

## **MATERIALES DE METRODE TIPO 410NiMo PARA APLICACIONES EN PLANTAS DE GENERACION HIDROELECTRICAS** **(By Mark Golding)**



### **1 INTRODUCCION**

Las naciones industrializadas del mundo han sido objeto de críticas en los últimos tiempos por la liberación de altas concentraciones de gases de efecto invernadero a la atmosfera. Las regulaciones por el Protocolo de Kioto han introducido restricciones; por lo cual se esta mostrando un mayor interés en hacer uso de energías no contaminantes. En este espectro, las plantas de generación hidroeléctrica están ganando continuamente en importancia como fuente renovable y no contaminante de generación de electricidad. A nivel mundial, las centrales hidroeléctricas producen una cuarta parte de la electricidad mundial suministrando energía a más de un billón de personas.

La combinación de centrales hidroeléctricas en todo el mundo generan alrededor de 675 gigawatios , la energía equivalente a 3.6 billones de barriles de petróleo, según el National Renewable Energy Laboratory(1). Las centrales hidroeléctricas constituyen una parte muy importante en la generación del sistema eléctrico general de muchos países. Por ejemplo, en Nueva Zelanda aproximadamente el 80% de la energía es generada por plantas hidroeléctricas.

## 2. DISEÑO DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA.

La idea de utilizar agua para la generación de energía se remonta a miles de años. Hace más de 2000 años, se dice que los griegos utilizaban ruedas movidas por agua para moler trigo y convertirlo en harina. Estas ruedas de agua antiguas eran como las turbinas de hoy en día que giran cuando el flujo de agua golpea sus palas. Mientras que los engranajes de las ruedas servían para moler el trigo en aquellos días al girar los alabes de la turbina mueven el generador que produce la energía en el mundo moderno. (figura 1)

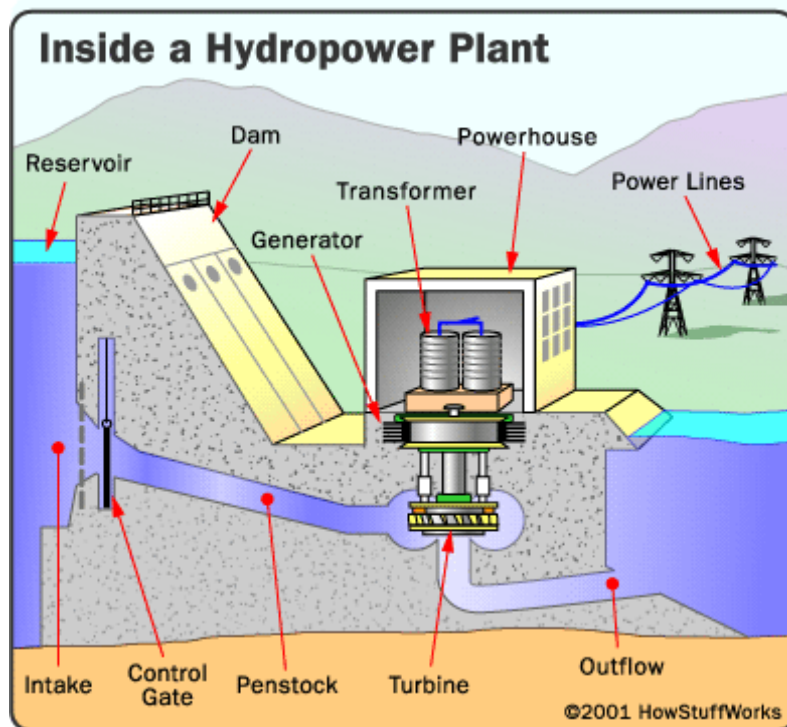


Figura 1: Generación de electricidad en una planta de energía hidroeléctrica.

Los tres principales tipos de turbinas que hay para las centrales hidroeléctricas son la rueda Pelton (fig 2) la turbina Francis (fig 3) y turbina Kaplan (fig 4), la mas común es la turbina Francis. La turbina Francis opera con una carga de presión de entre 30 y 60 metros y tiene una eficiencia de funcionamiento alta (aproximadamente el 90%) con un alto rango de tamaños de rodete y flujos de agua. El tamaño de un rodete de una turbina Francis puede variar de menos de un metro a más de quince metros de diámetro. La selección del tipo de rodete se basa en los valores de los recursos de agua en función de las condiciones locales. Por ejemplo, el gradiente de presión, la velocidad del agua, turbulencias, terreno local, etc. Todas estas variables son consideradas con el fin de optimizar la energía disponible.

**3. MECANISMOS UTILIZADOS.**

Componentes de las turbinas submarinas; corredores principales, palas, alabes guía, caja espiral, cabeza cubierta, parte inferior del anillo ,etc, están sometidos directamente al ataque del chorro del agua y el desgaste se produce por corrosión, erosión y cavitación.

El desgaste por erosión es un tipo de proceso por el cual el metal se va cortando debido al contacto con las partículas altamente cargadas de agua. Los factores de influencia más importantes en el proceso de erosión son el contenido, la masa, la dureza, la velocidad relativa y el ángulo de ataque de las partículas. La cavitación en el otro lado es una forma de fatiga superficial. La cavitación se asocia generalmente a las partes alta y baja de los alabes dependiendo de la carga de agua.

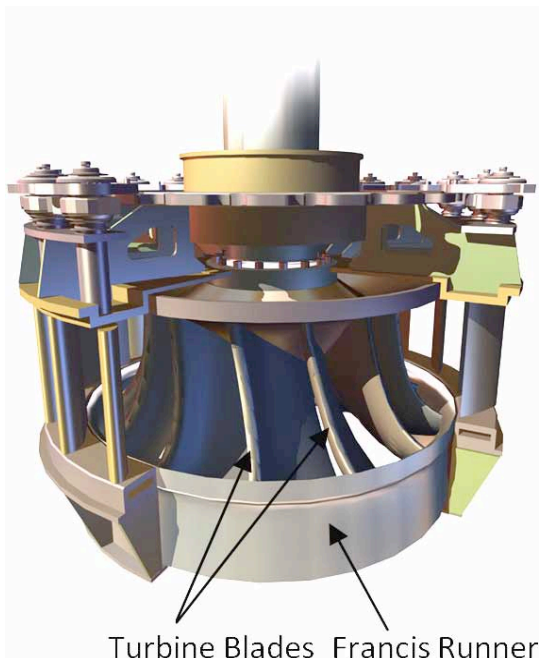
Ambos tipos de desgaste, la erosión y la cavitación suelen ocurrir al mismo tiempo y se refuerzan entre si.



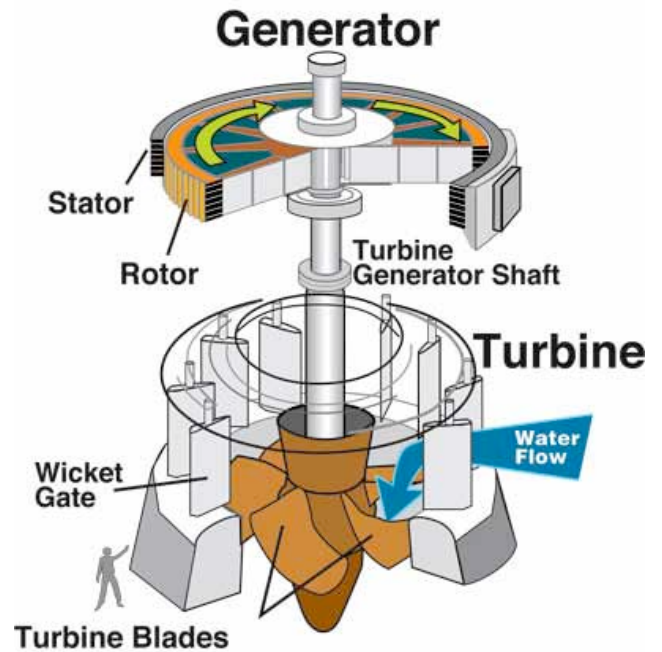
Turbine Generator

Pelton Runner

**Figure 2: Pelton turbine**



Turbine Blades Francis Runner



### FIGURA3 TURBINA FRANCIS

### FIGURA 4 TURBINA PELTON

El examen del corredor de una turbina hidráulica o del impulsor de una bomba a menudo muestra áreas con picaduras en diferentes estados de desarrollo. Es áreas picadas también se pueden encontrar en la turbina y en las superficies donde el agua pasa a grandes velocidades, este daño es denominado generalmente erosión por cavitación o erosión de impacto. Debido a las diversas condiciones físicas presentes y a las irregularidades en los sistemas de flujo del agua se pueden producir áreas de baja presión extrema. Estas áreas de baja presión generan bolsas o cavidades de vapor que crecen muy rápidamente. Debido a los cambios bruscos en las condiciones de presión y flujo, estas bolsas o “cavidades” se colapsan causando unas altas presiones de choque que pueden llegar a los 1500MPa. Este valor es superior al límite elástico de la mayoría de los materiales y produce una deformación permanente. La repetida formación y colapso de estas cavidades genera una frecuencia regular de ondas de choque lo cual somete a la superficie cercana del material a una combinación de impacto y tensiones por fatiga de ciclo bajo. El impacto resultante produce una deformación elástica y plástica y después de algún tiempo en la superficie del metal se desarrolla una red de pequeñas grietas. La unión de las grietas produce un desprendimiento de trozos del metal y la erosión se produce dejando atrás un hoyo o picadura. La cavitación produce daños por penetración en la superficie de hasta 10mm por año en los componentes críticos como impulsores, alabes de la turbina y las cubiertas (3). El resultado final es una reducción en la capacidad de producir energía que puede dar lugar a pérdidas en términos de tiempo de inactividad, productividad y eficiencia.

La vida normal de una central hidroeléctrica es de 30 a 35 años después de los cuales es necesaria una renovación. Pero las plantas ubicadas en la región del Himalaya, los Alpes europeos, los andes o el río amarillo en china sufren la erosión de sedimentos pesados, sobre todo en la época del Monzón. Los sedimentos pesados altamente abrasivos que contiene el agua vienen cargados con un alto porcentaje de cuarzo los cuales al pasar a través de las maquinas y demás componente causan fuertes daños que llevan frecuentemente a la parada forzada de la planta.

#### 4.-MATERIALES

La selección del material apropiado para las partes de las turbinas que están sumergidas es importante para asegurar una larga vida útil y evitar paradas frecuentes. Los materiales aparte del cumplimiento de otros requisitos deben ser resistentes a la erosión y poseer un buen grado de soldabilidad para permitir la soldadura de reparación in situ.

Anteriormente tanto aceros débilmente aleados como aceros 13Cr1Ni se utilizaron para los rodets de las turbinas hidroeléctricas como para las paletas de guía pero sufrían una excesiva erosión y cavitación. Recientemente se ha utilizado acero martensítico 410NiMo, este acero ofrece unas buenas características mecánicas, especialmente unos buenos valores de impacto, junto con una mecanización y soldabilidad satisfactorias y una considerable resistencia contra la erosión y la cavitación. Cuando se somete a tensiones cavitacionales una estructura martensítica permite una buena absorción de energía por deformación debido a los finos mecanismos de deformación. Durante el impacto y las tensiones por fatiga de ciclo bajo se produce un desprendimiento de partículas en la intersección de la deformación. Dado que las deformaciones son relativamente pequeñas solo las partículas de metal pequeñas se desprenden y como

resultado el daño de cavitación es relativamente lento (4). Sin embargo la combinación de todas estas diferentes características es complicado hasta cierto punto.

Además existe la posibilidad de proporcionar revestimientos de protección adicionales tales como revestimientos aplicados por plasma en zonas hidráulicamente críticas por ejemplo: bordes de arrastre de las cuchillas, bordes de salida de las paletas guía. El revestimiento con una aleación austenítica ha sido una solución tradicional durante muchos años. Con un desgaste cavitacional severo, el uso de aleaciones de carbono y base de cobalto con relativamente alta dureza y resistencia a corrosión también han sido utilizados. Sin embargo las aleaciones base cobalto una vez depositadas son más sensibles a agrietarse, son difíciles para aplicar al contorno y son caras.

Los materiales comúnmente utilizados para varias partes de las turbinas se dan en la tabla 1. Obviamente la opción predominante para los componentes críticos submarinos son los aceros martensíticos 410NiMo, junto con aceros inoxidable austeníticos selectivamente.

Una turbina hidráulica que opera en agua limosas o sucias, necesita una consideración importante y un aumento de espesor en los alabes del rodete en las zonas propensas a la erosión, estas zonas son principalmente los bordes de salida del anillo móvil cerca de la falda en el caso de las turbinas Francis y cerca de la sección periférica y en los bordes de pala en el caso de las turbinas Kaplan. Los daños por erosión se producen en el lado de presión de las cuchillas.

**Table 1: Materials used for various parts of turbine**

<b><i>Turbine part</i></b>	<b><i>Type of steel</i></b>
Runner	410NiMo stainless steel
Labyrinth seals	410NiMo or 304L stainless steel
Guide vane	410NiMo stainless steel
Guide vane sealing rings	Martensitic forged 16Cr - 5Ni - 0.5Mo stainless steel
Guide vane bush housing	Cast steel
Liners for top cover and pivot ring	304L stainless steel
Fastners in water path	Stainless steel
Tubes for bearing coolers	Cupro-nickel
Cheek plates	Martensitic forged 16Cr - 5Ni - 0.5Mo stainless steel

## 5. CONSUMIBLES 410NiMo PARA ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS

Los consumibles tipo 410NiMo son utilizados con mucho éxito en la soldadura de aceros inoxidable 410NiMo. El material de soldadura de este tipo aportado, iguala la carga de rotura del material base y son notablemente resistentes al ablandamiento durante el tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT). El material de aporte producido por los consumibles tipo 410NiMo tiene un depósito de alta resistencia (>760MPa) con mejor resistencia a corrosión, hidrocavitación y sulfuros inducidos SCC, y buena resiliencia sub-zero cuando se comparan con chapas de acero 12%Cr (410). En la condición de PWHT la microestructura consta de martensita templada con algo de austenita retenida

El rango de materiales martensíticos tipo 410NiMo de METRODE incluye electrodos, hilo MIG/GMAW, varillas TIG/GTAW, e hilo tubular FCW (tabla 2). Estos se pueden utilizar para soldar turbinas hidráulicas, cuerpos de válvulas, bombas, y tuberías de alta presión donde los niveles altos de dureza no son aceptables.

**Table 2: 410NiMo welding consumables for 410NiMo martensitic stainless steel**

<i>Process</i>	<i>Metrode Consumable</i>	<i>AWS</i>	<i>EN ISO</i>	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Mo</i>
MMA	13.4.Mo.L.R	E410NiMo-26	E 13 4 R 52	0.03	0.8	0.25	12.0	4.5	0.6
	13.4.Mo.L.B	E410NiMo-25	E 13 4 B 62	0.03	0.7	0.25	12.0	4.5	0.6
TIG/MIG	ER410NiMo	(ER410NiMo)*	G/W 13 4	0.02	0.8	0.40	12.3	4.5	0.5
FCW	Supercore 410NiMo	E410NiMoT1-1/4	T 13 4 P C/M 2 TS410NiMo-FB1	0.03	0.7	0.40	11.8	4.5	0.5

\*Doesn't always meet specification as AWS requires 0.6%Mn maximum and 0.50%Si maximum.

### 5.1 TIG (GTAW)/ MIG (GMAW)

METRODE ofrece alambres macizos ER410NiMo en TIG y en MIG utilizados para soldadura manual, semiautomática, y operaciones robotizadas. Las varillas TIG están disponibles en 3 diámetros 1.6mm, 2.0mm y 2.4mm y el hilo MIG se produce en diámetro 1.2mm. Los procesos con gas de protección aportan la ventaja de proporcionar un cordón de soldadura metalúrgicamente limpio con bajo contenido de oxígeno, por tanto, bajo contenido de inclusiones nos metálicas. Este es el motivo por el que los procesos de soldadura con gas de protección (GTAW), (TIG), (GMAW) Y (MIG), producen buenos valores de tenacidad. Junto con los buenos resultados de resiliencia y la limpieza de la soldadura, hace que estos hilos sean muy utilizados en sistemas productivos multi pasadas sin paradas para quitar escorias. La tabla 3 muestra las

propiedades mecánicas típicas para los cordones de soldadura TIG ER410NiMo después de un PWHT 610°C/1h.

**Table 3: Typical mechanical properties from all-weld metal of TIG ER410NiMo, after PWHT at 610 °C/1hr**

<i>Properties</i>	<i>Test temperature °C (°F)</i>	<i>Unit</i>	<i>Typical value</i>
Tensile strength	+20 (+68)	MPa (ksi)	890 (129)
0.2% proof stress	+20 (+68)	MPa (ksi)	850 (123)
Elongation on 4d	+20 (+68)	%	23
Elongation on 5d	+20 (+68)	%	20
Impact energy	0 (+32)	J (ft-lbs)	90 (66)
	-50 (-58)	J (ft-lbs)	60 (44)
Hardness cap/mid	+20 (+68)	HRC	25-30
	+20 (+68)	HV	300/305

## 5.2 MMA (SMAW)

El proceso de soldadura SMAW es aún ampliamente utilizado para aplicaciones debido a su simplicidad y adaptabilidad. El proceso requiere un equipo relativamente simple y no requiere un gas de protección por lo que es un proceso atractivo para soldaduras en campo. Metrode ofrece electrodos 13.4.Mo.LR Y 13.4.MoLB en cuatro diámetros 2.5mm, 3.2mm, 4.0mm, 5.0mm. 13.4. MoLR es un electrodo con revestimiento rutilo y un alma hecha con un acero con bajo carbono y el 13.4.MoLB es un electrodo con revestimiento básico y un alma hecha con un acero con bajo carbono. EL revestimiento resistente a la humedad proporciona un metal de aporte con niveles de hidrogeno muy bajos y los diámetros 2.5 y 3.2mm pueden ser usados para soldadura en toda posición.

El éxito de este proceso depende no solo de las características de los electrodos sino también de la habilidad del soldador, por tanto la buena operabilidad de los electrodos combinado con un buen soldador da un gran resultado.

La tabla 4 muestra las propiedades mecánicas típicas del metal depositado por los electrodos 13.4.MoLR

**Table 4: Typical mechanical properties from all-weld metal of MMA 13.4.Mo.L.R, after PWHT at 550 °C/2hr**

<i>Properties</i>	<i>Test temperature °C (°F)</i>	<i>Unit</i>	<i>Minimum value</i>	<i>PWHT<sup>(1)</sup></i>	<i>As-welded<sup>(2)</sup></i>
Tensile strength	+20 (+68)	MPa (ksi)	760 (110)	940 (136)	1000 (145)
0.2% Proof stress	+20 (+68)	MPa (ksi)	500 (73)	695 (101)	780 (113)
Elongation on 4d	+20 (+68)	%	15	17	4.5
Elongation on 5d	+20 (+68)	%	15	16	3
Reduction of area	+20 (+68)	%	--	45	10
Impact energy	+20 (+68)	J (ft-lbs)	--	45 (33)	27 (20)
	-40 (-40)	J (ft-lbs)	--	35 (26)	13 (10)
	-60 (-76)	J (ft-lbs)	--	30 (22)	8 (6)
Hardness	+20 (+68)	HV(10)	--	270-300	350

(1) AWS & BS PWHT: 595-620°C for 1 hour, air cooled.

(2) This weld metal is not usually recommended for use in the as-welded condition, except for surfacing applications where a hardness of 330-400HV is useful.

### 5.3 FCAW

La productividad de los hilos tubulares, sin importar el tipo de hilo utilizado es siempre superior al de la soldadura por electrodo MMA debido a un ciclo de servicio superior. Además, los ratios de deposito están en un nivel mucho mas alto, En un ciclo normal de trabajo el ratio de aporte se puede incrementar aproximadamente entre un 20-25% con hilo tubular comparado con el proceso MIG soldando a unos 250A . El hilo de METRODE Supercore 410NiMo está destinado más específicamente a la soldadura y reacondicionamiento de los impulsores de la turbina que requieren un deposito de soldadura con cierto grado de dureza pero no excesivamente superior (después del tratamiento térmico) al del material base. Esto aporta mayor resistencia al desgaste por cavitación y erosión a la arena y efectivamente reduce el daño causado por el continuo golpeo a alta presión del agua.

El Supercore 410NiMo de METRODE con un flux de rutilo y una banda de acero inoxidable no solo ofrece una mejor operatividad , sino también una soldadura en toda posición y un menor desescoriado que con electrodo. Estas ventajas reducen el tiempo requerido para completar o reparar el trabajo individual en cada uno de los rodets de la turbina Pelton, ya que estas reparaciones requieren una gran cantidad de tiempo. El gas de protección puede ser Ar+15-20CO<sub>2</sub> o CO<sub>2</sub> solo. Como el hilo tubular y el hilo macizo requieren el mismo equipamiento no es necesario un desembolso adicional. El hilo esta disponible en diámetros 1.2 y 1.6mm.

Varios resultados de ensayos mecánicos realizados con diferentes PWHT se muestran en las tablas 5, 6 y 7.



**Table 5: Typical all-weld metal tensile properties of Supercore 410NiMo FCAW**

PWHT, °C (°F)/hour	UTS, MPa (ksi)	0.2% Proof strength, MPa (ksi)	Elongation, %		Reduction of area, %
			A4	A5	
605 (1125)/1	970 (141)	880 (128)	19	16	55
610 (1130)/10	870 (126)	705 (102)	22	18	54
610 (1130)/1	940 (136)	870 (128)	20	18	50
610 (1130)/1	940 (137)	870 (125)	20	18	50

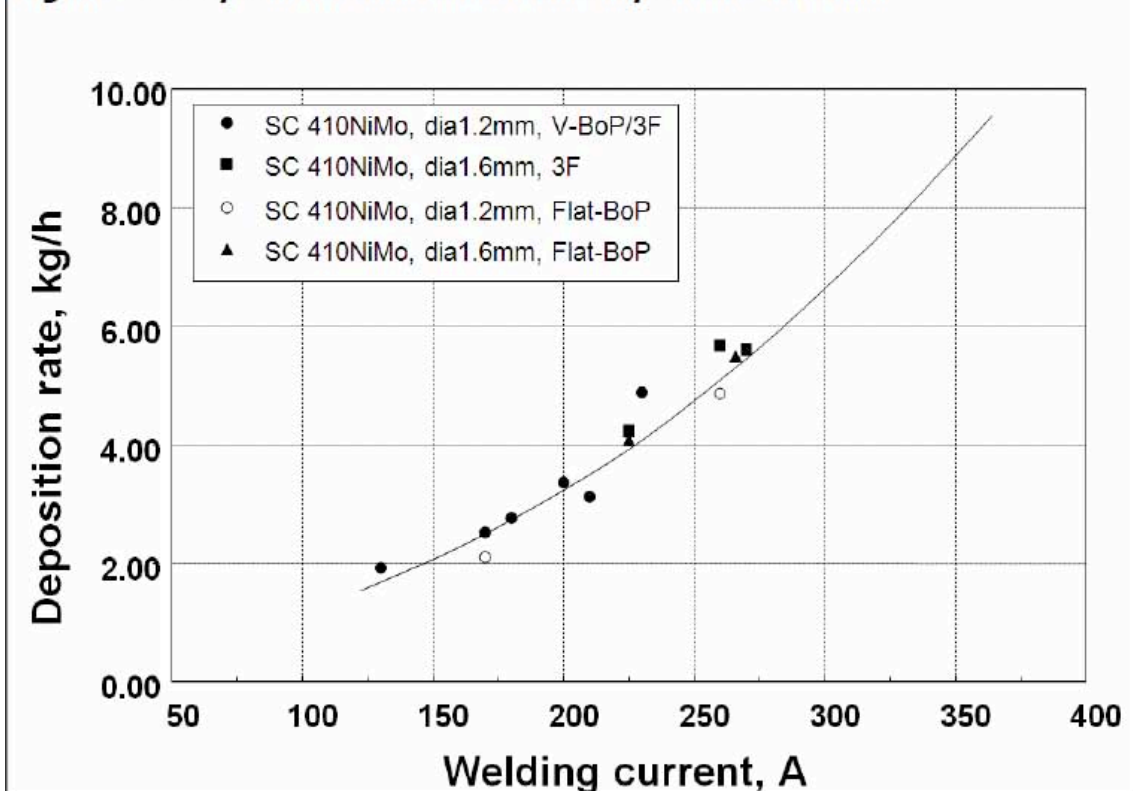
**Table 6: All-weld metal impact properties of Supercore 410NiMo FCAW**

PWHT, °C (°F)/hour	Test temperature, °C (°F)	Impact energy, J (ft-lbs)	Lateral expansion, mm
610 (1130)/1	+20 (+68)	46 (34)	0.52
	-40 (-40)	25 (18)	0.23
610 (1130)/10	+20 (+68)	50 (37)	0.63
	-40 (-40)	42 (31)	0.45
610 (1130)/10	+20 (+68)	53 (39)	0.75
	0 (+32)	52 (38)	0.75
	-40 (-40)	45 (33)	0.56
610 (1130)/1	+20 (+68)	49 (36)	0.61
	-40 (-40)	32 (24)	0.38
650 (1202)/10 + 620 (1150)/10	+20 (+68)	49 (36)	0.66
	0 (+32)	46 (34)	0.61
	-40 (-40)	37 (27)	0.48
670 (1240)/2 + 610 (1130)/2	-40 (-40)	34 (25)	0.39
690 (1275)/2 + 610 (1130)/2	-40 (-40)	36 (27)	0.42
710 (1310)/2 + 610 (1130)/2	-40 (-40)	42 (31)	0.49
740 (1365)/2 + 610 (1130)/2	-40 (-40)	35 (26)	0.42
770 (1420)/2 + 610 (1130)/2	-40 (-40)	31 (23)	0.42

**Table 7: All-weld metal hardness of Supercore 410NiMo FCW**

PWHT	Hardness, HV(10)		Hardness, HRC	
	Cap, average/max	Mid-section, average/max	Cap, average/max	Mid-section, average/max
607 (1125)/1	327 / 330	334 / 342	30 / 31	32 / 32
610 (1130)/10	298 / 314	295 / 297	26 / 28	27 / 27
610 (1130)/1	328 / 339	337 / 339	28 / 28	29 / 31
610 (1130)/1	307 / 311	317 / 319	30 / 30	31 / 31
650 (1200)/10 + 620 (1150)/10	298 / 302	314 / 319	-	-
670 (1240)/2 + 610 (1130)/2	297 / 304	297 / 309	27 / 27	28 / 29
690 (1275)/2 + 610 (1130)/2	297 / 309	300 / 306	25 / 27	26 / 27
710 (1310)/2 + 610 (1130)/2	308 / 322	307 / 309	27 / 27	27 / 27
740 (1365)/2 + 610 (1130)/2	306 / 317	321 / 333	27 / 28	28 / 28
770 (1420)/2 + 610 (1130)/2	327 / 330	311 / 317	28 / 28	27 / 29

**Figure 5: Deposition rate of Metrode Supercore 410NiMo**



## 6- RECOMENDACIONES PARA LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

Un combinación de diferentes técnicas de soldadura incluyendo MMA, GTAW TIG o técnicas semiautomáticas como MIG o FCW vienen siendo utilizadas comúnmente.

Para procesos donde se busca productividad los procesos semiautomáticos son los más utilizados.

La elección concreta del método de soldadura varia dependiendo de factores como geometría de la zona a soldar la accesibilidad y el coste de la mano de obra , los equipos y los consumibles. Por tanto diferentes procesos de soldadura y consumibles serán utilizados para la soldadura de las diferentes partes de los distintos tipos de turbina en función de la ubicación y de la empresa responsable.

La tasa de aportación del hilo Supercore 410NiMo 1.2 y 1.6mm han sido evaluados mediante el uso de los diferentes parámetros del proceso. Los ensayos se llevaron a cabo tanto en posición plana (soldadura en plano) como en posición vertical (soldadura en vertical /3F). Los ensayos se ha realizado sobre acero CMn utilizando gas de protección Argoshiel Heavy (Ar-20%CO2-2%O2). Toda la soldadura se ha realizado de forma manual con distintos stickouts dependiendo de los parámetros de soldadura y la posición. EL objetivo era tratar de lograr el más alto ratio de deposición en soldadura vertical mientras mantenemos un baño de fusión controlable y un cordón de soldadura relativamente plano. A medida que el soldador se fue familiarizando con estos hilos era capaz de controlarlos en posición vertical a corrientes más altas de lo que había sido capaz en pruebas anteriores.

La tasa máxima de aporte alcanzada en posición vertical con el Supercore 410NiMo de 1.2mm fue de unos 5kgs/hora y el máximo con el Supercore 410NiMo de 1.6mm fue de unos 5.5kgs/ hora . Pero los parámetros utilizados para conseguir estos 5.5kgs/hora con el diámetro 1.6mm eran con demasiado altos produciendo excesivo calor para ser utilizados de forma continua (con unos parámetros mas realistas se produce una velocidad de deposito de 4.25kgs/hora).

Las tasas de aporte reales que se pueden lograr en producción probablemente variaran dependiendo del soldador, la posición de soldadura y la accesibilidad pero en general el hilo de 1.2mm produce un baño de soldadura mas controlable en condiciones de mayor velocidad de aporte. El perfil del cordón producido por el hilo de 1.2mm también es más plano y más consistente que el producido con hilos de 1.6mm. Los datos sobre las tasas de aporte se presentan en la figura 5

### 6.1 TIG(GTAW)

Las características particulares asociadas al proceso TIG son:

- Adecuado para todas posiciones
- Permite un control preciso esencial para lograr soldaduras en las que una sola pasada es suficiente como en pasadas de raíz con más cordones por encima. Se recomienda el diámetro 1.6mm para espesores hasta 3mm y 2.4mm para espesores mayores.
- Se recomienda gas Argón tanto como gas de protección como de gas de purga.

## 6.2 MIG (GMAW)

Las características particulares asociadas al proceso MIG son:

- El hilo de diámetro 1.2mm es típicamente utilizado con 210-230 A , 27-30 V en condiciones de transferencia por arco spray.
- Argon puro + 1-2%O<sub>2</sub> o 1-5%CO<sub>2</sub>, las mezclas de gas con < 5%CO<sub>2</sub> también son adecuadas.
- Se requiere un funcionamiento en DC+ para soldaduras en toda posición utilizar transferencia por arco pulsado.

## 6.3 MMA (SMAW)

El proceso MMA se puede utilizar para uniones de materiales con espesores por encima de 15mm. Sus características particulares son:

- El revestimiento de rutilo con alta resistencia a la humedad con un alma de bajo carbono da unos niveles de hidrogeno muy bajos en el metal depositado.
- La recuperación es como un 130% respecto al alma del electrodo y un 65% respecto al total del electrodo
- Se puede operar con DC+ o AC se requiere un OCV mínimo de 70V
- Con diámetro 2.5mm se puede soldar en todas posiciones incluida ASME 5G/6G
- Con diámetros 3.2mm, 4.0mm, y 5.0mm se puede soldar en posición vertical descendente.

## 6.4 FCAW

FCAW se puede utilizar para conseguir una alta velocidad de aporte y gran productividad. Sus características son:

- Hilo tubular para toda posición realizado con un flux de rutilo y una banda de acero inoxidable.
- Metal aportado 90% con respecto al total del hilo.
- Gas de protección Ar-20%CO<sub>2</sub> O 100% CO<sub>2</sub> a 20-25l/mim
- Parámetros de funcionamiento en DC+ 180 A / 29 V para diámetro 1.2mm y 260 A / 30 V para 1.6mm. Para 100% CO<sub>2</sub> se requiere un incremento de 2-3 V.

## 7. DIRECTRICES DE SOLDADURA.

Habiendo seleccionado un proceso y unos consumibles adecuados , es necesario utilizar un procedimiento de soldadura adecuado.

### - **Temperatura entre pasadas.**

Se recomienda rango de temperatura entre pasadas de 100 – 200° C para permitir la transformación de la martensita durante la soldadura . La parte soldada debe bajar hasta la temperatura ambiente antes del PWHT.

### - **Tratamiento térmico posterior a la soldadura (PWHT)**

Después del tratamiento térmico la microestructura consiste en martensita revenida con parte de austenita retenida. La martensita con alta dureza imparte buena resistencia a la erosión y la austenita retenida se va transformando en martensita a medida que se aplica la tensión por cavitación, produciendo una absorción de la

energía de choque y la reducción de la cavitación. Se requiere un material de aporte con cierta dureza para una buena resistencia a la erosión en las aplicaciones de las centrales hidráulicas, pero en condiciones ácidas, para la máxima resistencia a sulfuros inducidos SCC, NACE MR0175 especifica una dureza máxima de 23HRC.

La conformidad con el límite de dureza marcado por NACE MR0175 es a menudo muy difícil de conseguir porque tanto el cordón de soldadura como el HAZ son muy resistentes por PWHT. Es necesario un doble revenido de entre 5 a 10h. La práctica más común es 675°C/ 10h + 605°C/10h con un intervalo de enfriamiento al aire hasta temperatura ambiente. Trabajos recientes indican que 650° + 620° es lo óptimo, que el enfriamiento al aire hasta temperatura ambiente o más bajo es esencial. Otras autoridades sugieren elevar la temperatura del primer ciclo del recocido del PWHT hasta 770°C/2h para una completa austenitización antes del final. El control de la distorsión puede ser más crítico en este caso. En el caso del hilo tubular Supercore 410NiMo no es posible reducir la dureza hasta 23 HRC independientemente del PWHT que llevemos a cabo.

Si los consumibles 410NiMo son considerados para la soldadura de las placas de acero inox martensítico 12Cr como los tipos 410 o CA15, el PWHT no debe exceder de los 650°C a menos que se aplique un segundo revenido a 590-620°C.

## 8. REFERENCIAS

1. Bonsor, Kevin. "How Hydropower Plants Work." 06 September 2001. <<http://www.howstuffworks.com/hydropower-plant.htm>> 13 March 2009.
2. Electricity Generation in New Zealand 3/93, Public Relations Group ECNZ, Wellington, NZ.
3. Simoneau, R. The optimum protection of hydraulic turbines against cavitation erosion. 12th IAHR Symposium, Stirling, UK, Aug, 1984.
4. Simoneau, R., Lambert, P., Simoneau, M., Dickson, J I and Espérance, G L. Cavitation erosion and deformation mechanisms of Ni and Co austenitic stainless steels (1987).