

PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL
PASIVO DE EDIFICACIONES EN SITUACION DE INCENDIO.

FABIO ARMANDO GARCIA QUIROGA
LEONARDO BACARDI ZAMBRANO

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

2014

PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL
PASIVO DE EDIFICACIONES EN SITUACION DE INCENDIO.

FABIO ARMANDO GARCIA QUIROGA
LEONARDO BACARDI ZAMBRANO

Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director
RICARDO ALFREDO CRUZ HERNANDEZ
Ingeniero Civil, PhD.-Profesor

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

2014

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION.	12
2. METODOLOGÍA.	14
3. TENDENCIAS PARA EL CONTROL PASIVO DE INCENDIOS.	15
4. FACTORES DE RIESGO EN CASO DE INCENDIO NO CONTEMPLADOS POR LA NORMATIVA NSR-10.	17
5. COMPARACION DEL REGLAMENTO COLOMBIANO CON ALGUNAS NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA EL DISEÑO PASIVO DE EDIFICACIONES EN SITUACION DE INCENDIO.	21
6. SOLUCIONES PROPUESTAS PARA LAS FALENCIAS ENCONTRADAS EN LA NSR-10.	24
6.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGON.	24
6.2. ESTRUCTURA DE ACERO.	25
6.2.1. Resistencia de los miembros a tensión.	25
6.2.2. Resistencia de los miembros a compresión.	26
6.2.3. Resistencia de las soldaduras.	27
6.2.4 Resistencia de los pernos.	28
6.2.4.1 Resistencia de diseño de pernos sometidos a compresión.	28
6.2.4.2. Resistencia de diseño de pernos sometidos a tensión.	29
6.3 ESTRUCTURAS MIXTAS.	29
6.3.1 Vigas mixtas.	30
6.3.2 Columnas Mixtas.	30

7. CONCLUSIONES.	32
8. REFERENCIAS.	34

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Sistemas y tendencias para la protección pasiva de estructuras en caso de incendio.	16
Tabla 2. Factores de riesgo en los principales materiales utilizados en construcción.	18
Tabla 3. Comparación de los diferentes ítems a analizar, con respecto a las normas de diferentes países.	23

RESUMEN

TÍTULO: PROPUESTA DE ESPECIFICACIONES PARA EL CONTROL PASIVO DE EDIFICACIONES EN SITUACION DE INCENDIO.*

AUTORES: BACARDI ZAMBRANO, Leonardo
GARCIA QUIROGA, Fabio Armando**

PALABRAS CLAVES: Incendio, estructura, acción del fuego, protección pasiva.

CONTENIDO:

Todas las estructuras civiles existentes son vulnerables a presentar una situación de incendio, comprometiendo así, la capacidad portante de la misma; Razón por la cual, en varios países, entre ellos Colombia, la normativa vigente considera especificaciones de construcción ante la presencia del fuego en las edificaciones.

Las normativas de países industrializados se han enfocado en mejorar la capacidad de los materiales utilizados en la construcción, con el fin de prevenir la aparición del fuego, retrasar su propagación y por ultimo facilitar su extinción, mitigando el daño estructural sufrido.

Con el desarrollo de este proyecto de grado, se busca identificar especificaciones internacionales que sirvan para proponer su implementación en la normativa Colombiana, debido a que en ella no está presente la protección pasiva de estructuras, y en cambio se centra en nombrar algunos criterios enfocados hacia la protección activa como lo son sistemas de detección, alarmas, rociadores y otros sistemas automáticos y manuales. Se plantea así, enumerar algunos sistemas y tendencias enfocados hacia la protección de algunos elementos de la estructura con el fin de mejorar su resistencia, identificar algunos factores de riesgo en caso de incendio que no son tenidos en cuenta por la NRS-10 y relacionar la normativa colombiana con otras normas internacionales con el fin de complementar la reglamentación Colombiana.

*Proyecto de Grado, Modalidad Investigación

**Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniera Civil. Director de Proyecto. Ing. PhD.- profesor Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

ABSTRACT

TITLE: PROPOSED SPECIFICATIONS FOR PASSIVE CONTROL OF BUILDINGS ON FIRE SITUATION

AUTHORS: BACARDI ZAMBRANO, Leonardo
GARCIA QUIROGA, Fabio Armando**

KEYWORDS: Fire, Structures, fire action, passive protection.

DESCRIPTION:

All existing civil structures are possibly exposed to a fire situation, thus compromising the bearing capacity of the same. For that reason, in several countries, including Colombia, the normative in force has count construction specifications in buildings exposed on fire.

The regulations in industrialized countries have focused on improving the capacity of the materials used in construction in order to prevent the appearance of fire, and also make slow its spread, to finally facilitate the fire extinction and mitigate structural damage suffered.

This grade project seeks identify international specifications that support to propose its implementation in the Colombian legislation, because the structures are forgotten on the passive protection theme, and instead is focused on some criteria guided to active fire protection , as are detection systems , alarms, sprinklers and other automatic and manual systems. The above object was developed enumerating some systems and tendencies focused to some element's protection of the structure to improve its resistance. Identify some risk factors in a fire situation that aren't listed on the Colombian normative and relate it with other international standards in order to complement the local regulation.

*Proyecto de Grado, Modalidad Investigación

**Facultad De Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniera Civil. Director de Proyecto. Ing. PhD.- Profesor Ricardo Alfredo Cruz Hernández.

1. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento económico y al proceso de urbanización acelerado de Colombia, se hace necesario mejorar la forma en la que se construyen las edificaciones, ya que históricamente se han observado colapsos de diferentes estructuras, bien sea a causa de un sismo de alta magnitud o la propagación descontrolada de un incendio, las cuales terminan afectando la estabilidad y producen daños importantes en los elementos principales.

El fuego es uno de los factores que afecta directamente a la estructura, generando la necesidad de ser controlado y extinguido, mediante la utilización de sistemas activos contra incendios, como rociadores, extintores, alarmas, etc.. El objetivo de estos sistemas es garantizar por un periodo de tiempo determinado la estabilidad de la estructura salvaguardando así la integridad de las personas.

Por esta razón se considera la protección pasiva de edificaciones como un criterio primordial a la hora de diseñar; si bien, en otros países como España, Portugal, Francia y la mayoría de países europeos regidos por el eurocódigo los diseños están debidamente reglamentados y especificados, es indispensable para un país como Colombia actualizarse en medidas de seguridad y prevención de desastres como podría ser el colapso de una estructura bajo la acción del fuego.

El estudio realizado se basó en el análisis de la información recopilada del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) [1], y de normas internacionales, específicamente el Eurocódigo [7], [8], [9], la norma Brasileira (NBR) [13], el Código Técnico de la edificación (CTE) [3] y el Instituto Americano del concreto (ACI) [2].

Las comparaciones realizadas se enfocan principalmente en el control pasivo de estructuras (de acero, hormigón y mixtas) en situación de incendio, haciendo énfasis en recubrimientos y resistencias de los materiales.

2. METODOLOGÍA

En primer lugar se recopiló información proveniente de diferentes fuentes tales como: artículos publicados en revistas de investigación, referencias de internet, normativas internacionales que rigen a otros países a la hora de diseñar las edificaciones y la normativa colombiana en [1] con el fin de obtener fuentes confiables, verídicas que permitan identificar sistemas o tendencias utilizados a la hora de mejorar la respuesta de las estructuras cuando son sometidas a la presencia de fuego y los factores de riesgo que presentes en materiales de uso cotidiano en la construcción como lo son la madera, el acero y el hormigón estructural armado.

La comparación de las normas internacionales con la NSR-10 [1] se destinó a los ítems más relevantes de los tipos de estructuras utilizados comúnmente en la construcción, de hormigón, acero y mixtas, y de esta forma poder hacer un filtro de los aspectos que a buen criterio puedan ser utilizadas y aplicadas en la reglamentación Colombiana. En la tabla 3 se describió cada ítem con los factores más importantes que las afectan para luego chequear que normativas aplican estos parámetros.

Por último se proponen especificaciones basadas en el Euro código [7], [8], [9] que la NSR-10 [1] en el título J no tiene en consideración, Con el fin de dar a conocer los parámetros existentes en otras normativas en el diseño de diferentes tipos de estructura y complementar un poco la normativa enfocándose en la protección pasiva.

3. TENDENCIAS PARA EL CONTROL PASIVO DE INCENDIOS.

El Fuego constituye uno de los riesgos potenciales para la mayoría de edificios y estructuras. Un debilitamiento de los materiales cuando se exponen a altas temperaturas genera una mayor susceptibilidad a que se produzca el colapso de la estructura, por lo tanto, el uso de la protección contra incendios en los materiales para reducir el daño térmico y los efectos que tenga sobre esta y parte de los elementos estructurales es importante y necesario [11].

Existen diferentes tipos de protección contra incendios, entre los cuales, se destaca el uso de diversos materiales para proteger los miembros estructurales, como recubrimientos, paneles y placas, pinturas y perfiles los cuales ayudan a la estructura a la hora de resistir la presencia del fuego. Una de las principales funciones de estos materiales es prevenir la propagación a las áreas aledañas de donde este inicie y proteger al elemento que se desea revestir de daños significativos tanto en su estructura como en sus propiedades mecánicas.

En la tabla 1. Se enumeran algunos de los mecanismos utilizados en cuanto a protección pasiva de las edificaciones se refiere y en la cual se nombran algunas de sus características principales.

Tabla 1. Sistemas y tendencias para la protección pasiva de estructuras en caso de incendio.

TENDENCIAS	TIPOS	CARACTERISTICAS
RECUBRIMIENTOS	<i>Mezclas de materiales cerámicos con polímeros.</i>	Retrasa la propagación, previene el agrietamiento temprano del concreto y la disminución de su resistencia mecánica [6].
	<i>Yeso-cemento</i>	Buen aislante térmico, aumenta la resistencia del elemento revestido [12].
	<i>Perlita-cemento</i>	Con un espesor de 2.5 [cm] mantiene en un 100% la capacidad de carga inicial del elemento revestido [12].
	<i>Vermiculita</i>	Posee buena adherencia al material, ayudan a impedir el paso de calor [12].
	<i>Perlita-yeso</i>	Impide el paso de calor aun con poco espesor, lo cual lo convierte en un excelente aislante térmico [12].
PÁNELES Y PLACAS	<i>Fibroceso</i>	Construcción de tabiques, fácil instalación y bajo espesor [10].
	<i>Yeso cartón</i>	Buena resistencia a la flexión y a la compresión [10].
	<i>Paneles estucados</i>	Liviano para edificios de gran altura, soportan gran carga de fuego y buen comportamiento hacia el calor [10].
	<i>Ferrocemento</i>	Buen aislante térmico capaz de conservar en alto grado sus propiedades después de someterse a fuego [11].
	<i>Placa de fibrosilicato</i>	Soluciones para tabiques y estructuras metálicas que permiten trabajar al material revestido a 1200°C.
PINTURA	<i>Revestimiento intumescentes</i>	Aislante térmico, buena adherencia a estructuras metálicas, retarda la propagación y es ampliamente utilizado en edificios de gran influencia [14] [5].
PERFILES	<i>Perfiles pultrusionados (GFRP)</i>	Brindan elevada resistencia, livianos, no son conductores por lo que resulta un buen aislante térmico [12].

4. FACTORES DE RIESGO EN CASO DE INCENDIO NO CONTEMPLADOS POR LA NORMATIVA NSR-10.

La resistencia al fuego se refiere a la estabilidad, capacidad portante, ausencia de emisión de gases inflamables, estanqueidad al paso de las llamas o gases calientes y la propiedad de combustibilidad que maneje el material al ser considerado inflamable o no y que puede favorecer el desarrollo de un incendio [10].

Cuando los materiales de una edificación se encuentran en estado puro, es decir, sin una protección adecuada o revestimiento, sufren de forma directa la acción del fuego. El acero por ejemplo es un elemento que por sí solo, constituye un alto grado de riesgo si es sometido a altas temperaturas, ya que el material tiende a expandirse rápidamente y al presentarse cargas en el elemento, se incrementa significativamente la probabilidad del colapso de la estructura [10].

En la tabla 2 Se describe de manera rápida y concisa las razones principales por las cuales los elementos construidos con hormigón, acero y madera pueden presentar fallas cuando se someten a la acción de una llama.

Tabla 2. Factores de riesgo en los principales materiales utilizados en construcción [10].

MATERIAL	FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCION
ACERO	<i>propiedades mecánicas</i>	Se ven afectadas gravemente por las altas temperaturas que se alcanzan en los perfiles en el transcurso de un incendio.
	<i>Propagación de calor</i>	Por estar compuesto de hierro es un buen conductor de calor lo que podría generar una rápida propagación del fuego originando nuevos focos térmicos que se expanden a nuevas áreas a lo largo de los perfiles como vigas, columnas, paneles.
	<i>Dilatación</i>	A una temperatura de 500 °C el acero se dilata con gran facilidad perdiendo 2/3 de su resistencia original lo que generaría que la viga pueda pandearse y ceder ocasionando consigo el arrastre del resto de los materiales portantes de la estructura.
	<i>Deformación</i>	Este comportamiento en el acero no se presupone al acercarse a altas temperaturas, bastara con incendios moderados o pequeños para que el material se llegue a deformar.
	<i>Tipo de sección</i>	A igualdad de sección, la absorción de calor es más lenta en perfiles tubulares o de cajón que en secciones abiertas.
HORMIGON ESTRUCTURAL ARMADO	<i>Resistencia a la compresión</i>	Cercano a los 800 °C el hormigón presenta una reducción del 80 % en su resistencia a la compresión.
	<i>Disgregación de la grava</i>	A los 1000 °C la grava se disgrega y el cemento se deshidrata, si esta temperatura se mantiene durante un tiempo aproximado de 3 horas con toda seguridad los efectos serán nefastos.
	<i>Pérdida de la Capacidad Portante</i>	Con temperaturas cercanas a los 1000 °C las armaduras dejan de cumplir su función, si se considera que en un incendio se alcanzan fácilmente temperaturas de 1200 °C a los 20 minutos de exposición esta se debería tomar como una consideración especial.

Tabla 2. (Continuación) Factores de riesgo en los principales materiales utilizados en construcción [10].

MATERIAL	FACTORES DE RIESGO	DESCRIPCION
MADERA	<i>Corrosión a los materiales circundantes</i>	La madera transmite el riesgo de corrosión a los materiales por ejemplo cuando se halla presente el PVC en el incendio se da esta circunstancia por la exposición de la madera a sus vapores.
	<i>Velocidad de propagación</i>	Al estar constituida por celulosa la madera constituye un elemento altamente combustible medio por el cual se puede propagar de manera acelerada un incendio.
	<i>Uniones</i>	Las uniones se realizan con elementos metálicos los cuales tienen un tiempo máximo 15 minutos de exposición al fuego, para aumentar este tiempo a 60 minutos es necesario sobre dimensionar la capacidad de carga o proteger los materiales con algún mecanismo.
	<i>Degradación por combustión.</i>	A altas temperaturas ocurre una formación de carbón que protege sus capas inferiores, como consecuencia, se produce una disminución de sus propiedades de resistencia y rigidez, ocasionando una reducción de la sección resistente del elemento estructural [14].

Si bien en la tabla 2 es necesario resaltar que el hormigón estructural dada su composición no sufre generalmente colapsos ante un incendio; es factible que se experimenten desvíos tanto de posición en el suelo como en la carga, aunque después de haber sufrido la acción del fuego son lo suficientemente seguras para establecer sus funciones normales [10]. También es importante tener en cuenta que la madera maciza no arde rápidamente y son realmente pocos los casos en los que un incendio, haya sido el primer material en arder

[10], a pesar de que la madera sea un material inflamable a temperaturas relativamente bajas, en un incendio es más seguro de lo que cree.

Un riesgo potencial para los ocupantes de la estructura, son por ejemplo las vigas de acero pandeadas, las cuales son el resultado de fuertes incendios donde las vigas que se exponen a altas temperaturas se fatigan, fallan y están a punto de colapsar, causando que se pandeen y se separen de las paredes, este fenómeno usualmente no sucede con las vigas de madera laminada ya que estas tienden a absorber más calor manteniéndose intactas durante un mayor periodo de tiempo [5].

5. COMPARACIÓN DEL REGLAMENTO COLOMBIANO CON ALGUNAS NORMATIVAS INTERNACIONALES PARA EL DISEÑO PASIVO DE EDIFICACIONES EN SITUACIÓN DE INCENDIO.

Conociendo las falencias que presenta el reglamento Colombiano (NSR-10) [1] frente a un control pasivo de las edificaciones que se encuentran en situación de incendio, se realizó una comparación con algunas de las normativas internacionales más importantes que llevan a cabo un análisis más profundo sobre este comportamiento permitiendo conocer los vacíos que nuestro reglamento tiene frente a este tema.

Para ello se analizaron normativas como el Eurocódigo [7] [8] [9], la norma Brasileira (NBR) [13], el código técnico de la edificación (CTE) [3] y el Instituto Americano del concreto (ACI) [2]; obteniendo de ellas algunos de los ítems más relevantes que pueden ayudar de alguna forma a complementar las falencias de nuestra normativa. Para un mejor entendimiento el análisis se basó en tres tipos de estructuras más utilizadas en nuestro entorno ingenieril, como lo son las estructuras de hormigón, de acero y mixtas. El estudio de las diferentes normativas permitió hacer un filtro en cada uno de los tipos de estructuras con sus respectivos ítems para de esta manera crear una comparación con nuestro reglamento, dejando claro, que cada uno de los ítems fue escogido de tal manera que pueda ser evaluado en nuestro país y quepa la posibilidad de una implementación en nuestra normativa vigente, para mejorar y avanzar en el control pasivo de las estructuras, evitando que estas fallen y colapsen causando pérdidas humanas y materiales.

En el análisis comparativo se pudo determinar que la NSR-.10 no considera, en ninguno de sus capítulos, las dimensiones mínimas de las vigas en caso de incendio, mientras que en normativas internacionales como el Eurocódigo [7], la norma Brasileira [11] y el código técnico de la edificación [3] están dentro de sus prioridades viéndolo como un ítem mínimo que se debe tener en cuenta para el diseño de estructuras bajo situación de incendio. Es por eso que esta

comparación entre las diferentes normativas se hace importante, para tener la capacidad de determinar aquellos aspectos que una reglamentación tan importante como la NSR-10 [1] no tiene en cuenta.

La investigación arroja que para las estructuras de hormigón y mixtas el factor primordial que acompaña a las principales especificaciones es el tiempo al que va a estar expuesta la estructura a las altas temperaturas y por lo tanto que resistencia en unidades de tiempo va a soportar las secciones transversales de los elementos afectados. Este factor se nombra como R30 si el elemento debe resistir 30 minutos o R60 si su exposición máxima son 60 minutos, etc. Mientras que en las estructuras de acero la afectación más notable esta en los factores de reducción de temperatura y en la resistencia de la sección transversal.

En la tabla 3, se expresa el resultado final de la comparación hecha entre las diferentes normativas, expresando frente a cada ítem que normas lo tienen en cuenta.

Tabla 3. Comparación de los diferentes ítems a analizar, con respecto a las normas de diferentes países.

TIPO ESTRUCTURA	ITEM	DESCRIPCIÓN	EUROCODIGO [7] [8] [9]	NBR [13]	ACI [2]	CTE [3]	NSR-10 [1]
HORMIGON	Dimensiones mínimas columnas	Estos factores dependen del tiempo que vaya a estar expuesto el elemento estructural. Ejemplo: se encontró valores para dimensiones y recubrimientos para resistencia a 30 minutos (R30) o resistencia a 60 minutos (R60), etc.	✓	✓	✓	X	✓
	Dimensiones mínimas Vigas		✓	✓	X	✓	X
	Dimensiones mínimas de paredes o muros de hormigón		✓	✓	X	✓	✓
	Espesor mínimo de losas		✓	✓	✓	✓	✓
	Recubrimiento mínimo de losas de concreto reforzado		X	X	✓	X	✓
	Recubrimiento mínimo de losas de concreto pres forzado		X	X	X	X	✓
	Recubrimiento mínimo de vigas de concreto reforzado		X	X	✓	X	✓
	Recubrimiento mínimo de vigas de concreto pres forzado		X	X	X	X	✓
ACERO	Resistencia de miembros a tensión	Es la resistencia que debe tener el elemento con una temperatura uniforme. Depende de factores de reducción de T° y de resistencia de la sección transversal	✓	✓	X	X	X
	Resistencia de miembros a compresión		✓	✓	X	X	X
	Resistencia de las soldaduras	Es la resistencia de los pernos y las soldaduras a elevadas T°, dependen de sus factores de reducción	✓	✓	X	X	X
	Resistencia de los pernos		✓	✓	X	X	X
	Factor de sección para miembros sin protección	Es el aumento de la T° en la sección transversal para una distribución uniforme. Depende de un factor de sección que se extrae de la geometría del elemento	✓	✓	X	X	X
	Factor de sección para miembros con protección		✓	✓	X	X	X
	Resistencia al fuego cuando se protege con concreto [minutos]	Depende de las características intrínsecas del material y de la sección transversal	X	X	X	X	✓
	Resistencia al fuego en elementos de una edificación [hora]	Tiempo mínimo que debe resistir los elementos, depende del tipo del grupo de ocupación de la edificación	X	X	X	X	✓
MIXTAS	Dimensiones mínimas para vigas compuestas	Se encuentran valores dependiendo del tiempo que debe resistir el elemento estructural ante una situación de altas temperaturas. R30, R60, etc.	✓	✓	X	X	X
	Recubrimiento mínimo para el refuerzo en vigas		✓	✓	X	X	X
	Recubrimiento mínimo para vigas compuestas		✓	✓	X	X	X
	Dimensiones mínimas de columnas compuestas		✓	✓	X	X	X
	Recubrimiento mínimo de columnas compuestas		✓	✓	X	X	X

6. SOLUCIONES PROUESTAS PARA LAS FALENCIAS ENCONTRADAS EN LA NSR-10

La NSR-10 [1], en su título J, trata el tema de los requisitos que se deben tener en cuenta para la protección contra incendios en las diferentes edificaciones, pero este se ve más enfocado hacia los mecanismos activos que existen para evitar la propagación del fuego y la rápida extinción del mismo, pero poco o nada enfatiza en las características de diseño pasivo y protección estructural que en otras normativas se consideran como mínimas y necesarias para salvar la integridad de las edificaciones.

La propuesta de las especificaciones para el control pasivo de las estructuras está basada en la norma más importante que cobija a Europa como lo es el Eurocódigo[7], [8], [9], ya que es la más completa y en la cual más países se arraigan a sus consideraciones, además sería muy útil para la norma Colombiana tener en cuenta todas estas especificaciones mínimas de diseño que en la actualidad no tiene y así empezar a actualizar y mejorar en el campo de las edificaciones sometidas a incendios, que es un tema en el cual hoy en día se evoluciona rápida y eficazmente con el fin de disminuir la cantidad de pérdidas tanto humanas como materiales.

6.1. ESTRUCTURAS DE HORMIGON.

En las estructuras de hormigón la falencia más notable que tiene la NSR-10 [1] es el dimensionamiento de vigas simplemente apoyadas o continuas hechas en hormigón armado y pretensado que están expuestas a las temperaturas elevadas que produce un incendio.

El Eurocódigo [7] dimensiona este elemento teniendo en cuenta la resistencia al fuego de la estructura dependiendo del tiempo de exposición que se desee considerar, este criterio es el que asegura la capacidad de soportar las cargas de fuego durante la acción en el tiempo indicado, teniendo en cuenta el

recubrimiento, visto como la distancia comprendida entre la cara expuesta al fuego y el acero de refuerzo, basándose en la hipótesis de una carga de fuego constante sobre la viga. Los valores de las dimensiones mínimas se pueden ver en las tablas 5.5 y 5.6 del Eurocódigo [7].

6.2. ESTRUCTURAS DE ACERO.

Como se pudo observar en la comparación de las normas, la NSR-10 [1] tiene muy poca información sobre la protección pasiva de las estructuras de acero, por este motivo las especificaciones que si tienen otras normas como el Eurocódigo [8] se hacen necesarias en el reglamento Colombiano ya que cada vez son más las estructuras de este tipo que se ven realmente afectadas por la acción del fuego llegando hasta el punto del colapso.

Las resistencias, los factores de reducción a causa del fuego y los factores de sección deben ser indispensables en el diseño de los elementos de acero, para retardar, aislar e impedir que el fuego se apropie de este material y se vea afectada la integridad estructural.

6.2.1. RESISTENCIA DE MIEMBROS A TENSIÓN:

El Eurocódigo [8] considera que se deben tener en cuenta parámetros como el factor de reducción para el límite de elasticidad del acero a una temperatura Θ y la resistencia de cálculo de la sección transversal, para el diseño a una temperatura normal con el fin hallar la resistencia de cálculo de un elemento a tensión con una temperatura uniforme.

$$N_{fi,\theta,Rd} = K_{y,\theta} N_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,\theta}}{\gamma_{M,fi}} \right] \quad (1)$$

$K_{y,\theta}$ = Factor de reducción para el límite de elasticidad del acero a una temperatura θ .

N_{Rd} = Resistencia de calculo de la seccion transversal para el diseño a una temperatura normal.

$\gamma_{M,0}$ = coeficiente parcial para la resistencia de las secciones transversales cualquiera que sea su clase.

$\gamma_{M,fi}$ = coeficiente parcial para la propiedad del material relevante en caso de incendio.

Se debe tener en cuenta que el valor de diseño de un efecto de acción en cada sección transversal no debe exceder la resistencia de diseño correspondiente y si varios efectos de acción actúan simultáneamente el efecto combinado no debe exceder de la resistencia para esa combinación [8].

6.2.2. RESISTENCIA DE LOS MIEMBROS A COMPRESIÓN:

Diferentes tipos de elementos que son sometidos a compresión axial bajo la carga o la influencia del fuego son considerados por el Eurocódigo [8].

Resistencia al pandeo en un tiempo t determinado de un miembro a compresión:

$$N_{b,fi,t,Rd} = K_{y,\theta} A X_{fi} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (2)$$

X_{fi} = Es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en la situación de diseño de fuego.

$K_{y,\theta}$ = es el factor de reducción para el límite de elasticidad del acero a la temperatura del acero θ alcanzado en el tiempo t .

$A =$ Area del elemento de la sección transversal a una temperatura θ .

$f_y =$ Limite elástico a 20 °C.

Además, en estos casos, la longitud de pandeo a adoptar puede reducirse si los nudos son rígidos y las plantas superior e inferior pertenecen a sectores de incendio distintos. De esta forma se adopta una longitud de pandeo de viga biempotrada, excepto en la planta superior, donde se tomara el modelo de viga empotrada apoyada [16].

6.2.3. RESISTENCIA DE LAS SOLDADURAS:

El Eurocódigo [8] se centra en las soldaduras de filete y a tope. La resistencia de diseño de una soldadura a tope de penetración completa, para temperaturas de hasta 700 °C, debe tomarse como igual a la fuerza de la parte más débil unida, utilizando los factores de reducción adecuados para el acero estructural. Para temperaturas superiores a los 700 °C los factores de reducción dados para soldaduras de filete también se pueden aplicar a las soldaduras a tope [8].

Resistencia de cálculo por unidad de longitud de una soldadura de filete en el fuego [8].

$$F_{w,t,Rd} = K_{w,\theta} F_{w,Rd} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (3)$$

$K_{w,\theta} =$ El factor de reducción de resistencia de las soldaduras.

$F_{w,Rd} =$ Resistencia de cálculo de soldadura por unidad de longitud.

6.2.4. RESISTENCIA DE LOS PERNOS

En el Eurocódigo [8] se nombra la resistencia que debe tener un perno después de someterse a la carga constante de fuego por un determinado tiempo t . Se trabajan o se analizan los pernos sometidos a compresión y a tensión [8].

6.2.4.1. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PERNOS SOMETIDOS A COMPRESION:

La resistencia de cálculo de fuego de los pernos cargados en corte debe determinarse a partir de:

$$F_{v,t,Rd} = K_{b,\theta} F_{v,Rd} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4)$$

$K_{b,\theta}$ = El factor de reducción determinado por la temperatura del perno apropiado.

$F_{v,Rd}$ = La resistencia de cálculo a cortante de un perno por plano de corte calculada suponiendo que el plano de corte pasa a través de los hilos de rosca del perno.

El diseño de los soportes de resistencia de los tornillos en el fuego debe ser determinado a partir de:

$$F_{b,t,Rd} = K_{b,\theta} F_{b,Rd} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (5)$$

$F_{b,Rd}$ = la resistencia de soporte de diseño de pernos

6.2.4.2. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PERNOS SOMETIDOS A TENSIÓN:

Pernos no precargados y precargados

La resistencia a tracción de un solo tornillo en el fuego debe ser determinado a partir de [8]:

$$F_{ten,t,Rd} = K_{b,\theta} F_{t,Rd} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (6)$$

$F_{t,Rd}$ = Resistencia a tracción por tornillo.

Los factores de reducción del límite de elasticidad dependen de la relación entre la fluencia a una temperatura elevada y la fluencia a temperatura normal de 20°C. Siendo necesario generar estos factores por ensayos prácticos realizando curvas de temperatura vs resistencia, los cuales en normas como el Eurocódigo [8] ya se encuentran establecidas y por el contrario en la NSR-10 [1] no se tienen en cuenta. Las investigaciones en el país han venido avanzando en ello con el fin de poder generar factores ajustados a las necesidades Colombianas.

El propósito de dichos factores en la afectación directa de las propiedades mecánicas y de la capacidad resistente del elemento a temperaturas elevadas, es importante ya que la influencia de la temperatura no se tiene en cuenta en el reglamento, distanciando la generación de un diseño más óptimo de las estructuras y elementos de acero.

6.3. ESTRUCTURAS MIXTAS.

Este tipo de estructuras no son consideradas por la normativa Colombiana, pero si tienen su espacio en normas como la Brasileira [13] y el Eurocódigo [9], donde se especifican las dimensiones y los recubrimientos mínimos de las

vigas y de las columnas. Estos parámetros están regidos por la resistencia al fuego en unidades de tiempo, al igual que las estructuras de hormigón.

6.3.1. VIGAS MIXTAS.

Las vigas mixtas que comprenden una viga de acero con recubrimiento de concreto parcial se pueden clasificar en función del nivel de carga ($n_{fi,t}$) la anchura del haz (b) y el refuerzo adicional en relación con el área de la brida inferior (A_s). Los valores que se encuentran en las tablas 4.1 a la 4.3 del eurocódigo [9] son válidos solamente para vigas simplemente apoyadas y únicamente para el grado de acero estructural S355, si se utiliza otro tipo de acero estructural, los valores mínimos para el refuerzo adicional deben tenerse en cuenta por la relación entre el punto de este otro tipo de acero y el punto de fluencia [9].

En el caso de las dimensiones mínimas de las vigas mixtas el Eurocódigo [9] establece que respecto a la resistencia de fuego, el nivel de carga y la altura h , se determine la base de la sección transversal. Los cuales constituyen valores que fácilmente la norma colombiana puede tener en consideración.

Para los recubrimientos mínimos del refuerzo adicional de las secciones mixtas solo se tiene en cuenta la resistencia al fuego en unidades de tiempo. Las tablas de la 4.1 a la 4.3 del Eurocódigo [9] podrían ser importantes para la NSR-10 [1] ya que al considerar estas especificaciones, complementará un elemento estructural importante que no se tiene en cuenta en el reglamento Colombiano como lo son las vigas mixtas.

6.3.2. COLUMNAS MIXTAS

El Eurocódigo [9] determina las dimensiones mínimas y los recubrimientos de columnas compuestas de perfiles tubulares, embebidas y encajonadas, en

base a la resistencia de las secciones al fuego, evitando que los pilares de las estructuras fallen por la acción del fuego y se mantenga íntegra la estructura.

La validez de los datos obtenidos en las tablas de diseño de la 4.4 a la 4.7 del Eurocódigo [9] es aceptada para pórticos arriostrados únicamente y para columnas compuestas con una longitud máxima de 30 veces la dimensión exterior mínima de la sección transversal elegida. [9].

El refuerzo debe constar de un mínimo de 4 barras con un diámetro de 12 [mm]. En todos los casos el porcentaje mínimo de las barras de refuerzo longitudinales debe cumplir con los requisitos de la norma EN 1994-1-1 (EUROCODIGO). [9].

La NSR-10 [1] debe tener como especificaciones mínimas las dimensiones y los recubrimientos a los aceros de refuerzo de las secciones compuestas ya que en caso de incendio de este tipo de estructuras podría llegar a ser catastrófico por no contar con una reglamentación adecuada.

Estas son algunas de las especificaciones que la NSR-10 [1] no tiene en cuenta y que para poder complementarla en base al Eurocódigo [9] se debe conocer cada ítem y su aplicación a las diferentes estructuras (hormigos, acero, mixtas).

Es necesario comprender que las dimensiones, los recubrimientos y las resistencias tratadas son afectados por parámetros indispensables para poder determinarse, como por ejemplo la resistencia al fuego de los elementos, ya que esta afecta directamente las secciones transversales, disminuyendo su capacidad portante y su funcionalidad al aumentar la exposición al fuego de los elementos estructurales.

7. CONCLUSIONES

Aplicando mezclas de polímeros con cerámicos como aislantes térmicos, se produce al interior de una columna de hormigón armado, temperaturas inferiores a los 100°C en los primeros 30 minutos de exposición al fuego, dando como resultado la prevención del agrietamiento temprano del concreto y la disminución de su resistencia mecánica [6].

El hormigón, al presentar temperaturas cercanas a los 200-250 °C pierde su resistencia, y cercano a los 300 °C las grietas empiezan a surgir [6].

La chaqueta de ferrocemento es una solución satisfactoria para proteger la estructura contra incendios ya que la resistencia a flexión obtenida después de someter a fuego intenso en comparación con un recubrimiento normal de hormigón o mortero es mucho mayor [11].

En algunos países los códigos reguladores como lo son el Código egipcio y el código unificado árabe, recomiendan el uso de 1,5 [cm] de cemento cal o capa de yeso con vermiculita, para protección contra incendios de vigas y elementos de hormigón [12].

Los sistemas pasivos de protección contra incendios garantizan una resistencia al fuego de 65-76 minutos, que corresponde a un aumento de 27-38 min relativamente al perfil sin protección [6] [15].

Algunos factores de riesgo que se pueden presentar en estructuras de acero y que deben considerarse a la hora de diseñar elementos son: sus propiedades mecánicas, la propagación del calor que este puede presentar, la dilatación y deformación a la que se somete el material y el tipo de sección con la cual se halla construido el elemento estructural [10] [14].

Aunque el hormigón no presenta problemas significativos, ya que no se tienen muchas referencias sobre colapsos de estas estructuras, deben considerarse que a temperaturas superiores a los 1000 °C este presenta reducción en su resistencia a la compresión y capacidad portante de la armadura así como también puede ocasionar que la grava del material se disgregue [10].

Las maderas a pesar de ser un material inflamable presentan un alto grado de seguridad cuando se somete a una sollicitación de incendio.

Los elementos contruidos a base de madera pueden presentar problemas como la velocidad de propagación de la llama o degradación del material por combustión, pero el problema principal se ha encontrado en las uniones de dichos elementos y en los cuales se aconseja tener sumo cuidado a la hora de diseñar y construir [10].

La NSR-10 [1] centra la protección pasiva en el hormigón, desprotegiendo las estructuras de acero y mixtas que las demás normativas enfatizan.

Se hace necesario que para las especificaciones propuestas se evalúen los factores de disminución y de sección para Colombia, ya que se toman en cuenta las dadas en el Eurocódigo.

Es importante que la NSR-10 dimensione, recubra y genere una mayor resistencia a los elementos estructurales en base a la afectación que produce el fuego sobre la edificación, disminuyendo así la transmisión excesiva de calor retardando el tiempo de exposición para mantener integra y aislada la estructura.

8. REFERENCIAS

- [1] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica ACIS.2010, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10.
- [2] Building Code Requirements for Masonry Structures, (ACI 530-02/ASCE 5-02/TMS 402-02). February 2002.
- [3] Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad en caso de incendio. CTE-DB-SI. Ministerio de fomento. España Febrero 2010.
- [4] Correia J, Branco F, Ferreira J, Bai Y, Keller T, “Fire protection systems for building floors made of pultruded GFRP profiles, Part 1: Experimental investigations”. Composites: Part B vol. 41 (2010) pp. 617–629.
- [5] Correia Rodrigues J, Fakury R, Ono R, Munaiar Neto J, 2° CILASCI- Congreso Ibero-Latino- Americano en seguridad contra incendios, Coimbra- Portugal Mayo, 2013, pp. 219-221.
- [6] Cruz R, Latorre G, Quintero C. “Development of a composite material for columns concrete coating as fire protection” Proceedings, First International workshop of concrete spalling due to fire exposure (2009) pp.107-115.
- [7] Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design. BS EN 1992-1-2:2004.
- [8] Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2: General rules-Structural fire design. EN 1993-1-2:2005.
- [9] Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures. Part 1-2: General rules-Structural fire design. EN 1994-1-2:2005.

[10] Fregonara Bermúdez L,. “Comportamiento estructural frente al fuego”. Curso módulo III, (2007) pp. 21-28.

[11] Greepala V, Nimityongskul P. “Structural integrity of ferrocement panels exposed to fire”. Cement & Concrete Composites vol. 30 (2007) pp. 419–430.

[12] Hodhod A, Rashad M, Abdel-Razek M, Ragab M, “Coating protection of loaded RC columns to resist elevated temperature”. Fire Safety Journal vol. 44 (2009) pp. 241–249.

[13] Proyecto de estructuras de acero y de estructuras mixtas de acero y concreto de edificios en situación de incendios, ABNT NBR 14323. Agosto 2012.

[14] Revestimiento con pintura intumescente; <http://www.berbelporcel.com/proteccion-estructura-metalica-mediante-pintura-intumescente/>, (05 de febrero de 2014).

[15] Vega Catalán L, Burón M, “Seguridad frente al fuego de las estructuras de hormigón”. ISSN: 0008-8919, Marzo de 2007 pp. 44-51.

[16] Virgili Grau X, Real Saladrigas E G, Mirambell Arrizabalaga E, “Comportamiento de elementos estructurales de acero frente a incendio. Análisis de la normativa”. (2007) pp.32-40.