\$ 2,962
Costo Reparación	: 5 X 2 US\$ 76	=	US\$ 760
Costo armado y desarmado:	6 X 2 X 4 X 3.9 X 2	=	US\$ 374.4
Costo Total Anual	: 12 ÷ 66 X US\$ 4,096.4	=	US\$ 737.4
Ahorro Anual	: US\$ 1,148.8 - US\$ 737	=	US\$ 411.8

10.12. DISCO DE BOMBA GOULDS 8" X 6":

Es otra pieza crítica de la bomba de compensador Goulds ubicado en la zona de lixiviación, su costo aproximado es de US\$ 925, esta pieza como toda la bomba es importada a un costo de US\$ 925, cada una de las dos bombas que están trabajando contienen un disco hecho también en acero inoxi-

dable 316. La vida media en servicio es de 6 meses.



FU CIÓN DE LA PIEZA.- Mantiene fijo el eje y cierra herméticamente la caja d la bomba, el impulsor gira en forma paralela a esta placa.

PROBLEMA.- Como esta bomba trabaja con una mezcla de solución ácida y sólidos en partículas finas, esta mezcla por el movimiento turbulento se mete entre el disco y el impulsor generando desgaste en determinadas zonas d l disco en forma de huecos llamados comunmente cangrejeras.

SOLUCIÓN ACTUAL.- Del mismo modo que la carcaza de bomba, esta pieza también es recuperada con una aleación de acero inoxidable austenítico de bajo carbono. El costo de la recuperación es aproximadamente US\$ 6 y la vida media d cada recuperación 6 meses. Las piezas pueden ser 5 veces recuperadas antes de ser descartada.

SOLUCIÓN PROPUESTA.- Así como a la carcaza de la bomba se recomienda recuperar la zona desgastada con un electrodo que deposita una aleación a ba-

se de níquel de elevada resistencia a la corrosión de ácidos a temperaturas normales o elevadas, y a la erosión presente por la dureza (300 a 380 HB) que puede alcanzar en servicio. El factor de prolongación de vida estimado es de 200% a un costo de US\$ 26 aproximadamente.

#### ANÁLISIS DE COSTO.-

##### Solución Actual :

Costo pieza nueva	: 2 X US\$ 125	=	US\$ 1,850
Costo de recuperación	: 5 X 2 X US\$ 6	=	US\$ 60
Costo armado y desarmado:	6 X 2 X 4 X 3.9 X 2	=	US\$ 374.4
Costo Total Anual	: 12 ÷ 36 X US\$ 2,284.4	=	US\$ 761.5

##### Solución Recomendada:

Costo pieza nueva	: 2 X US\$ 925	=	US\$ 1,850
Costo de recuperación	: 5 X 2 X US\$ 26	=	US\$ 260
Costo armado y desarm.:	6 X 2 X 4 X 3.9 X 2	=	US\$ 374
Costo Total Anual	: 12 ÷ 66 X US\$ 2,484.4	=	US\$ 452
Ahorro Anual	: US\$ 761.5 - US\$ 452	=	US\$ 309.5

## 10.13. CUADRO RESUMEN DE AHORROS ANUALES EN 6 APLICACIONES:

PIEZA	Solución Actual			Solución Propuesta			Ahorro US\$
	Costo Solu.	Vida Prom.	Costo Anual \$	Costo Solu.	Vida Promed	Costo Anual \$	
PALETAS	11	0.5	223104	11	1 mes	111552	111552
GUSANO BOMBA	995	6mes.	4354.4	236	66mes.	995.1	3359.3
ENLABÓN TRANSP. FEDLER	95	12 m	380818	11	72	78549	302269
ROE ACOPLAMIENT	7	2.5	17663	12	6.5	8324.6	9338.4
CAJETA BOMBA GOULDS	11	36	1148.8	76	66	737.4	411.4
DISCO BOMBA GOULDS	6	36	761.5	26	66	452	309.5
T O T A L			627849			200610.	427239.

## CONCLUSIONES

- 1) La tecnología de recuperación y protección de piezas ha alcanzado su mayor desarrollo en Lima debido a la centralización de las Industrias y talleres especializados.
- 2) Falta de tecnificación en la soldadura de mantenimiento debido a que:
  - a) No existe centros de especialización en soldadura en nuestro país.
  - b) Poca importancia que se le da a la soldadura, tanto en las Universidades como en los Centros Superiores de Especialización Técnica.
  - c) Los talleres de mantenimiento en donde se realizan las recuperaciones o protecciones de las piezas con soldadura; generalmente están a cargo de Ingenieros Mecánicos en el mejor de los casos, o de personas de mucha experiencia.
- 3) Por todo lo dicho anteriormente planteo:
  - a) La necesidad de crear en nuestro medio un instituto del cual egresen técnicos en soldadura, y especialistas en soldadura de mantenimiento.
  - b) Crear en la Especialidad de Metalurgia de las Universidades de nuestro país,  cursos de soldadura.
- 4) Necesidad de instalar en las compañías grandes como Centromin Perú, Sima Callao, Sider Perú, Casa Grande, Papelera Paramonga, etc., un departamento especializado y dedicado exclusivamente a la recuperación de piezas críticas que sufren desgaste, haciendo un estudio técnico-económico de cada aplicación y su respectivo seguimiento y evaluación. Esta inversión se justifica altamente por los grandes ahorros que se generan, esto se puede comprobar en el cuadro resumen de la página 361, en donde, con una inversión de 200,610.1 dólares al año, se genera 427,239.6 dólares de ahorro, teniendo en cuenta solamente 6 aplicaciones críticas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Como ahorrar millones, mediante Mantenimiento Preventivo por Soldadura. - P. Wassermann
- Banco de Aplicaciones del Instituto EUTECTIC + CASTOLIN
- Introductory Welding Metallurgy. - AWS
- Introducción a la Metalurgia Física. S.Avn r - Mc Gr w Hill.
- Metalurgia Física para Ingenieros. A.Guy. - Addison Wesley.
- Ingeniería Metalúrgica - Tomos I y II - Raymond A Higgins.
- The Procedure Handbook of Arc Welding The Lincoln Electric Company.
- Welding Handbook - American Welding Society
- Metals And How To Weld Them - T.B. Jefferson and Horham Woods.
- Guide To The Weldability of Steels, American Welding Society.
- Manual del Soldador Eléctrico - Gonzales.
- Soldadura Eléctrica - José M. Rivas Arias.
- Soldadura por Arco - L.Mendil.
- Curso de Metalurgia Aplicado a la Soldadura Soldador, Instituto EUTECTIC-  
EUTECTIC + CASTOLIN.
- Welding and Brazing of Carbon Steel American Society for Metals.
- Welding Metallurgy Carbon And Alloy Steels - Grogg E.Linnert.
- Isothermal Transformation Diagrams - United States Steel.
- Brazing Welding Technical Sales Guide - E + C Institute
- Welding Stainless Steel Alloys E + C Institute .
- Welding with Gas Tungsten Arc E + C Institute .
- Brazing And Soldering Techniques E + C Institute .
- Welding Cast Iron Alloys - E+C Institute .
- Welding Low and Medium Carbon Steels - E + C Institute
- Welding Copper, Brass And Bronze. E+C Institute.
- Arc and Acetylene Welding Processes E + C Institute.
- The Brazing Book - Handy And Harman
- Technical Releases - E + C Institute .

- Pelación Ilustrada de Aplicaciones E + C Instituto.
- Custom Powder Alloys For The Glass Mold Industry - E + C Institut
- **Cracks, Types, Causes Of** - E + C Insti u
- Preventive Maintenance - E+C Institute.
- Wear Occurring Due To Contact Of Non Metallic Materials-E+C Institute.
- Boletín Técnico Conarco - CONARCO
- Teoguide - EUTECTIC + CASTOLIN Instituto
- Welding Journal - AWS . October 1981 - October 1982.
- Standard Methods For Mechanical Testing Of Welds-American Welding So-  
ciety.
- Establishment Of A Standard Testo For Brazed Joints-American Welding  
Society.
- Ultrasonic Inspection Of Welds- Bernard Ostrofsky.
- Principles Of Metal Casting - Richard W.H in , Philip C. Rosenthal
- A New Technology To Prevent Hydrogen Induced Failures.  
EUTECTIC + CASTOLIN INSTITUTE.
- Hardfacing In The Oil And Gas Industry - E + C Institute.
- Cast Iron - ASM Committee On Gray Iron.
- **Metalurgia Mecánica** - George E. Dieter
- **Defectos y Fallas de los Metales** - E.P. Polushkin
- La Fatiga de los Metales - R. Caz ud.
- Soldadura y Corte de Metales - M.Janape ov.
- Soldadura Eléctrica - Paul Schimpke y Hans A. Horn.  
Manual de Soldadura - Oerlikon
- Manual de Proceso Micro Wire - Hobart Brothers A.G.  
Tecnología Fundamental para el Trabajo de los Metales - Wicczorek,Le-  
ben
- The Brittle Fracture Of Steel - W.D. Biggs.
- Fatigue Of Welded Steel Structures - W.H. Munse.
- Ciencia de los Materiales para Ingeniería -Carl A. Keyser.

- Metalurgia Tomos I y II - C. Ch ussin G. Hilly.
- Las Soldaduras - D. Sefeñian.
- Nueva Lección de Soldadura por Arco - Lincoln Electric Company.
- Trabajo del Acero Inoxidable - Mod esto Ortuño.
- Atlas Of Microstructures Of Industrial Alloys- American Society For Metals
- Metals Handbook - American Society For Metals. Tomo 1
- Cuarenta Maneras para Mejorar su Operación de Recubrimiento Duro-  
Havman R.L. - Welding Journal - AWS
- Selección y uso de Aleaciones para Recubrimiento Duro - Dawson R.J.,  
Chowbeck C. - Welding Journal - AWS.
- Atlas Corbes de Transformation de l'ontes Blanch es au Chrome et au Chrom-  
me - Joly-béne - Maratray F.
- Soldaduras Especiales Explosivos - Oerlikón