

Níquel y sus Aleaciones

INDICE

27.1. Propiedades del níquel	528
27.2. Aleaciones de níquel	528
27.3. Factores influyentes en la realización de las uniones soldadas	530
27.4. Metales de aportación para el soldeo por fusión	532
27.5. Procesos de soldeo y corte	535
27.5.1. Soldero por arco con electrodos revestidos	536
27.5.2. Soldero TIG	537
27.5.3. Soldero MIG	537
27.5.4. Soldero por arco sumergido	538
27.5.5. Soldero oxigás	538
27.5.6. Soldero fuerte y blando	538
27.5.7. Corte térmico	539

27.1. Propiedades del Níquel

El níquel es un metal duro, tenaz y maleable de color blanco plateado, que posee buenas características contra la corrosión y la oxidación, es un metal magnético (es atraído por los imanes). Se emplea:

- Como elemento primordial en las aleaciones de níquel.
- Como elemento de aleación en:
 - aceros inoxidable austeníticos y dúplex
 - aceros para aplicaciones criogénicas
 - aleaciones de cobre.
- Como recubrimiento anticorrosivo de otros metales.

27.2. Aleaciones de Níquel

Los principales elementos que se asocian con el níquel en sus aleaciones son hierro, cromo, cobre, molibdeno y cobalto, como componentes principales, existiendo otros elementos que se adicionan en menor proporción para actuar sobre las propiedades mecánicas.

Las aleaciones de níquel, en general, tienen las siguientes propiedades:

- Resistentes a la corrosión en numerosos ambientes: atmosférico, agua, ácidos, alimentos y gases, siendo también resistentes a temperaturas muy elevadas (en algunas ocasiones hasta 1175°C).
- Alta resistencia mecánica manteniendo sus propiedades a temperaturas elevadas (680° - 980°C).
- Gran tenacidad, ductilidad y resiliencia incluso a bajas temperaturas, por ejemplo a -150°C.

Las aleaciones de níquel pueden clasificarse en dos tipos:

- Tratables térmicamente. Las más usuales son:
 - Níquel - cobre
 - Níquel - cromo
 - Níquel - hierro - cromo

- No tratables térmicamente. Las más usuales son:
 - Níquel - cobre
 - Níquel - cromo
 - Níquel - cromo - hierro
 - Níquel - molibdeno
 - Níquel - cromo - molibdeno

El tratamiento térmico se realiza para endurecer y aumentar la resistencia mecánica y consiste, como en el aluminio, en un calentamiento, enfriamiento rápido y maduración a temperatura ambiente o a temperaturas mayores, dependiendo de la aleación.

Las aplicaciones del níquel suelen estar en la industria química y petroquímica, en álabes para turbinas y otras piezas para aviación, hornos, tubos de intercambiadores de calor, centrales nucleares y térmicas, piezas de motores, válvulas...

En la tabla 27.1 se indican los nombres comerciales, la designación UNS y la composición química de algunas aleaciones base níquel. Se indican los nombres comerciales no con ánimo de hacer propaganda, sino porque son las designaciones más utilizadas.

Composición química (Peso %)	Designación comercial	Tipo de aleación								
		No endurecibles por precipitación				Tratadas térmicamente por endurecimiento por precipitación				
		Monel 400	Inconel 600	Hastelloy X	Incoloy 800	Monel K-500	Inconel X750	Nimonic 80A	René 41	Inconel 718
Número UNS	N04400	N06600	N06002	N08800	N05500	N07750	N07080	N07041	N07718	
Níquel		66,5	76	47	32,5	66,5	73	76	55	52,5
Carbono		0,2	0,08	0,10	0,05	0,10	0,04	0,06	0,1	0,04
Cromo		--	15,5	22	21	--	15,5	19,5	19	19
Molibdeno		--	--	9	--	--	--	--	10	3,0
Hierro		1,2	8,0	18	46	1	7	--	1	18,5
Cobalto		--	--	1,5	--	--	--	--	10	--
Aluminio		--	--	--	0,4	2,7	0,7	1,6	1,5	0,5
Titanio		--	--	--	0,4	0,60	2,5	2,4	3,0	0,9
Niobio ⁽¹⁾		--	--	--	--	--	1	--	--	5,1
Manganeso		1	0,5	1	0,8	0,08	0,5	0,3	0,05	0,2
Silicio		0,2	0,2	1	0,5	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
Cobre		31,5	0,2	--	--	29,5	0,5	--	--	--
Boro		--	--	--	--	--	--	0,006	0,005	--

(1) Incluye también tántalo.

TABLA 27.1: ALEACIONES BASE NÍQUEL COMUNES

27.3. Factores Influyentes en la Realización de las Uniones Soldadas

Las aleaciones de níquel se pueden considerar como de buena soldabilidad, sin embargo el comportamiento de una aleación a otra puede variar en gran medida; incluso pequeñas diferencias en la composición química pueden resultar críticas. El soldeo de las aleaciones tratables térmicamente resulta más complejo, en algunos casos no se podrá realizar. Estas aleaciones deberán soldarse en estado de recocido, disminuyendo al máximo las tensiones durante el soldeo y aplicando posteriormente el tratamiento adecuado, de lo contrario podrán agrietarse.

En el soldeo de las aleaciones de níquel se deben tomar las siguientes precauciones:

- **Extremar la limpieza.** Es condición primordial para el soldeo de cualquier aleación base níquel que las piezas y el material de aportación se encuentren completamente limpios. La limpieza debe llevarse a cabo justo antes de soldar e incluye la eliminación de todo tipo de grasa, suciedad, fluidos de corte, cascarilla, pinturas y películas resultantes de la contaminación atmosférica. El azufre está presente en casi todos los aceites y grasas y es sumamente perjudicial para el níquel, ya que provoca la formación de grietas. Cuando se almacenan aleaciones de níquel en un ambiente industrial, se forma una película que contiene azufre y que se deberá eliminar con abrasivos. En cualquier otro caso se realizará una limpieza enérgica con cepillo de alambre de acero inoxidable o muela en una extensión de al menos 25 mm a cada lado de la unión, a esta limpieza mecánica le seguirá un desengrasado químico, utilizando un disolvente. El soldeo no comenzará hasta que la pieza esté completamente seca.
- **Realizar el soldeo con la pieza en estado de recocido.** Esta recomendación es imprescindible en algunas aleaciones y, sin embargo, en otras no es necesaria.
- **Utilizar un diseño de la unión que permita:**
 - Bajas deformaciones.
 - Una adecuada manipulación del metal de aportación y depositar cordones rectos en el chaflán de la unión. En las aleaciones de níquel, el baño de fusión no es tan fluido, ni “moja” tan bien el metal, como el acero al carbono o el acero inoxidable, por lo que suele ser necesario chaflanes con ángulos mayores. Mayor cuidado se debe tener en el soldeo de algunas aleaciones tratables térmicamente, puesto que

funden muy lentamente y se pueden producir faltas de fusión, en estas aleaciones se suelen formar óxidos o escorias durante el soldeo por lo que es necesario realizar limpieza entre cordones, incluso cuando se suelda con gas de protección. Al ser más difícil conseguir penetración completa, se recomienda el soldeo por ambas caras con resanado.

En la figura 27.1. se indican los diseños más utilizados.

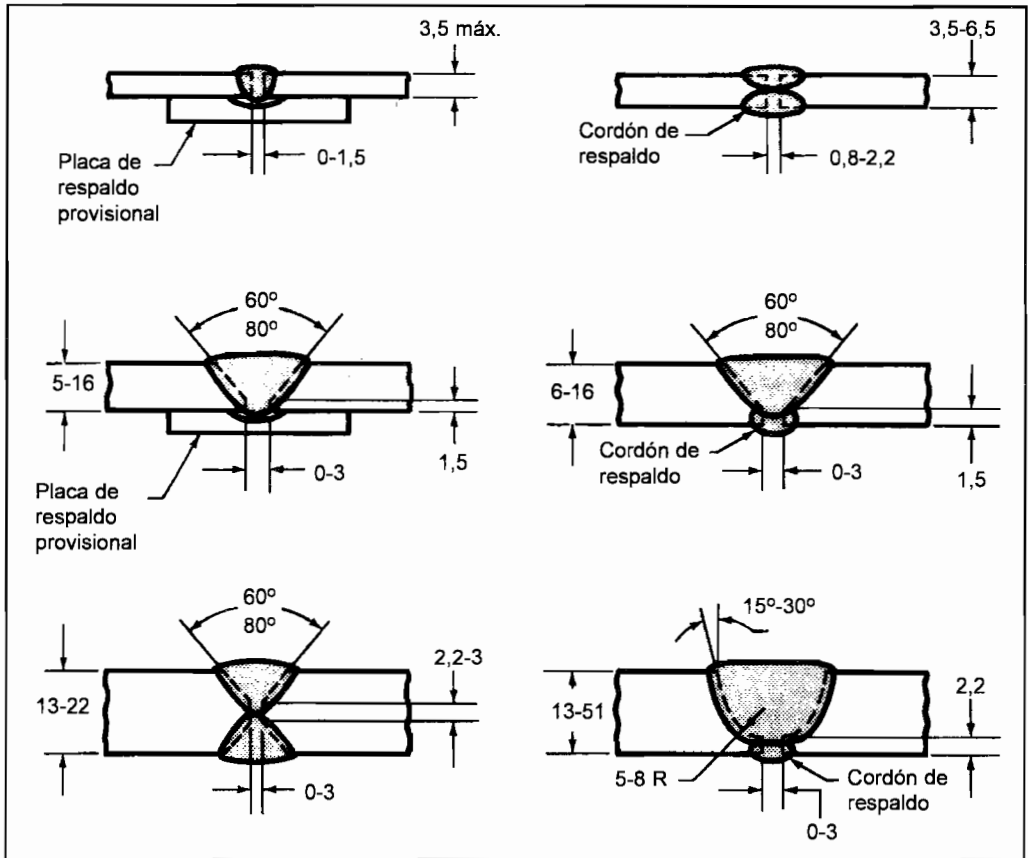


FIGURA 27.1: DISEÑO DE UNIONES A TOPE PARA EL SOLDEO DE ALEACIONES DE NÍQUEL

- **Evitar que las piezas a soldar estén tensionadas** o con embridamiento excesivo y cuando sea posible distensionar entre pasadas.
- **Emplear aportes térmicos muy bajos.** En algunas ocasiones el agrietamiento se debe a un enfriamiento excesivamente lento entre ciertos rangos de temperatura. La temperatura entre pasadas debe estar controlada, en algunas ocasiones se debe mantener por debajo de 95°C.

Los cordones deben ser rectos en lugar de oscilantes.

- **No precalentar.** No sólo no es necesario el precalentamiento, sino que no es recomendable.
- **Realizar los tratamientos posteriores al soldeo** que indique el fabricante. Algunas veces será un alivio de tensiones.

27.4. Metales de Aportación para el Soldeo por Fusión

Entre los electrodos y varillas de níquel y sus aleaciones podemos distinguir dos grandes grupos:

- Los utilizados para el soldeo de fundiciones, que son varillas y electrodos especialmente diseñados para ello y su composición química suele ser níquel o níquel-hierro. Las fundiciones (aleaciones hierro-carbono con contenidos de carbono superiores al 1,7%, ver capítulo 22) suelen ser materiales frágiles. Como se fabrican por moldeo no suelen requerir soldadura, pero se pueden formar grietas con gran facilidad y su reparación por soldeo es muy delicada, para ello se requieren metales de aportación muy dúctiles como lo son las aleaciones de níquel. No obstante, también existen otros tipos de metales de aportación para el soldeo de fundiciones.

Muchas veces estos metales de aportación se utilizan para realizar un untado o “buttering” que se explicará más adelante.

Todos ellos están recogidos en la especificación ANSI/AWS A5.15.

- Los utilizados para el soldeo de las siguientes aleaciones:
 - Aleaciones base níquel (inconel, monel, incoloy...).
 - Algunos aceros con 9% níquel.
 - Aleaciones cobre-níquel.
 - Piezas de materiales disimilares (aleaciones diferentes) y no compatibles, es decir que pueden formarse grietas durante su soldeo.
 - Algunos aceros inoxidables.

Los electrodos revestidos de este tipo están identificados en la especificación ANSI/AWS A5.11 y las varillas y alambres en ANSI/AWS

A5.14, suelen estar clasificados en los siguientes grupos (se indican los componentes y sus símbolos químicos):

- Níquel (Ni).
- Níquel-Cobre (Ni-Cu).
- Níquel-Cromo-Hierro (Ni-Cr-Fe).
- Níquel-Molibdeno (Ni-Mo).
- Níquel-Cromo-Molibdeno (Ni-Cr-Mo).

Estos alambres y varillas también se utilizan para realizar un untado.

El untado es un proceso de recargue por el que se deposita una o más capas de metal de soldadura dúctil compatible con las piezas a unir y, posteriormente, se termina la unión con otro material de aportación generalmente más barato y que aporte otro tipo de características (ver figura 27.2).

Este proceso se utiliza para el soldeo de fundiciones, de materiales diferentes no compatibles y de otros materiales que presenten problemas durante su soldeo, como por ejemplo los aceros templables.

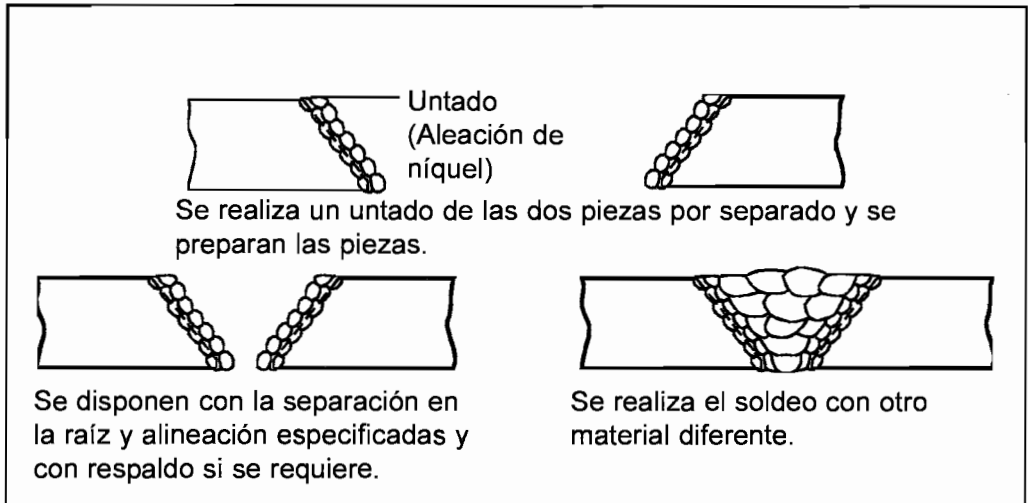


FIGURA 27.2

Clasificaciones ANSI/AWS A5.11 y A5.14

Las clasificaciones ANSI/AWS A5.11 y A5.14 de los electrodos revestidos, varillas y alambres se basan en la composición química y se indican en la figura 27.3.

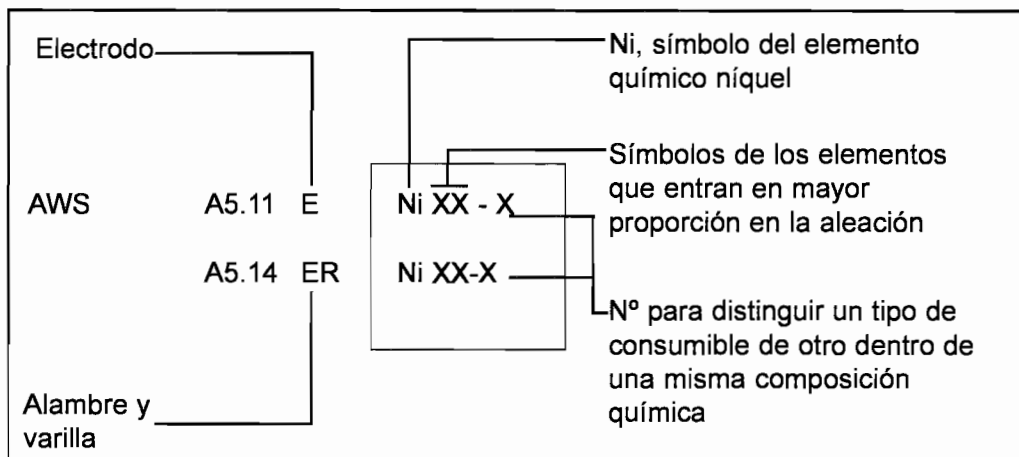


FIGURA 27.3: DESIGNACIÓN ANSI/AWS

Selección

Para el soldeo de las aleaciones de níquel se utilizan materiales de aportación de composición química similar a la del metal base.

En la tabla 27.2 se indican recomendaciones para algunas de las aleaciones de níquel.

Materiales base	Metales de aportación
Monel 400	E Ni Cu (electrodo revestido)
	Er Ni Cu (varilla o alambre)
Monel K-500	E Ni Cu-7 (electrodo revestido)
	Er Ni Cu-7 (varilla o alambre)
Inconel 600	E Ni Cr Fe-1 (electrodo revestido)
	Er Ni Cr Fe-5 (varilla o alambre)
Inconel X750	Er Ni Fe Cr-2 (varilla o alambre)
Inconel 718	Er Ni Fe Cr-2 (varilla o alambre)
Incoloy 800	E Ni Cr Fe-2 (electrodo revestido)
	Er Ni Cr-3 (varilla o alambre)

TABLA 27.2: ALGUNOS METALES DE APORTACIÓN RECOMENDADOS PARA DIFERENTES ALEACIONES DE NÍQUEL. ESPECIFICACIÓN DE ACUERDO CON ANSI/AWS A5.11 (ELECTRODOS REVESTIDOS) Y ANSI/AWS A5.14 (VARILLAS Y ALAMBRES)

27.5. Procesos de Soldeo y Corte

Las aleaciones base níquel pueden soldarse por cualquier proceso utilizado en el soldeo del acero, sin embargo no se pueden aplicar todos los procesos a todas las aleaciones (ver tabla 27.3.). En general el soldeo de las aleaciones tratables térmicamente requiere mayores cuidados.

Para el soldeo de las aleaciones de níquel, los procesos que más se emplean son el TIG, PLASMA, MIG y electrodo revestido, en el soldeo de grandes piezas algunas veces se utiliza el arco sumergido.

En general, para este tipo de aleaciones la aplicación de los procedimientos de soldeo debe ser muy rigurosa. Variables tales como el diseño de la unión, proceso a emplear, técnica de limpieza, metal de aportación y tipo de protección, deben ser definidas en cada caso, pues de lo contrario resultará muy difícil obtener una soldadura libre de porosidad, sin grietas y exenta de inclusiones.

Tipo de aleación	Designación UNS	Designación común	Proceso de soldeo			
			SMAW Electrodo Revestido	TIG, PLASMA PAW	MIG	Arco sumergido
Níquel puro	N02200	Níquel 200	X	X	X	X
	N02201	Níquel 201	X	X	X	X
No endurecibles por precipitación	N04400	Monel 400	X	X	X	X
	N06002	Hastelloy X	X	X	X	
	N06600	Inconel 600	X	X	X	X
	N08800	Incoloy 800	X	X	X	X
Endurecibles por precipitación	N05500	Monel K-500	X	X		
	N07041	René 41		X		
	N07080	Nimonic 80A		X		
	N07718	Inconel 718		X	X	
	N07750	Inconel X-750		X		

TABLA 27.3: APLICABILIDAD DE LOS PROCESOS DE SOLDEO POR ARCO A ALGUNAS ALEACIONES DE NÍQUEL

27.5.1. Soldeo por arco con electrodos revestidos

Este proceso suele utilizarse para soldar níquel y las aleaciones no tratables térmicamente.

Se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Utilizar corriente continua electrodo positivo.
- Almacenar los electrodos en lugares con temperatura y humedad controlados y secarlos, según las recomendaciones del fabricante, antes de soldar.
- Como las aleaciones de níquel son muy poco fluidas, se debe depositar el metal de aportación exactamente en el lugar adecuado.
- No realizar grandes oscilaciones con el electrodo, depositar cordones rectos. Se debe recordar que una oscilación excesiva:
 - Favorece la inclusión de gases y como consecuencia la formación de poros.
 - Aumenta el aporte térmico, que en aleaciones de níquel debe estar limitado debido a la posible fragilización del metal de soldadura.

A veces se pueden emplear oscilaciones pero siempre inferiores a 3 veces el diámetro del electrodo. En las aleaciones níquel-molibdeno y níquel-cromo-molibdeno la oscilación será inferior a 1,5 veces el diámetro del electrodo.

- Se retirará la escoria entre pasadas y después del soldeo utilizando siempre cepillos con alambre de acero inoxidable.
- Se pueden utilizar apéndices para cebar el arco, de esta forma se reduce la formación de poros.
- Se utilizará la técnica de soldeo hacia atrás con un ángulo de desplazamiento de 20°, de esta forma se controlará la escoria y se evita que quede atrapada en la soldadura. Con uniones en V se utilizará un ángulo de trabajo de 30°, de esta forma se obtiene buena fusión de las caras del chaflán.
- La longitud del arco será corta sobre todo cuando se suelde en vertical y bajo techo.
- En el soldeo de las aleaciones de níquel magnéticas puede haber problemas de soplo magnético, por lo que se utilizarán las técnicas recomendadas en el capítulo 3.

27.5.2. Soldeo TIG

El proceso de soldeo TIG se puede aplicar a casi todas las aleaciones base níquel, es el proceso más adecuado para el soldeo de aleaciones tratables térmicamente. Se aplicarán las siguientes recomendaciones:

- Aunque se puede realizar el soldeo sin aportación de material se recomienda el empleo de éste.
- Se utilizará argón, helio o mezclas de ambos como gas de protección. En algunos casos se añade hasta un 10% de hidrógeno pudiéndose aumentar la velocidad de soldeo.
- Es necesario el empleo de gas de respaldo, del mismo tipo que el de protección.
- En el soldeo manual se emplea corriente continua electrodo negativo CCEN.
- Después del soldeo se mantendrá el flujo de gas hasta que se enfríe el metal base.
- Se inclinará la pistola con respecto a la vertical de 0 a 35°. La longitud del arco debe ser corta ya que de esta forma se reduce la porosidad de la soldadura.

27.5.3. Soldeo MIG

Este proceso se emplea más para las aleaciones no tratables térmicamente.

Se emplea argón, helio o argón-helio como gas de protección y gas de respaldo. Se puede emplear cualquier tipo de transferencia.

Se suele recomendar el argón para la transferencia en spray o con arco pulsado, se utilizarán adiciones del 15-20% de helio sobre todo con transferencia en cortocircuito.

El tamaño de la tobera y el caudal de gas debería ser el adecuado para proteger totalmente la soldadura. Como en el soldeo TIG, la raíz de la soldadura debe ser adecuadamente protegida.

La pistola se debe situar perpendicular o casi perpendicular al eje de la soldadura. Se utilizará una longitud de arco pequeña (6-8 mm con transferencia en spray) de forma que se minimice el número de proyecciones.

27.5.4. Soldeo por arco sumergido

El soldeo por arco sumergido no es adecuado para todas las aleaciones de níquel, pero si se podrá utilizar para el soldeo de aleaciones Monel 400 e Inconel 600. En todo caso se deberán utilizar alambres y fundentes adecuados. En toda operación de soldeo en la que se emplee fundente existe la posibilidad de que se produzcan inclusiones de escoria, este problema puede controlarse mediante el empleo de una preparación adecuada y una correcta deposición de los cordones. Los fundentes deben almacenarse en lugares con humedad y temperatura controladas y secarse antes del soldeo.

27.5.5. Soldeo oxigás

Sólo se emplea en aplicaciones que no requieren gran calidad y sólo en algunas aleaciones como Monel, Inconel 600, Hastelloy D y Nimonic 75, en otras aleaciones como las níquel-molibdeno, níquel-molibdeno-cobalto y níquel no se recomienda. Como fundente no se deberá utilizar bórax, ya que atacará el material base. En primer lugar se punteará la unión sin fundente, a continuación se aplicará el fundente en forma de pasta y se deja secar antes de comenzar a soldar, el fundente debe aplicarse también a cualquier metal de aportación que sea preciso utilizar.

El exceso de fundente no fundido se eliminará con agua caliente, el fundido se retira empleando medios mecánicos como el cepillo de alambre de acero inoxidable. Se empleará una llama ligeramente carburante. No se deberá dar un movimiento de balanceo al metal fundido cuando se realiza la unión, ya que esta agitación del metal fundido provoca porosidad en la unión.

27.5.6. Soldeo fuerte y blando

Se seguirá el procedimiento habitual teniendo en cuenta que el calentamiento debe ser uniforme, utilizando velocidades de calentamiento lentas y constantes, evitando el sobrecalentamiento. No se deben utilizar materiales de aportación que contengan fósforo, en el caso del soldeo blando suelen ser aleaciones de estaño-plomo y en el caso del soldeo fuerte serán de plata o de cobre. En el caso de utilizar cobre se debe prestar gran atención al tiempo de permanencia a temperatura que debe ser reducido, la razón es que el cobre forma fácilmente aleaciones con el níquel (por ejemplo el Monel) y si esto ocurre aumenta el punto de fusión y se dificulta el mojado en la intercara de la unión.

27.5.7. Corte térmico

El níquel y sus aleaciones no pueden cortarse por los métodos convencionales de corte oxigás, se podrán utilizar métodos especiales como el corte con fundente o polvo metálico, sin embargo la calidad no suele ser buena.

Se utilizarán métodos de corte como:

- Corte por plasma. Se suele utilizar como gas plasmágeno mezclas de nitrógeno e hidrógeno (85% nitrógeno - 15% hidrógeno), aunque en espesores mayores de 130 mm se obtiene un corte de mayor calidad con mezclas de argón + hidrógeno.
- Corte por arco aire. Se puede emplear para el corte y sobre todo para el resanado de las piezas de aleaciones de níquel, sin embargo la superficie quedará contaminada con carbono, que será perjudicial para la calidad de la soldadura, por lo que se deberá eliminar esta capa mediante amolado.
- Corte por láser o corte por haz de electrones.