

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
CON DIFERENTES PROTECCIONES DE SUPERFICIE FRENTE A EL FUEGO**

TANIA ALEXANDRA ORTIZ DÍAZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
CON DIFERENTES PROTECCIONES DE SUPERFICIE FRENTE A EL FUEGO**

TANIA ALEXANDRA ORTIZ DÍAZ

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Director:

Ing. Civil, PhD RICARDO ALFREDO CRUZ HERNÁNDEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2013

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	15
1.2 MORTEROS IGNIFUGOS	18
1.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACION DE LOS MORTEROS	20
1.4 ESTRUCTURAS METÁLICAS:	23
1.4.1 Acero.	24
1.4.2 Efectos del calor en el acero estructural.	24
1.4.3 Curva de incendio normalizado ISO 834.	25
2. METODOLOGÍA	27
2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	28
2.2 DISEÑOS EXPERIMENTALES	28
2.3 ADQUISICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS	29
2.3.1 Materiales	29
2.3.2 Equipos e instrumentos	34
2.4 PREPARACION DE LAS PROBETAS	37
2.4.1 Elaboración de probetas.	38
2.4.2 Fraguado y curado de las probetas.	39
2.5 EXPOSICIÓN ANTE EL FUEGO.	40
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
3.1 COMPARACIÓN BENEFICIO - COSTO	42
3.2 EXPOSICIÓN ANTE EL FUEGO DE LAS PROBETAS	43
3.2.1 Curva de calentamiento de las probetas.	43

3.2.2 Pesos probetas	46
3.3 COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LOS DIFERENTES MATERIALES	49
4. CONCLUSIONES	52
5. RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFÍA	55

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de morteros ignífugos dosificación y espesor.	19
Tabla 2. Materiales utilizados en la realización de las probetas.	29
Tabla 3. Equipos utilizados en la realización del ensayo.	34
Tabla 4. Dosificación Probetas	38
Tabla 5. Precios aditivos de morteros ignífugos	42
Tabla 6. Identificación de las termocuplas.	43
Tabla 7. Pesos antes del fuego	46
Tabla 8. Pesos antes del fuego	46
Tabla 9. Pérdidas de peso	47
Tabla 10. Comparacion temperaturas termocupla 2	49
Tabla 11. Comparacion temperaturas termocupla 3	50
Tabla 12. Comparacion temperaturas termocupla 4	51

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Tipos de Protección pasiva contra el fuego	17
Figura 2. Mortero Ignifugo	18
Figura 3. Perlita	21
Figura 4. Planta Alto Horno alimentada con Carbón.	22
Figura 5. Curva de incendio normalizada	26
Figura 6. Diagrama de flujo metodología.	27
Figura 7. Especificaciones Técnicas Cemento	30
Figura 8. Platina de acero cuadrada	31
Figura 9. Características físicas de arena gruesa	32
Figura 10. Horno con Boquilla encendida.	35
Figura 11. Termocuplas conectadas a la tarjeta de adquisición.	36
Figura 12. Balanza Electrónica	37
Figura 13. Formaleta	38
Figura 14. Mortero en el molde	39
Figura 15. Procedimiento para la exposición ante el fuego de las probetas	40
Figura 16. Gráfica temperatura Vs. Tiempo utilizando recubrimiento de mortero a base de perlita y escoria	44
Figura 17. Gráfica temperatura Vs. Tiempo utilizando recubrimiento de mortero a base de escoria	44
Figura 18. Gráfica temperatura Vs. Tiempo utilizando recubrimiento de mortero a base de perlita	45
Figura 18. Recubrimiento despues del fuego a base de perlita	47
Figura 19. Recubrimiento despues del fuego a base de perlita y escoria	48
Figura 20. Recubrimiento despues del fuego a base de escoria	48

Figura 21. Comparacion de los recubrimientos con la temperatura obtenida en la termocupla 2	49
Figura 22. Comparacion de los recubrimientos con la temperatura obtenida en la termocupla 3	50
Figura 23. Comparacion de los recubrimientos con la temperatura obtenida en la termocupla 4	51

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS CON DIFERENTES PROTECCIONES DE SUPERFICIE FRENTE A EL FUEGO

AUTOR: ORTIZ DIAZ, Tania Alexandra **

PALABRAS CLAVES: morteros, protección pasiva contra fuego, estructuras metálicas, perlita, escoria de alto horno.

DESCRIPCION: En esta investigación se estudia el uso de la escoria de alto horno y la perlita como constituyentes principales de morteros para utilizarlos como recubrimiento de estructuras metálicas, para su protección contra el fuego. Ya que cuando un material metálico es sometido a la acción del fuego este incrementa su temperatura a la vez que aumenta su deformabilidad, provocando una disminución en su resistencia; Se está buscando un recubrimiento que pueda controlar estos efectos a la hora de un incendio, evitando así un posible colapso en los elementos estructurales y por ende la posibilidad del derrumbe del edificio o estructura.

El mortero se ha puesto sobre placas metálicas de 3mm de espesor con tres dosificaciones diferentes. Tras su respectivo fraguado y curado las probetas son puestas en un horno y se someten a un calentamiento según la norma de resistencia al fuego ISO 834, en la cual se fijan los diferentes criterios para determinar la resistencia al fuego de los diferentes tipos de estructuras y elementos de la construcción.

Con las temperaturas obtenidas se ha podido estimar la resistencia al fuego de los diferentes recubrimientos. Los resultados muestran que los materiales utilizados para la elaboración de los morteros tienen características potenciales en la resistencia contra el fuego y se ha hecho una respectiva comparación entre los recubrimientos elaborados.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingeniería Físico-mecánicas. Escuela Ingeniería Civil UIS. Director: Ricardo Alfredo Cruz Hernández

SUMMARY

TITLE: ASSESSMENT OF THE BEHAVIOR OF STEEL STRUCTURES WITH DIFFERENT SURFACE PROTECTION AGAINST FIRE

AUTHOR: ORTIZ DIAZ, Tania Alexandra **

KEYWORDS: mortars, passive fire protection, metal structures, perlite, blast furnace slag.

DESCRIPTION: This research examines the use of blast furnace slag and perlite as main constituents of mortars for use as a coating for metal structures for protection against fire. Because when a metallic material is subjected to the action of fire this increases its temperature while increasing its deformability, causing a decrease in strength; we are looking for a coating that can control these effects at the time of a fire, preventing a possible collapse in the structural element and the possibility of the collapse of the building or structure.

The mortar has been placed on metal plates of 3 mm thick with three different dosages, one with perlite, one with blast furnace slag and another one with the mix of perlite and blast furnace slag. After their respective setting and curing the specimens are placed in an oven and subjected to heating according to the standard ISO 834 fire resistance, which are fixed in different criteria to determine the fire resistance of different types of structures and construction elements.

With temperatures has been obtained to estimate the fire resistance of different coatings. The results show that the materials used for the manufacture of mortars have characteristics Potential fire resistance and has made a comparison between the respective coatings produced.

* Grade Project

** Physical – mechanical Engineering Faculty. Civil Engineering School UIS. Director: Ricardo Alfredo Hernandez Cruz

INTRODUCCIÓN

La principal amenaza para los ocupantes de un edificio en el que ha iniciado un incendio viene representada por el humo y los gases desprendidos (que son los que ocasionan la mayor cantidad de las muertes entre los ocupantes). De igual forma el colapso de los elementos estructurales y por ende el derrumbe del edificio representa un peligro gravísimo tanto para las personas que se encuentran evacuando como para el personal de extinción. Todos los años y en todo el mundo se producen muertes de bomberos por esta causa. De aquí la importancia del tema.

Cuando un material metálico se encuentra expuesto al fuego, de forma muy rápida este incrementa su temperatura a la vez que aumenta su deformabilidad y provoca una gran disminución en su resistencia; por esta razón se busca un material que pueda ser utilizado como adhesivo para controlar estos efectos a la hora de un incendio en estructuras metálicas.

La protección pasiva contra el fuego puede entenderse como un grupo de medidas de tipo constructivo racional que se toman con el fin de disminuir la posibilidad de que un fuego se desarrolle y propague, así como asegurar la estabilidad de una instalación hasta tanto el incendio no se controle y/o extinga¹

A través de los años se han utilizado diversos métodos para atenuar el efecto del calor sobre el material ya sea de concreto o metálico; En esta oportunidad este estudio se basará en estructuras metálicas y se utilizarán morteros ignífugos que serán la forma de protección de la superficie para realizar el respectivo análisis.

¹ C. Leiva; J. Olivares; L.E. Vilches; C. Fernandez - *Coal fly ash-containing sprayed mortar for passive fire protection of Steel sections* – Universidad de Sevilla.

Se han utilizado materiales como cemento portland, ceniza volante, perlita y arena en diferentes dosificaciones y un mismo espesor para todos los ensayos, sobre placas metálicas, en el que se ha visto el comportamiento aislante de los nuevos materiales, comparando la capacidad aislante de estos productos dependiendo de sus respectivas dosificaciones, cuando se someten a las mismas condiciones experimentales.

OBJETIVO GENERAL:

Proponer alternativas de protección de superficies para atenuar el efecto del fuego en estructuras metálicas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Comparar teóricamente bajo los criterios de beneficio ante costo, tipos de recubrimiento para protección de estructuras metálicas.
- Evaluar en el laboratorio la respuesta ante el fuego de recubrimientos de superficie para elementos metálicos.
- Analizar los resultados obtenidos en el laboratorio indicando el recubrimiento más óptimo.

En el primer capítulo de este estudio se presenta el marco teórico, donde se desarrollan o explican un conjunto de conceptos y definiciones que son necesarios conocer antes de avanzar con la investigación. En el segundo capítulo se describe la metodología realizada para llevar a cabo la evaluación del comportamiento de los recubrimientos a apreciar. En el tercer capítulo se hace el análisis de los resultados obtenidos después de exponer ante el fuego las probetas.

Finalmente en el último capítulo se plasman las conclusiones obtenidas y a su vez se hacen algunas recomendaciones.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO

El objetivo principal de un sistema de protección contra incendios es que sea fiable, es decir que tenga la máxima probabilidad de un buen funcionamiento en el momento del incendio. Pero el sistema debe ser también eficaz, logrando hacer efectivo su propósito en el momento del incendio. En otras palabras, que en ese instante del incendio funcione y sirva su función, contrarrestando el incendio adecuadamente. El sistema de protección contra incendios además de que debe ser fiable y eficaz, debe poder ofrecer esta protección a un coste razonable. A esto se le llama costo-beneficio, es decir la evaluación de la conveniencia de un sistema versus otras opciones, mediante su valoración en términos monetarios y de eficiencia técnica. Estos tres objetivos, la fiabilidad, eficacia y costo-beneficio son parte de la ingeniería de todo sistema contra incendios.²

La lucha contra el incendio, tanto en sus facetas de prevención como de protección, (prevención son las medidas adoptadas para que no se produzca un incendio), se puede llevar a cabo desde dos formas: ACTIVA Y PASIVA:

- **SISTEMA DE PROTECCIÓN ACTIVA**

Incluye aquellas actuaciones que implican una acción directa, en la utilización de instalaciones y medios para la protección y lucha contra los incendios.

Por ejemplo: La evacuación, la utilización de extintores, sistemas fijos, etc.

² MONCADA. JAIME A – Fiabilidad, eficacia y costo – beneficio en sistemas contra incendios.

- **SISTEMA DE PROTECCION PASIVA**

La protección pasiva contra incendios es el proceso mediante el cual un elemento se protege contra el fuego recubriéndolo con un material que le provea un mayor aislamiento térmico³. Comprende los materiales, sistemas y técnicas, diseñados para prevenir la aparición de un incendio, impedir o retrasar su propagación, y facilitar por último su extinción.

La protección pasiva se basa fundamentalmente en la acción de elementos constructivos y arquitectónicos, que no son capaces de extinguir los incendios, pero si los puede frenar. Cuando una puerta de resistencia al fuego tarda, por ejemplo 120 minutos en consumirse, no está haciendo desaparecer la amenaza de incendio ni está extinguiendo el fuego, pero si está tratando de evitar que este se propague, de esta forma mantiene controlado el incendio durante un lapso de tiempo⁴³.

Los sistemas de protección pasiva no están diseñados para destruir o extinguir el fuego, sino para tardar en ser destruidos por él, es decir, para controlar su avance durante un tiempo determinado⁵.

Los perfiles metálicos poseen el inconveniente de la disminución de su resistencia mecánica, debido a la rapidez con que incrementan su temperatura cuando están en contacto con un foco de calor. Para evitar ésta pérdida de estabilidad, deben protegerse con alguno de los diferentes sistemas homologados existentes en el mercado, tales como pinturas intumescentes, morteros ignífugos y paneles, etc.

³ José Antonio Neira Rodríguez – *Instalaciones de protección contra incendios* – Editorial F.C.

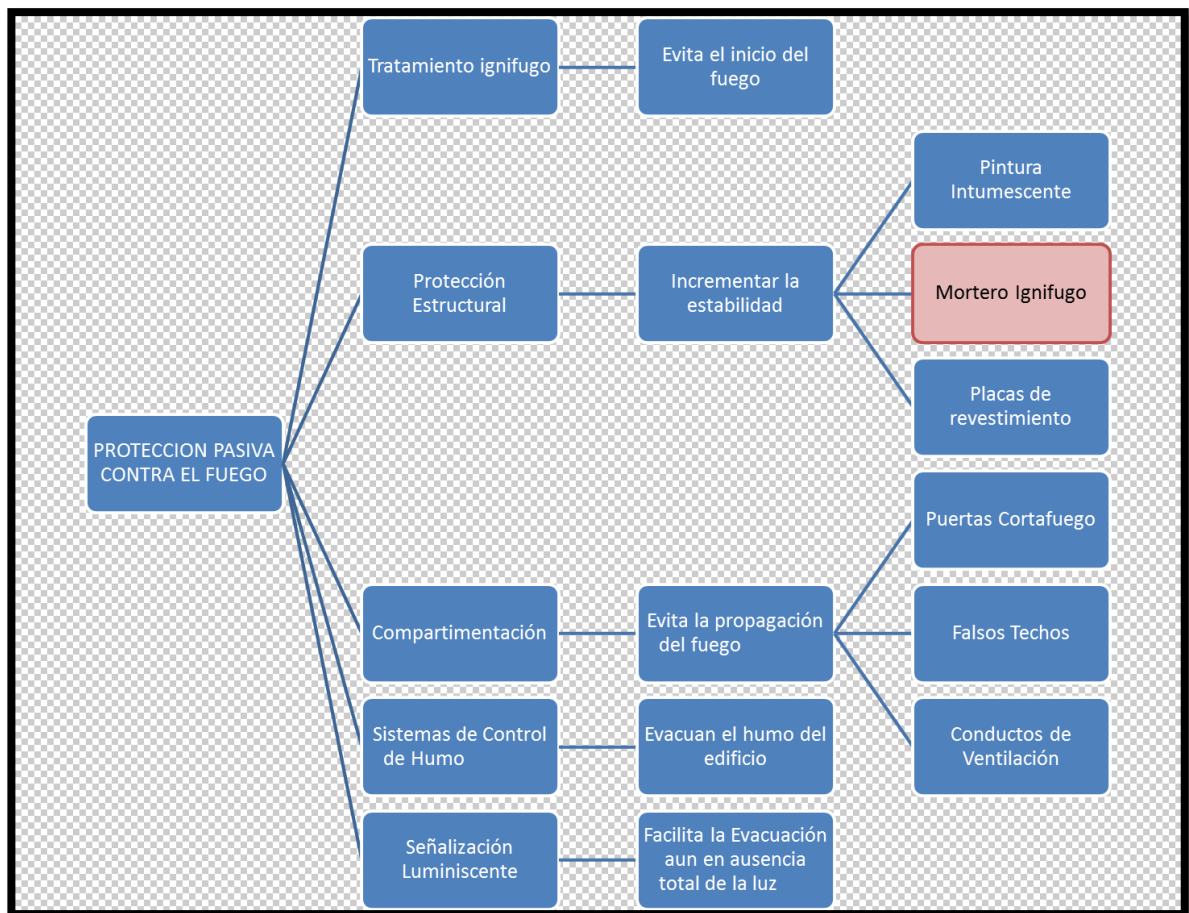
⁴ Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente - Título J, Requisitos de protección contra incendios en edificaciones.- 2010

⁵⁵ *Ibíd.*

Los sistemas de protección pasiva en edificios consisten en una serie de elementos constructivos y algunos productos especiales dispuestos para impedir el inicio del fuego, evitando que se propague, y de esta forma que afecte gravemente la estructura y permitiendo que las personas puedan evacuarlo, para ello se dispone de un tiempo necesario para evacuar el edificio, que es ni más ni menos el tiempo que ha de resistir la estructura ignifugada para que a las personas ubicadas en interior les dé tiempo a salir

A continuación se explica en la figura 1 de una mejor forma como debe ser una correcta protección pasiva contra el fuego

Figura 1. Tipos de Protección pasiva contra el fuego

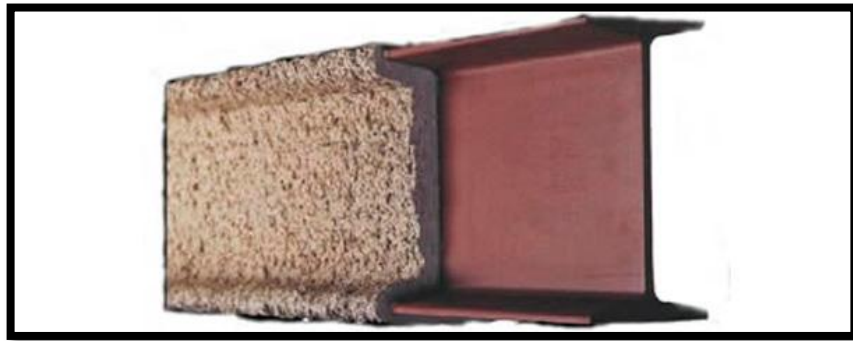


Fuente: Autor del Proyecto

De todos los tipos de protección pasiva que existen, en este proyecto se utilizó el mortero ignifugo como revestimiento para las estructuras metálicas, se usaron materiales con distintas dosificaciones para observar de esta forma si le dan estabilidad a la estructura metálica a la hora de un incendio.

1.2 MORTEROS IGNIFUGOS

Figura 2. Mortero Ignifugo



FUENTE: http://www.lycsa.cl/ad_fp.html

El mortero es una mezcla en proporciones variables de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua, y posibles aditivos, tiene como fin unir elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, conglomerados etc. Además, es utilizado de igual forma para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el relleno de paredes. Los más comunes son los de cemento y están compuestos por cemento, agregado fino y agua. Este tipo de mortero es utilizado como material de agarre y revestimiento de paredes.

El mortero ignifugo es aquel tipo, al que se añaden sustancias o materiales, con propiedades de resistencia frente al fuego. Se emplea para revestir todo tipo de estructuras, paramentos, o cualquier otro elemento al que se tenga que

incrementar su resistencia o estabilidad al fuego. Es muy utilizado para proteger estructuras metálicas conformadas por elementos de acero.

Los posibles aditivos que pueden ser incluidos en los morteros ignífugos son: Vermiculita, cal, yeso, ceniza volante, lana de roca y las que fueron utilizados para esta investigación perlita y escoria de alto horno.

A continuación en la tabla 1. Se enunciarán algunos morteros con sus respectivas dosificaciones y espesores.

Tabla 1. Tipos de morteros ignífugos dosificación y espesor.

Clase de revestimiento		Espesor mínimo en centímetros para alcanzar un grado de resistencia al fuego (minutos)			
		30	60	90	180
1.1.	Mortero de cemento, dosificación 1:3 a 1:4, sobre malla metálica.	2	3,25	4,50	—
1.2.	Mortero bastardo, dosificación 1:0,2:3, sobre malla metálica.	2	3,25	4,50	—
1.3.	Mortero de cal y yeso, dosificación 1:0,2:3, sobre malla metálica.	2	3,25	4,50	—
1.4.	Mortero de yeso y arena, dosificación 1:1 a 1:3, sobre malla metálica	1,50	3	4,25	—
1.5.	Mortero de yeso y vermiculita, dosificación 1:4, sobre malla metálica	1,75	2,50	3,25	5,25
1.6.	Mortero de cemento y vermiculita, dosificación 1:4, sobre malla metálica	1,25	2,25	3	4,75
1.7.	Mortero de yeso y perlita o de anhidrita y perlita, dosificación 1:2 a 1:2,5, sobre malla metálica.	1,25	2	3	5,75
1.8.	Mortero de amianto sobre malla metálica	0,50	1,75	2,75	6,25
1.9.	Placas de yeso	0,75	3	5	—
1.10.	Placas de mortero vermiculita, dosificación 1:4	1,75	2,50	3,25	5,75
1.11.	Placas de hormigón ligero	—	—	3	6
1.12.	Placas de fibra de amianto	—	1,75	3	6
1.13.	Ladrillos macizos, con o sin relleno interior.	—	—	8	10,50

FUENTE: BAYON, Rene - La Protección contra incendios en la construcción – Editores Tecnicos Asociados S.A. – Barcelona

1.3 MATERIALES UTILIZADOS EN LA ELABORACION DE LOS MORTEROS

- **CEMENTO PORTLAND**

El cemento Portland es un ligante hidráulico, obtenido de la molienda conjunta de Clinker portland -producto procedente de la calcinación a altas temperaturas de piedra caliza-, yeso y ciertas adiciones.

Fue utilizado en esta investigación como aglomerante para la preparación del mortero. Como cemento hidráulico tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia de agua, al reaccionar químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes.

- **AGREGADO FINO**

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas.

Tanto el agregado fino como el grueso constituyen los elementos inertes del concreto, ya que no intervienen en las reacciones químicas entre el cemento y agua. El agregado fino debe ser durable, fuerte, limpio, duro y libre de materias impuras como polvo, limo, pizarra y etc⁶.

⁶ ⁴HARMSSEN, TEODORO E. – Diseño de estructuras de concreto armado

- **AGUA:**

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Cuando no se posean antecedentes de su utilización, o en caso de duda, deberán analizarse las aguas⁷.

- **PERLITA:**

Figura 3. Perlita



FUENTE: tecnoficio

La perlita es un mineral de origen volcánico formado principalmente por silicatos. Una propiedad excepcional de la perlita es que se expande a más de veinte veces su volumen original cuando es calentada hasta su punto de ablandamiento. Ese proceso de expansión es causado por la presencia de agua dentro del mineral crudo.

⁷ Ibíd.

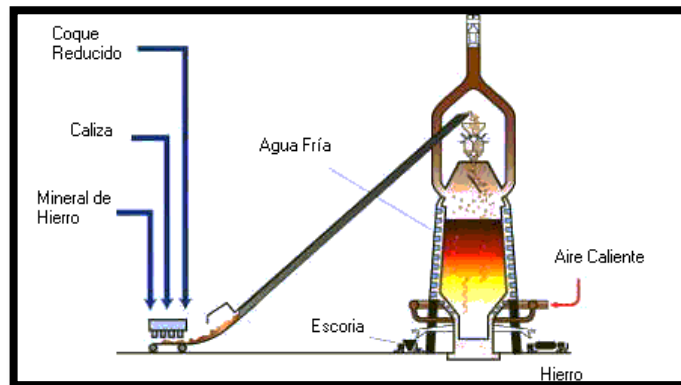
Cuando éste es calentado a 900°C aproximadamente, el agua atrapada en la estructura de la perlita se evapora y obliga al mineral ablandado a expandirse. De este modo, se producen pequeñas burbujas de vidrio volcánico, responsable de las excepcionales propiedades de la perlita expandida.

La perlita es un material usado como ignifugo, es un tipo de silicato de formación natural, de naturaleza no volcánica, que se expande aún más en contacto con el fuego formado una barrera natural anti fuego en determinadas condiciones de uso y mezclada con fibras y morteros. Se considera un aislante muy económico existente en la actualidad⁸.

En el mercado regional la perlita no se encuentra fácilmente ya que una sola compañía la distribuye y su precio oscila entre 40.000 y 60.000 pesos el bulto.

- **ESCORIA DE ALTO HORNO:**

Figura 4. Planta Alto Horno alimentada con Carbón.



FUENTE: <http://www.catamutun.com/produccion/carbon/compo.html>

Las cenizas volantes son los residuos sólidos que se recogen por precipitación electrostática o por captación mecánica de los polvos que acompañan a los gases

⁸ DIAZ HERRERA, JOSE – Y si arde... ¿Estamos seguros?

de combustión de los quemadores de centrales termoeléctricas alimentadas por carbones pulverizados⁹.

Las escorias de alto horno son un subproducto que resulta del procesamiento de las rocas ricas en mineral de hierro. Este subproducto o producto no metálico está constituido esencialmente por silicatos, aluminosilicatos de calcio y de otras bases.

Las escorias poseen propiedades aglomerantes como el cemento portland.

Las escorias de alto horno son materiales muy utilizados como adición activa para la elaboración de distintos cementos comerciales. Estos cementos siderúrgicos tienen algunas propiedades y características sensiblemente mejores que los cementos Portland ordinarios, tales como menor calor de hidratación, alta resistencia a los sulfatos y al agua de mar, así como una reducción muy apreciable a la reacción árido-álcalis. Sin embargo, y pese a ello existen aún muchas interrogantes en torno a estas escorias y fundamentalmente respecto a los factores o parámetros que afectan a su comportamiento hidráulico¹⁰.

En nuestro caso este material fue adquirido gratuitamente, para grandes cantidades tendrá un costo de 20000 a 30000 pesos el bulto, son conseguidas con mayor facilidad ya que son subproductos de los hornos que posiblemente serán desechados.

1.4 ESTRUCTURAS METÁLICAS:

El término acero estructural empleado en la presente norma se refiere a los elementos de acero estructural esenciales para resistir las cargas de diseño⁹

⁹ Instrucción de hormigón estructural – Artículo 29.

¹⁰ PUERTAS, F – Escorias de alto horno: composición y comportamiento hidráulico.

1.4.1 Acero. El acero es una aleación de diversos elementos entre ellos: carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel y vanadio. El carbono es el más importante y el que determina sus propiedades mecánicas. A mayor contenido de carbono, la dureza, la resistencia, la tracción y el límite elástico aumentan, por el contrario, disminuye la ductilidad y la tenacidad. El manganeso es adicionado en forma de ferro- Manganeso, aumenta la forjabilidad del acero, su templabilidad y resistencia al impacto. Así mismo, disminuye su ductilidad. El cromo aumenta la resistencia a la abrasión y la templabilidad; el níquel por su parte, mejora la resistencia al impacto y la calidad superficial. Finalmente, el vanadio mejora la temperabilidad¹¹.

Los informes certificados expedidos por la acería, o los reportes de ensayos realizados por el fabricante o por un laboratorio reconocido, constituirán evidencia suficiente de conformidad del material. Para perfiles, planchas y barras planas estructurales laminados en caliente, tales ensayos se realizarán de acuerdo con los requisitos de la norma ASTM A6; para láminas tales ensayos se realizarán de acuerdo con ASTM A568/A568M; para tuberías las pruebas se deben realizar de acuerdo con los requisitos de los estándares ASTM enumerados arriba que sean aplicables a estos productos¹².

1.4.2 Efectos del calor en el acero estructural. Un incremento moderado de la temperatura en el acero estructural, por ejemplo 260 °C, es benéfico porque eleva la resistencia de éste en un 10% respecto al valor normal. Sin embargo, por encima de 260 °C la resistencia comienza a disminuir hasta que al llegar a 370 °C es aproximadamente igual a la resistencia a temperatura ordinaria. Cuando la temperatura alcanza los 540 °C, la resistencia del acero a la compresión es casi igual al máximo esfuerzo de trabajo permisible en las columnas.

¹¹ HARMSEN, TEODORO E. – Diseño de estructuras de concreto armado – Perú – 2005

¹² Reglamento Colombiano de Construcción Sismo resistente - Título F, Estructuras Metálicas.- 2010

Los elementos de acero desprotegidos tienen una calificación de piroresistencia de 15 min., dato que se basa en pruebas de incendio realizadas en columnas con área seccional de 60 cm² aproximadamente. Las columnas más gruesas, cuya gran masa disipa más calor, tienen mayor resistencia (quizá 20 min). También se sometieron a prueba columnas cuyos espacios entre cejas fueron rellenos con concreto, pero que por lo demás estaban expuestas; si el área total de la sección transversal maciza se aproxima a 225 cm², la resistencia es de 30 min, y si dicha área es de 375 cm², la resistencia es de 30 min, y si dicha área es de 375 cm², la resistencia es de 1 h¹³.

1.4.3 Curva de incendio normalizado ISO 834. Las normas ISO 834 y UNE 23093 fijan los criterios para determinar la resistencia al fuego de los diferentes tipos de estructuras y elementos de la construcción. En el incendio tipo o incendio normalizado que consideran, la variación de la temperatura dentro del horno o sector de incendio responde a la ecuación:

$$T_h^t - T_h^0 = 345 \log_{10} (8t + 1)$$

Siendo t el tiempo en minutos transcurridos.

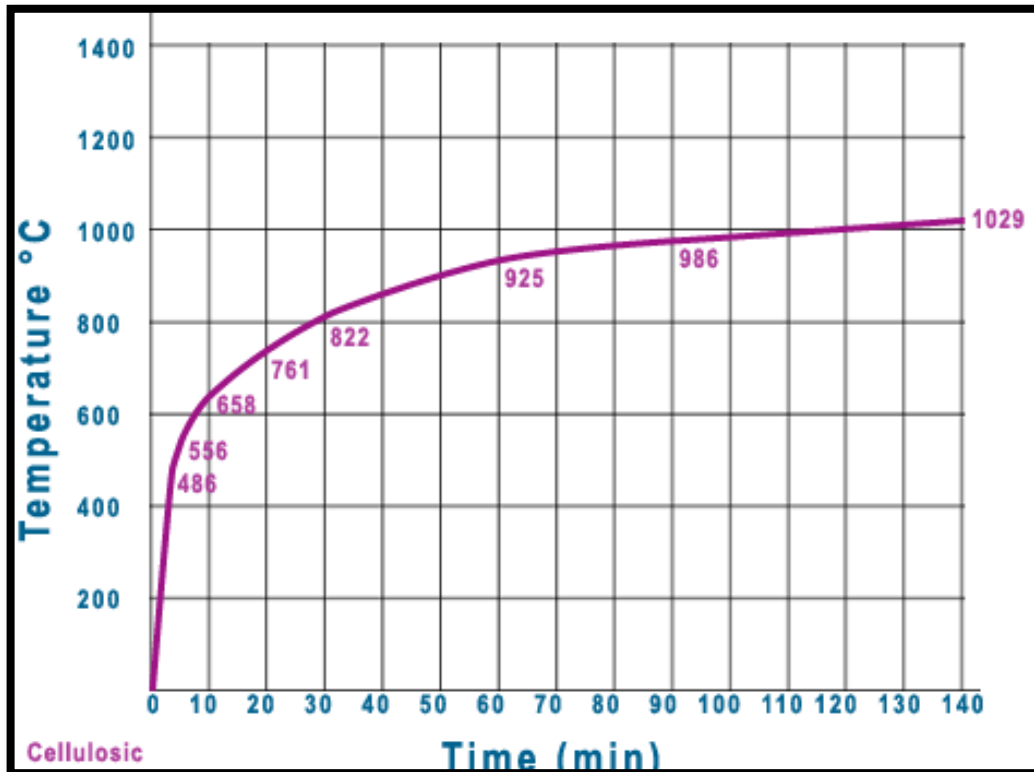
La norma ISO 834 (1975) aceptada a nivel internacional es una curva convencional de elevación de temperatura en un horno de ensayo. Presenta una subida de temperatura bastante rápida al principio, fenómeno que se produce efectivamente en el momento de un incendio.

Con esta curva hay un solo parámetro a controlar durante el ensayo: la carga de combustible. Esto permite volver rápidamente a la curva teórica cuando las

¹³ ROJAS, SERGIO - Efectos Que Causa El Calor En El Acero Estructural - 2011

medidas de temperatura en el horno indiquen una desviación, actuando en una simple compuerta. Las medidas de temperaturas en el horno deben situarse en un margen de más o menos 10% con relación a la curva teórica.

Figura 5. Curva de incendio normalizada

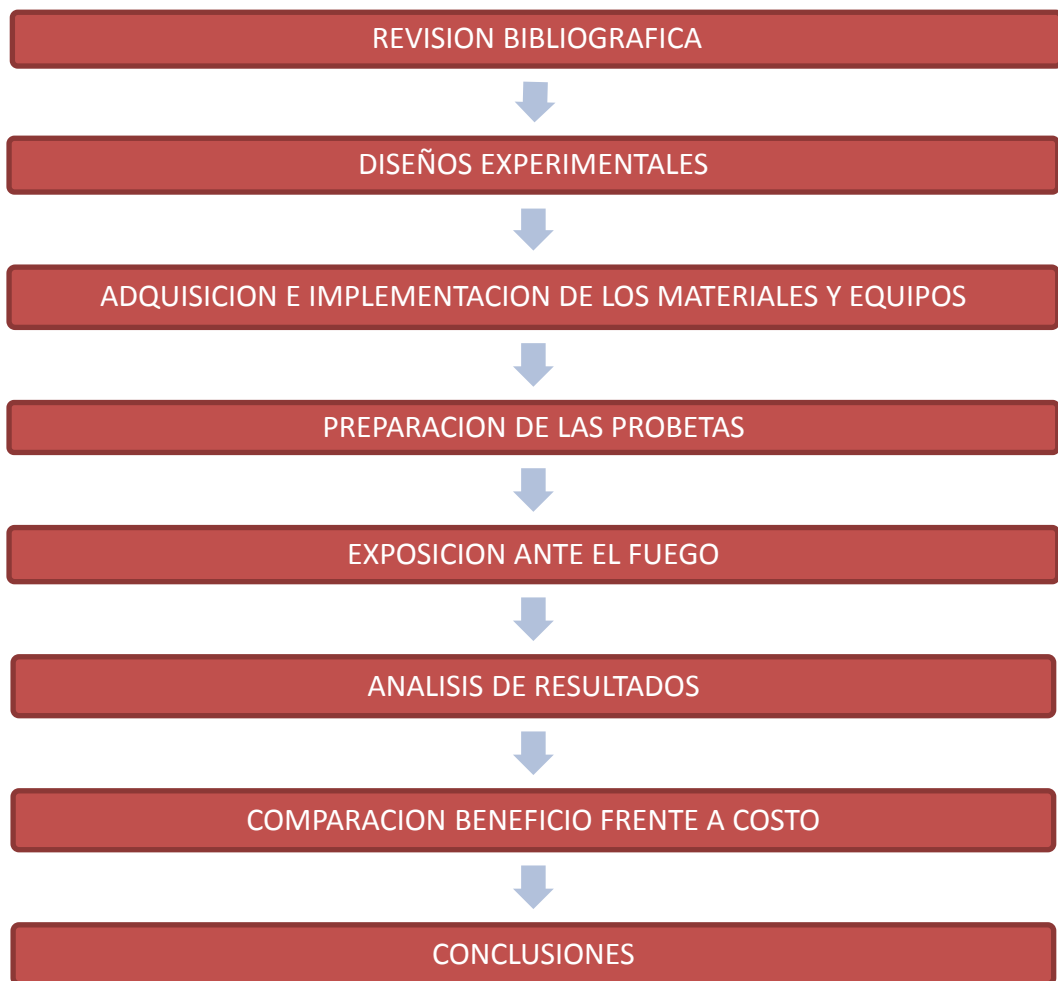


FUENTE: <http://www.promat-tunnel.com>

2. METODOLOGÍA

La metodología llevada a cabo en la presente investigación se ha planteado con el fin de realizar la evaluación del comportamiento de tres recubrimientos en una platina de acero expuesta al fuego durante 30 minutos.

Figura 6. Diagrama de flujo metodología.



FUENTE: Autor proyecto

La siguiente es una descripción detallada del anterior diagrama de flujo donde se explica cada fase.

2.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Antes de hacer la recaudación de datos en el campo, se debe realizar previamente una revisión de la literatura relacionada con el tema que se desea estudiar, es decir hacer la lectura sobre el trabajo de otros autores y sus aportes, Esto se utilizara para observar cómo se han emprendido esas investigaciones, resultados y conclusiones alcanzadas, que sean relevantes para la investigación que se está desarrollando.

Para esto se utilizó diferentes medios tales como libros, revistas, trabajos de grado, normas técnicas, investigaciones, interacción con personas capacitadas en el tema, etc.

2.2 DISEÑOS EXPERIMENTALES

En este momento se hizo la elección de los materiales a utilizar en la elaboración del recubrimiento del elemento metálico, tomándose la perlita y la escoria.

La perlita se decidió utilizar ya que es una roca volcánica silícea que, al someterla al calor, aumenta su volumen entre 15 y 20 veces su volumen original. Es un árido ligero empleado como material de relleno en paredes de aislamiento térmico y como árido en la composición de hormigón ligero.

Y la escoria granular de alto horno porque a menudo se utiliza en combinación con el mortero de cemento portland como parte de una mezcla de cemento. Este tipo

de escoria reacciona con el agua para producir propiedades cementosas. El mortero que contiene escoria granular de alto horno desarrolla una gran resistencia durante largo tiempo, ofreciendo una menor permeabilidad y mayor durabilidad. Como también se reduce la unidad de volumen de cemento portland, el mortero es menos vulnerable al álcali-sílice y al ataque de sulfato.

Se decidió realizar dos pruebas por cada dosificación realizada, es decir se van a realizar 6 probetas finalmente.

2.3 ADQUISICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1 Materiales

Los materiales utilizados en la realización de las probetas para ser expuestas al fuego, se ven reflejadas en la tabla 2.

Tabla 2. Materiales utilizados en la realización de las probetas.

Nº de Especímenes por ensayo: 2				
PROBETA	CEMENTO	ARENA	ESCORIA	PERLITA
M1	X	X		X
M2	X	X	X	
M3	X	X	X	X
Espesor: 2,5 cm				

FUENTE: autor del proyecto

- **CEMENTO PORTLAND.**

El cemento utilizado en el proyecto fue tipo Portland de la fábrica Argos.

Los análisis químicos y físicos fueron realizados y proporcionados por el fabricante donde se observa que el material cumple con los requisitos de las normas NTC 121 y NTC 321.

Figura 7. Especificaciones Técnicas Cemento

Especificaciones Técnicas			
PARÁMETROS QUÍMICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 321 Tipo I	ASTM C-1157 TIPO GU.
Óxido de magnesio, MgO, máximo (%)	6.00	7.00	–
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3.50	3.50	–
PARÁMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 121 Tipo I	ASTM C-1157 TIPO GU.
Fraguado inicial ⁽¹⁾ , mínimo (minutos)	45	45	45
Fraguado final ⁽¹⁾ , máximo (minutos)	420	480	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0.8	0.8	0.8
Expansión en agua ⁽²⁾ , máximo (%)	0.02	–	0.02
Resistencia a 3 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	9.0	8.0	13.0
Resistencia a 7 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	16.0	15.0	20.0
Resistencia a 28 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	26.0	24.0	28.0
Blaine, mínimo (cm ² /gr)	2800	2800	–

(1) Ensayo con aguja de Vicat según NTC 118 (ASTM C191)
 (2) Ensayo en Barras de mortero a 14 días según NTC 4927 (ASTM 1038)
 (3) Ensayo a compresión sobre cubos de mortero con arena normalizada según NTC 220 (ASTM C109)

Recomendaciones
Las especificaciones del Cemento Gris de Uso General producido por Cementos Argos S.A. cumplen con los valores de la norma colombiana NTC 121 y 321. Adicionalmente, en la elaboración de concretos se recomienda la revisión y aplicación de la NTC 3318 y NSR-10; requisitos de producción, calidad y durabilidad.

Fuente: <http://www.argos.co/>

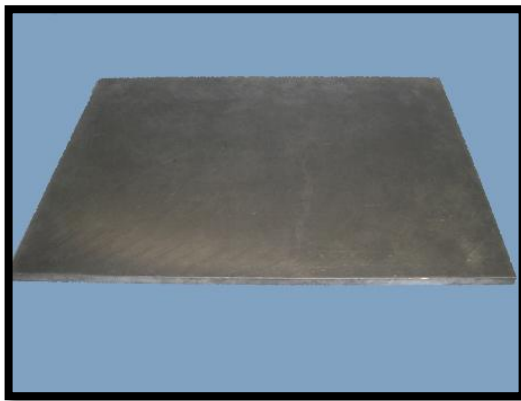
- **AGUA**

El agua utilizada para la fabricación del mortero, fue agua potable, suministrada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga.

- **ACERO**

Para realizar la probeta se utilizaron Perfiles en acero de Sección Rectangular de 20 *20 con un espesor de 3mm y superficie lisa.

Figura 8. Platina de acero cuadrada



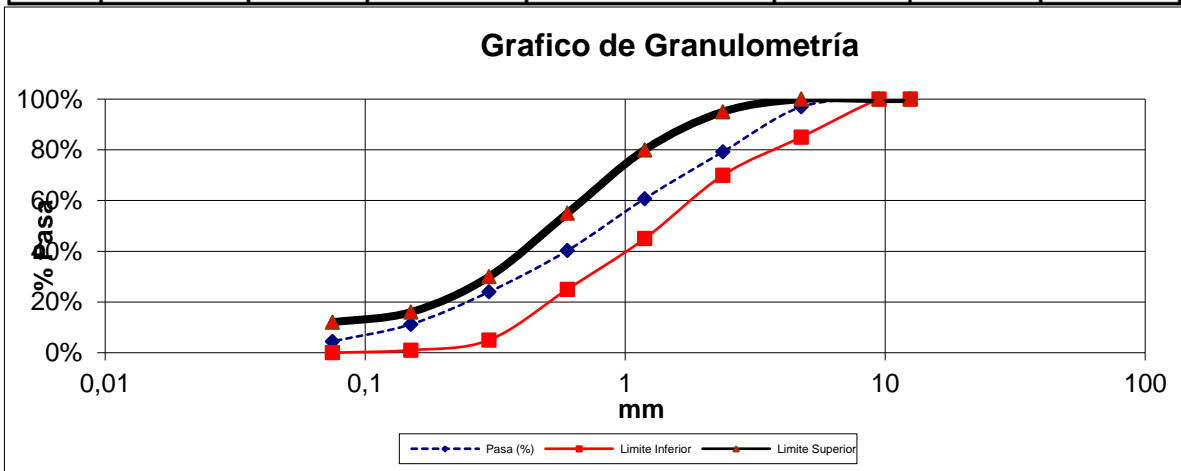
FUENTE: Autor Proyecto

- **AGREGADO FINO**

Como agregado fino se utilizó arena de rio Pescadero, adquirido en AGREMAS, los ensayos y análisis fueron desarrollados y proporcionados por el fabricante, donde se demuestra que cumple con los requisitos estipulados en la ASTM C192

Figura 9. Características físicas de arena gruesa

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ARENA GRUESA								
Muestra:		<u>126 SC 034</u>			Planta:		<u>FLORIDA</u>	
Descripción:		<u>ESTRELLA</u>			Mina:		<u>Planta Agregados CEMEX.</u>	
		<u>Arena Rio Pescadero.</u>			Fecha ensayo:		<u>12-Dec-2012</u>	
ABERTURA DEL TAMIZ		Masa Retenida	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido Acumulado	Porcentaje Pasa	NORMA		
(mm)	(Denom. Estándar)	(g)	(%)	(%)	(%)	Limite Inferior	Limite Superior	
12.5	1/2"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%	
9.5	3/8"	0.0	0.0%	0.0%	100.0%	100%	100%	
4.76	No.4	27.2	3.0%	3.0%	97.0%	85%	100%	
2.38	No.8	158.7	17.7%	20.8%	79.2%	70%	95%	
1.19	No.16	165.5	18.5%	39.2%	60.8%	45%	80%	
0.6	No.30	183.5	20.5%	59.7%	40.3%	25%	55%	
0.3	No.50	145.7	16.3%	76.0%	24.0%	5%	30%	
0.15	No.100	114.6	12.8%	88.8%	11.2%	1%	16%	
0.075	No.200	60.4	6.7%	95.5%	4.5%	0%	12%	
Fondo		39.9	4.5%	100.0%				



Masa inicial húmeda (g):	<u>1000</u>	pH:	<u>7.0</u>
Masa inicial seca (g):	<u>895.6</u>	Sumatoria masas retenidas (g):	<u>895.5</u>
Modulo de finura:	<u>2.88</u>	Fondo después de tamizado (g):	<u>0.3</u>
Materia orgánica:	<u>2</u>	Masa final seca después de lavado sobre tamiz 0.075 mm (g):	<u>856.0</u>
Humedad (%):	<u>11.66%</u>		

OBSERVACIONES: MATERIAL APROBADO.
Arena Bocas.

Iván Andrés Arcila Builes
 ELABORÓ

Ing. Pedro Nel Tarazona Peñaranda
 REVISÓ

COL-ASC-IT-05/2

FUENTE: AGREMAS

- **PERLITA**

La perlita se adquirió en Aismecol S.a.s, se utilizó perlita expandida de granulometría < 1,5 mm.

La perlita-expandida se emplea como aglomerante en los morteros aislantes y en el hormigón ligero, como aislamiento en relleno de cámaras, en ladrillos refractarios, para el recrecido de soleras, en prefabricados aislantes y ligeros, como revoque aislante acústico y térmico y como protector frente al fuego en estructuras.

Propiedades

- Densidad= 350-400 Kg/m³
- Densidad Aparente (Peso a granel): 40 - 120Kg/m³ dependiendo de la granulometría.
- Coeficiente de conductividad térmica= 0.05773 Kcal/m.h.°C
- Ph= 12
- Ph (de la pasta aguada): 6,5 - 8,0
- Color: Blanco
- Índice Refractivo: 1,5
- Humedad libre, máxima: 0,5%
- Gravedad específica: 2.2.2
- Tamaño disponible de las micro celdas: El que se desee 4 - 8 y más fino
- Punto de Ablandamiento: 1600 °f - 2000 °f (871 - 1093°C)
- Punto de fusión: 2300 - 2450 °f (1260 - 1343°C)
- Calor Específico: 0.2 Btu/lb °f 837 J/kg.k
- Conductividad térmica a (24 °C) 04 - 06 W/m.k
- Solubilidad: Soluble en HF y álcali concentrado caliente.
- Moderadamente soluble (<10%) en 1N NaOH.

- Ligeramente soluble (<3%) en ácidos minerales.
- Muy soluble (<1%) en agua o ácidos débiles.

- **ESCORIA DE ALTO HORNO**

La escoria de alto horno fue adquirida en LAVCO, del horno de cubilote de dicha empresa.

Un cubilote es un horno vertical para refundir los lingotes de hierro que se obtienen en los altos hornos, chatarra de reusó, alimentadores y bebederos de piezas fundidas anteriormente, principalmente se usa para fundir fundición gris y con la ayuda de metales añadidos al momento del sangrado denominados inoculantes se puede obtener fundición nodular, eventualmente se usa también para aleaciones de cobre pero el uso no es muy difundido. Del material líquido vaciado en moldes apropiados se podrá fabricar directamente piezas de maquinaria y objetos de hierro fundido¹⁴.

2.3.2 Equipos e instrumentos

Tabla 3. Equipos utilizados en la realización del ensayo.

EQUIPOS UTILIZADOS	ENSAYOS
Balanza electronica	Peso de materiales
Horno de ladrillos	Exposicion ante fuego
Sistema de Termocuplas	Toma de temperaturas

FUENTE: Autor del proyecto

¹⁴ José de Lorenzo, Gonzalo de Muga, Martín Ferreiro - Diccionario marítimo español - 1865

- **HORNO**

Para la realización del ensayo se utilizó un horno de ladrillo ubicado en el edificio Álvaro Beltrán donde están ubicados los laboratorios de Ingeniería Civil. Este horno posee unas dimensiones de 80 cm x 70 cm x 90 cm, y tiene una base de cilindros de concreto, una placa de concreto reforzado donde se ubican las probetas y cuatro termocuplas con las cuales se controla la temperatura dentro del horno.

El horno se calentó con una llama que provenía de una boquilla alimentada por gas propano que estaba dentro de un cilindro de 44lbs.

Figura 10. Horno con Boquilla encendida.



FUENTE: Autor Proyecto

- **SISTEMA DE TERMOCUPLAS.**

Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño del orden de los mili volts el cual aumenta con la temperatura.

Se utilizaron 4 termocuplas para controlar la temperatura dentro del horno, las cuales van a una tarjeta de adquisición que se conecta al computador y de esta forma se ven los valores arrojados por la temperatura del horno.

Figura 11. Termocuplas conectadas a la tarjeta de adquisición.



FUENTE: Autor proyecto.

- **BALANZA ELECTRONICA**

Por definición, una balanza electrónica es un instrumento para pesar cuya capacidad va desde un gramo hasta algunos kilogramos con una precisión comúnmente de una cienmilésima de su capacidad máxima. La precisión y exactitud de muchas balanzas modernas superan de una parte en 10^6 a su capacidad completa.

Figura 12. Balanza Electrónica



FUENTE: Autor Proyecto

2.4 PREPARACION DE LAS PROBETAS

Para elaborar las probetas se realizaron formaletas en triplex de 22.5 cm x 22.5 dejando de esta forma el recubrimiento necesario.

Figura 13. Formaleta



FUENTE: Autor Proyecto

La dosificación utilizada para la elaboración de las probetas fue la siguiente:

Tabla 4. Dosificación Probetas

Nº de Especímenes por ensayo: 2				
PROBETA	CEMENTO	ARENA	ESCORIA	PERLITA
M1	1	1	0	3
M2	1	1	3	0
M3	2	2	3	3

Espesor: 2,5 cm

FUENTE: Autor Proyecto

2.4.1 Elaboración de probetas. La fabricación del mortero se dio inicio mezclando uniformemente el cemento con el agregado fino, una vez se tenía la mezcla de estos dos ingredientes se procede a agregar la escoria o la perlita dependiendo de la muestra a desarrollar, teniendo esto uniformemente mezclado se agregó el agua, finalmente con la ayuda de un palustre se combinan todos los ingredientes hasta obtener un mortero consistente y homogéneo, luego se agregó la mezcla a su respectiva formaleta, logrando una buena compactación.

En el fondo de la formaleta estaba dispuesta la lámina de acero para que de esta forma al verter el mortero quedara adherida a la vez que este fraguara.

Figura 14. Mortero en el molde



FUENTE: Autor del proyecto

2.4.2 Fraguado y curado de las probetas. Las probetas se dejaron fraguar durante 24 horas dentro de sus moldes, después quitarlas de sus formaletas se dejaron en su respectivo curado durante 28 días.

2.5 EXPOSICIÓN ANTE EL FUEGO.

Figura 15. Procedimiento para la exposición ante el fuego de las probetas



FUENTE: Autor proyecto

Se debía mantener el comportamiento de la llama acorde con la curva patrón durante 30 minutos.

El horno se debía dejar enfriar durante 30 minutos para lograr nuevamente temperaturas ambiente dentro de este.

Las probetas se pesaron antes y después de la exposición ante el fuego.

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentaran los resultados obtenidos y los análisis desarrollados en el proceso de la investigación, como temperaturas, pesos antes y después, etc.

3.1 COMPARACIÓN BENEFICIO - COSTO

A continuación se puede observar la tabla 5 en donde se describen los precios de perlita, de escoria y de la mezcla de los dos materiales, a cada unidad de los anteriores materiales se debe adicionar una tercera parte de cemento y una tercera parte de arena.

Tabla 5. Precios aditivos de morteros ignífugos

Material	Precio/bulto	Tmax
Perlita	\$ 40,000	104.56°C
Escoria	\$ 20,000	188.76°C
Escoria y Perlita	\$ 30,000	113.15°C

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que el mortero con perlita únicamente como aditivo es el que mejor funciona al tener menores temperaturas después de 30 minutos de fuego, aun así el mortero con escoria como aditivo, de resultados más pobres se sigue manteniendo dentro de los estándares de la norma pues resistió también 30 minutos con temperaturas bajas y es significativamente más económico.

La escoria además es el material que se obtiene con mayor facilidad en el mercado, lo cual le hace un material con mayores beneficios a su favor.

3.2 EXPOSICIÓN ANTE EL FUEGO DE LAS PROBETAS

El calentamiento de las muestras se llevó a cabo de acuerdo con la curva característica establecida en la norma ISO 834. A continuación se dará la identificación de las termocuplas para realizar una correcta interpretación de los resultados.

Tabla 6. Identificación de las termocuplas.

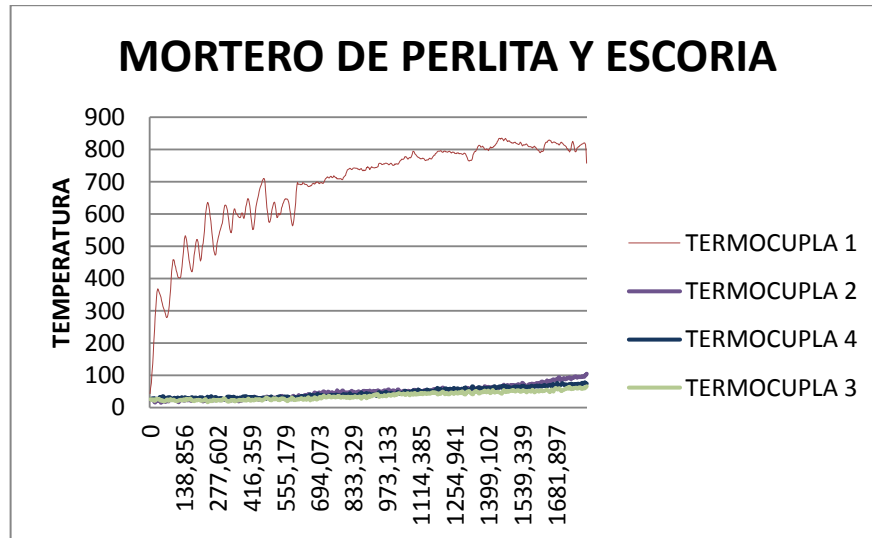
TERMOCUPLA	DESCRIPCION
1	termocupla que registra la temperatura de la llama
2	Termocupla ubicada a en la cara posterior directamente a la llama
3	Termocupla ubicada en la cara posterios a 3 cm de la llama
4	Termocupla ubicada en la cara posterios a 6 cm de la llama

FUENTE: Autor del Proyecto

3.2.1 Curva de calentamiento de las probetas. Las siguientes gráficas muestran las temperaturas obtenidas en las probetas promediándolas dependiendo de su dosificación. Cada una de las muestras se dejó ante el fuego durante un tiempo de 1800 segundos.

El calentamiento de cada una de las probetas se realizó buscando un comportamiento que fuera similar a la curva de calibración estándar establecida en la norma ISO 834.

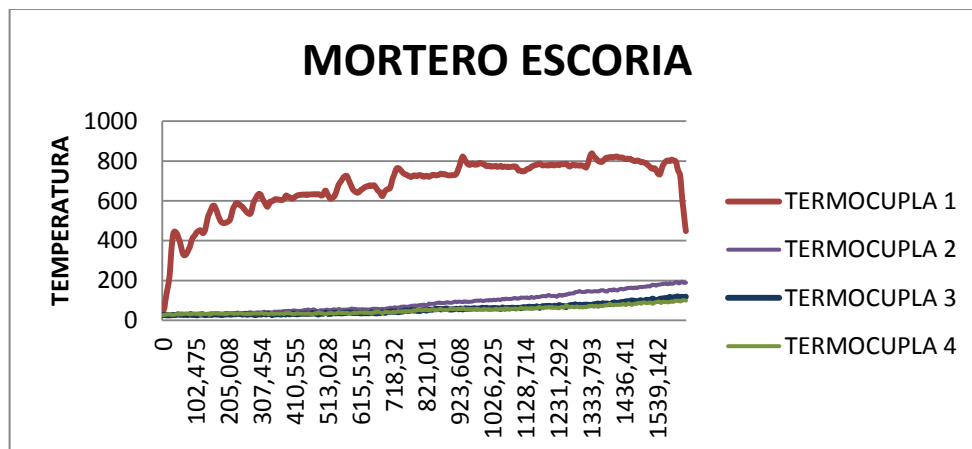
Figura 16. Gráfica temperatura Vs. Tiempo utilizando recubrimiento de mortero a base de perlita y escoria



FUENTE: Autor proyecto

En esta gráfica se observa que el mortero a base de perlita y escoria alcanzó temperaturas de 113.15 °C después de tenerlo ante el fuego durante 1800 segundos.

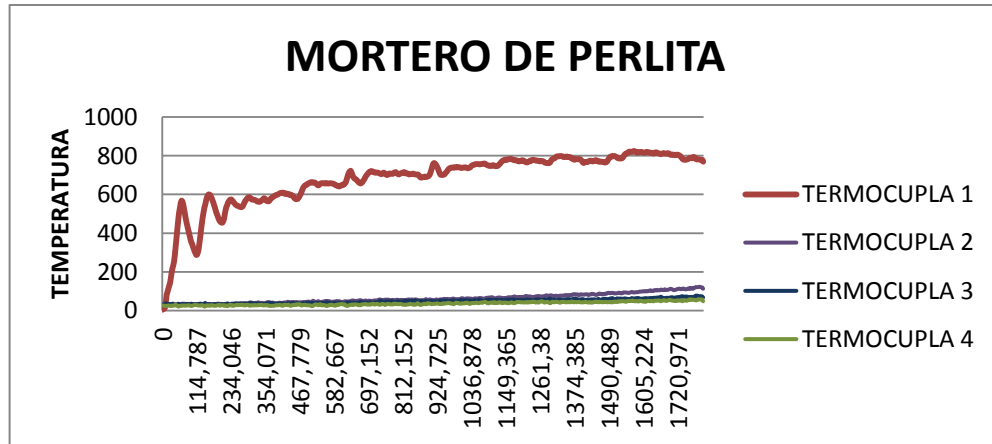
Figura 17. Gráfica temperatura Vs. Tiempo utilizando recubrimiento de mortero a base de escoria



FUENTE: Autor del proyecto

En la Figura 16, se observa la máxima temperatura alcanzada por el mortero con aditivo de escoria, la cual fue de 188.76 °C después de transcurrir 30 minutos ante fuego.

Figura 18. Gráfica temperatura Vs. Tiempo utilizando recubrimiento de mortero a base de perlita



FUENTE: Autor del proyecto

En la figura 17, la cual es la de mortero a base de perlita se observa su máxima temperatura alcanzada después de 30 minutos ante el fuego, esta temperatura es de 104.56 °C.

3.2.2 Pesos probetas

- **PESOS DE LAS PROBETAS ANTES DE EXPONERLAS AL FUEGO**

Tabla 7. Pesos antes del fuego

MUESTRAS	PESO (gr)	PROMEDIO	MATERIAL
M1-1	4002	4005	CEMENTO, ARENA, PERLITA Y ESCORIA
M1-2	4008		
M2-1	2723	2735.5	CEMENTO, ARENA, PERLITA
M2-2	2748		
M3-1	4466	4445.5	CEMENTO, ARENA Y ESCORIA
M3-2	4425		

FUENTE: Autor Proyecto

- **PESOS DE LAS PROBETAS DESPUES DE EXPONERLAS AL FUEGO**

Tabla 8. Pesos antes del fuego

MUESTRAS	PESO (gr)	PROMEDIO	MATERIAL
M1-1	3897	3881.5	CEMENTO, ARENA, PERLITA Y ESCORIA
M1-2	3866		
M2-1	2638	2640	CEMENTO, ARENA, PERLITA
M2-2	2642		
M3-1	4279	4272	CEMENTO, ARENA Y ESCORIA
M3-2	4265		

FUENTE: Autor Proyecto

- **PERDIDAS DE PESO EN LAS PROBETAS**

Tabla 9. Pérdidas de peso

PERDIDA DE PESOS			
	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	DIFERENCIA (g)
M1	4005	3881.5	123.5
M2	2735.5	2640	95.5
M3	4445.5	4272	173.5

FUENTE: Autor Proyecto

En la tabla 9 se observa la pérdida de peso que tuvieron las probetas después de ser expuestas al fuego, estas variaciones se deben a la pérdida de humedad que sufrieron, esto se ve reflejado en el desgaste generado en las superficie de las probetas, en las cuales se observaron: grietas, fisuras, cambios de color, etc.

Estos cambios de la superficie se pueden observar en las figuras 18,19 Y 20

Figura 18. Recubrimiento despues del fuego a base de perlita



FUENTE: Autor Proyecto

Figura 19. Recubrimiento despues del fuego a base de perlita y escoria



FUENTE: Autor del Proyecto

Figura 20. Recubrimiento despues del fuego a base de escoria

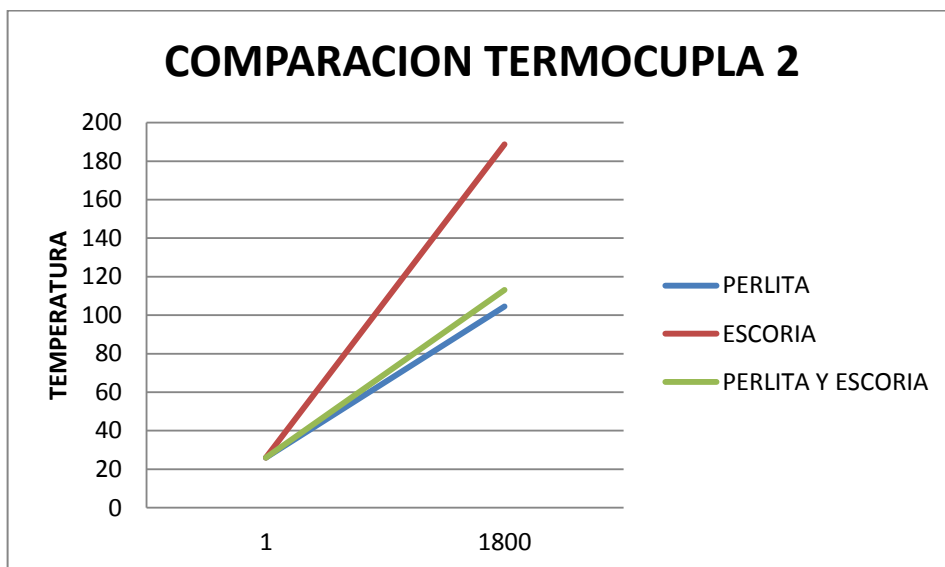


FUENTE: Autor del Proyecto

3.3 COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS OBTENIDAS EN LOS DIFERENTES MATERIALES

A continuación se observa la comparación de las temperaturas obtenidas en cada termocupla, para de esta forma observar cuál de estos recubrimientos es más eficiente a la hora de un incendio.

Figura 21. Comparacion de los recubrimientos con la temperatura obtenida en la termocupla 2



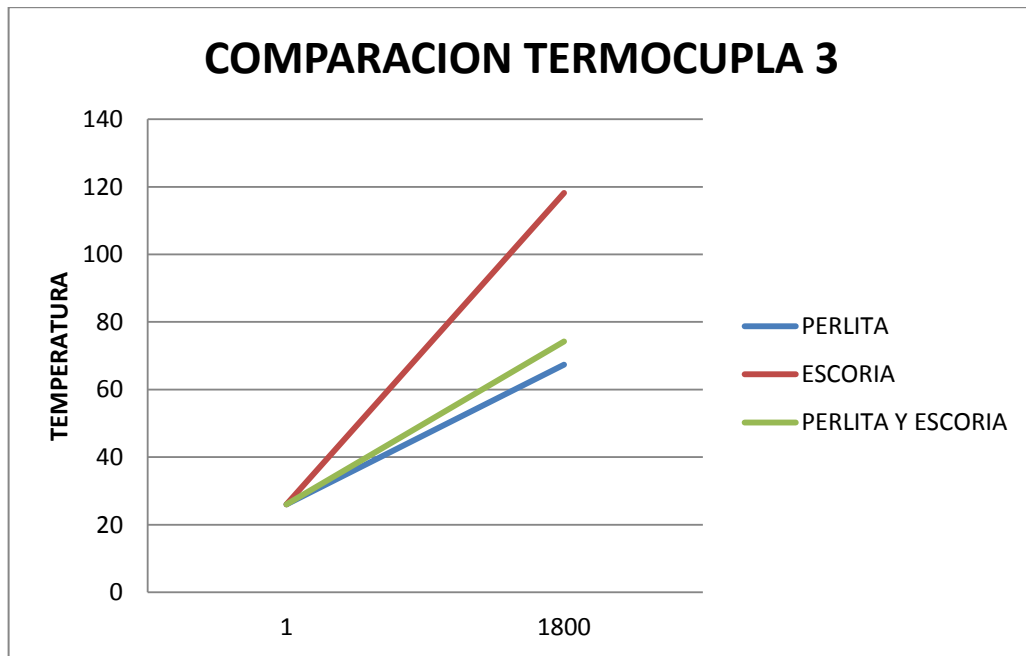
FUENTE: Autor del proyecto

Tabla 10. Comparacion temperaturas termocupla 2

TERMOCUPLA 2			
MATERIAL	PERLITA	ESCORIA	PERLITA Y ESCORIA
T inicial	26	26	26
T final	104.56	188.76	113.15

FUENTE: Autor Proyecto

Figura 22. Comparacion de los recubrimientos con la temperatura obtenida en la termocupla 3



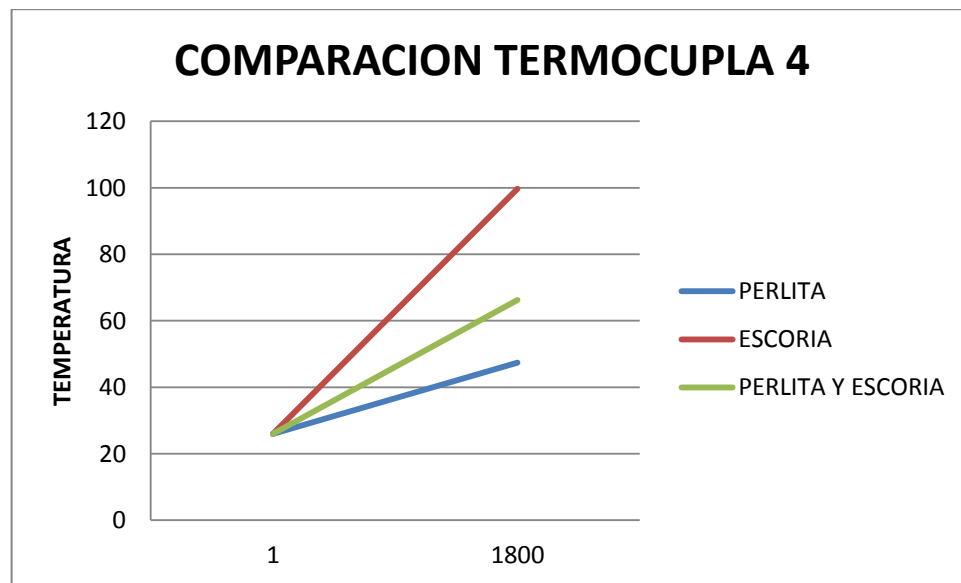
FUENTE: Autor del proyecto

Tabla 11. Comparacion temperaturas termocupla 3

TERMOCUPLA 3			
MATERIAL	PERLITA	ESCORIA	PERLITA Y ESCORIA
T inicial	26	26	26
T final	67.37	118.23	74.26

FUENTE: Autor del proyecto

Figura 23. Comparacion de los recubrimientos con la temperatura obtenida en la termocupla 4



FUENTE: Autor del Proyecto

Tabla 12. Comparacion temperaturas termocupla 4

TERMOCUPLA 4			
MATERIAL	PERLITA	ESCORIA	PERLITA Y ESCORIA
T inicial	26	26	26
T final	47.41	99.7	66.28

FUENTE: Autor del Proyecto

De acuerdo al analisis realizado anteriormente se puede observar que el recubrimiento que es mas efectivo a la hora de un incendio es el elaborado a base de perlita, obteniendo de este menores temperaturas que los otros sometidos a las mismas condiciones.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos tras la exposición de las probetas ante el fuego podemos obtener las siguientes conclusiones:

Según la experiencia durante el proyecto, podemos decir que la consecución en el mercado local de la perlita es bastante difícil, comparado con la consecución de la escoria, además la perlita tiene un valor más elevado.

Tomando como base nuestros resultados podemos sugerir el mortero con aditivo de solo escoria, como el más rentable en una construcción, pues responde de muy buena forma, a un valor significativamente menor que los demás aditivos utilizados.

La perlita como recubrimiento arrojó los mejores resultados, obteniendo temperaturas menores en los 30 minutos expuestos al fuego, si se compara con los otros recubrimientos; pero igualmente los otros dos morteros respondieron muy bien, soportando cerca de 30 minutos a temperaturas que llegaron alrededor de los 900 grados.

El espesor que se decidió utilizar de 25 mm nos dio buenos resultados, pero podría ser excesivo, se deberán hacer estudios con espesores menores para determinar si es posible así reducir la cantidad de materiales y a su vez obtener un menor costo de estos.

Los morteros utilizados tuvieron buena adherencia a la platina de acero, lo que hace realmente viable la implementación de este tipo de recubrimientos en nuestras construcciones.

Se debería implementar en la normativa, la obligación de utilizar recubrimiento contra el fuego para así evitar tantas bajas a la hora de un incendio, ya que estos dan cierto tiempo para la evacuación y llegada de la ayuda de los bomberos.

5. RECOMENDACIONES

Es necesario implementar un horno con mayores capacidades para obtener mejores resultados, ya que con el horno utilizado existe una posible pérdida de calor que podría significar imprecisión en los datos.

La investigación debe continuar para obtener resultados de estos mismos materiales con espesores menores.

BIBLIOGRAFÍA

- Aislamiento térmico de cubiertas metálicas tipo deck realizado mediante panel de espuma rígida de polisocianurato (pir): una solución ventajosa, F. Xavier Grabuleda, POLIURETANOS, S.A. Lluís Caula, TEXSA, S.A, Junio 2010.
- BAYÓN, Rene – La protección contra incendios en la construcción – Editores Técnicos Asociados S.A. – Barcelona - 1978
- BELARDINELLI Felipe, Córdoba - Argentina “Vermiculita, aislación de altas temperaturas”, <http://www.vermiculitaintersum.com.ar/productos/fuego.html>
- Código Internacional de sistemas de seguridad contra incendios – Organización Marítima Internacional – 2007
- DIAZ HERRERA, Jose – Y si arde... ¿Estamos seguros? –Ediciones Akal S.A. – 2010
- European diisocyanate and polyol producers association, “Facade fire test on PUR external thermal insulation composite system”, October 2003
- Federation of European rigid polyurethane foam association, “Assessment of the Fire Behaviour of Insulated Steel Deck Flat Roofs”, October 2005.
- Federation of European rigid polyurethane foam association, “Fire resistance of different insulation materials in pitched roofs and timber frame walls”, October 2005
- HARMSSEN, TEODORO E. – Diseño de estructuras de concreto armado –

Fondo editorial – Pontificia universidad Católica del Perú - 2005

- Instrucción de hormigón estructural – Artículo 29.
- LEIVA C.; OLIVARES J.; VILCHES L.E.; FERNANDEZ C. - *Coal fly ash-containing sprayed mortar for passive fire protection of Steel sections* – Universidad de Sevilla.
- NEIRA RODRÍGUEZ José Antonio– *Instalaciones de protección contra incendios* – Editorial F.C.
- Panamerican firestop consulting, Bogotá D.C, Colombia.” Sistema Pasivos Contra Incendio”, <http://www.pfc.com.co/cortafuegos%20tecnica.pdf>
- Prevención de incendios – Publicaciones vértice S.L. – Editorial Vertice – España 2010
- PUERTAS, F – Escorias de alto horno: composición y comportamiento hidráulico. España - Consejo Superior de Investigaciones Científicas
- QUINTELA CORTES, JESUS MANUEL – *Instalaciones Contra Incendios* – Editorial UOC – Diciembre 2008
- Reglamento colombiano de Construcción Sismo resistente NSR-10, *Título J- Requisitos de protección contra incendios en edificaciones.*
- ROJAS, SERGIO - Efectos Que Causa El Calor En El Acero Estructural – Octubre 2011
- VALDIR Pignatta e Silva. “Estructuras de acero en situación de incendio”.

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.
<http://www.livingsteel.ru/images/library/estructuras%20de%20acero%20en%20situacion%20de%20incendio.pdf>