

## Desarrollo del Programa C utilizado para localizar la mejor opción de aplicación de soldadura en el desarrollo técnico de materiales

### Development of C Program used to locate the best option of application of Weld in the technical develop of materials

SERVÍN-CASTAÑEDA, Rumualdo†\*, DOMÍNGUEZ-LUGO, Alma Jovita, L, ARREOLA-VILLA, Sixtos Antonio y LLANAS-FUENTES, Raúl Roberto

*Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica*

ID 1<sup>er</sup> Autor: *Servin-Castañeda, Rumualdo* / ORC ID: 0000-0002-8655-2572, Researcher ID Thomson: S-4952-2018, CVU CONACYT ID: 45820

ID 1<sup>er</sup> Coautor: *Domínguez-Lugo, Alma Jovita* / ORC ID: 0000-0003-4988-4911, CVU CONACYT ID: 260410

ID 2<sup>do</sup> Coautor: *Arreola-Villa, Sixtos Antonio* / ORC ID: 0000-0002-6348-0860, CVU CONACYT ID: 380076

ID 3<sup>er</sup> Coautor: *Llanas-Fuentes, Raúl Roberto*

DOI: 10.35429/JIT.2019.20.6.19.25

Recibido: 12 de Junio, 2019; Aceptado 30 de Septiembre, 2019

#### Resumen

La tecnología está presente en la vida industrial y cada vez es más frecuente el uso de la programación dentro de los procesos en busca de soluciones que apoyen la toma de decisiones. La programación en lenguaje C será la herramienta básica para desarrollar un material que aplique tecnológicamente el proceso de soldadura, donde el metal base es mecánicamente resistente como el acero A36, y aplicarlo en una matriz de puntos estratégicos de soldadura con alta dureza para hacerlos más desgastados; Sin embargo, los ciclos térmicos generados cuando se aplica la soldadura producen una deformación que afecta el plano. A través del programa desarrollado en el presente estudio, se establece la secuencia que debe seguirse en un proceso de soldadura para tres placas de matriz de 10x10. Una vez establecidos los criterios en el programa, y teniendo en cuenta la fórmula del punto más alejado, las deformaciones generadas en las placas con las secuencias establecidas fueron 0.016, 0.008 y 0.020 pulgadas, para temperaturas máximas de 620 ° C, 575.6 ° C y 354.2 ° C respectivamente, lo que indica que la deformación no es una función de la temperatura final, sino de la distribución de los puntos de soldadura aplicados.

**Materiales, Ruta Óptima, Tecnología**

#### Abstract

Technology is present in industrial life and increasingly the use of programming within processes or in search of solutions that come in support of decision making is becoming more frequent. Programming in C language, will be the basic tool to develop a material technologically applying the welding process, where the base metal is mechanically resistant as steel A36, and apply it in a matrix of strategic points welding with high hardness to make them more wear ; However, the thermal cycles generated when welding is applied produce deformation that affects the plane. Through the program developed in the present study, the sequence that must be followed in a welding process for three 10x10 matrix plates is established. Once established the criteria in the program, and taking into account the formula of the furthest point, the deformations generated in the plates with the established sequences were 0.016, 0.008, and 0.020 inches, for maximum temperatures of 620 ° C, 575.6 ° C and 354.2 ° C respectively, which indicates that the deformation is not a function of the final temperature, but in the distribution of the applied welding points

**Materials, Optimal Route, Technology**

**Citación:** SERVÍN-CASTAÑEDA, Rumualdo, DOMÍNGUEZ-LUGO, Alma Jovita, L, ARREOLA-VILLA, Sixtos Antonio y LLANAS-FUENTES, Raúl Roberto. Desarrollo del Programa C utilizado para localizar la mejor opción de aplicación de soldadura en el desarrollo técnico de materiales. Revista de Tecnologías de la Información. 2019. 6-20: 19-25

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Los aceros son materiales que tienen muchas ventajas en cuanto a propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y soldabilidad. Sin embargo, cuando los aceros son soldados, el ciclo térmico de la soldadura causa alteraciones en la composición, distribución, tamaño y fracción volumétrica de los materiales mediante la disolución, crecimiento y precipitación de los mismos. (Marconi et Al. 2015 y Lopez et Al. 2013), establecen que en procesos de soldadura, el aporte de calor es una medida relativa de la energía transferida a los componentes a ser soldados, en general la microestructura final es función de la composición química y ciclo térmico, y a su vez éste último, es función del calor aportado y del componente geométrico (cantidad de material a ser soldado). Esto lleva a que la zona de la soldadura presente, con respecto al material base genere un campo de esfuerzos residuales, así como una diferencia de propiedades mecánicas, tenacidad y resistencia mecánica.

Uno de los principales sectores que generan gran fuente de empleos en México es la minería, la siderúrgica y la industria cementera, en donde el uso de materiales duros resistentes al desgaste es parte importante dentro de su proceso de transportación de la materia prima. Actualmente los aceros anti desgaste desarrollados son altamente costosos por lo cual el desarrollo de recubrimientos duros aplicados por un proceso de soldadura es una posible solución, por tal motivo es necesario analizar las variables significativas de las cuales dependen la calidad final de este material.

Al aplicar calor generado en un proceso de soldadura se produce deformación debido a la concentración de esfuerzo térmico; cuando se controla la distribución de calor generado la deformación debe ser mínima y la placa de acero debe conservar la planeza.

La relación de la cantidad de calor aportada en un proceso de soldadura está altamente relacionada con la deformación que posiblemente se pueda obtener como resultado final. (Flores et Al. 2006), establece que cuando la soldadura alcanza una temperatura ambiente, asumiendo una restricción completa del metal base, presenta internamente tensiones a la tracción aproximadamente igual a la resistencia de fluencia del metal.

Si las restricciones son retiradas, las tensiones internas son aliviadas parcialmente, causando el movimiento del metal base, es decir, una deformación. (Radaj et Al. 1992 y Guangming et Al. 2015), especifican que la secuencia de la soldadura es una de las variables más significativas en la deformación sufrida, ya que la misma tensión residual del proceso de soldadura entre menor sea es mayor su deformación, y entre mayor sea la tensión su deformación es menor.

Se dice que el acero es el único metal, que se trabaja a sí mismo, de reproducir las máquinas que lo trabajan a él, trabajan a los demás metales y trabaja a los demás materiales, de la misma manera que el hombre se reproduce a sí mismo y de trabajar la naturaleza. (Rondón Matheus, s/a)

El acero es de los más importantes materiales de Ingeniería y construcción, esto se debe a que aproximadamente el 80% de todos los metales producidos corresponden al acero. El acero obtiene este grado de importancia debido a su combinación de resistencia, facilidad de fabricación y un amplio rango de propiedades con bajo costo. Algunos aceros son relativamente blandos y dúctiles y pueden ser rápidamente formados dentro de varias formas como son cuerpos de automóviles, otros pueden ser endurecidos suficientemente para servir como aceros para herramientas de corte.

Otros pueden ser hechos para poseer resistencia y tenacidad para uso en ejes de automóviles, envases ó recipientes contenedores. Un ejemplo prosaico es la hoja de rasurar que se encuentra extremadamente dura. (Maldonado Flores, 1996)

Dentro de la industria acerera, se generan diversos productos utilizados en la fabricación de enseres domésticos, materiales de construcción, etc. En este proceso de fabricación la industria se enfrenta con los costos de producción. Los índices de precios de las materias primas en la industria siderúrgica presentaron un incremento constante. Como muestra, entre enero de 2016 y agosto de 2017, el coque creció en el 158,7%; el incremento del precio de la chatarra avanzó el 60,6% y el mineral de hierro en el 81,6. Aunado a esto se tienen que considerar los costos en lo referente al precio del gas natural, que se elevó el 51,0% y la electricidad que creció en el 49,5%, durante el primer semestre de 2017. (Vogel H., 2016)

SERVÍN-CASTAÑEDA, Rumualdo, DOMÍNGUEZ-LUGO, Alma Jovita, L, ARREOLA-VILLA, Sixtos Antonio y LLANAS-FUENTES, Raúl Roberto. Desarrollo del Programa C utilizado para localizar la mejor opción de aplicación de soldadura en el desarrollo técnico de materiales. Revista de Tecnologías de la Información. 2019

## Marco Teórico

El acero A36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente usado en los Estados Unidos, aunque existen muchos otros aceros, superiores en resistencia, cuya demanda está creciendo rápidamente. La denominación A36 fue establecida por la ASTM.

Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano. Tiene un esfuerzo de fluencia de 2 530 kg/cm<sup>2</sup> (250 MPa, 36 ksi) y un esfuerzo mínimo de ruptura en tensión de 4 080 kg/cm<sup>2</sup> a 5 620 kg/cm<sup>2</sup> (400 a 550 MPa, 58 a 80 ksi), y su soldabilidad es adecuada. Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron. (AHMSA, s.f.)

## Temperaturas de Transformación

Durante el nivel inicial de calentamiento, la temperatura del bloque se incrementa a un rango uniforme. A la temperatura  $T_i$ , el rango de la absorción de calor decrece hasta alcanzar la temperatura  $T_2$  y en este punto el rango vuelve a incrementarse. La temperatura  $T_i$  es la temperatura crítica e indica el inicio de la transformación de ferrita en austenita, ya que el calor de entrada al bloque era constante, seguirá la temperatura entre  $T_i$  y  $T_2$ .

La transformación de ferrita en austenita también requiere cierta cantidad de energía termal. En temperaturas de enfriamiento ocurren cambios opuestos. El bloque se enfría hasta que la temperatura  $T_2$  es alcanzada. En este punto, el calor absorbido durante la transformación es liberado y el rango de enfriamiento comienza a bajar. Cuando la transformación de austenita en ferrita se ha completado, el enfriamiento vuelve a su rango original. La liberación de calor durante el proceso de enfriamiento en ocasiones es conocida como recalcancia.

Cuando una ruptura ocurre en la curva de enfriamiento o calentamiento, el progreso normal de la temperatura contra la curva de tiempo esta encontrada (a tope); esto se indica con el símbolo  $A_i$  o  $A_3$ , etc., para varias de las transformaciones. (Maldonado Flores, 1996)

## Endurecimiento Superficial

Existe una competencia entre la dureza de los aceros y su tenacidad. Es fácil conseguir que un acero sea duro aunque frágil, o que un acero sea dúctil y tenaz, pero blando. Pero incluir ambas propiedades en un mismo acero (es decir, que sea duro, dúctil y tenaz) no resulta fácil, siempre se tiene que llegar a un compromiso porque, de lo contrario, una propiedad contrarresta a la otra; muchas herramientas dependen de su filo para poder trabajar en forma continua.

Los metalurgistas han intentado encontrar una solución a este problema, teniendo en cuenta que las herramientas de corte solamente necesitan enfrentar el problema del desgaste en la superficie y no en su interior. Desde este punto de vista, el problema se simplifica: puede endurecerse considerablemente una capa de una a dos décimas de milímetro de espesor en el exterior de una herramienta mientras se mantiene su interior menos duro pero sumamente tenaz.

## Aceros de bajo, medio y alto carbono

Por su contenido de carbono, los aceros se clasifican como de bajo, medio y alto carbono. Las fronteras que separan a estos tipos de acero no están claramente definidas, aunque se entiende que los aceros de bajo carbono tienen menos del 0,25% de carbono en su aleación. Ellos son fácilmente deformables, cortables, mecanizables y soldables; en una palabra, son muy "trabajables". Además, con ellos se fabrican las mejores varillas para refuerzo de concreto, estructuras de edificios y puentes, la carrocería de automóviles y las corazas de los barcos.

Los aceros de medio carbono, entre 0,25% y 0,6%, se emplean cuando se desea obtener mayor resistencia, pues siguen manteniendo un buen comportamiento dúctil aunque su soldadura ya requiere cuidados especiales. Con estos aceros se hacen piezas para maquinarias como ejes y engranajes.

Los aceros de alto carbono, entre 0,6% y 1,2%, son de muy alta resistencia, pero su fragilidad ya es notoria y son difíciles de soldar. Muchas herramientas son de acero de alto carbono: picos, palas, hachas, martillos, cinceles, sierras, etc. Los rieles de ferrocarril también se fabrican con aceros de ese tipo. (s/n, s.f.)

### Problema

En los últimos años las industrias han invertido millones de dólares en innovar y mejorar sus equipos y maquinaria de trabajo, para tener una mejor calidad de productos y buenos ingresos. Sin embargo, debido a este gasto económico en maquinaria-hombre, las industrias buscan nuevas alternativas para dar un buen servicio sin invertir demasiado. Es por ello, que se desarrollan modelos matemáticos y computacionales para ahorrar tiempo y dinero en cuanto al proceso de trabajo, aplicando programación computacional capaz de encontrar relaciones o patrones por medio de algoritmos que soporten el desarrollo tecnológico que demanda la globalización mundial.

### Desarrollo

Para el diseño experimental, se utilizaron 3 placas de acero ASTM A36 de ½” de espesor, las cuales fueron cortadas a 25cm x 25cm, dividiéndola en 10 espacios de 2.5cm x 2.5cm, en los cuales se realizaron taladros de ½” de diámetro por 8 mm de profundidad. La preparación de las muestras se puede observar en la Figura 1.



**Figura 1** Preparación de muestras, representación física del Diseño experimental

Para identificar los puntos en donde se aplica la soldadura se utiliza la siguiente relación; la placa se divide en columnas y renglones, en secciones que consisten en diez columnas nombradas con las letras A, B, C, D, E, F, G, H, I, J. y en diez renglones que consistían en 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10, formando una matriz de 10x10.

Las secuencias que se deben de seguir para la aplicación de la soldadura lo determina un programa computacional, el cual en primera instancia solicita el tamaño de la placa, es decir se pide la cantidad de renglones y de columnas de la matriz que simulara la placa, luego se pide la coordenada donde iniciara el primer punto a soldar, pero una de las reglas clave dada por el usuario es que cuando se solde un punto, el próximo a soldarse no debe estar cerca, ya que los puntos están calientes alrededor del soldado. Para encontrar la solución de la ruta óptima de acuerdo con los criterios dados en el problema, se llega a la conclusión de utilizar el Teorema de Pitágoras, dado que se cuenta con cierta cantidad de puntos que serán evaluados para determinar cuál es el punto más alejado.

Para  $P_1=(x_1,y_1)$  y  $P_2=(x_2,y_2)$  se tiene que

$$d(P_1, P_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Una vez localizado el punto más alejado no soldado, a través de un ciclo se estará revisando los puntos que están en su alrededor para conocer su estatus 1-Se acaba de soldar, 2-Caliente, 3- Tibio y 4-Frío ya se puede soldar. Si a su alrededor están todos en 3 y ese punto en específico tiene un 4 entonces se procede a soldar.

Una vez barrida la matriz, se comienza nuevamente a revisarla e ir cambiando el numero encontrado en las coordenadas; es decir, donde encuentre un 1 cambia a 2 pues ya paso un tiempo después de soldado, así como al número 2 de caliente pasara a 3 que esta tibio y de 4 a 0 indicando que puede ser soldado, así sucesivamente hasta lograr tener todos los puntos cubiertos.

Una vez terminado de revisar todos los puntos y confirmar que están todos soldados genera la secuencia en pantalla del orden de soldadura, en la figura número xx está representado el diagrama de flujo.

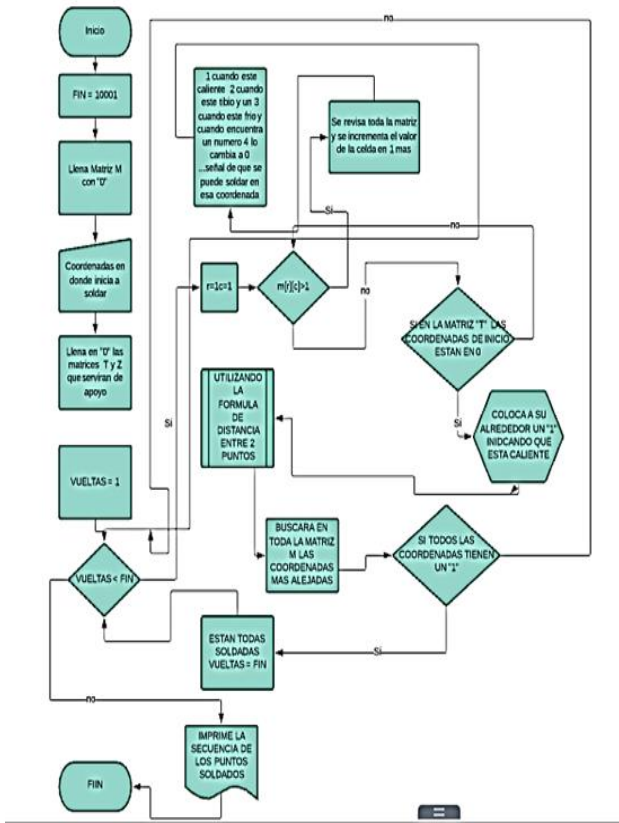


Figura 2 Diagrama de flujo del programa computacional

Las secuencias establecidas por el programa para las placas uno, dos y tres, son las que se muestran en las figuras 3,4 y 5 respectivamente.

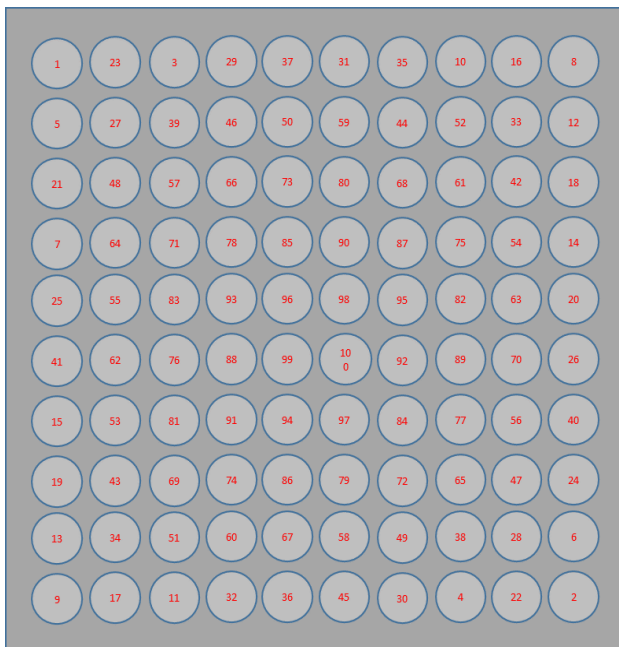


Figura 3 Secuencia establecida cuando el punto inicial está en la coordenada 1,1

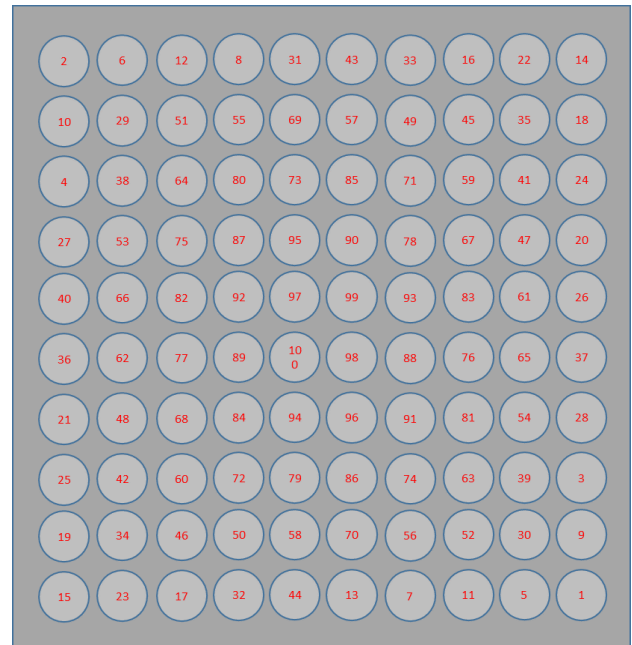


Figura 4 Secuencia establecida cuando el punto inicial está en la coordenada 1,1

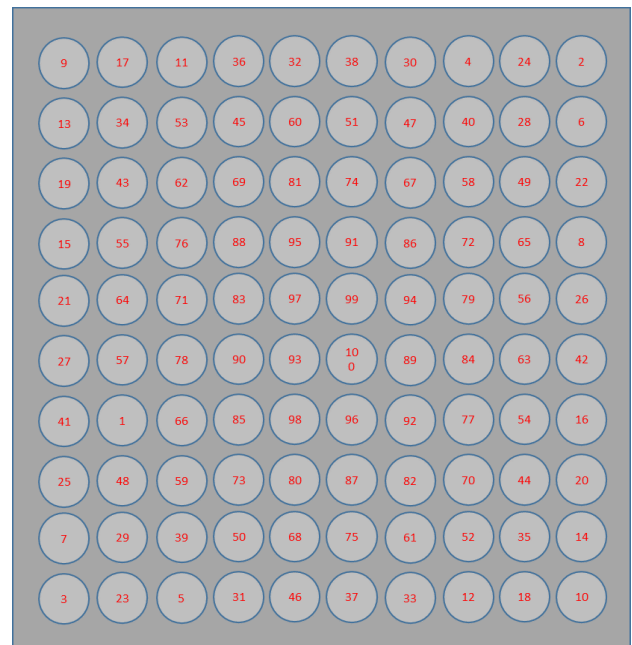


Figura 5 Secuencia establecida cuando el punto inicial está en la coordenada 7,2

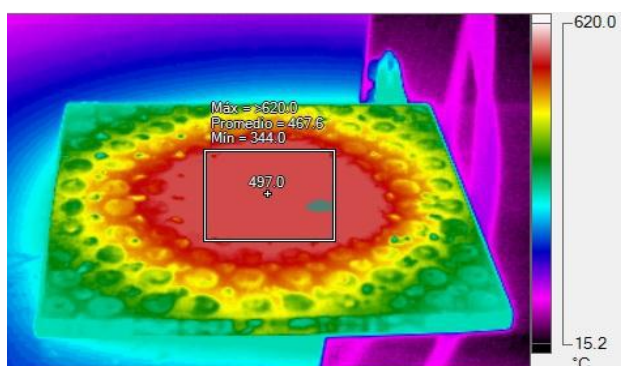
Resultados

Haciendo uso de un indicador de caratula se lleva a cabo la medición de la planeza de las 3 placas antes y después del proceso de soldadura, el promedio de los datos de la deformación generada se expresan en la Tabla 1.

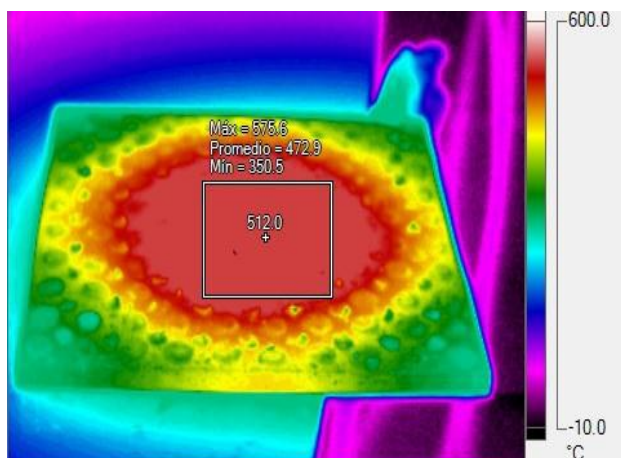
Planeza de placa, metal base promedio (pulgadas)		
Probeta	Antes	Después
Placa 1	0.00096	-0.01515
Placa 2	-0.00001	0.00880
Placa 3	0.00490	-0.01588

**Tabla 1** Resultados de deformación de las tres placas

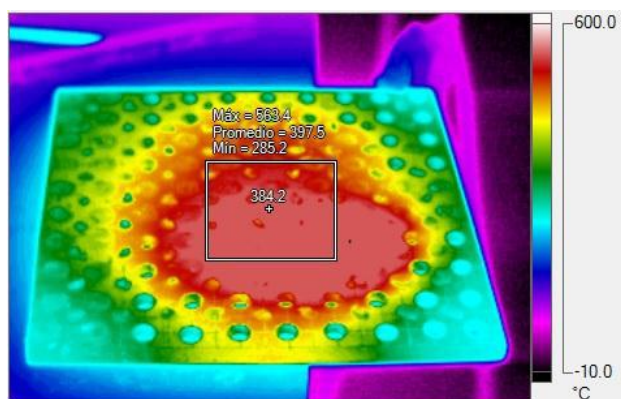
Y las temperaturas que se obtienen para las placas 1,2 y 3 con las secuencias establecidas por el programa computacional son las que se muestran en las Figuras 6,7 y 8 respectivamente.



**Figura 6** Imagen termográfica placa 1, Temp.Max 620 Min 344 Prom 467.6



**Figura 7** Imagen termográfica placa 2, Temp.Max 575.6°C Min 350.5°C Prom 472.9°C



**Figura 8** Imagen termográfica placa 3, Temp.Max 354.2°C Min 231.9°C Prom 293.7°C

## Conclusiones

Para los tres casos del proceso se pudo comprobar que la mayor parte de calor se concentra en el centro de las placas, esto se debe a que en los extremos al aire funciona como sistema de enfriamiento y el calor se va concentrando en el centro, alcanzando temperaturas máximas de 620°C, 575.6 °C y 354.2 °C para las placas uno, dos y tres respectivamente, sin embargo, este calor no es representativo con las deformaciones obtenidas que son de 0.016, -0.008 y 0.020 pulgadas para el mismo orden de las placas.

Para el caso de la placa uno que tiene la mayor temperatura se esperaría que coincidiera con la mayor deformación y para la placa tres con la menor temperatura le debería de corresponder la menor deformación, sin embargo no es así, lo que nos indica que no hay relación de la temperatura máxima con la deformación máxima, más bien sería que los ciclos térmicos al aplicar la soldadura influyen considerablemente en la deformación y lo que debe de cuidarse es la secuencia de aplicación de soldadura para que no exista este choque térmico que provoca la deformación.

De las tres placas analizadas se logró comprobar que la mejor opción fue la Placa dos, ya que esta se deforma solamente -0.008 pulgadas, mientras que las deformaciones de las placas 1 y 3 fueron 0.0161 y 0.020 pulgadas respectivamente.

Para utilizar más eficientemente el programa en la selección de rutas óptimas de aplicación de soldadura, se recomienda especificar el punto de inicio en el centro de la placa, ya que en cualquiera de las opciones la concentración de calor se va a generar en el centro y esta no afecta significativamente en la deformación.

## Referencias

AHMSA. (n.d.). AHMSA. Retrieved from <https://www.ahmsa.com/wp-content/uploads/2017/10>

Flores, F.J.G., *Guía práctica para prevenir deformaciones por soldadura*, in *Arquitectura Naval* 2006, Universidad Austral de Chile Valdivia Chile p. 53

Marconi César, M.J.C., Boccanera Leonardo, Ramini Mabel, *Influencia del calor aportado y metal de aporte sobre las propiedades mecánicas y la microestructura de juntas soldadas por fcaw de acero microaleado de alta resistencia* . 21 Mayo, 2015: p. 11

Maldonado Flores, J. L. (1996). *EL ACERO Y SUS APLICACIONES*. Monterrey, N.L.: UANL.  
Rondón Matheus, O. (s/a). *El Acero y su trascendencia histórica en el*.  
s/n. (n.d.). *upcommons*. Retrieved from [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5193/02\\_MemoriaI.pdf?sequence=3](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5193/02_MemoriaI.pdf?sequence=3)

Radaj, D., *"Heat Effects of Welding Temperature Field, Residual Stress, Distortion* 1992, Bangalore, India

Vogel H., G. (2016). *La industria del Acero en México*.