

**RESPUESTA DE UN ACERO ESTRUCTURAL SOMETIDO A UNA
CARGA MECÁNICA Y A FUEGO**

Por:

**DIANA ALEJANDRA TORRES RONCANCIO
JHON JAIRO SAAVEDRA SUAREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

Informe Final de Trabajo de Grado en la Modalidad Investigación
**RESPUESTA DE UN ACERO ESTRUCTURAL SOMETIDO A UNA
CARGA MECÁNICA Y A FUEGO**

**DIANA ALEJANDRA TORRES RONCANCIO
JHON JAIRO SAAVEDRA SUAREZ**

Trabajo de Grado presentado como Requisito
Parcial para optar por el Título de Ingeniero Civil

Director:

Ph D. RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2013**

Dedicatoria

*A Dios y a mi familia por su ayuda, su amor y por darme la fuerza necesaria para continuar
ante todas las adversidades,*

*A Jhon Jairo por su compañía y su ayuda en el transcurso de mi carrera,
Y a Luis Hernando García por su generoso corazón.*

Diana Alejandra Torres Roncancio

Dedicatoria

*A mis padres por su apoyo,
a mi hermana Tatiana por la alegría que me brinda cada día
y a Diana Alejandra por su paciencia y su comprensión en el transcurso de mi
carrera.*

Jhon Jairo Saavedra Suarez

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. METODOLOGIA.....	14
1.1 Especímenes de prueba	14
1.2 Adaptación de la máquina de ensayo.....	16
1.3 Horno y método de calentamiento.....	16
1.4 Medición de deformaciones.....	18
1.5 Ensayos de tracción de las probetas a diferentes temperaturas.....	18
2. RESULTADOS Y DISCUSION	18
2.1 Comportamiento esfuerzo vs deformación a diferentes temperaturas.....	18
2.2 Variación en la resistencia con el aumento de la temperatura.....	19
2.3 Factores de reducción de resistencia con el aumento de la temperatura.....	20
3. CONCLUSIONES.....	21
4. AGRADECIMIENTOS.....	21
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA.....	21

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Distribución de las probetas para ensayos.....	15
Tabla 2.	Variación de las propiedades mecánicas del acero A572 G50 con el aumento de la temperatura.....	20
Tabla 3.	Coefficientes de reducción de resistencia con el incremento de la temperatura.....	20

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Dimensiones geométricas probetas tipo (cotas en mm).....	15
Figura 2.	Proceso de maquinado en frío con Fresadora CNC (Control Numérico por Computadora).....	15
Figura 3.	Probetas maquinadas.....	15
Figura 4.	Marcas de cromo que delimitan la longitud efectiva de la probeta.....	15
Figura 5.	Ensayo en probetas preliminares para observar la coloración del cromo a temperaturas elevadas.....	16
Figura 6.	Dimensionamiento y geometría de las barras, cotas en milímetros.....	16
Figura 7.	Detalle orificios de las barras, cotas en milímetros.....	16
Figura 8.	Detalles del dispositivo de ensayo.....	17
Figura 9.	Detalle del sistema de calentamiento.....	17
Figura 10.	Curva de calentamiento, Norma ISO 834-1.....	17
Figura 11.	Detalle ubicación cámara.....	18
Figura 12.	Curvas de calentamiento de los especímenes.....	18
Figura 13.	Determinación de la longitud efectiva en píxeles por medio de la aplicación "imtool".....	18
Figura 14.	Gráficas carga-desplazamiento de los ensayos a diferentes temperaturas.....	19
Figura 15.	Gráficas esfuerzo-deformación acero A572 G50 a diferentes temperaturas.....	19
Figura 16.	Gráficas esfuerzo-deformación acero A572 G50 a diferentes temperaturas, detalle zona lineal.....	19
Figura 17.	Falla de los especímenes sometidos a tracción a diferentes temperaturas.....	19
Figura 18.	Variación del coeficiente de reducción del módulo de elasticidad del acero A572 G50 con el aumento de temperatura.....	20
Figura 19.	Variación del coeficiente de reducción del esfuerzo de fluencia del acero A572 G50 con el aumento de temperatura.....	21
Figura 20.	Variación del coeficiente de reducción del esfuerzo último del acero A572 G50 con el aumento de temperatura.....	21

RESUMEN EJECUTIVO DEL TRABAJO DE GRADO

Título	RESPUESTA DE UN ACERO ESTRUCTURAL SOMETIDO A UNA CARGA MECÁNICA Y A FUEGO*
Autores	Diana Alejandra Torres Roncancio** Jhon Jairo Saavedra Suarez**
Palabras Claves	Fuego, Acero, Esfuerzo de fluencia, Módulo de elasticidad y Esfuerzo último.

Resumen

La seguridad humana en caso de incendio es una de las consideraciones primordiales en el diseño de los edificios residenciales, públicos e industriales. El deterioro y la disminución de resistencia de los elementos estructurales, por causa del fuego, se vuelve un factor determinante porque en el evento de su falla la estructura puede colapsar. Por otra parte, el acero es quizás el material de construcción que más se ve afectado por el fuego, por tanto los elementos estructurales de este material serán un punto crítico en la estructura.

En éste trabajo se determinó el esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad y esfuerzo último del acero A572 Grado 50, uno de los aceros comúnmente usados en perfiles de estructuras metálicas en Colombia, mediante ensayos de tracción a diferentes temperaturas: 20, 200, 300, 400, 540, 640 y 740 °C, siguiendo la curva de calentamiento ISO 834-1. Adicionalmente se proponen coeficientes de reducción de resistencia del acero en función de la temperatura mediante el análisis de las gráficas de esfuerzo-deformación obtenidas para cada una de las pruebas y posteriormente se comparan con los proporcionados por el Eurocódigo y El Instituto Americano de Construcción en Acero AISC.

*Trabajo de grado desarrollado en la modalidad de investigación

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: PhD. Ricardo Cruz Hernandez.

ABSTRACT OF THE UNDERGRADUATE PROJECT

Title RESPUESTA DE UN ACERO ESTRUCTURAL SOMETIDO A UNA CARGA MECÁNICA Y A FUEGO*

Authors Diana Alejandra Torres Roncancio**
Jhon Jairo Saavedra Suarez**

Key Words Fire, Steel, Yield stress, Elasticity modulus and Ultimate stress.

Abstract

Human security in case of fire is a primary consideration in the design of residential, public and industrial. The deterioration and decreased resistance of structural elements, because of the fire, it becomes a factor because in the event of its failure the structure may collapse. Moreover, the steel is perhaps the most building material affected by the fire, so the structural elements of this material will be a critical point in the structure.

In this research is determined the yield stress, elasticity modulus and ultimate stress of the steel A572 Grade 50, one of the most commonly steels used in metal structures profiles in Colombia, through tensile tests at different temperatures: 20, 200, 300, 400, 540, 640 and 740 ° C according to the ISO 834-1 heating curve. Additionally are proposed reduction coefficients of resistance of the steel with those provided by Eurocode 3 and the American Institute Steel Construction AISC depending on the temperature through the analysis of the stress-strain graphs obtained for every test and then compared.

*Final undergraduate Project developed in the research modality.

** Physics Mechanical Engineering Faculty, Civil Engineering School. Director: Ph D. Ricardo Cruz Hernandez.

RESPUESTA DE UN ACERO ESTRUCTURAL SOMETIDO A UNA CARGA MECÁNICA Y A FUEGO

DIANA ALEJANDRA TORRES RONCANCIO, JHON JAIRO SAAVEDRA SUAREZ y RICARDO CRUZ HERNANDEZ

RESUMEN

En éste trabajo se determinó el esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad y esfuerzo último del acero A572 Grado 50, uno de los aceros comúnmente usados en perfiles de estructuras metálicas en Colombia, mediante ensayos de tracción a diferentes temperaturas: 20, 200, 300, 400, 540, 640 y 740 °C, siguiendo la curva de calentamiento ISO 834-1 [1]. Adicionalmente se proponen coeficientes de reducción de resistencia del acero en función de la temperatura mediante el análisis de las gráficas de esfuerzo-deformación obtenidas para cada una de las pruebas y posteriormente se comparan con los proporcionados por el Eurocódigo [2] y El Instituto Americano de Construcción en Acero AISC [3].

PALABRAS CLAVE: Fuego, Acero, Esfuerzo de fluencia, Módulo de elasticidad y Esfuerzo último.

ABSTRACT

In this research is determined the yield stress, elasticity modulus and ultimate stress of the steel A572 Grade 50, one of the most commonly steels used in metal structures profiles in Colombia, through tensile tests at different temperatures: 20, 200, 300, 400, 540, 640 and 740 ° C according to the ISO 834-1 heating curve [1]. Additionally are proposed reduction coefficients of resistance of the steel depending on the temperature through the analysis of the stress-strain graphs obtained for every test and then compared with those provided by Eurocode 3 [2] and the American Institute Steel Construction AISC [3].

KEYWORDS: Fire, Steel, Yield stress, Elasticity modulus and Ultimate stress.

INTRODUCCIÓN

La seguridad humana en caso de incendio es una de las consideraciones primordiales en el diseño de edificaciones residenciales, públicas e industriales. El deterioro y la disminución de resistencia de los elementos estructurales por causa del fuego son factores importantes a determinar porque son las posibles causas del colapso de la estructura.

Por otra parte, el acero es quizás el material de construcción que más se ve afectado por el fuego puesto que sufre unas pérdidas significativas en su resistencia al exponerse a un aumento considerable de temperatura [2] [3], por tanto los elementos estructurales de este material serán un punto crítico.

El objetivo de este trabajo es evaluar experimentalmente la respuesta del acero estructural A572 Grado 50, al ser expuesto simultáneamente a una carga mecánica y a fuego. Para lograr esto, se propuso realizar ensayos de tracción a diferentes temperaturas para determinar los esfuerzos y las

deformaciones ante éstas solicitaciones; establecer los cambios con respecto al comportamiento a temperatura ambiente del módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y esfuerzo último; y proponer coeficientes de reducción de resistencia que permitan tener en cuenta condiciones de incendio en el diseño de las estructuras metálicas.

1. METODOLOGIA

Este proyecto se desarrolló llevando a cabo las siguientes actividades: diseño y maquinado de especímenes de prueba, adecuación de la máquina de ensayo, elaboración de un horno y método de calentamiento, desarrollo de un sistema para la medición de deformaciones y ensayos de tracción de las probetas a diferentes temperaturas.

1.1 Especímenes de prueba

Con base en las recomendaciones dadas en la norma ASTM E8/E8M [4] se determinó la geometría de las probetas (Figura 1). Los especímenes de prueba son

extraídos del alma de un perfil C6x8.2 de acero A572 G50, y maquinados en frío mediante el empleo de una Fresadora CNC (Control Numérico por Computadora), la cual proporciona una precisión de 1 μm (Figura 2).

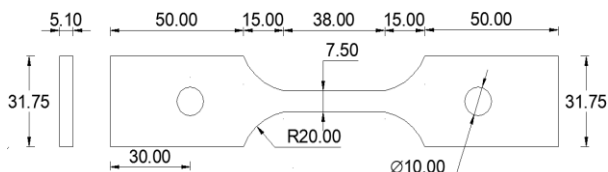


Figura 1. Dimensiones geométricas probetas tipo (cotas en mm).

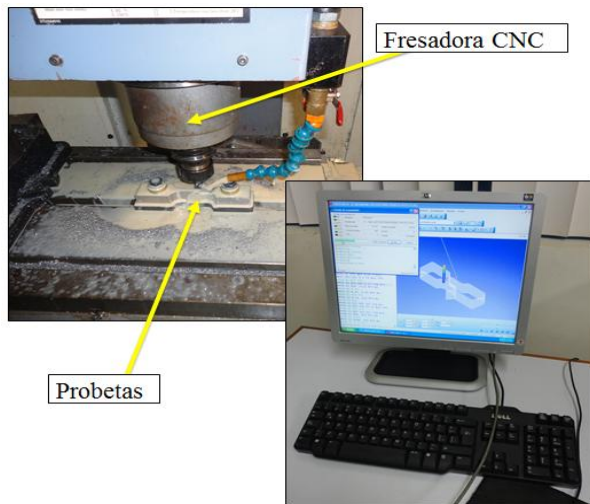


Figura 2. Proceso de maquinado en frío con Fresadora CNC (Control Numérico por Computadora)

Para las pruebas se maquinaron un total de 20 especímenes (figura 3) de los cuales se seleccionaron 14 con el fin de realizar 2 ensayos para cada temperatura de análisis como se muestra en la distribución de la tabla 1.

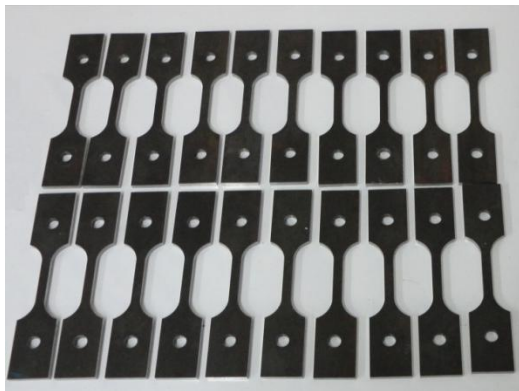


Figura 3. Probetas maquinadas.

Tabla 1. Distribución de las probetas para ensayos.

Temperaturas de exposición °C	Numero de probetas
T. Ambiente Aprox. 20	2
200	2
300	2
400	2
540	2
640	2
740	2
Total probetas	14

Para delimitar la longitud efectiva de las probetas, éstas se marcan con dos líneas de cromo ubicadas a 15 milímetros de su centro (Figura 4).

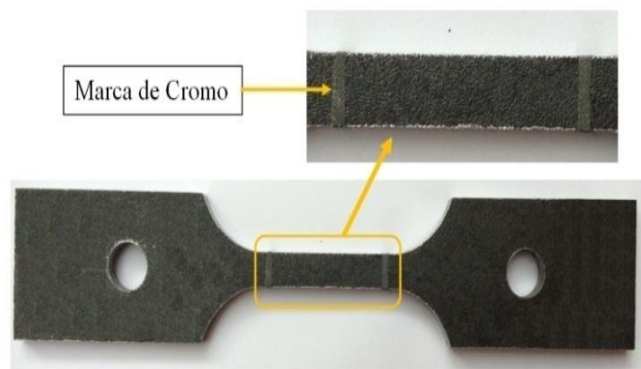


Figura 4. Marcas de cromo que delimitan la longitud efectiva de la probeta.

El cromo se usa para marcar las probetas porque es un material que posee un alto punto de fusión y ebullición, y a temperaturas elevadas toma un color característico que lo hace fácilmente identificable. El cromado de las probetas se desarrolla mediante las siguientes fases: las probetas se recubren con cinta aislante a excepción de las dos líneas de aproximadamente 3 mm de espesor que delimitan la longitud efectiva, ésta pequeña zona no recubierta es desengrasada para retirar las impurezas superficiales con ácido clorhídrico; posteriormente se sumergen en ácido crómico y se induce una baja corriente para que por medio de la galvanoplastia se deposite una fina capa de cromo en su superficie. Se realizan ensayos para observar el contraste de las marcas al hacer incidir la llama en el espécimen, ya que se implementará un sistema de medición de deformaciones óptico y se requiere que al tornarse el acero rojizo se observen con claridad los límites de la longitud efectiva (figura 5).

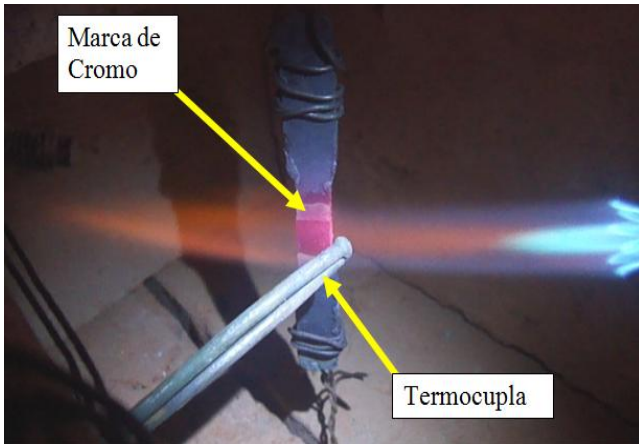


Figura 5. Ensayo en probetas preliminares para observar la coloración del cromo a temperaturas elevadas.

1.2 Adaptación de la máquina de ensayo

En las figura 6 y 7 se muestra el dimensionamiento y la geometría de las barras.

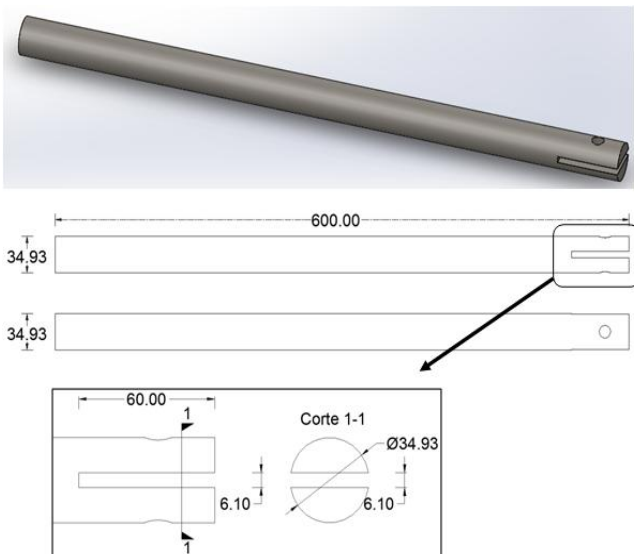


Figura 6. Dimensionamiento y geometría de las barras, cotas en milímetros.

Para transmitir la carga al espécimen se usan dos barras de acero de alta resistencia que se conectan a las probetas por medio de pernos. Debido a la aplicación de fuego es necesario proteger la máquina de ensayos, para lo cual se realizaron pruebas que permitieron encontrar experimentalmente la temperatura que llega a un extremo de una barra al calentarla en el otro hasta los 740 °C. Se usaron barras lisas de diámetro de 1 3/8 de pulgada y de

longitudes de 400 y 500 mm. Estas pruebas se realizan en condiciones similares a las de los ensayos de tracción. Los resultados muestran que después de 30 minutos a 740 °C, la temperatura máxima registrada en el extremo opuesto de la barra de 400 mm es de alrededor de 100 °C y para la de 500 mm es de 60 °C. Debido a que la temperatura máxima que puede llegar a las mordazas de la maquina es de 65 °C, según especificaciones del fabricante, y que las mordazas tienen una longitud de agarre aproximada de 100 mm, se decide usar dos barras de longitud de 600 mm y un diámetro de 1 3/8 de pulgada para sujetar el espécimen.

La barra superior se diseña con un orificio de diámetro mayor al del perno, con el fin de permitir el movimiento en la vertical cuando inicie la dilatación térmica del espécimen (Ver figura 7).

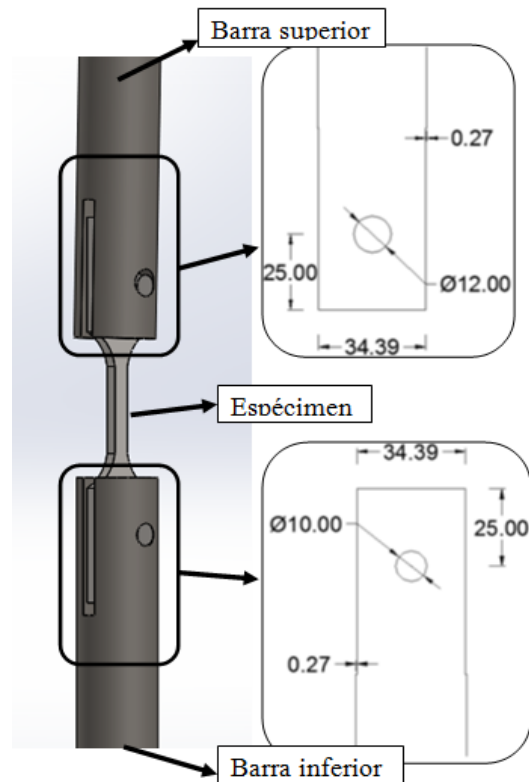


Figura 7. Detalle orificios de las barras, cotas en milímetros.

1.3 Horno y método de calentamiento

El horno consiste en un elemento en forma de cubo construido con material refractario y recubierto con un mortero aislante térmico. Consta de dos orificios en su parte superior e inferior respectivamente, que permiten el paso de las barras perfectamente

alineadas que sujetan el espécimen y a la vez le transmiten la carga de tensión proporcionada por la máquina de ensayos de tracción (MTS 647 HIDRAULIC WEDGE GRIP MODEL 647.50^a) como se muestra en la figura 8. El horno también cuenta con una abertura en su parte frontal que permite la observación directa de la probeta. La temperatura es proporcionada al espécimen por una llama alimentada con gas propano lograda mediante una boquilla.

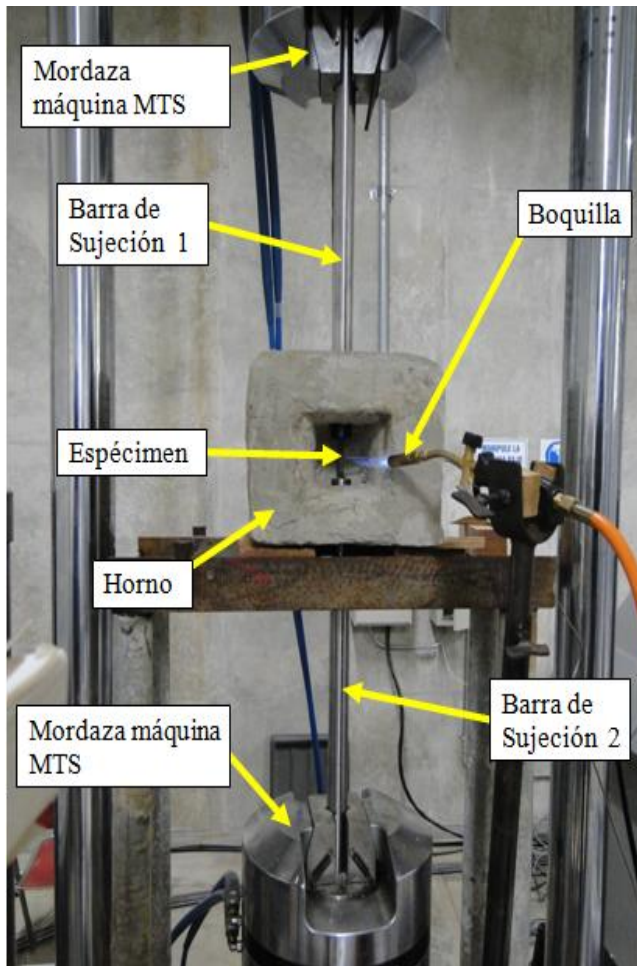


Figura 8. Detalles del dispositivo de ensayo.

Para controlar la temperatura en el espécimen se utiliza una termocupla tipo K (Figura 9), ubicada en su centro geométrico, conectada a un computador a través de una tarjeta de adquisición de datos. Por medio de una programación en LabView 8.5 es posible determinar la temperatura de la llama que se hace incidir sobre el espécimen y la termocupla. Controlando la intensidad de la salida de gas de forma manual se sigue la curva de calentamiento propuesta en la Norma ISO 834-1 [1] (Figura 10), la cual representa la variación de la temperatura en un incendio.

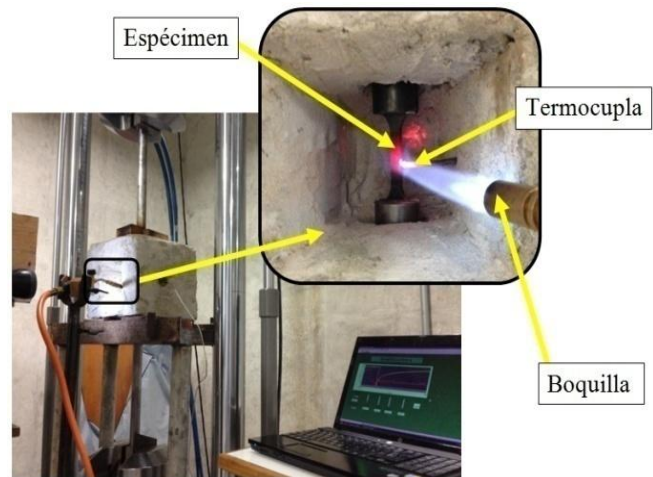


Figura 9. Detalle del sistema de calentamiento.

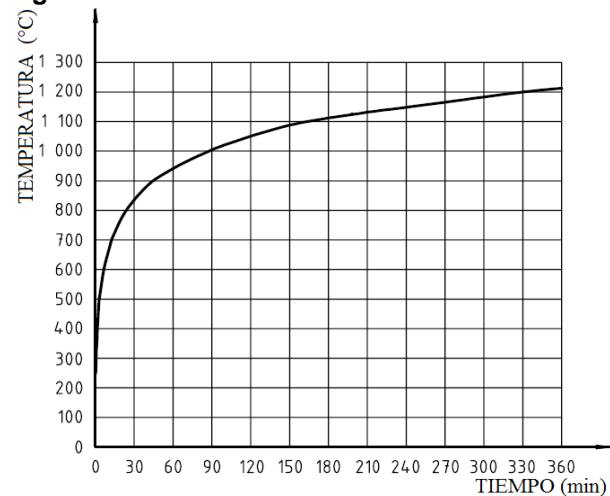


Figura 10. Curva de calentamiento, Norma ISO 834-1 [1].

Es relevante definir la metodología de ensayo que represente las condiciones de incendio de forma adecuada. Según investigaciones anteriores desarrolladas por [5] se han identificado dos formas de realizar el ensayo de tracción del acero teniendo en cuenta la variación de la temperatura, una es en estado estacionario y la otra es en estado transitorio. En la prueba en estado transitorio se mantiene la carga constante y se incrementa la temperatura hasta llevar el espécimen a la rotura, y en la prueba en estado estacionario se incrementa la temperatura en el espécimen hasta la de análisis, se mantiene constante y posteriormente se empieza aplicar carga hasta la rotura. Para el desarrollo de esta investigación, las pruebas se realizan en el estado estacionario, que es el método que mejor se adecua a las condiciones deseadas.

1.4 Medición de deformaciones

La metodología usada para medir la deformación, se basa en la toma de fotografías de la longitud efectiva de cada probeta, delimitada por las marcas de cromo, capturadas cada 3 segundos con una cámara de alta resolución que durante todo el ensayo permanece inmóvil (Figura 11). En las fotografías se enfoca una longitud vertical aproximada de 40 mm, en la cual se encuentran los 30 mm de longitud efectiva de los especímenes, y mediante el uso del programa Matlab se determina la cantidad de píxeles comprendida entre las dos marcas de cromo. La cámara usada proporciona una resolución máxima de 5184 píxeles en la misma dirección de los 40 mm. De este modo es posible conocer la medida en píxeles de la longitud efectiva de la probeta cada 3 segundos desde el momento en el cual empieza cada uno de los ensayos. Debido a que en cada fotografía los 5184 píxeles equivalen a aproximadamente 40 mm, cada píxel tiene una longitud de alrededor de 7.7 micras, lo cual permite tomar una cantidad suficiente de fotografías antes de la deformación de fluencia esperada según lo encontrado en literatura revisada [2] [3]. Posteriormente estas tomas se sincronizan con los datos de fuerza que proporciona la máquina de ensayo para cada instante de las pruebas y se establece la relación que permite construir las gráficas de esfuerzo deformación.

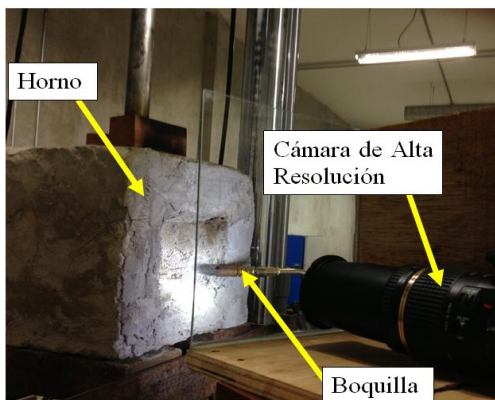


Figura 11. Detalle ubicación cámara.

1.5 Ensayos de tracción de las probetas a diferentes temperaturas

Cada prueba empieza con el calentamiento del espécimen siguiendo la curva de la Norma ISO 834-1[1] hasta la temperatura de análisis como se muestra en la figura 12; posteriormente esta temperatura se mantiene constante durante 10 minutos, tiempo en el cual se espera que las deformaciones por dilatación térmica finalicen o tiendan a cero. A continuación se

inicia simultáneamente con el protocolo de carga, siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM E8/E8M [4], y la toma de fotografías programadas cada 3 segundos, hasta llevar la probeta a la rotura.

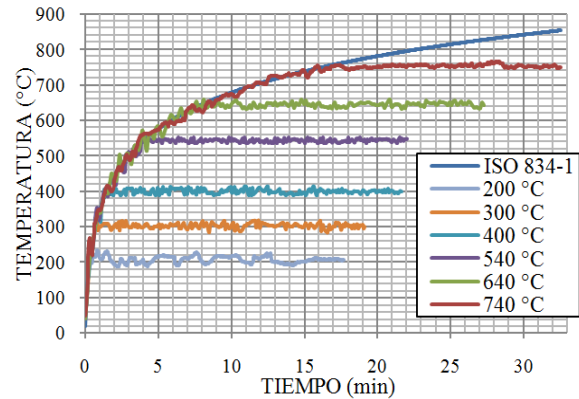


Figura 12. Curvas de calentamiento de los especímenes.

2. RESULTADOS Y DISCUSION

2.1 Comportamiento esfuerzo vs deformación a diferentes temperaturas.

Analizando las fotografías de la longitud efectiva de las probetas a través de la aplicación “imtool” del programa Matlab (Figura 13), y los datos de carga-desplazamiento proporcionados por la máquina de ensayos (Figura 14) se determinan las gráficas esfuerzo deformación del acero A572 G50 al ser sometido a diferentes temperaturas; 20, 200, 300, 400, 540, 640 y 740 °C (Figura 15).

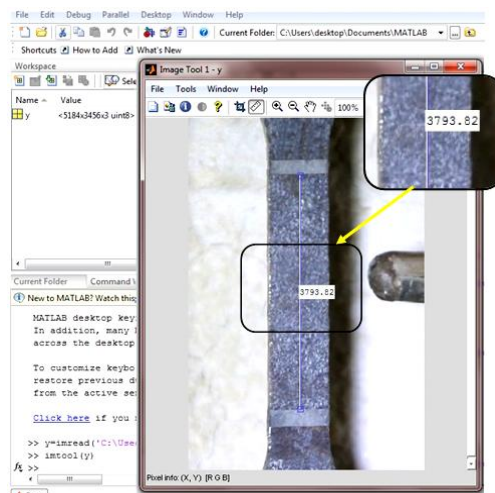


Figura 13. Determinación de la longitud efectiva en píxeles por medio de la aplicación “imtool”.

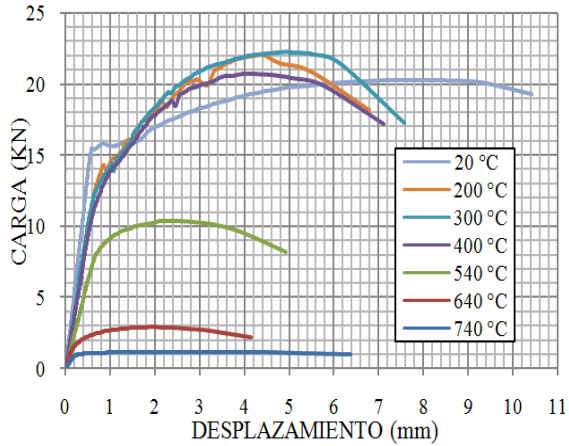


Figura 14. Gráficas carga-desplazamiento de los ensayos a diferentes temperaturas.

Las gráficas de carga-desplazamiento muestran que la menor resistencia del acero se reporta a los 740 °C y que a temperaturas mayores a 400 °C la resistencia decae abruptamente.

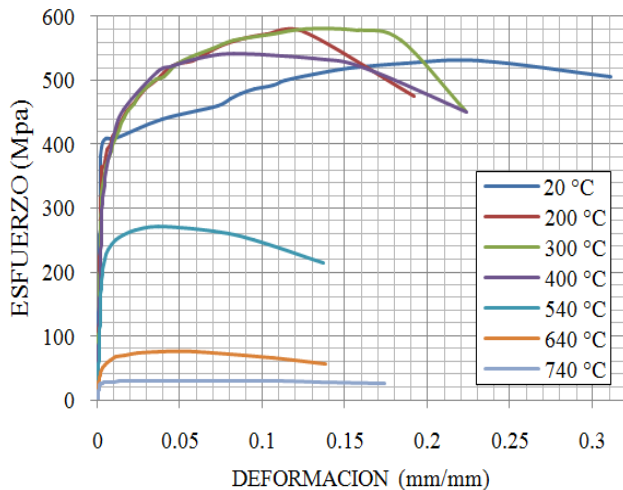


Figura 15. Gráficas esfuerzo-deformación acero A572 G50 a diferentes temperaturas.

Al analizar las curvas de esfuerzo- deformación se observa que a los 540 °C su resistencia correspondiente se reduce prácticamente a la mitad al compararla con la curva obtenida a temperatura ambiente. También se aprecia la disminución en la energía absorbida (tenacidad) en los ensayos debido al incremento de temperatura.

En la figura 16 se aprecia la disminución de la pendiente en la zona elástica (módulo de elasticidad) y del límite de proporcionalidad debido al aumento de la temperatura.

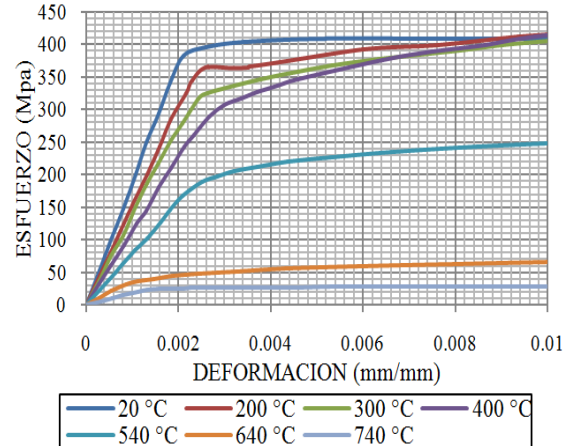


Figura 16. Gráficas esfuerzo-deformación acero A572 G50 a diferentes temperaturas, detalle zona lineal.

2.2 Variación en la resistencia con el aumento de la temperatura.

La figura 17 muestra la falla de los especímenes ensayados. Es posible observar que todos presentaron un acuellamiento antes de la rotura, lo que indica la falla dúctil del material y que el mayor alargamiento se presenta en el ensayo a temperatura ambiente. También se aprecia que la probeta ensayada a 200 °C presenta la fractura fuera de las marcas; sin embargo, los dos ensayos realizados a esta temperatura tuvieron el mismo tipo de falla. Este comportamiento en aceros estructurales a 200°C ha sido reportado por [5].

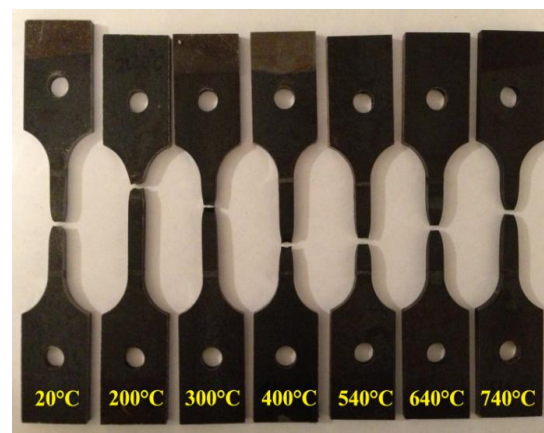


Figura 17. Falla de los especímenes sometidos a tracción a diferentes temperaturas.

El análisis de las gráficas de esfuerzo deformación obtenidas permite determinar los valores del módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y esfuerzo último, para cada temperatura. En la tabla 2 se muestra como

varían estas propiedades con respecto a la temperatura ambiente.

Tabla 2. Variación de las propiedades mecánicas del acero A572 G50 con el aumento de la temperatura.

Temperatura (°C)	E (Mpa)	fy (Mpa) (Offset = 0.2%)	fu (Mpa)
20	187195.52	403.66	530.04
200	153323.73	365.04	576.30
300	137083.89	356.04	580.04
400	113902.17	346.83	542.25
540	78584.43	219.42	271.41
640	38058.02	51.51	75.62
740	18651.71	26.88	30.32

A los 740 °C, la disminución en las propiedades mecánicas del acero A572 G50 resulta menor que el 10% de la determinada a temperatura ambiente, lo cual es bastante significativo.

2.3 Factores de reducción de resistencia con el aumento de la temperatura.

Calculando las relaciones K_{ET} , K_{fyT} y K_{fuT} , mostradas en la ecuaciones 1, 2 y 3 respectivamente, se obtienen coeficientes que pueden ser usados para determinar la resistencia del acero sometido a las temperaturas estudiadas y además permiten realizar los cálculos estructurales teniendo en cuenta la pérdida de resistencia del material en un incendio.

$$K_{ET} = \frac{E_T}{E_{20}} \quad (1)$$

$$K_{fyT} = \frac{f_{yT}}{f_{y20}} \quad (2)$$

$$K_{fuT} = \frac{f_{uT}}{f_{u20}} \quad (3)$$

Donde E_{20} , f_{y20} y f_{u20} son el módulo de elasticidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último a una temperatura ambiente aproximada de 20 °C respectivamente, y E_T , f_{yT} y f_{uT} son el módulo de elasticidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último a una temperatura T.

En la tabla 3 se presentan los coeficientes de reducción de la resistencia para cada una de las temperaturas evaluadas. Las gráficas de las figuras

18, 19 y 20 muestran los coeficientes obtenidos y los suministrados por el Eurocódigo [2] y el AISC [3].

Al comparar las gráficas con las propuestas por el Eurocódigo [2] y el Instituto Americano de Construcción en Acero AISC [3], se puede observar que los resultados presentan una tendencia similar, aunque los valores difieren. Del mismo modo en otras investigaciones realizadas por [5] [6] [7] y [8] para otros aceros estructurales, se presentaron diferencias con los valores propuestos por las normas.

Tabla 3. Coeficientes de reducción de resistencia con el incremento de la temperatura.

Temperatura (°C)	K_{ET}	K_{fyT}	K_{fuT}
20	1.00	1.00	1.00
200	0.82	0.90	1.09
300	0.73	0.88	1.09
400	0.61	0.86	1.02
540	0.42	0.54	0.51
640	0.20	0.13	0.14
740	0.10	0.07	0.06

En la tabla 3 se observa que a los 540°C el módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último del acero han disminuido aproximadamente un 50%.

Las pruebas demostraron que el esfuerzo de fluencia y el módulo de elasticidad disminuyen con el incremento de la temperatura. También se observa que para temperaturas menores a los 400 °C se presenta un aumento en la resistencia a la tracción, este fenómeno también se ha encontrado en investigaciones de otros aceros realizadas por [6] y [9]. Para temperaturas mayores a 400 °C la resistencia a la tracción disminuye.

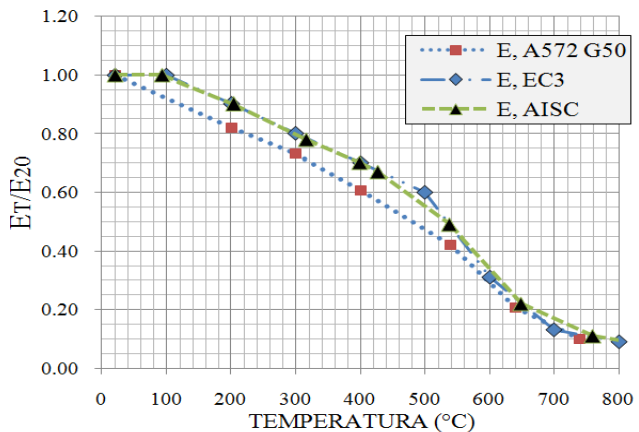


Figura 18. Variación del coeficiente de reducción del módulo de elasticidad del acero A572 G50 con el aumento de temperatura.

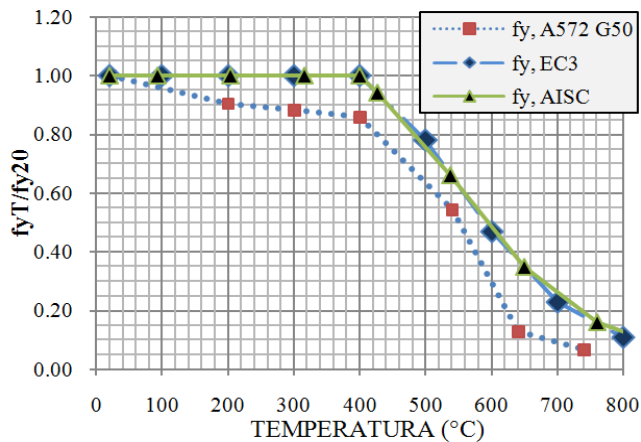


Figura 19. Variación del coeficiente de reducción del esfuerzo de fluencia del acero A572 G50 con el aumento de temperatura.

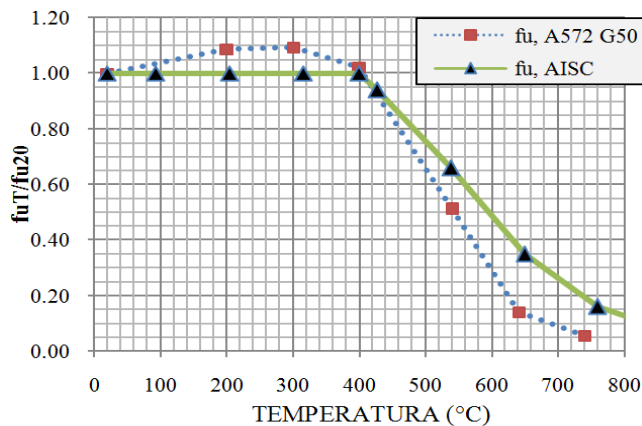


Figura 20. Variación del coeficiente de reducción del esfuerzo último del acero A572 G50 con el aumento de temperatura.

3. CONCLUSIONES

Este documento presenta un estudio experimental que permite determinar las propiedades mecánicas del acero A572 G50 en condiciones de incendio mediante la realización de las gráficas de esfuerzo-deformación para temperaturas que van desde los 20 °C hasta los 740 °C. También se muestran los cambios en el módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y esfuerzo último, con respecto a los determinados a temperatura ambiente y propone coeficientes de reducción de resistencia en función de la temperatura.

La resistencia a la tracción, f_u a los 200 y 300°C aumenta, sin embargo al evaluar el comportamiento

del esfuerzo de fluencia, el módulo de elasticidad y la resistencia a la tracción para temperaturas superiores a los 400 °C, resulta evidente que el acero A572 G50 presenta pérdidas considerables en su resistencia.

Los factores de reducción de resistencia determinados en esta investigación permiten obtener el módulo de elasticidad, el esfuerzo de fluencia y el esfuerzo último del acero A572 G50 a las temperaturas analizadas. Con las gráficas obtenidas se pueden determinar las propiedades mecánicas del acero sometido a otras temperaturas.

A partir de los 400 °C aproximadamente el esfuerzo de fluencia presenta un comportamiento crítico en situación de incendio y su coeficiente de reducción decrece rápidamente.

El acero presenta una mayor resistencia a la tracción entre la temperatura ambiente y los 400°C. De este punto en adelante se produce una fuerte disminución de ésta propiedad.

Con el aumento de la temperatura disminuye el módulo de elasticidad, esto ocasiona la pérdida de soporte de carga de las estructuras de acero de manera significativa ya que este es un factor muy importante que influye en su rigidez.

Finalmente se dispone de una metodología para evaluar las propiedades mecánicas del acero sometido a altas temperaturas y un método para la medición de deformaciones sin tener contacto directo con los especímenes.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a: la Universidad Industrial de Santander, la Escuela de Ingeniería Civil por el apoyo técnico brindado, al grupo de investigación INME, a la profesora Luz Amparo Quintero, a los profesores Jaime Meneses y Jorge Meneses, al ingeniero Daniel Hernández, al diseñador gráfico Germán Quiñones y al laboratorista Jaime Cadena.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- [1] International Standard ISO 834-1, page 12
- [2] European Committee for Standardization (ECS); Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1.2: General rules – structural fire design, Brussels, 2011.

- [3] AISC, Specification for Structural Steel Buildings, American Institution of Steel Construction, Chicago, 2005.
- [4] Standard test methods for tension testing of metallic materials designation: E8/E8M – 09.
- [5] Xuhong Qiang, Frans S. K. Bijlaard, Henk Kolstein; Elevated- temperature mechanical properties of high strength structural steel S460N: Experimental study and recommendations for fire – resistance design. Fire Safety Journal 55 (2013) 15 – 21.
- [6] Nirosha Dolamune Kankanamge, Mahen Mahendran; Mechanical properties of cold – formed steels at elevated temperatures. Thin – Walled Structures 49 (2011) 26 – 44.
- [7] J. Lange N. Wohlfeil Examination of the mechanical properties of the microalloyed grain refined steel S460 at elevated temperatures, Bautechnik 84 (2007) 711–720.
- [8] Aldina Santiago, Diogo Martins, Pedro Barata, Sandra Jordao; Propriedades mecânicas do aço a temperaturas elevadas, 2do CILASCI (II Congresso Ibero-Latino Americano de Segurança contra Incêndios), Coimbra, Portugal, Mayo 2013; Volumen 1, pag. 439 – 448.