



# Optimización del $t_{8/5}$ en la soldadura por arco de aceros inoxidables

*Optimization of  $t_{8/5}$  for stainless  
steels arc welding*

• Manuel Estrems-Amestoy  
• Valentín Miguel-Eguía  
• Eusebio José Martínez-Conesa

Dr. Ingeniero Industrial  
Dr. Ingeniero Industrial  
Ingeniero Industrial

Dpto. Ingeniería de Materiales y Fabricación. UPCT. Cartagena  
Dpto. Mecánica Aplicada e Ingeniería de Proyectos. UCLM. Albacete  
Dpto. Arquitectura y Tecnología Edificación. UPCT. Cartagena.

Recibido: 30/09/08 • Aceptado: 12/11/09

## ABSTRACT

- The use of Stainless Steels in buildings applications is increasing due to the good properties of these steels, especially the esthetical appearance and the low maintenance working needs. One of the features to be considered in stainless steels structures is the joining of the different parts by welding processes that causes thermal consequences to the material. After welding, the cooling between 850°C and 450°C may produce the presence of fragile compounds. So, it is important to decrease cooling time between these temperatures up to a minimum value. In this work, the well-known  $t_{8/5}$  parameter is selected as a welding process quality indicator. The  $t_{8/5}$  value optimization is carried out by the Response Surface Method (RSM) for austenitic stainless steel sheet, welded by Gas Tungsten Arc Welding process. The thermal flow is considered bidimensional and the typical process parameter values are obtained from a previous numerical method.
- **Key words:**  $t_{8/5}$ , stainless steels structures, response surface method, arc welding.

## RESUMEN

En edificación e ingeniería civil, el empleo del acero inoxidable tiende a crecer gracias a su calidad estética y facilidad de mantenimiento. Sin embargo, esta expansión como material estructural aún se ve restringida a obras singulares y de prestigio. Uno de los aspectos a considerar en la construcción con estructuras ligeras de acero inoxidable es la unión de partes mediante soldadura, debido a la afección térmica del proceso sobre el material. Durante el enfriamiento en el intervalo de temperaturas de 850°C a 450°C, se puede producir la precipitación de fases frágiles si no se adoptan otros tipos de precauciones. Por ello, interesa minimizar en la medida de lo posible el tiempo de transición entre ambas temperaturas. En este trabajo se utiliza como indicador de calidad del proceso de soldeo el conocido parámetro  $t_{8/5}$  o tiempo transcurrido durante el enfriamiento desde 850°C a 450°C de un punto perteneciente a la zona afectada térmicamente del material (ZAT). Se estudia la optimización del

parámetro  $t_{8/5}$ , mediante el método de la superficie de respuesta aplicado a soldadura por arco TIG de chapa delgada de acero inoxidable tipo AISI 304, para espesores menores de 3 mm, donde el flujo térmico es considerado bidimensional. Los valores de respuesta del proceso son obtenidos a partir de la aplicación de un método numérico.

**Palabras clave:**  $t_{8/5}$ , acero inoxidable en la edificación, método de superficie de respuesta, soldadura por arco eléctrico.

## 1.- INTRODUCCIÓN

### 1.1.- CASOS Y PROBLEMAS DE DISEÑO

Los aceros inoxidables austeníticos se utilizan en aplicaciones que requieren un buen acabado estético a la vez que una adecuada resistencia a la corrosión. En edificación e ingeniería civil, las cualidades citadas junto con la facilidad de mantenimiento han sido las bases de un uso creciente. Sin embargo, esta expansión como material estructural aún se ve restringida a obras

singulares y de prestigio debido a que el coste inicial de una estructura de acero inoxidable es aproximadamente cuatro veces superior a la misma concebida con acero al carbono. De hecho, en la actualidad, el uso del acero inoxidable en construcción está limitado a componentes especialmente expuestos a corrosión y/o de difícil mantenimiento.

Uno de los argumentos que está tomando mayor fuerza hoy en día para justificar su empleo, además de las ventajas ya citadas, es la durabilidad del material. Este hecho representa una clara ventaja económica si se tiene en cuenta la vida útil de la estructura, con la correspondiente reducción de costes debidos al mantenimiento de la misma [1]. No hay que olvidar también que, además de las propiedades de buena durabilidad y de excelente carácter estético del material, los aceros inoxidables austeníticos gozan de buenas propiedades mecánicas, así como de una alta resistencia frente al fuego, superior a la que tiene el acero al carbono [1].

En relación a la estética del material, se han desarrollado un gran número de acabados industriales con diferentes aspectos superficiales, lo que confiere cierta versatilidad en el diseño artístico [2]. Dichos acabados se encuentran normalizados [3].

Existen célebres ejemplos de aplicación del acero inoxidable en edificación, como es el *Edificio Chrysler* en New York, en el que toda la cúpula está recubierta de acero inoxidable tipo AISI 304 que proporciona una resistencia a la corrosión adecuada a un ambiente agresivo típico de las grandes ciudades con destacados contaminantes ambientales sulfurosos y por cloruros debidos al ambiente salino del mar [1]. Otros ejemplos famosos son el *Planetarium de Stuttgart* y el *Aeropuerto de Stansted* en Londres. En otro orden de magnitud podemos citar la estructura del ascensor externo del *Museo de Arte Reina Sofía*, con la construcción de tres torres de 36m de altura [4].

En la figura 1 se muestra una estructura de acceso a un parking realizada en acero inoxidable austenítico. En relación al uso del acero inoxidable en mobiliario urbano y ornamentos el empleo está ampliamente difundido, tal como se aprecia en las figuras 2 y 3.

**Los aceros inoxidables austeníticos se utilizan en aplicaciones que requieren un buen acabado estético a la vez que una adecuada resistencia a la corrosión.**



Figura 1. Acceso a un parking en un centro comercial.

Desde el punto de vista estructural no hay especificaciones de diseño totalmente desarrolladas en las normativas actuales para la optimización en construcción. Desde el inicio, las normas de diseño para el acero inoxidable se han basado en las del acero al carbono con algunas modificaciones, y es necesario desarrollar especificaciones relativas a estructuras de acero inoxidable debido a las diferentes características mecánicas que presenta [5]. Un paso importante ha sido el desarrollo de normativa europea para acero inoxidable, aunque ésta solo es considerada para estructuras ligeras [5], [6], lo que refleja la importancia del establecimiento de métodos de diseño eficientes en construcción ajustados a las propiedades específicas del acero inoxidable.

### 1.2.- DIFICULTADES DE EJECUCIÓN

Una de las mayores dificultades encontradas tradicionalmente en la realización de estructuras con acero inoxidable lo ha constituido la unión de los perfiles estructurales. En la actualidad, con las tecnologías de unión disponibles, la unión por soldadura por arco eléctrico resulta totalmente aplicable con las ventajas propias de este procedimiento. Ahora bien, las temperaturas que se alcanzan son elevadas por tratarse de procesos de unión con fusión de material, lo que puede modificar las propiedades mecánicas, químicas y estéticas del material si no se toman las precauciones adecuadas. En los procesos de soldadura con elevado flujo térmico, además de la zona de fusión, existe una afección térmica en las zonas adyacentes a aquélla, ZAT, cuyo tamaño depende del alcance de las transformaciones microestructurales que tienen lugar.

En los aceros inoxidables austeníticos, la zona afectada por el calor es relativamente tolerante al crecimiento de grano y a la precipitación de fases frágiles e intermetálicas. La precipitación de carburos de cromo en borde de grano austenítico tampoco constituye un problema si se controlan las condiciones de soldadura o si se emplean grados de



Figura 2. Monumento de acero inoxidable austenítico AISI 304



Figura 3. Farolas de acero inoxidable para la iluminación del puerto de Cartagena.

acero con bajo contenido en carbono o si disponen de elementos sensibilizadores que se combinan con él, garantizando la distribución uniforme del cromo contenido en el acero. Normalmente, los procedimientos de soldadura están diseñados para controlar el tiempo invertido en el rango de la temperatura crítica para los efectos de precipitación (450-900° C). No obstante, para reducir la posibilidad de fisuración en caliente del acero, es adecuado reducir las aportaciones de calor y los intercambios de temperatura cuando se lleven a cabo procedimientos de soldeo [7].

El concepto del tiempo de enfriamiento entre 800°C y 500°C, simbolizado como “ $t_{8/5}$ ”, es ampliamente aceptado, aunque en algunos casos se sigue investigando con otros rangos de temperaturas de enfriamiento. El factor  $t_{8/5}$  es un parámetro que se puede controlar con mayor facilidad en los procesos automáticos que en los manuales. El principio se fundamenta en que para unas determinadas condiciones de soldeo, el ciclo térmico en puntos de la zona afectada térmicamente, ZAT, tendrá diferentes valores de temperatura máxima, de acuerdo a la distancia que se encuentren con respecto al centro del cordón de soldadura, pero el tiempo de enfriamiento entre 800°C y 500°C será aproximadamente igual si se mantienen constantes los parámetros de soldeo [8]. También se puede relacionar la variación del tiempo de enfriamiento  $t_{8/5}$  con la dureza y la temperatura de transición entre la zona de alta y baja energía absorbida en el ensayo Charpy en aceros al carbono [9], aunque este tipo de fragilidad no se presenta en los aceros inoxidables. El control de la posible precipitación de fases, junto con el aporte térmico en el proceso de soldadura, justifica el estudio del factor  $t_{8/5}$  en el soldeo de aceros inoxidables austeníticos.

### 1.3.- OBJETO Y METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

En este trabajo se aplica un método matemático para conocer el campo de temperaturas de un acero inoxidable austenítico del tipo AISI 304, en el proceso de soldadura del mismo. De este modo, se pueden seleccionar los parámetros de soldeo con el objetivo de obtener el valor esperable para el parámetro  $t_{8/5}$ . Para la optimización del tiempo de enfriamiento se pueden emplear diversos métodos analíticos y, en particular, la *Metodología de Superficie de Respuesta* (MSR), que permite optimizar una función de respuesta sujeta a diferentes variables independientes [10]. La MSR, se utiliza cuando las relaciones entre las variables, no están completamente relacionadas a partir de un modelo matemático exacto, sino que es necesario construir un modelo empírico para aproximar su comportamiento [11].

Para determinar el campo de temperaturas en una unión soldada se puede recurrir a métodos analíticos y numéricos de resolución de las ecuaciones diferenciales que definen el proceso de difusión térmica. Los métodos analíticos presentan como ventaja, frente a los experimentales, el permitir la obtención de soluciones para el ajuste de los parámetros de soldeo dirigidos a evitar efectos indeseados en la ZAT a partir de planteamientos sencillos. Los datos de temperatura considerados en el presente trabajo han sido obtenidos mediante un método numérico basado en la definición física del flujo bidimensional del calor considerando los cambios de fase y determinando la fracción líquida en cada punto del cordón [12]. En este trabajo se han obtenido todos los valores del campo de temperaturas en puntos situados a una distancia de 5 mm al cordón de soldadura.

## METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

### Definición

La MSR es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas utilizadas para el análisis de problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. El objetivo es optimizar la variable de interés. Esto se logra al determinar las condiciones óptimas de operación del sistema.

### Terminología

1) Factores: Son las condiciones del proceso que influyen la variable de respuesta. Estos pueden ser cuantitativos o cualitativos.

2) Respuesta: Es una cantidad medible cuyo valor se ve afectado al cambiar los niveles de los factores. El interés principal es optimizar dicho valor.

3) Función respuesta: Cuando se indica que un valor de respuesta "Y" depende de los niveles  $x_1, x_2, \dots, x_k$  de k factores,  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_k$  estamos diciendo que existe una función matemática de  $x_1, x_2, \dots, x_k$  cuyo valor para una combinación dada de los niveles de los factores correspondientes a "Y," por lo tanto,  $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$ .

La función de respuesta se puede representar con una ecuación polinomial. El éxito en una investigación de una superficie de respuesta depende de que la respuesta se pueda ajustar a un polinomio de primer o segundo grado. Supongamos que la función de respuesta para los niveles de dos factores se puede expresar utilizando un polinomio de primer grado:

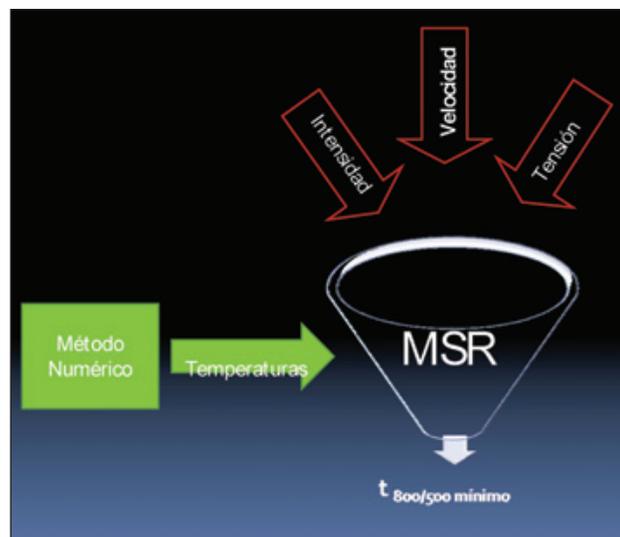
$$Y= \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2$$

Donde  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  son los coeficientes de regresión a estimar,  $x_1$  y  $x_2$  representan los niveles  $\epsilon_1$  y  $\epsilon_2$  respectivamente.

4) Superficie de Respuesta: La relación  $Y=f(x_1, x_2, \dots, x_k)$  entre "Y" y los niveles de los k factores  $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_k$  representa una superficie. Con k factores la superficie esta en K+ 1 dimensiones. Por ejemplo cuando se tiene  $Y=f(x_1)$  la superficie esta en dos dimensiones, mientras que si tenemos  $Y= f(x_1, x_2)$  la superficie esta en tres dimensiones.



Aplicación del método de Superficie de Respuesta al cálculo tiempo del enfriamiento



## 2.- APLICACIÓN DEL METODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA.

La metodología de superficie de respuesta consiste en la aplicación de un conjunto de técnicas matemáticas y

estadísticas con el objetivo de modelar y analizar problemas en los que una variable de interés es influenciada por otras. La principal utilidad de esta metodología es la optimización de la variable de interés. En el caso de la soldadura permite

determinar las condiciones óptimas de operación para minimizar las probabilidades de aparición de defectos en el cordón.

Los factores que condicionan el proceso e influyen en la variable de respuesta son, en el caso que nos ocupa, la potencia del arco eléctrico y la velocidad de soldeo. La respuesta del método se ve afectada al cambiar los niveles de los factores. En este trabajo la respuesta es el tiempo de enfriamiento tras el soldeo y el interés principal en la aplicación del método es optimizar dicho valor.

La función de respuesta se puede representar con una ecuación polinomial, siendo habitual que ésta se ajuste bien a un polinomio de primer o segundo grado [13]. En el modelo práctico aplicado en este trabajo, se ha considerado la influencia de las variables potencia del arco eléctrico, que aúna la tensión e intensidad de corriente en el arco, y velocidad de soldeo. De acuerdo con la metodología de superficie de respuesta el modelo que se obtiene es el que se indica en la ecuación (1).

$$t_{8/5} = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i + \sum_{i=1}^n b_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j}^n b_{ij} X_i X_j + \hat{a} \quad (1)$$

Donde para  $n=2$ ,  $X_1$  y  $X_2$  representan la potencia del arco eléctrico y velocidad de soldeo respectivamente. Los coeficientes de regresión correspondientes se indican como parámetros  $b$  y  $\hat{a}$  representan el error experimental [10]. En relación a los niveles considerados, se han establecido los tres indicados en la tabla 1.

FACTORES	NIVELES			UNIDADES
	-1	0	1	
Potencia	910,00	1620,00	2530,00	W
Velocidad	3,30E-03	3,75E-03	4,16E-03	m/s

Tabla 1. Definición de niveles de las variables del proceso de soldadura por arco eléctrico.

Ensayo	I/V	Intensidad (A)	Tensión (V)	Potencia (W)	Veloc. ( m/s)
1	70/13	70	13	910	0,0033
2	70/13	70	13	910	0,00375
3	70/13	70	13	910	0,00416
4	90/18	90	18	1620	0,0033
5	90/18	90	18	1620	0,00375
6	90/18	90	18	1620	0,00416
7	110/23	110	23	2530	0,0033
8	110/23	110	23	2530	0,00375
9	110/23	110	23	2530	0,00416

Tabla 3. Valores de la matriz de experimentos.

	Potencia arco	Velocidad
Ensayo	P	v
1	-1	-1
2	-1	0
3	-1	1
4	0	-1
5	0	0
6	0	1
7	1	-1
8	1	0
9	1	1

Tabla 2. Diseño de experimentos; codificación de variables.

Con la combinación de los valores de las variables indicados en la tabla 1 se ha construido la matriz de experimentos conforme a lo indicado en la tabla 2, teniendo en cuenta los valores codificados de las variables conforme a los niveles (1, 0,-1). Estos niveles corresponden con los valores mínimo, medio y máximo de la potencia y velocidad de soldeo y los valores se han calculado mediante experimentos de soldadura, tal como se indica en [8]. En la tabla 3 se indican los valores de la matriz de experimentos para los valores numéricos de las variables, intensidad, tensión y velocidad de soldadura, considerando que la potencia es el producto de la intensidad por la tensión de soldeo.

El Método de Superficie de Respuesta requiere la resolución de la ecuación matricial que relaciona el tiempo de enfriamiento tras la soldadura,  $t_{8/5}$ , con los parámetros de soldeo seleccionados a partir de la matriz de experimentos indicados en ecuación (2).

$$[t_{8/5}] = [X] * [\beta]$$

(2)

La matriz [X] representa los términos independientes en el procedimiento, esto es los valores calculados de  $P^2$ ,  $v^2$ ,  $Pv$ ,  $P$  y  $v$ , respectivamente conforme a lo que se indica en la ecuación (3).

$$t_{8/5} = aP^2 + bv^2 + cPv + dP + ev + f \tag{3}$$

Los términos a, b, c, d, e y f son los coeficientes a calcular para cada una de las combinaciones de variables consideradas en el diseño de experimentos, constituyendo los elementos de la matriz [β].

De este modo, considerando los valores de las variables elegidas en el diseño de experimentos, la matriz [X] obtenida es la siguiente:

$$[X] = \begin{bmatrix} 828100 & 0.00001089 & 3.003 & 910 & 0.0033 & 1 \\ 828100 & 0.00001406 & 3.4125 & 910 & 0.00375 & 1 \\ 828100 & 0.00001730 & 3.7856 & 910 & 0.00416 & 1 \\ 2624400 & 0.00001089 & 5.346 & 1620 & 0.0033 & 1 \\ 2624400 & 0.00001406 & 6.075 & 1620 & 0.00375 & 1 \\ 2624400 & 0.00001730 & 6.7392 & 1620 & 0.00416 & 1 \\ 6400900 & 0.00001089 & 8.349 & 2530 & 0.0033 & 1 \\ 6400900 & 0.00001406 & 9.4875 & 2530 & 0.00375 & 1 \\ 6400900 & 0.00001730 & 10.5248 & 2530 & 0.00416 & 1 \end{bmatrix}$$

Para calcular la matriz de coeficientes [β] se tiene que plantear la ecuación matricial indicada en la ecuación (4) ya que es necesario trasponer la matriz [X] y multiplicarla por sí misma para poder resolver la ecuación. Ello se debe a que [X] no es una matriz cuadrada y, por tanto, carece de inversa.

$$[\beta] = [X^T X]^{-1} [X^T] [t_{8/5}] \tag{4}$$

Según esto, la matriz [t<sub>8/5</sub>] contiene los valores del tiempo de enfriamiento calculados mediante el método numérico considerado en [12], que en este caso, está basado en el método de **Cranck-Nicholson** para la resolución de la ecuación diferencial del calor, a partir de las condiciones indicadas en la matriz de experimentos indicada en la tabla 3.1. Los valores son indicados a continuación.

$$[t_{8/5}] = \begin{bmatrix} 35.47 \\ 9.4 \\ 7.24 \\ 35.46 \\ 27.29 \\ 22.27 \\ 57.28 \\ 48.4 \\ 48.32 \end{bmatrix}$$

Finalmente, la matriz de coeficientes [β] obtenida es la siguiente:

$$[\beta] = \begin{bmatrix} 6,05969E-06 \\ 30277095,02 \\ 13,58932515 \\ -0,050659085 \\ -268314,9224 \\ 588,3623086 \end{bmatrix}$$

Por consiguiente, la ecuación para el tiempo de enfriamiento  $t_{8/5}$  queda modelizada como se establece en la ecuación (5). Para resolver las ecuaciones matriciales anteriores se ha empleado como apoyo de cálculo la aplicación informática MS-EXCEL 2007.

$$t_{8/5} = 6,06 \cdot 10^{-6} P^2 + 3,03 \cdot 10^7 v^2 + 13,59 Pv - 0,05 P - 2,68 \cdot 10^5 v + 588,36 \tag{5}$$

### 3. RESULTADOS DEL MÉTODO DE LA SUPERFICIE DE RESPUESTA Y PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN.

Se ha modelizado el parámetro  $t_{8/5}$  a partir de la propuesta del MSR conforme a la ecuación (5). En la fig. (4) se representa tridimensionalmente la superficie de respuesta correspondiente a dicha ecuación. Esto supone una aproximación inicial del método, de forma que se deben sustituir valores para las variables independientes que permitan obtener el entorno de optimización de la función. De este modo, se llega a la conclusión de que para cada valor de potencia seleccionado, P, se obtiene un  $t_{8/5}$  mínimo.

En consecuencia, podemos afirmar que seleccionando una potencia adecuada al procedimiento de soldeo que se considere, existe un valor de la velocidad de soldadura que minimiza el tiempo de enfriamiento en el rango 800-500 °C. Para el caso concreto de una potencia de 910 W, se obtiene un  $t_{8/5}$  mínimo de aproximadamente 21s para una velocidad de soldeo de 4,07 mm/s.

Para modelizar la función de respuesta en el entorno indicado, debería repetirse el procedimiento indicado en las ecuaciones (1) a (5). Así se obtendría una nueva superficie de respuesta más ajustada para los valores de P y v que hacen que el tiempo de enfriamiento sea mínimo, ecuación (6).

$$t_{8/5 \min} = f(v, P, Pv, v^2, P^2) \tag{6}$$

Una de las limitaciones del modelo matemático es que solamente se puede aplicar a chapas delgadas de espesor inferior de 3 mm, donde el flujo de calor es bidimensional, es decir, que la conducción del calor se efectúa en las direcciones paralelas al plano de la chapa

#### 4.- CONCLUSIONES

Los ciclos temperatura-tiempo durante el proceso de soldeo tienen un efecto determinante sobre las propiedades mecánicas de una unión soldada como consecuencia de la afección del proceso térmico sobre el material. El ciclo de temperatura depende de los parámetros de soldeo seleccionados, dimensiones de las piezas a unir, forma de la unión, aporte térmico, temperatura de precalentamiento.

En este trabajo se ha utilizado un método numérico para determinar el campo de temperaturas de un acero inoxidable de espesor inferior a 3 mm y poder analizar el tiempo de enfriamiento tras la soldadura del mismo. A partir de los tiempos de enfriamiento obtenidos, con el modelo matemático [12], se ha determinado el valor

mínimo para el parámetro  $t_{8/5}$  modelizado mediante la metodología de la Superficie de Respuesta. De este modo, se puede obtener el comportamiento de dicho parámetro en dicho entorno, en función de las variables consideradas. En este trabajo, las variables consideradas han sido la velocidad de soldeo y la potencia de soldadura.

El uso del presente modelo permitirá al ingeniero de soldadura realizar una simulación del tiempo de enfriamiento en la zona afectada térmicamente durante el proceso de soldeo, estableciéndose las condiciones de aporte térmico óptimas en operaciones de soldadura de metales con propiedades físicas y metalúrgicas conocidas.

Una de las limitaciones del modelo matemático es que solamente se puede aplicar a chapas delgadas de espesor

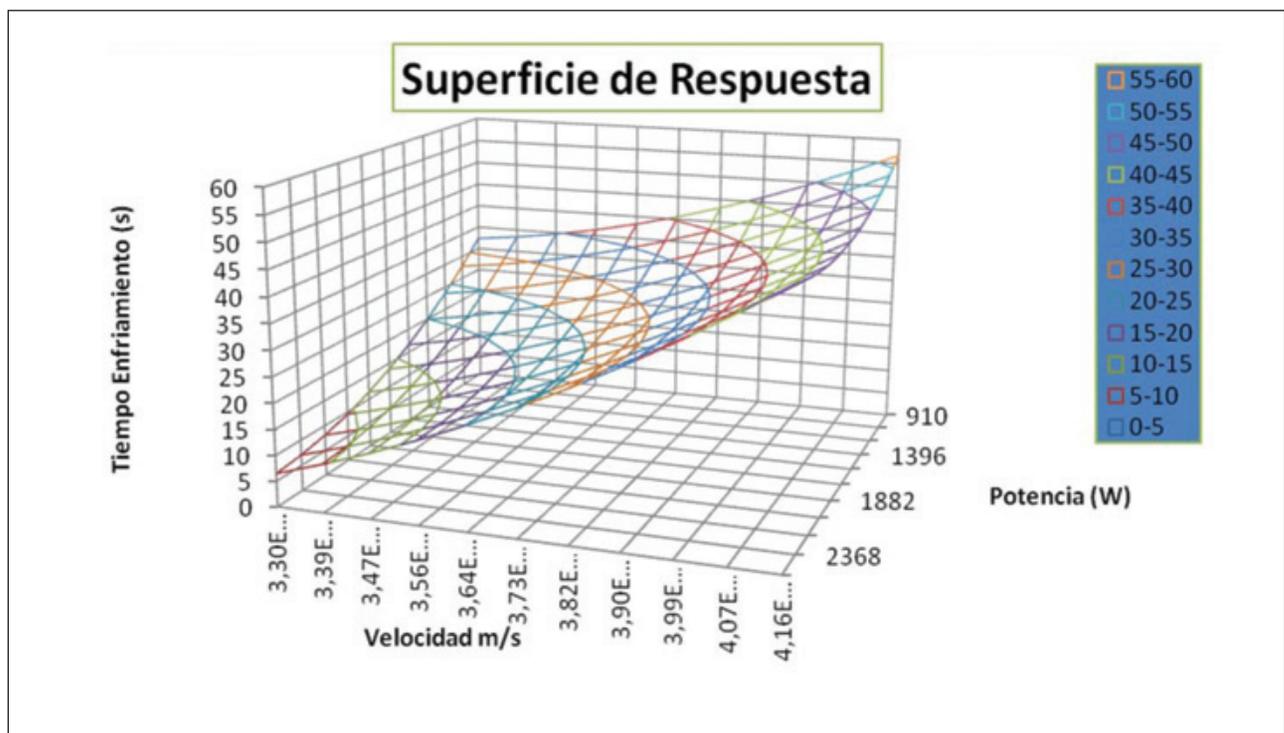


Figura 4. Gráfico resultado de optimización por MSR

## El uso del presente modelo permitirá al ingeniero de soldadura realizar una simulación del tiempo de enfriamiento en la zona afectada térmicamente durante el proceso de soldeo

inferior de 3 mm, donde el flujo de calor es bidimensional, es decir, que la conducción del calor se efectúa en las direcciones paralelas al plano de la chapa.

El contraste del método presentado debe hacerse con resultados experimentales, de los valores del tiempo de enfriamiento tal como se indica en [8], efectuados con los valores correspondientes de dichas variables. La aplicación del modelo para otros materiales requiere realizar su validación mediante experimentos.

### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Real Esther. “Estudio teórico y experimental del comportamiento de vigas de acero inoxidable sometidos a flexión”. Director: Enrique Mirambell. Universidad Politécnica de Cataluña. Departamento de Construcción, 2002.
- [2] Di Caprio Gabriele. “Los Aceros Inoxidables”, 3ª Edición. Milán: ed. Grupinox, 1999.121p. ISBN:84-8264-145-X
- [3] CEN. Stainless steel for architectural use. ENV 1993 -1-1. London, CEN, 1995.
- [4] “Acero Inoxidable”. Cedinox. 2007,nº 59. Madrid: Cedinox, Servicio de Publicaciones.
- [5] Arnedo Antonio et al.”Deformation of Flexural members of austenitic stainless steel”. *Journal of Constructional steel research*.1998, vol 46, núm 5, p. 25-32.
- [6] CEN. Design of steel structures: General rules: Supplementary rules for stainless steels. ENV 1993-1-4. London, CEN, 1996
- [7] AENOR. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 3: Soldero por arco de aceros inoxidable. UNE- EN-1011-3,.Madrid. AENOR, 1993.
- [8] Miguel Valentin, Martínez Eusebio José, Estrems Manuel. “Desarrollo de un procedimiento experimental para analizar el campo de temperaturas en la junta soldada de un acero inoxidable estructural.” En Actas del XII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. (Zaragoza 9-11 de Julio de 2008),II, [S.I.]: [s.n.],2008. p. 245-255.
- [9] AENOR. Recomendaciones para el soldeo de materiales metálicos. Parte 1: Guía general para el soldeo por arco. UNE- EN-1011-1, Madrid, AENOR, 1992.
- [10] Box George, et al. “On the Experimental Attainment of Optimum Conditions”, *Journal of the Royal Statistical* .1951, vol. 13, p.1-45.
- [11] Suzuki Tamoto et al.. “A Homogenization Method for Shape and Topology Optimization”. *Comp. Methods. Appl. Mech. Eng.* 1991, vol 93, p.291-318.
- [12] Estrems Manuel, Martínez Eusebio José, Miguel Valentin. “Aplicación de Crack-Nicholson para el cálculo de ZAT en la soldadura TIG de una estructura metálica de acero inoxidable.” En Actas del XI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. (Vigo 25-27 de Septiembre de 2007),vII, [S.I.]: [s.n.],2007. p. 325-335.
- [13] AMAGO “Sizing Optimization Using Response Surface Method in FOA”, *Review of Toyota CRDL* 2001,Vol. 37, No.1, p. 230-237.

# Presto: Más allá de las mediciones y los presupuestos

The screenshot shows the Presto software interface. At the top, there's a menu bar with options like 'Archivo', 'Edición', 'Ver', 'Apuntar', 'Herramientas', 'Módulos', 'Cálculos', 'Informes', 'Ventana', and 'Ayuda'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window displays a table with columns: 'Código', 'MatC', 'Info', 'Ud', 'Resumen', 'ConPres', 'Pres', and 'ImpPres'. The table lists various items such as 'ELECTRICIDAD Y DOMÓTICA', 'ILUMINACIÓN', 'TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA', 'Videoportero dg. Col. Vis. Unit. B7', 'Equipo captación fr. digital hosp', 'Equip. Captación fr. al mástil 3', 'Instalación de telefonía exterior con. 4 tel.', 'FONTANERÍA', and 'APARATOS SANITARIOS'. Below the table, there's a section for 'Detalle exterior 2x11 m. 830 bytes' showing a description of a luminaire and its components. At the bottom, there are four small images: '1 E18RA010.JPG', '9 E18FAC010\_030.JPG', '71 Altabas Casa Turigano.PDF', and '11 E18BA010.JPG'.

Código	MatC	Info	Ud	Resumen	ConPres	Pres	ImpPres
117	E17			ELECTRICIDAD Y DOMÓTICA	1	6.480,26	6.480,26
117	E18			ILUMINACIÓN	1	685,14	685,14
117	E18RA010		ud	Luminaria exterior 2x11m. 830 bytes	4,00	142,22	568,88
117	E18FA020		ud	Regleta exterior 2x11m. 830 bytes	2,00	50,13	100,26
202	E19			TELECOMUNICACIONES E INFORMÁTICA	1	1.947,58	1.947,58
210	E19PV220		ud	Videoportero dg. Col. Vis. Unit. B7	1,00	1.155,93	1.155,93
220	E19FC920		ud	Equipo captación fr. digital hosp	1,00	328,51	328,51
220	E19FC910		ud	Equip. Captación fr. al mástil 3	1,00	343,14	343,14
220	E19TT0_01		ud	Instalación de telefonía exterior con. 4 tel.	1,00	120,00	120,00
220	E20			FONTANERÍA	1	1.875,71	1.875,71
220	E21			APARATOS SANITARIOS	1	6.728,21	6.728,21

Integración de  
presupuestos, textos y  
documentación  
gráfica

## Cuadro de precios COIC para instalaciones industriales

*Obra civil: instalaciones eléctricas y telefonía*  
*Obra civil: instalaciones hidráulicas y climatización*  
*Generación eléctrica*  
*Redes baja tensión y alumbrado*  
*Electricidad: redes distribución interior*  
*Iluminación*  
*Instalaciones de media y alta tensión*  
*Instalación contraincendios*  
*Detección, análisis y control de CO*  
*Instalaciones de fontanería*  
*Red horizontal de saneamiento*  
*Calefacción A.C.S.*  
*Climatización: aire acondicionado y ventilación*  
*Bombas y grupos presión*  
*Instalaciones de gases comprimidos*  
*Instalaciones de G.L.P.*  
*Instalaciones de combustible*  
*Instalaciones riego y jardinería*  
*Instalaciones para piscinas*  
*Instalaciones de frío industrial*  
*Instalaciones audiovisuales*  
*Seguridad y control de accesos*  
*Instalaciones especiales*  
*Instalaciones de hostelería y restauración*  
*Seguridad e higiene*  
*Análisis, pruebas y ensayos de instalaciones*

- 1 Estudios previos de costes y honorarios
- 2 Acceso a catálogos de productos para la construcción
- 3 Intercambio de presupuestos
- 4 Medición de planos de AutoCAD
- 5 Importes por actividades, certificaciones y fases del presupuesto
- 6 Completa colección de actas y documentos de proyecto y obra
- 7 Fotos y archivos asociados al presupuesto, a fechas y a responsables
- 8 Combinación de tiempos y costes en el diagrama de barras
- 9 Seguimiento económico de la ejecución
- 10 Integración con seguridad y salud, control de calidad y gestión ambiental

# Presto 10



Presupuestos, mediciones, tiempos  
Seguridad y salud, calidad  
Seguimiento, compras, costes

Para obtener más información  
Manuel Silvela 15 5º. 28010-Madrid  
presto@presto.es · www.presto.es  
[34] 914 483 800

