

2ej 85



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA

SOLDADURA SUBACUATICA

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
CON AREA PRINCIPAL EN:
INGENIERIA MECANICA
P R E S E N T A N :
LEONARDO GREGORIO ORTIZ ALATORRE
DAVID PEREZ RAMIREZ

MEXICO, D. F.

1988



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

SOLDADURA SUBACUATICA

	Página
INTRODUCCION	3
<u>CAPITULO I</u>	
INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA	
I.1 Definición	7
I.2 Consideraciones metalúrgicas en la soldadura	7
I.3 Inspección y prueba de soldadura	13
I.4 Defectos de la soldadura	15
I.5 Procesos para soldadura	21
<u>CAPITULO II</u>	
SOLDADURA SUBACUATICA	
II.1 Introducción	51
II.2 Aspectos generales de la soldadura subacuática	51
II.3 Técnicas de aplicación de la soldadura subacuática	60
<u>CAPITULO III</u>	
CORTE SUBACUATICO	
III.1 Introducción	97
III.2 Aspectos generales del corte subacuático	97
III.3 Técnicas de aplicación del corte subacuático	101

CAPITULO IVNORMAS DE SEGURIDAD EN LA SOLDADURA SUB-
ACUATICA

IV.1	Introducción	109
IV.2	Normas de seguridad en la soldadura subacuática	109
IV.3	Normas de seguridad en el corte subacuático	112
IV.4	Funcionamiento del equipo	117
IV.5	Sopletes, sujetadores de electrodos y tipos de electrodos	130

CAPITULO VNORMAS PARA LA INSPECCION Y PRUEBAS EN LA
SOLDADURA SUBACUATICA

V.1	Inspección de la soldadura subacuática	144
V.2	Pruebas y normas de la aceptabilidad de la soldadura subacuática	147

CAPITULO VIAPLICACIONES Y SOLUCIONES A ALGUNOS PROBLEMAS
PRACTICOS DE LA SOLDADURA SUBACUATICA

VI.1	Introducción	171
VI.2	Realización de prácticas	176

CONCLUSIONES

190

BIBLIOGRAFIA

194

INTRODUCCION

Con este trabajo se quiere dar un panorama general de la soldadura y corte subacuático tanto con sus métodos, como aplicaciones y soluciones a problemas prácticos.

La soldadura subacuática no es una actividad realmente nueva. Antes de la 1a. Guerra Mundial ya se soldaba bajo el agua aunque casi exclusivamente en la reparación temporal de cascos de buques y en conexión con operaciones o salvamento.

Los procedimientos de corte y soldadura subacuática son en principio muy similares al procedimiento convencional de corte y soldadura al aire; salvo que el ambiente impone limitaciones adicionales al operador. Se han perfeccionado equipos que permiten efectuar operaciones a cualquier profundidad conocida. -- Siendo que las restricciones sólo le permiten trabajar al buzo durante un corto tiempo en el fondo, particularmente a bajas -- profundidades, el uso de la técnica y equipo adecuado son de extrema importancia en términos de trabajo realizado.

Los métodos de soldadura posibles son muy variados: fusión, explosión, fricción, etc.; sin embargo, la soldadura por fusión es la más adaptable, y para el corte son: el oxi-hidrógeno, arcometálico, arco-oxígeno, explosión, mecánico, etc.; sin embargo, los más comunes y efectivos son los que dependen de las - -

reacciones químicas de la oxidación de los metales, y en general quedan restringidos a los aceros de aleaciones bajas y bajo contenido de carbono, es decir, metales que se oxidan rápidamente.

Los procesos húmedos se caracterizan porque el soldador está en el agua, mientras que la región a soldar puede estar en contacto con el agua o rodeada por una pequeña cámara llena de gas, que puede ser aire o gas inerte a una presión similar a la del agua que le rodea. Con este tipo de procedimientos puede soldarse a profundidades de 30 a 50 metros con resultados aceptables.

En los procedimientos secos, tanto el soldador como la región a soldar se encuentran en una cámara llena de gas a una presión ligeramente superior a la del agua que la rodea (cámara hiperbárica) lo que permite minimizar los problemas de estanqueidad; el gas suele ser una mezcla helio-oxígeno, con objeto de reducir la energía empleada en la respiración, así como el asma y la embolia gaseosa o enfermedad de los buzos. Tiene aplicación para mayores profundidades, digamos por encima de los 70 m.

En los procesos de soldadura y corte subacuático siempre se deben de tomar en cuenta la seguridad del operario, ya que su vida está en constante peligro, y es por esto que se le da mu-

cha importancia a las normas de seguridad tanto para el uso como para el manejo de los equipos.

Las soldaduras como procedimientos de fabricación y construcción están sujetas a inspección visual y a pruebas no destructivas. La inspección visual siempre se realizará en toda la longitud de las uniones soldadas, excepto en aquellas en las cuales no se pueda llegar a cabo por su difícil acceso, entonces se usarán las pruebas no destructivas como son las: radiográficas, de ultrasonido y de partícula magnética.

Son de importancia las pruebas no destructivas ya que ayudan a dar un factor de aceptabilidad de las soldaduras efectuadas, y así de esta manera decidir si es necesario repetir las soldaduras.

CAPITULO I

INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA DE LA SOLDADURA

I.1 Definición

I.2 Consideraciones metalúrgicas en la soldadura

I.3 Inspección y prueba de soldadura

I.4 Defectos de la soldadura

I.5 Procesos para soldadura

I.1 DEFINICION

La soldadura es el proceso para la unión permanente de dos o más piezas o ambas e incluye reacciones físicas y químicas. En la soldadura se suelen fundir y fusionar entre sí bordes o superficies comunes (soldadura por fusión); pero se utilizan diversas técnicas para unir materiales aplicando calor, presión o ambas, sin que se fundan las piezas (soldadura sin fusión o de estado sólido). La soldadura, cuando se aplica en la forma especificada, con procesos de fusión o sin fusión, produce una unión igual o más fuerte que la parte más débil de la unión.

I.2 CONSIDERACIONES METALURGICAS EN LA SOLDADURA

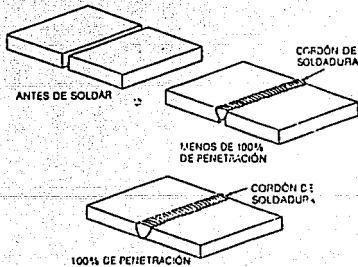
Reacciones Físicas.

En muchos procesos de soldadura se requiere calentar el material que se va a soldar, hasta que se funda la unión. Estos procesos se llaman soldadura por fusión, porque los materiales, cuando se derriten, se fusionan o mezclan entre sí. Cuando se enfría la unión, el material que se derritió se solidifica y suelda las piezas entre sí. Los cambios físicos de fusión y solidificación del material son necesarios en la sol

dadura; no obstante, van acompañados de otras reacciones físicas, que se deben controlar durante la soldadura, como son la dilatación y contracción.

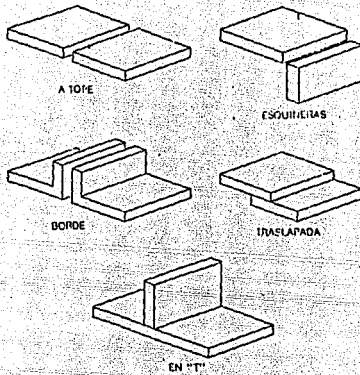
Tipos de uniones.

Se utilizan muchos tipos de uniones con soldadura para reducir la combadura y asegurar un 100% de penetración en el metal base (Fig. 1). Se utilizan cinco tipos básicos de uniones: a tope, de esquina, de borde, traslapadas y en "T" (Fig. 2). Estas uniones, por ejemplo, las soldaduras traslapadas y de esquina, se combinan para formar una unión traslapada y esquinada (Fig. 3).

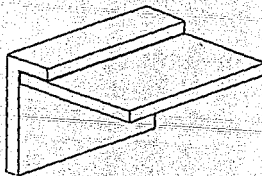


PENETRACION COMPLETA (100%)

FIGURA. 1

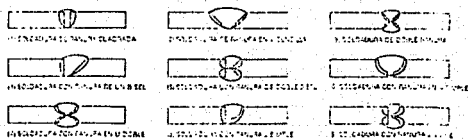


LAS CINCO UNIONES BASICAS UTILIZADAS EN LA SOLOADURA
FIGURA. 2



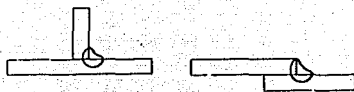
UNION TRASLAPADA Y ESQUINADA
FIGURA. 3

Además las cinco uniones básicas pueden prepararse y soldarse para obtener diversos tipos; las soldaduras más comunes se ilustran en las figuras 4, 5 y 6. Las soldaduras con ranuras están destinadas a permitir 100% de penetración en el metal base cuando se sueldan piezas gruesas a tope.

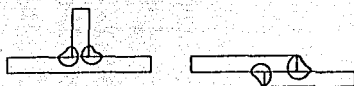


SOLDADURAS DE RANURA

FIGURA. 4



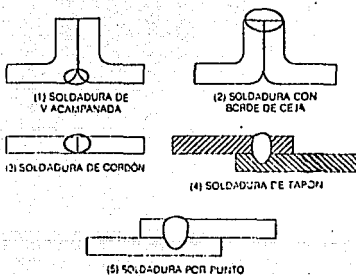
(1) SOLDADURA CON FILETE SENCILLO



(2) SOLDADURA CON FILETE DOBLE

SOLDADURA CON FILETE

FIGURA. 5

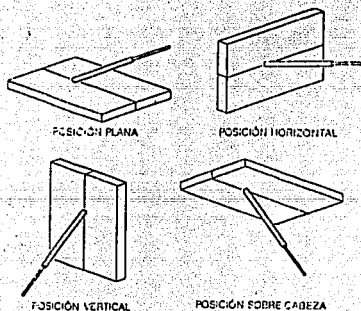


TIPOS ESPECIALES DE SOLDADURA

FIGURA. 6

Las cuatro posiciones básicas para soldadura.

Las soldaduras pueden efectuarse en cuatro posiciones básicas: 1) posición plana; 2) posición vertical; 3) posición horizontal y 4) posición sobre cabeza (Fig. 7). Siempre que sea posible, las soldaduras deben ser planas, porque el operario tiene mejor control del cráter de metal derretido; además la fuerza de la gravedad aumenta la penetración y ayuda a mantener el charco derretido en la unión. En las posiciones vertical, horizontal y sobre cabeza, la gravedad desplaza el charco de metal derretido fuera de la unión, lo cual dificulta que el operario pueda llenar la unión en la forma correcta.



LAS CUATRO POSICIONES BÁSICAS PARA SOLDAR
FIGURA. 7

I.3 INSPECCION Y PRUEBA DE SOLDADURAS

Casi siempre es difícil determinar la calidad de una soldadura con solo la observación. En la mayoría de los casos, la calidad de la soldadura es crítica, se reflejará en el trabajo terminado y en muchos casos puede ser cuestión de vida o muerte. Las grietas e irregularidades en la superficie de -- una soldadura pueden detectarse en forma visual con la ayuda de productos químicos penetrantes o de un campo magnético, pero las inspecciones visuales no indican las condiciones de la soldadura debajo de la superficie. Los defectos ocultos o bajo la superficie se detectan con pruebas destructivas o no -- destructivas, con un equipo complejo. Estas pruebas se exigen cuando las soldaduras deben cumplir los requisitos de los códigos para estructuras y ciertos aparatos. Esta es la razón por la cual los soldadores deben tener un certificado de aptitud.

Pruebas Destructivas.

En los métodos de prueba destructiva, la pieza soldada se somete a un esfuerzo especificado que la dobla, estira, rompe o destruye. Las pruebas destructivas, por su naturaleza, se utilizan como muestreo, es decir, no se prueban así todas las

soldaduras, sino sólo una de cada diez o de cada cien, o bien, se selecciona una soldadura a intervalos periódicos para probarla. Si la pieza que se va a probar es grande o costosa, sólo se prueba una sección pequeña de la soldadura o un modelo hecho en las mismas condiciones y con el mismo material; también se suele examinar la soldadura con rayos "X" y gamma.

En muchos casos, se utilizan las pruebas destructivas en muestras (probetas) para determinar si el proceso, procedimientos, materiales o el operario son satisfactorios para determinada aplicación. Las pruebas destructivas incluyen: pruebas de fractura, pruebas de tracción, pruebas de flexión y pruebas metalográficas.

Pruebas no Destructivas.

Las pruebas no destructivas se usan mucho para determinar la calidad de una soldadura terminada, porque es la misma que se pondrá en servicios. También se llaman inspecciones, porque la soldadura no se corta, flexiona, rompe ni destruye. Con las pruebas no destructivas pueden determinarse grietas, porosidad, inclusiones, falta de fusión o cualquier tipo general de discontinuidad; pero no pueden establecer la resistencia real de una unión soldada.

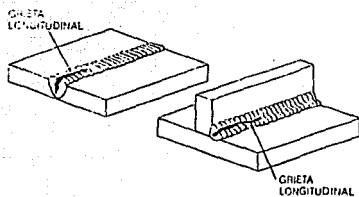
Existen un buen número de pruebas no destructivas para soldaduras. Las más comunes son la inspección visual, inspección con partículas magnéticas, inspección con líquido penetrante, inspección ultrasónica y exámenes radiográficos.

1.4 DEFECTOS DE LA SOLDADURA

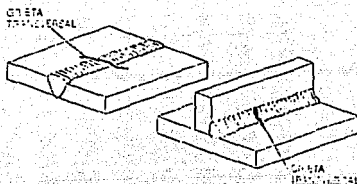
Una pieza fabricada con dos o más secciones unidas por soldadura es tan fuerte como si fuera de una sola pieza del mismo material. Sin embargo, en las uniones mal soldadas aparecen defectos que influyen en la resistencia y calidad de la unión, la cual es más débil de lo que debería ser. A continuación se mencionan los defectos más frecuentes en las uniones soldadas.

Grietas.

La grieta es una rotura que ocurre en o cerca del metal del electrodo por los esfuerzos que se crean en la pieza soldada. Son longitudinales o transversales y pueden variar mucho en cuanto a profundidad y longitud. (Figs. 8 y 9).



GRIETAS LONGITUDINALES EN LAS SOLDADURAS
FIGURA. 8



GRIETAS TRANSVERSALES EN LA SOLDADURA
FIGURA. 9

Porosidad.

La porosidad se debe a la presencia de un gran número de huecos o bolsas de gas pequeños en la soldadura, que la reducen su resistencia. (Fig. 10).



POROSIDAD EN LA SOLDADURA
FIGURA. 10

Defecto por Falta de Calor.

El cierre frío o sobremonta es una parte en donde no se ha derretido la soldadura y hay falta de fusión.

Las inclusiones.

Las inclusiones son otro defecto que producen severo debilitamiento de la soldadura; ocurren cuando un material sólido, desigual al que se suelda, se incluye por accidente en el metal del electrodo. (Fig. 11).



INCLUSIONES DE ESCORIA

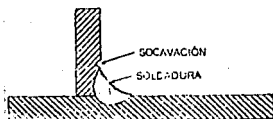
FIGURA. 11

Falta de Fusión.

La resistencia total de la unión soldada no se logra sino hasta que existe 100% de fusión en la unión. La penetración deficiente o reducida produce una falta de fusión.

Socavación.

Una soldadura está socavada cuando una parte de la unión no está llena por completo con el cordón del electrodo para soldadura. Como la socavación reduce el área transversal de la pieza del trabajo, la resistencia de una unión socavada es mucho menor que la de una soldadura correcta. (Fig. 12).



SOLDADURA SOCAVADA

FIGURA. 12

En la Tabla 1 se listan los defectos comunes en la soldadura, sus causas y correcciones. Algunos de estos defectos pueden ser difíciles de detectar. Por ello, la inspección y pruebas de las soldaduras se han vuelto importantes en este campo.

Tabla 1

Causas y correcciones de defectos comunes en la soldadura

<u>Defecto</u>	<u>Causa Probable</u>	<u>Corrección</u>
Grietas	Acción incorrecta para soldar	Usese la acción -- correcta.
	Metal de aporte in---- correcto	Utilícese el metal de aporte recomendado para el material que se suelda.
	Malá preparación de la unión	Usese espaciamiento correcto en la unión. Bisélese en la forma adecuada.
	Sobrecalentamiento	Redúzcase el calor de soldadura.
	Junta esforzada	Usese pasadas múltiples. Precaliéntese y postcaliéntese el área de -- soldadura.
Porosidad	Malá preparación de la unión	Límpiese minuciosamente el área para soldar.
	Metal de aporte sucio. Protección insuficiente	Límpiese el electrodó. Usese el - electrodo correcto para la posición y el metal o aumente se la circulación de gas protector.
Falta de Fusión	Bajo calor para soldar	Auméntese amperaje o voltaje de soldadura.
	Malá preparación de la unión	Bisélese en forma adecuada.
	Ancho muy largo o llama muy lejos de la --- unión	Acótese el arco o acérquese la flama a la unión.

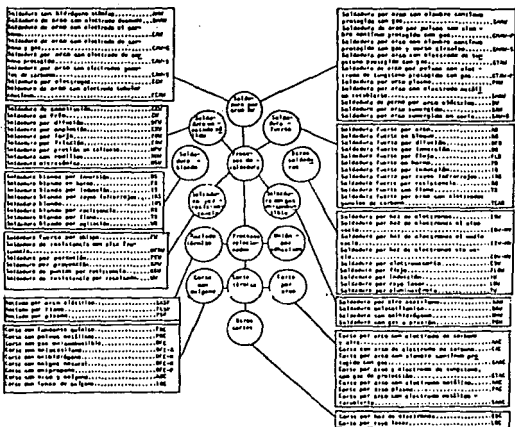
<u>Defecto</u>	<u>Causa Probable</u>	<u>Corrección</u>
Falta de calor	Reinicio incorrecto de la soldadura	Derrítase por completo la soldadura aplicada antes de empezar con la nueva.
	Arco demasiado largo	Acórtese el arco.
	Adición incorrecta del metal de aporte	Agrégese el metal de aporte sólo en un arco derretido.
Inclusiones	Eliminación incorrecta de la escoria en el área de soldadura	Eliminar toda la escoria y cuerpos extraños antes de soldar.
	Mala preparación de la unión	Límpiese y biséle el área.
Socavaciones	Procedimiento incorrecto para soldar	Manténgase el electrodo o el soplo al ángulo correcto.
	Calor excesivo para soldar	Redúzcase el amperaje o el voltaje o úsese boquilla más chica.
	Velocidad incorrecta para soldar	Úsese la velocidad recomendada.

1.5 PROCESOS PARA SOLDADURA

Soldadura de Estado Sólido

En la soldadura de estado sólido (soldadura por presión) la unión se logra con la aplicación de calor, presión o ambos, pero no se derrite la pieza de trabajo. Se ha creado un buen número de procesos para unir diversos materiales de dife

rentes especificaciones (como se ilustra en las Figs. 13, 14, 15 y 16), la soldadura por forjada, la soldadura por fricción, la soldadura en frío, la soldadura por difusión, la soldadura ultrasónica y la soldadura explosiva son los tipos básicos de soldadura de estado sólido.



CARTA MAESTRA DE SOLDADURA Y PROCESOS RELACIONADOS

FIGURA. 13



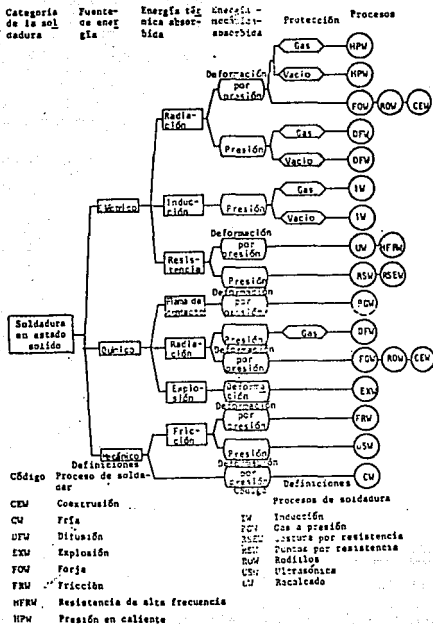


DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE LA SOLDADURA AL ESTADO SOLIDO

FIGURA. 14

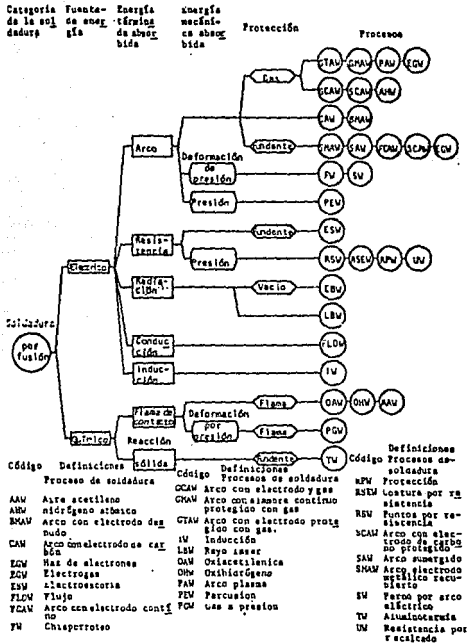


DIAGRAMA DE CALIFICACION DE LA SOLDADURA POR FUSION

FIGURA. 15

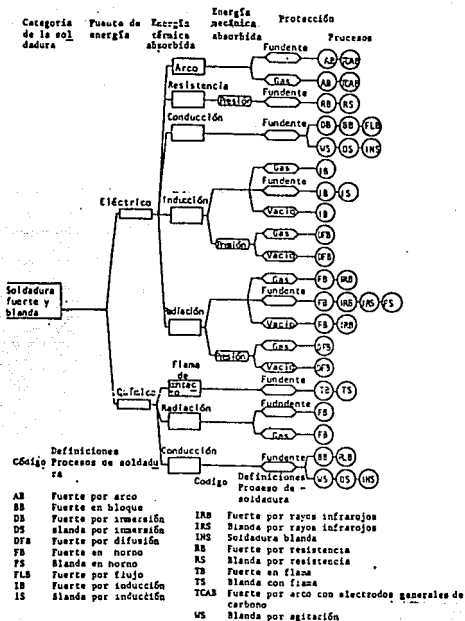


DIAGRAMA DE CLASIFICACION DE SOLDADURA BLANDA Y FUERTE

FIGURA. 16

Soldadura por Forjado

La soldadura por forjado es la más antigua. En ella, las piezas de trabajo se calientan en una fragua. Las piezas que se van a unir se calientan con uniformidad en la juntura de la unión hasta que su temperatura permite cambiarles la forma con facilidad. En este momento, se sacan las piezas de la fragua y se traslapan o superponen para soldarlas, luego, se aplica presión hasta lograr una unión de las piezas.

La presión para soldadura por forja puede aplicarse -- martillando contra un yunque (soldadura a martillo), comprimiendo entre dados (soldadura a matriz) o laminando con rodillos (soldadura por laminación).

Soldadura por Fricción

La soldadura por fricción, llamada también soldadura por inercia consiste en hacer girar, con alta velocidad, una de las dos piezas que se van a soldar, mientras la otra está estacionaria. Las fuerzas friccionales hacen que se calienten las superficies en contacto. Cuando se llega a la temperatura correcta para soldar, se detiene la pieza rotatoria y se presionan las dos piezas a una presión alta. Por lo general, las piezas se calientan a una temperatura para soldar, que es muy

inferior a la de fusión, en unos segundos; con ello, las uniones se hacen con gran rapidez.

La soldadura por fricción se ha utilizado con muchos materiales. Aunque casi siempre se piensa en ella para unir -- diversos tipos de acero, puede usarse para unir metales no -- ferrosos o disímiles, como cobre con aluminio, latón con acero, titanio con aluminio, acero inoxidable con circonio y -- otros. También se utiliza mucho en la mayoría de los termo-- plásticos.

Soldadura en Frío

La unión de dos metales solos con aplicación de presión se denomina soldadura en frío, que también se llama soldadura por presión en frío, y también los metales se traslapan o ponen a tope.

La limpieza mecánica es mejor que la química para soldar piezas en frío, porque la mayoría de los productos químicos -- dejan algún residuo en la superficie.

Esta soldadura tiene su mayor aplicación para unir alambres y para fijar alambres en láminas metálicas delgadas. -- Además, pueden unirse recipientes sensibles al calor y enva--

ses de aluminio para alimentos y bebidas. Las piezas que se dañan con facilidad con el calor, como el semiconductor utilizado en la fabricación de transistores y diodos, pueden soldarse en frío sin el peligro de calor, llamas o chispas de soldadura de otro tipo.

Soldadura por Difusión

La soldadura por difusión o ligado por difusión se basa en el fenómeno metalúrgico de la difusión o desplazamiento de los átomos de una pieza de metal a la otra.

Con la soldadura por difusión se sueldan muchos materiales que antes se creía imposible unirlos. Pero no todos los metales pueden soldarse con ella, porque su movimiento atómico es lento y limita la difusión que pudiera ocurrir.

Soldadura Ultrasónica

En la soldadura ultrasónica se emplea una herramienta que vibra a frecuencias muy altas para aplicar esa energía vibratoria ultrasónica al área de soldadura. Esta energía ocasiona una pequeña reducción en el espesor de los metales en la zona de soldadura y, esto a su vez, liga las piezas entre sí. En esta soldadura no se necesitan fundentes, metal de --

aporte ni calor.

Prácticamente todos los metales no ferrosos y el hierro pueden unirse con soldadura ultrasónica.

Soldadura Explosiva

La soldadura explosiva se suele usar para unir entre sí placas de metal "emparedadas" o para revestir una lámina o placa con otra.

Todos los métodos antes descritos para soldadura de estado sólido son procesos en los cuales los metales base no se funden. Tienen cada vez más aplicaciones en las industrias aeroespaciales y de componentes electrónicos. La mayoría de estos procesos tienen ventajas, debido en forma principal a las temperaturas bajas para su ejecución. Algunas de sus ventajas incluyen:

1. Alta eficiencia.
2. Oxidación reducida.
3. Poca contracción o grietas por calor.
4. Control preciso de las variables de presión, tiempo y temperatura.

5. La unión es en toda la superficie de contacto.
6. Los metales desiguales se unen con facilidad.

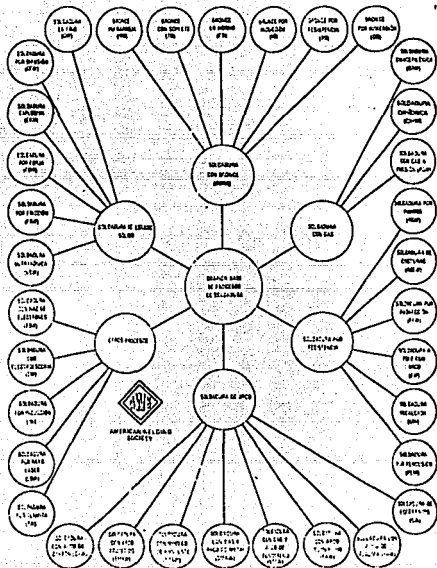
Las desventajas principales de los procesos de soldadura de estado sólido son: 1) están limitados a material delgado o configuraciones especiales; 2) las uniones se deben hacer con tolerancias muy exactas.

Soldadura por Resistencia

La soldadura por resistencia incluye los procesos en los cuales se calienta un metal al pasar una corriente eléctrica por la unión y las piezas quedan unidas. La soldadura por resistencia produce uniones con gran rapidez y se utiliza en -- gran escala en la producción en serie. Como se indica en la figura 17 la soldadura por resistencia incluye los procesos - de soldadura por puntos (punteado), soldadura de costura, soldadura por proyección, soldadura por arco con presión, solda--dura recalcada y soldadura por percusión.

Soldadura por Puntos

La soldadura por puntos es la más común entre los méto--dos de resistencia. Se utiliza para producir uniones trasla--padas en láminas metálicas.



GRAFICA COMPLETA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA

FIGURA. 17



Soldadura de Costura

La soldadura de costura se hace en una máquina similar a la soldadora por puntos, excepto que tiene ruedas en vez de puntas.

Las uniones hechas con esta soldadura son herméticas a gases y líquidos y se utilizan mucho en la manufactura de tanques, botes y tubo mecánico.

Soldadura por Arco con Presión

La soldadura por arco con presión también se llama soldadura a tope por arco.

La soldadura a tope por arco produce la fusión completa de las superficies de extremo de las dos piezas de metal; el metal más cerca de la unión quedará recalcado por la presión aplicada con la unión.

Esta soldadura se utiliza mucho para unir hojas de sierras de cinta, piezas de lámina, alambres y para formar anillos con varillas.

Soldadura Recalcada

La soldadura recalcada es muy similar a la de arco con presión, que la ha desplazado casi por completo. En la soldadura recalcada, se ejerce una fuerte presión antes, durante y después de la aplicación de corriente en la unión.

Soldadura por Percusión

En la soldadura por percusión se emplea un arco producido por la descarga de un capacitor (condensador) electrostático a través de la unión que se va a soldar. Esta descarga instantánea de la energía del capacitor produce suficiente calor para fundir la junta entre las dos piezas de metal, en las cuales se aplica una intensa presión por percusión (golpe).

La soldadura por percusión puede usarse con metales desiguales, difíciles de unir con otros métodos.

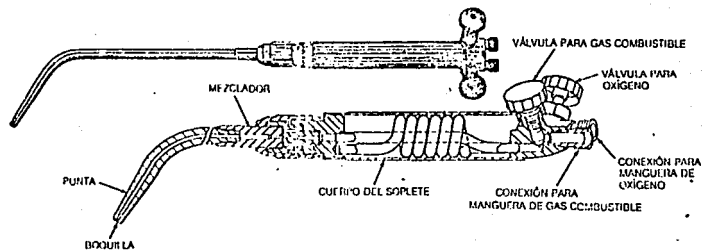
Es más costosa que los métodos de arco y, por tanto, se suelen emplear para unir metales que no pueden soldarse con arcos o en lugares en que se deben evitar los arcos y chispas.

La soldadura por resistencia tiene ventajas y limitaciones con respecto a otros procesos de soldadura. Su ventaja princi-

pal es que la unión soldada no aumenta el peso del objetivo terminado. Por ello se utiliza mucho en las industrias de vehículos de transporte y aeroespacial. Además las soldaduras son rápidas y con escasa probabilidad de error humano. Pero están limitadas a superficies delgadas o pequeñas y sólo pueden hacerse con materiales conductores de la electricidad.

Soldadura con Gas

La soldadura con gas, conocida también con el nombre genérico de autógena, incluye todos los procesos en los cuales la fuente de calor es una flama de gas. La unión puede hacerse -- con o sin metal de aporte (VARILLA) y con o sin presión. Se -- quem a un gas combustible como acetileno, propano, natural o --- "mapp", junto con oxígeno puede estar en forma de aire comprimido, pero casi siempre se utiliza oxígeno puro. (Fig. 18).



SOPLETE TÍPICO PARA TODOS LOS USOS DE SOLDADURA

FIGURA. 18

Gas Acetileno

El gas acetileno es un compuesto de carbono e hidrógeno y su símbolo químico es C_2H_2 ; es incoloro y más ligero que el aire. Es muy combustible y tiene un olor desagradable y molesto. A temperaturas elevadas de más de $779^{\circ}C$ ($1435^{\circ}F$) o a presiones superiores a 1.05 Kg/cm^2 (15 lb/pulg^2) el acetileno se vuelve inestable y puede ocurrir una explosión con la presencia de oxígeno, produce la flama más caliente de todos los gases industriales.

Gas Propano

El gas propano se produce con una mezcla de los gases de los pozos de gas y petróleo. Su símbolo químico es C_3H_8 , se usa para precalentamiento en operaciones de corte con soplete de gas. El propano rara vez se utiliza en la soldadura de acero, porque no produce una flama tan caliente como la del acetileno y tiene menos de la mitad del valor calorífico que el acetileno. El propano también requiere alrededor de cuatro veces el oxígeno necesario con el acetileno para arder con flama neutra.

Gas Natural

El gas natural se extrae de pozos, casi siempre de gran

profundidad, y se distribuye por medio de gasoductos. El gas natural, en realidad, es una mezcla de varios gases en diferentes proporciones, según la zona en donde se extrae. Sus componentes principales son etano (C_2H_6) y metano (CH_4).

Gas Mapp

El gas mapp es un compuesto licuado de acetileno, metilacetilenpropano, mejor conocido por sus siglas mapp.

Es más seguro que el acetileno y tiene mayor poder calorífico que el propano o gas natural, pero es caro.

Oxígeno

Cualquiera que sea el gas utilizado para soldar o cortar, se necesita oxígeno para ayudar a la combustión necesaria para producir las flamas de alta temperatura. El oxígeno acelera la combustión del gas y se tiene flama más caliente. El oxígeno es incoloro, inodoro e insípido y se extrae del aire mediante un proceso de licuefacción.

Soldadura Oxiacetilénica

La soldadura oxiacetilénica es la más común de las sol-

daduras con gas. En este proceso, la pieza que se va a soldar se calienta hasta su temperatura de soldadura con la flama de oxígeno y acetileno. Esta combustión produce flama con una temperatura de soldadura apta para la fusión de materiales comunes en ingeniería. Esta combustión produce una flama que se denomina flama neutra; su temperatura puede subir hasta unos $3\ 481^{\circ}\text{C}$ ($6\ 300^{\circ}\text{F}$), si se aumenta el oxígeno. Una flama con exceso de oxígeno se denomina flama oxidante. La flama reductora o carburizante se produce cuando se alimenta más acetileno que oxígeno al soplete. La temperatura de la flama carburizante es menor que la de flama neutra u oxidante; pero, con una flama ligeramente carburizante, hay menos posibilidad de quemar la pieza de trabajo.

Soldadura oxhídrica

En la soldadura oxhídrica, la flama se produce con la combustión de hidrógeno y oxígeno.

Puede usarse la soldadura oxiacetilénica en vez de la oxhídrica para cualquier aplicación. La ventaja principal de la oxhídrica es su flama de baja temperatura, más fácil de controlar al soldar piezas delgadas de metal, en particular las de baja temperatura de fusión.

Soldadura a Presión con Gas

Las piezas metálicas se unen, en la soldadura a presión con gas, con dos métodos básicos; de unión cerrada y de unión abierta. En el método de unión cerrada, se sujetan y retienen las piezas entre sí con una presión mediana, mientras se calienta la unión alrededor de su superficie. Cuando se llega a la temperatura para soldadura, se recalca el metal (se hace más corto y grueso) en cada lado de la unión debido a la presión aplicada. Las dos piezas de metal se unen en toda la superficie de contacto de la unión; es necesario eliminar la prominencia recalcada por maquinado para devolver el espesor original de las piezas soldadas.

En el método de unión abierta, las superficies que se van a unir se calientan hasta que se derriten; después se sujetan entre sí a presión. Con esto ocurre el recalado del metal cerca de la unión y, cuando se solidifica el metal, las piezas quedan unidas en toda la superficie de contacto.

Con este método pueden soldarse una gran variedad de aceros de alto y bajo carbono, aceros de aleación y algunos metales no ferrosos. Las soldaduras a tope en tubos, barras, formas estructurales, anillos y eslabones de cadenas son algunas de las más comunes con este sistema.

Soldadura de Arco

El calor para la soldadura por arco lo produce una - - corriente eléctrica que salta y forma un arco entre las piezas. El arco eléctrico tiene una de las temperaturas más elevadas para soldadura, de alrededor de $4\ 981^{\circ}\text{C}$ ($9\ 000^{\circ}\text{F}$). El arco puede concentrarse en un punto pequeño y produce un charco de metal derretido en la unión, en donde choca contra la pieza de trabajo o la unión. Al mover el arco con lentitud a lo largo de la unión, se derrite el metal, las piezas se fusionan y, al solidificarse el charco, se tiene la unión completa.

Los electrodos para la soldadura por arco pueden ser consumibles o no consumibles. Los electrodos consumibles se funden con el calor del arco y sirven como metal de aporte para la unión; deben ser del mismo tipo y composición que el metal base. Los electrodos no consumibles no se derriten para formar parte de la unión; estos electrodos suelen ser de grafito o de tungsteno.

La corriente del suministro o de la máquina soldadora pueden ser corriente continua (cc) o corriente alterna (ca). La corriente continua (directa) circula en una sola dirección con polaridad directa (ccpd) por el electrodo hasta el metal base; la polaridad inversa produce una penetración profunda y una sol

dadura estrecha. La corriente continua con polaridad inversa - (ccpi) circula desde el metal base al electrodo.

Soldadura con Electrodo de Carbono

La soldadura con electrodo de carbono abarca todos los -- procesos en los cuales se emplea un electrodo de carbono no con sumible, o sea, no se consume y forma parte del metal de la sol dadura.

Soldadura de Arco Protegido

La soldadura de arco protegido es la más común y se em--- plea un electrodo que es una varilla metálica. La varilla se - reviste con un fundente que, al derretirse forma un escudo que protege el área de soldadura contra la contaminación por la at- -- mósfera. El electrodo metálico también se funde y se combina - como metal de aporte con el metal base. El calor del arco eléc- -- trico que salta entre el electrodo y el metal base derrite a am bos y el revestimiento del electrodo. El charco tiene una tem- peratura entre 3 870 y 4 981°C (7 000 y 9 000°F), suficiente pa- -- ra fundir todos los metales comunes.

Los revestimientos de fundentes para los electrodos tie- -- nen composiciones químicas muy diversas. Pero todos tienen las

siguientes funciones básicas:

- 1.- Producen un escudo de gas que protege el metal derretido y el arco contra la contaminación por la atmósfera.
- 2.- Aumentan el paso de corriente eléctrica en el entrehierro y ayudan a estabilizar el arco.
- 3.- Producen la limpieza o refinación químicas del metal derretido y dejan un revestimiento de escoria que protege el metal contra la oxidación hasta que se enfría.
- 4.- Controlan las características de la soldadura, como la forma del cordón, tiempo de solidificación y la facilidad para producir y sostener el arco.

La American Welding Society (AWS) ha establecido un sistema de electrodos para ayudar a identificarlos y tener continuidad en su uso (Tabla 2).

Claves de clasificación de electrodos de la American Welding Society (AWS)

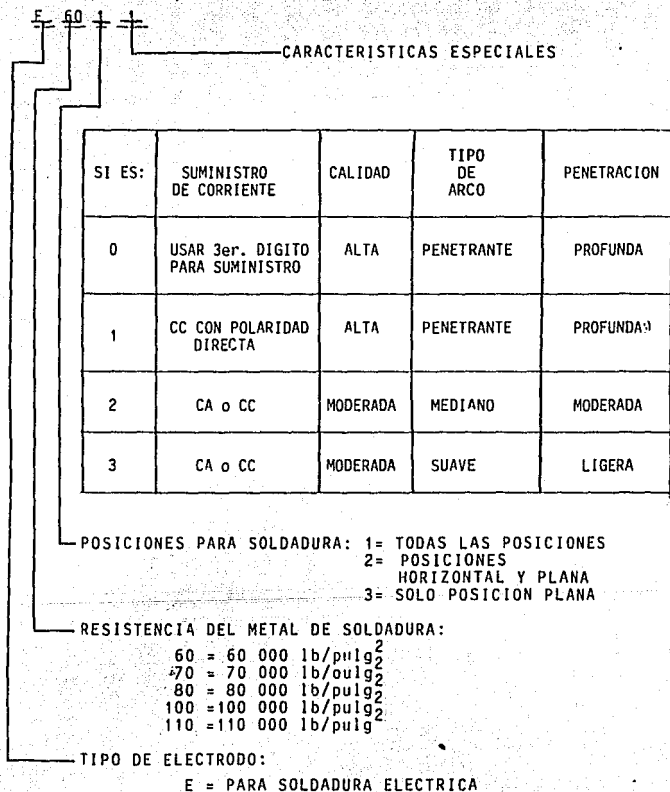
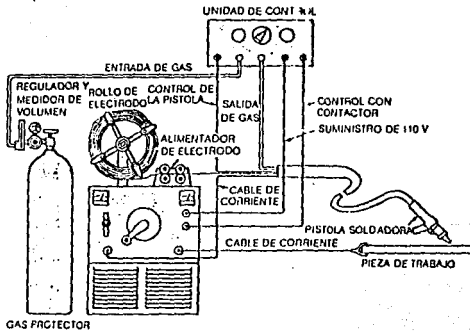


TABLA 2

Soldadura con Gas y Arco

La soldadura con gas y arco se conoce también como soldadura "MIG" (metal con gas inerte). En este proceso se utiliza el calor de un arco eléctrico en un electrodo continuo, hasta el metal base. (Fig. 19).



COMPONENTES PARA SOLDADURA MIG

FIGURA. 19

Soldadura con Gas y Arco de Tungsteno

La soldadura con gas y arco de tungsteno también se conoce como soldadura TIG o "Heliarc". Es soldadura por fusión y se produce al calentar la unión con un arco entre la pieza de trabajo y un electrodo de tungsteno no consumible.

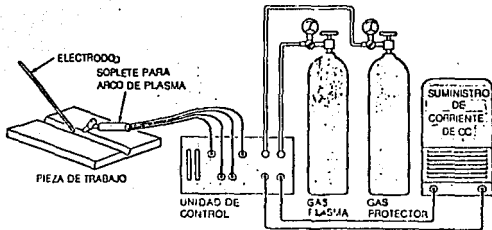
El proceso de soldadura TIG se creó para unir metales - difíciles de soldar utilizados por las industrias aeronáutica y aeroespacial. Se ha demostrado que es una forma práctica - de unir todos los tipos de metales, pues puede utilizarse para unir metales diferentes desiguales.

Soldadura con Arco Sumergido

El arco en la soldadura con arco sumergido está protegido por una capa de fundente pulverizado.

Soldadura con Arco de Plasma

El proceso de soldadura con arco de plasma produce la -- unión con el calor de un arco restringido entre el electrodo y la pieza de trabajo o entre el electrodo y la boquilla que restringe el arco. (Fig. 20).



COMPONENTES PARA SOLDADURA CON ARCO DE PLASMA
FIGURA. 20

Soldadura de Espárragos

El proceso de soldadura de espárragos es una aplicación especializada de la soldadura de arco, en el cual se establece un arco entre la pieza de trabajo y el extremo de un espárrago (birlo), tramo de varilla, etc. Cuando se calientan la pieza de trabajo y el espárrago a la temperatura necesaria, se unen a presión. Cuando se enfría la unión, el espárrago queda soldado en la pieza de trabajo.

Otros Procesos para Soldadura

Hay otros procesos para soldadura que no tienen relación directa con los ya descritos. La mayoría son especializados y sólo han logrado aplicación industrial limitada. Algunos de los descritos en los siguientes párrafos todavía están en su etapa de perfeccionamiento y se consideran más o menos --- experimentales. Pero es posible que estos sean los procesos más importantes para soldadura en el futuro.

Soldadura con Haz de Electrones

En la soldadura con haz de electrones un cátodo metálico caliente libera una corriente de electrones de alta energía - (partículas de carga negativa). El haz de electrones se afoca a la unión, la derrite y se unen las dos piezas.

Soldadura con Rayo Láser

En la soldadura con rayo láser se utiliza un haz de luz en vez de electrones.

La soldadura con rayo láser se hace a la presión atmosférica y no necesita la aplicación de vacío requerida para el haz de electrones. El láser tiene aplicaciones limitadas

en la actualidad; se ha utilizado para fundir alambres muy delgados y soldar conexiones en componentes eléctricos miniaturizados. Además, se ha experimentado mucho en las industrias electrónicas y aeroespacial.

Soldadura por Electroescoria

La soldadura por electroescoria es un proceso de fusión, en el cual se utiliza el calor de un fundente derretido para fundir el metal base y el metal llenador.

Soldadura por Inducción

La soldadura por inducción es similar a la soldadura por resistencia, excepto que se induce corriente eléctrica en la unión, sin que haya contacto físico con alambres o electrodos.

La soldadura por inducción tiene muchas aplicaciones industriales. Es rápida y sólo se calientan zonas específicas, por lo cual la deformación es muy pequeña. La mayoría de los metales en secciones delgadas se pueden soldar por inducción, la cual se aplica en especial para láminas.

Soldadura por Termita

En la soldadura por termita o aluminotermica, se utiliza el calor de un metal y oxido metálico derretidos, supercalentados, para unir piezas metálicas. La soldadura por termita puede efectuarse con o sin aplicación de calor o de metal de aporte.

CAPITULO II

SOLDADURA SUBACUATICA

II.1 Introducción

II.2 Aspectos generales de la soldadura subacuática

II.3 Técnicas de aplicación de la soldad ura subacuática

II.1 INTRODUCCION

La soldadura es aprovechada como una técnica de construcción y de reparación por su comodidad y economía.

Dado que existen varios métodos de reparación con soldadura subacuática, la elección del mejor método dependerá de: los requerimientos de operación, tiempo empleado para efectuar el trabajo, el espacio requerido, y del costo.

Durante los últimos diecinueve años, la importancia de la soldadura subacuática se ha incrementado y particularmente con el desarrollo de las instalaciones costeras. Esto se debe a -- que estas instalaciones necesitan de la soldadura subacuática -- tanto en la fase de construcción, como en el trabajo de mantenimiento.

II.2 ASPECTOS GENERALES DE LA SOLDADURA SUBACUATICA

Soldabilidad

En varios aspectos los mismos problemas de soldabilidad que se presentan bajo condiciones ambientales normales (presión, -- temperatura y atmósfera), también se presentan en la soldadura

subacuática, sea ésta húmeda o seca. Los principales problemas son:

1º Aquellos en los cuales surgen fisuras durante o al final de efectuada la soldadura.

- a) Rompimiento laminar.
- b) Difusión del hidrógeno provocando porosidad
- c) Solidificación

2º Aquellos en los cuales surgen fisuras durante el servicio.

- a) Fracturas debido a defectos en los cordones de soldadura
- b) Corrosión
- c) Fatiga

Antes de tratar sobre los problemas de soldabilidad, se --
mencionarán brevemente las diferencias cualitativas entre la --
soldadura bajo condiciones ambientales normales y la soldadura
subacuática. Comunmente en la soldadura subacuática (húmeda y
seca), la presión en el medio circundante está por arriba de la
que hay con la soldadura terrestre, y esta diferencia de presio
nes aumenta conforme la soldadura se efectúe a mayor profundi--
dad. Este incremento de presión tendrá un efecto en el compor
tamiento del arco eléctrico. Esto también afectará la longitud

del arco y el cráter de soldadura, los cuales se encuentran regidos por las leyes básicas de la termodinámica, cinética y por las complicadas reacciones químicas presentes al efectuar una soldadura, y debido a esto, se producirán cambios en la química de la soldadura. Además se pueden afectar los contenidos de C y O_2 , lo cual trae como consecuencia que la calidad del metal de aporte sea baja.

En la soldadura húmeda, el tiempo de enfriamiento aumenta considerablemente en comparación con la soldadura terrestre. El tiempo de enfriamiento se puede regular con el amperaje proporcionado, al igual que en la soldadura terrestre. Además con un alto incremento en el contenido de hidrógeno y oxígeno en la atmósfera del arco (derivados de la ionización del agua), es ventajoso para el metal soldado, como en el caso de la soldadura terrestre.

Disociación del Hidrógeno

Para que ocurra este efecto deben presentarse simultáneamente los siguientes factores:

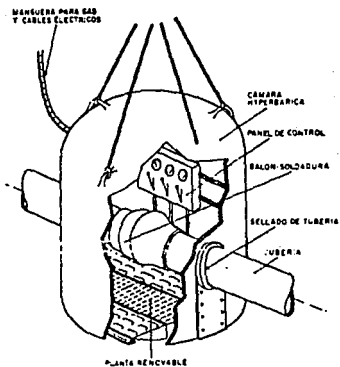
- a) Una suficiente cantidad de hidrógeno
- b) Suficiente esfuerzo tensil
- c) Muy susceptible la microestructura

d) Temperatura aproximadamente por debajo de los 150°C

El efecto que causa la atmósfera circundante de la soldadura subacuática en cada uno de estos factores, se trata a continuación.

Contenido de Hidrógeno

Para la soldadura húmeda resulta perjudicial el aumento de hidrógeno ya que se incrementa dramáticamente el riesgo de fracturas en el cordón de soldadura. Por investigaciones hechas, se ha podido demostrar que en la soldadura manual por arco (MMA) se puede tener influencia en el contenido de hidrógeno, pero aún no se ha podido determinar por qué es mayor la disminución del contenido de hidrógeno en la soldadura terrestre. Para la soldadura hecha en habitat (cámaras especiales, Fig. 21), donde hay ineficiente protección del arco, el contenido de hidrógeno puede incrementarse por arriba del de la soldadura terrestre, debido a la atmósfera húmeda de la cámara. Una de las causas por las cuales el contenido de hidrógeno es mayor en la soldadura subacuática que en la terrestre, es porque el aumento de la presión atmosférica local, trae como consecuencia un incremento en la solubilidad del hidrógeno en el acero líquido.



CÁMARA HIPERBÁRICA DE ATMÓSFERA SECA
FIGURA. 21

Esfuerzos

Existe poca información que nos sirva de guía para estudiar los cambios en los porcentajes de esfuerzos residuales en

la soldadura subacuática comparada con la soldadura terrestre. En las soldaduras hechas en habitat, se pueden hacer similitudes con la soldadura terrestre, pero en la soldadura húmeda, -- los efectos locales de apagado pueden alterar la distribución y magnitud de los esfuerzos residuales.

Microestructura Susceptible

En general con el incremento de la dureza en la microestructura, será mayor la susceptibilidad de tener una disociación de hidrógeno. Cualquier aumento en el rango de enfriamiento de la temperatura de transformación, incrementará la dureza de la soldadura y también será mayor el riesgo de fractura del cordón. En la soldadura húmeda son muy notorios estos efectos, en cambio, en cámaras locales, estos efectos dependen críticamente del tamaño de la cámara y del avance de la cámara a lo largo de la soldadura. Con cualquier cambio en la eficiencia del arco (o amperaje) se beneficiará o se empeorará el enfriamiento.

Temperatura

Varios procesos de soldadura terrestre, particularmente -- aquellos que precalientan arriba de los 100°C, dependen de la disminución del hidrógeno en el sistema de soldadura para evi-

tar fisuras, cuando el enfriamiento baja de la temperatura de transformación a la temperatura ambiente normal. Cualquier aumento en el porcentaje de enfriamiento en esta parte del ciclo térmico, reducirá la pérdida de hidrógeno y entonces se incrementará el riesgo de fractura. La soldadura en un habitat de cámara larga, puede incrementar el porcentaje en el enfriamiento, que es significativo sólo a la temperatura más baja al final del ciclo térmico, por ejemplo, abajo aproximadamente de los 100-150°C.

Rompimiento Laminar

En situaciones donde el material tiene baja ductilidad debido al espesor, como resultado del rompimiento laminar en algunas uniones, el hidrógeno probablemente juegue un papel insignificante en el proceso de fisuras o rompimiento. Sin embargo, cuando se tiene alta ductilidad en el espesor de la soldadura, en el caso de soldadura terrestre, es probable que ocurra rompimiento laminar, pero en la soldadura subacuática, la disociación del hidrógeno ejerce pequeños efectos perjudiciales en el riesgo de rompimiento laminar.

Solidificación

Si en el metal soldado aumenta el contenido de C, S y P y

decrece el contenido de Mn, entonces el riesgo por fracturas debido a solidificación aumenta. Como resultado de un elevado contenido de oxígeno, puede disminuir el porcentaje en carbono y la cantidad de desoxidantes, tales como el manganeso y el silicio, si se tienen bajos contenidos de manganeso, será perjudicial con respecto a la fractura por solidificación.

Tenacidad

Metal Soldado. Una buena tenacidad resulta del balance de una microestructura de grano fino y un bajo esfuerzo de cohesión, obteniéndose una alta resistencia a la penetración y con un bajo contenido de inclusiones, se obtiene buena resistencia para el caso de fractura dúctil.

Corrosión

El agua de mar como atmósfera circundante, llega a ser un problema potencial serio con durezas de 450HV y mayores. En situaciones donde hay protección catódica resultando en alto porcentaje de hidrógeno, podrá ser un problema potencial serio con durezas mayores a 400HV. Incrementando el enfriamiento en soldaduras húmedas, la dureza se puede incrementar, y entonces puede surgir un esfuerzo de rompimiento por corrosión, principalmente efectuando soldaduras de reparación, donde previamente

no había ningún problema.

Fatiga

La resistencia a la fatiga de uniones soldadas, depende principalmente de los efectos de concentración de esfuerzos que pueden ser producidos: por la forma de la unión a soldar, del socavado hecho por la soldadura y por la escoria atrapada en la soldadura.

Como ya se había mencionado, existen varios métodos de soldadura subacuática, tales como: soldadura por fusión, soldadura por explosión y soldadura por fricción.

Las diferencias entre la soldadura húmeda y la seca, que se han mencionado desde el principio, y que son los dos tipos de soldadura en que se divide la soldadura subacuática, se explican a continuación.

Soldadura Subacuática

Soldadura húmeda

Soldadura Seca

La soldadura húmeda se caracteriza porque el soldador se encuentra en contacto con el agua, mientras que la región a soldar puede estar húmeda o envuelta por una pequeña cámara ocupada por gas. El gas puede ser aire o gas inerte, con aproximadamente la misma presión que el agua circundante.

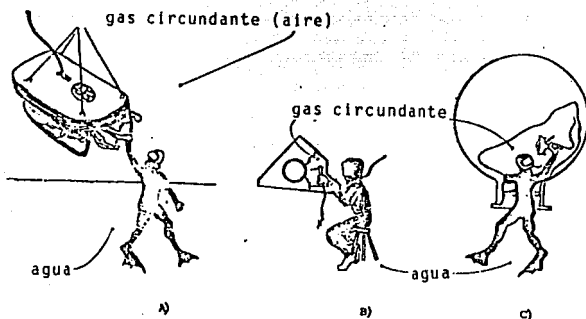
La soldadura seca se caracteriza porque el soldador y la región a soldar se encuentran dentro de una cámara grande o habitat. El gas en el habitat es normalmente una mezcla de helio y oxígeno, la cual es usada como respiradero para el buzo soldador, y usualmente la presión es ligeramente más elevada que la del agua circundante. La soldadura seca utilizando como medio una presión atmosférica, está siendo desarrollada comercialmente, y particularmente puede ser de importancia para la soldadura subacuática, ya que se emplea para grandes profundidades. -- (Fig. 21).

II.3 TECNICAS DE APLICACION DE LA SOLDADURA SUBACUATICA

Hoy en día existen cuatro técnicas básicas para poder efectuar soldadura subacuática. La cámara hiperbárica seca, la cual contiene las partes soldadas y al soldador operador, permitiendo soldar en una atmósfera seca. Con la soldadura hiperbárica seca se obtienen propiedades similares en calidad a aquellas efectuadas fuera del agua, pero con el inconveniente de que el

equipo es costoso, complejo y voluminoso. El tiempo requerido para operar es extenso, y usualmente son requeridos uno o varios barcos grúas cuando se usan las cámaras hiperbáricas secas.

Soldando dentro de un mini-habitat, se hace posible que al soldar se haga en un ambiente seco, permitiendo además al soldador estar sumergido hasta la cintura. Soldaduras hechas dentro de mini-habitats, obtienen al igual que en las cámaras hiperbáricas, propiedades similares a las hechas fuera del agua, y se pueden utilizar para precalentar y efectuar una postsoldadura. Así como la soldadura con cámara hiperbárica, la hecha con mini-habitat (dependiendo de la configuración de la reparación) puede tomar tiempo para la construcción y colocación en la posición requerida, además, usualmente se requiere de una pequeña grúa para sostenerla. (Fig. 22).



EJEMPLOS DE SITUACIONES SEMISUMERGIDAS:

- A) MANEJO DE EQUIPO SOBRE EL NIVEL DEL MAR
- B) SOLDADURA EN UNA HIDROCAJA
- C) INTERIOR DEL EQUIPO PARA CAMPANAS DE BUZO

FIGURA. 22

La soldadura subacuática es hecha además en una caja seca portátil, la cual contendrá uno o ambos lados de la parte a soldar en un ambiente seco. Para esta técnica es usada la soldadura por gas y arco metálico (GMA); el gas que proviene de la -

pistola alimentadora de electrodo, desaloja el agua de la caja flexible y transparente. Con la caja de esta manera, el soldador alcanza por la parte de abajo la pistola alimentadora de electrodo y puede ver a través de la caja mientras suelda. La caja seca no requiere de equipo pesado para levantarla, y en condiciones de laboratorio se obtienen resultados similares a los de la superficie. Sin embargo, la soldadura por gas y arco metálico (GMA) tiene problemas inherentes a la alimentación del gas y del electrodo, que son compuestos debajo del agua. La fabricación e instalación de cada caja es complicada y se lleva tiempo. Frecuentemente cuando se llevan a cabo uniones de varios miembros, entonces el método de caja seca no es aplicable.

Los tres tipos de soldadura subacuática descritos hasta aquí, utilizan un recurso de protección para la soldadura, para que ésta no se lleve a cabo en contacto directo con el agua. Sin embargo, en la soldadura húmeda el soldador y la soldadura se encuentran expuestos al agua. La libertad de movimiento hace que la soldadura húmeda sea el método de soldadura subacuática más eficiente y económico.

Con esta técnica de soldar, el soldador puede llegar a partes de estructuras que con otros métodos no se pueden soldar. Las reparaciones son menos costosas y pueden realizarse más rápido, ya que no necesitan protecciones especiales para la unión,

ni se pierde tiempo en su construcción o preparación. Puesto que son usados los equipos y máquinas estándar para soldar, el equipo necesario para llevar a cabo un trabajo de soldadura húmeda es mínimo.

La única desventaja de la soldadura húmeda, resulta del enfriamiento rápido del metal de aporte por el agua circundante. Este enfriamiento rápido incrementa la resistencia a la tensión o a la tracción de la soldadura, pero disminuye la ductilidad y la resistencia al impacto de la unión soldada e incrementa la porosidad y la dureza.

Soldadura Húmeda

La soldadura húmeda puede ser utilizada hasta profundidades de 30 - 50 metros con resultados comparativamente buenos. En los próximos años se espera que este método para efectuar soldadura bajo el agua, se pueda utilizar a profundidades más grandes.

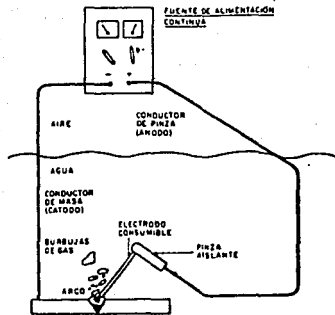
Los principales problemas concernientes a la soldadura húmeda, que influyen en la calidad de la unión soldada, son en parte asociados al fácil manejo del arco y en parte a las reacciones metalúrgicas. La estabilidad del arco bajo el agua, dependerá del método de soldadura y del tipo de electrodo reves-

tido a utilizar (Fig. 23). En la soldadura por gas y arco metálico (GMA), el arco debe trabajar en una envoltura de gas para que tenga una estabilidad adecuada. En la soldadura manual por arco metálico (MMA) y en la de gas y arco metálico (GMA), - debido al agua circundante, la visibilidad es reducida en comparación con la soldadura normal.

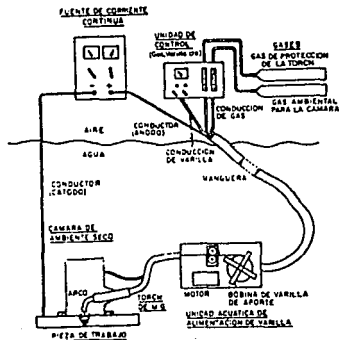
Desde el punto de vista metalúrgico, la soldadura directamente en el agua, resulta en un aumento sin límite del hidrógeno y el oxígeno para mantener el arco y el cráter de soldadura, además de incrementarse los rangos de enfriamiento. La influencia de altas presiones (al ir aumentando la profundidad), también es de gran importancia, como ya se trató en los problemas de soldabilidad.

Estabilidad del arco

En la soldadura húmeda, el arco es influido por el efecto de enfriamiento del agua y por el incremento de la presión. Únicamente se podrán utilizar electrodos revestidos para cada trabajo y con todos los tipos de recubrimientos, excepto el electrodo de tipo básico que produce una buena estabilidad del arco cuando se suelda con corriente directa, y no excediendo aproximadamente los 35 metros de profundidad.



ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA MANUAL CON ARCO ELECTRICO



ESQUEMA DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA MIG

FIGURA. 23

Con el incremento de presión la longitud del arco disminuye, además el enfriamiento por la acción del agua circundante contribuye a este efecto. La constricción por enfriamiento es incrementada, cuando aumenta la longitud del arco. Para mantener la estabilidad del arco e impedir la constricción y el enfriamiento debido al agua, la corriente para soldar deberá ser incrementada un 10% por cada bar de presión incrementada.

La constricción del plasma por arco y el uso de corrientes elevadas para soldar a grandes profundidades (implica presiones elevadas), traen como resultado un incremento en la densidad de corriente y temperatura en el plasma por arco, como se muestra en la Tabla N° 3.

En la práctica de la soldadura húmeda, se ha demostrado -- que el diámetro del electrodo y el espesor de su revestimiento, son importantes para la estabilidad del arco. Los electrodos -- de diámetro grande y con revestimiento pesado, que contengan -- polvo de hierro y que producen una punta acopada al extremo del electrodo, dan mejores características de funcionamiento y mejor estabilidad al arco. Sin embargo, se requieren aun más investigaciones para aclarar más detalles acerca de la soldadura húmeda por arco.

Tabla 3

Temperaturas de arco para electrodos revestidos a diferentes profundidades y corrientes (Matadov 1966)

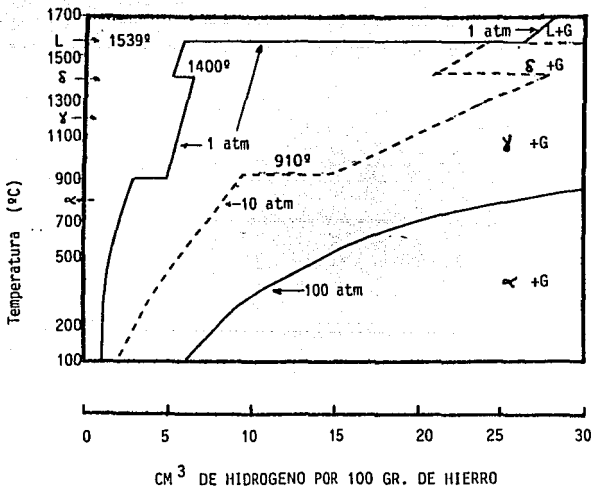
Condiciones para Soldar		Temperatura del Arco
Profundidad (m)	Amperaje (A)	(°K)
10	100	9300
10	200	10200
10	300	10700
20	300	11000
30	300	11300
40	300	11700

Nota: Plasma es el término usado para describir una masa de gas cuyos átomos son ionizados, al elevarlos a una temperatura muy alta. Distinto a un gas en su estado normal, el gas ionizado actúa como un conductor eléctrico y puede -- ser influenciado por campos magnéticos y eléctricos.

Reacción Metalúrgica (Reacción del Gas)

Cuando el arco es expuesto al agua, se da lugar a una disociación del vapor de agua, y el hidrógeno y el oxígeno son absorbidos por el metal de aporte.

El hidrógeno en la atmósfera del arco, es transferido al charco de soldadura como una función de la temperatura y la presión parcial. Se puede asumir que el límite de solubilidad para el hidrógeno en el metal de aporte, es alcanzado instantáneamente, como se muestra en la gráfica No. 1.



GRAFICA 1

La rapidez de enfriamiento limita la posibilidad de difusión para el hidrógeno, y todas estas cantidades son atrapadas en la soldadura. A las temperaturas del agua de mar, se puede dar lugar a que la difusión del hidrógeno sea muy lenta, y -- que haya pequeñas redistribuciones. Sin embargo, si durante la soldadura se utiliza suficiente hidrógeno que pueda introducirse a la zona afectada de calentamiento, se puede producir -- rompimiento en la susceptible microestructura.

El uso de metal de aporte austenítico CR-Ni puede ser una solución al problema del hidrógeno, ya que estos metales de -- aporte tienen una alta solubilidad respecto al hidrógeno. Se pueden utilizar electrodos con alto contenido de níquel, para evitar fisuras en el metal de aporte en la línea de fusión.

El oxígeno en la atmósfera del arco, fácilmente se combina con carbono, manganeso, silicio, cromo, etc. Entonces a -- partir de estas combinaciones se forman óxidos sólidos (escorias) o gases como CO y CO₂. La magnitud de la oxidación de -- penderá de la composición química del electrodo y del metal base. Normalmente la oxidación es controlada por la adición de CO/CO₂, produciendo carbonatos y ferrosilicio en el revestimiento del electrodo. En la soldadura subacuática, la oxidación es incrementada por las altas presiones, como se muestra en la Tabla N° 4.

Tabla 4
Composición del Metal de Aporte en Función
de la Presión (Shlyamin 1961)

Profundidad (m)	Composición Química del Metal de Aporte		
	%C	%Mn	%Si
20	0.26	0.63	0.16
40	0.19	0.21	0.08
60	0.09	0.12	0.03

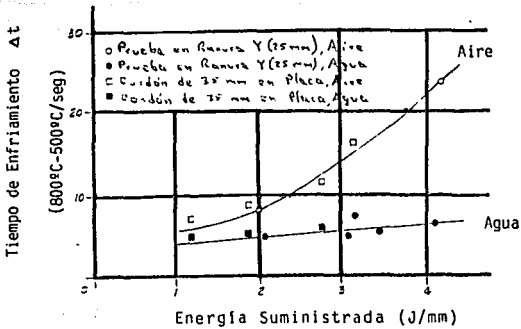
La introducción de hidrógeno y el desarrollo con CO/CO₂ en el charco de soldadura, se deben incrementar conforme al aumento de la presión. Con la subsecuente fuerza de enfriamiento sobre la solución de gases, se puede formar porosidad.

Efectos Térmicos

El ciclo térmico durante la soldadura, es de fundamental importancia para entender las propiedades existentes entre el metal de aporte y la zona calentada. Un rápido enfriamiento en el rango de temperatura crítica, puede producir una dureza elevada, la cual es resultado del endurecimiento de los constituyentes microestructurales, como son la bainita y la martensita. Estas microestructuras son más sensibles a una fractura que una formada por ferrita/perlita. En consecuencia, el ciclo térmico

influye en los esfuerzos residuales presentes en la unión soldada.

Se ha encontrado que con la soldadura húmeda se obtienen gradientes térmicos excesivos. Como resultado de una comparación del ciclo térmico que se llevó a cabo en el aire y en el agua (de una serie de placas, a las cuales se les varió el calor suministrado o energía del arco), se obtuvo, como se esperaba, que el rango de enfriamiento para soldadura húmeda, es mucho mayor que la soldadura en la superficie, además, la diferencia entre la soldadura hecha en un bisel y en la superficie de una placa no fue significativa. A continuación se muestra la gráfica N° 2 obtenida de dichos resultados.



GRAFICA 2

Práctica de la Soldadura
Soldadura Manual por Arco Metálico (MMA)

Esta soldadura que utiliza electrodos revestidos ha sido usada por más de 40 años en aguas poco profundas. La experiencia práctica se ha adquirido a través de los años, en base a -- que se ha utilizado en reparaciones de emergencia o cuando la -- calidad de las uniones no son de importancia para las condiciones de operación. Debido a esto, la mayoría de las veces, las soldaduras húmedas han sido temporales ya que las uniones finales son hechas en la superficie.

El equipo a utilizar será el convencional que es empleado en la superficie. Sin embargo, todos los componentes eléctricos y cables usados bajo el agua deberán estar aislados adecuadamente. Además el revestimiento del electrodo deberá pasar -- por una serie de pruebas en agua, para poder ser utilizado en -- soldadura húmeda. Los electrodos con revestimiento ácido de -- óxido de titanio (RUTILO) o de óxido de hierro, pueden ser utilizados en soldadura húmeda en rangos de profundidad por abajo de 45m. Los electrodos de acero dulce revestidos con rutilo, tienen mucha demanda ya que se obtienen las mejores propiedades. También dan buenos resultados los electrodos de aleaciones austeníticas de Cr y Ni, o con alto contenido de Ni, y, que contengan un revestimiento de rutilo.

Pruebas en Agua del Revestimiento

Las pruebas en agua del revestimiento son necesarias para prevenir el descostramiento del mismo. La razón para tener un posible daño en el revestimiento, es probablemente la formación de vapor en el revestimiento cerca del arco. El agua en el núcleo del alambre puede resultar en una formación electrofítica de gas hidrógeno que a su vez produce agrietamiento y descostramiento del revestimiento. Dicho fenómeno, resulta por -- condiciones inestables del arco y por deposición del metal de -- aporte con variación de las propiedades. Para evitar el descostramiento del revestimiento, se puede proteger del agua por medio de una impregnación. Para este objeto se han probado en -- agua varios agentes, como son la cera de parafina, barniz celulósico de shellac (goma de laca), barniz fenólico y laca vinílica. El comportamiento de estos tipos de revestimientos han sido estudiados y se ha obtenido que es preferible el de laca vinílica. Puede ser algo complicado el aplicar un espesor uniforme, y el modo más práctico de obtenerlo es utilizando un baño en solución diluida. Un electrodo defectuoso probado en agua, puede resultar en un incremento en el grado de porosidad, inestabilidad en el arco y defectos en la soldadura.

La soldadura es realizada utilizando corriente directa. -- Primeramente es recomendado conectar el electrodo a la grapa --

negativa para minimizar la corrosión en el portaelectrodo. Debe ser mencionado, desde un punto de vista práctico, que el gas desarrollado en la región del arco produce formación de burbujeo, que reduce seriamente la posibilidad para la observación. Lo que se prefiere cuando se está soldando con electrodo revestido, es que éste haga contacto con el material base. Puede ser que lo pequeño y angosto del fondo de la soldadura sean tolerados, y las uniones solapadas usando soldadura con filete, sean más comunes.

El remover la escoria puede llevarse algún tiempo, por lo que se necesita utilizar esmeriladoras hidráulicas y quitarebas en el trabajo práctico.

Soldadura por Gas y Arco Metálico

La soldadura por Gas y Arco Metálico no puede ser utilizada directamente en el agua, debido a la inestabilidad del arco. Este tipo de soldadura ha sido usada con resultados comparativamente buenos (cuando al arco se le permite trabajar en un espacio lleno de gas).

La soldadura con alambre sólido que utiliza argón como gas protector, su límite para operar es hasta los 60m de profundidad. Alambre revestido con fundente, puede ser usado para pro--

fundidades considerablemente más grandes.

Para obtener una unión firme, los chaflanes deben estar -- limpios y esmerilados. Un ejemplo de las propiedades obtenidas en una unión en la soldadura a tope a una profundidad de 40m se muestra en la Tabla N° 5.

TABLA 5

Propiedades Mecánicas de la soldadura a Tope con el Proceso GMA a 40m usando Alambre Sólido y Ar/CO₂ como Gas Protector

Posición p/soldar	Dureza, HV 10		Ensayo de Flexión		Charpy V, -10°C Centro de la Soldadura -J
	Metal Base	Max HAZ	Cara	Costado	
Vertical Sobre la Cabeza	167	268	180°	180°	31
	171	367	180°	180°	35

Un ejemplo de las propiedades mecánicas del metal de aporte efectuado hasta profundidades de 137m. usando alambre revestido con fundente y como gas protector Ar, se muestra en la Tabla - - N° 6.

TABLA 6

Profundidad (m)	Propiedades de Tensión				Charpy V Energía (J)			
	YP N/mm ²	UTS N/mm ²	δ^4 %	Ψ %	+30°C	±0°C	-30°C	-60°C
0	520	580	29	72	165	130	90	50
20.1	506	600	27	66	205	165	132	71
36.6	506	595	25	45	202	175	116	68
76.3	574	647	21	58	151	101	75	41
137	540	610	22	61	180	145	100	60

Es obvio que la soldadura con alambre revestido con fundente tiene un gran potencial para su uso práctico, además de la posición para trabajar.

Propiedades de la Unión en la Soldadura Húmeda

La solidez obtenida con la soldadura húmeda con el arco expuesto directamente al agua, no es tan buena como una soldadura realizada en la superficie. Los principales problemas que se presentan con este tipo de soldadura son: las fisuras, porosidad e inclusiones de escoria.

El hidrógeno produce fisuras que pueden ser fácilmente formadas debido al libre acceso de hidrógeno y al enfriamiento rápido, y esto trae como consecuencia una dureza en la microestructura. Sin embargo, experimentalmente se ha observado que las fisuras en las uniones libres pueden ser obtenidas, cuando se usan electrodos de rutilo en aceros cuyo contenido de carbono equivalente (CE) sea menor a 0.40%, y cuando se tengan aceros con un contenido alto de carbono equivalente, se pueden soldar con electrodos austeníticos, evitando de esta manera las fisuras.

$$\text{Carbono equivalente, CE} = \frac{\text{C}}{6} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}$$

Con la soldadura manual por arco metálico (MMA) siempre están presentes la porosidad y las inclusiones de escoria tal como se observa en la soldadura hecha en la superficie. Estos defectos pueden sin embargo, no ser siempre perjudiciales, dependiendo de la carga de la unión. Pero puede ser más serio el tener un socavado y una cubierta irregular.

Las propiedades mecánicas de las uniones varían en función del revestimiento y la composición química del electrodo y de la profundidad del agua o presión.

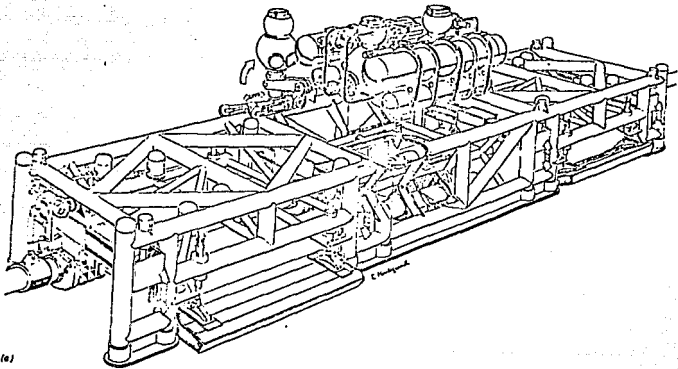
Soldadura Seca

Una buena calidad en la soldadura subacuática se obtiene siempre que ésta sea desarrollada por soldadura seca hiperbárica en un habitat (Figs. 24 y 25). El habitat es llenado -- con gas para la respiración de los buzos, siendo normalmente una mezcla de helio-oxígeno.

Algunas condiciones hacen diferente la soldadura en habitat de la soldadura en aire atmosférico:

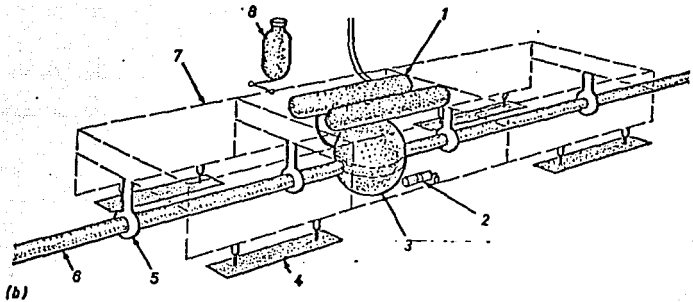
1. El incremento de presión incrementa la absorción de los gases provenientes de la atmósfera del habitat por el charco de soldadura.
2. La atmósfera del habitat tiene un calor específico y presiones parciales de gas, diferentes a la del aire.
3. La humedad relativa en la cámara puede ser muy elevada, pudiendo ser cercana al 100%.
4. Estabilidad del arco.

En principio, todos los métodos de soldadura son aplicables en el habitat, por ejemplo, MMA usando electrodos revestidos, GMA, TIG. El equipo de soldadura es completamente el



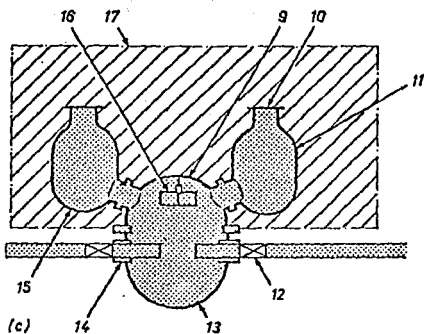
(A) ALINEAMIENTO DE LA ESTRUCTURA Y CAMARA ATMOSFERICA
PARA LA REPARACION DE TUBERIAS CON SOLDADURA

FIGURA. 24



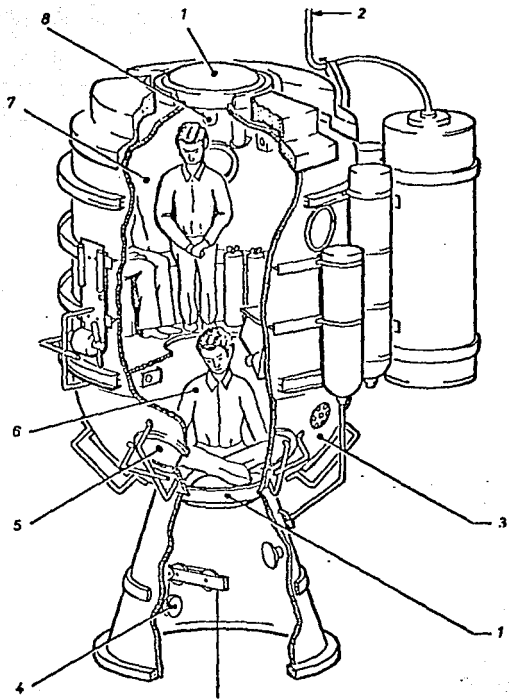
- (B) 1 - Tanque de lastre
2 - Reemplazo de sección de tubería
3 - Cámara de presión atmosférica
4 - Soporte
5 - Abrazadera de tubo
6 - Tubería
7 - Estructura para contener la tubería
8 - Campana de observación

FIGURA. 24



- (C) 9 - Cámara superior para soldar
10 - Escotilla de conexión con la campana para buzo
11 - Compartimiento del piloto
12 - Ajuste apretado del obturador
13 - Cámara inferior para soldar
14 - Cojinete aislador
15 - Cámara para soldar
16 - Sección nueva de tubería
17 - Cámara para el tanque de lastre (corte transversal)

FIGURA. 24



CAMARA PARA LA TRANSFERENCIA DEL PERSONAL

- 1 - Escotilla; 2 - Tubo alimentador; 3 - Presión en el casco;
- 4 - Malacate para transportar hacia abajo; 5 - Vista por babor;
- 6 - Piloto; 7 - Compartimiento para la tripulación (hasta cuatro tripulantes); 8 - Alumbrado

FIGURA. 25

mismo que se utiliza en la superficie.

Además es posible llevar a cabo un precalentamiento y -- una postsoldadura en el habitat. El riesgo de que el hidró-- geno produzca fisuras en el cordón de soldadura, puede vir-- tualmente ser eliminado.

Estabilidad del Arco

Soldando en seco con un incremento de presión, resulta - en una constricción del arco, como sucede en la soldadura hú- meda. En la práctica, la soldadura seca hace uso de la soldadura, TIG, GMA usando alambre sólido o tubular, y la solda- dura MMA. Estos procesos han sido estudiados por diferentes investigadores en el rango de presiones de 1 bar a 32 bar. El estudio de la estabilidad del arco es muy complicado y para - esto se emplean diferentes métodos de observación: examen -- visual, aplicando grabadoras de video, mediciones eléctricas, usando registrador de impulsos de varios canales y la obser- vación de la apariencia de la salpicadura y del cordón, son en- sí, métodos valiables que preferentemente deben ser utiliza- dos en combinación. Algunos resultados pueden ser resumidos a continuación:

Soldadura GTA. Bajo condiciones estables con un incre--

mento de presión, se necesita incrementar el voltaje del arco, este incremento es más pronunciado en helio que en argón. La ignición del arco resulta más difícil con el aumento de la presión. La penetración aumenta con presiones arriba de los 8 -- bar. Con rangos de alta presión, el desgaste de la boquilla - del electrodo, puede causar problemas de inestabilidad.

Soldadura GMA. Bajo un incremento de presión, se necesita un voltaje de arco más elevado para mantener estable las -- condiciones del mismo, y aceptable la forma del cordón (cerca de 1.5V por cada incremento de presión de 1 bar en algunos casos). Aumentando la presión, la longitud del arco es reducida y la transferencia del metal es cambiada de un arco globular - corto a un arco esparcido o rociado. Incrementando la presión y el voltaje, resulta una mayor salpicadura y formación de gases de soldadura. A 8 bar y por encima de este valor, el gas previene una observación detallada del arco.

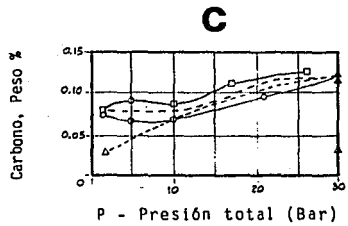
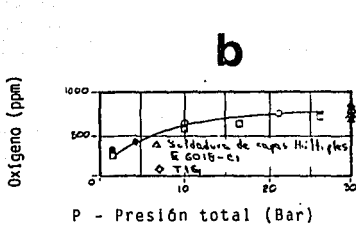
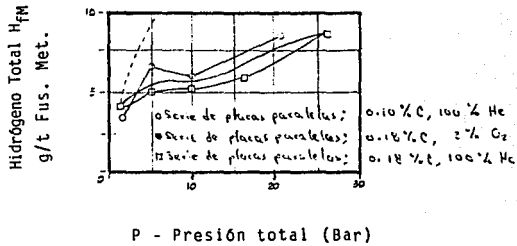
Soldadura MMA. Usando básicamente hidrógeno y electrodos controlados cuando se tienen presiones por arriba de los 32 -- bar, se obtienen condiciones muy estables del arco sin cambios en los parámetros de soldadura. El incremento de presión no es muy significativo en la apariencia del cordón o en la resistencia de la soldadura. Los electrodos de Rutilo, además mantienen un arco estable, pero muestran porosidad gruesa con el

incremento de presión.

Reacciones Metalúrgicas

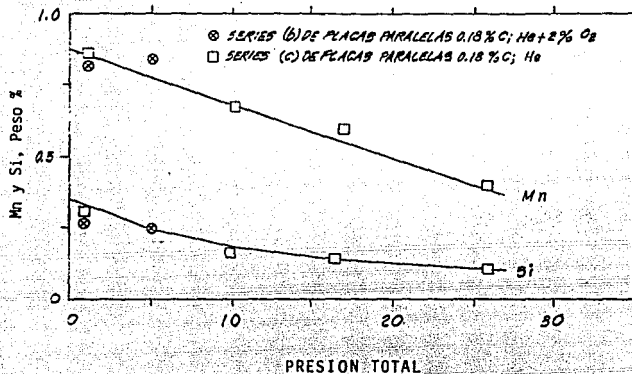
(Reacción del gas)

El incremento de presión en la soldadura hiperbárica, - - trae como consecuencia un cambio en las reacciones metalúrgicas entre la atmósfera del arco y el charco de soldadura. Esto es aplicable principalmente a la soldadura MMA, usando electrodos revestidos que producen gas CO/CO_2 . En investigaciones en las cuales se han utilizado electrodos comunes que producen bajo contenido de hidrógeno, en rangos de presión de 1 bar a - 30 bar, se ha obtenido que el contenido de carbono, del oxígeno y del hidrógeno aumenta conforme se va incrementando la presión, como se muestra en la gráfica 3:



GRAFICA 3

En cambio el contenido de Manganeso y de Silicio disminuye conforme la presión se incrementa, como se indica en la gráfica 4.



GRAFICA 4

No hay cálculos útiles, detallados ni exactos en cuanto a las reacciones metalúrgicas.

Algunas reacciones que forman compuestos complejos en el plasma del arco (Plasma - descarga neutra o plasma) o en el charco de soldadura, se pueden formar debido a las altas presiones. No es posible dar detalles, puesto que la metalurgia de la soldadura en general y la soldadura hiperbárica en particular, no está muy bien documentada. Sin embargo, es interesante notar que los esfuerzos hechos durante los últimos años han dado alguna luz en los aspectos fundamentales. Los cálculos teóricos muestran que la desoxidación disolviendo carbono,

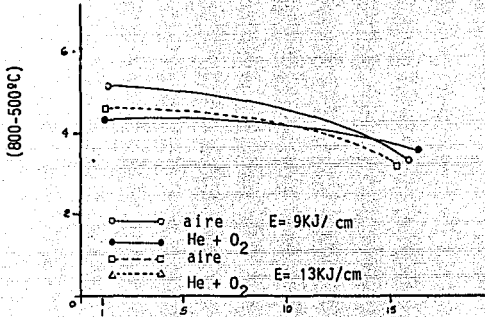
depende fuertemente de la presión. La pérdida gradual de carbono es una fuerza de desoxidación y a 25 bar, la desoxidación es gobernada completamente por otros elementos como son el silicio o el manganeso. A altas presiones, incrementando el carbono y disminuyendo los contenidos de silicio y de manganeso pueden ser esperados como se muestra en la figura anterior.

Los electrodos revestidos que son usados bajo condiciones hiperbáricas, darán inevitablemente al soldar metal, un incremento del contenido de carbono, hidrógeno y oxígeno, y un decremento del contenido de silicio y manganeso conforme la presión aumenta. Estos elementos son de gran importancia para la calidad de la unión soldada, y la implicación práctica de esto, es que los procedimientos que se siguen para las pruebas de calificación, deben ser realizados a la máxima presión del trabajo de soldadura actual.

Efectos térmicos

La soldadura, cuando se efectúa en un habitat lleno con una mezcla de gas compuesta por He y O_2 , a diferentes presiones, influye sobre el grado de enfriamiento. Esto es debido en parte, a la diferencia en la capacidad de calentamiento entre el aire y el He/ O_2 , y en parte debido al incremento de pre

si3n, ver la Gr3fica 5. El grado de enfriamiento entre los 800°C y los 500°C se incrementa por 20 a 30, cuando la presi3n aumenta de 1 bar a 15 bar.

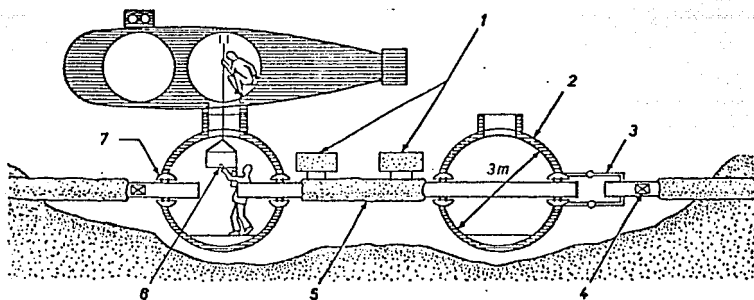


Rangos de Enfriamiento cuando se
Suelta en Habitat
GRAFICA 5

Pr3ctica de la Soldadura

Es posible, usando soldadura en habitat, soldar todos los diferentes tipos de aceros estructurales que est3n siendo utilizados en el Mar del Norte. La uni3n mediante la soldadura - abajo de los 125 metros de profundidad, ha sido desarrollada y

aceptada en tuberías API 5LX 65, y los procesos de soldadura -- son aptos para emplearse a los 155 metros de profundidad. Pruebas realistas han sido efectuadas bajo condiciones que simulan alrededor de los 320 metros de profundidad, para los mismos materiales. (Fig. 26).



Sistema de Reparación Propuesto

- 1 - Tanques de flotación
- 2 - Cámara de presión atmosférica
- 3 - Gato hidráulico
- 4 - Ajuste apretado del obturador
- 5 - Tubería reemplazada
- 6 - Unión ajustable para la tubería
- 7 - Abrazadera móvil

FIG. 26

Soldadura GMA

Este tipo de soldadura puede ser más sensitiva con incrementos de presión. Con presiones arriba de los 5 bar (40 metros de profundidad en agua), la fusión y el charco de soldadura que es demasiado largo, son incontrolables, con lo cual se obtienen los subsecuentes defectos de la soldadura, a menos que sea aplicada la energía adecuada. Sin embargo, la soldadura GMA da buenos resultados abajo de los 300 metros, usando mezclas de gas con He-O₂.

Soldadura TIG

Las dificultades con el control de la fusión en la soldadura GMA, son mucho menores con la soldadura TIG, donde la adición de metal es controlada separadamente. Además, esta soldadura es frecuentemente usada, por el fondo del cordón de soldadura depositado, cuando el metal de aporte es depositado usando electrodos revestidos. La principal desventaja con la soldadura TIG es su baja proporción de producción.

Soldadura MMA

Los electrodos revestidos son los más frecuentemente usados para soldadura en habitat. Los electrodos básicos aparecen

para producir los mejores resultados. Los electrodos de rutilo producen grandes porosidades, siempre que se utiliza a bajas -- presiones.

La tabla 7 muestra algunas de las propiedades mecánicas - obtenidas durante las pruebas que se realizaron en el trabajo - de reparación en el Mar del Norte.

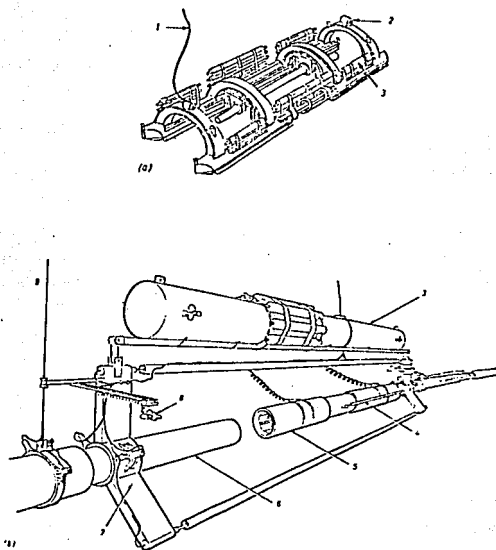
Tabla 7

Profundidad (m)	Método de Soldadura	Tipo de Acero	Dureza Máx. (HV5)	Tenacidad Charpy V	
				Metal Aporte (Kpm)	Temp. (°C)
36	MMA en Habitat	St 52 - 3N	268	9.7	-10
65	" " "	API 5LX 60	260	10.9	0
125	" " "	" "	262	13.6	0
155	" " "	" "	262	9.0	-10

El equipo de la soldadura hiperbárica seca, normalmente - consiste de una estructura de alineación y de un habitat. La - extensión operacional de los sistemas está en parte limitada - por los procesos de soldadura, y en parte por la tecnología del buceo.

La estructura de alineación, es una construcción tubular que puede estar llena de agua para controlar la flotabilidad - (efecto que es utilizado durante el posicionamiento de la estructura). El propósito de la estructura de alineación, es mantener fijas las piezas de trabajo durante el proceso de soldadura por medio de abrazaderas hidráulicas. (Fig. 27).

La soldadura en un habitat es más aplicable a elementos tubulares, debido a los problemas de impermeabilidad que se tienen con el agua. Todo el equipo, con excepción del suministrador de energía y del depósito de gas, es contenido en la cámara. Normalmente se hallan los duplicados de los instrumentos de control en cubierta.



Sistemas de reparación a control remoto: a) Shell, b) Exxon.
1- Cable eléctrico; 2- Propulsor posicionador; 3- Tanque de lastre; 4- Gato hidráulico; 5- Caja de acoplamiento; 6- Extremo de la tubería; 7- Abrazadera hidráulica de tubería; 8- Cámara de T.V.; 9- Línea guía.

FIGURA. 27

CAPITULO III

CORTE SUBACUÁTICO

III.1 Introducción

III.2 Aspectos generales del corte subacuático

III.3 Técnicas de aplicación del corte subacuático

III.1 INTRODUCCION

Las técnicas de corte subacuático han estado disponibles desde el principio del siglo, tienen fases experimentales de desarrollo, principalmente bajo los auspicios de las autoridades militares. Las bases del gas oxiacetileno se conocieron en 1925 y el corte con oxi-arco fue referido y desarrollado por la naval de los E.U. en la Segunda Guerra Mundial. Estas y otras técnicas han estado disponibles para la civilización popular y han sido vistas hasta hace poco principalmente como herramientas elementales.

Sin embargo, la intensificación de los esfuerzos en el campo de las costas, en la producción de gas y petróleo, ha creado un conjunto de espectros de corte subacuático.

Para los próximos años podremos ver avances muy adelantados en la tecnología de cortes subacuáticos para satisfacer a todas las demandas que se presenten.

III.2 ASPECTOS GENERALES DEL CORTE SUBACUATICO

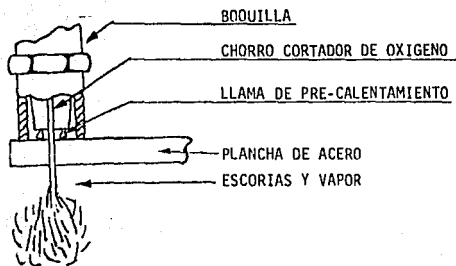
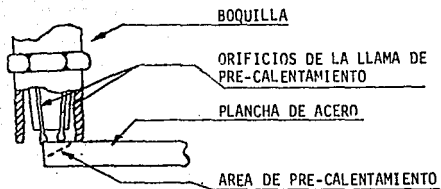
A) Arco-oxígeno

El método denominado de arco-oxígeno para cortar metales -

se basa en el mismo principio empleado para el corte con oxiacetileno. En este último método, primero se precalienta el metal en determinado lugar hasta obtener la incandescencia mediante el uso del soplete de oxiacetileno, una vez que alcanza la incandescencia, un chorro de oxígeno de alta velocidad hace impacto contra el punto precalentado. Este chorro de oxígeno cumple con doble función, la de oxidar o quemar el núcleo de la porción precalentada y la remoción de los productos de combustión. En el corte de arco-oxígeno el precalentamiento se efectúa mediante el arco eléctrico, formado entre el material que se corta y el electrodo. Debido a que la energía calórica disponible en el arco es mucho mayor que la del soplete de oxiacetileno, el precalentamiento con el método de arco-oxígeno es virtualmente instantáneo (Fig. 28).

Así, en el instante en el que se establece el arco, se da admisión al chorro de oxígeno de alta velocidad que hace impacto sobre la superficie precalentada, y tienen lugar entonces fenómenos similares a los experimentados con el procedimiento de corte oxiacetileno.

Es evidente que en el procedimiento por arco-oxígeno, el arco reemplaza la llama de oxiacetileno y se sustituye la energía eléctrica por la llama de oxiacetileno.



PARA COMENZAR EL CORTE.

FIGURA 28

B) Arco-metálico

El procedimiento de corte por arco metálico es simplemente un método mediante el cual se aplica el calor del arco eléctrico para fundir el metal a lo largo de una línea de corte requerida. En el corte subacuático puede emplearse este método en situaciones donde no hay oxígeno disponible y se utilizan electrodos ordinarios recubiertos, facilitando un medio para cortar por igual metales ferrosos y no ferrosos. Este procedimiento, denominado corte por arco-metálico, es superior a aquellos donde se utiliza oxígeno para cortar placas de acero cuyo espesor es inferior a 1/4 de pulgada; así como para el corte de materiales no ferrosos tales como: el bronce, cobre, cupro-níquel y bronce-manganeso, sin distinción de espesores.

C) Oxi-hidrógeno

El procedimiento de corte subacuático con soplete de oxihidrógeno involucra el uso de oxígeno comprimido, hidrógeno comprimido y el aire a presión.

Una de las características que establece una diferencia fundamental entre el corte subacuático y el corte normal, estriba en que con el primero se requiere que el operario se acostumbre a trabajar con presiones de gas relativamente altas. Di---

chas presiones necesariamente experimentarán un aumento debido a la profundidad en la que se realizan los trabajos. Bajo el punto de vista mecánico, el corte subacuático se ejecuta con medios idénticos a los que se emplean en el corte de superficie, salvo que se hace uso de una manguera adicional para suministrar aire comprimido a una especie de pantalla en forma de falda acampanada, que rodea y envuelve a la boquilla del soplete dentro de una burbuja de aire; esta pantalla no es necesaria para mantener encendida la flama. La finalidad de la pantalla es la de estabilizar la flama y mantener el agua alejada del área del metal que se esté calentando.

El hidrógeno es el gas combustible que se usa casi exclusivamente con este tipo de corte. Resulta peligroso para estos fines el uso del acetileno a presiones superiores a 15 libras.

III.3 TECNICAS DE APLICACION DEL CORTE SUBACUATICO

A) Arco-oxígeno

Con electrodos tubulares

Para planchas de acero mayores de 1/4 de pulgada.

1. Para iniciar el corte, mantenga el electrodo perpendicular a la superficie que ha de cortarse, colóquese el ex

tremo del electrodo contra la obra, ábrase la válvula del oxígeno y hágase la señal para la "corriente puesta". Retírese ligeramente el electrodo para encender el arco, si fuera necesario.

2. Para avanzar el corte, se procede a deslizar el electrodo a lo largo de la línea de corte trazada, manteniéndolo perpendicular a la obra. El extremo del electrodo se mantendrá adherido firmemente al borde en progreso del corte. Se debe ejercer presión en dos direcciones, hacia adentro para compensar la combustión del electrodo y hacia adelante para hacer avanzar el corte.
3. Un arco incompleto debido a alguna falla de manipulación se evidenciará por los destellos de retroceso.
4. Cuando se haya consumido el electrodo cerciórese de hacer la señal para "cortar la corriente" antes de tratar de cambiar los electrodos. Manténgase el soplete en posición de corte, hasta que el ayudante confirme la señal de "cortar la corriente".

Para planchas de acero menores de 1/4 de pulgada.

Esta técnica es ligeramente distinta de la empleada para planchas gruesas, pues en lugar de mantener el extremo del elec

trodo adherido y haciendo presión contra el borde del corte -- en progreso, la punta del electrodo apenas deberá tocar la superficie de la plancha, a medida que avanza a lo largo de la línea de corte.

Con Electrodo Tubulares de Cerámica

1. Para iniciar el corte mantenga el electrodo perpendicular a la superficie que se va a cortar, ábrase la válvula de oxígeno y dése la señal de "corriente puesta". -- Tiéndase un arco entre el electrodo y la obra.
2. Para hacer avanzar el corte, muévase el electrodo a lo largo de la línea de corte trazada, manteniendo un leve contacto con la superficie, no se hará presión interna alguna al ser consumido el electrodo, cerciórese de dar la señal de "cortar la corriente" antes de proceder a - cambiar los electrodos.

Taladrar Agujeros en Planchas de Acero

1. Hágase un ligero contacto con la plancha en el punto requerido, ábrase la válvula de oxígeno y dé la señal para "corriente puesta".

2. Mantenga estable el electrodo un instante, si fuera necesario, para permitir el derretido del lomo de acero del tubo dentro de la cubierta.
3. Hágase penetrar lentamente el electrodo dentro del agujero hasta que la plancha quede taladrada.

Con este método se han taladrado hasta 3 pulgadas de espesor de una plancha.

Corte del Hierro Fundido y Metales no Ferrosos

El hierro fundido y metales no ferrosos no se oxidan con facilidad.

La técnica "del arrastre" que se emplea para cortar el acero no es satisfactoria cuando se aplica para cortar hierro fundido y metales no ferrosos. El operario tiene que manejar el electrodo fuera y dentro del corte, debido al hecho de que la fusión sólo tiene lugar en el área inmediata al arco. Para el corte de plancha delgada, no se precisa manipular el electrodo y la operación viene a ser esencialmente la misma que se utiliza para cortar planchas delgadas de acero. La técnica es similar tanto para los electrodos tubulares de acero como para los electrodos de cerámica.

B) Arco Metálico

Cuando se hace uso de electrodos de 3/16 de pulgada con -- una fuente de energía eléctrica de 300 AMP. a razón de unos 40 V., se puede cortar planchas de acero hasta de 1/4 de pulgada mediante el sencillo procedimiento de "arrastre" (también para -- planchas de 3/8 de pulgada aproximadamente.) Cuando haya posibilidad de aumentar la corriente a 400 AMP. para el corte de planchas más gruesas, es preciso dar al electrodo un movimiento de sierra, corto y lento, con objeto de eliminar el metal fundido que se deposita en el extremo más retirado del corte; la aplicación hábil de esta técnica de aserrar, hace del método de corte subacuático por arco metálico un procedimiento práctico para cortar, dentro de una extensa gamma de espesores; aún cuando no estén disponibles los electrodos pesados y las corrientes más potentes que se recomiendan para el uso con la técnica de "arrastre" de haber disponibilidad de electrodos pesados y corrientes fuertes. La técnica de "arrastre" posee la ventaja de la velocidad y simplicidad de operación.

C) Oxi-hidrógeno

Se podrá comenzar el corte colocando el extremo superior del soplete sobre un ángulo de la plancha, de modo que las flamas de precalentamiento puedan calentar un punto sobre el borde

del acero, luego comenzarán a saltar pequeñas chispas, lo cual será indicio de que el metal está lo suficientemente caliente para comenzar el corte. Se comenzará el corte oprimiendo la palanca de corte y se proyectará el chorro cortante sobre el punto calentado. Los mejores resultados se obtendrán abriendo el chorro cortador hasta la mitad, durante algunos segundos al comienzo.

El corte puede comenzarse en la parte media de una plancha mediante la operación denominada "punto caliente". Este método es el siguiente:

- a) Manténgase la boquilla sobre un punto de la plancha hasta calentarla.
- b) Abrase el chorro cortador gradualmente, mientras que al mismo tiempo se procederá a alzar ligeramente la boquilla del soplete, para impedir que las escorias sean adheridas hacia la boquilla.

Se hará progresar el corte moviendo el soplete a una velocidad constante a lo largo de la línea del corte, lo suficientemente rápida para mantener el progreso del corte y lo suficientemente lenta para obtener un corte completo a través del metal.

De hacer progresar el soplete demasiado lentamente, el -- acero se enfriará por debajo de la temperatura de inflamación, cesando la acción cortadora. En ese caso, el operario ha "perdido el corte" y habrá de comenzar nuevamente.

De hacer progresar el soplete demasiado rápidamente, el -- metal no podrá ser cortado totalmente en dos. Será muy difícil el cortar los puntos salteados.

Para extinguir la flama del soplete.

- a) Cerrar la válvula de hidrógeno que va a la flama de precalentamiento.
- b) Cerrar la válvula de oxígeno que va a la flama de precalentamiento.
- c) Cerrar el paso de aire comprimido dejando la válvula ligeramente abierta para mantener el soplete libre de -- agua.
- d) Si la flama muestra tendencia a persistir y a arder dentro del soplete, podrá extinguirse cerrando y abriendo momentaneamente la válvula de oxígeno de precalentamiento.

CAPITULO IV

NORMAS DE SEGURIDAD EN LA SOLDADURA SUBACUÁTICA

IV.1 Introducción

IV.2 Normas de Seguridad en la Soldadura Subacuática

IV.3 Normas de Seguridad en el Corte Sub- acuático

IV.4 Funcionamiento del Equipo

IV.5 Sopletes, Sujetadores de Electrodo y Tipos de Electrodo

IV.1 INTRODUCCION

Las operaciones subacuáticas involucran riesgos considerables, especialmente en el mar que es un electrolito. En consideración del peligro potencial por arco-oxígeno, se han adoptado medidas de precaución que garantizan una protección razonable a los buzos. La observación estricta de todos los reglamentos de seguridad para la protección de las vidas del personal es de gran importancia.

IV.2 NORMAS DE SEGURIDAD EN LA SOLDADURA SUBACUATICA

a) El soldador se deberá equipar convenientemente de manera que su cuerpo permanezca totalmente aislado de la obra, del maneral y del agua misma. Cuando el buzo utiliza escafandra aunque es adecuado para este propósito, se recomienda tomar -- precauciones para proteger la cabeza del buzo de la escafandra. Para lograr esto, el buzo hará uso de un gorro protector y también se procederá a recubrir el botón de la válvula de escape con cinta aislante de caucho. En ningún caso debe estar el cuerpo del buzo en contacto con la zona a soldar, estando el interruptor conectado, previniendo que no cierre el circuito en su cuerpo, en el caso de que el electrodo pudiera estar tocando el cuerpo del mismo.

b) Todas las conexiones de cables y todas las partes expuestas portadoras de corriente de los portaelectrodos estarán completamente aisladas con cinta aislante de caucho u otros medios.

c) Se colocará un interruptor en el circuito de soldadura en posición tal, que el ayudante de buzo pueda tener un control constante de él, para abrir o cerrar el circuito conforme lo solicite el buzo.

d) El buzo se acogerá completamente a la protección prestada por el uso de un conmutador desconectador. El buzo obtendrá protección completa al mantenerse la corriente puesta únicamente mientras estuviese soldando o se hallase en posición para soldar. Solamente podrá el buzo proceder a cambiar electrodos o apretar el sujetador de electrodo cuando no se encuentre corriente en el circuito. Una vez consumido el electrodo, o cuando por alguna razón cualquiera el buzo interrumpa la soldadura, deberá hacer la señal convenida para cortar la corriente y se mantendrá en posición de soldar hasta recibir confirmación de la maniobra por parte del ayudante. (Fig. 29)

e) Los aparatos a utilizar deberán estar resguardados, debiéndoles dar revisiones periódicas, y cuando se utilicen se hará una verificación de ellos.

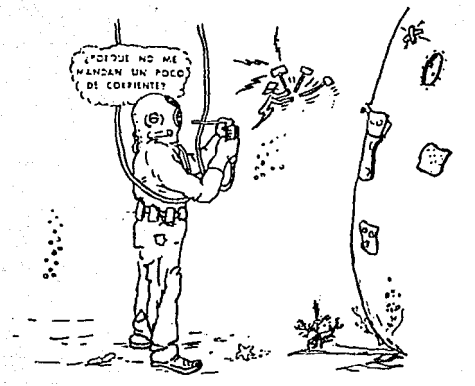


FIGURA 29

REPRODUCIDA CON EL PERMISO DE LA EDITORIAL EL NINO

f) El extremo del electrodo, que es una terminal expuesta del circuito de soldadura, no se apuntará en dirección del cuerpo del buzo. Por otra parte se debe tener cuidado de no tocar la escafandra con el electrodo o con cualquier parte no aislada del sujetador de electrodos.

g) Cuando se ejecuten operaciones subacuáticas con arco, se adoptarán precauciones para resguardarse en contra de las explosiones de gases retenidos. Los gases explosivos se originan en fuentes muy variadas y pueden ser generados aún por la misma operación de soldadura. Los análisis practicados sobre los gases desarrollados durante las operaciones subacuáticas de soldadura, revelan que su composición tiene aproximadamente un 70% de hidrógeno, el cual es altamente explosivo. Por esto, es obligatorio que antes de efectuar la soldadura dentro de un compartimiento cerrado, se faciliten medios para purgar los gases generados, con el fin de eliminar toda posibilidad de explosión. Cuando se esté soldando o cortando, se debe tener cuidado de verificar que el compartimiento contiguo no tenga gases retenidos, que pudieran originar una explosión.

IV.3 NORMAS DE SEGURIDAD EN EL CORTE SUBACUATICO

a) El buzo debe estar totalmente vestido con el aparejo de buzo, que le presta completa protección aislante contra la obra

de tierra, el soporte y el agua.

b) Es obligatorio el uso de guantes de lona encauchada.

c) Cuando la fuente de energía eléctrica es de c.a., la cabeza del buzo debe quedar aislada de la escafandra, mediante el uso de un gorro protector de lana o un gorro de tela, debe aislarse el botón de la válvula de escape con cinta aislante de caucho o por cualquier otro medio perfectamente seguro.

d) No debe quedar sin el debido aislamiento ninguna de las partes sumergidas de los cables de plomo, el soplete será del tipo "aprobado", y si se utilizara un dispositivo sustitutivo durante una emergencia, dicho dispositivo deberá estar totalmente aislado.

e) Es obligatorio el hacer uso de un interruptor desconectador "aprobado", de funcionamiento positivo, en el circuito de soldadura para proteger al buzo operador.

Para que estos dispositivos sean efectivos, el buzo obedecerá las reglas siguientes:

1. La corriente permanecerá cortada en todo momento, salvo cuando el buzo esté cortando efectivamente o mantiene el ---

electrodo en posición de corte.

2. Al insertar el electrodo en el sujetador, el buzo procederá a localizar el punto de partida, luego colocará el electrodo contra la obra y cuando esté completamente listo y en posición de cortar, hará la señal conveniente para "conectar la --- corriente".

3. Una vez consumido el electrodo, el buzo se abstendrá de remover el cabo restante, sin antes hacer la señal convenida para "cortar la señal", esperando a que el ayudante le confirme esta señal. El ayudante a su vez, no dará confirmación a la señal del buzo sin haber previamente cortado el circuito, es decir, después de abrir el conmutador.

4. El buzo se abstendrá en toda ocasión, de sostener el -- soplete y el sujetador de electrodos, en forma tal, que apunten en dirección de su cuerpo, porque esto entraña un peligro idéntico al que supondría el apuntar una pistola cargada en dirección suya. (Fig.30).

5. Cuando se realicen operaciones subacuáticas con arco, - se tomarán precauciones para asegurarse en contra de las explosiones causadas por gases retenidos. Los gases explosivos tienen muy variadas fuentes, y un análisis practicado sobre estos ga-

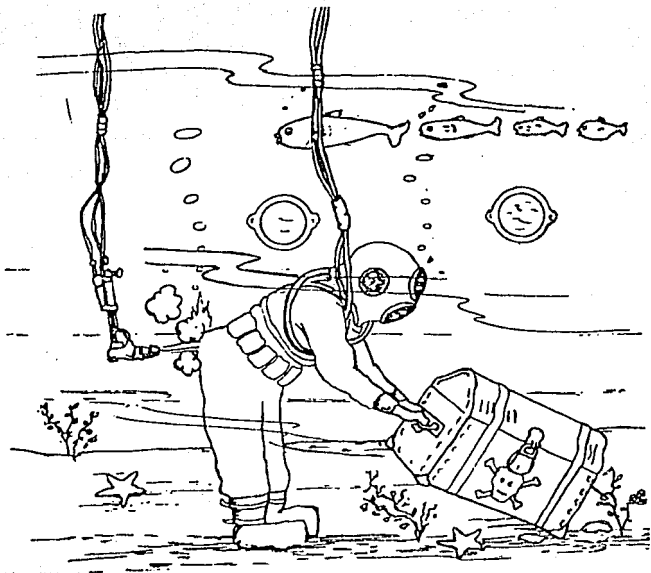


FIGURA 30

ses desarrollados durante las operaciones subacuáticas con ar-
co, revelan que su composición tiene un alto porcentaje de hi-
drógeno. Por consiguiente, es obligatorio que previo al corte
dentro de un compartimiento cerrado o rincón, se faciliten me-
dios para purgar los gases generados con el fin de evitar toda
posibilidad de explosión. Se tomará el cuidado de verificar --
que el compartimiento contiguo no contenga gases explosivos re-
tenidos.

6. Todas las partes sumergidas de cables y sujetadores de
electrodos deberán estar perfectamente aisladas.

Las fuentes de peligro más comunes inherentes a las opera-
ciones subacuáticas por oxi-hidrógeno son:

1. Los gases explosivos del buque. Estos gases explosivos
son producidos por las siguientes sustancias:

- 1.1 La gasolina.
- 1.2 El aceite combustible.
- 1.3 Los vehículos para la mezcla de pintura, tales
como la trementina y el aceite de linaza.
- 1.4 Las municiones.
- 1.5 Los desperdicios vegetales o animales.

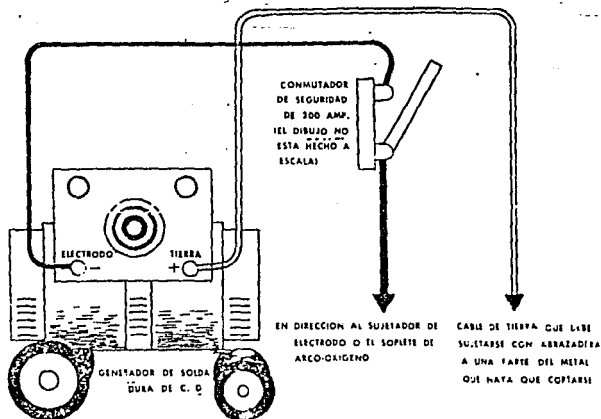
IV.4 FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

Corte Subacuático

Arco Oxígeno

Generadores para soldadura. La fuente de energía eléctrica preferida para el corte subacuático con arco oxígeno, es propiamente un generador de soldadura de c.d. con capacidad de por lo menos 300 amperios, conectado para obtener polaridad en línea recta, según lo muestra la Fig. 31. Puede emplearse un transformador de soldadura de c.a. de igual capacidad, en el caso de que no haya disponible un generador de c.d. En este sentido, se señala muy particularmente que con el uso de la c.a. en las operaciones subacuáticas el riesgo es mayor, por lo que se advierte que no deben olvidarse las precauciones recomendadas.

Cables de soldadura. Para las operaciones de corte subacuático se recomienda el uso de cable de soldadura extra-flexible, de la medida 0 (105.000 M.C.) y de la medida 2/0 (133.000 M.C.) conforme al tipo TRXF de las especificaciones militares MIL-C-915. El del tamaño mayor es ventajoso en trabajos que se ejecutan a distancia considerable de la fuente de energía eléctrica, debido a su baja resistencia.



10) TODA OPERACION DE CORTE Y SOLDADURA SUBMARINA SE HACE GENERALMENTE CON POLARIDAD EN LINEA RECTA, DE ACUERDO A LA ILUSTRACION

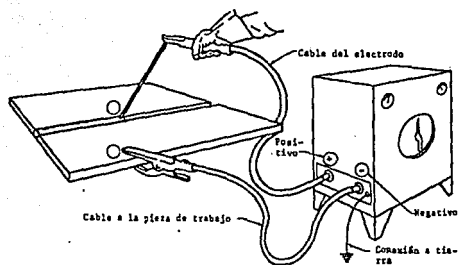
- 11) DETERMINACION DE LA POLARIDAD- SI LAS MARCAS EN EL GENERADOR DE SOLDADURA NO SON LEGIBLES, LA POLARIDAD PODRA DETERMINARSE DE LA MANERA SIGUIENTE:
- 11) CON EL GENERADOR APAGADO, CONECTENSE LOS ALAMBRES DE TIERRA Y DE SOLDADURA A LOS TERMINALES
 - 12) SUJETESE FIRMEMENTE UN ELECTRODO CUBIERTO AL ALAMBRE DE TIERRA E INSERTESE OTRO ELECTRODO EN EL SUJETADOR DEL SOPLETE
 - 13) COLOCQUENSE LOS EXTREMOS DE LOS DOS ELECTRODOS EN UN RECIPIENTE DE AGUA SALADA
 - 14) CERCIORESE DE QUE EL OPERARIO SE ENCUENTRE DEBIDAMENTE AISLADO CONTRA LA CORRIENTE
 - 15) MANTENGANSE LOS EXTREMOS A UNA DISTANCIA DE DOS PULGADAS Y CONECTESE LA CORRIENTE LO QUE DARA LUGAR A QUE HUYAN BUBUJAS DEL POLO HI NEGATIVO, PERO PRACTICAMENTE NINGUNA (LUIRA DEL POLO HI POSITIVO
 - 16) SI LA POLARIDAD CORRECTA QUEDARA DETERMINADA SI LAS BUBUJAS ASCENDENTES PROCEDEN DEL ELECTRODO DE SUJETADOR DE LO CONTRARIO SI INVERTIAN LOS ALAMBRES .

FIGURA 31

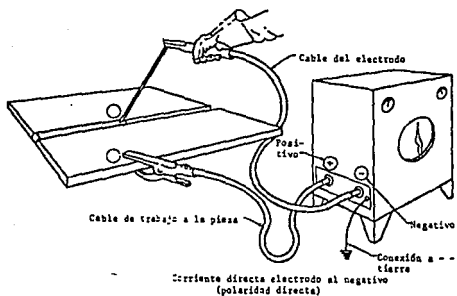
Conmutadores de Seguridad. Cuando se utiliza un conmutador de un solo polo, debe tenerse especial cuidado de que el conmutador no experimente una derivación reductora de corriente. Solamente se puede estar seguro de esto, cuando el cable entre a la máquina soldadora y el interruptor quede totalmente aislado en toda su extensión. El conmutador que generalmente se suministra para trabajos de corte y soldadura subacuática tiene las siguientes características: equipo reglamentario NO. 17824580, conmutador de tipo K de cuchilla no fusible, de un solo polo, de una sola caída y de 200 amp., 250 v.

Arco Metálico

Generadores. Se recomienda emplear como fuente de energía eléctrica para el corte subacuático por arco metálico un generador de c.d., con capacidad por lo menos de 400 amp. Se debe conectar en línea recta, conforme lo indica la Fig. 32. Se puede, sin embargo, lograr un corte satisfactorio con un generador de 300 amp., pero el promedio de corte será más bajo comparativamente de utilizarse un amperaje más alto. Podrán acoplarse en paralelo dos máquinas de funcionamiento individual, cuando se precise aumentar la potencia nominal de una de dichas máquinas.



Polaridad invertida



Corriente directa electrodo al negativo (polaridad directa)

FIGURA. 32

Se considera satisfactorio el uso de la c.a. como fuente de energía eléctrica, no obstante su manipulación requiere una mayor habilidad de parte del operario debido a lo inestable. Por otra parte, la c.a. no suministra tanto calor como el amperaje correspondiente con c.d. Por consiguiente, los regímenes de corte serán un 10% más bajos que los que se obtienen con c.d. Además, desde el punto de vista de seguridad, la corriente alterna ofrece mayor riesgo.

Cables. Para las operaciones de corte subacuático por arco metálico se recomienda utilizar cables extraflexibles de un tamaño mínimo de 2/0 (133.000 M.C.) conforme al tipo TRXF según especificaciones militares MIL-C-915, salvo un trozo de cable de 10 pies de largo, adherido al sujetador de electrodc, cuyo tamaño será del 1/0 (tipo TRXF) que servirá para ayudar al buzo a manipular el electrodc.

Interruptores de seguridad. Como en todas las operaciones subacuáticas de corte y soldadura que involucran circuitos eléctricos, es de gran importancia el utilizar un interruptor de funcionamiento positivo con el circuito eléctrico.

Oxi-hidrógeno

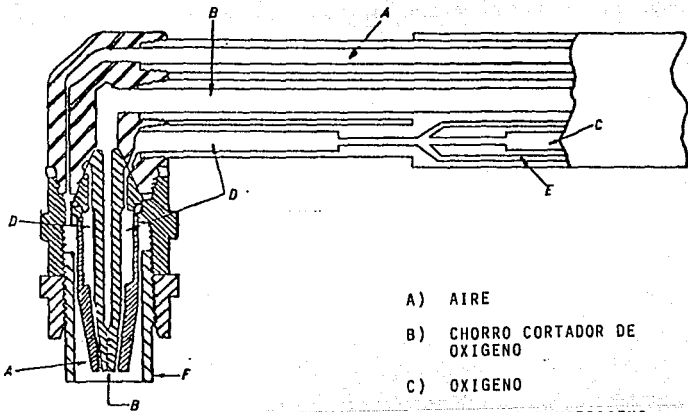
Para el corte subacuático con soplete de oxi-hidrógeno, se requiere el siguiente equipo y su correspondiente suministro:

- a) Soplete de oxi-hidrógeno para el corte subacuático.
- b) Oxígeno en cilindros.
- c) Hidrógeno en cilindros.
- d) Reguladores y manómetros para el oxígeno y el hidrógeno.
- e) Aire comprimido
- f) Mangueras para el oxígeno, hidrógeno y aire.
- g) Encendedor eléctrico subacuático.
- h) Llave de tuercas para válvula.
- i) Vestuario protector.
- j) Múltiples.

Soplete de oxi-hidrógeno. El funcionamiento del soplete - se basa en lo siguiente (Fig. 33):

- a) El cilindro exterior de aire comprimido (A), repele el agua que circunda a la llama.
- b) La llama de precalentamiento, producto de la mezcla del hidrógeno y del oxígeno (D), suministra el calor necesario para comenzar el corte y mantener la temperatura del mismo.

c) El chorro central de oxígeno realiza el corte efectivo mediante oxidación y el soplado a presión de una estrecha franja del metal.



- A) AIRE
- B) CHORRO CORTADOR DE OXIGENO
- C) OXIGENO
- D) OXIGENO E HIDROGENO MIXTO
- E) HIDROGENO

RELACIONES OPERATIVAS DE LOS GASES EN EL SOPLETE
DE CORTE SUBACUATICO

FIGURA 33

Cilindros. El oxígeno y el hidrógeno comprimidos que se emplean en las tareas subacuáticas, regularmente se estiban y se embarcan en cilindros de acero.

Los cilindros de gas comprimido se pintan en colores especificados para su inmediata identificación. El código de colores para el oxígeno, hidrógeno y el aire comprimido, es el que se señala a continuación:

Aire comprimido	Todo negro
Oxígeno	Todo verde
Hidrógeno	Cuerpo en amarillo, hombro superior en amarillo de 6 pulgs., franja negra de 3 pulgs.

Reguladores y manómetros. El regulador, el manómetro de alta presión y el manómetro de baja presión se suministra como unidad completa.

El manómetro de alta, indica la presión del gas dentro del cilindro. El regulador controla el gas que entra a la manguera.

Seguridad de los reguladores y manómetros:

- a) Se debe tomar toda clase de precauciones con el fin

- mantener limpio de polvo, grasa o suciedades el regulador.
- b) Los reguladores y manómetros no deben ser sometidos a sacudidas bruscas o golpes innecesarios.
 - c) Cuando no estén en uso, los reguladores deben ser separados de los cilindros y almacenados en un cajón de herramientas u otro lugar seguro.
 - d) Las reparaciones que se efectúen en los reguladores y manómetros deben ser hechas únicamente en un taller de reparación autorizado, usando equipos -- adecuados con herramientas especiales y repuestos.

Fallas de Reguladores:

- a) Esgurrimiento (la baja presión se mantiene constante. Esto generalmente obedece a un asiento de válvula averiada o desgaste. La costumbre de admitir dentro del regulador la totalidad de la presión, -- deteriora los reguladores en muy corto tiempo. Para remediar el escurrimiento de un regulador, es -- preciso hacer renovar el asiento mediante la intervención de un operario competente.
- b) Imposibilidad de ajustar el regulador. Esto se -- debe generalmente a un diafragma roto. Hágase verificar el regulador en un taller especializado.

- c) Las conexiones no encajan dentro del cilindro. Efectúese una doble verificación, para cerciorarse de que los gases suministrados son los correctos y que el regulador que se usa con dichos gases es el apropiado.

Llaves de válvula. Con todos los equipos de corte subacuático se suministra una llave adecuada para su uso en el ajuste de conexiones.

Mangueras. Se especifican los colores a continuación:

Rojo - para el hidrógeno (acetileno)

Verde - para el oxígeno

Negro - para el aire

Para el corte subacuático se recomiendan mangueras de 5/16 plg. de diámetro interior. Las conexiones de mangueras están hechas de una aleación especificada a base de cobre. Las mangueras de los gases combustibles están provistas de rosca de conexiones izquierda, mientras que para las mangueras de oxígeno se usan roscas de conexión derecha.

Encendedores subacuáticos. Es preferible que el buzo encienda el soplete, después de haber descendido, cuando esté listo para comenzar el trabajo. Se ha desarrollado un tipo de encendedor eléctrico para este -

fin. El encendedor se muestra en la Fig. 34, debe utilizarse únicamente para encender el soplete bajo el mar. El dispositivo de ignición con 120 v. de c.d.

ENCENDEDOR DE SOPLETE SUBMARINO



SUMINISTRO DE 120 VOLTIOS

INTERRUPTOR DE 30 AMPERIOS
FUSIBLE DE 30 AMPERIOS

CAJA DE RESISTENCIA

TIERRA

RESORTES DE CONTACTO

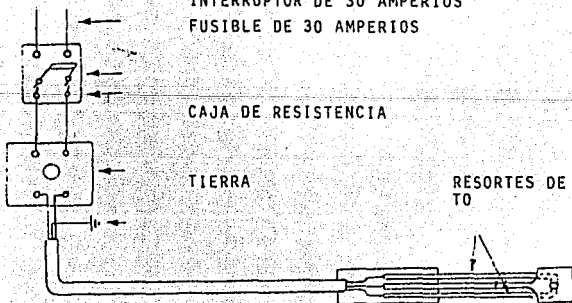
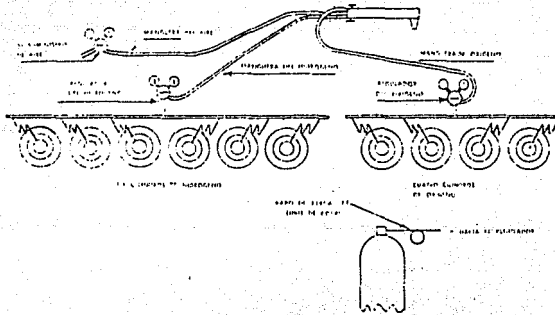


DIAGRAMA DE CONEXIONES

FIGURA 34

Múltiples. Los múltiples que también se llaman "bloques de acoplamiento", se usan con el fin de conectar dos o más cilindros de la misma clase de gas, para vaciar dicho gas a través de un solo regulador. La Fig. 35 muestra un esquema para la disposición de un múltiple.



MÚLTIPLE PARA EL CORTE SUBMARINO CON GASES

FIGURA. 35

Soldadura Subacuática

Generadores. Para la soldadura subacuática, la fuente de energía eléctrica preferida es un generador de soldadura de c.d. con capacidad de por lo menos 300 amp. conectado para obtener polaridad en línea recta, según lo muestra la Fig. 32. En caso de emergencia puede utilizarse una máquina de 200 amp. graduada para el máximo voltaje o cercano al máximo. En caso de no disponer de un generador de c.d. se podrá utilizar un transformador de 300 amp. de c.a., pero se prestará especial atención a los reglamentos de seguridad con motivo del empleo de c.a.

Interruptor de Seguridad. En el circuito de soldadura es preciso instalar un interruptor de seguridad de funcionamiento positivo. Este interruptor permanece abierto en toda ocasión, salvo cuando el buzo se encuentra soldando efectivamente o sostenga el electrodo en posición de soldar.

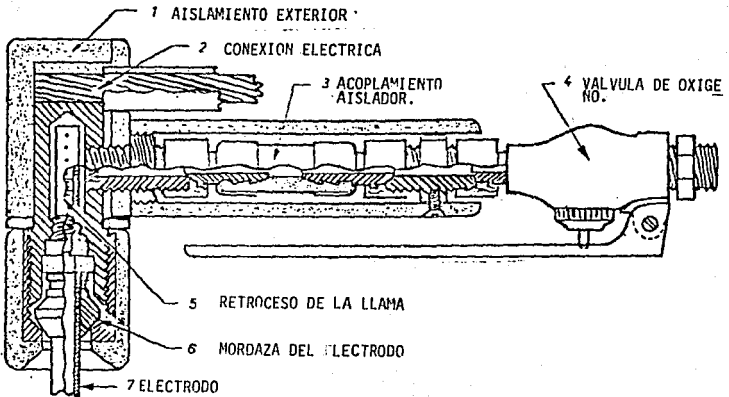
Cables. Para las operaciones de soldadura subacuática, se recomienda un tamaño mínimo de cable extra flexible, bajo el número 2/0, la duración de cualquier cable puede prolongarse mediante un arrollamiento adecuado y exponiéndolo lo menos posible al contacto con el aceite.

IV.5 SOPLETES, SUJETADORES DE ELECTRODOS Y TIPOS DE ELECTRODOS

Arco-oxígeno

Los componentes de un soplete cortador de arco-oxígeno -- son los siguientes (Fig. 36):

- a) Un mandril o abrazadera para sujetar el electrodo tubular y facilitar la entrada del oxígeno al tubo.
- b) Una válvula para el oxígeno.
- c) Una conexión eléctrica.
- d) Un protector para los destellos de retorno, para ser usado con los electrodos tubulares de acero.
- e) Un empalme (conexión) de aislamiento que se instala entre la válvula y el mandril, para salvaguardar al operario de todo shock eléctrico y para evitar el desgaste de la válvula como consecuencia de la electrólisis.
- f) Aislamiento integral (con cinta aislante de caucho), - para todas aquellas partes metálicas expuestas del soplete que son portadoras de corriente eléctrica. Únicamente se usan sujetadores de electrodos que han sido diseñados específicamente para el corte subacuático, y con la suficiente capacidad para el régimen máximo de corriente requerida por los electrodos, con los cuales se va a usar el sujetador.



SOPLETE CORTADOR

FIGURA 36

Electrodos tubulares de acero. Los primeros en usar el método de corte subacuático por arco-oxígeno, emplearon electrodos de hierro fundido y de bronce debido a que estos materiales no se oxidan con facilidad. Los electrodos tubulares con núcleo de acero adoptado por la fuerza naval como modelo reglamentario para el corte subacuático conforme al procedimiento de arco-oxígeno, tienen 5/16" de diámetro exterior, 14" de longitud y un calibre lige-

ramente inferior a 1/8".

El revestimiento con el cual se cubre el electrodo obedece al pronóstico siguiente:

- a) Formar y mantener una vaina protectora en torno al arco. Para que esto sea posible, el revestimiento deberá consumirse más lento que el núcleo.
- b) Liberar los gases que forman la burbuja mediante la cual se mantiene el arco.
- c) Servir el aislamiento eléctrico aún cuando estuviera mojado, prestando protección al buzo operario en caso de contacto corporal accidental, mientras que esté cortando.
- d) Evitar la formación de arco de lado del electrodo cuando se trabaja en espacios reducidos. Este revestimiento debe consumirse en forma concéntrica durante el corte, con el objeto de permitir el re-encendido del arco si fuese necesario, y no debe formar escoria sobre el material que se corte, ya que si éstas se depositan sobre la ranura, impedirán que continúe la oxidación.

Electrodos tubulares de cerámica. El núcleo del electrodo tubular de cerámica es de un tipo de carborundum altamente refractario. Su pun

to de fusión es más alto que el del acero; no le afecta el flujo del oxígeno y es conductor de la electricidad. Dicho núcleo tiene un diámetro de $1/2$ " , 8" de largo con un calibre de $1/8$ ". A lo largo del núcleo se aplica una cubierta de acero dulce - de $1/32$ " de espesor, mediante el procedimiento de metalización. Luego se cubre el tubo con una camisa aislante de electricidad, saturada de laca impermeable. A continuación se toma un extremo de la cubierta de acero de $1\ 1/4$ " de largo, rebajándolo hasta un diámetro de 0.525" cuyo extremo servirá de empuñadura.

Electrodos tubulares de Emergencia. En caso de emergencia, no habiendo disponibles electrodos reglamentarios tubulares de corte por arco-oxígeno, puede construirse un sustituto satisfactorio con materiales disponibles a bordo. Estos electrodos de emergencia pueden hacerse con tubería ordinaria. Para esto basta disponer de un tubo de acero de $5/16$ " o de un tubo de hierro extra fuerte de $1/8$ ", los cuales se cortarán en trozos de 14". Los tubos serán recubiertos en toda su extensión con una envoltura de cinta aislante protectora o papel, de 0.020" de espesor con excepción del extremo que sirve de empuñadura. Mediante cualquiera de estos procedimientos se obtendrá la envoltura adecuada.

3 envolturas de cinta aislante protectora

o

4 envolturas de papel de periódico

o

3 envolturas de papel corriente de envolver

o

3 envolturas de papel de escribir

Comparación entre los electrodos tubulares de cerámica y los de acero. Los electrodos tubulares de cerámica y los de acero pueden considerarse más complementarios entre sí. De utilizar una fuente de energía eléctrica de c.a. en la generalidad de los casos, el electrodo tubular de acero será más satisfactorio. Con energía eléctrica de c.d., ambos electrodos proporcionan excelentes resultados. Desde el punto de vista económico, el rendimiento efectivo del electrodo tubular de cerámica es superior al del electrodo tubular de acero para tareas con planchas de acero gruesas hasta un espesor de 3/4", mientras que el electrodo tubular de acero es más adecuado para cortar planchas de mayor espesor. No obstante, ambos electrodos pueden emplearse con ventajosos resultados -- dentro de una extensa gama de espesores de planchas de acero.

Ventajas del electrodo de cerámica sobre el electrodo de acero.

a) Larga duración debido al régimen lento de combus-

tión.

- b) Adecuado para trabajos en espacios reducidos, debido a su longitud de solo 8".
- c) Peso liviano

Ventajas del electrodo de acero.

- a) Una técnica sencilla de fácil aprendizaje
- b) Facilidad para las operaciones de corte con metales de todos los espesores
- c) Su rendimiento con c.a. es casi igual al obtenido con c.d.
- d) Régimen de corte rápido
- e) Cortes limpios y precisos
- f) La potencia eléctrica requerida no sobrepasa los 300 amp. de capacidad del transformador o generador de soldadura.

Arco Metálico

Electrodos. Las dos marcas comerciales que han rendido los mejores resultados después de ser sometidos a prueba de laboratorio, son los siguientes:

- a) Altamex, un producto de la Metal & Thermit Corpo-

ration.

- b) Flexare S.W., un producto de Westinghouse Electric & Manufacturing Company.

Impermeabilización del electrodo. Por motivo de que los electrodos se dañan - al ser sumergidos bajo el agua (mar), se recomienda impermeabilizar su revestimiento, sumergiendo el electrodo en una solución impermeabilizadora, semejante a la descrita a los electrodos tubulares. Después de la impermeabilización, se procede a limpiar los extremos de los electrodos para remover la capa -- excedente de solución, dejando al descubierto un trozo de alambre pelado suficiente para encender fácilmente el arco.

Soldadura Subacuática

Sujetadores de electrodos. El sujetador de electrodos que se emplea para la soldadura - subacuática estará dotado de aislamiento, ser resistente y permitir el cambio fácil de electrodos.

Los sujetadores de electrodos de mandíbulas metálicas, semejantes a los que se usan para la soldadura al aire, son diferentes e imposibles de aislar convenientemente, por lo que su uso quedará limitado a casos de emergencia cuando no haya disponi

bilidad de un sujetador reglamentario.

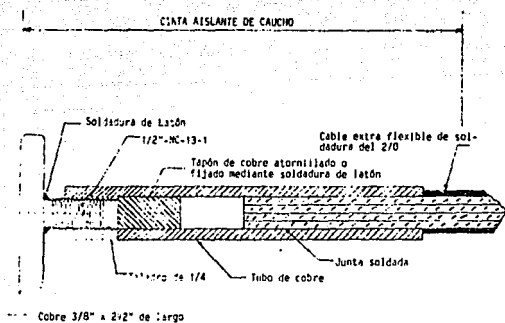
La Fig. 37 muestra un sujetador de electrodo subacuático - improvisado, el cual es aceptable y cuya ensambladura puede efectuarse con accesorios reglamentarios de tubería, o su equivalente.

Electrodos. No se han desarrollado tipos de electrodos de diseño específico para su uso en soldadura subacuática. Cierto tipo de electrodos comerciales destinados al uso de soldadura al aire, que han dado un rendimiento satisfactorio en pruebas subacuáticas son los siguientes:

- a) El "Flexare, S.W." marca Westinghouse, ha sido elaborado para c.a., c.d. y soldadura para todas las posiciones. Tamaño de diámetro 5/32" y 3/16".
- b) El "Fleetweld 37", marca Lincoln, para c.a. y c.d. y -- para soldadura en toda posición. Tamaño de diámetro -- 5/32" y 3/8".

Impermeabilización del electrodo. Debido a que los revestimientos de electrodos se desgastan al ser sumergidos en el mar, se recomienda impermeabilizar dichos revestimientos, sumergiendo el electrodo en una de las soluciones impermeabilizadoras que veremos en el

artículo accesorios. Se precisarán dos sumersiones de acuerdo a la consistencia de la solución. Se recomienda bajar al buzo unos electrodos a la vez, pues la impermeabilización sólo protege el revestimiento del electrodo durante un período de tiempo limitado.



SUJETADOR DE ELECTRODO SUBACUATICO

FIGURA. 37

Los resultados de las numerosas pruebas con electrodos comerciales en la soldadura subacuática están tabulados en la Tabla 8. Esta tabla tiene las siguientes funciones:

- a) La de clasificar los electrodos comerciales para su uso en todas las posiciones, con ambas corrientes c.a. y c.d. Las marcas Westinghouse, Flexare S.W. y Lincoln Fleetweld 37, son las únicas que se recomiendan para la soldadura subacuática en todas las posiciones. Otros electrodos quedan clasificados como sustitutos, cuando no hubiera disponibilidad de los anteriores.
- b) Indicar la graduación adecuada para el régimen de corriente operante en condiciones normales. Para aquellas condiciones especificadas, las graduadas del régimen exacto de corriente podrán ser determinadas mediante el examen de las muestras de soldadura ejecutadas en condiciones existentes, siendo que los regímenes de corriente varían de acuerdo a la longitud del cable de soldadura y al espesor de la placa. Los valores existentes son para c.d. Para su empleo con c.a. se añadirá un 10% al valor de las corrientes en referencia.
- c) Señala el tiempo para el consumo de 12" de electrodos en el procedimiento de la soldadura suba-

cuática. Es esta la base de un método sencillo para la obtención del régimen de graduación de corriente, cuando no haya medidores disponibles. Se sugiere el poner en práctica el siguiente procedimiento para la obtención del régimen adecuado de corriente, mediante el cronometraje de la deposición:

- 1) Se mide el largo del electrodo antes de que el buzo comience a soldar. Ejemplo: 14".
- 2) Se cronometrará el tiempo de consumo del electrodo. Ejemplo: 55 seg.
- 3) Se mide la longitud del cable restante. Ejemplo: 3", y se calcula el régimen de combustión: $14" - 3" = 11"$, régimen de combustión.
- 4) Se calculará el tiempo requerido para el consumo de 12" de electrodo. Ejemplo: $\frac{12}{11} \times 55 = 60$ seg.
- 5) Cuando la tabla indica 50 seg. como tiempo correcto de consumo para 12" de electrodo, se aumentará la graduación del régimen de corriente, con el fin de acelerar el régimen de combustión del electrodo, lo cual rebajará el tiempo de consumo.

Cuando la tabla indicara 65 seg. como tiempo adecuado, se procederá a disminuir la graduación del régimen de corriente, para que el electrodo no se consuma demasiado rápido. Este método se basa en el hecho de que el régimen de combustión para el electrodo, es proporcional a la corriente, manteniéndose constante el voltaje cuando se utiliza la técnica de "auto-consumo".

- 6) Se ejecutan varias soldaduras de prueba, en condiciones válidas, para verificar la exactitud de la corriente antes de comenzar la tarea.

ELECTRODOS RECOMENDADOS

ELECTRODO	TAMAO	POSICION	CORRIENTE (AMPERIOS) (X)	TIEMPO PARA EL REGIMEN DE COMBUST. DE 12 PULGADAS (SEGUNDOS)
WESTINGHOUSE FLEXARC SA	5/32	H	170 - 210	56 - 44
		V	170 - 210	56 - 44
		O.H.	170 - 190	56 - 50
	3/16	H	220 - 260	59 - 50
		V	220 - 260	59 - 50
		O.H.	190 - 210	66 - 61
LINCOLN FLEETWELD 37	3/16	H	220 - 260	60 - 49
		V	220 - 260	60 - 49
		O.H.	200 - 220	66 - 60

ELECTRODOS SUSTITUTIVOS

ELECTRODO	TAMAO	POSICION	CORRIENTE (AMPERIOS) (X)	TIEMPO PARA EL REGIMEN DE COMBUST. DE 12 PULGADAS (SEGUNDOS)	
A.O. SMITH SOLDADORA SMITH 15	3/16"	H	220 - 260	55 - 45	
		V	220 - 260	55 - 45	
THERMIT Y METAL MOREX ALTERNEX	1/4"	H	250 - 290	86 - 77	
		3/16"	H	210 - 250	55 - 45
			V	210 - 250	60 - 55
	3/16"	O.H.	180 - 210	60 - 55	
		1/4"	H	230 - 270	90 - 73
	HOLLUP SUREVELD "C"	3/16"	H	200 - 240	83 - 73
V			220 - 240	83 - 73	
REID-EVERY RACO 7	1/4"	H	210 - 230	74 - 65	
		V	210 - 230	74 - 65	
		3/16"	H	200 - 240	55 - 49
V	200 - 240		55 - 49		
O.H.	170 - 190		61 - 57		
GENERAL ELECTRIC G.E. M - 25	1/4"	H	180 - 220	61 - 51	
		V	180 - 220	61 - 51	

(X) PARA C.D. SOLAMENTE AÑADIR EL 10% PARA C.A.

X NO SE PROBARAN ESTOS ELECTRODOS EN EL TAMAÑO DEL 5/32 DE PULGADA. EN LA MAYORIA DE LOS CASOS LOS ELECTRODOS DE 5/32 DE PULGADA SERAN SATISFATORIOS.

CAPITULO V

NORMAS PARA LA INSPECCION Y PRUEBAS EN LA SOLDADURA SUBACUATICA

V.1 Inspección de la Soldadura Subacuática

V.2 Pruebas y Normas de la Aceptabilidad de la Soldadura Subacuática

V.1 INSPECCION DE LA SOLDADURA SUBACUATICA

a) Las soldaduras como procedimientos de fabricación y construcción, están sujetas a inspección visual y a pruebas no destructivas. La prueba no destructiva como operación final, normalmente no es realizada antes de 48 horas después de haber completado las soldaduras en cuestión. Por otra parte, cuando el tratamiento de calentamiento para una soldadura posterior es ejecutado, la prueba final no destructiva normalmente se realiza cuando todos los tratamientos de calentamiento han sido completados.

b) Todas las soldaduras serán inspeccionadas visualmente en toda su longitud, excepto aquellas que se encuentren en toda la superficie de la estructura, que sean inaccesibles o muy difíciles para inspeccionar en servicio, entonces se usarán -- las pruebas no destructivas en toda su longitud. En la Tabla 9 se muestra la extensión mínima de las pruebas no destructivas en soldaduras estructurales. (Los porcentajes se refieren a la longitud total de la soldadura en cuestión para cada ensamble estructural).

c) La prueba de ultrasonido puede ser sustituida por la prueba radiográfica y viceversa.

Clasificación de los aceros	Tipo de Conexión	Inspección Visual	Soldaduras hechas en la zona atmosférica			Soldaduras hechas en la zona superficial o bajo el agua		
			Radio-grafía	Ultrasonido	Partícula Magnética	Radio-grafía	Ultrasonido	Partícula Magnética
Especial	Soldadura a Tope ²		10%	100%	20%	20%	100%	100%
	Unión en T ²	100%	-	-	100%	-	100%	100%
	Soldadura Filete		-	-	100%	-	-	100%
Primario	Soldadura a Tope ²		10%	10-20% ³	10%	10%	20%	20%
	Unión en T ²	100%	-	10-20% ³	20%	-	20%	100%
	Soldadura/Filete		-	-	20%	-	-	100%
Secundario	Soldadura a Tope ²		Spot ⁴	Spot	Spot	Spot	Spot	Spot
	Unión en T ²	100%	-	Spot	Spot	-	Spot	5%
	Soldadura/Filete		-	-	Spot	-	-	5%

Notas: 1) Acero estructural especial - es aquel destinado para miembros de la estructura que están sujetos a esfuerzos altos. (Conexiones - de columna, uniones cruzadas, etc.)

Acero estructural primario - es aquel que se utiliza en la mayor parte de la estructura y en miembros de la estructura de importancia para una seguridad operacional. (Poste extensible o de gableto, pilotes, apuntalamientos, viga doble T de ala ancha en cubiertas, tubería de elevación para soporte, plataforma para helicóptero, grúas, etc.)

Acero estructural secundario - es aquel seleccionado para otros miembros estructurales diferentes a los Especiales y Primarios.

- 2) Aplicable a la penetración total y parcial de la soldadura con una sección transversal de más de 12.5 mm.
- 3) 10% - cuando la prueba se aplica a uniones soldadas las cuales están sujetas a cargas estáticas principalmente.
20% - cuando la prueba se aplica a uniones soldadas las cuales están expuestas a cargas fluctuantes significativas.
- 4) "Spot" significa que el examinador dará a discreción 0 - 5%.
- 5) Prueba de partícula magnética aplicada a las superficies externa e interna, cuando sea posible.

d) La prueba no destructiva es particularmente para revisar la intersección de soldaduras a tope, uniones cruzadas y otras áreas donde el nivel de tensión es alto; es tan ventajoso como comenzar y detenerse en puntos de costuras automáticamente soldadas.

e) Las áreas soldadas que han sido tensionadas en su sección más delgada, son probadas por ultrasonido para prevenir el rompimiento laminar.

f) Si la prueba no destructiva revela defectos que indiquen una mala calidad de la soldadura, el inspector requerirá incrementar el grado de la prueba hasta que haya sido especificado el nivel de calidad.

Si varios defectos (fisuras, líneas excesivas de escorias y grupo de porosidades) ocurren repetidamente, todas las soldaduras hechas con el mismo proceso durante el período en cuestión, han de ser probadas en toda su longitud.

g) Todas las pruebas no destructivas han de ser propiamente documentadas e identificadas de modo tal, que las áreas probadas puedan ser fácilmente repasadas durante la fabricación, construcción y después de ser completada la instalación de la estructura.

V.2 PRUEBAS Y NORMAS DE LA ACEPTABILIDAD DE LA SOLDADURA SUBACUÁTICA

Selección del Método para Pruebas no Destructivas en las Soldaduras

Estos métodos han de ser escogidos considerando las condiciones de sensibilidad de cada uno.

Los métodos apropiados serán evaluados a continuación.

Prueba Radiográfica

a) Ha de ser establecida una especificación del procedimiento para esta prueba, la cual debe incluir al menos la siguiente información:

- Configuración de la unión y dimensiones.
- Fuente de radiación (Rayos X o gamma. Si son rayos gamma, tipo de isótopo).
- Técnica (Equipo: en voltaje o corriente, externo o interno).
- Relaciones geométricas (Fuente focal medida por puntos, distancia de película de foco, distancia de película del objeto, ángulo de radiación con respecto a la soldadura y

la película).

- Tipo de película (Nombre de fábrica y designación).
- Intensificación de pantallas (Enfrente y/o atrás, material, espesor).
- Condiciones de exposición (kV, mA, min).
- Proceso (Tiempo/temperatura de revelado, paro del baño, fijación, lavado, secado, etc.).
- La sensibilidad en por ciento del Indicador de Calidad de Imagen (IQI) del espesor de la pared, basado en los indicadores de frente y lado de película respectivamente.
- Densidad (La densidad de las mediciones radiográficas medida en el fondo del metal de aporte y las imágenes adyacentes del material base).
- Alcance de película.

b) el procedimiento radiográfico ha de ser calificado haciendo dos exposiciones radiográficas de una unión soldada con la misma o típica configuración y dimensiones, y de material igual o similar a aquella que es usada en la estructura.

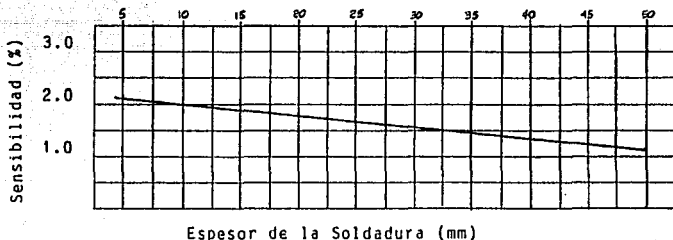
Los Indicadores de Calidad de Imagen (IQI) del tipo de alambre y del número requerido han de ser localizados ambos, del lado de la película y del lado de la fuente.

Los indicadores de calidad de imagen han de ser claramente

te identificados y la sensibilidad del indicador del lado de la fuente ha de ser igual o mejor que los requerimientos dados en la Gráfica 6. (Durante la producción radiográfica, en los casos donde el lado de la fuente es inaccesible, sólo los indicadores del lado de la película son requeridos).

GRAFICA 6

$$\text{Sensibilidad IQI} = \frac{\text{diámetro del alambre más pequeño} \times 100}{\text{espesor de la soldadura}} = \%$$



Requerimiento de la Sensibilidad IQI - Medidor de la Penetración del lado de la Fuente

Nota: Para la producción de la radiografía las lecturas de la sensibilidad basadas en el medidor de penetración del lado de la película, han de ser juzgadas por los resultados del proceso de calificación.

Las radiografías expuestas tendrán un promedio de densidad al sncéoo de la imagen del metal de aporte de 1.8 - 2.5.

c) Los que toman las radiografías deben estar capacitados para desarrollar una prueba satisfactoriamente, usando el proceso radiográfico calificado.

d) Si la técnica de panorama es usada para incluir el 100% de un perímetro tubular de soldadura en una exposición, un mínimo de tres medidores de penetración serán igualmente espaciados alrededor de la circunferencia.

Si la técnica de exposición múltiple es usada, cuando menos un medidor de penetración es indicado en cada película.

Las longitudes máximas de película aceptables, están limitadas por un incremento del 6% del espesor de la pared en la dirección de la radiación.

Todas las películas han de ser claramente marcadas para -- identificar la soldadura conveniente, y así cualquier incoherencia podrá ser rápidamente localizada y con exactitud.

e) Los que toman las radiografías harán un reporte de evaluación de la calidad de la soldadura de todas las radiografías. El reporte indicará si la calidad de la soldadura reune los requerimientos de las normas de aceptabilidad, cuáles defectos -- han sido juzgados inaceptables y el número de reparaciones he--

chas para reunir los requerimientos.

Prueba de Ultrasonido

a) El equipo usado en la prueba de ultrasonido es para:

- Ser aplicable en la técnica eco-pulsación y en la técnica de doble sondeo.
- Cubrir un rango mínimo de frecuencia de 2 - 6 MHz.
- Tener una pantalla plana accesible desde el frente para el trazado directo de las curvas de referencia.
- Permitir ecos con amplitudes del 5% del total de la amplitud de pantalla para ser claramente detectables bajo las condiciones de prueba.
- Incluir transductores de rayos rectos, y transductores de rayos angulares de 45°, 60°, 70° y 80°.

b) Ha de ser establecida una especificación del procedimiento para esta prueba, la cual debe incluir al menos la siguiente información:

- Tipo de instrumento
- Tipo de transductores
- Frecuencias
- Detalles de calibración
- Requerimientos de superficie

- Tipo de acoplamientos
- Técnicas de exploración (análisis)
- Detalles de registro
- Referencia para aplicar los procedimientos de soldadura

c) El procedimiento de prueba de ultrasonido requiere que sea evaluado a través de un procedimiento de prueba de calificación.

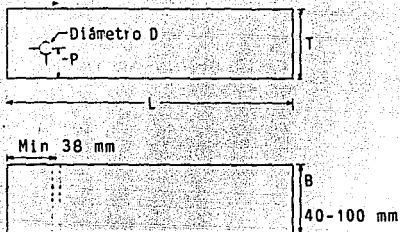
La prueba ha de ser desarrollada bajo condiciones normales de trabajo en presencia de un inspector (examinador).

Las piezas examinadas deberán estar disponibles como referencia durante el trabajo de inspección.

Con el equipo estacionario, el procedimiento de prueba es para ser realizado en piezas que contienen tipos de defectos artificiales, los cuales son los que se intenta detectar.

Para el equipo portátil, los bloques de referencia como se describen en la figura 38, normalmente serán considerados satisfactoriamente como piezas probadas. Sin embargo, la geometría actualizada, el método de soldadura u otros factores, pueden causar problemas en la detección del defecto. Debido a esto, las piezas a examinar requieren de una preparación especial.

---Superficie de contacto probada



- L = longitud del bloque de ref. dado por el ángulo de prueba y el rango de material para ser cubierto.
- T = Espesor del bloque de referencia.
- B = Ancho del bloque de ref., min. 40 mm.
- D = Diámetro hoyo perforado.
- P = Posición del hoyo perforado.

Espesor actual de la pared t (mm)	Espesor del bloque de ref. T (mm)	Posición del hoyo perforado. P (mm)	Diámetro del hoyo perforado. D (mm)
t < 25	20 ó t	T/2	2.4
25 < t < 50	38 ó t	T/4	3.2
50 < t < 100	75 ó t	T/4	4.8

El diámetro del hoyo puede ser que se requiera reducir cuando la geometría actual y/o el procedimiento de soldadura den razones para esperar tipos especiales de defectos, dando pequeñas reflexiones.

Bloques para la Construcción de las Curvas de Referencia

FIGURA 3B

d) La calibración del equipo de ultrasonido ha de ser realizada cuando éste se encuentre fuera de función, incluyendo en cendón/apagado, y cuando haya cualquier duda concerniente al funcionamiento propio del equipo.

Las piezas examinadas con el equipo estacionario de prueba descritas en c), pueden ser usada además como referencias de calibración. Otras referencias de calibración serán evaluadas en cada caso. Será responsabilidad del fabricante (agencia de inspección) proveer la información completa como una base para cada evaluación.

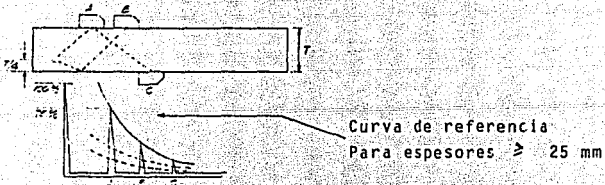
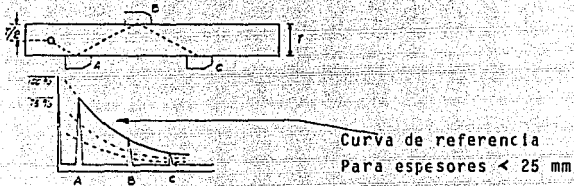
Para evaluar las indicaciones del flujo, se establece una curva de referencia. Dicha curva puede ser trazada en la pantalla del instrumento.

Un bloque de referencia es usado para beneficio de la calibración y para la construcción de las curvas de referencia. El bloque de referencia está hecho de la producción actual de material y tiene las dimensiones según la figura 38.

Como se muestra en la figura 39, la vía del sonido que va del punto A al reflector de referencia no es menor de $0.6N$, donde N es la longitud del campo cercano de la prueba.

La altura del eco de la posición A es maximizada, y la ganancia del control regulado así obtenido es que la altura del eco es del 75% de la altura total de la pantalla. Esta ganancia obtenida es llamada "ganancia primaria". Sin alterar esta ganancia, la maximización de las alturas del eco de los puntos

B y C serán trazadas en la pantalla. La curva de referencia es ahora dibujada como una línea continua a través de los tres puntos. Además han sido construidas las curvas de 20% y 50% respectivamente de la curva de referencia.

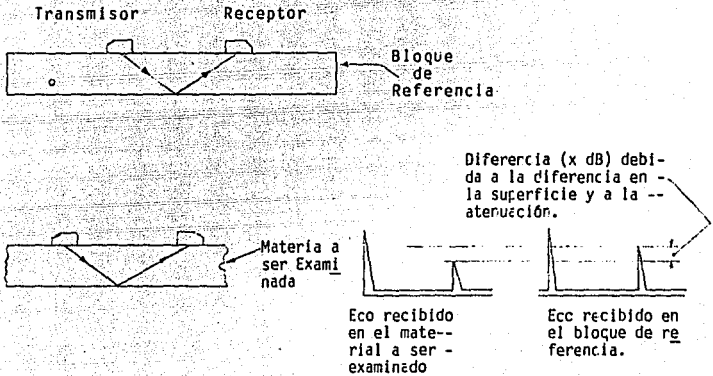


Construcción de curvas de referencia.

FIGURA 39

La ganancia primaria es corregida por las diferencias en el carácter de la superficie y atenuación entre el bloque de referencia y la pieza actual de trabajo, utilizando la técnica de

la doble prueba. Ver la figura 40. La corrección necesaria de la ganancia debida a tal diferencia ha de ser de 6 dB máximo.



Ateruación y Corrección de Superficie
(Técnica de la doble prueba)

FIGURA 40

- e) Los operadores del ultrasonido han de ser capaces de:
- Calibrar el equipo.
 - Ejecutar una prueba operacional satisfactoriamente -

bajo condiciones de producción.

- Interpretación del trazo en la pantalla.
- Evaluar el tamaño y la localización de los reflectores.

f) La superficie a la cual se va aplicar la prueba de ultrasonido deberá estar limpia y lisa, por ejemplo, libre de polvo, incrustaciones, herrumbre, salpicadura de soldadura, etc., ya que estos factores pueden influir en los resultados de la prueba.

g) La soldadura será normalmente examinada al menos dos lados como se muestra en las figuras 41 y 42.

Para la detección del defecto, la ganancia primaria corregida será incrementada a 6 dB (de acuerdo con D), pero no se puede evaluar el tamaño del defecto.

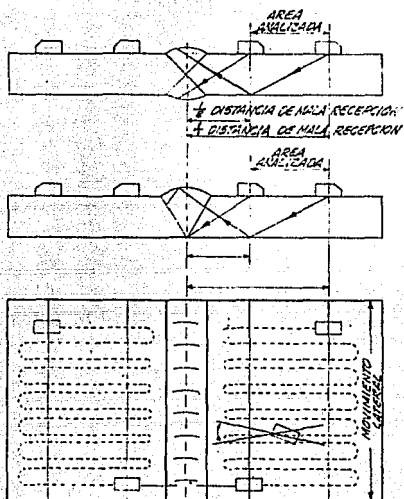
Todos los ecos que exceden del 20% de la curva de referencia, cuando se examina con el incremento de nivel de ganancia (referencia del nivel de ganancia corregida + 6 dB), son aptos para la evaluación del tamaño del defecto.

Los defectos han de ser investigados por la maximización de los ecos con diferentes ángulos de prueba y turnando las -

pruebas.

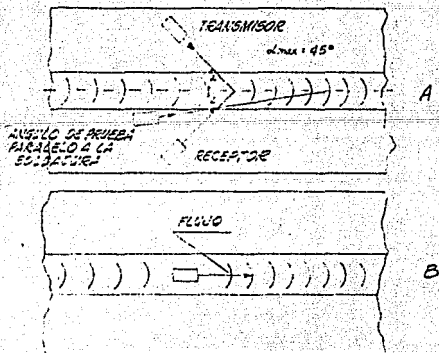
Para una evaluación dimensional es usado cualesquiera de los dos métodos siguientes, el de "Caída de 20 dB" o el de "Caída de valor medio".

h) Los operadores del ultrasonido deberán reportar todos los defectos que a través del eco excedan del 50% de la curva de referencia. El reporte mostrará si la calidad de la soldadura satisface los requerimientos de las normas de aceptabilidad, y el número de reparaciones hechas para satisfacer dichos requerimientos.



Examen del movimiento para la prueba de soldadura a tope.

FIGURA 41



Detección de fisuras transversales

FIGURA 42

Prueba de la Partícula Magnética

a) El equipo usado es para establecer un campo p_{ctente} entre 2400 A/m (300 e) y 4000 A/m (500 e). Este no necesita ser p_{cbado} por medición en el caso de la horquilla, bobina o un instrumento puntiagudo magnetizado, con tal de que se reúnan los siguientes requerimientos:

- Las horquillas electromagnéticas de c.a. tendrán una potencia de por lo menos 5 kp y un espaciamento del polo de 75 - 100 mm.
- Las horquillas electromagnéticas de c.d. o las permanentemente magnéticas, tendrán una potencia de por lo menos 20 kp y un espaciamento del polo de 75 - 100 mm.
- La corriente magnetomotriz de la bobina será escogida dependiendo del número de vueltas de la bobina. La relación entre amperes vueltas y el diámetro del núcleo a ser p_{cbado} es de 8 - 16 amperes vueltas por mm.
- Para el instrumento puntiagudo magnetizado, es usada la corriente magnetomotriz alterna o rectificad_a de media on_da.

Para secciones con espesores de 20 mm o más, el espaciamento del instrumento será menor de 300 mm, y la corriente será de 4 - 5 A por mm de espaciamento del ins

trumento. Y cuando los espesores de las secciones son menores de 20 mm, la corriente será de 3.5 - 4.5 A por mm de espaciamento del instrumento.

b) Ha de ser establecida una especificación del procedimiento para la prueba de partícula magnética, la cual incluye al menos la siguiente información:

- Materiales y dimensiones
- Tipo de magnetización
- Tipo de equipo
- Preparación de la superficie
- Método húmedo o seco
- Hechura y tipo de las partículas magnéticas y pintura de contraste.
- Corriente magnetomotriz. (Para el instrumento puntiguado magnetizado, el tipo de instrumento, y el espaciamento seleccionado).
- Desmagnetización.
- Descripción de la técnica para examinar.

c) No se requiere una prueba especial para la calificación del procedimiento sino que, con basarse únicamente en la aprobación de la prueba de especificación del procedimiento, se considerará calificado.

d) Los operadores que realizan la prueba de partícula magnética deberán ser capaces de hacer una prueba operacional satisfactoriamente, usando el método de prueba y técnica que son -- aplicados en la producción.

e) La superficie de las partes sujetas a prueba deberán estar secas y limpias, libres de polvo, grasa, aceite, hebras, incrustaciones, fundente para soldar, etc. que podrían interferir con el examen.

Para asegurar la detección de discontinuidades se tienen ejes en cualquier dirección, es decir que el examen es hecho con el campo magnético variado cuando menos en dos direcciones en cada área (girado 90°).

Partículas no fluorescentes húmedas ó secas proveen un -- contraste adecuado con el fondo de la superficie que está siendo examinada.

El examen con partículas magnéticas fluorescentes, es conducido en una área oscurecida usando radiación ultravioleta -- filtrada con longitudes de onda dentro del rango de 3200 - 3000 A.

El examen con partícula magnética no ha de ser realizado

en partes en las cuales la temperatura de la superficie exceda los 300 °C. En cambio, el examen de partícula magnética húmeda no se realiza cuando la temperatura de la superficie excede los 60° C.

Se debe tener cuidado para evitar el calentamiento local de la superficie de prueba. Debido a esto son recomendados el tipo de instrumentos purtiagudos con avance ó el instrumento -- purtiagudo blando.

El arco formado y marcas quemadas han de ser aterrizados e inspeccionados.

f) Los operadores de la prueba de partícula magnética reportarán todos los defectos detectados en la superficie. El reporte mostrará si la calidad de la soldadura reúne los requerimientos de las normas de aceptabilidad y el número de reparaciones hechas para reunir dichos requerimientos.

Normas de Aceptabilidad

a) La validez de las soldaduras se cumple con las normas de aceptabilidad como se establece del inciso b) al g).

Los límites dados pueden, sin embargo, en ciertos casos

ser restringidos o permitir una cierta libertad, dependiendo de factores tales como: significado de las uniones particulares a la integridad de la estructura, relación de las cargas estáticas/dinámicas, longitud del área defectuosa de la soldadura contra la longitud total de la misma, distancia del defecto de la orilla de la placa (fin de la soldadura), etc.

Además, los defectos que exceden los límites dados, pueden ser después de ser ajustados, evaluados en base a la prueba de fractura mecánica, o aplicable la experiencia documentada anteriormente.

La evaluación de los defectos basada en la capacidad del criterio, es por cuenta de las condiciones de esfuerzo local y por las limitantes de las pruebas no destructivas para evaluar la localización y el tamaño de los defectos durante la fabricación, construcción y operación de la estructura.

b) Prueba Radiográfica: en general, las soldaduras que contienen defectos que exceden los límites dados en las tablas 10 y 11 son reparadas y radiografiadas de nuevo.

c) Puesto que la radiografía sólo da dos resultados dimensionales, el examinador puede descartar las soldaduras que aparezcan dentro de los límites, si la profundidad del defecto puede

de ser perjudicial a la eficiencia de la unión.

d) Prueba de ultrasonido: en general, si la prueba de ultrasonido (como en el inciso "g" del título de! mismo nombre) revela defectos de cualquier longitud a partir de la elevación del eco que excede la curva de referencia, el área ha de ser reparada y examinada.

Si sólo un lado de la soldadura es accesible para la prueba, todas las indicaciones dadas por los ecos que exceden del 50% de la curva de referencia serán reparadas y examinadas.

e) Puesto que la prueba de ultrasonido en principio detecta reflexiones en el material, todas las indicaciones serán consideradas como el tipo de defecto más perjudicial hasta que se haya demostrado otra cosa.

f) Cuando la prueba no destructiva suplementaria o el muestreo mecánico de las soldaduras prueben que los defectos en cuestión tienen porosidad, inclusiones de escorias, líneas de escoria o penetración incompleta, la reparación es requerida sólo cuando las dimensiones de los defectos excedan los límites como se trató en el inciso b).

g) Prueba de partícula magnética: en general, las soldaduras cuyas superficies muestren defectos que exceden los límites

tes dados en las tablas 10 y 11 serán reparadas y examinadas.

TABLA 10

Límites de aceptabilidad para defectos en la soldadura
- Pruebas no destructivas en estructuras de acero primario y especial.

TIPO DE DEFECTO	LIMITES DE TAMAÑO	NOTA*
DEFECTOS INTERNOS:		
Porosidad	Porosidad esparcida: Máx. 1% del área proyectada. Dimensión del poro más grande t/8, máx. 2mm.	1
	Porosidad agrupada: Máx. 3% del área proyectada. Dimensión del poro más grande t/16, máx. 1 mm.	
	Porosidad en línea no penetra la superficie de la soldadura.	
Inclusiones de escoria	Escoria aislada: Longitud t/3, ancho t/8, máx. 2mm.	2,3,4
	Líneas de escoria: Longitud 2t, máx. 50mm, ancho 1,5mm.	
	El ancho de cada serie de líneas de escoria no debe exceder de 1mm.	
Falta de Fusión ó Penetración Incompleta	Longitud t, máx. 25mm. Si los ultrasonidos prueban que el defecto no excede la curva de referencia, longitud 50mm.	2,3,4
Fisuras	No aceptable	5
DEFECTOS SUPERFICIALES:		
Falta de Fusión ó Penetración Incompleta	No aceptable	
Socavación	No aceptable	
Fisuras	No aceptable	5

*Ver en la página 167.

TABLA 11

Límites de aceptabilidad para defectos en la soldadura
- Pruebas no destructivas en estructuras de acero secundario.

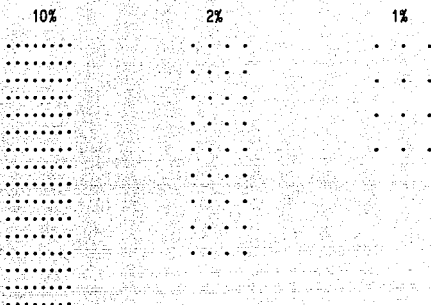
TIPO DE DEFECTO	LÍMITES DE TAMAÑO	NOTA*
DEFECTOS INTERNOS:		
Porosidad	Porosidad espaciada: Máx. 3% del área proyectada. Dimensión del poro más grande \leq t/4, máx. 4mm.	1
	Porosidad agrupada: Máx. 10% del área proyectada. Dimensión del poro más grande \leq t/8, máx. 2mm.	
	Porosidad en línea no penetra la superficie de la soldadura.	
Inclusiones de Escoria	Escoria aislada: Longitud \leq t/2 ancho \leq t/4, máx. 4mm. Lirras de escoria: Longitud \leq 4t, máx. 100mm., ancho \leq 2mm. El ancho de cada serie de lirras de escoria no debe exceder de 1.5mm.	2,3,4
Falta de Fusión ó Penetración Incompleta	Longitud \leq 2t, máx. 50mm. Si los ultrasonidos muestran que el defecto no excede la altura de referencia, longitud \leq 100mm.	2,3,4
Figuras	No aceptable	5
DEFECTOS SUPERFICIALES:		
Falta de Fusión ó Penetración Incompleta	Longitud \leq t/2, máx. 100mm.	2,3,7
Socavación	Una socavación superficial con un máximo de profundidad de 0.3mm puede ser aceptada prescindiendo de la longitud con tal de que el perfil y el grado del efecto de la mandibula no sea considerado perjudicial por el examinador.	3,6,7
Figuras	No aceptable	5

NOTAS PARA LOS LÍMITES DE ACEPTABILIDAD

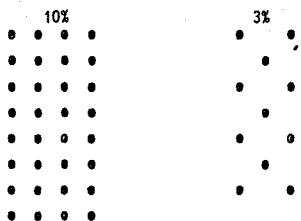
- 1) Ver diagrama de porosidades en la figura 43. Cuando la extensión de la porosidad o inclusiones de escoria cubren otros defectos para su detección, entonces se requiere un examen radiográfico o de ultrasonido suplementario.
- 2) Si los defectos alargados están situados en línea y la distancia entre ellos es menor que la longitud de la indicación más larga, los defectos serán evaluados como un defecto continuo.
- 3) Cualquier acumulación de inclusiones de escoria, penetración incompleta, desalineamiento o socavado han de ser juzgados como los defectos más serios en cuestión.

- 4) No más de una vez los límites de defecto de acuerdo a las notas 2 y 3, están dentro de cualquier longitud continua de soldadura, la cual equivale a cinco veces la longitud de área afectada.
- 5) Con la repetición frecuente de figuras, se debe hacer más extensiva la prueba no destructiva de las uniones y la revisión del procedimiento de la soldadura.
- 6) La profundidad deberá ser medida por medios mecánicos.
- 7) Para el ambiente corrosivo severo se necesitan adoptar más requerimientos estrictos.

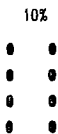
DIAMETRO DE PORO 1 mm



DIAMETRO DE PORO 2 mm



DIAMETRO DE PORO 4 mm



Distribución Típica de Porosidad por el Área Proyectada
FIGURA 43.

CAPITULO VI

APLICACIONES Y SOLUCIONES A ALGUNOS PROBLEMAS PRACTICOS DE LA SOLDADURA SUBACUATICA

VI.1 Introducción

VI.2 Realización de Prácticas

VI. INTRODUCCION

Durante estos últimos años se ha ganado mucha experiencia en la aplicación del soldeo subacuático a la reparación, construcción y mantenimiento de estructuras costeras, tuberías de conducción, etc. Claramente existe una gran diferencia entre los trabajos realizados bajo el agua, y los necesarios en un trabajo de superficie. Las dificultades de tomar medidas, manejar y posicionar los materiales y finalmente realizar las soldaduras en condiciones de mala mar o con aguas turbias, exigen un tratamiento mucho más sofisticado que el requerido en la superficie.

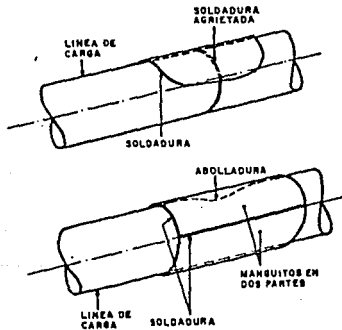
En el caso del soldeo por arco con electrodo fusible en atmósfera gaseosa, se han llegado a realizar trabajos comerciales hasta unos 50 m de profundidad por equipos de soldados - buceadores.

Utilizando el procedimiento de soldeo seco en cámara habilitada al efecto, se ha llegado a realizar soldaduras a unos 250 m de profundidad, obteniéndose calidades similares a las de superficie. Este tipo de soldeo subacuático se está experimentando con objeto de alcanzar profundidades de unos 350 m sin grandes problemas. A profundidades mayores, tanto las condiciones de soldadura como las del soldador buceador en cámaras secas hiperbáricas, generan problemas excesivamente comple

jos.

Reparaciones de las líneas de carga

Los petroleros generalmente cargan el crudo a través de manoboyas. Un oleoducto transporta el crudo desde la costa a un tanque colector, desde el cual el crudo pasa a los tanques de petróleo a través de mangueras flexibles. Ocasionalmente estos oleoductos de carga pueden ser dañados, por ejemplo, por un ancla que los golpee o bien por una red de un buque de pesca por arrastre, o por los flotadores de las mangueras de carga flexibles (Fig. 44).



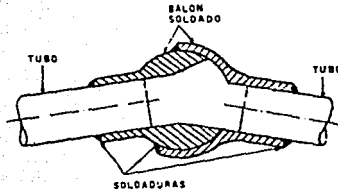
SISTEMA DE ADAPTACION DE MANGUITOS EN TUBERIA

FIGURA 44

Como las líneas de carga trabajan normalmente a presiones bastantes bajas, es posible, en la mayoría de los casos, repararlas soldando un parche sobre el área agrietada o un manguito sobre el área abollada.

Reparación o unión de tuberías

Las tuberías de conducción se consideran aparte de las líneas de carga porque las presiones de trabajo de las primeras superan frecuentemente a las de las segundas. Si se produce una avería, probablemente será necesario cortar la sección dañada y reemplazarla por un nuevo tramo. El montaje de un nuevo tramo con la exactitud requerida para una soldadura subacuática a tope de calidad, es extremadamente difícil y para superar los problemas de montaje se emplean acoplamientos de rótula como se indica en la figura 45 . De esta manera se realizan ajustes de desalineación angular y de los extremos. Una vez efectuado el posicionado correcto, se aplican los tres cordones de soldadura necesarios.



TIPO DE UNION DEL BALON SOLDADO EN EMPALMES DE TUBERIA
FIGURA 45

Colocación de conexiones e injertos ciegos

En los campos petrolíferos es práctica común conectar una línea de flujo de un pozo nuevo al oleoducto existente. En algunos casos el oleoducto se iza a la superficie mediante una barcaza grúa y la nueva línea se suelda en la superficie. En otros suelen emplearse cámaras hiperbáricas secas, sobre todo si se tiene que hacer un injerto ciego. Empleando el sistema de arco eléctrico en cámara seca y soldador fuera, se abarata la operación soldando el injerto ciego en T "in situ", y realizando después el taladrado en el agua, para conectar a continuación la nueva línea mediante soldadura o bien, a rosca.

Reparaciones de plataformas

Las plataformas fijas sufren daño a consecuencia de tempestades, colisiones o durante un período largo por fatiga de las uniones soldadas causada por la acción de las olas. Cada reparación es distinta, aunque la sustitución de los tirantes horizontales o diagonales es la más frecuente.

La mayoría de las averías se presentan en las proximidades de la superficie, por lo que el trabajo se dificulta con la acción de las olas, que producen variaciones de presión y movimiento del agua.

En una reparación en la que se reemplazan dos tirantes horizontales la rueda tiene por misión mantener al soldador buceador en posición a pesar del movimiento del agua. De este modo se puede soldar en todas las posiciones usando una detallada especificación de procedimiento (PDS) especialmente adaptada para compensar las condiciones de presión hidrostática variable. Otra reparación suponía la sustitución de las guías del conductor que se estropearon con el movimiento de los conductores durante la construcción. Se utilizó el proceso húmedo de arco eléctrico en atmósfera gaseosa, que evitó el empleo de gatos mecánicos.

Mantenimiento de equipos de perforación semisumergibles.

Los grandes equipos de perforación tienen un mantenimiento difícil a causa de su tamaño y la falta de diques secos adecuados. También se pierde mucho tiempo en el traslado a dique, y se aumenta la posibilidad de averías o pérdidas en dicho transporte.

En diversos casos, han aparecido agrietadas las soldaduras que unen los elementos verticales a los "pontones" horizontales sumergidos, que se han reparado realizando el resanado y posterior soldadura en cámara seca.

Reparaciones de buques

Las aplicaciones anteriores animan a pensar que, aunque en este campo el soldeo subacuático no sustituye completamente al realizado en superficie, sí que puede ahorrar la realización de algunos trabajos costosos en tierra.

VI.2 REALIZACION DE PRACTICAS

Los equipos, plataformas, muelles y otras instalaciones marinas están sujetas a inspecciones regulares, que después de un período de servicio pueden revelar daños que necesiten repa

raciones.

Los daños pueden ser reparados por medios mecánicos tal como es el apernado, remachado, engrapado, o aún por medio de soldado. La soldadura puede ser una alternativa atractiva, porque permite reparar la construcción más o menos a su condición original.

Un método usado frecuentemente para aislar un área dañada de los efectos del mar y el viento, y que facilite los procesos convencionales de inspección y las reparaciones de soldadura, es el dique provisorio temporal; la cámara hiperbárica que es meramente una extensión de esta práctica tradicional en el trabajo submarino.

A continuación se da una breve descripción de reparaciones hechas bajo el agua de: estructuras a corta distancia de la costa, tuberías, estructuras en el puerto, y en el caso de barcos.

Tubería

Estructura: Colector (tubo múltiple) submarino de petróleo crudo, cuya profundidad era de 130 ft. (39.6m).

Problema: Una fisura de 18 in (45.72 cms.) que se presentó en un oleoducto para petróleo crudo de 30 in (76.2 cms.) de diámetro que estaba soldado al cabezal con un diámetro de 42 in (--- 106.7 cms.). La fisura comenzó en el borde de la soldadura (intersección de la soldadura con el metal base) y se extendió a través de la pared del cabezal.

Solución: Para determinar la extensión de la fisura se utilizó la partícula magnética como método externo de inspección. Para prevenir la propagación de la fisura fueron perforados unos hoyos a cada extremo de la misma. La pared de la tubería de 42 in de diámetro fue biselada a la mitad de su espesor entre los hoyos y -- posteriormente se soldó. En el interior del colector se rebajó el metal de aporte que se había depositado del exterior y entonces para completar la reparación se soldó. El acceso del buzo soldador para penetrar los 31 ft. - (9.44 m) en la tubería de 42 in (106.7 cms.) fue debido a que se quitó una brida ciega (o de obturación) del tubo acodado de 30 in - (76.2 cms.) de diámetro.

Las precauciones de seguridad incluyeron la desconexión de las turbinas de bombeo, así como el cierre de válvulas para prevenir el flujo del petróleo crudo a través del colector. Tres pozos de la bomba vertical de 36 in de diámetro que penetraron el tubo múltiple, estuvieron descargando hacia el agua, de modo que el aire consumido del yelmo de los buzos y de las herramientas neumáticas no podría -- desplazar agua de los pozos de la bomba, que ocasionaría una posible mezcla explosiva que sería forzada a la vecindad de la soldadura. (Partículas calientes de la escoria de la soldadura etc. pueden producir burbujas de gas que se elevarán unos centímetros en el agua). Como una precaución adicional, las áreas gaseosas sobre el agua en los pozos de la bomba deberán estar mezcladas con CO₂.

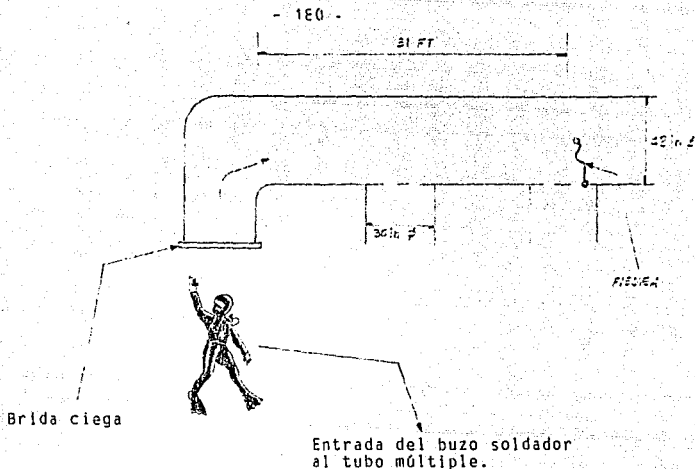


FIGURA 46

Casco de Barcos

Tipo de barco: Crucero pesado.

Problema: Para completar el trabajo debajo de la línea de flotación se requirió que este barco se colocara en bolas de flotación (mothballs) - sin incurrir en el alto costo ni en retrasos que un dique seco podría involucrar.

Solución: Fue usada la soldadura húmeda para instalar -

61 placas como taponamiento sobre todas las aberturas (mamparas) del casco y los mamparos. El rango de las placas de taponamiento fueron desde 6 x 6 in (15.24 x 15.24 cms.) hasta 4 ft. 10 in x 9 ft. 6 in (1.46 x 2.89 m) y fueron fabricadas de placas de acero dulce de 3/8 in con un reborde de 3 in que fue soldado de filete al casco. Fueron utilizados electrodos austeníticos debido al alto contenido del carbono equivalente (CE) de las placas del casco. Todos los taponamientos fueron inspeccionados y probados fuera del agua después de hecha la soldadura. Posteriormente se aplicó pintura epóxica bajo el agua para dar el acabado a la soldadura.

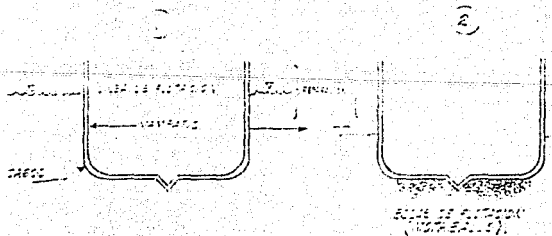


FIGURA. 47

Tipo de barco: Destroyer

Problema: Un pequeño hoyo por debajo de la línea de -- flotación que no pudo ser parchado desde dentro.

Solución: Fue soldada de filete una placa de reparación de 1/2 in de espesor sobre el hoyo en la parte exterior. Se utilizaron electrodos austeníticos debido al alto contenido del carbono equivalente (CE) de las placas del casco. Posteriormente el destroyer fue regresado al servicio activo.

Puertos

Estructura: Estructura de apoyo del muelle de 60 ft (18.28 m) de diámetro hecha con seis elementos de pilote de chapa (tablestaca) con cinco arcos intermedios.

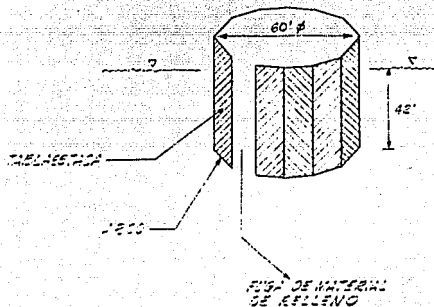
Problema: Que el material de relleno no puede ser retenido en los elementos y arcos debido a que -- siete collados (aberturas) verticales entre -- los pilotes de chapa, no les permite entrela-

zarse durante la instalación. La profundidad en la zona húmeda de trabajo es de 12.80 m.

Solución: Para reparar la resistencia del entrelazado y cubrir las cuarteaduras, y así poder ser retenido el material de relleno, se utilizaron placas de reparación de 1/2 in. de espesor de 18 a 36 in. (45.72 a 91.44 cms.) de largo por 8 in. (20.32 cms.) de ancho, y fueron soldadas a través de las siete cuarteaduras de 5.18 m. de largo. Para tal reparación se usaron electrodos austeníticos para prevenir la fisura inducida por el hidrógeno en la zona afectada por el calentamiento (HAZ) y debido al contenido de carbono equivalente (CE) (0.564) del lote de chapa.

Las pruebas tensiles en la soldadura de filete de 1/2 in. dieron como resultado 16 600 a 20 600 lb. por pulgada lineal, comparado con las 8 000 lb. máximas por pulgada lineal permisibles a los esfuerzos de diseño para el entrelazado de los pilotes de chapa. Todas las reparaciones fueron inspeccionadas a los cuatro años y medio y estuvieron en buenas condi

ciones. Además, se esperaba que hubiera presencia de corrosión debido a la disimilitud de los materiales (metal de aporte austenítico vs. pilote de plancha o chapa), pero ningún daño de corrosión estuvo presente.



ESTRUCTURA DE APOYO DEL MUELLE
FIGURA. 48

Estructuras cerca de la Costa

Estructura: Plataforma de Producción

Problema: Un soporte horizontal de 52 ft. (15.84 m) de longitud y 16 in (40.64 cms.) de diámetro el cual estaba rajado y suelto de los hoyos de retención de los apoyaderos de la plataforma, las paredes de los apoyaderos eran respectivamente de 24 x 3/4 in. (60.96 x 1.9 cms.) y de 20 x 3/8 in. (50.8 x 0.93 cms.) Además un soporte transversal con un diámetro menor al de 16 in quebró y deformó la pared de un ángulo de la estructura. Otro soporte de 16 in. tiró (jaló) de la pared de un apoyadero de 20 x 3/8 in. dejando un hoyo grande. Todos los hoyos y fisuras alrededor de ellos fueron localizados en las áreas de deformación.

Causa: El exceso de sedimentos marinos incrementó el diámetro seccional de los miembros alrededor de 24 in. (60.96 cms.). Por otra parte, agregando la carga por levantamiento por acción de la ola, causó la aceleración de la falla por fatiga.

Solución: Los hoyos fueron ensanchados para quitar todas las fisuras con longitudes menores de 3 in. (7.62 cms.). Para prevenir la propagación de las fisuras que quedaron, se perforaron unos hoyos al final de éstas. Las fisuras fueron a continuación rellenadas en su parte interna con varillas resistentes y su parte externa fue biselada para soldar a tope. Las secciones adyacentes al perímetro de los hoyos fueron vueltas a su diámetro original por medio de ajustar y de soldar aros de 1 1/4 in. (3.17 cms.) de espesor por 3 in. (7.62 cms.) de ancho dentro de los apoyaderos. Las placas cuyo espesor de la pared era el mismo que el de los apoyaderos dañados, fueron soldadas a tope en cada uno de los tres hoyos. Los bordes de los hoyos y de las placas insertadas fueron biselados, y además se utilizaron varillas resistentes para asegurar un 100% en la penetración de las uniones soldadas. Un soporte nuevo de 16 in. de diámetro por 52 ft. de longitud fue fabricado y unos casquillos ranurados con espesor de 1/2 in. serían soldados provisionalmente por puntos a cada extre-

mo del soporte.

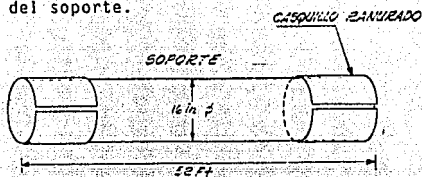


FIGURA. 49

El soporte nuevo fue bajado a la posición de trabajo y la alineación fue hecha, los casquillos ranurados fueron soldados por puntos como se requería para asegurar la soldadura subacuática. Posteriormente el soporte se regresó a la cubierta del barco de trabajo y la soldadura de los casquillos ranurados a los extremos del soporte fue completada. Por último el soporte fue instalado bajo el agua, soldando de filete los casquillos ranurados a los distintos miembros.

El ángulo de la estructura fue reparado cortando un hoyo de 36 in. (91.44 cms.) para quitar el área deformada. La porción pandeada del diafragma interno fue cortada. El mate-

rial de 3/4 in. de espesor para la reparación del diafragma y del hoyo en el ángulo, fue pasando a través del hoyo de 36 in. y colocado dentro del ángulo. Para completar el trabajo bajo el agua en esta área, fue soldada de filete una placa de 3/8 in. de espesor por 40 in. (1.01 m) de diámetro sobre el hoyo de 36 in.- El nivel del agua en el ángulo fue bombeado para dejar libre el área dañada y entonces las reparaciones internas fueron hechas usando la soldadura seca convencional.

La sección perdida del otro soporte dañado de 16 in. de diámetro fue remplazada usando un casquillo ranurado y soldado a tope con un anillo resistente. Las otras fisuras fueron reparadas ya que se perforaron hoyos al final de éstas para prevenir su propagación, se biselaron y se soldaron a tope. Las soldaduras a tope fueron emparejadas al ras y se utilizaron placas para reforzar, las cuales se soldaron sobre estas uniones. A causa de la composición química del material en algunas zonas, se usaron electrodos austeníticos. Otras áreas donde el contenido de carbono equivalen

te (CE) no excedía de 0.40, fueron soldadas con electrodos de acero dulce.

CONCLUSIONES

Hemos intentado comparar algunas características de los procedimientos de soldadura que presentan mayor interés para uso subacuático. El tema es extenso y la presente comunicación no ambiciona tratar todos sus aspectos. En realidad, no hemos podido describir con detalle procedimientos interesantes tales como la soldadura con cortina de agua, la soldadura de espárragos, etc. Durante los últimos 15 años, han sido numerosas las publicaciones sobre este tema, pero han proporcionado poca información ya que los intereses comerciales han impedido que los autores se expresaran libremente. Debido a ello, puede pensarse que el presente escrito contiene más imperfecciones que realidades. Hace menos de 20 años se decía que había más conocimientos sobre la soldadura en el espacio que sobre la soldadura subacuática. Esta observación puede ser válida aún teniendo en cuenta el secreto que rodea a esta última técnica. Podemos pretender que se han conseguido notables progresos sobre todo durante la última década pero ¿en qué medida han sido difundidos y asimilados estos conocimientos? No se sabe exactamente. Esto significa que los verdaderos mecanismos de rotura no son todavía bien conocidos y, como resultado que no son estrictamente necesarios, pueden ignorar otros factores más importantes. Es aconsejable que haya una más estrecha colaboración entre los científicos y los ingenieros que

trabajan en este campo, especialmente en la elaboración de exigencias realistas para los trabajos en aguas muy profundas.

Durante el último decenio, se han dedicado enormes esfuerzos al estudio y a la puesta en práctica de la soldadura subacuática. La utilización esporádica de la soldadura bajo el agua con electrodos revestidos, se está sustituyendo progresivamente por técnicas más avanzadas. Los problemas relacionados con la fisuración por el hidrógeno, la porosidad, la fragilización o la inestabilidad del arco, se han de resolver progresivamente merced a la aplicación de principios científicos.

La soldadura con alambre relleno, que permite grandes velocidades de ejecución se ha empleado principalmente por aquellos que disponen del producto consumible adecuado. Los procedimientos TIG y MIG están a disposición de todos, pero para conseguir resultados óptimos a grandes profundidades, es indispensable tener conocimientos técnicos considerables. Aun cuando las soldaduras subacuáticas (Fig. 46) no son muy numerosas en comparación con las que se efectúan en atmósfera normal, -- sus costos y su importancia son considerables, lo cual justifica las importantes sumas dedicadas a sus estudios fundamentales.

Del mismo modo, a grandes profundidades, las posibilidades

actuales de los buzos, en saturación, parecen haber alcanzado los límites extremos; el buceo en cámara a la presión atmosférica, presenta aspectos atrayentes y esta técnica tal y como se practica actualmente, exige menos destreza por parte del buceador que en el caso del buceador en saturación, que suelda subacuático en las condiciones actuales del buceo. Los procedimientos de soldadura por fusión deberían ser automáticos.

Según una reciente publicación, el MITI, en el Japón, se encuentra a punto de invertir alrededor de 70 millones de dólares EUA durante los próximos 7 años en un programa que pretende acelerar el desarrollo de robots para las aplicaciones en el fondo del mar o trabajos similares. El robot Kamutsu de control por cable puede ser, tal vez, el precursor que anuncia la próxima llegada de otra generación de robots. No están al día las objeciones políticas y sociales a la introducción de robots en el fondo del mar y, es en este mismo medio, donde el hombre se encuentra en desventaja, y donde la intervención de los robots sería muy remuneradora. Nuestras posibilidades en el campo de la soldadura hiperbárica a grandes profundidades podrían ampliarse, gracias a la sencillez que presentan las variantes del procedimiento TIG, usando además grandes velocidades de soldadura con fuertes intensidades y usando al mismo tiempo alambre caliente; empleados eventualmente con pequeñas separaciones de bordes y soldando con un robot ayudado por un

sensor óptico.

Las predicciones presentes de cómo será el soldeo subacuático en el futuro son muy especulativas. Las experiencias habidas justifican la creencia de que el soldeo subacuático puede cumplir los requisitos exigidos por los Códigos, con una mayor flexibilidad y economía de operación.

Aunque hasta ahora las ventajas se han hecho más patentes en trabajos de reparación y mantenimiento, existe ya un reto a los proyectistas para que incorporen durante la etapa conceptual el soldeo subacuático a trabajos clave en la construcción.

BIBLIOGRAFIA

SOLDADURA
JAMES A. PENDER
MC. GRAW-HILL
MEXICO 1983

REVISTA DE SOLDADURA
CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES METALURGICAS. CENIM.
MADRID 1984.

SOLDADURA - TERMINO Y DEFINICIONES
NORMA OFICIAL MEXICANA
NOM. H-93-1986.

UNDERWATER WELDING FOR OFFSHORE INSTALATIONS
THE WELDING INSTITUTE
INTERNATIONAL SEMINAR
1977

OFFSHORE
THE JOURNAL OF OCEAN BUSINESS
(REVISTAS DE 1980 - 1985)

OCEAN INDUSTRY (ENGINEERING, CONSTRUCTION, OPERATIONS)
PUBLICADA MENSUALMENTE POR "GULF PUBLISHING CO."
HOUSTON, TEXAS.