

RESUMEN

El diseño y construcción de estructuras metálicas posee una relevancia creciente en nuestro país, llegando a ser un importante motor económico en muchas áreas. El estado de las uniones en estructuras es de gran interés industrial, por lo que se ha hecho común el uso del proceso FCAW a fin de darle continuidad a la soldadura, garantizando calidad y velocidad en la construcción.

El objetivo de este trabajo es determinar mediante ENDs la existencia de discontinuidades internas o externas en la soldadura en aceros ASTM A36 y ASTM A588 que ha sido afectada por elevadas temperaturas (300°C, 600°C y 900°C) y posteriormente enfriadas bruscamente con agua, así como evaluar sus propiedades mecánicas por medio de ensayos destructivos.

El procedimiento para la evaluación de la soldadura está descrito en las normas AWS D1.1 y AWS D1.5; basados en ésta normativa fueron fabricadas las probetas y realizados los ensayos.

Además de los ensayos requeridos en la norma, se consideró pertinente adicionar pruebas de impacto, dureza y tracción en el cordón de soldadura para verificar variaciones en la fragilidad y dureza del material de aporte.

Para la realización del presente trabajo se desarrolló un procedimiento para la utilización del equipo de ultrasonido EPOCH 1000i perteneciente al laboratorio de Ciencia de los Materiales del DECEM. Además, este procedimiento podrá ser utilizado en futuras aplicaciones si así se requiere.

Los resultados no muestran diferencias significativas entre las juntas expuestas a elevadas temperaturas y las mantenidas a temperatura ambiente, a excepción de 900 °C donde ciertas probetas fueron afectadas por el cambio de temperatura.

SUMMARY

The design and construction of steel structures has a growing importance in our country, becoming a major economic engine in many areas. The condition of the joints in structures is of great industrial interest, so it has become common use of FCAW process in order to give continuity to the weld, ensuring quality and speed of construction.

The aim of this work is determine by NDT discontinuities in the internal or external welding steel ASTM A36 and ASTM A588 has been affected by high temperatures (300°C, 600 °C and 900 °C) and then quenched with water, and to evaluate their mechanical properties using destructive testing.

The procedures for the evaluation of the weld is described in AWS D1.5 AWS D1.1 and, based on this law were made the samples and performed the tests.

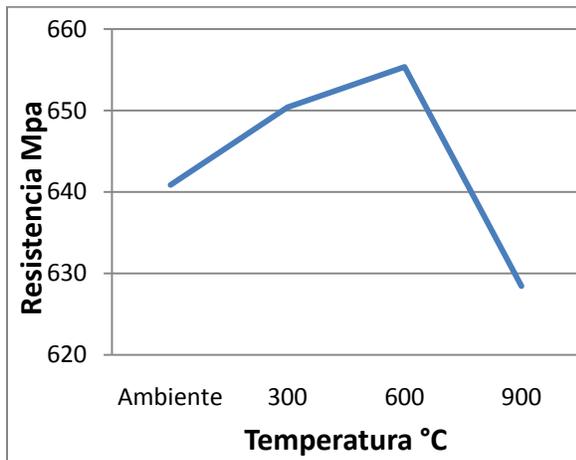
In addition to the tests required in the standard, it was considered appropriate to add impact tests, tensile and strength on the weld to verify changes in the brittleness and hardness of filler material.

To carry out this work we developed a procedure for the use of ultrasound equipment EPOCH 1000i belonging to laboratory's Materials Science of the DECEM. In addition, this procedure may be used in future applications if required.

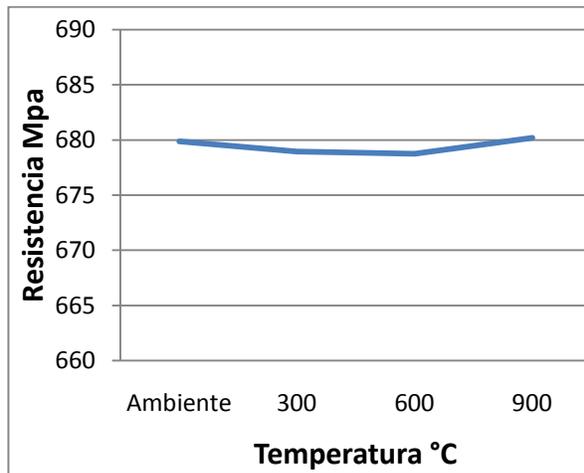
The results show no significant differences between the joints exposed to high temperatures and the ones kept at room temperature, except on 900 ° C where certain samples were affected by temperature change.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

ENSAYO DE TRACCIÓN



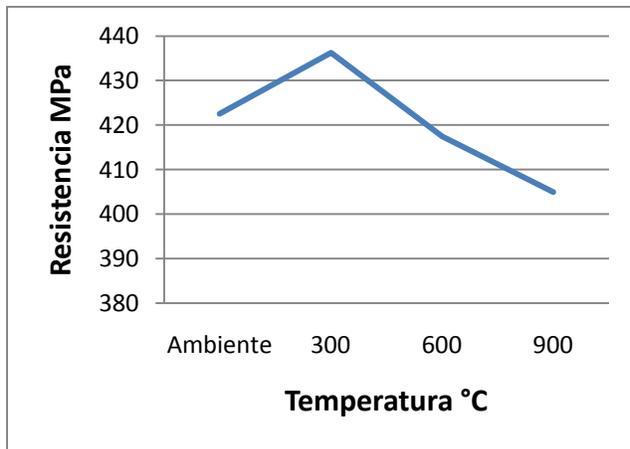
Resistencia en electrodo E71T-1.



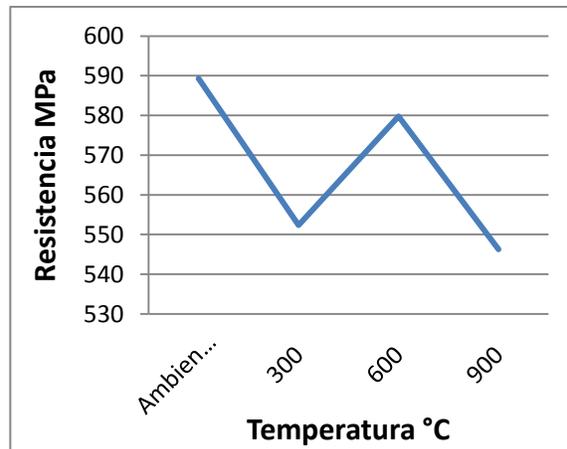
Resistencia en electrodo E81T1-Ni 1

En el primer caso el material base es acero ASTM A36, cuya resistencia a la tracción es de 410 MPa; es así que todas las muestras sometidas al ensayo son aceptadas.

En el segundo caso el material base es acero ASTM A588, cuya resistencia a la tracción es de 485 MPa, por lo tanto todas las muestras sometidas al ensayo son aceptadas.



Resistencia a la tracción en acero A36 y electrodo E71T-1 en junta a tope



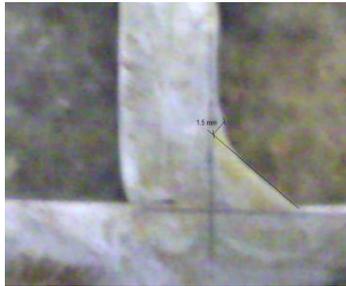
Resistencia a la tracción en acero A588 y electrodo E81T1-Ni1 en junta a tope

En el primer caso el material base es acero ASTM A36, cuya resistencia a la tracción es de 410 MPa; es así que, el acero resiste hasta 600 °C; sin embargo a 900 °C como indica la gráfica la resistencia desciende del valor base por lo que es rechazada.

Como indica la segunda figura, la resistencia a la tracción en estas probetas es mayor a la del material base, que en este caso es el acero ASTM A588, cuya resistencia a la tracción es de 485 MPa; por lo tanto todas las muestras sometidas al ensayo son aceptadas.

ENSAYOS METALGRÁFICOS

ENSAYOS MACROGRÁFICOS



Luego de realizar éste ensayo no hubo presencia de defectos relacionados con el cambio brusco de temperaturas en el cordón de soldadura ni en el metal base adyacente. Además, se observa que la soldadura se ha realizado correctamente, de acuerdo a la norma AWS D1.1, donde se limita el tamaño de sobremonta.

ENSAYOS MICROGRÁFICOS

Electrodo E81T1-Ni 1



Temperatura Ambiente

300 °C

600°C

900°C

A 300°C se encuentra una microestructura más unida entre sí, debido a la velocidad de enfriamiento empleada, lo que provocó un aumento en la tensión, y representa mayor dureza del acero.

A 600°C la variación es mínima con respecto a la de temperatura ambiente, ya que a ésta temperatura la velocidad de enfriamiento puede ser rápida para llegar a un temple, porque la austenita es menos estable, y es donde se forma la mezcla de ferrita y cementita, es decir su dureza aumenta de manera casi insignificante.

Finalmente a 900°C se observa mayor unión de granos que a temperatura ambiente, pero menor que a 600°C; a ésta temperatura el acero se encuentra en una fase de cambio de ferrita a austenita, que según la velocidad de enfriamiento permite la precipitación de una o de otra. En nuestro caso la probeta

presenta una dureza algo mayor a la de temperatura ambiente, es así que se nota una precipitación de austenita en una matriz de ferrita.

Electrodo E71T 1



Temperatura Ambiente

300°C

600°C

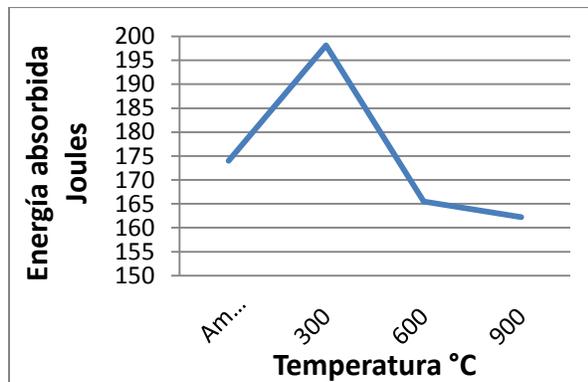
900°C

A 300°C se observa un tamaño de grano similar al de temperatura ambiente, pero con un aumento de perlita, lo que representa una dureza similar entre las dos.

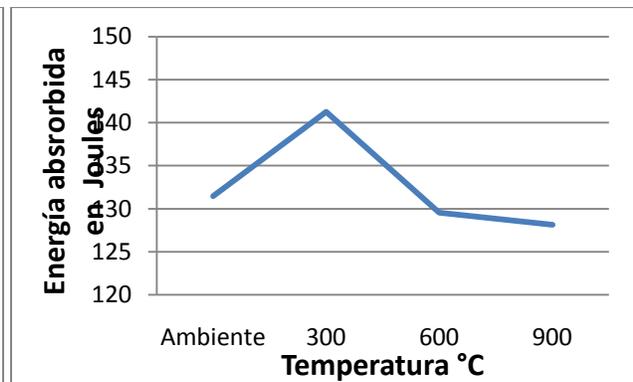
A 600°C existe mayor cantidad de perlita en la microestructura, pero una separación considerable de granos, que a diferencia con el electrodo E81T1-Ni 1, carece de la presencia de níquel que aumenta la tenacidad en el material, lo que representa una menor resistencia a cargas de tensión; generando una disminución en la dureza.

A 900°C los granos vuelven a acercarse ligeramente provocando un pequeño aumento en la dureza, ésta variación se presenta debido a la fase de cambio de ferrita a austenita, presente en el acero a ésta temperatura.

ENSAYOS CHARPY



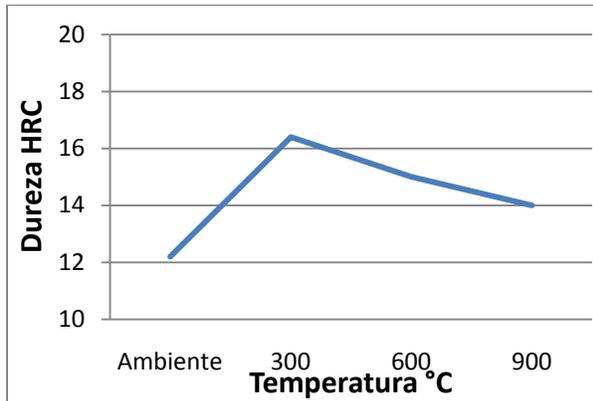
Energía absorbida por el electrodo E81T1-Ni 1



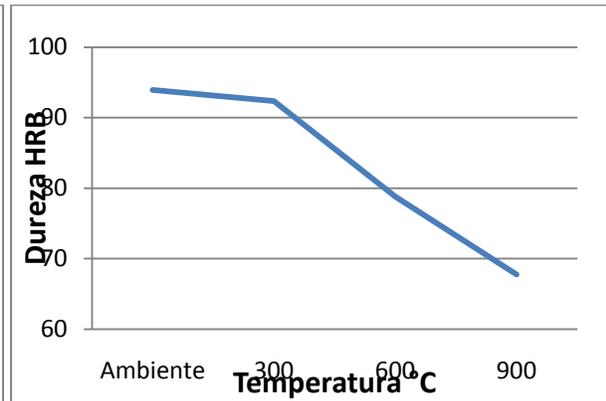
Energía absorbida por el electrodo E71T 1

Todos los valores promedio de energía absorbida son superiores al mínimo requerido por la norma AWS D1.1 de 27 Joules.

ENSAYOS DE DUREZA



Dureza Rockwell HRC en electrodo E81T1 - Ni1



Dureza Rockwell HRB en electrodo E71T 1

Como se observa, la dureza aumenta o se mantiene desde la T. Ambiente hasta los 300°C, mientras que al aumentar la temperatura los valores de los promedios de dureza disminuyen, con lo que se puede concluir que el cambio brusco de temperatura influye en la dureza de la soldadura.

ENSAYOS DE DOBLEZ

Acero ASTM A36



Probetas de acero A 36 y Electrodo E 71T 1

Se pudo observar que después de doblar las probetas no aparecieron agrietamientos o discontinuidades de ningún tipo, por lo que las mismas son aceptadas.

Acero ASTM A588



Acero A 588 y Electrodo E 81T1-Ni 1 a 300°C



Probeta A588 que presenta fisura superficial

Al realizar el ensayo de doblez se produjo lo siguiente:

Rotura en una probeta de 300°C en la unión de material base con material de aporte, esto no ocurrió por el cambio brusco de temperatura ya que no se visualiza una cristalización, esta falla se produjo en el proceso de soldadura.

A 600°C la unión soldada resistió correctamente las pruebas

Finalmente a 900°C en una muestra de doblado de raíz, se originó una fisura superficial en el cordón de soldadura, producido por el cambio brusco de temperatura en una junta que posiblemente presenta algún tipo de discontinuidad.

ENSAYOS DE ROTURA



Rotura en probetas de acero A36

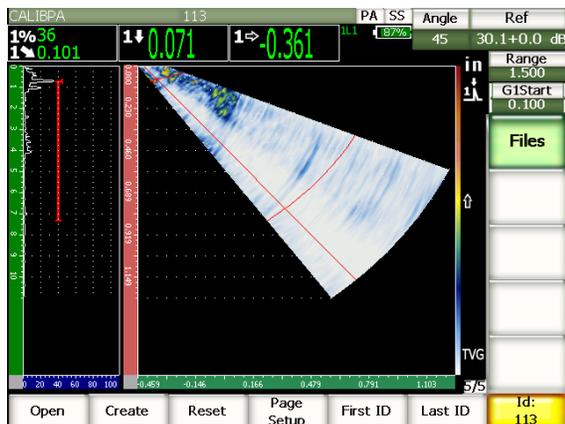
Rotura en probetas de acero A588

Se pudo observar que las probetas se quebraron sobre sí mismas y que tienen una fusión completa en la soldadura, por lo que pasaron el ensayo.

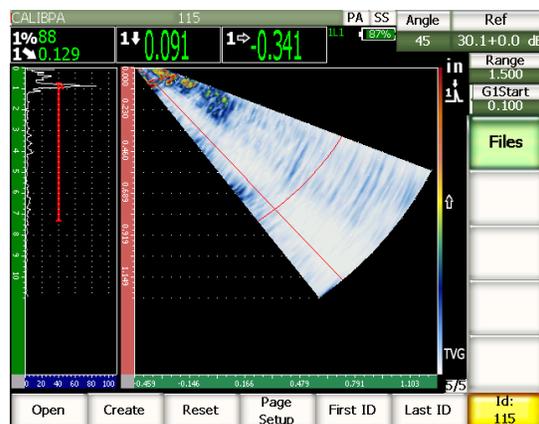
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

ULTRASONIDO

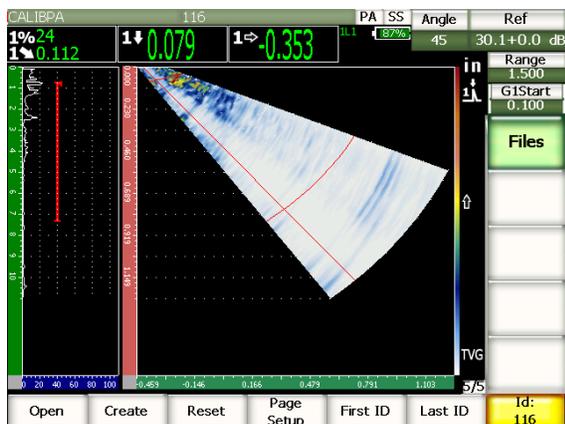
Acero ASTM A36



Temperatura Ambiente



300 °C



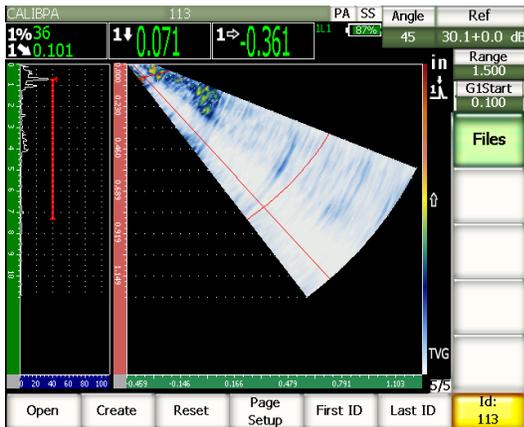
600 °C



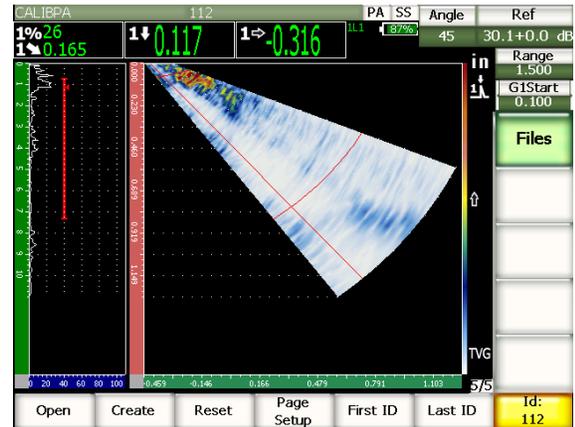
900 °C

Las soldaduras son aceptadas según los requerimientos de la norma D1.1.

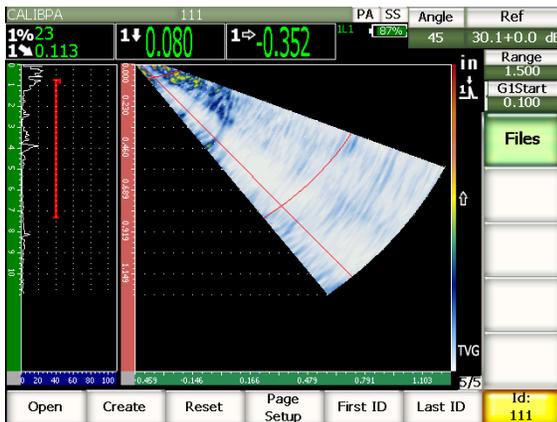
Acero ASTM A588



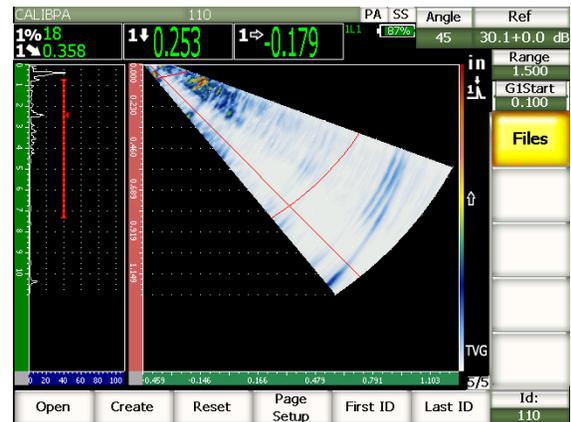
Temperatura Ambiente



300 °C



600 °C



900 °C

Las soldaduras son aceptadas según los requerimientos de la norma D1.5.

TINTAS PENETRANTES



Al realizar dicho ensayo se pudo observar que las probetas utilizadas, no fueron afectadas por los cambios bruscos de temperatura ya que no se observan defectos superficiales, tales como fisuras o grietas.

CONCLUSIONES

1. En incendios cuyas temperaturas lleguen hasta 600°C y el tiempo de exposición a fuego directo del acero estructural no sea mayor a 15 minutos, las propiedades mecánicas varían hasta en un 2% sobre el mínimo permitido si se enfrían bruscamente con agua; siempre y cuando el procedimiento de soldadura está de acuerdo a la norma AWS D1.1 o D1.5.
2. Para llegar a un temple, la velocidad de enfriamiento ideal es superior a la crítica hasta temperaturas inferiores a las de transformación de la perlita (alrededor de 550 °C). De esta forma se evitará la transformación de la austenita en los constituyentes más blandos y se conseguirá que se transforme con uniformidad en martensita, sin peligro a que se formen grietas y deformaciones en aceros aleados.
3. El enfriamiento rápido de aleaciones con Níquel y Manganeso, es el principal formador de martensita derivada de la austenita, que aumenta la tenacidad, resistencia al impacto, tiene alta templabilidad, además que mejora la resistencia a la corrosión, como se pudo observar en el acero A588 y en el electrodo E81T1-Ni 1 después de realizar los ensayos correspondientes.
4. La martensita es el constituyente típico de los aceros templados y se obtiene de forma casi instantánea al enfriar rápidamente la austenita (Acero a 900°C). Es una solución sobresaturada de carbono en hierro alfa. Tras la cementita o carburo de hierro (y los carburos de otros metales) es el constituyente más duro de los aceros. En aceros de bajo contenido de carbono como el A36, se dificulta la formación de martensita, derivando en una baja templabilidad.
5. Se ha desarrollado un procedimiento de END para ultrasonido convencional y phased array, basado en las Normas AWS D1.1 y AWS D1.5 para la inspección de soldaduras en acero, cuya aplicación es la detección y dimensionamiento de defectos en soldaduras, pudiéndose comprobar que las discontinuidades encontradas están dentro de lo admisible en las probetas examinadas.
6. El sistema de inspección de ultrasonido ha funcionado de acuerdo con los requisitos especificados. Las variables esenciales de los componentes examinados estaban dentro de los rangos definidos en la norma AWS D1.1 y la inspección se ha desarrollado de acuerdo con lo esperado.
7. En los aceros A36 y A588 que soportaron temperaturas elevadas, el estar expuestos al medio ambiente se provocó una oxidación de una manera acelerada en los mismos, por lo que se debe tomar en cuenta si se va a reutilizar la misma estructura.

RECOMENDACIONES

1. El tiempo de sofocación del incendio es crítico para la formación de austenita; en este caso después de llegar a 900°C se mantuvo la temperatura durante 15 minutos sin producir cambios importantes, por lo que se recomienda tomar esto en consideración para la evaluación de una estructura que ha sufrido el siniestro.
2. Se recomienda prestar servicios de ENDs utilizando el equipo de ultrasonido a fin de generar ingresos para la carrera.
3. El equipo de ultrasonido puede ser usado con fines didácticos, para profundizar en el análisis de materiales que presenten discontinuidades internas.
4. Para tener un mejor control sobre tiempos y temperaturas se podría realizar las pruebas en un horno, ya que a más de disminuir el tiempo para llegar a las temperaturas deseadas, se puede conseguir un calentamiento más uniforme en las probetas.
5. El uso de material que contenga níquel ayuda a evitar la corrosión especialmente en estructuras que estén a la intemperie además ayuda a soportar un cambio brusco de temperaturas, aunque el costo aumenta en \$80 aproximadamente por plancha soldada.