

CORTE Y SOLDADURA SUBACUATICA

UNDERWATER CUTTING AND WET WELDING



textos compilados por Juan M. Medina

- Comentarios o consultas en jmbuzos@arnet.com.ar -

En el mar, las cosas siempre necesitan ser cortadas, reparadas y vueltas a soldar.-

T. Duke Ogden- Instructor de Soldadura Submarina.



INDICE

I. INTRODUCCIÓN	5
II. GENERALIDADES Y RESEÑA HISTORICA	6-10
III. EQUIPOS Y CONEXIONES	
A. GENERADORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA	10-12
B. INTERRUPTORES DE SEGURIDAD	12-13
C. CABLES ELÉCTRICOS	13-15
D. POLARIDAD	15
E. TORCHAS Y PORTAELECTRODOS	16-17
F. CRISTAL PROTECTOR OSCURO	17-18
IV. CORTE BAJO EL AGUA	18
A. CORTE POR ARCO – OXÍGENO	18
A.1. Principios del Proceso	18-19
A.2. Torchas para Corte por Arco-O2	19-20
A.3. Electrodos	20
A.3.1 Revestimiento Fundente	20
A.3.2. Revestimiento Impermeable	20
A.4. Oxígeno	21
A.4.1. Presión de O2	21-22
A.5. Reguladores de O2	22-23
A.5.1 Requerimientos de Amperaje de los Electrodos	23
A.6. Precauciones Especiales para Corte Arco-O2	23
A.7. Técnicas de Corte Arco-O2	24
A.7.1 Corte de Placas Gruesas	24
A.7.2. Corte de Placas Finas	24
A.7.3. Perforación de una Placa de Acero	24-25
A.7.4. Corte de Fundición de Hierro y Metales No Ferrosos	25
B. CORTE ARC – WATER	26
B.1. Principios de Procedimiento	26
B.2. Aplicaciones	26
B.3. Equipo	26
B.3.1. Energía	26
B.3.2. Agua	26
B.3.3 Torchas	26

B.3.4. Electrodos	26-27
B.4. Procedimiento	27
B.4.1. Conductor a Tierra	27
B.4.2. Electrodo en el Portaelectrodos	27
B.4.3. Ranurado	27
B.4.4. Agua – Encendido	28
B.4.5. Corte	28
B.4.6. Agua – Apagado	28
B.5. Precauciones Especiales para Corte Arc – Water	28
B.6. Datos Operativos	28-29
C. CORTE POR ELECTRODOS ULTRATÉRMICOS	29
C.1. Principios de Procedimiento	29-30
C.2. Aplicaciones	30
C.3. Equipo	30
C.3.1. Torchas	30-31
C.3.2. Regulador de Oxígeno	31
C.3.3. Interruptores de Seguridad	31
C.3.4. Energía	31-33
C.3.5. Oxígeno	33-34
C.3.6. Mangueras	34
C.3.7. Cables	34
C.3.8. Equipos de Comunicación	34
C.3.9. Electrodos	34-35
C.4. Proceso de Corte	36-38
C.4.1. Corte de Acero	38
C.4.2. Corte de Hierro, Aceros Inoxidables y Metales No Ferrosos	38-39
C.4.3. Corte de Gruesos Metales No Ferrosos	39
C.4.4. Corte de Concreto	39
C.4.5. Corte de Cabos y Maderas	39
C.4.6. Corte Debajo del Fango	39
C.4.7. Corte de Pilotes Rellenos de Concreto	39-40
C.5. Precauciones Especiales para Corte Ultratérmico	40-41
C.6. Precauciones para Operaciones en Buques y Barcasas	41
D. SISTEMA DE CORTE OXFUNDENTE O LANZA BERFIX	41
D.1. Principios de Procedimiento	41
D.2. Aplicaciones	41-42

D.3. Equipo	42-43
D.4. Proceso de Corte	43
D.5. Precauciones para Lanza Berfix	43-44
E. CORTE POR ELECTRODOS REVESTIDOS O POR ARCO METÁLICO	44
E.1. Principios de Proceso	44-45
E.2. Equipos	45
E.3. Aplicaciones	45
E.4. Técnicas de Uso	45-46
E.5. Medidas de Seguridad	46
V. SOLDADURA SUBACUÁTICA	46
A. CONCEPTOS GENERALES	46-47
B. SOLDADURA HIPERBÁRICA	47
B.1. Generalidades	47-48
B.2. Procesos de Soldadura Hiperbárica	48
B.2.1.. Proceso TIG de Soldadura	48-49
B.2.2. Proceso MMA de soldadura	49
B.3. Efectos de las Grandes Presiones sobre el Proceso con Arco de Soldadura	49
B.3.1. Proceso MMA Bajo Condiciones Hiperbáricas	49-50
B.3.2. Proceso TIG Bajo Condiciones Hiperbáricas	50
B.3.3. Consideraciones sobre Salud y Seguridad en Soldaduras Hiperbáricas	51-52
B. SOLDADURA HÚMEDA SUBACUÁTICA	52
C.1. Generalidades	52-53
C.2. Equipos	53
C.2.1. Torchas y Portaelectrodos	53-54
C.2.2. Electrodos	54-56
C.2.3. Almacenamiento de los Electrodos	56
C.2.4. Manipulación y Transporte de los Electrodos	56
C.2.5. Cables Eléctricos	56-57
C.2.6. Fuentes de Energía	57
C.3. Condiciones Adversas para Soldar	57-58
C.4. Procedimiento para Soldar	58-59
C.5. Técnicas de Soldadura con Filete	59
C.5.1. Técnica de Auto Consumo o De Arrastre	59-60
C.5.2. Técnica de Manipulación o de Tejido	60-61
C.5.3. Reparación de Pequeñas Rajaduras	61
C.6. Posiciones de Soldadura	61

VI. ESPECIFICACIONES PARA SOLDURA SUBACUÁTICA	61
NORMATIVA MUNDIAL PARA SOLDADURA HÚMEDA	61-67
A. RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS SUMERGIDAS CON FILETE DE ACERO	67-68
B. CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS	68-69
VII. SEGURIDAD EN OPERACIONES DE CORTE Y SOLDADURA SUBACUÁTICOS	69
A. PROTECCIÓN DEL BUZO	69-70
B. PRECAUCIONES GENERALES	70-72

I. INTRODUCCION.-

Un **proyecto** es la intención de realizar un trabajo, y el plan que se piensa para llevarlo a cabo. Un conjunto de planos, dibujos y datos, hechos para dar una idea de una obra arquitectónica o de ingeniería.

En los últimos años los procesos de **Corte y Soldadura Subacuáticos** han mejorado, sin duda drásticamente, la calidad de las tareas hechas por los buzos; este progreso potencial permitió llevar adelante **proyectos subacuáticos** que, en el pasado, no hubieran podido ser considerados.

Con la llegada de nuevos electrodos y el desarrollo de modernas técnicas, combinadas con equipos de última generación y fuentes de energía, en la actualidad se pueden realizar cortes y soldaduras que, analizadas con sistemas de rayos X, presentan una calidad comparable a las que puedan realizarse en superficie.

En países como Estados Unidos y Canadá se dictan permanentemente cursos de entrenamiento intensivo para buzos comerciales, a cargo de personal altamente capacitado y experimentado con una duración que alcanza, aproximadamente, las 30 semanas, comenzando por los sistemas de corte y luego, con los procesos de soldadura subacuática, examinando la performance de calidad obtenida. El resultado de este entrenamiento son 300 buzos comerciales capacitados cada año, el 90% de ellos será contratado para reparaciones y mantenimiento de plataformas petrolíferas (Off Shore).

El Standard para soldadura subacuática

American Welding Sociation D3.6, define al buzo profesional que realiza estos trabajos como " un soldador certificado que también es buzo comercial, capaz de desarrollar tareas asociadas a trabajos submarinos comerciales, montaje y preparación de la soldadura y que posee la habilidad de producir soldaduras acordes con la AWS D3.6, Especificación para la Soldadura Subacuática (húmeda o seca), y otras actividades relacionadas a la soldadura".

En nuestro ambiente laboral es muy difícil acceder a información acerca de equipos y datos técnicos modernos, lo que obliga a utilizar el método de observar a los que saben y ensayar –y no cursos intensivos dictados por instituciones certificadas por normas internacionales y equipadas con la última tecnología en la materia- con la consiguiente pérdida de tiempo.

Es por eso que nace este "manual", a modo de compilado de información.

Nuestro propósito es, simplemente, **describir e ilustrar los procedimientos actuales** más conocidos y que estan al alcance de un equipo de buzos profesionales, para acercar esta información a aquellas personas involucradas en trabajos y salvamento submarinos o que sientan interés o atracción por estas actividades.

Es el resultado de la recopilación de relatos de buzos, manuscritos, principios de soldadura, antiguos manuales, informes, artículos de publicaciones, datos obtenidos de páginas web e información gentilmente cedida por el College Of Oceanering de California y el Prefecto Martín Ruíz

de la Prefectura Naval Argentina. A todos ellos muchísimas gracias, por haber colaborado, directa o indirectamente en la concreción de esta obra.

Juan M. Medina

II. GENERALIDADES Y RESEÑA HISTORICA.-

Durante años a los procesos de corte y soldadura se les reconocieron mucha utilidad para determinadas aplicaciones debajo del agua. Su campo de acción incluye operaciones tales como reflotamientos de buques, reparaciones, construcciones, remoción de maquinaria y accesorios de buques irrecuperables para transferirlos a otros buques, traslado de masas retorcidas de cascos hundidos y naufragios para limpiar los puertos y canales de navegación, reparación de muelles y barcos deteriorados, como así también las construcciones iniciales de estos.

También se ha producido un vigoroso crecimiento en su aplicación en trabajos de estructuras, en la reparación de barrenos y equipo de producción.

Las primeras operaciones de corte subacuático se realizaron en el año 1908, usando un soplete común de corte de superficie, pero se pudo comprobar que no daba resultados satisfactorios.

El soplete tropezaba con resistencias bajo el agua y esto hacía dificultoso el precalentamiento de la pieza. Años mas tarde se descubrió que la estabilidad del soplete podía mantenerse haciendo funcionar la combustión dentro de una cámara cerrada provista de un conducto especial por medio del cual se expelían los gases de combustión.

El primer uso efectivo del proceso de corte submarino fue en 1926 (Figura 1), en el salvataje de un submarino S-51 norteamericano hundido a 43 metros de profundidad, se ideó un soplete oxhídrico que cortaba con éxito cables, pernos sueltos y chapas, utilizado por Edward Ellsberg, demostrando así que por primera vez se utilizaba un corte submarino en profundidades mayores a los 10 metros.



Fig 1: Buzos profesionales del año 1926, vestidos para ingresar al agua.

El método de corte submarino con soplete de arco - oxígeno usaba originalmente electrodos de carbón a través de los cuales fluía oxígeno y corriente eléctrica (Figura 2).

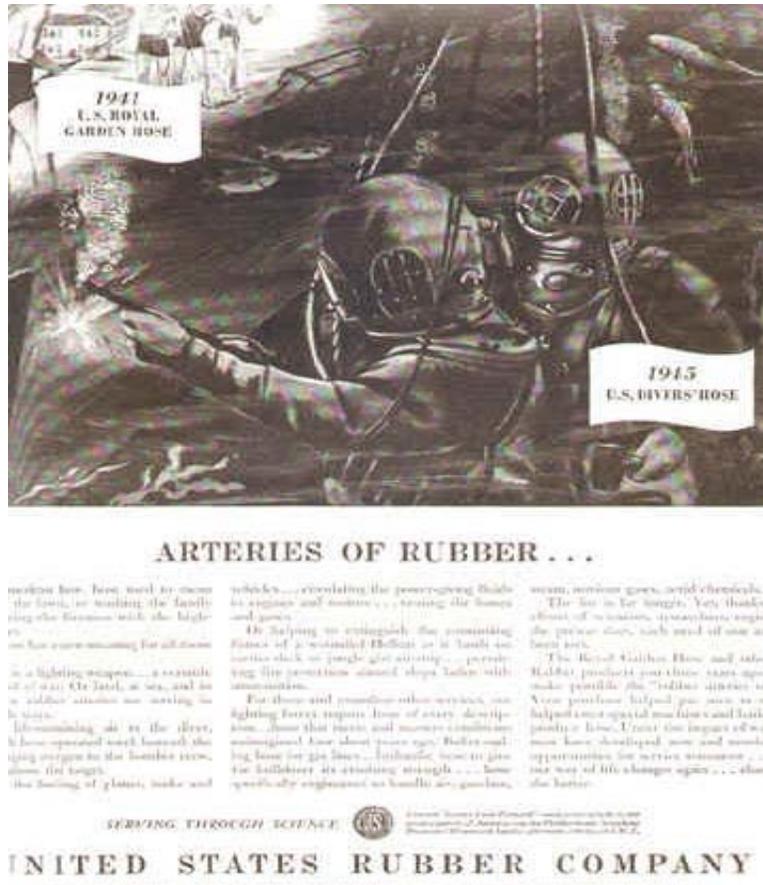


Fig 2: Artículo de periódico de 1941, con detalle del electrodo de corte de esa época.

Con anterioridad a la Segunda Guerra Mundial fue muy poco el desarrollo de equipos y electrodos logrado, por lo que se generalizó el corte con soplete oxhídrico como método de trabajo. Fue solo hasta comienzos de 1942 que las fuerzas navales (Figura 3) iniciaron un extenso programa de perfeccionamiento del proceso arco – oxígeno, para enfrentar las demandas que imponía la guerra.



Fig 3: Escuela de Salvamento de la U.S. NAVY, año 1942.

Esto dió como resultado la producción de sopletes, torchas y electrodos perfeccionados, la amplificación y uniformidad en la técnica operatoria, aumento en la seguridad del proceso y mayor rendimiento en las operaciones.

La Soldadura Subacuática o Húmeda siempre ha sido vista pobre en relación con las soldaduras secas realizadas en la superficie. Pero en contradicción con esto, la soldadura húmeda es el proceso más extensamente usado para reparaciones subacuáticas y su versatilidad, bajo costo y gran efectividad provee una alternativa viable a los métodos tradicionales como un dique seco o la sujeción por tornillos. Los sistemas de soldadura subacuática pueden ser movilizados en horas o pocos días y se pueden emplear en estructuras o buques que se mantienen operando, evitando entonces, la detención del servicio.

Esta actividad fue perfeccionándose desde comienzos de siglo; en la Segunda Guerra Mundial (Figura 4) se realizaban reparaciones en buque y puertos con muy buen resultado,

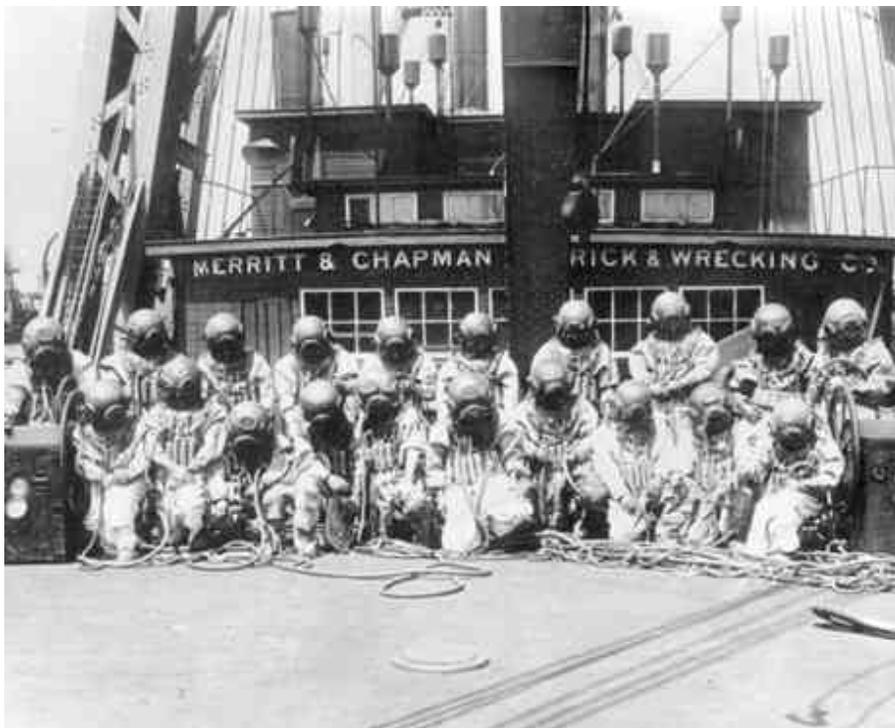


Fig 4: Equipo de buzos salvamentistas de la 2da. Guerra Mundial.

pero su incremento ascendente comienza a partir de la década del '60 (Figura 5), demandado por la industria petrolífera en alta mar (Offshore), en estructuras sumergidas como tuberías y cañerías. Desde entonces, casi todas las tareas de soldadura húmeda fueron realizadas por personas que han perfeccionado el corte y la soldadura subacuática actual.

En años recientes, la U.S. NAVY ha ocupado un rol muy importante en el desarrollo de nuevas técnicas de soldadura húmeda. Esto ha ocurrido principalmente en respuesta al constante incremento de los costos de labores de astilleros y diques secos. Un caso en concreto fue la

inactivación del crucero "USS NEWPORT NEWS", a fines de 1975 donde 62 aberturas de su casco fueron obturadas, requiriendo 53 días de trabajo y un equipo de 18 buzos soldadores. Se emplearon 504 horas/hombre de soldadura y se consumieron 500 libras de electrodos. No obstante esto, se obtuvo un beneficio considerable: el ahorro el 50% de los costos requeridos para completar las tareas en un dique seco.



Fig 5: Buzo con equipo Dragger en una plataforma Off Shore en el golfo de México año 1960.

Otras aplicaciones para el corte y la soldadura submarina incluyen la reparación y el mantenimiento de transportes nucleares.

En febrero de 1990, se reparó una pequeña filtración en una chapa de la tubería del canal transbasador de combustible localizado en la planta nuclear de Wolf Creek, en Kansas.

Se emplearon 2 días de trabajo y el buzo empleó un total de 3 y 1/2 horas en el agua durante la inspección y la reparación.

Si esto se hubiera realizado en la superficie, un equipo de 6 personas hubiera empleado 6 días para secar y descontaminar las piezas, 1 día para inspeccionar y reparar y 2 días más para rellenar la tubería.

De esta forma se logró realizar el trabajo, ahorrando un 80% de los costos estimados de la reparación y se redujeron enormemente los riesgos de la exposición de personal.

Desde 1971, en plataformas petrolíferas (Figura 6), se han reportado cientos de reparaciones subacuáticas mediante soldadura, sin que se conocieran fallas.

Si bien la soldadura seca es la técnica predominante, la soldadura submarina es, a veces, el único método a emplear para solucionar un problema.



Fig 6: La industria Off Shore, uno de los principales campos de acción de la soldadura subacuática.

III. EQUIPOS Y CONEXIONES.-

Existen algunos componentes básicos en común entre los procesos de corte y soldadura submarina. Ellos son la fuente de energía, los interruptores de corriente, los cables conductores con sus terminales, pinzas de masa y las torchas o pinzas porta electrodos, según sea corte o soldadura.

A. GENERADORES DE CORRIENTE ELÉCTRICA.

El corte Arco/O2 bajo el agua y las operaciones de corte y soldadura por arco protegido se realizan, básicamente, con el mismo equipo.

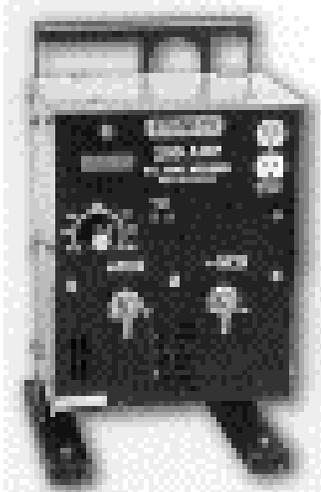
Las fuentes de energía para el corte y soldadura subacuática son generadores de corriente continua o rectificadores de, por lo menos, 300 amperes de capacidad. Sin embargo, para algunas operaciones pueden necesitarse más de 400 y hasta 600 amperes.

Es posible conectar dos o más máquinas en paralelo para obtener la potencia requerida, para esto se deben chequear las instrucciones de cada aparato, y así emplear el circuito correcto.

En situaciones de emergencia puede recurrirse a un generador de 300 amperes de corriente alternada, pero no es aconsejable, debido a que esta corriente no es tan segura como la corriente continua. Es más fácil mantener el arco voltaico con corriente continua, en consecuencia se requerirá mayor habilidad por parte del operador que utilice corriente alternada.

Es necesario asegurarse de que la fuente de energía se halle en buen estado mecánico y eléctrico, protegiéndola de la intemperie y debe posarse sobre una superficie seca de madera o algún material aislante.

En el mercado actual existe gran variedad de marcas de rectificadores y motosoldadores como ser Miller, Tweco-Arcair, Lincoln Electric, Tauro, Air Liquide, T&R Welding Products, MOS y otras (Figura 7). Cualquiera de ellas puede ser usado, solo se deben tener en cuenta las recomendaciones antes mencionadas.



Rectificador WD 200 A



Rectificador Arcair Sea Pack de 400 A



Generador Miller Bobcat de 225 A



Generador Lincoln Electric CMDR 400 A



Generadores T&R de 600 A

Fig 7: Algunas marcas de rectificadores y generadores de corriente continua.

Las fuentes de energía deben ser conectadas a tierra por intermedio del bastidor. Es necesario asegurarse que el bastidor de la máquina esté conectado a tierra y que ningún borne del generador esté conectado a tierra por intermedio del bastidor del soldador, si se está usando un generador.

B. INTERRUPTORES DE SEGURIDAD.

En toda operación de corte o soldadura subacuática siempre debe haber un interruptor positivo de desconexión operativa (también conocido por interruptor de cuchillas o "safety switch") (Figura 8), en el circuito del soldador. Esto protege al buzo puesto que solo permite el paso de corriente en el momento que esta cortando o soldando o cuando tiene el electrodo posicionado y listo, permitiendo el recambio de electrodos usados por nuevos. Es importante, especialmente cuando se usa interruptores unipolares, que se controle si el interruptor no esta puesto en derivación; se puede tener certeza de esto, verificando que el cable que se encuentra entre la máquina de soldar y el interruptor se halla totalmente aislado en toda su extensión. Deberá realizarse una inspección periódica para tener seguridad de que el aislamiento no esté deteriorado. Se puede utilizar otro tipo de interruptores de seguridad automáticos, para proporcionar un control positivo de la corriente en el circuito. Cualquiera fuera el tipo de interruptor de desconexión que se use, deberá estar ubicado de tal manera que el guarda o "tender", a cargo del sistema de comunicación, pueda operar el interruptor y controlar la operación en todo momento cuando el buzo se encuentre debajo de la superficie.

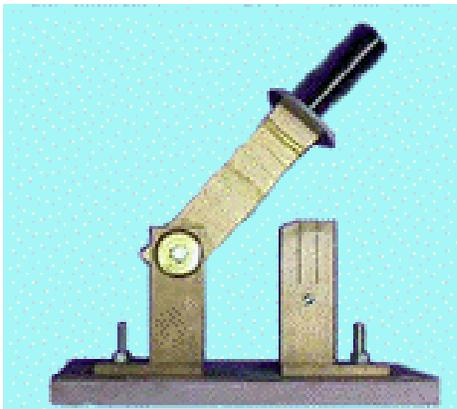
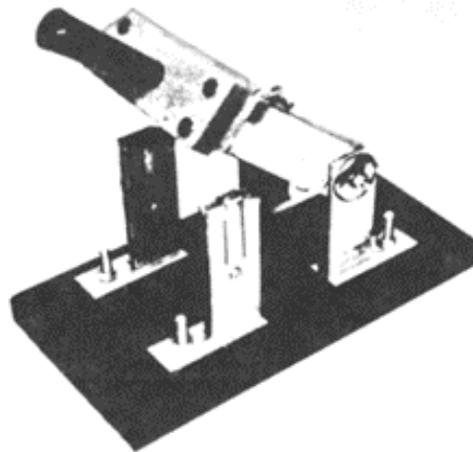


Fig 8: Interruptores de cuchillas



Se deben respetar determinadas normas de seguridad:

- No operar el interruptor ni abrir o cerrar el circuito, a menos que esté específicamente dirigido por el buzo; y, cuando éste así lo haga, deberá confirmar cada cambio por medio del sistema de comunicación.
- La corriente deberá estar cortada todo el tiempo, excepto cuando el buzo se encuentre soldando (el interruptor deberá estar abierto excepto cuando el buzo suelde).
- No operar el interruptor en atmósferas combustibles.
- Mantener el interruptor siempre al alcance de la mano del tender, todo el tiempo.

C. CABLES ELÉCTRICOS.

Existen diversas marcas y diámetros. Se usarán exclusivamente cables completamente aislados, aprobados y extra-flexibles. Un cable debe ser capaz de soportar la máxima corriente requerida por el trabajo a realizar. El diámetro adecuado de un cable para una tarea determinada depende de la extensión del circuito. Es recomendable el diámetro 2/0 (133.000 MPC) cuando el trabajo que debe hacerse está a una distancia considerable de la fuente de energía, ya que la caída de tensión es menor por su menor resistencia eléctrica. Ocasionalmente puede utilizarse un cable 3/0 (168.000 MPC) para profundidades extremas. El cable 2/0 debe usarse cuando la extensión total del cable incluyendo el electrodo y conductores a tierra, excede los 300 pies (100 mts). Si la extensión total supera los 400 pies (133 mts), dos o mas cables de 1/0 (105.000 MPC) o 2/0 pueden ser puestos en paralelo para reducir la resistencia.

Para soldaduras bajo el agua puede conectarse al portaelectrodo un cable a 10 pies (3 mts) de diámetro 1/0 (llamado *látigo conductor*) para hacer más manejable para el buzo el portaelectrodos. Los cables deben ser formados en longitudes mínimas de 50 pies (15 mts), complementados con conectores machos y hembras (Figura 9).

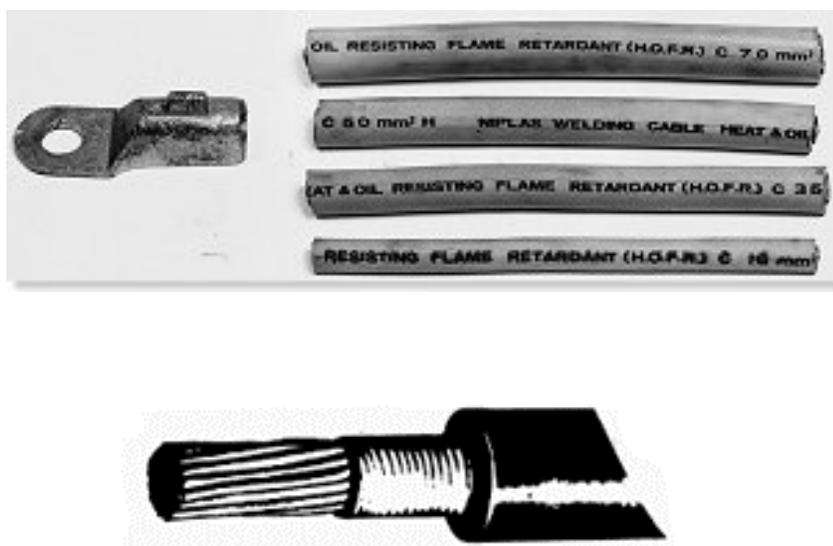


Fig 9: Diversos diámetros de cables conductores, con conector y detalle interior del cable.

Cada cable adicional y su conector causarán una caída de tensión.

Para compensar esto y mantener el amperaje requerido debe aumentarse la potencia de salida de la fuente de energía para soldar, elevando el voltaje del circuito abierto del generador de corriente continua o aumentando el amperaje si se usa un rectificador de corriente continua o transformador de corriente alternada.

Además de ser un peligro potencial, un conector mal aislado bajo el agua origina un escape de corriente considerable y un muy rápido deterioro del cable de cobre debido a la electrólisis. Se recomienda que todas las conexiones bajo el agua estén recubiertas por una cinta aisladora.

Se aconseja una envoltura final firme con una cinta de goma para aislar e impermeabilizar las conexiones bajo el agua.

Los cables y conexiones hechos con ellos deben ser inspeccionados antes de soldar y si existe algún deterioro en las aislaciones se repararán o, en su defecto, se reemplazarán.

Los cables se deben mantener almacenados secos y libres de grasa y, si es posible, colgarlos sobre cubierta, enrollados correctamente, protegidos de chorreaduras de aceite. Esto alargará en gran parte su vida útil.

Los cables a tierra (-) deben estar conectados próximos al trabajo que debe realizarse y puestos de tal manera que **el cuerpo del buzo nunca esté entre el electrodo y la parte puesta a tierra del circuito a soldar.**

NOTA 1: La conexión a tierra se hace sujetando el cable que viene de la máquina al buque o la pieza afectada, mediante una abrazadera o pinza de maza (Figura 10).



Fig 10: Pinzas y abrazadera de maza.

Existen umbilicales que combinan soporte de gas y energía eléctrica para todas las operaciones de soldadura y corte (Figura 11). Hay dos opciones para los cables de soldadura, de cobre o aluminio en varios diámetros, acordes a los diferentes requerimientos. Las mangueras de soporte de gas son combinadas con los cables en una construcción trenzada con monofilamentos de polietileno. También pueden incluir cables de comunicaciones, video cámaras o de energía para algunas herramientas.

Generalmente se construyen con cables de 1/0 (300 Amp. de capacidad) de 100 a mas de 300 pies de largo; mangueras de 3/4" y presión de trabajo de 1125 Psi. Acoples hembra de bronce y anillas "O" en los dos extremos de la manguera. Todo el umbilical se halla unido cada 8" con cinta adhesiva de gran calidad tipo "Silver Duct Tape". El largo de la manguera puede ser mayor que el cable, dependiendo de las dimensiones del carretel de la fábrica.

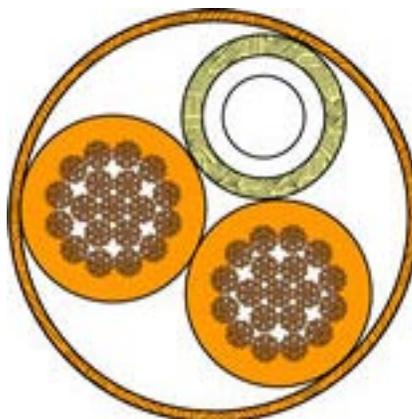
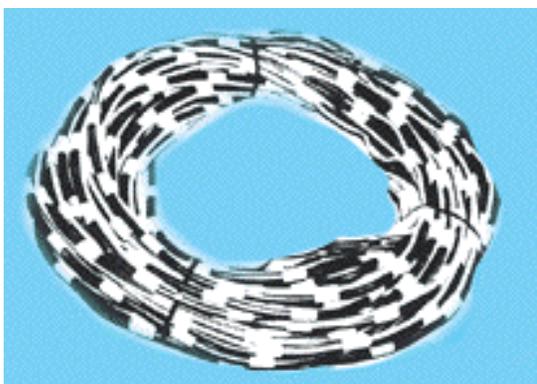


Figura 11: Umbilical y su corte.

D. POLARIDAD.

La soldadura y corte de arco/O2 bajo el agua, se realiza con **polaridad directa** cuando se utiliza corriente continua. Cuando se utiliza corriente continua con polaridad inversa, se producirá la electrólisis y causará el rápido deterioro de cualquiera de los componentes metálicos en el portaelectrodo o torcha de corte.

NOTA 2: el proceso ARCWATER utiliza **polaridad inversa**.

Es importante, entonces, utilizar la polaridad correcta. Cuando se usa corriente continua, la polaridad directa se obtiene conectando el borne negativo (-) de la máquina de soldar a la torcha o portaelectrodo, y el terminal positivo (+) a la abrazadera de conexión a tierra (la abrazadera de conexión a tierra deberá estar a un área limpia en la pieza a trabajar, que proporcionará una buena conexión eléctrica).

Si las marcas en el generador no son legibles o existiese alguna duda, la polaridad podrá determinarse mediante el siguiente test:

- a- Con el generador inactivo conectar los conductores a tierra, y de soldar, a los bornes.
- b- Fijar una pequeña pieza de metal al cable de conexión a tierra.
- c - Insertar un electrodo en el portaelectrodo o torcha.
- d- Sumergir la placa y el extremo del electrodo en un recipiente de agua salada, manteniéndolos separados aproximadamente 2 pulgadas (51 mm).
- e- Conectar la corriente. Cuando aparece un fuerte flujo de burbujas del extremo o boquilla del electrodo indica que hay polaridad directa. Si esto no ocurre, invertir los cables conductores, dando por resultado la polaridad directa.
- f- Una vez establecida la polaridad directa, invirtiendo los cables conductores se obtendrá polaridad inversa

NOTA 3: El operador del test debe estar correctamente aislado de la corriente

NOTA 4: Una vez establecida la polaridad correcta, no se deben confundir los cables que van a la torcha con los que van a la abrazadera de conexión a tierra.

E. TORCHAS Y PORTAELECTRODOS.

Siempre deben usarse torchas y portaelectrodos específicamente diseñados para aplicaciones bajo el agua.

Existen un sinnúmero de marcas internacionales que fabrican torchas y portaelectrodos para uso submarino como ser Tweco-Arcair, Broco Inc., Divex Commercial, AAI-Craftsweld, Oxilance Aqualance, Surweld, AquaThermic, Prothermic y otras. Todas las partes de las torchas y porta

electrodos están completamente aisladas, son durables y están diseñadas de forma tal que permitan fácilmente el recambio de los electrodos (Figuras 12 y 13).

Antes de comenzar las operaciones submarinas se debe controlar las torchas y portaelectrodos, por si existiesen partes desgastadas, dañadas o una aislación deficiente. Las partes deterioradas pueden hacer peligrar la vida del buzo o el estado del buque, y deberán repararse o reemplazarse. Por ejemplo la cabeza de un torcha para corte submarino deberá reemplazarse cuando el 50% de los hilos estén visiblemente deteriorados.

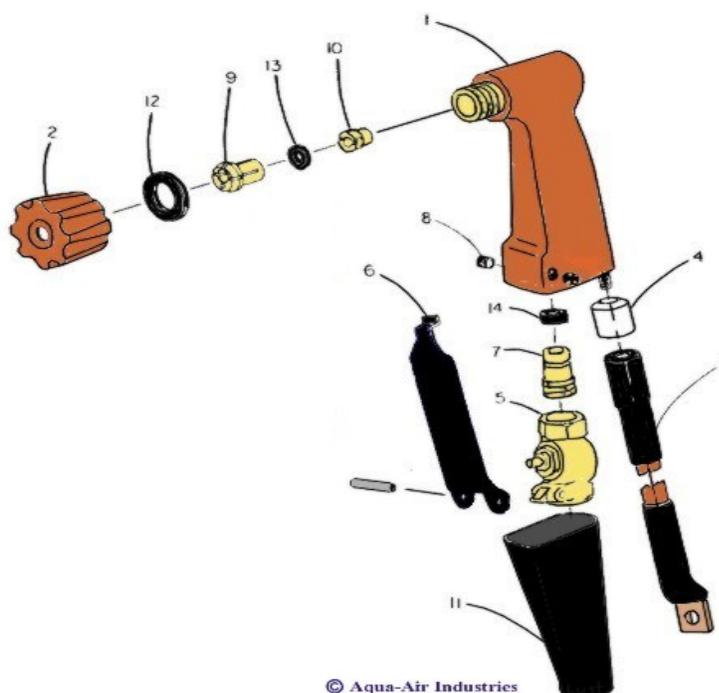
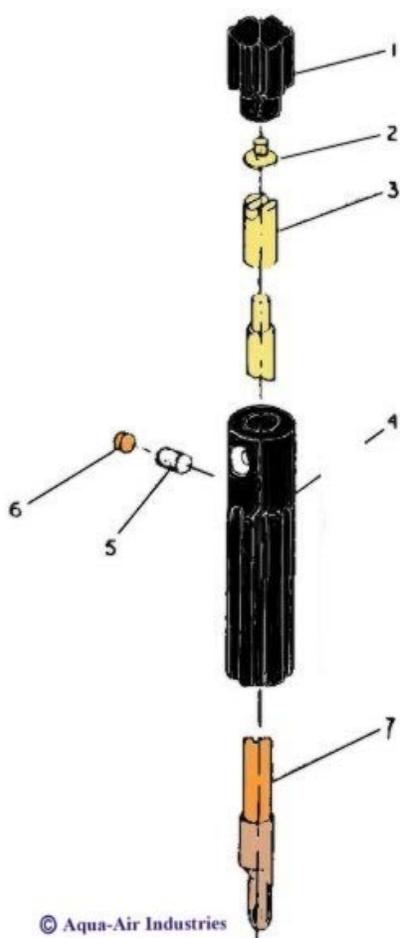


Fig 12: Nomenclatura de una torcha porta electrodos para corte submarino

- 1- cuerpo de la torcha
- 2- mandril ajusta electrodos
- 3- empalme de cable alimentador
- 4- aislador de la punta del cable

- 8- tornillos
- 9- boquillas (intercambiables)
- 10- retenedor
- 11- bota

- 5- válvula de O2
- 6- montaje de palanca accionadora de O2
- 7- adaptador
- 12- o-ring
- 13- o-ring
- 14- o-ring



- 1- cabeza
- 2- sombrero
- 3- cuerpo alimentador
- 4- cuerpo de sujeción
- 5- rosca de sujeción electrodo
- 6- enchufe
- 7- empalme cable

Fig 13: Nomenclatura de una pinza portaelectrodos para soldadura submarina

Después de cada día de uso las torchas, o portaelectrodos, deberán ser lavados íntegramente en agua dulce y secados convenientemente. Esto mantendrá la eficiencia operativa adecuada.

F. CRISTAL PROTECTOR OSCURO.

El ojo humano debe ser protegido contra la agresión de la luz. Una luz muy intensa deslumbra, pudiendo producir una momentánea ceguera, generando un grave riesgo para la salud.

El ojo posee varios mecanismos psicológicos de defensa contra el exceso de radiaciones solares o artificiales, estos mecanismos son bien conocidos y tienen que ver con los reflejos pupilares: la pupila se contrae considerablemente cuando es expuesta a una luz intensa. A esta acción fundamental se agrega la intervención de los párpados que permite reducir la cantidad de flujo luminoso recibido por el ojo. Pero todos los reflejos resultan insuficientes contra las radiaciones ultravioletas infrarrojas.

Estas radiaciones son tanto mas peligrosas para el ojo que las que ejercen una acción inmediata provocando reflejos de defensa: en muchos casos cuando pueden medirse los efectos traumáticos ya es demasiado tarde. El infrarrojo emitido en cantidad excesiva, es absorbido por los medios oculares y provocan lagrimeo y dolor de cabeza. Los rayos ultravioletas de corta longitud de onda, provocan una acción eritemosa e inflamación de la conjuntiva – golpe de arco y oftalmia eléctrica -. Para evitar esto, en todas las operaciones de corte y soldadura deben usarse lentes protectores de color verde oscuro. Estos protectores se agrupan en la normativa DIN y, cuanto mayor sea la intensidad del arco pueden ser de DIN 6 hasta el DIN 15.

Los vidrios protectores pueden fijarse a los cascos y máscaras de buceo comercial mediante diferentes mecanismos (Figura 14), diferenciados según la marca que los fabrique.

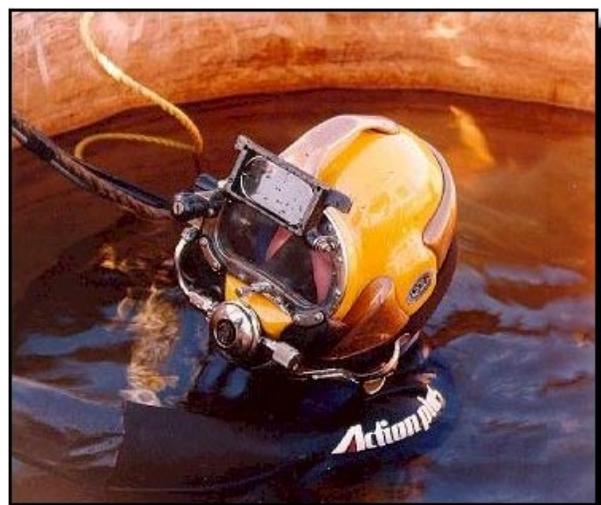




Fig 14: Diferentes tamaños y mecanismos de lente.

IV. CORTE BAJO EL AGUA.

A. CORTE POR ARCO - OXÍGENO.

A.1. Principios del Proceso.

El método más común para corte bajo el agua es el de arco-oxígeno. El éxito de este proceso depende de la rápida oxidación de los metales (ej : el acero). El calor se aplica mediante un arco eléctrico entre el metal base y el extremo del electrodo cortante, sobre un punto de la superficie metálica en la línea que se intenta cortar el metal casi instantáneamente se calienta a una alta temperatura. A través del núcleo de los electrodos tubulares de acero, se envía un chorro de O₂ puro de alta velocidad al punto sobre calentado y comienza el proceso de fusión mediante reacción exotérmica, el chorro de O₂ se usa también para eliminar el metal fundido y oxidado (Figura 15). Este sistema no cortará eficazmente aquellos materiales que no se oxidan con facilidad tales como aceros inoxidable y/o resistentes a la corrosión y algunos metales no ferrosos, tales como aleaciones de cobre. Con tales materiales hay otros procesos que son más apropiados.

A.2. Torchas para Corte Arco-O₂.

Básicamente, todas las torchas para corte arco-O₂ se componen de los siguientes elementos:

- Un mango con abrazaderas que admiten electrodos tubulares de corte y permiten el paso de oxígeno a través del electrodo,
- Una válvula de oxígeno para controlar el caudal de oxígeno,
- Un enchufe para conectar un cable de energía,
- Un arrestallamas removible con una malla metálica, para impedir que el flujo en retroceso de las partículas de metal caliente puedan entrar en el soplete cuando la válvula de oxígeno esta cerrada,

- Acoplamiento aislado entre el electrodo y la válvula de oxígeno, para resguardar al operador de choques eléctricos e impedir que se deteriore la válvula por la electrólisis, y
- Aislación total en todas las partes metálicas de la torcha y portaelectrodo, que transportan corriente para resguardar al operador contra choques eléctricos y para proteger las partes metálicas de la electrólisis.



Torcha Divex Commercial



Torcha AquaThermic



Torcha AAI-Craftsweld



Torcha Arcair Sea Torch II

Fig 15: Diversos marcas de torchas de corte.

Habitualmente, la corriente eléctrica es suministrada directamente a la cabeza, eliminando de esa forma el peligro de un choque eléctrico, a través de las válvulas de O₂ y mangos.

A.3. Electrodo.

Existen en la actualidad diversos tipos de electrodos para corte por arco-O₂. Ellos varían en su diámetro y el tamaño de su orificio para el paso de O₂ (generalmente se los identifica por colores) (Figura 16). Pueden adquirirse en el mercado, en cajas de entre 30 y 100 electrodos.

A.3.1. Revestimiento Fundente.

El revestimiento fundente de los electrodos tiene varias utilidades; permite el fácil comienzo y mantenimiento del arco voltaico, formando y manteniendo una atmósfera protectora alrededor del arco. El revestimiento debe consumirse en menor proporción que el núcleo y debe hacerlo concéntricamente en el corte, para permitir que se reinicie el arco si fuera necesario. No debe formar escoria sobre el material que se corta porque los depósitos de escoria en la muesca impedirán la oxidación futura. Debe generar gases para formar la burbuja en donde se mantiene el

arco, y previene la formación del arco hacia los costados del electrodo cuando se trabaja en esquina.



Fig 16: Electrodos para corte submarino Arcair Seaf Cut y Oxilance Aqualance.

A.3.2. Revestimiento Impermeable.

Todos los electrodos para trabajos submarinos tienen un revestimiento impermeable. Los revestimientos fundentes se deterioran al sumergirse en el agua y el agua es absorbida en el fundente, por lo tanto se hace imprescindible colocar un revestimiento impermeable de un espesor adecuado. Se debe mantener la integridad de los electrodos sumergidos y, si el revestimiento no es el apropiado, el agua que se introduzca en los intersticios se convertirá en vapor y quitará por presión el revestimiento cuando se forme el arco, proveyendo, además, un mayor aislamiento eléctrico.

En sus extremos, un electrodo no debe tener revestimientos, de manera que se exponga la varilla lo suficiente para que se forme fácilmente el arco. Los extremos de donde se toman tampoco deben estar revestidos, para impedir que se interrumpa el contacto eléctrico entre los electrodos y el portaelectrodo.

A.4. Oxígeno.

El oxígeno es un gas que se obtiene de la destilación del aire líquido. Se almacena en cilindros industriales de acero pintados de color azul, que normalmente indican el tipo de gas con letras pintadas y con una capacidad de 40 litros a 150 atmósferas.

El oxígeno no es combustible ni explosivo, pero puede provocar la ignición y activar la combustión, por lo que deberán ser estibados y embarcados con precaución, teniendo en cuenta las medidas mencionadas en el punto IV.A.6. de este manual.

Para la operación de corte el O₂ debe tener una pureza de 99,5% o más. Si no se mantiene esa alta pureza, la eficiencia del corte se reducirá. Una disminución de 1% en la pureza del O₂ producirá una reducción de un 25% de la velocidad de corte. También decrece la calidad y aumenta la cantidad de escoria adherida. Cuando la pureza cae a menos del 95%, la operación se transforma en fusión y lavado, más que corte.

A.4.1. Presión de O2.

Puede efectuarse un corte satisfactorio dentro de un amplio rango de caudales de O2. Sin embargo, si se aplica menos del volumen óptimo de O2, se demorará la operación y aumentará la fatiga del buzo innecesariamente. Demasiado O2 para un determinado grosor de placa dará como resultado la pérdida de O2 y puede aumentar también la fatiga del buzo al crear una excesiva contrapresión en la boca de la manguera. Esto exigirá del operador una energía adicional para sostener el electrodo sobre el corte (Tabla 1).

<u>Espesor de la Placa</u>		<u>Oxígeno / Presión en el Soplete</u>	
Pulgada	Mm	Psi	Kg/ Cm2
¼	6,4	35-40	2,5-2,8
½	12,7	15-50	3,2-3,5
¾	19,0	50-55	3,5-3,9
1	25,4	55-60	3,9-4,2
más de 1	más de 25,4	65 o más	4,6 o más

Tabla 1: Presión de O2 vs. Espesor de la Chapa

Los valores de la tabla 1 son los que deben suministrarse en la torcha. No incluyen la pérdida de presión que se produce en la extensión de la manguera, ni la compensación de presión que se necesita por la profundidad del agua.

Para calcular la presión adicional en **psi** se debe multiplicar la profundidad en pies por el factor 0,45 (para determinar kg/cm2 adicionales se multiplica la profundidad en metros por el factor 0,105).

Por ejemplo, para el corte de una placa de ¾" (19mm) en una profundidad de 100 pies (30,47mts):

<u>Cálculo de profundidad</u>	<u>Presión total de O2</u>
100 pies x 0,45 = 45psi	45 + 50 (valor tabla 4-1) = 95psi
30,47mts x 0,105 = 3,2 kg/cm2	3,2 + 3,5 (valor tabla 4-1) = 6,7 kg/cm2

La compensación por la caída de presión en las extensiones de la manguera variará de acuerdo al diámetro interno de esta. Se recomienda una manguera de O2 nueva, de línea simple, trenza doble y se aconseja usar una manguera de ¼" (6,35mm) ID para trabajos que se realicen en profundidades medias. Por cada 100 pieas de manguera se debe agregar 5 - 10psi.

La manguera debe fabricarse para ser usada con O2 y ensayada hasta 1000psi (70,3 kg/cm2) como presión de estallado o reventado.

A.5. Reguladores de Oxígeno.

Los reguladores de O₂ son reductores de presión, que controlan el gas que entra a la manguera, una vez que es abierta la válvula del cilindro. Es un dispositivo capaz de reducir la presión del oxígeno a una presión deseada constante. Está constituido por dos cámaras comunicadas entre sí, una de alta presión y otra de baja presión; en las dos está interpuesto un obturador. Este va ligado a una membrana de goma, de tal modo que su movimiento provoca una apertura mayor o menor, o también el cierre completo del agujero de comunicación. Sobre esa membrana actúan dos fuerzas, una desde arriba debida a la presión del gas que tiende a cerrar la válvula; la segunda que obra en sentido contrario se obtiene por la acción del resorte regulador, que tiende a abrir la válvula. Esta tensión del resorte puede graduarse con un tornillo de ajuste, de tal modo que a mayor tensión corresponde una mayor presión regulada.

El funcionamiento se basa en el juego de estas dos fuerzas, si se abre el consumo de gas, la presión en la cámara baja disminuye, la fuerza que actúa sobre la membrana, por consiguiente, también, y entonces el resorte tiende a abrir el obturador dejando pasar más O₂. De esta manera va aumentando paulatinamente la presión de baja y por consiguiente la fuerza sobre la membrana, hasta cierto valor, para la que fue regulada la válvula en que vence al resorte de regulación y tiende a cerrar el obturador.

Entonces, balanceando las fuerzas en juego, se logra mantener la presión constante. Cada cámara lleva conectado un manómetro que indica en cada momento la presión de ambas (Figura 17).



Fig 17: Regulador de O₂.

Para aflojar el regulador de O₂, se desatornilla el tornillo de ajuste, hasta que la presión es liberada del resorte. El tornillo de ajuste del regulador debe aflojarse, siempre, antes que el cilindro de la válvula, para evitar las averías del asiento del regulador, producidas por el impacto repentino de la alta presión.

A.5.1. Requerimientos de Amperaje de los Electrodo.

El requerimiento de amperaje depende del diámetro del electrodo y el espesor de la chapa a cortar, siendo de entre 300 y 600 Amperes.

A.6. Precauciones Especiales para Corte Arco-O₂.

El oxígeno que se usa en el proceso de corte bajo el agua, debe almacenarse a alta presión en cilindros de O₂ y traspasarse a baja presión a la torcha para corte. Deben tomarse ciertas medidas de seguridad con respecto al almacenaje, manejo y uso del O₂. El oxígeno se ha empleado muchísimo en corte submarino y a pesar de que puede producir explosiones y fuego, cumpliendo las medidas de precaución adecuadas, este puede usarse con total confianza y seguridad:

- Deben usarse equipos aprobados y en buen estado, como torchas, reguladores, mangueras, y se examinarán antes de ser usados,
- No deben llenarse los cilindros de oxígeno con otros gases,
- No usar las mangueras con otro gas que no sea oxígeno,
- Si se usa la torcha con otros gases será necesario desarmarla, limpiarla completamente con desengrasantes especiales y volverla a armar antes de emplearla con oxígeno;
- El equipo lo debe usar personal calificado e instruido,
- El tender deberá tener rápido acceso a las llaves de paso de los tubos en caso de emergencia y se deberá inspeccionar constantemente el equipo mientras esté en uso,
- El equipo debe estar libre de contacto con grasas o aceites, no tocarlos con manos o guantes aceitados o materiales grasosos ni deben almacenarse en zonas donde puedan contaminarse con estas sustancias,
- No permitir el contacto del oxígeno con sustancias inflamables,
- Mantener unidos juntos la manguera de O₂ con el cable de energía de la torcha mediante ataduras con cinta tipo Silver Duck Tape o 3M cada un metro de longitud,
- Mantener alejadas las mangueras de O₂ de posibles contactos con escorias o llamas producto del corte,
- Iniciar el corte de arriba hacia abajo, para disminuir la posibilidad de explosiones por acumulación de gases.

Evitar cortar por sobre la cabeza del buzo, ya que el material fundido caerá sobre el traje y mangueras del buzo.

A.7. Técnicas de Corte Arco-O₂.

A.7.1. Corte de Placas Gruesas.

Para el corte de placas gruesas de $\frac{1}{4}$ " (6,4mm) y más, la técnica adecuada es la siguiente (Figura 9):

- Para iniciar el corte, sostener el electrodo perpendicular a la superficie que se cortará, poniendo el extremo del electrodo contra la placa. Abrir la válvula de O₂ y pedir que se conecte la corriente. Retirar un poco el electrodo y golpearlo ligeramente contra la placa, si fuera necesario, para iniciar el arco.
- Una vez iniciado el avance del corte deslizándolo el electrodo a través de la línea de corte en forma perpendicular a la superficie de la placa que se va a cortar o con un pequeño ángulo que conduzca a la dirección de corte. El extremo de metal del electrodo debe tocar el metal que se corta. Debe ejercerse suficiente presión en dos direcciones:
 - a) hacia adentro para asegurar que se mantenga el contacto con la placa y compensar el consumo del electrodo y
 - b) hacia delante para avanzar el corte.
- Si se realiza un corte incompleto, por alguna falla en la manipulación o turbulencia en las aguas, generalmente quedará indicado por una incandescencia, que es visible, aún, en aguas turbias. Si esto no ocurre, se debe detener el avance del electrodo, retroceder una pequeña distancia en el corte hecho previamente y recomenzar el corte allí.

A.7.2. Corte de Placas Finas.

Para placas finas de menos de $\frac{1}{4}$ " (6,4mm), la técnica recomendada es la siguiente:

- Para cortar placas de acero delgadas varía levemente de la que se usa para placas más gruesas. En lugar de mantener el extremo del electrodo en el corte y presionarlo contra el borde del corte, avance como se señaló anteriormente, el extremo solamente debe tocar la superficie de la placa cuando avanza en la línea del corte.
- Una técnica alternativa que puede usarse cuando la visibilidad es escasa, se basa en el aumento del espesor efectivo de la placa que se va a cortar. Se debe sostener el electrodo de manera que apunte en dirección al corte e inclinarlo hacia la placa en un ángulo de, aproximadamente, 45°. El espesor efectivo de la placa se aumenta de este modo y, por lo tanto, puede aplicarse presión normal al electrodo.

NOTA 5: Los metales limpios se cortan mejor que los sucios o corroídos, pero el acero cubierto con costras o escamas y una o dos capas delgadas de pintura pueden cortarse fácilmente.

A.7.3. Perforación de una Placa de Acero.

La perforación del acero se realiza fácilmente usando el método arco-O₂. Es un procedimiento rápido y la técnica es la siguiente:

- Tocar la placa suavemente en el punto deseado. Abrir la válvula de O2 y pedir que se conecte la corriente.
- Mantener fijo el electrodo por un momento y, si fuera necesario, retirarlo momentáneamente, para permitir la fusión del tubo de acero en el interior de la cubierta.
- Hacer entrar lentamente el electrodo al agujero hasta que la placa se agujeree.

NOTA 6: Con esta técnica se ha podido perforar sin dificultad una placa de acero de 3" (76,2mm) de espesor.

A.7.4. Corte de Fundición de Hierro y Metales No Ferrosos.

El hierro fundido y los metales no ferrosos, como las aleaciones en base de cobre no oxidan fácilmente, por lo que el corte arco-O2 sumergido se transforma en una fusión. No se obtiene ninguna ventaja del oxígeno excepto el efecto mecánico de la sopladura de metal fundido que sale del corte. Se recomienda substituir el oxígeno por el aire comprimido, cuando se cortan estos metales con electrodos tubulares, pero no usar la línea de O2, debido a la posibilidad de que queden restos de aceite en la misma.

NOTA 7: Si se usa una torcha con aire comprimido, esta debe desarmarse completamente y limpiarse con solvente antes de ser utilizado para corte Arco-O2.

La técnica de arrastre usada para el corte de acero no resulta satisfactoria, cuando se corta hierro fundido grueso y metales no ferrosos. El operador debe manejar el electrodo, ingresándolo y retirándolo fuera del corte, debido a que la fusión se produce solo alrededor del arco.

Para cortar placas finas, el manipuleo del electrodo no es necesario y la operación es esencialmente la misma que la que se usa para placas de acero finas. Se recomienda que se use toda la corriente disponible, ya que el corte depende de la acción de fusión del arco.



Fig 18: Buzos realizando operaciones de corte arco-O2 subacuático.

B. CORTE ARC - WATER.

B.1. Principios de Procedimiento.

Consiste en lograr un arco submarino entre un electrodo impermeable y la pieza con un revestimiento de cobre sobre una aleación de carbón-grafito. El metal fundido resultante es expelido de la pieza de trabajo mediante un chorro de agua de alta presión que sale de la torcha a través de un orificio situado directamente bajo el electrodo. Este procedimiento deja una superficie limpia, lista para soldar, substituyendo el chorro de aire usado en el proceso para trabajos en superficie, por una corriente de agua.

B.2. Aplicaciones.

Se usa para : remover soldaduras con filetes deficientes, soldar nuevamente, remover estructuras innecesarias en forma similar al método arco-O₂ submarino (no es práctico para metales de mas de 1" de espesor), remover soldaduras rajadas, preparar rajaduras en superficies descascaradas para soldarlas, remover productos marinos como lacas de áreas localizadas como rajaduras de estructuras, remover superficies desgastadas para la siguiente reparación, y sirve en casi todos los metales encontrados en barcos y estructuras submarinas.

B.3. Equipo.

B.3.1. Energía.

Se debe conectar el cable de energía a una fuente de corriente continua, tal como los que se usan en soldadura por arco eléctrico. Una fuente de energía con tensión constante puede usarse, contando con que la tensión a circuito abierto sea de 60 volts o más. El amperaje es de 350 a 500 amperes en corriente continua, POLARIDAD INVERSA. Este es el contrario de la polaridad directa (CC). Usada en corte arco-O₂ submarino.

NOTA 8: Este método requiere polaridad inversa (electrodo positivo). Con polaridad inversa la torcha se conecta al borne positivo de la máquina de soldar.

B.3.2. Agua.

Es necesario alimentar con agua, dulce o salada, a la torcha a una presión de 90psi (6,3 kg/cm²) sobre la presión de fondo. Se requiere caudal de agua de 3,5 galones por minuto (13,3lts/min).

B.3.3. Torchas.

Las torchas para este sistema tienen un diseño especial, aislado eléctricamente y completamente impermeable en el área donde se inserta el electrodo. Son pequeñas y bien balanceadas para minimizar la fatiga del buzo.

B.3.4. Electroodos.

Las torchas para corte Arc-Water están diseñadas para usar electrodos de 5/16" x 9" (7,9 x 229mm) que tienen revestimiento de cobre y son impermeables.

Este revestimiento de cobre mejora la conductividad del electrodo; el revestimiento impermeable protege la integridad del electrodo bajo el agua y proporciona una capa aisladora de la electricidad.

Los electrodos generalmente son de color blanco, con un diámetro de 5/16" (7,9mm) y 9" (228,2mm) de largo (Figura 19).



Fig 19: Electrodos para corte Arc-Water Tuff Cote

Los electrodos son carbones recubiertos de cobre completamente impermeables excepto el extremo que va dentro de la torcha. El extremo del arco tiene una impermeabilidad especial, que se quita golpeando ligeramente o frotando el electrodo levemente la pieza de trabajo. La única parte del electrodo no impermeable, es el extremo que se inserta en la torcha. En su otro extremo tiene una impermeabilidad especial que se remueve golpeando o frotando el electrodo.

B.4. Procedimiento.

B.4.1. Conductor a Tierra.

Antes de comenzar las tareas, el buzo debe fijar el conductor a tierra (negativo) a la pieza de trabajo.

B.4.2. Electrodo en el Portaelectrodos.

Una vez verificado el buen funcionamiento del equipo, el buzo debe insertar el extremo de cobre descubierto del electrodo en la torcha y ajustar la perilla hasta que el electrodo este seguro, luego debe golpear ligeramente o frotar el extremo del arco del electrodo levemente contra la pieza de trabajo.

B.4.3. Ranurado.

La profundidad de la ranura variará con el ángulo de la torcha, la velocidad del recorrido, el amperaje y la presión ejercida sobre el electrodo. Para ranurar y remover la soldadura, la torcha debe estar en un ángulo de ataque de 40° con el chorro de agua bajo el electrodo. El soplete debe moverse hacia delante con la velocidad suficiente para mantener el arco y la profundidad que se desea en la ranura. El buzo no debe cortar una profundidad mayor de 1/4" en un solo paso. Esto impedirá una sopladura de metal hacia el buzo.

B.4.4. Agua – Encendido.

Cuando el buzo esta posicionado para ranurar o cortar debe pedir presión de agua y luego indicar al tender que haga el encendido.

B.4.5. Corte.

Para proceder al corte, el soplete debe encontrarse en un ángulo de 75° con el chorro de agua bajo el electrodo. Deben tomarse las precauciones para impedir la sopladura de metal fundido hacia el buzo. Una vez que se hizo el agujero en el metal, puede ser agrandado usando la torcha con el movimiento de un serrucho en la dirección de corte deseada.

B.4.6. Agua – Apagado.

Cuando el buzo ha terminado el ranurado o el corte, o ha consumido el electrodo a 1,5" (37,1mm) de la cara de la torcha, debe indicar al tender que desconecte la energía. Solo entonces aflojará la perilla de mano y sacará el extremo del electrodo.

B.5. Precauciones Especiales para Corte Arc - Water.

- Debe usarse equipos aprobados y en buen estado y se examinarán antes de ser usados,
- El equipo lo debe usar personal calificado e instruido,
- El tender deberá tener rápido acceso a las llaves de corte de energía en caso de emergencia, y debe inspeccionar constantemente el equipo mientras esté en uso,
- Evitar cortar o ranurar en ángulos tales que metal fundido pueda caer o salir disparados hacia el cuerpo o mangueras del buzo,
- Mantener unidos juntas las mangueras de agua y cable de alimentación mediante ataduras con cinta tipo Silver Duck Tape o 3M cada un metro de longitud,
- Iniciar el corte de arriba hacia abajo, para disminuir el peligro de derrumbes o caídas de estructuras cortadas sobre el buzo operador.

B.6. Datos Operativos.

Corte de tubo de acero al carbono:

<u>Espesor de Pared</u>		<u>Prom. x minuto</u>		<u>Presión de Agua/Presión de Fondo</u>		<u>Amperaje p/ Corte</u>
Pulg.	Mm	Pulg.	Mm	Psi	Kg/cm2	
0,1875	4,76	22,0	559	90 - 110	6,33 – 7,73	475 - 525
0,250	6,35	16,0	406	“	“	“
0,375	9,53	12,406	315	“	“	“
0,500	12,70	8,375	213	“	“	“
0,625	15,88	4,156	106	“	“	“
0,750	19,05	13,75	35	“	“	“

Tabla 2: Presiones y amperajes para cortes de acero al carbono

NOTA 9: Los datos del acero inoxidable son similares a los de acero al carbono. Los materiales no ferrosos, tales como bronces o latón pueden cortarse con las condiciones operativas que se mencionan en la tabla 2, si el contenido de cobre es de un 80% menos.

Corte de un cable de acero:

Pulg.	Mm	<u>Tiempo prom. De Corte</u>	<u>Presión de Agua/Presión de Fondo</u>		<u>Amperaje</u>
		*Segundos	Psi	Kg/cm2	
1	25,4	10	90 – 110	6,33 – 7,33	475 - 525

Tabla 3: Presiones y amperajes para corte de cables de acero

* Por cada pulgada adicional en el diámetro del cable se debe aumentar el tiempo por corte 1,5 veces los valores de la tabla 3.

Aceros al carbonos ranurados:

<u>Diám. Electrodo</u>		<u>Prom. Ancho Ranura</u>		<u>Prof. Ranura</u>		<u>Presión de Agua/Presión de Fondo</u>		<u>Amper.</u>
Pulg.	Mm	Pulg.	Mm	Pulg.	Mm	Psi	Kg/cm2	
5/16	7,94	ap.7,16	ap.11,13	3/8	9,53	90 – 110	6,33 – 7,33	375 - 400

Tabla 4: Presiones y amperajes para ranurar aceros al carbono

La profundidad de la ranura se determina por la velocidad del recorrido, los otros parámetros quedan iguales.

C. CORTE POR ELECTRODOS ULTRATÉRMICOS.

C.1. Principios de Procedimiento.

Los electrodos ultra térmicos, son diferentes a los electrodos tubulares de acero convencionales. Un solo electrodo cortará dos o tres veces más que un electrodo convencional y lo hará en mucho menos tiempo, cortar una distancia establecida prácticamente le tomará menos de la mitad de tiempo y la mitad de electrodos. Sin embargo, los requerimientos de oxígeno y amperaje de los otros sistemas de corte, no son aplicables para lograr la mayor efectividad del sistema ultra térmico. Este requiere un alto flujo de O2 y un menor amperaje que los electrodos convencionales, esto trae aparejado un mayor número de problemas operacionales a enfrentar para los operadores acostumbrados a los sistemas comunes de corte.

Virtualmente, todos los metales y otros materiales pueden ser cortados, fusionados, fundidos, perforados con el sistema de electrodos ultra térmicos. Esto se debe a que en el interior del electrodo ultra térmico (Ultra Alta Temperatura) se encuentran 7 almas de acero que al fluir el O2 por la punta del electrodo y acercar fuego o chispa a él, hacen encender una llama con una temperatura de más de 5.538 grados centígrados (10.000°F), por lo que no es necesario realizar una pre-limpieza de las piezas a cortar (Figura 20), lo que hace del corte una tarea muy sencilla.



Fig 20: Es posible cortar y fundir aún sobre piezas con incrustaciones.

C.2. Aplicaciones.

Como se puede cortar prácticamente todo material con este sistema, tiene diversas aplicaciones: penetrar materiales que el oxiacetileno no puede cortar como aluminio, titanio, acero inoxidable, bronce, fundición de hierro y materiales refractarios. Un electrodo ultra térmico puede taladrar o agujerear una chapa de 6" (15,24cm) en 30 segundos. Este sistema puede aplicarse al corte de antiguas vigas doble "T", estructuras macizas de muelles, plataformas, debido a que no es necesario retirar las incrustaciones y la flora adheridos a la pieza. Permite también el ranurado de piedras, rocas de granito, o concreto para colocar cables de izado, remover cables de acero, nylon o cáñamo de ejes portahélices de buques (sólo se debe ser cuidadoso para no hacer contacto con el eje), cortar o recortar palas de hélices de fósforo – bronce (o cualquier otra aleación) de buques grandes sin importar el tamaño de la hélice, remoción de pilotes rellenos de concreto (posibilita cortar ambos materiales con la misma herramienta) o cortar tuberías submarinas cubiertas de concreto. Cuando se reduce el equipo a pequeñas valijas (Ver Nota N° 10), son usados por fuerzas militares y o servicios de emergencias (por ej: para el rápido corte de material en rescate de personas atrapadas).

C.3. Equipo.

C.3.1. Torchas.

Las torchas para este procedimiento, están diseñadas para que fluya a través de ellas el máximo de oxígeno para soportar los electrodos ultra térmicos a cualquier profundidad. Estos son de diseño ergonómico para reducir la fatiga del buzo.

Poseen un mandril roscado para sujetar el electrodo y son menos vulnerables a la arena e incrustaciones que las torchas normales de corte arco-O₂; soportan la electrólisis, y generalmente son desmontables en dos cuerpos de plástico que permiten su limpieza y amplio servicio. Las válvulas que accionan el paso del oxígeno se hallan aisladas de el cable conductor de electricidad, para protección del buzo (Figura 21).

C.3.2. Regulador de Oxígeno.

Los reguladores de oxígeno para corte ultra térmico permiten el paso de un gran flujo de gas, 4.400 m³/hora, sobre 70 c.f.m. En su etapa de seguridad, reducen la presión del cilindro un 90% y

en su segunda etapa por medio de un diafragma ajustable provee una precisa, constante y niforme entrega de gas a la manguera que conduce a la torcha.

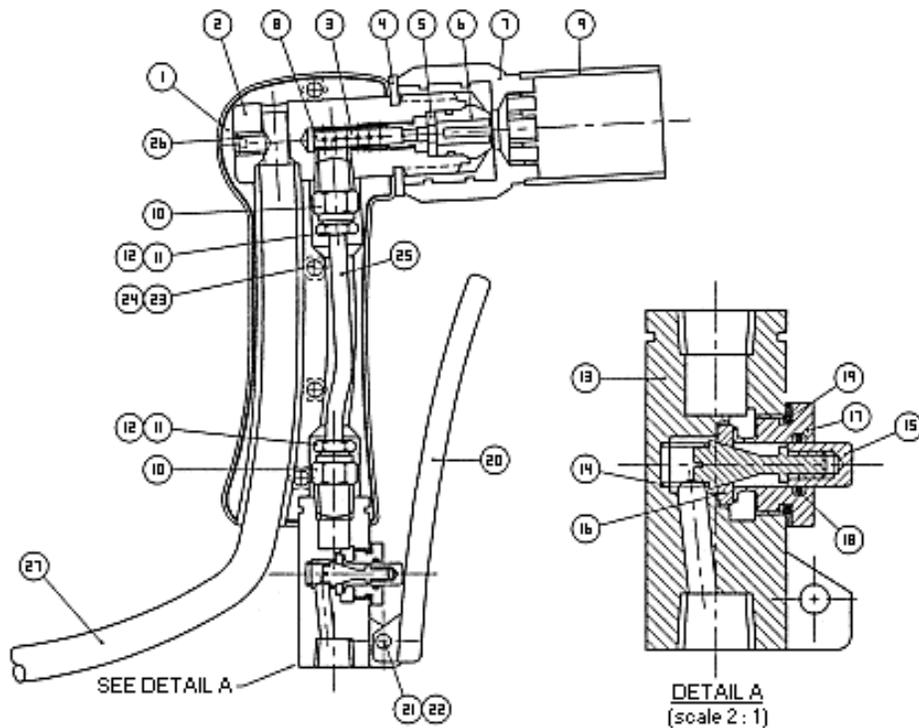


Fig 21: Corte de una torcha ultratérmica.

Poseen una válvula de seguridad de sobrepresión entre etapa, dando seguridad al operador, y un filtro interior para mantener libre de impurezas al gas.

C.3.3. Interruptores de Seguridad.

Debe usarse una llave tipo cuchilla, de una o dos cuchillas de un polo, para 400 amperes de corriente continua, sin fusible, de acuerdo con las mencionadas en el punto III.B.

C.3.4. Energía.

Puede emplearse una máquina de soldar de 150 a 200 amperes de corriente continua o una batería de 12 volts del tipo automóvil.

Para encender el arco puede utilizarse una batería, ya que una vez hecho fluir el oxígeno por el extremo del electrodo, se hace contacto con el sobre el metal base y la chispa producida por este movimiento encenderá el electrodo.

En U.S.A., se ha diseñado un sistema llamado *Chemical Discharge Ignition* (Ignición por Descarga Química). Es un sistema de ignición para encender electrodos de corte ultra térmico que elimina la necesidad de energía eléctrica, naciendo de la necesidad de crear un equipo corte sencillo y portable. Este pequeño equipo de corte está formado por : un cilindro de oxígeno, un regulador, una manguera corta, una torcha de corte, electrodos ultra térmicos y cápsulas CDI.

Las cápsulas CDI son primero llenadas con un poco de agua, y trabajan presionando la punta del electrodo en la cápsula y rompiendo un vidrio en el interior de la misma, entonces los químicos y líquidos dentro de la cápsula se mezclan y dan comienzo a una intensa reacción química. En ese

momento, el electrodo debe ser retirado suavemente de la base de la cápsula, para permitir que se intensifique la reacción química por dos o tres segundos – esto obviamente producirá chispas, llamas y humo - calentando suficientemente la punta del electrodo que, con una gradual y lenta adición de oxígeno a través de la válvula de la torcha, hará que este se encienda.

Una vez encendido el electrodo se retira de la cápsula CDI y se aplica a la pieza a trabajar (Figura 22).



Fig 22: Detalle de cápsula CDI.

Nota 10: Este método es más práctico que los métodos tradicionales de corte ya que es menos dificultoso y reduce el tiempo de trabajo y ha permitido la fabricación de las *Ultra Thermics Cutting Boxes* (Valija de Corte Ultra Térmico) que, por su simplicidad y rápido armado, son usadas por fuerzas militares, servicios de emergencias y bomberos.

También existen los *Cutting Carts* (Figura 23), que son carritos equipados con baterías de 12 Volts y se conectan a los cilindros de O₂, que llevan enrollados los cables y mangueras de corte con la torcha, el cable a tierra (-) y poseen un tablero de control para presión de O₂, amperaje y tienen la llave interruptora de seguridad incorporada.



Fig 23: Cutting Cart fabricado en U.S.A.

C.3.5. Oxígeno.

Se utiliza oxígeno de máxima pureza (99%) almacenado en cilindros, cargados a 150 atmósferas.

Profundidad		Presión de Oxígeno	
Pies	Metros	Psi	Atm
33	10	108	7,4
40	12	112	7,6
50	15	117	8,0
60	18	23	8,4
70	21	128	8,7
80	24	134	9,1
90	27	139	9,5
100	30	145	9,9
110	34	150	10,2
120	37	155	10,5
130	44	161	11,0
140	43	166	11,3
150	46	172	11,7
160	49	177	12,0
170	52	183	12,5
180	55	188	12,8
190	58	194	13,2
200	61	199	13,5
210	64	204	13,9
220	67	210	14,3
230	70	215	14,6
240	73	221	15,0
250	76	226	15,4
260	79	232	15,8

Tabla 5: Presión de O2/Profundidad del trabajo.

NOTA 11: Cuando la profundidad excede los 100 mts, cada 10 pies de manguera requerida, agregar 1 psi a 90 psi necesarios en la torcha. Esto compensará las pérdidas por fricción en las líneas. Adicionalmente, agregar 0,445 por cada pie de profundidad de trabajo para compensar la creciente presión hidrostática.

C.3.6. Mangueras.

Deben ser resistentes al envejecimiento y cambios de temperatura. Los colores característicos para las mangueras de O2 son azul, verde o negro. La manguera va desde el regulador de O2 hasta la torcha y debe ser de alta presión tipo Altipress o Dunlop para oxígeno, con un diámetro interior de

3/8". No debe usarse para otro gas (ej : aire comprimido) porque al volverla a utilizar con O2, los residuos aceitosos podrían causar una explosión.

C.3.7. Cables.

Se usarán cables para soldadura de 1/0 para la torcha y la mordaza a tierra. La mordaza o abrazadera deberá ser apta para trabajos submarinos. El cable de alimentación y la manguera de O2 deben estar unidos mediante cinta tipo 3M o Silver Duck Tape cada 2' (33cm).

Profundidad (pies)	Oxígeno (psi con manguera 3/8")	Corriente (Amp) p/ diámetro del cable usado		
		1/0	2/0	3/0
100'	145 psi	152	150	150
150'	172 psi	155	152	150
200'	199 psi	157	154	152
250'	226 psi	159	156	154
300'	254 psi	161	158	156

Tabla 6: Requerimientos de energía.

NOTA 12: Para metales de mas de una pulgada de espesor, se requiere mayor presión de O2.

C.3.8. Equipos de Comunicación.

Es extremadamente importante que se emplee un sistema de comunicaciones de dos vías buzo – superficie, esto además de ser de comodidad para las maniobras de corte, es un factor clave con respecto a la seguridad del buzo operador.

C.3.9. Electrodo.

Un tubo hueco de acero recubierto de cobre con hilos de aleación de acero en su interior es el centro del proceso. Rizos circulares en el interior hueco del electrodo sostienen los hilos en su lugar. En un extremo del electrodo los hilos de acero son 2" (5,08cm) más cortos que el tubo del electrodo para impedir el retorno de la llama.

Al introducir el electrodo en la torcha, al accionar el O2, este fluye a través del tubo y alrededor de los hilos de acero (Figura 24).

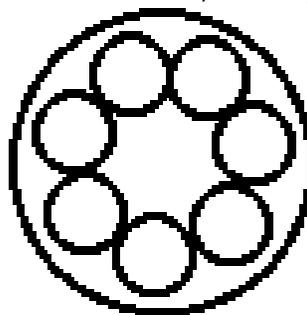


Fig 24: Corte transversal de un electrodo ultratérmico.

Generalmente estos electrodos son de 18" (45,72cm) de largo. Existen también en medidas más cortas, pero los más largos mejoran el tiempo de uso de cada electrodo, haciéndolos un 29% más duraderos. Su diámetro puede ser de 1/4", capaces de agujerear hasta 6", remover soldaduras

livianas y cortar material hasta una pulgada de ancho, y de 3/8" para cortar y agujerear piezas de mayor grosor, ranurar rajaduras y remover soldaduras pesadas. Estos últimos tienen una capacidad de corte para acero de hasta 6 pulgadas.

Están envueltos con cinta aislante en toda su extensión para aislarlos eléctricamente, excepto en sus extremos (Figura 25).

El buzo operador puede torcer o doblar el electrodo para llegar a zonas difíciles de la pieza a cortar.



Electrodos ultratérmicos "Scorpion"



Electrodos ultratérmicos "Divex"



Electrodos oxi-térmicos "Woodtech U. K."

Fig 25: Electrodo ultra térmico.

C.4. Proceso de Corte.

Una vez colocada la fuente de oxígeno (cilindros) en una ubicación segura para que no se lastimen las mangueras, se debe chequear que todo se encuentre en perfectas condiciones: reguladores, mangueras, torchas y electrodos, y que se hallen libres de grasas o aceites u otras sustancias que sean inflamables. Ajustar el regulador para la profundidad donde se trabajará y el grosor del material a cortar (Ver tabla 5 de presión de O₂) y chequear todo el sistema por pérdidas de oxígeno.

Para interruptores de seguridad de un polo, ajustar el terminal del cable negativo (-) del generador de energía eléctrica (o polo negativo de la batería), a el lado receptor del interruptor de seguridad; ajustar el terminal del cable de la torcha al otro extremo del interruptor. El interruptor de

seguridad debe estar colocado en la estación de buceo, de manera que pueda ser operado por la persona responsable de las comunicaciones con los buzos.

Ajustar el cable positivo (+) del generador (o polo positivo de la batería), chequear el selector de polaridad de la máquina soldadora para asegurarse de que se halle en polaridad directa. Si no tuviera un selector de polaridad, debe recordarse que el **positivo** es el que va **a tierra**.

NOTA: La polaridad no es crítica, cuando se corta con la corriente desconectada.

Puede chequearse la polaridad mediante el test mencionado en el punto III.D.

El buzo debería ajustar la maza, tan cerca del trabajo como le sea posible. Debe estar colocado de forma tal, que el buzo nunca se halle entre el área donde se está cortando y la maza. Cuando el buzo está en posición y listo para cortar, pedirá a superficie "conectar corriente" (*"Make it Hot"*), una vez que el electrodo se enciende el operador puede elegir cortar con o sin energía eléctrica. Cuando se corta sin poder eléctrico, los electrodos se consumirán mas lentamente, empero la velocidad de corte también se reducirá. Para incrementar la producción de corte, se recomienda que la superficie esté libre de oxidación gruesa, flora o incrustaciones, o cualquier otro material que reduzca o impida la conducción eléctrica. Colocado y ajustado el electrodo en la torcha, se debe testear la presión de O2 accionando la palanca – debe notarse un chorro de 6" (15,24cm) de O2 salir por el extremo del electrodo - y soltando la palanca.



Fig 26: Torcha, regulador de O2 y electrodos para corte ultratérmico.

Se debe llamar al tender pidiendo "Corriente" o "conectar corriente" (*"Make it Hot"*), y este cerrará el interruptor de seguridad. Se debe encender el arco tocando la pieza con la punta del electrodo o con alguno de los métodos mencionados en el Capítulo VI.D.3.

Una vez establecido el arco, girar a full la palanca accionadora de O2 y, al mismo tiempo, llevar el electrodo a lo largo de la línea a cortar. El ángulo del electrodo con respecto a la pieza será entre 30° y 90° dependiendo del espesor del material.

Se debe mantener la torcha portaelectrodos presionando sobre la pieza, mientras se sostiene el electrodo con la otra mano libre como si fuera un taco de pool, aproximadamente a 4" (10,16cm) del extremo para un corte más estable (Figura 27).



Fig 27: El buzo sostiene el extremo del electrodo para estabilizar el corte.

Se debe mantener la punta del electrodo siempre en contacto con la pieza, moviendo suavemente al principio, manteniendo una penetración a full de corte. Un retroceso de spray de O₂ y un sonido estrepitoso en incremento indican falta de penetración – no se debe tratar de sostener o mantener el arco, solo hay que sostener presionar el electrodo contra la pieza durante todo el corte -.

Cuando el electrodo se ha consumido hasta unas 3" (7,62cm) de la boquilla de la torcha, se debe llamar al tender pidiendo "cortar" o "desconectar corriente", y una vez que ha confirmado "corriente cortada", se desenrosca el mandril de la torcha, y se procede retirar el resto del electrodo consumido mediante un soplido de O₂ al accionar la palanca.

Se inserta un nuevo electrodo y recomienza el corte.

NOTA 12: No se debe creer que se hace economía usando las últimas 3 pulgadas del electrodo, esto podría dañar el interior de la torcha portaelectrodos.

Un electrodo ultra térmico seguirá ardiendo aún con la corriente cortada, tanto como el oxígeno siga fluyendo a través de él.

Cuando se corte, o fusione, metales no conductivos como concreto o rocas, corales o cabos, se necesitará un chapa encendedora (o alguno de los métodos mencionados anteriormente) donde encender el arco. Este chapa de metal se conecta al cable de tierra (-) y posicionada cercana al material a ser cortado. Una vez que encendió el electrodo, mantener la palanca de O₂ accionada y hacerlo trabajar sobre el material de trabajo. Si se pierde la ignición por cualquier causa, reencenderlo con la chapa, repitiendo el proceso de ignición. Cada electrodo nuevo que se emplee, deberá encenderse con el mismo procedimiento.

C.4.1. Corte de Acero.

Se usarán los electrodos de 1/4" para aceros de más de 1/2" de ancho para mayor economía en el corte. Los electrodos de 1/4" dejan una pequeña abertura, y son preferibles para cortes finos. De todas maneras, en aguas donde la visibilidad es escasa o para aceros gruesos o pesados, los

electrodos de 3/8" darán mayor producción. Para materiales de más de 1/2" de espesor, los electrodos de 3/8" son preferibles. Cuando se desee cortar piezas de acero de gran espesor, se debe usar la técnica de serruchado en cuña; es decir, se deben realizar movimientos como serruchando con el electrodo, como si se cortara un árbol, haciendo el corte en forma de cuña. De este modo, se logrará ganar espacio de entrada para el electrodo.

Diámetro del Electrodo	Grosor de la Pieza	Distancia de Corte/Electrodo
1/4"	1/4"	20 – 25"
	1/2"	10 – 15"
3/8"	1/2"	12 – 20"
	1"	9 – 14"
	1 1/2"	8 – 12"

Tabla 7: Corte de acero por diámetro de electrodo.

NOTA 13: El manual de Corte y Soldadura Subacuáticos de la U.S. NAVY, NAVSEA 0929-LP-000-8010, da estimaciones más altas en distancias de corte para electrodos de 3/8".

C.4.2. Corte de Hierro, Aceros Inoxidables y Metales No Ferrosos.

El sistema ultra térmico fundirá todos estos materiales con sus 10.000 F° (5538 C°) de calor, en la punta del electrodo. Solo será necesario mantener firmemente presionado el electrodo contra la pieza a cortar, y realizar movimientos como aserrando la pieza mencionados en el punto anterior. Se puede mejorar la eficiencia del corte realizando varios agujeros a través de la pieza, antes de proceder a cortar a través de ella.

C.4.3. Corte de Gruesos Metales No Ferrosos.

Se debe crear un pozo y hundir el electrodo suavemente bajo la superficie de el metal fundido. De vez en cuando, presionar el electrodo de corte profundo en el metal para lavar y soplar el metal fundido fuera. La velocidad de corte dependerá de el tipo y grado de metal y la técnica desarrollada por el buzo operador de la torcha.

Es necesario incrementar la presión del oxígeno a 110 psi a la torcha, para cortar metales de más de 3" de espesor.

C.4.4. Corte de Concreto.

Se encenderá la punta del electrodo con una chapa encendedor o método auxiliar, y se presionará la punta del electrodo contra la pieza, fundiendo el concreto y creando líquido de material fundido. Conforme se va penetrando en la pieza, periódicamente se moverá el electrodo hacia adentro y hacia fuera permitiendo que el oxígeno sople el material fundido hacia el exterior.

C.4.5. Corte de Cabos y Maderas.

Se aplicará firme presión de la punta del electrodo contra la pieza, manteniendo el calor en directo contacto con el material a cortar. Cuando se trabaje en buques, se elegirá un ángulo para cortar y/o se curvará el electrodo a 90° para prevenir dañar o perforar el casco, eje portahélice, hélice o caña del timón. Para cortar cables de acero se elegirá los electrodos de 1/4" para un control fino de corte. De todas formas, es dificultoso mantener encendido el electrodo de 1/4" sin un contacto directo metal - electrodo.

C.4.6. Corte Debajo del Fango.

Cuando se realizan cortes en piezas debajo de fango, lo mejor es succionarlo mediante un Air – Lift o bombear el fango de alrededor del corte para prevenir que oxígeno o hidrógeno queden atrapados en el barro, ya que esto podría ocasionar una explosión. De no poderse remover el barro, lo mejor es utilizar la técnica para cortar pilotes rellenos de concreto.

C.4.7. Corte de Pilotes Rellenos de Concreto.

Cortes Verticales.

La punta del electrodo debe estar apuntando ligeramente hacia arriba y entonces dibujar el corte en retroceso. Esto sirve para prevenir que los gases queden embutidos en bolsillos en el concreto sobre el corte.

Cortes Circunferenciales.

Nunca se debe cortar en una línea directa alrededor del pilote, conviene realizar un corte en ángulo comenzando en un punto superior y avanzar el corte en dirección descendente (1 a 2 pulgadas hacia abajo por pie de circunferencia). Cortar una mitad del pilote de esta forma y detenerse. Regresar al punto de inicio y cortar la otra mitad del pilote de la misma manera hacia abajo. Esta técnica posibilita el escape de las burbujas de gas libremente hacia arriba, y reducirá la posibilidad de que las burbujas de gas queden atrapadas en huecos del corte.

C.5. Precauciones Especiales para Corte Ultratérmico.

Este sistema involucra corrientes eléctricas letales, oxígeno capaz de producir explosiones y una altísima temperatura de corte de mas de 10.000 F°. Sin embargo puede ser ejecutado con seguridad, si se usa con buen criterio y se observan los procedimientos detallados a continuación.

- No se realizarán trabajos de ningún tipo en superficie, sobre el área en la cual el buzo puede estar trabajando. Se mantendrá, como mínimo, un radio igual a la profundidad donde se encuentra el buzo operando.
- La vestimenta y equipo de comunicaciones del buzo debe estar en perfectas condiciones.
- Las conexiones en los cables debe ser totalmente aisladas y resistentes al agua.
- La estación de buceo y el área próxima cercana debe estar libre de elementos combustibles o materiales explosivos.

- El buzo y el supervisor de las operaciones, tomarán todas las precauciones para asegurarse de que las estructuras a cortar se encuentren libres de gases o aceites. Asimismo, el buzo debe asegurarse que el O₂ y los gases de la combustión liberados no quedan capturados en huecos o bolsillos por sobre su cabeza, donde puedan encenderse y/o explotar.
- Seguir los movimientos del buzo operador de cerca, mantener las líneas de aire, torcha de O₂ y cables de alimentación fuera del área de trabajo.
- Una vez que el electrodo ultra térmico de 3/8" se ha encendido, para cortar el soporte eléctrico mientras el oxígeno siga fluyendo, el buzo deberá llamar a superficie diciendo "enfriarlo" o "cortar corriente" ("Make it Cold"). Los electrodos de 1/4" requieren corriente eléctrica durante el corte. En cualquier caso, la corriente debe ser cortada cuando se cambian los electrodos, excepto cuando se este cortando (los electrodos deberían ser extraídos de la torcha antes de que sea introducida al agua o que sea izada de ella).
- Mantenimiento de la torcha: enjuagarla en agua dulce y secarla luego de cada día de uso. Chequear el arresta llamas y las piezas metálicas, en busca de deterioro por electrólisis u obstrucciones en sus conductos.
- No es seguro operar la torcha sin el arresta llamas.

El corte ultratérmico requiere un mínimo de habilidad y experiencia. Un buzo con calificación para soldadura o corte en superficie obtendrá excelentes resultados bajo el agua en muy poco tiempo. Sin embargo, fundir tres o cuatro electrodos en superficie antes de hacerlo bajo el agua es la mejor forma de obtener una eficiencia máxima con los electrodos. No se debe tratar de "mantener el arco", sí es necesario mantener el contacto entre el electrodo con la pieza.

Para cortar en superficie, se necesitará un casco o máscara de buceo con los apropiados lentes de protección; buena protección para el cuerpo y guantes.

C.6. Precauciones para Operaciones en Buques y Barcazas.

Debe tenerse extrema precaución para proyectos de corte en buques y barcazas. Los riesgos son obvios, por lo que deben tenerse en cuenta algunos consejos.

Anteriormente a emprender un proyecto de este tipo, se debe desarrollar un estudio completo del buque por expertos en salvamento para que todos los buzos afectados a las operaciones sean advertidos de los peligros que se encuentren:

Tanques de Combustible y Bodegas.

Nunca se debe cortar dentro de un área que contenga combustibles. Tampoco en bodegas con contenidos inflamables o materiales explosivos.

Cascos, Doble Fondos y Parches.

Se debe ser cuidadoso, ya que existen muchas áreas en el casco de un buque donde el oxígeno y el hidrógeno pueden quedar atrapados. Asegurarse de que el área de trabajo esté venteadada

apropiadamente. Realizar cortes verticales, trabajando desde arriba hacia abajo. Asegurarse de que permitan el libre escape de las burbujas.

D. SISTEMA DE CORTE OXIFUNDENTE O LANZA BERFIX.

D.1. Principios de Procedimiento.

Es un equipo liviano de corte utilizado, tanto sobre como debajo del agua, se caracteriza por su fácil armado y puesta en marcha, aún cuando es necesario contar con determinados elementos para su construcción.

Dependiendo de la densidad de armado en el tubo soplete o varilla de corte, este equipo es capaz de levantar temperaturas superiores a los 2.500 °C (temperaturas que oscilan entre los 2.500°C y 4.000°C). La temperatura de corte puede ser mejorada con la inserción dentro del varillaje de hierro, dentro del tubo soplete con un alambre de aluminio (Al) lo que hace que ésta pueda alcanzar los 5.000°C.

D.2. Aplicaciones.

El poder de corte de este equipo es producto de la gran temperatura que se genera por la combustión del oxígeno (comburente), y el aporte del varillaje de alambre de hierro dulce (alambre de fardo) en el extremo de la varilla o tubo de corte. En trabajos de salvamento - con manos experimentadas -, una varilla puede cortar entre 0.6 y 1 m. de planchas de acero naval de 7 mm, a la vez de cañerías, tubos, ejes, cadenas, etc.. Por la temperatura originada en la varilla de corte se puede fundir roca y concreto, pero siempre su rendimiento estará ligado a la habilidad del buzo, presión de gas y profundidad.

Es aplicable para todos los materiales que corta el sistema ultratérmico, a excepción de aquellos cortes finos que requieran precisión o que se hagan directamente sobre piezas que no se desean cortar, esto es por el largo de los electrodos que los hace muy poco manuales.

Este equipo es de fácil preparación ya que no hay que hacer roscas o trabajos especiales de acople, corta fácilmente estructuras metálicas o chapas de casco, pero en contrapartida es un equipo de mucho consumo de oxígeno y material (tubo fundente), por lo que su uso se encuentra restringido a manos con determinada experiencia. Otro factor a tener en cuenta es la gran producción de gases, producto de la fundición del metal cuando se trabaja en superficie, y cuando se lo hace bajo agua en compartimentos cerrados, se forman dentro de los mismos colchones de aire con rangos explosivos. Es muy práctico en operaciones donde no se cuenta con energía eléctrica, ya que solo trabaja con O₂ y pueden armarse los electrodos con materiales que se hallen a bordo de un buque o próximos a la zona de trabajos. Es válido advertir, que las tareas de fabricación de los electrodos demora mucho tiempo, y que serán necesarias por lo menos de 2 a 3 personas para lograrlo.

D.3. Equipo.

Básicamente esta integrado por un botellón, o tanque de oxígeno puro (del tipo industrial), cargado

a más de la presión de trabajo del equipo, al cual se le acopla un manorreductor de presión con reductor manual de presión y un tubo flexible resistente a superficies abrasivas y alta presión de gas. Este tubo, cuya longitud media es de entre 20 a 25 metros, posee en el otro extremo una válvula manual de corte rápido, con rosca en donde se insertará el tubo "soplete" o "varilla de corte" (Figura 28).

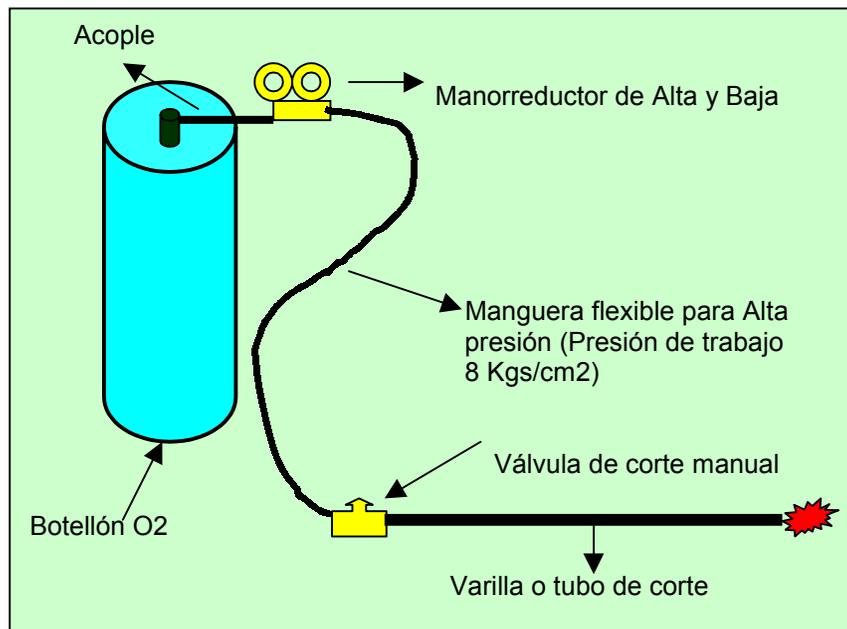


Fig 28: Equipo Berfix

En general, las mismas mangueras y presiones de oxígeno que se emplean con los electrodos

tubulares de corte, pueden servir para estos electrodos.

D.4. Proceso de Corte.

En un equipo de corte oxifundente con una longitud de 20 a 25 metros de tubo flexible, la presión de trabajo o corte dada al manorreductor, oscila entre los 7 a 8 Kg/cm² (esta presión dependerá también, de la profundidad de trabajo).

El tubo de corte o varilla, se construye con un caño de luz de hierro de obra (3 metros de longitud), en el que se deben introducir 34 alambres de fardo común según el diámetro de estos, insertando de ser posible el alambre de aluminio en el centro (Figura 29).

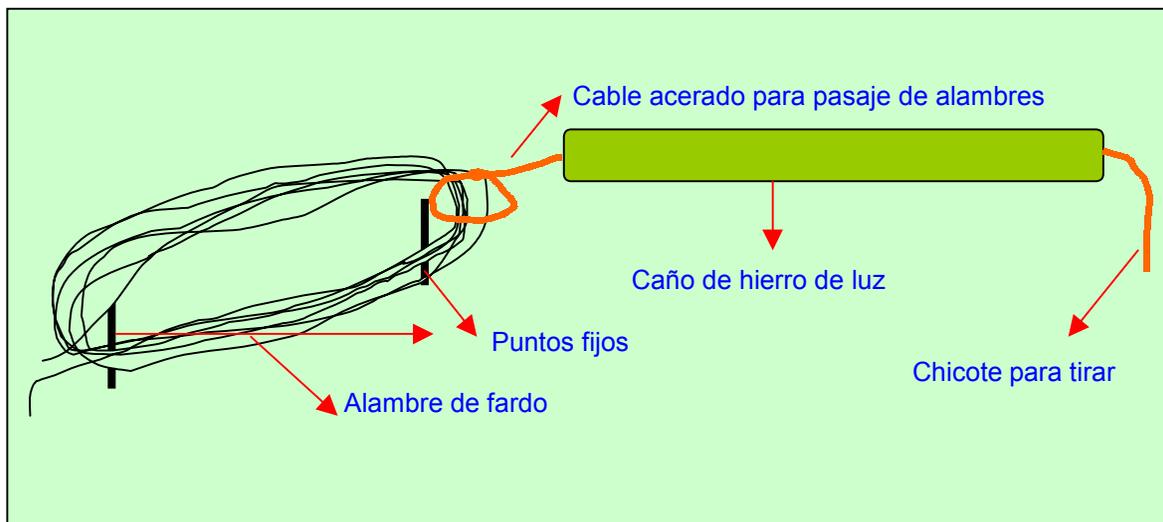


Fig 29: Armado de los electrodos Berfix.

Las varillas metálicas tienen una doble función, reducen el consumo de oxígeno y prolongan la duración del electrodo. En el momento del encendido de la varilla o tubo fundente, y una vez fijadas las presiones en el manorreductor se apoya el extremo del tubo sobre brazas de carbón vegetal y se procede lentamente a la apertura de la válvula manual, para salida del gas hasta el encendido de la varilla (Figura 30).

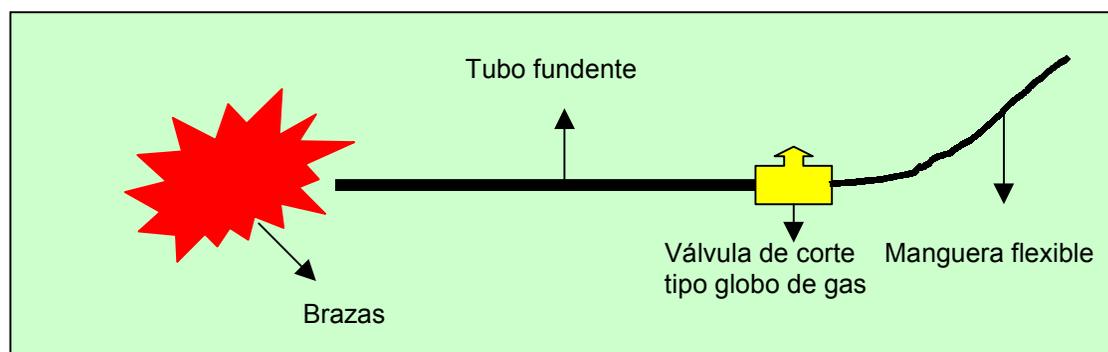


Fig 30: Encendido del sistema.

Una varilla quema en alrededor de 1 o 2 minutos, como tiempo estándar.

D.5. Precauciones para Lanza Berfix.

a) Los caños de luz y el alambre son de rápida oxidación por lo que no se los puede dejar expuestos a lugares húmedos, ya que el óxido producido impide el pasaje del gas (O₂) produciendo

el mal quemado del tubo o explosiones, es de vital importancia el estibaje en lugares secos o confeccionar las varillas momentos antes de su uso.

b) Recordar que el quemado de la varilla es muy rápido, por lo que en caso de realizarse cortes subacuáticos el operador no deberá abrir toda la válvula de manual y por otro lado el buzo tendrá que tener la maniobra de descenso libre de obstáculo (cuanto más tiempo tarde en llegar al lugar de trabajo y acomodarse menos tubo de corte le quedará).

c) El uso del equipo debe ser cuidadoso, desde el momento que se trabaja con gases explosivos (O₂) alojados en botellones comprimidos.

d) Si al momento de realizar el corte debajo del agua, el tubo es apretado contra la superficie a cortar, la escoria que rápidamente se enfría produce con la salida del oxígeno explosiones muy audibles, el uso de la varilla o tubo debe realizarse tipo soplete.

No usar todo el tubo en la operación, conviene dejar una longitud de 30 cm. mínimos.

e) Es importante que las roscas de la manguera flexible, válvula de corte y tubo soplete, estén libres de pérdidas.

f) NO UTILIZAR ACEITE O GRASAS PARA EVITAR EL INGRESO DE AGUA DENTRO DEL CAÑO QUE ESTÁ TRABAJANDO CON OXÍGENO.

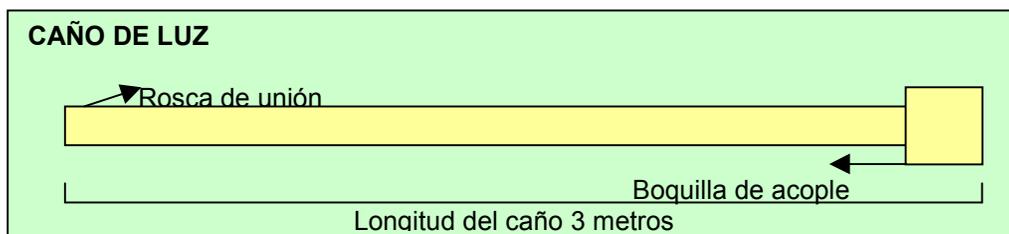


Fig 31: Electrodo de corte o lanza Berfix.

E. CORTE POR ELECTRODOS REVESTIDOS O POR ARCO METÁLICO.

E.1. Principios del Proceso.

Este proceso se realiza con un tipo de electrodo de superficie el que, revestido correctamente con termocontraíble del tipo que se utiliza en aislaciones eléctricas, funciona correctamente bajo el agua (Figura 28). Se aplica el calor del arco metálico para fundir el metal a lo largo del corte. Lo ventajoso de este método es que puede utilizarse en situaciones donde no hay oxígeno disponible, facilitando el corte de metales ferrosos y no ferrosos.

El uso de este sistema es superior a los de oxígeno, para cortar planchas de acero de espesores iguales o inferiores a 1/4" y para cortar bronce, cobre, cupro-níquel y bronce-manganeso sin importar sus espesores (de 1/4" y mas), siendo su gran ventaja que puede utilizarse sin contar con oxígeno o aire comprimido.

E.2. Equipos.

Los equipos (fuente eléctrica, cables, interruptor de seguridad) a utilizar, serán los mismos que se usarían si se fuera a realizar una soldadura subacuática. Se debe colocar en la pinza portaelectrodo un electrodo revestido tipo CutMat 21.03 para chaflán y corte marca "Esab" o marcas "Alternex" o "Flexarc". Sólo será necesario colocar el amperaje de la máquina generadora o rectificadora, de acuerdo con el diámetro del electrodo empleado y deberán ser tenidos en cuenta las pérdidas de corriente por diámetro y largo del cable.



Fig 32: Corte por arco metálico.

E.3. Aplicaciones.

Se puede emplear en la preparación de juntas a soldar en todos los metales, acero común, acero inoxidable, fundición y metales no ferrosos como bronce, cobre, aluminio y preparación de grietas a rellenar. Se puede realizar con ellos orificios en los extremos de las grietas a soldar, para evitar su propagación. Es de gran practicidad en corte de cables de acero enroscados en ejes, para realizar perforaciones en planchas planas y en trabajos donde no se cuenta con cilindros de gas para corte.

E.4. Técnica de Uso.

Para cortar planchas de acero de hasta 1/4" a 3/8" (siempre que se pueda aumentar la corriente a unos 400 amp), se puede emplear la técnica de "arrastre", para iniciar el corte se debe colocar el electrodo en 90° con respecto a la plancha metálica, hacer contacto con la misma, y presionar el electrodo contra la pieza. Para avanzar en el corte se debe deslizar el electrodo a lo largo de la línea de corte trazada, en forma perpendicular a la pieza, ejerciendo presión en dos direcciones, hacia adentro para compensar el consumo del electrodo y hacia delante, en el sentido de avance. No se debe tratar de mantener un arco, como se haría en superficie.

Para cortar planchas mas gruesas, será necesario darle al electrodo un movimiento de sierra, corto y lento, para eliminar el metal fundido depositado en el extremo mas retirado del corte. La aplicación hábil de esta técnica de "aserrar", hace de este método de corte un procedimiento muy práctico para cortar dentro de una extensa gama de espesores. De existir disponibilidad de

electrodos de mayor diámetro y generadores que entreguen alto amperaje, la técnica de "arrastre" posee la ventaja de la velocidad y simplicidad de operación.

Para dominar la técnica de corte, el operador debe comprender que el metal se funde simplemente, ya que ni se consume ni se oxida de ninguna manera, y ya que si el metal fundido no se sale por sí mismo fuera del corte, debe ser removido mediante la manipulación del electrodo.

Para cortar cables de acero forrados de nylon, es muy práctico "pelar" o raspar un cordón del cable a fin de dejar libre el acero. Aplicar allí el electrodo y, a medida que se fundan los hilos de alamabre del cordón, la temperatura del arco derretirá el nylon de los otros cordones, lo que permitirá cortarlos fácilmente.

E.5. Medidas de Seguridad.

Para evitar accidentes o problemas colaterales, sugerimos observar las medidas de seguridad mencionadas en el proceso de soldadura húmeda subacuática, de este manual.

V. SOLDADURA SUBACUÁTICA.

A. CONCEPTOS GENERALES.

"Soldadura" es una palabra de amplio sentido. Significa, en principio, ensamble, pero en la industria de la construcción metálica tiene sentido mas preciso y restringido; es la unión de dos elementos de metal por efecto del calor localizado en el lugar de la unión; la unión se realiza por la fusión de los elementos y viene acompañada de un tratamiento térmico ya que las zonas próximas a la fusión sufren un calentamiento, sin salir del estado sólido, seguido de un enfriamiento.

Entre los diferentes procesos de soldadura, existe el soldeo por arco con electrodos revestidos. En este proceso se produce la fusión simultánea de una zona reducida de la pieza a soldar y del electrodo; se forma un baño líquido que contiene parte de metal fundido de la pieza y parte del metal fundido del electrodo.

Llamaremos : **Material de aporte**, al material para soldar: el electrodo; **Metal Base**, a la pieza sobre la que se deposita el material de aporte; **Material Depositado**, o depósito de soldadura, es metal resultante de la fusión del material de aporte y la parte fundida del metal base y **Zona Afectada**, la zona del metal base que si bien no ha llegado a fundirse sufre un ciclo térmico debido al proceso de soldadura que puede hacer cambiar la microestructura y las propiedades mecánicas originales.

El electrodo está constituido por un alma metálica, de forma cilíndrica y del revestimiento; durante la fusión, el revestimiento se funde en conjunto con el alma metálica y produce una escoria sobre el cordón, la que sirve de protección. La energía térmica, necesaria para producir la fusión, proviene de un arco eléctrico que se produce entre la pieza a soldar y el electrodo; la energía eléctrica necesaria para producir ese arco se obtiene de una fuente de corriente eléctrica, llámese rectificador, transformador o máquina rotativa. En la soldadura subacuática, el uso de corrientes

mas altas que las que se emplean en las soldaduras al aire, combinado con la conductividad eléctrica del agua requieren la observación estricta de toda clase de precauciones de seguridad para evitar el "shock" eléctrico.

Al igual que la soldadura tradicional en superficie, la soldadura submarina une o fija piezas metálicas mediante un calor intenso, proveniente de un arco eléctrico.

La soldadura submarina puede efectuarse mediante "soldadura seca" o "soldadura húmeda". La soldadura seca bajo el agua requiere que se elimine el agua que rodea al trabajo, normalmente, usando un compartimento sobre presionado con atmósfera y presión controladas. El proceso seco es costoso, pero produce soldaduras que generalmente son de igual calidad que las que se realizan sobre el agua.

B. SOLDADURA HIPERBÁRICA.

B.1. Generalidades.

La soldadura submarina hiperbárica es realizada por buzos o equipos instalados por buzos en un "hábitat seco" (Figura 33), el cual está sellado sobre una la pieza a trabajar y es llenado por una mezcla respirable de gas helio y oxígeno, a una presión igual o levemente superior que la presión absoluta donde la soldadura se llevará a cabo.

Este proceso es extensamente utilizado para unir tuberías de aceite en plataformas Off Shore y para reparaciones subacuáticas en plataformas.

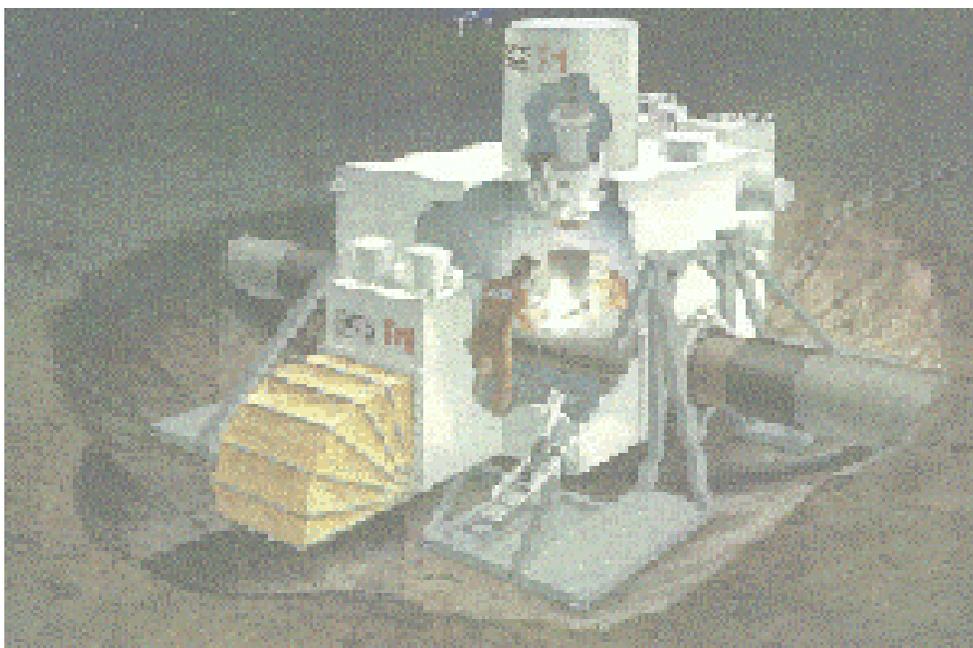


Fig 33: Hábitat seco con un soldador instalado sobre tubería sumergida para soldadura hiperbárica.

El área bajo el piso del "hábitat" es abierto al agua, de este modo la soldadura es realizada en seco, pero toda la presión hidrostática de el mar rodea habitat.

Los procesos de soldadura hiperbárica generalmente usados son el TIG (Tungsten Inert Gas) también conocido como "GTA" (Gas Tungsten Arc) y el MMA (Manual Metal Arc o por arco metálico sostenido) también llamado "SMA" (Shielded Metal Arc).

Los aceros soldados juntos en las industrias Off Shore y de Gas, normalmente son de entre 12mm y 35mm de espesor. La soldadura se hace en una serie de "pasadas" luego de preparada la pieza mediante un chaflán (Figura 34).

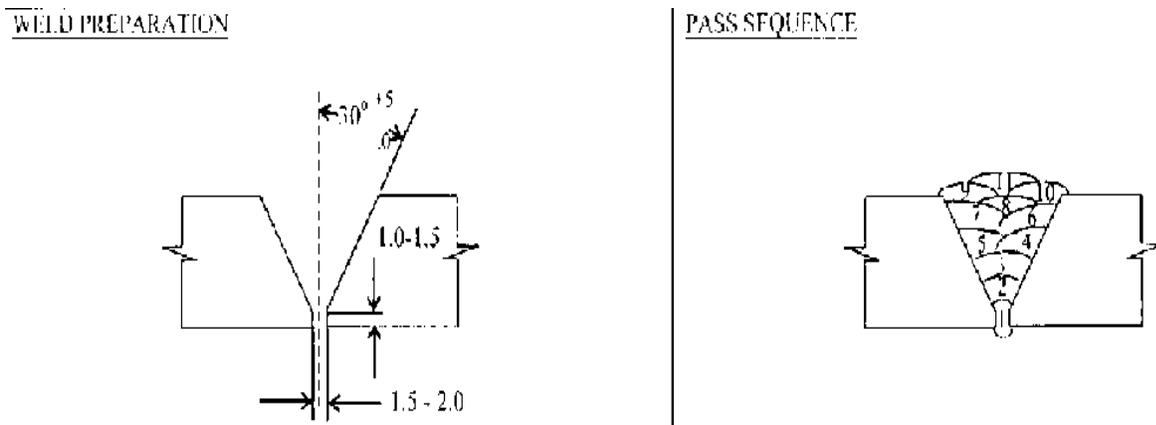


Fig. 34: Preparación de la pieza a soldar (izquierda) y secuencia de pasadas (derecha).

Este proceso de unión requiere como mínimo las primeras 2 pasadas con sistema TIG y las siguientes pasadas con sistema MMA.

B.2. Procesos de Soldadura Hiperbárica.

Como se ha mencionado en el punto anterior existen 2 procesos principales de soldadura en ambientes hiperbáricos: el TIG y MMA.

B.2.1. Proceso TIG de Soldadura.

El proceso de soldadura TIG es utilizado, normalmente, como una técnica para realizar la primera pasada, llamada "raiz" y algunas pasadas subsecuentes se hacen con el proceso manual de soldadura. El TIG es también el método usado por robots totalmente mecanizados para soldaduras de órbita hiperbárica, como el sistema *THOR* operado por la Solt Comex Seaway y el sistema *PRS*, operado por Statoil.

En este proceso, un arco eléctrico es mantenido entre un electrodo de tungsteno no consumible y el baño de metal fundido. Se agrega por separado una varilla de alambre. El electrodo, arco y baño de fusión son protegidos por un chorro de gases inertes, normalmente argón o una mezcla de argón – helio (Figura 35).

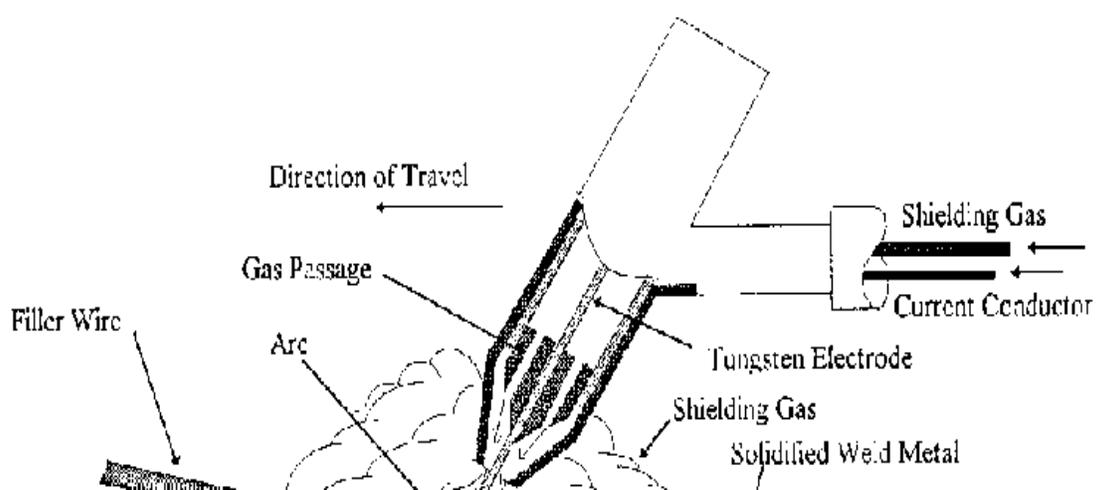


Fig 35: Proceso Tungsteno Inerte Gas (TIG).

B.2.2. Proceso MMA de Soldadura.

El proceso de soldadura MMA es utilizado, básicamente, para soldaduras hiperbáricas en aguas de moderada profundidad. El material de soldadura es depositado de un electrodo de acero recubierto del tipo "básico" (electrodo de bajo hidrógeno). Este recubrimiento contiene aproximadamente 30% de carbonato de calcio. Un arco eléctrico es mantenido entre el electrodo y la pieza de trabajo. Durante la soldadura el recubrimiento se descompone hasta formar gases CO y CO₂ y escoria de óxido de calcio que cubre el metal fundido (Figura 36).

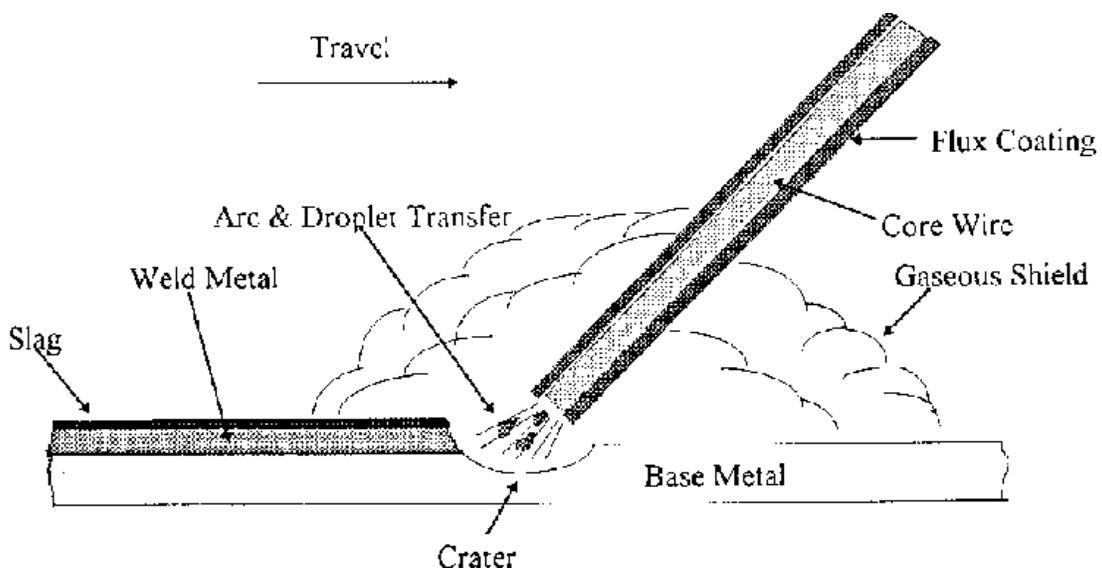


Fig 36: Proceso Arco Manual Metálico (MMA).

B.3. Efectos de las Grandes Presiones sobre el Proceso con Arco de Soldadura.

B.3.1. Proceso MMA Bajo Condiciones Hiperbáricas.

Es generalmente posible producir soldaduras hiperbáricas que reúnan los requerimientos de las especificaciones industriales. Con este proceso, a una profundidad aproximada de 200 metros, sin embargo algunas soldaduras por arco manual han sido exitosamente completadas aún a profundidades mayores. Las condiciones se van poniendo menos favorables con el incremento de la profundidad y es por eso que los procesos de soldadura y los soldadores son calificados en profundidades simuladas y no en presiones atmosféricas.

a) Voltaje del arco y Estabilidad del arco.

El voltaje del arco se incrementa proporcionalmente con el aumento de la presión y el arco se hace menos estable. Esto requiere mayor destreza del buzo soldador a esas grandes profundidades.

b) Los Electrodo MMA se consumen en mayor porcentaje.

El tiempo de fusión de los electrodos se reduce, se consumen más rápidamente con el incremento de la presión en el área de trabajo. Este incremento se hace más significativo a partir de los 0 a 35 metros de profundidad.

c) Química de los metales soldados con MMA hiperbárica.

Los contenidos de carbono y el oxígeno del metal soldado con MMA hiperbárica tiende a incrementarse con el aumento de la presión y esto tiene un efecto perjudicial en la resistencia del trabajo. El hidrógeno originado de las pizcas de agua presentes en el recubrimiento del electrodo es mayormente absorbido por el metal soldado a grandes profundidades.

La composición del medio ambiente del "hábitat", en particular las concentraciones de nitrógeno y oxígeno pueden afectar la dureza de la soldadura con el proceso MMA. Esta es una de las razones por las que a menudo se emplea un ambiente de helio – oxígeno en el hábitat hiperbárico, aún en profundidades moderadas en el rango del buceo con aire comprimido (0 a 50 metros de prof.).

B.3.2. Proceso TIG Bajo Condiciones Hiperbáricas.

La soldadura TIG es usada para ambos procesos de soldadura hiperbárica, manual y mecanizado. El proceso manual TIG ha sido desarrollado en operaciones experimentales a 450 metros de profundidad. El proceso mecanizado TIG fue perfeccionado para mayores profundidades pero es improbable que este sistema sea operable en profundidades de más de 1000 metros.

a) Voltaje del Arco TIG y Estabilidad del Arco.

El voltaje del arco se incrementa conforme el aumento de la presión. La presión también afecta la penetración de la soldadura y la forma del arco, al cual tiende a cambiar de su normal "forma de campana" a parecerse a una columna angosta. La penetración se hace algo más profunda y más angosta.

b) Química de los metales soldados con TIG hiperbárica.

El TIG es un proceso protegido por un gas inerte y en consecuencia no existen cambios significativos la química del metal fundido al incrementarse la presión.

B.3.3. Consideraciones sobre Salud y Seguridad en Soldaduras Hiperbáricas.

En el presente aproximadamente el 50% de las soldaduras hiperbáricas hechas en el Mar del Norte requirieron el uso de procesos de soldadura manual.

Las soldaduras realizadas por robots mecanizados, involucran asimismo la presencia de buzos en el hábitat de soldadura para intervenir en tareas como el cambio de electrodos de tungsteno y la limpieza de escorias, producto de la soldadura.

Los aspectos de salud y seguridad en estos procesos, son entonces de considerable importancia.

a) Humos y Gases de Soldadura Hiperbárica.

Los sistemas de soldadura por arco producen varios contaminantes, y la exposición de los buzos a éstos debe ser menor que la permitida en las legislaciones de salud y seguridad y en los manuales de gestión de seguridad de las compañías contratistas.

Los procesos hiperbáricos se llevan a cabo en ambientes cerrados, y ventilar el área de soldadura con un gran flujo de aire no es un remedio práctico, como lo sería en un taller de soldadura en tierra firme.

El control de exposición es comúnmente ejecutado por la combinación de equipos regeneradores de aire, que remueve la contaminación, y el uso de respiradores.

La concentración de contaminantes necesariamente debe ser monitoreada y registrada.

b) Humos y Gases producto de Proceso MMA de Soldadura.

Monóxido de Carbono y Dióxido de Carbono son el producto durante este procedimiento, por la descomposición del Carbonato de Calcio del recubrimiento del electrodo.

Las partículas generadas son en mayor parte óxidos del metal de relleno y de los metales que son soldados. Los contaminantes mencionados pueden controlarse con el uso de filtros, absorbentes y catalizadores en los sistemas regeneradores de gases de el hábitat o cámara de soldadura.

c) Humos y Gases del Procedimiento TIG.

Las cantidad de partículas que se producen por el método TIG son generalmente mucho menos que las emanadas por el sistema MMA. Con el TIG son generadas cantidades significativas de Ozono, el cual es removido por contacto con filtros y químicos en los sistemas regeneradores de gases.

d) Concentraciones de Ozono.

La Figura muestra los cambios en las lecturas de ozono durante un experimento donde el sistema regenerador de gases emanados de soldadura no se hallaba operando.

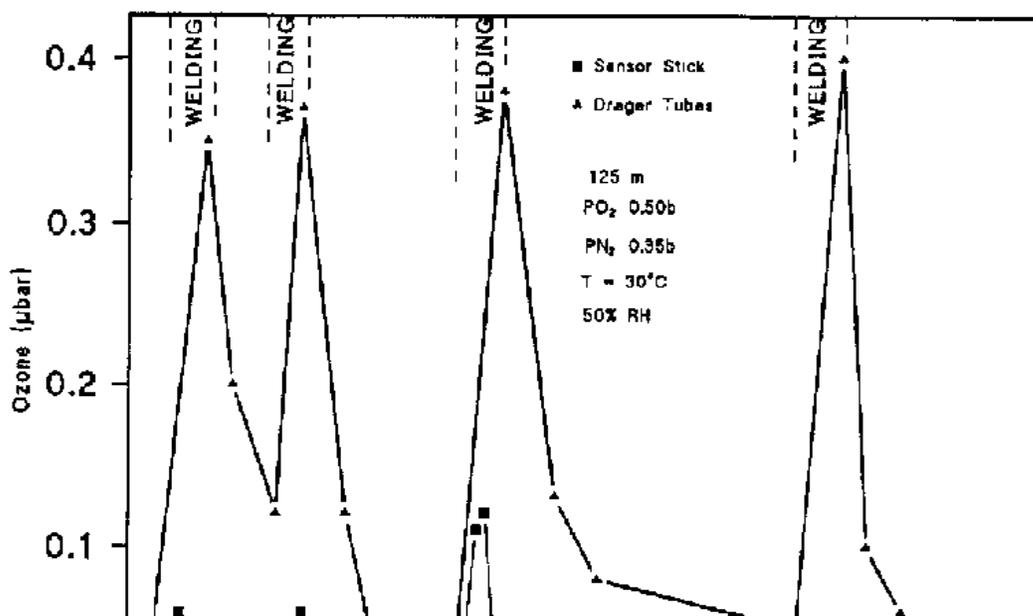


Fig 37: Lecturas de ozono para soldadura TIG Hiperbárica con gas protector helio sobre acero al carbono - manganeso.

e) Concentraciones de Argón.

Si el argón es usado como gas protector para la fusión hiperbárica, esto representa una fuente potencial de contaminación en el ambiente. Este gas no es tóxico, pero es aproximadamente dos veces más narcótico que el nitrógeno, y es un gas que se elimina más lentamente de la sangre que el helio, en la descompresión.

Como se sabe, las concentraciones de argón presentes durante una soldadura hiperbárica normal no representa peligro, pero se debe ser consciente de las consecuencias por sobre exposición accidental.

f) Riesgos de Incendio en Ambientes Hiperbáricos.

El peligro de incendio dentro del hábitat hiperbárico debe ser tenido en consideración en profundidades moderadas (típicamente en el rango del buceo superficial), donde el contenido de oxígeno de la atmósfera respirable está dentro de un nivel donde puede sostener la combustión.

C. SOLDADURA HUMEDA SUBACUÁTICA.

C.1. Generalidades.

La soldadura húmeda subacuática se hace sin ningún cerramiento sobre presionado, en contacto directo con el agua (Figura 38). Se usa el proceso por arco protegido, también se la conoce como "por electrodo". Se produce por el calor de un arco eléctrico entre un electrodo metálico -revestido con fundente y material resistente al agua- y la pieza de trabajo. En el centro del arco un intenso calor hace que gas plasma ionizado conduzca electricidad entre el electrodo y el material base, causando una reacción química entre los componentes del revestimiento fundente, el metal base y el ambiente acuático. Esa reacción produce desprendimiento de gases, estos crean un ambiente gaseoso que sostiene el arco y protege la soldadura fusionada de la contaminación de la atmósfera ambiental.

La versatilidad, velocidad y bajo costo de la soldadura húmeda hacen que este proceso se utilice mucho para soldaduras bajo el agua cuando la calidad promedio es aceptable. Se realiza sin

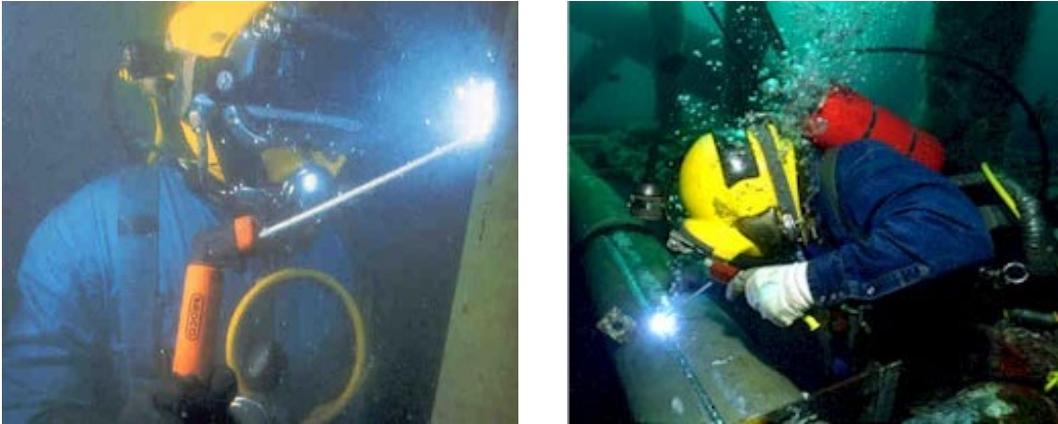


Fig 38: Soldadura húmda subacuática.

dispositivos especiales.

En los lugares donde las necesidades de reparación son mayores – en áreas de agua salada -, el éxito de la soldadura húmeda aumenta enormemente ya que cuanto más alta es la salinidad de las aguas, mayor es la estabilidad del método de soldadura húmeda. Las sales disueltas en el agua aumentan sus cualidades electrolíticas, permitiendo de este modo un arco mas caliente y una soldadura mas eficiente.

C.2. Equipos.

C.2.1. Torchas y Porta Electrodo.

Solamente deben usarse pinzas o torchas construidas para uso submarino, diseñadas para soportar la máxima corriente requerida por los electrodos a usar, existiendo numerosas marcas como se ha dicho en el Capítulo III, Punto E (Figura 39).

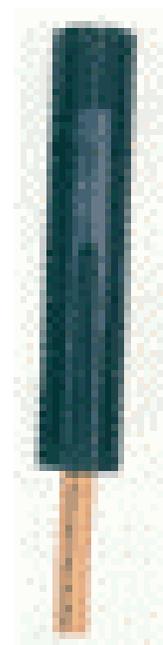
Algunas torchas para corte permiten ser usadas para soldar, cambiando la boquillas y mandriles.

Las pinza portaelectrodo a utilizar debe reunir los requisitos de aislamiento y durabilidad necesarios para la corriente a emplear. Antes de cada uso debe ser inspeccionada en busca de partes desgastadas o dañadas.

Las piezas dañadas harán peligrar la vida del buzo y deberán ser reemplazadas inmediatamente.



Pinza "Broco Inc. BR-20"



Pinza "MOS"

Pinza "Arcair Sea Stinger"



Pinza "Aqua Thermic"

Fig 39: Algunos modelos de pinza portaelectrodos.

C.2.2. Electrodo.

Son acero sólido o acero inoxidable, redondos, especialmente diseñados para soldadura húmeda. Estos se proveen en cajas o tubos sellados que impiden la penetración de la humedad y la disminución de su rendimiento (Figura 40). Una etiqueta en la caja identifica los electrodos, el material de que están constituidos y vienen acompañados de una guía general de uso y datos de seguridad. Se fabrican de diferentes tamaños: 1/8" (3,2mm) - 5/32" (4,0mm) - 3/16" (4,8mm) de diámetro por unos 356 milímetros de largo. Para acero inoxidable también se pueden adquirir electrodos de 3/32" (2,4mm).



Electrodos “Broco Inc. Soft-Touch”

Electrodos “Oxilance Sure-Weld”



Electrodos “Barracuda2”

Fig 40: Electrodo para soldadura húmeda y sus contenedores.

a) Revestimiento Fundente:

El fundente cubre la barra de acero del electrodo y se compone de minerales, metales, y materiales orgánicos. Tiene varias utilidades:

- a - Permitir el fácil encendido y conservación del arco,
- b - Formar y mantener una pantalla protectora alrededor del arco. El revestimiento debe consumirse mas lentamente que el núcleo y debe hacerlo concéntricamente en la soldadura para permitir el re-encendido del arco si fuera necesario,
- c - Debe generar gases para formar la burbuja en donde se conserva el arco,
- d - Previene la formación de arco hacia los costados del electrodo cuando se trabaja en esquina.

b) Revestimiento Impermeable:

Históricamente el uso de la soldadura subacuática ha sido restringido por el mismo factor que la hace una técnica única: el agua. El agua producía que las reparaciones resultasen frágiles y quebradizas.

El hidrógeno contenido por el agua reaccionaba químicamente con el material aportado lo que daba como resultado soldaduras quebradizas, o que la soldadura se rajara horas o días después de realizadas, lo que limitaba la longevidad de la reparación. Asimismo el agua (por su temperatura y densidad) enfría rápidamente la pieza, causando micro estructuras debilitadas que tornaban la soldadura muy rígida.

Además, los revestimientos fundentes se deterioran al sumergirse en el agua y el agua es absorbida en el fundente, el agua que penetra en los intersticios se convertirá en vapor y quitará por presión el revestimiento cuando se forme el arco. Por lo tanto, se hace imprescindible colocar un revestimiento impermeable de un grosor adecuado, que mantenga la integridad de los

electrodos sumergidos. Los electrodos desarrollados actualmente, son provistos de un revestimiento impermeable que reduce notablemente los efectos del agua sobre el material soldado y aumenta y mejora las reacciones químicas con el metal base, facilitando la limpieza de la escoria resultante del proceso. El revestimiento también provee un mayor aislamiento térmico.

C.2.3. Almacenamiento de los Electroodos.

Cualquier daño físico en la cobertura del electrodo tendrá efectos negativos en la soldadura realizada, ya que permitirá que el agua penetre en el fundente. Los electrodos deben manejarse y almacenarse de manera que no se deteriore su protección exterior.

Deben mantenerse en su caja hasta el momento de ser requerido su uso. Además de evitar la inmersión prolongada en el agua, no existen otras precauciones especiales a tenerse en cuenta.

C.2.4. Manipulación y Transporte de los Electroodos.

Los electrodos deben usarse directamente desde su caja contenedora, y llevados al agua en cantidades que permitan su uso dentro de un tiempo razonable.

Todo electrodo que halla sido introducido al agua y no usado, deberá ser descartado, un electrodo que halla estado sumergido por mas de 60 minutos se descartará, ya que producirá desperfectos en el desempeño de la soldadura y en la calidad de la soldadura resultante.

Es necesario asegurarse de que los electrodos sean transportados al lugar de trabajo libres de daños, y se recomienda no asegurar los electrodos juntos mediante cinta tipo "Duck Tape", ya que esto dañaría su impermeabilidad.

La mejor forma de transportarlos es mediante un tubo portaelectrodos amplio.

C.2.5. Cables Eléctricos.

Los cables eléctricos para la soldadura subacuática pueden ser las mismas que se mencionan en el punto III.C. de este manual.

Los diámetros de cable recomendados para soldar bajo el agua se aprecia en la siguiente tabla:

Amperes	Largo en pies para el circuito entero						
	100'	150'	200'	250'	300'	350'	400'
<u>100</u>	4	4	2	2	1	1/0	1/0
<u>150</u>	4	2	1	1/0	2/0	3/0	3/0
<u>200</u>	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0	4/0

Tabla 8: Diámetros de cables para soldadura submarina.

C.2.6. Fuentes de Energía.

Las fuentes de poder eléctrico son las especificadas en el punto III.A. del presente manual. Es imprescindible el uso de un interruptor de seguridad en el cable de la pinza portaelectrodos, para el recambio de los mismos (mencionadas en el punto III.B.).

Existen en el mercado actual sistemas de control de soldadura como el "Piranha (I)" de la firma "MOS", que son paneles de control compuestos por un interruptor de corriente de 400 Amp. además de voltímetro, amperímetro y conectores estandar DIN para cables de soldadura (Figura 41).



Fig 41: Sistema de control de soldadura "Piranha".

Esto permite una aislación segura y conveniente de la corriente de soldadura, para todas las operaciones submarinas, como también el monitoreo y grabación de los parámetros de soldadura. La unidad es disponible en una valija fuerte, liviana y estanca para máxima seguridad, manipuleo y protección, como también pueden montarse en gabinetes de acero para estaciones de soldadura permanentes.

C.3. Condiciones Adversas para Soldar.

Ciertas condiciones son adversas para soldar bajo el agua.

Las superficies sucias requieren que se realice la limpieza antes de intentar la soldadura. La junta para soldar debe estar libre de pintura espesa, herrumbre y crecimientos marinos.

Si se hace una soldadura por pasos longitudinales múltiples, cada reborde debe limpiarse íntegramente de escorias antes de depositar la pasada siguiente.

Es un problema soldar desde una plataforma inestable, especialmente cuando se trabaja cerca de la superficie en aguas escabrosas o con mar de leva. Se recomienda que la plataforma esté conectada a la pieza que se va a soldar mas que a cualquier otro equipo, tal como un barco de salvamento, lancha de buceo o flotador.

También es una dificultad una plancha mal acodada o deformada. Un mal ensamble no conduce a los mejores resultados; una separación de 1/16" (1,59mm) puede considerarse lo máximo permitible. Si se encontrara una separación mayor que esa, la técnica de mal ensamble consiste en "alimentarlo". Esto significa que el electrodo es sostenido en el área de separación, lo suficiente para permitir que la soldadura del metal alimente la separación misma. Esto significaría que resultarían aproximadamente 6" (152,4mm) de soldadura para 10" (254mm) de electrodo, en lugar de las usuales 8" (203,2mm).

Una ventaja es que, a diferencia de las soldaduras sobre el agua, el metal tiende a ir a la separación mas que a salir como lo hace en el aire. Filetes con separaciones en el fondo, de hasta 1/18" (1,41mm), han sido soldados exitosamente de esta manera, pues no requiere mucha habilidad.

La extrema visibilidad es un obstáculo para el buzo si no tiene una ranura para seguir. Esto se soluciona suministrándole una ranura definitiva que pueda seguir.

C.4. Procedimiento para soldar.

Una vez conectados los cables a la fuente de energía, establecida la polaridad correcta (directa), montado el interruptor de seguridad entre la pinza y la fuente, se coloca un electrodo nuevo en la pinza portaelectrodos y se raspa suavemente la punta del mismo sobre una superficie abrasiva para remover la capa impermeable allí y garantizar un correcto contacto eléctrico (debe tenerse cuidado de no remover la capa fundente en esta maniobra).

Cuidadosamente colocar el electrodo sobre la pieza a soldar y llamar al tender por "Conectar Corriente" ("*Make it Hot*"), se formará el arco, si esto no ocurriera se debe frotar la punta del electrodo con una leve presión hacia abajo.

Ocasionalmente el electrodo puede pegarse, en este caso se pedirá "Cortar Corriente" ("*Make it Cold*") y entonces se sacará el electrodo de la pieza de trabajo. Esto se produce por una excesiva rotura del fundente; pedir que se conecte la corriente y suavemente apoyar el electrodo a lo largo de una pieza de material como encendiendo un fósforo, esto fundirá el excedente de alambre y permitirá el correcto encendido del arco.

Cuando se consuma todo el electrodo, pedir que se corte la corriente, reemplazar el electrodo por uno nuevo y conectar la corriente nuevamente, el electrodo deberá comenzar a soldar satisfactoriamente.

C.5. Técnicas de Soldadura con Filete.

Las técnicas más extensamente usadas a nivel mundial para soldadura subacuática son 2:

C.5.1. Técnica de Auto Consumo o De Arrastre.

Para soldadura bajo agua se usa la técnica conocida como de auto consumo. Esto implica depositar el metal de aporte o soldador en una serie de cordones o cuerdas. Estos cordones en forma de filete resultan en soldaduras que tiene aproximadamente el mismo cateto que el diámetro

del electrodo usado. De este modo una sola pasada con un electrodo de 3/16" (4,76mm), da por resultado un filete de aproximadamente esa medida.

En esta técnica se mantiene un contacto constante entre la cubierta del electrodo y la pieza. Esta técnica a permitido la fabricación de juntas fuertes soldadas. A modo de ensayo y con los medios facilitados por la U.S. NAVY, se hicieron soldaduras submarinas con filete en una plancha de acero dulce y, al usar esta técnica, desarrollaron consistentemente mas del 80% de la resistencia a la tensión y 50% de la ductibilidad es causada por el endurecimiento que resulta de la fuerte acción enfriadora de las aguas circundantes.

La soldadura con filete, se adapta especialmente para trabajos submarinos ya que provee una ranura natural para guiar a los electrodos. Para soldaduras bajo el agua no debe haber ningún intervalo en el fondo del filete, o por lo menos debe ser minimizado.

Procedimiento para Soldar De Arrastre:

- a) Limpiar totalmente las superficies a soldar,
- b) Asegurarse de que el interruptor de seguridad este abierto,
- c) Ajustar el generador de soldar, con la corriente adecuada para el electrodo que se va a emplear (Ver tabla 9). Esta corriente es mas alta que la corriente sobre la superficie para el mismo electrodo ya que las aguas circundantes absorben el calor rápidamente.

Posiciones de soldadura / Amperaje

<u>Diámetro</u>	<u>Tipo Electrodo</u>	<u>Bajo Mano</u>	<u>Horizontal</u>	<u>Vertical</u>	<u>Sobre Cabeza</u>
1/8"	Acero	160-170	150-170	140-165	140-160
5/32"	Acero	180-210	170-210	170-210	170-190
3/16"	Acero	250-280	240-280	240-280	235-275
1/8"	Acero Inoxidable	135-150	130-150	125-145	125-145
5/32"	Acero Inoxidable	150-200	140-200	140-190	140-180

Tabla 9: Ajuste de la corriente para soldadura bajo el agua

- d) Ubicar el extremo del electrodo, que forma el arco contra la pieza, de manera que el electrodo forme un ángulo de aproximadamente 30° con la línea de soldadura. El ángulo puede variar de 15 a 40°, dependiendo del tipo de electrodo empleado y las preferencias personales del buzo.
- e) Pedir que se conecte la corriente, el arco debe formarse cuando el tender cierra el interruptor de seguridad. Si no se formara el arco, se debe golpear ligeramente o raspar el extremo del electrodo contra el trabajo hasta que se forme. Una vez iniciado hacer la suficiente presión contra la pieza de trabajo para permitir que el electrodo se consuma. Mantener el ángulo original entre el electrodo y la línea de soldadura moviendo la mano perpendicularmente hacia la superficie que se está soldando. No hay que conservar un arco como en la soldadura sobre la superficie, simplemente, mantener el ángulo conservando el electrodo en contacto con la

pieza. Mover los cordones derechos, no entrecruzarlos. Este método es una ventaja definida, especialmente, donde la poca visibilidad haría difícil conservar un arco en la forma usual sobre cubierta.

- f) Cuando se consuma el electrodo pedir que se desconecte la corriente; el tender abrirá el interruptor de seguridad y lo mantendrá abierto mientras el buzo cambia los electrodos. Mantener el electrodo posicionado después de completar la soldadura hasta que reciba la verificación del tender, de que la corriente está desconectada.
- g) Antes de comenzar a depositar un nuevo electrodo, se debe limpiar el extremo de la deposición anterior. El depósito del nuevo electrodo, debe sobreponerse levemente al depósito previo. Si se va a agregar una segunda pasada, debe limpiarse completamente todo depósito previo de la soldadura de metal.
- h) No se debe pedir que conecten la corriente hasta que el nuevo electrodo esté posicionado contra la pieza de trabajo y listo para soldar. En general conviene soldar de modo tal, que las burbujas generadas interfieran lo menos posible en la visibilidad. Por ejemplo, generalmente es mejor para el buzo soldar hacia mas debajo de sí mismo.

C.5.2. Técnica de Manipulación o de Tejido.

Esta técnica es menos empleada y requiere un gran adiestramiento del buzo.

Requiere que el soldador mantenga un arco constante bajo el agua, de igual forma que lo haría en la superficie, mientras manipula el electrodo. Muy poca, o casi ninguna, presión es ejercida sobre el electrodo, mientras es trasladado de un lado a otro por el buzo. El largo del arco bajo el agua es menor que si fuera una soldadura sobre superficie. Mientras en superficie el arco voltaico es de 1 a 1 y media veces el diámetro del electrodo, bajo el agua este es igual a la mitad del diámetro del electrodo. La velocidad ideal de avance del electrodo es de 5" a 7" por minuto (12 a 17cm por minuto).

Puede ser usada cuando se necesite aplicar cordones rectos o en línea recta de pequeñas a significantes costuras o tejidos. El tejido debe ser muy apretado o justo, para evitar que la escoria quede atrapada entre cordones.

Para usar esta técnica, se deben determinar el amperaje correcto y el tipo de electrodo a utilizar testeando sobre una placa de metal, bajo condiciones húmedas de trabajo. La correcta posición de el electrodo y la velocidad de avance deberán ser determinadas antes de comenzar la soldadura.

Los amperajes por diámetro de electrodo serán los mismos a utilizar para la técnica de auto consumo, pero deben ajustarse ligeramente. La corriente apropiada puede identificarse observando las mismas características para soldadura en superficie.

C.5.3. Reparación de Pequeñas Rajaduras.

- a) Localizar los extremos de la rajadura,
- b) Perforar o quemar pequeños agujeros en los extremos de la grieta, para impedir su propagación,
- c) Preparar una placa de suficiente tamaño para cubrir el área rajada, y fijarlo al contorno del material base,
- d) Ubicar el parche sobre la rajadura, adhiriéndolo mediante soldaduras con filete en los bordes, continuando con la soldadura hasta que quede hermético.

C.6. Posiciones de Soldadura.

a) Posición Vertical: Se utiliza la misma técnica de auto consumo, salvo que las soldaduras con filetes verticales deben hacerse en posición vertical descendente. En otras palabras, comenzando en la parte superior de la pieza y prosiguiendo hacia el fondo de la misma.

b) Posición Sobre Cabeza: Se utiliza la técnica de arrastre, excepto que el rango de corriente para soldar sobre cabeza es muy estrecho. Los depósitos de soldaduras que usan corriente fuera de este rango, resultarán ser muy pobres o nulos en absoluto.

Los buzos hábiles pueden usar un ángulo de 35° - 55° del electrodo respecto al trabajo de posición para arriba. Esto requiere considerable habilidad, pero producirá soldaduras con filete sin la convexidad y socavación que se obtiene de cuando se usa la técnica de auto consumo. Si el operador no tiene esta habilidad se recomienda la técnica de auto consumo.

VI. ESPECIFICACIONES PARA SOLDADURA SUBACUÁTICA.

A. NORMATIVA MUNDIAL PARA SOLDADURA HÚMEDA.

El desarrollo mas significativo en los últimos 15 años, ha sido la publicación del *ANSI/AWS D3.6-83, Specification for Underwater Welding* (Especificaciones para Soldadura Subacuática), que substituye

las opiniones concernientes a la calidad de la soldadura obtenida, con criterios objetivos probados, ya que esta actividad tiene variables esenciales con respecto a las soldaduras realizadas en la superficie.

En 1974 la *American Welding Society (AWS)* inició un nuevo subcomité para la investigación de las soldaduras submarinas – secas y húmedas - y formular especificaciones comprensivas para esta actividad. Este comité, llamado *D3b*, integrado por ingenieros y personal representativo de agencias gubernamentales de U.S.A., compañías petroleras, contratistas de buceo, compañías constructoras de insumos y organismos educacionales; lanzó las primeras especificaciones en el año 1983, las que tuvieron una segunda revisión en 1989, la tercera en 1992 y luego en 1999; y que fueron desarrolladas en concordancia con los requerimientos de *la American National Standards Institute (ANSI)*, la máxima organización en materia de regulaciones, reglamentaciones, códigos y especificaciones de U.S.A. Fueron de mucho éxito y aplicadas en Norteamérica, Europa, Asia y Medio Este, lo que implica una pronta aprobación a nivel mundial.

Su objetivo es proveer estándares para la calificación de soldadores submarinos y procedimientos de soldadura y corte submarinos, para establecer variables esenciales y, en general, proveer un documento que hiciese posible al usuario seleccionar el procedimiento de soldadura o corte apropiado y obtener soldaduras codificadas al nivel de performance deseado.

Establece los "Estándares de Aceptación" para todas las soldaduras incluyendo las de reparación, que deben de ser examinadas mediante inspección visual, radiográfica, examen de ultrasonido y examen de partículas magnéticas.

Las especificaciones fueron subsecuentemente revisadas, pero aún establecen cuatro categorías de soldaduras, identificadas como clase *A*, *B*, *C* y *O*. Estas clases son definidas de la siguiente forma:

Soldaduras Clase A: son aquellas comparables con las realizadas sobre el agua con respecto a sus propiedades específicas y requerimientos testeados.

Soldaduras Clase B: se designa así a aquellas soldaduras para aplicaciones menos críticas donde la baja ductilidad, gran porosidad y largas discontinuidades, pueden ser toleradas.

Soldaduras Clase C: son aquellas para aplicaciones donde la cantidad de cordones no es la principal consideración y satisfacen menores requerimientos que las clase *A*, *B* y *O*.

Soldaduras Clase O: son las que deben reunir los requerimientos de otros códigos o especificaciones.

Mientras que las soldaduras clase *B* y *C* son logradas fácilmente mediante estos procesos, la producción de soldaduras clase *A* no había sido posible a causa de la dificultad de reunir todas las propiedades mecánicas y visuales detalladas en los requerimientos de la *ANSI/AWS D3.6-83*.

En septiembre de 1999 un grupo de empresas contratistas de salvamento, se unió en un ambicioso programa (devendido en histórico) de soldadura submarina,. El programa incluía un entrenamiento intensivo para buzos soldadores, producción de procedimientos de soldadura, y finalmente

calificación a los soldadores. Estos lograron ser el primer grupo en ofrecer calidad de superficie, soldaduras estructurales como las especificadas en el *ANSI/AWS D3.6M:1999 Specification for Underwater Welding for Class A welds*, lo que probó que la calidad de las soldaduras de superficie puede obtenerse también de la soldadura submarina, lo que representó un significativo paso adelante y permitió que las reparaciones mediante soldadura húmeda en buques a flote fuera aceptada como permanente.

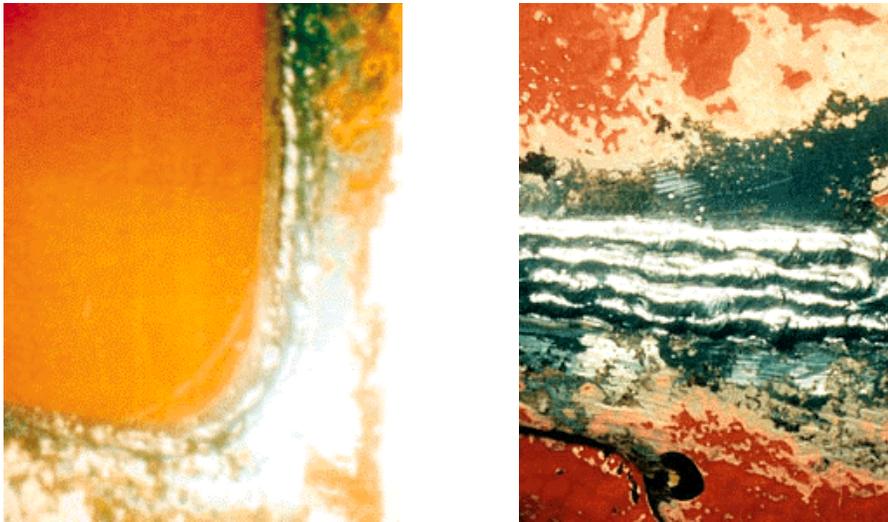


Fig 42: Clases de soldaduras submarinas.

Esto ha tenido un efecto positivo en las compañías que fabrican equipamientos para corte y soldadura subacuáticos, tanto es así que se presentó un claro y específico desafío: producir electrodos para soldadura húmeda que permitan a un buzo soldador hábil realizar soldaduras de calidad acorde a los estándares reconocidos. Durante años se emplearon electrodos de superficie que se los cubría con un sinnúmero de variaciones de lacas, pinturas, lanolina, nitrato de celulosa y barniz, pero se comprobó que una buena cobertura a prueba de agua no era, por sí misma, conveniente para producir soldadura submarinas que reúnan los estándares *AWS D3.6-83*. Era necesario conocer cómo afectaba el medio acuático a la metalúrgica de la soldadura. Se fundamentaron y publicaron pequeñas fuentes de información que principalmente eran el resultados de aspectos prácticos de soldaduras subacuáticas. Por otra parte la comunidad de buzos comerciales ayudó a establecer los requisitos necesarios para un buzo que realice estas actividades.

Inicialmente se puso énfasis en los tres mayores efectos del agua en el proceso de soldadura:

1- Rápido apagado de la soldadura (dureza)

2- Formación de burbujas (porosidad)

3- Hidrógeno en las burbujas (rajaduras)

El punto central residía en saber si estos factores podían ser manejados correctamente, de ser así existían posibilidades de producir un electrodo superior para soldar bajo el agua. La elección de una correcta combinación alma de alambre/cobertura fundente, era lógicamente el primer paso. Se determinó que el siguiente criterio era el mas apropiado para las aplicaciones universales de soldadura subacuática:

1- Alto porcentaje de material depositado

2- La posibilidad de que soportara altos amperajes

3- Capacidad de ser soldado en todas las posiciones

4- Penetración media

Una gran variedad de electrodos de acero (mild steel) de la serie 60 y 70 de diferentes fabricantes fueron evaluados, determinándose que la serie 70 arrojaba los mejores resultados.

Estas pruebas revelaron que las rajaduras del material soldado, ocurrían sólo si el carbono equivalente (CE) del material base era mayor que **0,40**.

$$CE = C + Mn/6 + (Cr+Mo+V)/5 + (Ni+Cu)/15$$

Las pruebas establecieron las siguientes conclusiones:

- Los electrodos Mild Steel producen soldaduras libres de rajaduras, sobre materiales con carbono equivalente de 0,40 o menos,
- Los electrodos de Níquel producen soldaduras libres de rajaduras, sobre materiales con carbono equivalente mayor a 0,696 (este fue el mayor CE usado en los test),
- Los electrodos de Acero Inoxidable desarrollan soldaduras similares a los de níquel, pero solo si no es impuesta una sujeción sobre la pieza durante la soldadura. Si la pieza soldada está bien sujeta, no se producirán quebraduras en la zona afectada por el calor del arco, pero sí ocurrirá en la zona de difusión sobre los lados de la soldadura.

Las pérdidas de fusión o penetración, las inclusiones de escoria y otras fallas no se tuvieron en cuenta en estas pruebas, debido a que un buzo soldador experimentado evitará estos inconvenientes, del mismo modo que si soldara en la superficie.

Una vez que se eligió el electrodo adecuado, el paso siguiente era el desarrollo de una cobertura química que corrija el efecto crítico del gas hidrógeno en las burbujas en el material soldado. Una de las funciones del arco en la soldadura por arco protegido es prevenir la formación de óxidos en la soldadura, una tarea mas dificultosa por la naturaleza de la soldadura subacuática.

La alta temperatura del arco causa la separación de las moléculas del agua en hidrógeno y oxígeno. Estos elementos quedan atrapados en el material depositado. En las soldaduras de superficie se

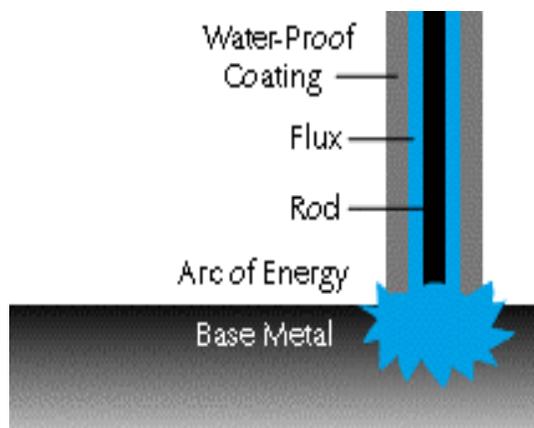
produce un enfriamiento suave que permite que los gases atrapados se ventilen, pero bajo el agua el rápido y brusco enfriamiento hace que estos gases permanezcan atrapados, dando como resultando una porosidad y la fragilidad del hidrógeno en el material.

Se empleó un año en programas de investigaciones con el primer objetivo de obtener una cobertura que mejore el fundente de foma tal que genere el gas protector del arco sin incluirle elementos indeseables en la zona del arco. El segundo objetivo era realzar las propiedades del electrodo para que avance suavemente, con excelentes características de encendido. Se requería de un electrodo blando (Soft Touch) que permitiera una velocidad de avance de 5 a 7 pulgadas por minuto, manteniendo un cordón de apariencia uniforme y con mínima porosidad.

Los componentes de la cobertura fundente química permiten al electrodo superar los problemas inherentes al ambiente húmedo de este tipo de soldadura, al incrementar la temperatura del arco e introduciendo limpiadores químicos que se unen al oxígeno e hidrógeno (Figura 43). Estos limpiadores remueven efectivamente los gases de la atmósfera del arco, y finalmente de la soldadura resultante.

Fig 43: Corte transversal de un electrodo.

water proof coating:	revest. impermeable
flux:	revest. fundente
rod:	alma del electrodo
arc of energy:	rco eléctrico
base metal	pieza de trabajo



El arco, al ser más caliente, produce una soldadura que mantiene la temperatura por mas tiempo, lo que permite que el gas y las impurezas atrapadas escapen en forma normal. De este modo se elimina la inclusión de escorias e impurezas de la soldadura, y esto reduce las rajaduras de los cordones depositados. Test con radiografías han probado que las soldaduras realizadas en agua salada son libres de interrupciones.

Ha sido notado que en la soldadura húmeda existe una relación entre la profundidad del trabajo y la porosidad obtenida: Cuanto mayor es la profundidad y se incrementa la presión ambiente, mayor es la dificultad para que los gases sean eliminados de las soldaduras. Teniendo un electrodo para soldadura submarina que enciende fácilmente y avanza suavemente puede afectar dramáticamente las dos variables que son controladas por el buzo soldador: La fuerza aplicada sobre el electrodo y la velocidad de avance.

En aguas donde la visibilidad es reducida o nula, el trabajo depende de otros sentidos, en particular de el tacto y el oído. El arco debe iniciarse fácilmente y el electrodo debe fundirse suavemente.

Cuando el electrodo avanza suave en forma correcta, el buzo escucha un sonido de chirrido (el clásico sonido de las frituras en la cocina); esta sensación es transmitida hacia el brazo del buzo. Si el electrodo está en un ángulo incorrecto, avanzando muy rápido o muy lento, se apaga o se pega respectivamente.

Dos técnicas son empleadas, básicamente, por los buzos para soldar bajo el agua: la técnica de auto consumo o de arrastre, y la técnica de manipulación del electrodo o de tejido. Todas las primeras pasadas (raíces) de una soldadura deben ser realizadas con la técnica de autoconsumo. Con esta técnica el electrodo es arrastrado a través del trabajo con una suave presión aplicada sobre la superficie de contacto. El ángulo óptimo entre electrodo / superficie de trabajo es de 30 grados con un plus de ± 15 grados y la velocidad ideal de avance es de 5 a 7 pulgadas por minuto.

Rellenos y juntas deben aplicarse con la técnica de manipulación, en la cual se mantiene el arco como en una soldadura de superficie. Poca o casi ninguna presión se aplica sobre el electrodo y es desplazado de un lado a otro tramando un tejido. El largo del arco bajo el agua es más pequeño en comparación con superficie. En una soldadura al aire libre normalmente se mantiene un arco de 1 a 1,5 veces el diámetro del electrodo; bajo el agua ese largo debe ser solo $\frac{1}{2}$ del diámetro del electrodo.

Uno de los factores mas importantes en la soldadura submarina es la preparación de las superficies a soldar (Figura 44). Las piezas deben ser cuidadosamente limpiadas inmediatamente antes a realizar cualquier trabajo de soldadura: Las soldaduras aceptables no pueden realizarse sobre herrumbre o suciedad.



Fig 44: Con amoladora hidráulica se realiza una correcta preparación de las superficies.
El tender cepilla la punta de los electrodos para un mejor contacto.

Cuando se deban realizar pasadas múltiples, cada cordón debe ser limpiado con cepillo de acero y piqueta antes de depositar el siguiente cordón.

Otro factor primordial en estas operaciones es la jarcia: el trabajo debe estar posicionado correctamente y asegurado adecuadamente.

En 1986, el NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND desarrolló una evaluación de los electrodos disponibles para soldaduras húmedas, el objetivo era aprobar, para el uso de la U.S. NAVY, aquellos electrodos que habiendo pasado todas las pruebas requeridas, podrían ser usados para reparaciones submarinas en sus buques. En 1998, el NAVAL SEA SYSTEMS COMMAND calificó los procedimientos de soldadura húmeda que fueron incorporados a los estándares militares gubernamentales de tareas de reparaciones subacuáticas.

En ambas instancias la elección de la U.S. NAVY fue el electrodo Soft Touch Mild Steel.

Un ejemplo de las propiedades que se pueden obtener de una soldadura húmeda hecha con electrodos Mild Steel: el material soldado fue una tubería de 14 pulgadas de diámetro con una pared de $\frac{3}{4}$ de pulgada y carbono equivalente (CE) de 0,368.

El examen de RX mostró una soldadura libre de defectos, excepto una porosidad bien esparcida; en la muestra de tensión en sección reducida falló la ductibilidad en el metal base (aproximadamente 1 y $\frac{1}{2}$ pulgadas desde el metal soldado) a 70,231 y 70,086 PSI.

Los cordones laterales fueron hechos usando espécimen de $\frac{3}{8}$ " de diámetro. Toda la curvatura a 180°, pero dos de los ocho espécimen fallaron al no llegar a reunir los requerimientos cumplidos.

El test de dureza Rockwell C mostró una mayor dureza en la zona afectada por el calor del arco, de 19,1, y el máximo en el metal soldado fue de 6,8.

La prueba de impacto Charpy de ranura-V fue hecha a 60° F, la menor temperatura encontrada en lugares de reparación de estructuras. Las pruebas se realizaron en ranuras hechas sobre el metal base, el metal soldado, en la zona afectada por el calor y con ranuras mitad en la zona afectada por el calor y mitad en el metal soldado. El promedio de los resultados en ft-lb fue: metal base 39,5; zona afectada por el calor 33,4; zona afectada por el calor-metal soldado 32,8; y metal soldado 25,2.

La soldadura submarina eliminó los costos y el tiempo consumido por diques secos para los buques militares. Durante el año fiscal 1990, los trabajos desarrollados por buzos de la Sima Little Creek Dive Locker en Norfolk, Vancouver certificados por la U.S. NAVY, ahorraron a su gobierno más de un millón y medio de dólares.

B. RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS SUMERGIDAS CON FILETE DE ACERO.

El US NAVAL SHIP RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER realizó tests para determinar la resistencia de las soldaduras con filete hechas bajo el agua.

Los resultados indicaron que cuando se usaron los electrodos aprobados de $\frac{3}{16}$ " (4,76 mm) y los filetes depositados del mismo diámetro, usando la técnica de autoconsumo descrita anteriormente, una pulgada lineal de soldadura con filete hecha en posición horizontal tenía una resistencia de 10.000 libras por pulgada cuadrada lineal (1786 kg/cm).

Cuando se calcula la longitud de la soldadura con filete que se necesita para soportar una carga estática conocida, debe usarse un factor 6 de seguridad. Esto hace que la soldadura con filete sea

capaz de soportar una carga de 10.000/6 o 1666 libras por pulgada lineal (298 kg/cm). Esta sería la resistencia de trabajo de un filete de 3/16" (4,76 mm).

Cuando se va a soldar un parche es recomendable que la capacidad de sustentación de carga que se señala arriba se reduzca a 1000 libras/pulg. Lineal (178 kg/cm), debido a la existencia de una cantidad desconocida de esfuerzo de flexión que depende de la rigidez del parche.

De ese modo al diseñar un parche para una carga de 20.000 libras (9072 kg) debe depositarse un filete de 20.000/1000 o por lo menos 20 pulgadas lineales (51 cm) de 3/16" (4,76 mm).

La tabla 9 muestra la resistencia por pulgada lineal de las soldaduras con filete usando electrodos 5/32" (3,97 mm) cuando se emplea la técnica de autoconsumo que produce un filete de aproximadamente el mismo tamaño que el diámetro usado.

<u>Diámetro</u>	<u>N° Mínimo</u>	<u>Resistencia</u>	<u>Factor 6</u>		<u>Resistencia para cálculos</u>					
			<u>Seguridad</u>		<u>Carga Estática Para Parche</u>					
<u>Electrodo</u>	<u>de Pasadas</u>									
<u>pulg / cm</u>		<u>lbs/pulg</u>	<u>kg/cm</u>	<u>lbs</u>	<u>kg</u>	<u>lbs/pulg</u>	<u>kg/cm</u>	<u>lbs/pulg</u>	<u>kg/cm</u>	
5/32 3,97	3	12.000	2140	12.000/6	2140/6	2000	356	1400	249	
3/16 4,76	1	10.000	1786	10.000/6	1786/6	1666	297	1000	178	

Tabla 10: Resistencia por pulgada lineal de soldadura con filete.

C. CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS.

En nuestro país la clasificación de electrodos está dada por la American Welding Society (AWS), y es la que mas amplia difusión tiene.

Esta clasificación se realiza mediante la letra "E" seguida de cuatro o mas números, y en algunos casos estos números van seguidos de letras tales como A, B, C, etc. a las que pueden seguir números como 1, 2, etc.

Los dos primeros números, multiplicados por 1000 dan la resistencia a la tracción en libras por pulgada cuadrada que debe tener el material depositado. Por ejemplo el electrodo E-6010 tiene que tener una resistencia a la tracción de 60.000 libras por pulgada cuadrada, aproximadamente 42 kg/mm².

El grupo de las dos últimas cifras tomadas en su conjunto, nos indican el tipo de revestimiento, por lo tanto:

10 y 11: celulosicos, 12 y 13: rutilicos, 14 y 24: rutilicos de contacto, 15, 16 y 18: básicos, y 28: básicos de contacto.

La anteúltima cifra tomada sola indica la posición para la cual el electrodo es apto. Si esa cifra es 1 indica toda posición, si es 2 o mas la posición es horizontal o plana únicamente.

La última cifra indica el tipo de corriente, 0 o 5 significa que debe soldarse solo con corriente

continua (polaridad positiva). Todos los demás significan que son aptos para ambas corrientes, continua o alterna.

Las letras y números que se agregan a continuación, indican que los electrodos tienen elementos aleados en el revestimiento, los cuales se depositarán en el cordón soldado.

En soldaduras submarinas los electrodos mas comúnmente usados son los AWS E7014 y E7018 para acero y AWS E312-16 para aceros inoxidable.

Análisis Mecánico

<u>Soldadura</u>	<u>Seca</u>	<u>Húmeda</u>
Dureza (N/mm	540	564
Elongación sobre 4d	26%	10%
Reducción de área	70%	47%
Impacto charpy	62J	34J

Análisis Químico

<u>Análisis del Metal</u>	<u>Típico (seco)</u>
<u>Soldado Deposita</u>	<u>(%)</u>
Carbono (C)	0,05
Manganeso (MN)	0,5
Silicona (S)	0,45
Sulfuro (S)	0,025
Fósforo (F)	0,025

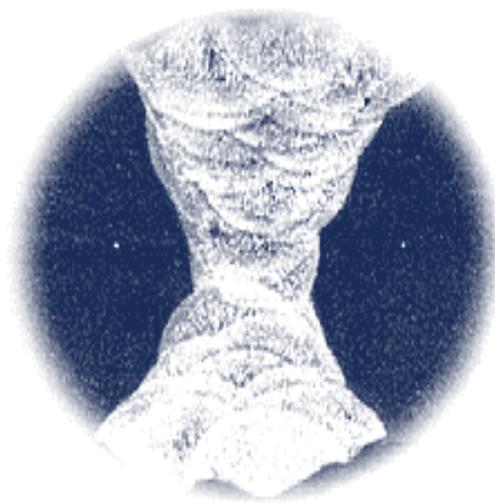


Fig 45: Macro 3X de soldadura húmeda y propiedades del metal soldado.

VII. SEGURIDAD EN OPERACIONES DE CORTE Y SOLDADURA SUBACUÁTICOS.

A. PROTECCIÓN DEL BUZO.

Es de gran importancia que la vestimenta del buzo tenga la máxima protección contra choques eléctricos o heridas en los ojos por los arcos eléctricos. Además de las medidas de seguridad que involucra cada proceso de corte o soldadura en particular, deben observarse ciertas reglas en lo que respecta a la vestimenta.

El buzo debe estar íntegramente vestido con traje de buceo que lo aisle totalmente de todos los circuitos eléctricos. La máxima protección se logra con un traje seco, hermético, con un casco de buceo tipo Super Lite 27. Obviamente el traje debe estar en buenas condiciones y sin rasgaduras; y es obligatorio el uso de guantes de goma, látex, neoprene o caucho vulcanizado.

Un chequeo regular del casco o máscara de buceo y sus válvulas metálicas es recomendable para verificar si existen deterioros por efectos de la electrólisis. Los cristales para protección de los ojos son indispensables para todas las operaciones de corte y soldadura, sin excepciones.

B. PRECAUCIONES GENERALES.

Deben seguirse ciertas reglas generales en todo proceso de corte y soldadura submarino,

A - El equipo para trabajar bajo el agua solo debe ser usado por un buzo calificado,

B - El buzo debe estar comunicado con superficie (tender) mediante sistema telefónico seguro con amplificador de voz,

C - El buzo debe comprender y poseer cierta habilidad en los procesos de corte y soldadura sobre la superficie, antes de comenzar un trabajo sumergido,

D - Deberá usarse solamente equipo diseñado y aprobado para uso submarino y seguir cuidadosamente las instrucciones operativas de fábrica,

E - La cantidad de auxiliares y buzos que compongan el equipo de buceo para las operaciones de corte y soldadura submarinos lógicamente dependerá de las dimensiones del proyecto, pero como mínimo consistirá de un buzo soldador y un tender en superficie (Figura 46).



Fig 46: Un buen tender de buceo.

F - Todas las precauciones necesarias para el corte y soldadura de un objeto que pueda contener elementos inflamables y/o explosivos son aplicables al trabajo bajo el agua. Es obligatorio que antes de cortar o soldar en un compartimento cerrado o esquina, se provean los medios para permitir el escape de gases acumulados.

G - No debe permitirse ningún tipo de tarea en la superficie del área en la cual el buzo trabajará. Esta área debe ser un círculo con un radio por lo menos igual a la profundidad de las operaciones submarinas.

H - Siempre que sea posible, es recomendable que el buzo trabaje de pie o apoyado sobre una estructura firme o andamio mientras se halle desarrollando su tarea (Figura 47).



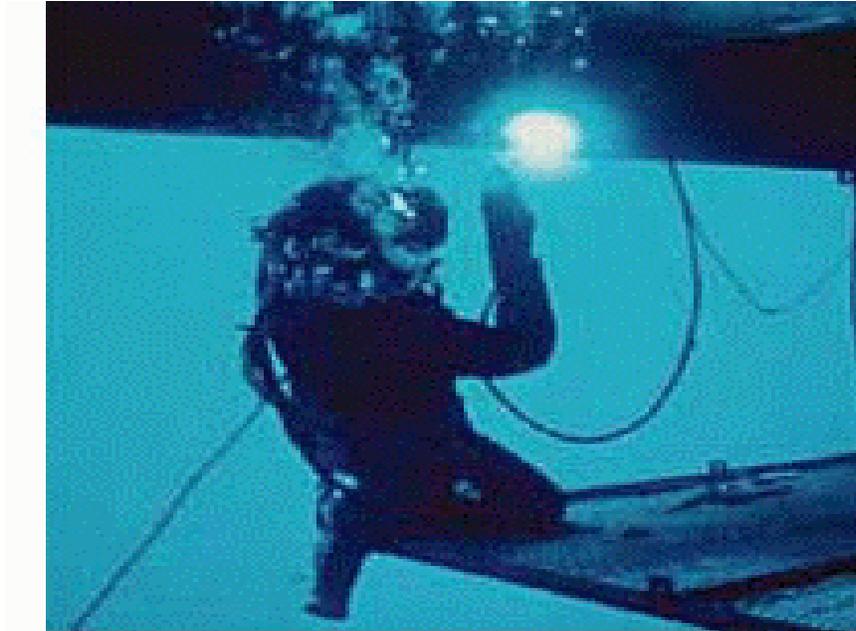


Fig 47: Andamios y soporte en operaciones de corte y soldadura.

- I – Las mangueras y umbilicales no deben entorpecer la libre tarea del buzo y de debe evitar la excesiva flojedad en las líneas, manteniéndolas libres de la zona de corte y soldadura.
- J – El buzo nunca debe dar la espalda a la conexión a tierra.
- K – El buzo nunca deberá ubicarse de forma tal que se haga parte del circuito secundario al colocarse entre el electrodo y la pieza donde se está trabajando.
- L – Jamás sostener la torcha de forma tal que el electrodo apunte hacia el buzo.
- M – Se deberá tener precaución en no tocar el casco con el electrodo o cualquier otra parte del portaelectrodos o torcha que no esté aislado.
- N – Una vez que se consume el electrodo, no se debe remover el resto del mismo hasta que no se halla recibido la confirmación de que se corto la corriente por parte del tender. El tender no dará la confirmación hasta que no halla interrumpido el circuito y la corriente esté cortada.
- O – El buzo siempre debe retirar el electrodo de la torcha o portaelectrodos antes de regresarlas a la superficie.
- P – Todas las operaciones deberán estar correctamente iluminadas y aún mas si se realizan en aguas turbias o en horarios nocturnos (Figura 48).

