
NOTAS TECNICAS

EVALUACION DE LA CALIDAD DE SOLDADURAS POR SU PROMEDIO RADIOGRAFICO

Introducción

La importancia y el desarrollo de la soldadura ha traído como consecuencia que, para cumplir con las rígidas especificaciones y normas que afectan a las estructuras y productos soldados, deban extremarse las precauciones para asegurarse que la calidad requerida y las propiedades físicas de las secciones soldadas sean las correctas. Esto exige un estricto control de las uniones soldadas. Para este objeto se cuenta con las pruebas destructivas y pruebas no destructivas de materiales. Ellas se aplican para estudiar directa o indirectamente los resultados obtenidos, a la luz de disciplinas afines a la soldadura.

Entre las pruebas no destructivas de materiales, la inspección radiográfica es una de las más empleadas, por no involucrar factores subjetivos de evaluación en el criterio de aceptabilidad o rechazo de la calidad de una soldadura.

Existen en Chile hoy en día 16 laboratorios radiográficos que están distribuidos en las diversas empresas que se dedican a la construcción de estructuras o fabricación de productos manufacturados soldados.

Costos de una inspección radiográfica

En Chile, el valor de una inspección radiográfica al 100%, de un cordón de soldadura, es casi igual al valor de ésta, si se toma como base de comparación un metro de soldadura en plancha de acero de 10 mm de espesor, efectuada al arco eléctrico manual. Si ésta se realiza con una máquina de soldar automática, que tiene rendimiento mayor, el valor de un metro lineal de radiografía es equivalente al de 1,80 m de soldadura, y en el caso de soldadura oxiacetilénica en las mismas condiciones, 1 metro de radiografía equivale en costo a 0,90 m de soldadura.

El costo de una soldadura en planchas de 10 mm de espesor es el que normalmente emplean los industriales para calcular en forma global el costo total por concepto de soldadura en un trabajo que presente diversos espesores. Es evidente que para presentarse a un concurso de propuestas, tienen que calcular los costos reales en los diversos espesores.

En cambio, la radiografía industrial en Chile tiene un costo fijo por metro lineal radiografiado, en espesores de 1 a 25 mm. Sobrepasando este grosor, el precio sube considerablemente, pues intervienen factores como el tiempo largo de exposición, desgaste notable del tubo de rayos X, tipo de folios reforzadores de sales que es necesario usar, etc.

En Estados Unidos el valor por metro radiografiado es un 190 a un 250 por ciento más caro que en Chile, según la técnica operatoria que se aplica. En Europa Occidental este valor es de un 180%.

Lo que incide más fuertemente sobre los precios que comentamos es el valor hora-hombre especializado en rayos X, que es muchísimo más caro que en Chile. Además, como en los países mencionados sus industrias poseen un ritmo muy elevado de producción de soldaduras en relación metro/hora-hombre, sus costos radiográficos no inciden sobre el costo total en la misma relación que en Chile.

Debido al alto precio del control radiográfico, se han desarrollado otras técnicas de análisis no destructivos que son de menor costo de operación, pero que desgraciadamente exigen una gran especialización por parte del operador que efectúa las pruebas. El más avanzado análisis no destructivo de este tipo, hasta el presente, es el ultrasónico. Con determinadas técnicas operacionales, con bloques de comparación especiales y con regletas de localización adecuadas, se puede actualmente comprobar soldaduras con ángulos de reflexión de 30, 45 y 70°. Este sistema ha tomado gran incremento en Estados Unidos, Europa Occidental y Japón. Con este método es posible alcanzar altas velocidades de inspección (20 m/min) con la consiguiente disminución del costo total de inspección, ya que el análisis radiográfico se limita entonces a las zonas de falla detectada mediante el ultrasonido.

Uso de la información radiográfica

Al efectuar una inspección radiográfica para evaluar la calidad de las soldaduras, ya sea de una estructura metálica o de un producto soldado, en la mayoría de los casos sólo hacemos uso de dos informaciones que nos proporciona la radiografía.

La primera de ellas se refiere a la calidad de la soldadura y si ésta cumple con la norma establecida.

La segunda información que nos proporciona la radiografía se refiere al tipo y localización de los defectos que se han detectado. Así por ejemplo, si aparecen grietas de cráter, fisuras de contracción, falta de penetración o fusión, esto nos conduce al estudio de las medidas pertinentes para ir eliminando estos defectos, hasta conseguir la aceptación de la obra.

En general, en Chile, la calidad de una obra soldada en maestranzas o ta-

lles es aceptable cuando en 1000 radiografías tomadas, a lo sumo 12 de ellas muestran defectos que obligue a reparaciones. En terreno, este porcentaje puede aumentar al 20%.

En esas radiografías están los datos que, correctamente tabulados y estudiados estadísticamente, pueden indicar todos aquellos aspectos que influyeron en la calidad de las soldaduras. Esto permite establecer el origen de los defectos. Si por alguna razón operativa no es posible su corrección, se puede siempre adoptar una nueva técnica operatoria que elimine las causales de mala calidad. Con un costo no mayor que unos cientos de escudos, se pueden experimentar estas técnicas antes de iniciar una nueva obra en parecidas circunstancias, evitando de este modo el rechazo sistemático de las primeras soldaduras realizadas en obra o en taller. El autor de esta publicación ha visto con asombro el costo que representa para los empresarios o contratistas el rechazo sistemático de las primeras soldaduras cada vez que se inicia una nueva obra; costo que se podría reducir fácilmente mediante el estudio de las radiografías de obras anteriores. Más aún le extraña el enojo bien o mal disimulado hacia la inspección de soldadura, lo que indica que no existe conciencia de la importancia que tiene el control de un producto soldado.

El control de las soldaduras es en realidad una forma directa de contribuir al perfeccionamiento de un producto determinado. Puede incluso indicar soluciones o cambios operacionales que den como resultado un producto mejor y a más bajo precio, pues elimina el desperdicio de la materia prima, aprovecha mejor la mano de obra y consigue por tanto una mayor productividad. Cada vez que nos ha tocado en suerte contribuir a una acción de este tipo, el control estadístico ha sido la herramienta clave para alcanzar estos resultados.

Estadística radiográfica

Este sistema está basado en el principio de evaluar numéricamente la calidad de una soldadura. Tiene la ventaja de adaptarse a los requisitos de cualquier trabajo y de ajustarse a la reglamentación interna de cualquier maestranza.

Debemos comprender que un estudio estadístico de este tipo es por naturaleza posterior a un trabajo hecho o que por lo menos presente una etapa ya terminada. Por ejemplo, en la construcción de una estructura metálica de varios pisos o secciones, se pueden hacer rápidos estudios que nos indiquen la mejor técnica, mano de obra, eficiencia de los capataces de soldadores y calidad de los materiales empleados.

Fundamentalmente el sistema es muy sencillo: es una media aritmética de resultados radiográficos, tabulados en grupos, cuya interpretación queremos hacer.

En primer término clasificamos las soldaduras en dos grupos: las acepta-

bles y las inaceptables, según la norma usada. Las soldaduras aceptables serán clasificadas en grados de acuerdo a los defectos que muestran las radiografías.

A cada grado corresponde un puntaje. Tanto el número de grados como el puntaje son arbitrarios; pero hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) El último grado debe corresponder a las radiografías que presenten defectos no aceptables por la norma, y su puntaje debe ser 0.
- b) Las radiografías que no presentan defectos deberán estar catalogadas en el primer grado, y su puntaje debe ser el máximo.
- c) Las radiografías que presenten defectos de soldaduras cuyas magnitudes sean la mitad (\pm un cierto porcentaje) de las máximas aceptables por la norma, serán encasilladas en el grado central. Su puntaje será igual a la mitad del máximo acordado. A este grado lo llamaremos *promedio normal*.
- d) Entre el grado central y los extremos se situarán grados intermedios a los cuales se harán corresponder puntajes interpolados en lo posible linealmente.

De acuerdo a los principios anteriores hemos desarrollado la Tabla I en la que nos propusimos establecer el mínimo posible de grados.

TABLA I
CLASIFICACION Y PUNTAJE DE LAS SOLDADURAS

	Grado	Descripción	Puntaje	Diferencia por grado
Aceptables	1º	Sin defectos	10	2
Aceptables	2º	Con defectos pequeños	8	3
Aceptables	3º	Promedio normal	5	3
Aceptables	4º	Bajo el promedio	2	2
Inaceptables	5º	Serios defectos	0	

Nos interesaba una tabla simple, razonablemente exacta, fácil de interpretar y que, al final de la jornada, nos indicase la calidad de las soldaduras obtenidas durante el día. Nos interesaba al mismo tiempo, eliminar en lo posible el factor subjetivo del radiólogo que efectuaba las evaluaciones. En una obra de larga duración y donde se trabaja durante dos o tres turnos diarios, no es posible exigir a una sola persona que esté durante meses a cargo de un trabajo de este tipo, y que esté dando los resultados con la rapidez que el avance de la obra requiere. En otros casos, como el de aprendizaje que damos más adelante,

el intérprete radiológico no siempre pudo ser el mismo por razones de servicio, enfermedad, etc.

Descubrimos que dando importancia al promedio normal y ciéndonos estrictamente a su aplicación, con estándar de comparación para cada norma, era posible efectuar estos cálculos en las condiciones especificadas en el párrafo anterior, con buenos resultados. Queríamos una exactitud de la primera cifra decimal, lo que efectivamente se obtiene. Como ejemplo está el caso que más adelante explicamos. Por la importancia que tenía el trabajo, la compañía interesada encargó especialmente a uno de sus funcionarios que evaluase a su vez estos resultados. No tuvimos diferencias en la comparación de resultados hasta en la primera cifra decimal inclusive. La ventaja que presentaba nuestra tabla era su rapidez de confección, que nos permitía entregar los resultados en media hora, contra dos horas que tomaba regularmente el empleo con el otro método, a pesar que nosotros les entregábamos las radiografías separadas en dos grupos: las aceptables y las inaceptables.

Con respecto al número de grados de la Tabla I, podemos afirmar que no es lo mismo evaluar por ejemplo en diez grados, que hacerlo sólo en cinco. El tiempo requerido no es doble como puede parecer a primera vista. Las posibilidades de dudas son mayores al reducirse el intervalo de cada grado. Después de un tiempo prolongado de trabajo el radiólogo se torna menos cuidadoso. Entran en juego mayores influencias subjetivas, etc. Reconocemos que estos factores están tomados en cuenta en el cálculo estadístico y que las tabulaciones de resultados, tablas y coeficientes dan un valor más exacto, a pesar de los factores negativos mencionados. Pero también hay que reconocer que una tabla como la Tabla I puede dar resultados parecidos, con mayor velocidad y por lo tanto ir al ritmo de producción de la manufactura de un producto.

Durante las primeras clasificaciones, y mientras se adquiere la experiencia necesaria, es de gran ayuda la confección previa de un juego de radiografías que sirvan de comparación en todos aquellos casos dudosos. Se debe tener un juego por cada norma usualmente empleada por la empresa. No se aceptan grados intermedios entre los cinco establecidos, de tal modo que las radiografías deben necesariamente incluirse dentro de uno de ellos.

Cálculo del promedio de calidad radiográfica (P.C.R.)

Este número representa la calidad promedio de la soldadura en una cantidad específica de radiografías. Se calcula sumando el puntaje obtenido por todas las radiografías y dividiendo éste por el total del número de películas evaluadas.

Tomemos un ejemplo práctico de un trabajo radiográfico encomendado al IDIEM.

En una inspección de soldaduras de un estanque de gas licuado se sacaron

114 radiografías, con los resultados que se indican en la Tabla II.

TABLA II
INSPECCION DE UN ESTANQUE
DE GAS LICUADO

Grado	Radiografías	Puntaje	Puntos
1º	9	10	90
2º	21	8	168
3º	43	5	215
4º	24	2	48
5º	17	0	0
Total	114		521
P.C.R. = 4,57			

Por tratarse de un estanque construido en una maestranza con la misma técnica, metal base y electrodos, no hay razón material que justifique los resultados obtenidos. Se recalificó la mano de obra, eliminándose a un soldador de los tres que ejecutaron el trabajo. En el siguiente estanque, el P.C.R. subió a 5,20.

Determinación del P.C.R. de un soldador o de un grupo de ellos

Es conveniente agregar a la identificación de letras y números de plomo que se colocan corrientemente en cada radiografía, una simbología especial para identificar al soldador que efectuó la soldadura. Debe tenerse presente también que sólo deben usarse las radiografías originales para obtener el P.C.R. del soldador o grupo de ellos. Las radiografías correspondientes a soldaduras de reparación no deben considerarse, pues ello tendería a enmascarar el bajo puntaje obtenido por la mano de obra original.

Se usa también con mucho éxito este procedimiento para controlar el aprendizaje de los soldadores en trabajos especiales y para seguir su trayectoria posterior.

TABLA III
PUNTAJE EN UN CURSO DE FORMACION DE SOLDADORES

Soldador	1965		1966		1967	
	Mediado del curso	Final curso	Primer Semestre	Segundo Semestre	Exámenes Trimestre	
1	2,8	5,3	6,4 6,5	6,6 6,7	5,8 6,2	
2	2,4	3,5	— —	— —	— —	
3	3,5	5,0	6,3 6,2	6,8 6,1	6,6 6,3	
4	4,3	6,1	7,2 7,1	6,9 7,0	6,4 6,8	
5	2,2	4,8	6,3 6,5	6,6 6,8	5,5 6,1	
6	5,0	5,5	6,8 7,0	6,7 7,0	7,0 6,3	
7	1,8	—	— —	— —	— —	
8	2,7	5,6	6,9 6,9	6,8 6,9	6,1 6,6	
9	4,8	6,8	7,6 7,8	7,9 7,8	7,2 7,6	

La Tabla III corresponde a un curso de formación de soldadores manuales al arco eléctrico para ejecutar uniones de tubos de acero inoxidable, curso pedido a INACAP por la Fábrica de Celulosa de Laja. A la empresa le interesaba

conocer el grado de aprovechamiento de su personal y la dedicación y habilidad que poseían, para seleccionar aquellos soldadores que contratarían para dedicarlos a la mantención de sus instalaciones. Además querían conocer en lapsos periódicos si sus soldadores mantenían el grado de perfeccionamiento alcanzado por medio del curso.

Las fluctuaciones violentas, como las mostradas en el P.C.R. de los soldadores N° 3 y 6, hacen necesaria una investigación de sus causas. Ellos han demostrado que son capaces de efectuar un trabajo de alta calidad, y por lo tanto deben existir factores que han influido en el descenso de sus puntajes. Se observan progresos sistemáticos en los soldadores N°s. 1, 5 y 8.

Ejemplos de aplicación práctica

Vamos a dar a continuación un ejemplo que en su época persiguió tres objetivos fundamentales. El primero de ellos era comparar el P.C.R. de dos maestranzas que confeccionaban un mismo producto. Un empresario tenía sumo interés en saber con certeza cuál de las dos le ofrecía las máximas seguridades para hacer un trabajo especial. Se encargó a ambas un trabajo determinado, para obtener su P.C.R., y se nos pidió la confección y estudio de las tablas correspondientes. El segundo objetivo era estudiar la influencia que sobre la calidad de las soldaduras tenía una inspección continua por parte del IDIEM. El tercer objetivo era estimar la eficiencia y calidad del producto una vez entregado al empresario.

Los resultados se presentan en la Tabla IV. Hemos designado los trabajos como A, B y C. El trabajo A era de tamaño mediano, los otros dos de tamaño grande; la diferencia en el número de radiografías entre los trabajos B y C se debe al hecho de que una parte del primero era estampada, mientras que el segundo daba la forma adecuada con segmentos soldados. El trabajo C tuvo una inspección permanente durante su confección.

Analicemos la Tabla IV en función de los objetivos propuestos.

Se trata de estudiar el P.C.R. de dos maestranzas. Para ser justos y eliminar los factores que influyeron por la inspección permanente en la confección de las soldaduras en C, sólo es lícito comparar A con B. En la Tabla IV no es difícil ver la mejor calidad del trabajo B sobre el A.

Veamos ahora la influencia de una inspección continua en la ejecución de las soldaduras. Primeramente nos damos cuenta que una inspección de este tipo casi elimina las radiografías de grado 4º y 5º. Tiende a concentrar el promedio en este trabajo en el grado 2. Obtiene un 19,3% de soldaduras grado 1º. El P.C.R. es 7,3, que coloca a la calidad de estas soldaduras entre aquellas de usos especiales para altas sollicitaciones.

El objetivo tercero es igualmente fácil de estudiar. El trabajo A tiene un

22,1% de soldaduras inaceptables contra un 23% del trabajo B. Esto significa menos reparaciones, menos calentamiento del metal base por este concepto, e incluso una mayor estética de conjunto. El grado 4 que es el límite cercano al de calidad inaceptable, en el trabajo A es de 28,8% y en el B de 10,2%; esta diferencia habla por sí misma.

TABLA IV
COMPARACION DEL P.C.R. DE TRES TRABAJOS

Grado	Coeficiente	Trabajo A			Trabajo B			Trabajo C		
		Nº RX	Puntos	% RX	Nº RX	Puntos	% RX	Nº RX	Puntos	% RX
1	10	14	140	4,8	53	530	11,5	126	1260	19,3
2	8	29	232	10,0	60	480	10,1	364	2912	55,8
3	5	99	495	34,3	235	1175	50,9	106	530	16,2
4	2	83	166	28,8	471	94	10,2	36	72	5,5
5	0	64	0	22,1	66	0	12,3	21	0	3,2
Suma		289	1033	100	461	2279	100	653	4774	100
P C R		3,6			4,9			7,3		

Aconsejamos en este caso que el ingeniero calculista revisara sus memorias de cálculo y estudiara la colocación de cubrejuntas que reforzasen aquellos sectores debilitados por soldaduras de calidad inaceptables de las soldaduras. Nuevamente nos encontramos aquí que el factor estético sale perjudicado.

Es conveniente que el sector empresarial no sólo obligue a sus proveedores a cumplir con una norma determinada, sino que establezca un P.C.R. mínimo. Esto les garantizaría una calidad suficiente al costo mínimo.

Nuestra experiencia nos permite recomendar los siguientes valores:

P.C.R. = 4,5 para una normal calidad de soldaduras

P.C.R. = 5,5 para una buena calidad de soldaduras

P.C.R. = 6,5 para soldaduras de excelente calidad

P.C.R. = 7,5 soldaduras para trabajos especiales, como dientes de engranajes, eje de transmisión de fuerza, domos de calderas que trabajen con vapores recalentados, etc.

P.C.R. = 8,5 soldaduras en aceros especiales de alta resistencia y que van a ser usados cerca del límite elástico, con un coeficiente de seguridad pequeño

P.C.R. = 8,5 usados sólo en casos especiales. Ejemplo: aceros diferentes en uniones de tope de distintos espesores o comúnmente en trabajos de criogenia.

Un P.C.R. de 10 no es comercialmente factible de obtener. En nuestros

10 años de trabajos sólo una vez ha sido alcanzado. Esta sola vez fue por contrato especial de CAP, que exigió a los constructores que sus dos estanques de oxígeno líquido de 100.000 galones cada uno, que construyó para su acerería de Huachipato, no presentasen ningún tipo de defectos en las soldaduras.

Comentario final

Con la exposición anterior esperamos que los usuarios del método radiográfico obtengan un mayor provecho de las radiografías que les son entregadas junto al Certificado de Ensaye y puedan hacer pleno uso de sus informaciones para un mayor rendimiento.

El sector empresarial podrá exigir en un trabajo en que se aplique una norma determinada, un P.C.R. de acuerdo a la importancia de él. Así tendrá una mayor calidad de soldaduras al mismo precio.

El P.C.R., presenta un desafío constante a los encargados de la calidad de las soldaduras ya sea en maestranza o en terreno para mejorar sus calificaciones, pues es un hecho establecido que subir de 7 es difícil, pero no imposible. Debería notarse en la hoja de vida del especialista en estas disciplinas su P.C.R. anual, que sería su mejor recomendación y mayor estímulo. Con esta competencia saldríamos todos beneficiados.

Enrique SCARELLA

Sección Rayos X del IDIEM