

4^{as} JORNADAS de Segurança aos Incêndios Urbanos



Instituto Politécnico de Bragança

Atas dos Artigos



TÍTULO:

Atas dos Artigos das 4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos

EDIÇÃO:

ALBRASCI (Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio)

EDITORES:

Débora Ferreira (IPB), Elza Fonseca (IPB), João Carlos Viegas (LNEC), João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI), José Pedro Lopes (ANPC), Luís Mesquita (IPB), Nuno Lopes (UA), Paulo Piloto (IPB)

DESIGN GRÁFICO:

Soraia Maduro – CIPweb IPB

EDIÇÃO:

1^a, Novembro de 2014

ISBN:

978-989-97210-2-9

DEPÓSITO LEGAL:

382800/14

IMPRESSÃO:

Bringráfica – Indústrias Gráficas, Lda

OBSERVAÇÃO:

Nenhuma parte desta obra pode ser reproduzida sem autorização escrita dos autores e da editora

PREFÁCIO

A Segurança Contra Incêndio de Edifícios (SCIE) atingiu a sua maturidade em Portugal fruto do desenvolvimento sustentado que tem tido na última década não só ao nível da investigação com a realização de vários projetos nacionais e europeus em várias instituições Portuguesas, como com o aparecimento de formação avançada (mestrado e doutoramento) e formação profissional em várias áreas da SCIE e da criação duma regulamentação uniforme para a área, suportada por uma normalização também ela completa e abrangente de toda a área da SCIE. Este desenvolvimento trará enormes retornos não só ao nível da segurança das edificações, bens e pessoas, como económicos, com um reflexo positivo para a sociedade. Portugal está hoje na primeira linha do desenvolvimento na área da SCIE. Poderemos dizer que projetar e construir hoje é mais seguro em termos de SCIE do que há quinze anos atrás e por isso temos que nos sentir orgulhosos.

No acompanhamento deste desenvolvimento, os Laboratórios das instituições públicas Portuguesas também se apetrecharam com novos e importantes equipamentos, que permitem o ensaio e certificação dos produtos das indústrias nacionais, tornando estas mais competitivas na sua ação não só no mercado nacional como internacional.

Portugal é hoje uma referência mundial na área da SCIE, sendo respeitado no Brasil e restantes PALOP como no resto do mundo. Neste relacionamento deve se destacar a ligação com o Brasil não só ao nível dos bombeiros, dos técnicos da empresas e dos professores e investigadores que na ALBRASCI – Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio encontraram um espaço de discussão e colaboração em diferentes iniciativas em SCIE.

As Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos começaram em 2006, aquando da realização do primeiro Mestrado em Segurança Contra Incêndios Urbanos na Universidade de Coimbra, e em cada nova edição o sucesso vai-se renovando com o aparecimento de novos trabalhos científicos com um nível científico cada vez maior. Estas Jornadas têm constituído um fórum de debate alargado entre técnicos e demais interessados na área da SCIE.

As 4^{as} Jornadas em SCIE (4JORNINC) realizam-se este ano em Bragança, no Instituto Politécnico, pois esta é uma Escola que ao longo das últimas décadas tem realizado trabalho na área e criou um grupo de investigação que tem atuado ao maior nível em termos nacionais e internacionais. O número e qualidade das publicações submetidas a este evento foi muito bom pelo que o sucesso das 4JORNINC está assegurado.

Para finalizar queria agradecer a sua participação nestas Jornadas que serão certamente do seu maior interesse e profícuas para o seu desenvolvimento profissional.

João Paulo C. Rodrigues

COMISSÃO ORGANIZADORA

Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
João Paulo C. Rodrigues (UC - ALBRASCI)
João Carlos Viegas (LNEC)
Luís Mesquita (IPB)
Nuno Lopes (UA)
José Pedro Lopes (ANPC)
Paulo A. G. Piloto (IPB)



Laboratório Nacional de Engenharia Civil



COMISSÃO CIENTÍFICA

Aldina M. da Cruz Santiago (FCTUC)
António Moura Correia (IPC)
A. Sérgio Miguel (U Minho)
Carlos Ferreira de Castro (Action Modulers)
Carlos Pina dos Santos (LNEC)
Cristina Calmeiro dos Santos (IPCB)
Débora Ferreira (IPB)
Elza Fonseca (IPB)
José Carlos M. Góis (FCTUC)
João Carlos Viegas (LNEC)
João Ferreira (IST)
João Paulo C. Rodrigues (FCTUC)
João Pinheiro (CDOS Bragança – ANPC)
João Ramôa Correia (IST)
Joaquim Barros (U Minho)
Jorge Gil Saraiva (LNEC)
Lino Forte Marques (FCTUC)
Luís Laím (FCTUC)
Luís Mesquita (IPB)
Miguel Chichorro Gonçalves (FEUP)
Nuno Lopes (UA)
Paulo A. G. Piloto (IPB)
Paulo Jorge M. F. Vila Real (UA)
Paulo Lourenço (U Minho)
Pedro Martins Arezes (U Minho)
Pedro Vieira Carvalheira (FCTUC)
Rui Faria (FEUP)
Vítor Carlos T. Abrantes (FEUP)

ÍNDICE

PREFÁCIO	i
COMISSÃO ORGANIZADORA	iii
COMISSÃO CIENTÍFICA	iv
PALESTRAS	1
O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS E OS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIS	3
PREVENÇÃO E PROTEÇÃO CONTRA OS RISCOS DERIVADOS DE ATMOSFERAS EXPLOSIVAS.....	27
GRAU DE PRONTIDÃO DOS MEIOS DE SOCORRO E A EFICÁCIA DOS BOMBEIROS PORTUGUESES	37
CONTROLO DE FUMO EM GRANDES ÁTRIOS.....	47
VALIDAÇÃO NUMÉRICA DE ENSAIOS EXPERIMENTAIS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO.....	61
ARTIGOS	111
SESSÃO DE ARTIGOS 1:	111
ANÁLISE DA REGULAMENTAÇÃO PORTUGUESA DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS E PROPOSTA DA SUA APLICAÇÃO EM MOÇAMBIQUE.....	113
UMA VISÃO SISTÊMICA DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES NO BRASIL E A POSSIBILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE UM REGULAMENTO NACIONAL.....	127
ANÁLISE DAS ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO SEGUNDO OS PRECEITOS DE DESEMPENHO, DURABILIDADE E SEGURANÇA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO CONFORME AS PRESCRIÇÕES NORMATIVAS BRASILEIRAS.....	139
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM INSTALAÇÕES DE ARMAZENAMENTO DE MERCADORIAS.....	149
INCÊNDIOS EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS – ENSAIOS À ESCALA REAL	157
IMPLEMENTAÇÃO DA DIRETIVA ATEX NO SETOR INDUSTRIAL	167
CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE REDES SECAS.....	177
COMPUTATIONAL SIMULATION ON THE PERFORMANCE OF AIR PLANE JETS FOR SMOKE CONTROL.....	187
CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS GERADOS POR VENTILADORES DE IMPULSO.....	199
SESSÃO DE ARTIGOS 2:	213
ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO NA ANTIGA VILA DOS PESCADORES EM PORTO ALEGRE (RIO GRANDE DO SUL - BRASIL).....	215
ADEQUAÇÃO DO MÉTODO DE GREENER À AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO NOS CENTROS URBANOS ANTIGOS.....	225
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DE EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS.....	235

AVALIAÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO URBANO – PROPOSTA DE UM MÉTODO PARA ANÁLISE E GESTÃO DO EDIFICADO EXISTENTE	245
ORGANIZAÇÃO E GESTÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS: PRINCIPAIS GRUPOS DE INTERESSE.....	253
A SEGURANÇA OPERACIONAL NA ATIVIDADE DE SALVAMENTO E DE COMBATE A INCÊNDIOS	263
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS GESTÃO NO USO DOS EDIFÍCIOS	273
ESTUDO DA EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS.....	283
O CONTROLO DE FUMO POR MEIOS ATIVOS E A EVACUAÇÃO EM LOCAIS DE RISCO.....	293
SESSÃO DE ARTIGOS 3:	305
ANÁLISE NUMÉRICA DA ENCURVADURA POR ESFORÇO TRANSVERSO EM VIGAS SUJEITAS A INTERAÇÃO ENTRE ESFORÇO TRANSVERSO E MOMENTO FLETOR A TEMPERATURAS ELEVADAS	307
ESTUDO PARAMÉTRICO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM C ENFORMADAS A FRIO	319
EFFECT OF ELEVATED TEMPERATURES ON THE BOND STRENGTH OF FRP-STRENGTHENED BRICKS	331
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN A ALTAS TEMPERATURAS.....	341
RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS ESTRUTURAIS DE AÇO INOXIDÁVEL COM SECÇÕES TUBULARES QUADRADAS DE CLASSE 4 SUJEITOS A FLEXÃO COMPOSTA COM COMPRESSÃO	351
COMPORTAMENTO AO FOGO DE ELEMENTOS DE COMPARTIMENTAÇÃO DE BASE GESSO SUJEITOS A INCÊNDIO NATURAL	363
COMPORTAMENTO AO FOGO DE VIGAS DE BETÃO ARMADO REFORÇADAS À FLEXÃO COM LAMINADOS DE CFRP COLADOS EXTERIORMENTE. ESTUDO EXPERIMENTAL	375
ANÁLISE NUMÉRICA DE VIGAS MISTAS PARCIALMENTE REVESTIDAS DE AÇO E CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	387
ANÁLISE TÉRMICA DE PILARES DE AÇO EXPOSTOS A INCÊNDIOS LOCALIZADOS.....	399
SESSÃO DE ARTIGOS 4:	411
PROPAGAÇÃO DE CHAMAS ATRAVÉS DE VÃOS DE FACHADA EM EDIFÍCIOS.....	413
COMPORTAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE GFRP. ESTUDO EXPERIMENTAL	425
BETÕES CORRENTES EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	435
ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DOS MODELOS DE CÁLCULO DA EN1993-1-2 PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE VIGAS C EM AÇO ENFORMADAS A FRIO.....	445
BETÃO COM ADIÇÃO DE FIBRAS DE AÇO E TÊXTEIS RECICLADAS DE PNEU SUJEITO A ALTAS TEMPERATURAS.....	457
ANÁLISE TÉRMICA 2D E 3D DE UM PAVIMENTO/COBERTURA EM MADEIRA COM PERFURAÇÕES.....	467
RESISTÊNCIA AO FOGO DE VIGAS EM MADEIRA E SECÇÕES DE PERFIS EM AÇO.....	475

4^{as} Jornadas de Segurança aos Incêndios Urbanos
Instituto Politécnico de Bragança - Portugal - 6-7 de Novembro de 2014

REDUÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS SECÇÕES METÁLICAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS COM BETÃO SUJEITAS AO FOGO	483
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PAREDES EM TABIQUE.....	493
SESSÃO DE ARTIGOS 5:.....	505
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE EXPERIMENTAL.....	507
RESISTÊNCIA AO FOGO DE LAJES CELULARES EM MADEIRA COM DIFERENTES PERFURAÇÕES – ANÁLISE NUMÉRICA.....	517
RESISTÊNCIA AO FOGO DE BLOCOS DE BETÃO LEVE À BASE DE CAROÇO DE ESPIGA DE MILHO	527
REAÇÃO AO FOGO DE BETÃO COM E SEM FIBRAS DE POLIPROPILENO – ANÁLISE EXPERIMENTAL E VALIDAÇÃO NUMÉRICA.....	537
VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO DE ELEMENTOS NÃO UNIFORMES EM AÇO - VALIDAÇÃO NUMÉRICA DO MÉTODO GERAL DO EC3.....	549
FORMULAÇÃO E COMPORTAMENTO DE TINTAS INTUMESCENTES.....	559
ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834.....	569
COMPORTAMENTO AO FOGO DE PERFIS C E Z ENFORMADOS A FRIO	579
ENSAIOS DE REAÇÃO AO FOGO DE TINTAS INTUMESCENTES COM GRANULADO DE CORTIÇA.....	589
FATOR DE REDUÇÃO DO NÍVEL DE CARREGAMENTO, η_n : VALORES DE PROJETO E CONSEQUÊNCIAS DA SIMPLIFICAÇÃO APONTADA NO EC2-1-2.....	599
NÍVEL DE CARREGAMENTO À TEMPERATURA NORMAL, n : VALORES DE PROJETO E VALORES MÁXIMOS APONTADOS NO EC2-1-2	609

ESTUDIO NUMÉRICO DE VIGAS PARCIALMENTE EMBEBIDAS SOMETIDAS A FLEXIÓN EXPUESTAS A FUEGO ISO834



Paulo Piloto*
Profesor
IPB - Bragança



A.B Ramos-Gavilán
Profesora
U.Salamanca (Spain)



Luís Mesquita
Profesor
IPB - Bragança

RESUMEN

Este estudio aborda el análisis numérico, mediante el método de los elementos finitos (MEF), del comportamiento a flexión de vigas parcialmente embebidas (VPEs) sometidas a flexión en tres puntos expuestas a fuego estándar ISO834 [1]. Empleando el programa comercial ANSYS [2] se generan dos modelos tridimensionales: uno térmico y otro mecánico, capaces de predecir el comportamiento de VPEs de 1.2m, formadas por perfiles IPE100 de acero S275 recubiertos lateralmente por hormigón C20/25, armado con barras longitudinales ϕ 8mm y con cercos abiertos ϕ 6mm, dispuestos cada 166mm de acero B500 [3]. Una vez calibrados, estos modelos permitirán la simulación del comportamiento de VPEs con idéntica sección y condiciones de apoyo, para distintas longitudes y niveles de carga.

PALABRAS-CLAVE: simulación numérica; vigas parcialmente embebidas; fuego.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de los resultados experimentales del comportamiento a fuego de VPEs sometidas a flexión [3], este trabajo aborda el análisis numérico mediante el MEF, generando dos modelos capaces de predecir el comportamiento térmico y mecánico de las probetas. Las vigas analizadas están generadas en base a un perfil IPE100 de acero S275 [4], recubierto con hormigón C20/25 [5]. La armadura del hormigón es de acero B500SD [6], formada por cuatro barras longitudinales de 8mm de diámetro y cercos de 6mm de diámetro dispuestos cada 166mm. En la Figura 2(a) se define gráficamente la sección de las probetas. Las vigas

*Autor correspondiente – Dep. de Mecânica Aplicada, Instituto Politécnico de Bragança. Campus Santa Apolónia, 5301-857 Bragança.

Telef.: +351 273 303157, Fax: +351 273 313051, E-mail: ppiloto@ipb.pt

ensayadas tienen una longitud total $L_t=1370\text{mm}$ y se disponen en el interior de un horno con el que se expone el tramo central, de longitud $L_f=1000\text{mm}$, a fuego estándar ISO834 [1]. Los apoyos, situados en los extremos de la probeta, en el exterior del horno, tienen una separación $L_s=1210\text{mm}$. Ver Figura 1.

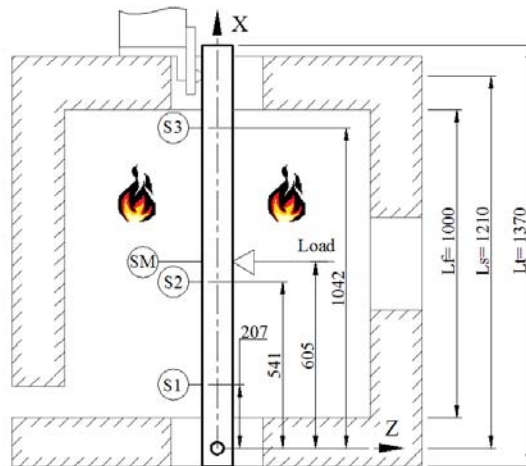


Figura 1: Esquema del ensayo a flexión a fuego en tres puntos. Cotas en milímetros.

2. GEOMETRÍA Y MALLAS GENERADAS

Se define una única malla de nodos sobre la que se construye el modelo térmico y el modelo mecánico de una VPE de 1.21m, con elementos que tienen un factor de forma próximo a la unidad. La existencia de una malla común permite aplicar de forma sencilla las temperaturas obtenidas en el análisis térmico al modelo mecánico. En la Figura 2(b) se muestra la sección de la viga analizada en los modelos térmico y mecánico, así como las dimensiones de los elementos, que longitudinalmente miden 10,0mm.

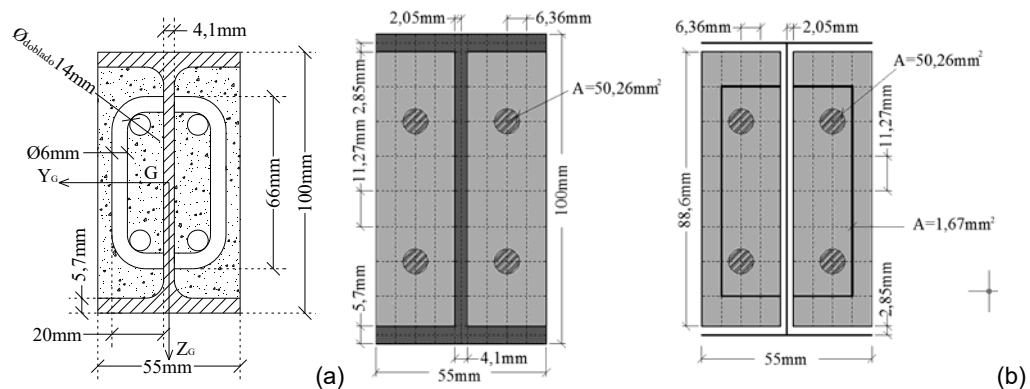


Figura 2: (a) Sección teórica de las probetas del análisis experimental. (b) Sección de los modelos: térmico (izquierda) y mecánico (derecha).

La malla no considera ni las curvaturas del perfil ni la geometría real del refuerzo, ya que sus elementos se superponen con los del hormigón. Se introduce una imperfección global lateral de valor máximo $L/600$ y se duplican los nodos de la superficie de contacto perfil-hormigón para modelizar su comportamiento térmico a través de elementos tipo muelle.

3. ANÁLISIS TÉRMICO

El modelo generado simula el calentamiento por radiación y convección en el contorno del tramo de 1m que discurre en el interior del horno, ver Figura 1, y permite obtener el campo de temperaturas en la viga a lo largo del tiempo de exposición a fuego estándar ISO834 [1]. Para analizar el comportamiento del perfil y del hormigón se emplea el elemento tridimensional SOLID70 de ANSYS [7], para simular el contacto térmico perfil-hormigón el elemento tipo muelle COMBIN39 de ANSYS [7], y el elemento tipo barra LINK33 de ANSYS [7] para considerar la existencia de la armadura longitudinal. Las propiedades térmicas del acero en el modelo corresponden con los indicados en el Eurocódigo 3 [8] para el acero al carbono, y las del hormigón y refuerzo son las recogidas en el Eurocódigo 2 [9] para hormigones con árido silíceo. El comportamiento del contacto térmico perfil-hormigón se define mediante una curva flujo de calor vs temperatura, adoptándose un valor de conductancia a elevadas temperaturas de $67(W/m^2K)$, obtenido mediante optimización del modelo [10]. Para evaluar la radiación en el contorno, se considera una emisividad de las superficies de acero y de hormigón de 0.7 [8][9], y una emisividad del fuego de 0.8. Para el calentamiento de la probeta por convección, el coeficiente de convección de las superficies de acero y hormigón adoptado es $25(W/m^2K)$ [8][9].

En un punto fuera de la malla de la viga se aplica se aplica la curva ISO834 [1] como vector de cargas, en función del tiempo de cálculo, que coincide con el tiempo de exposición a fuego. Para la resolución numérica se emplea el procedimiento Array Parameter Method de ANSYS [2], que aplica la carga en función del tiempo a través de bucles, en los que se define un paso tiempo de 1s para la resolución no lineal mediante el método de Newton-Raphson.

3.1 Resultados del análisis térmico

A pesar de la diferencia que existe entre la geometría real de la sección y el comportamiento térmico real de los materiales, el modelo térmico logra simular correctamente el calentamiento de las secciones centrales de la probeta. En la Figura 3 y Figura 4 se muestra el resultado experimental y numérico del calentamiento del perfil y del hormigón de la sección central. El calentamiento excesivo de la superficie del hormigón en el tramo final del calentamiento, podría indicar que, a pesar de adoptar la curva máxima de Eurocódigo[9], la conductividad del hormigón considerada en el modelo es menor que la real.

El resultado de las temperaturas de los nodos para cada instante de tiempo son un vector de carga que se aplica para ese mismo instante en los nodos del modelo mecánico cuando éste

se expone a fuego estándar ISO834 [1]. En la Figura 5 se muestran las temperaturas en la sección central para un tiempo de calentamiento $t=2500s$.

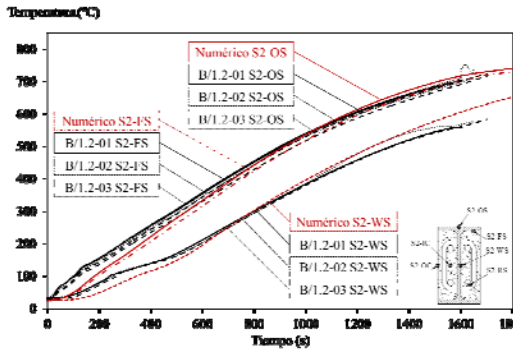


Figura 3: Calentamiento numérico vs experimental del perfil en la sección S2.

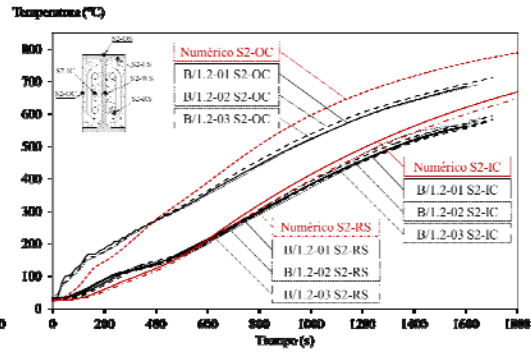


Figura 4: Calentamiento numérico vs experimental del hormigón y refuerzo en la sección S2.

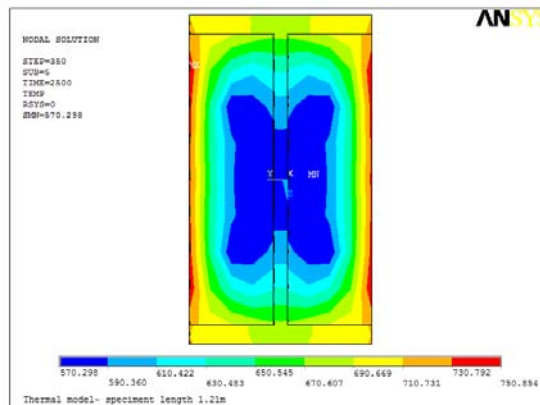


Figura 5: Temperaturas en la sección S2 para un tiempo de exposición a fuego [1] $t=2500s$.

4. ANÁLISIS MECÁNICO

Mediante el modelo mecánico se aborda el análisis del comportamiento a flexión de VPEs sometidas a temperatura ambiente y a fuego. Este análisis permite validar un modelo, en base al estudio experimental [3], capaz de predecir la resistencia a fuego de las VPEs de estudio.

El comportamiento mecánico del perfil se simula a través de los elementos tipo cáscara SHELL181 de ANSYS [7], situados en el plano medio del perfil, cuyo espesor coincide con el nominal de las alas y alma de los perfiles IPE100. El modelo del hormigón armado es discreto, representado en la Figura 6(a), empleando el elemento sólido SOLID65 de ANSYS [7] para el hormigón, anulando la capacidad de rotura por fisuración y aplastamiento del material, y el elemento tipo barra LINK8 [7] para el refuerzo. Como hormigón y refuerzo comparten nodos, el

contacto entre ambos se considera perfecto. El área de las barras que simulan la armadura longitudinal corresponde con el área nominal de las barras, y la de la armadura transversal corresponde con la cuantía de armadura que existe cada 10mm, de modo que en el modelo aparece un cerco en cada sección del modelo. El contacto mecánico perfil-hormigón se resuelve nodo a nodo mediante tres elementos tipo muelle, COMBIN39 ANSYS [7], previamente validados [10]: dos simulan el contacto tangencial y el tercero el comportamiento normal. Ver Figura 6(b). La curva fuerza-desplazamiento que rige el comportamiento de los muelles durante todo el proceso es la recogida en la Tabla 1.

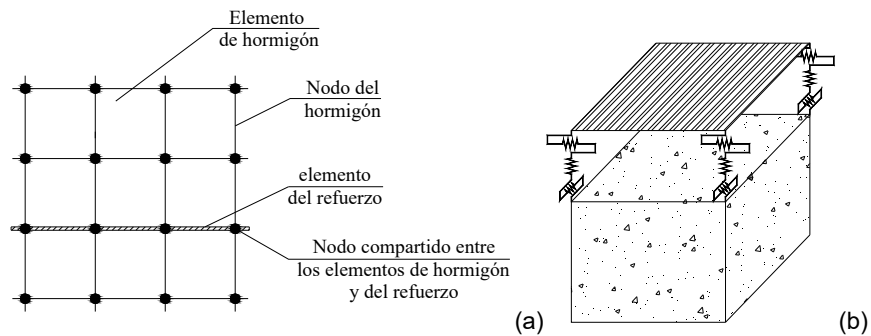


Tabla 1: Curva fuerza-desplazamiento de los elementos COMBIN39

	Contacto tangencial perfil-hormigón					Contacto normal	
D [m]	0.0	5.0E-6	1.0E-4	5.0E-4	0.1	0.0	1.0E-4
F [N]	0.0	8.4	29.3	4.8	4.7	0.0	8.0E3

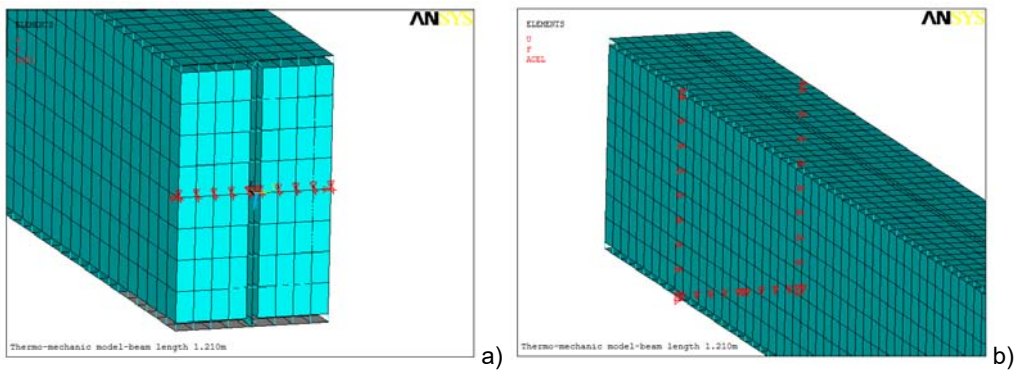


Figura 7: Modelo del (a) apoyo doble articulado inferior (b) apoyo horquilla superior.

El apoyo doble articulado, situado en el extremo inferior de las vigas, se simula anulando los movimientos de los nodos que ocupan la posición del bulón, como se indica en la Figura 7(a), y el apoyo horquilla superior, anulando los movimientos normales al contorno en los nodos que definen el apoyo horquilla, ver Figura 7(b). La carga, de valor constante a lo largo del proceso de exposición a fuego, se aplica en los nodos del ala cargada de la sección centro de luz. El valor de la carga que recibe cada nudo se determina proporcional al valor de la fuerza de

reacción que surge en cada uno de esos nudos al aplicar en todos el mismo desplazamiento en la dirección de la carga.

La curva tensión deformación del acero del perfil a temperatura ambiente corresponde con la curva real obtenida a partir de los ensayos de caracterización realizados la campaña experimental [3], transformándolas a altas temperaturas según el Eurocódigo 3 [8]. Ver figura 8. El modelo de comportamiento del hormigón y del acero del refuerzo corresponde con las curvas recogidas en el Eurocódigo 2 [5][9] para un hormigón C20/25 con un grado de confinamiento de 1.75, figura 9, y un acero B500.

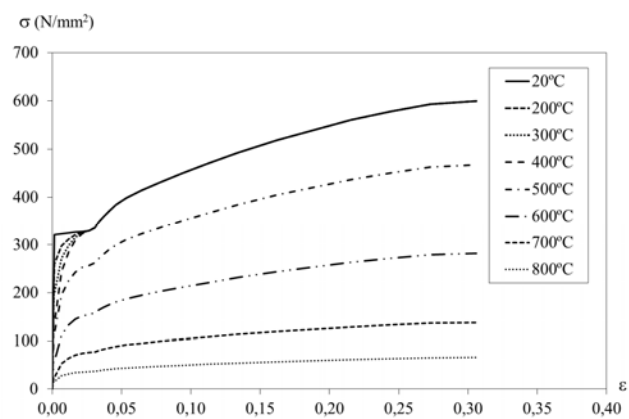


Figura 8: Curvas tensión-deformación del acero del perfil

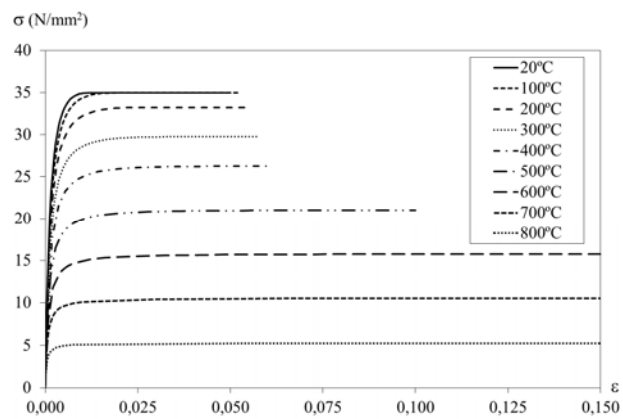


Figura 9: Curvas tensión-deformación del hormigón confinado

Para la resolución numérica se emplea el procedimiento Array Parameter Method de ANSYS. La matriz de está carga está formada por las fuerzas aplicadas en los nodos y las temperaturas en los nodos, obtenidas en el análisis del modelo.

3.1 Resultados del análisis mecánico

El modelo mecánico generado es capaz de simular el comportamiento a flexión de las VPE sometidas a fuego ISO834 para distintos grados de utilización. En la Figura 10 se recoge el estado inicial y final de las VPE sometidas a un flector igual al 37% del momento plástico. En la Tabla 2 se recogen los valores resistencia a fuego experimental y el tiempo último obtenidos en el análisis numérico.

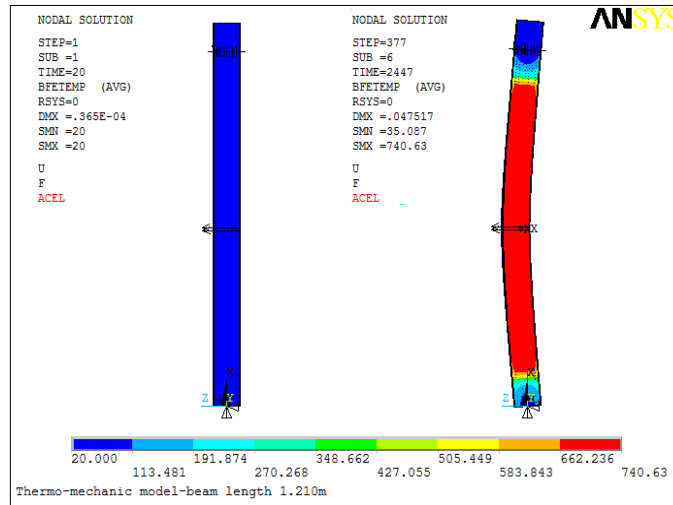


Figura 10: Solución numérica de temperaturas y deformada inicial (time 20) y final (time 2447).

Tabla 2: Comparación de los resultados experimentales y numéricos

Grado de utilización	Ambiente	Número	Valor Experimental
37%	ISO834	24min	25min
56%	ISO834	19min	21min
74%	ISO834	16min	18min

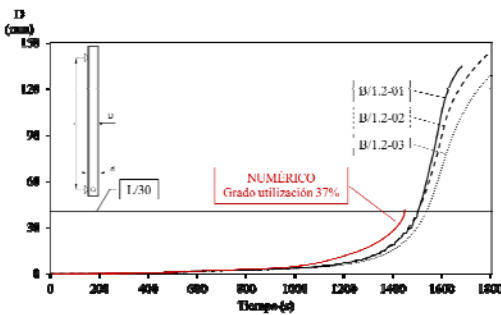


Figura 11 a) Curvas F-D numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 37%.

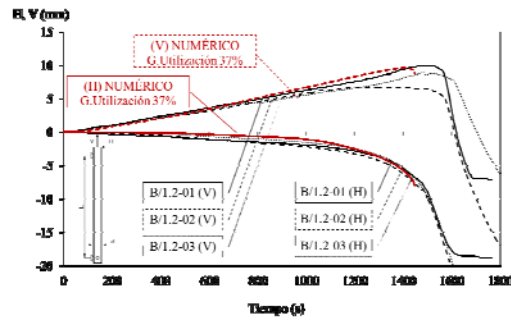


Figura 11 a) Curvas F-H y F-V numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 37%.

En el caso de vigas sometidas a un esfuerzo de flexión igual al 37% del momento plástico, el modelo es capaz de alcanzar la deformación $L/30$ en el centro del vano, valor con el que en estos ensayos se determina la resistencia a fuego [11], Ver Figura 11(a).

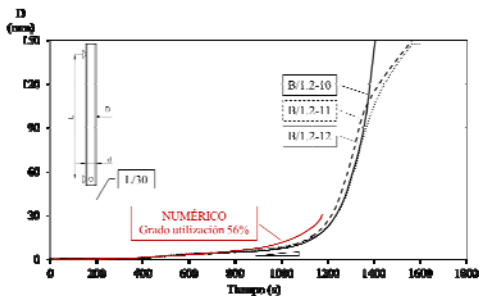


Figura 12 a) Curvas F-D numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 56%.

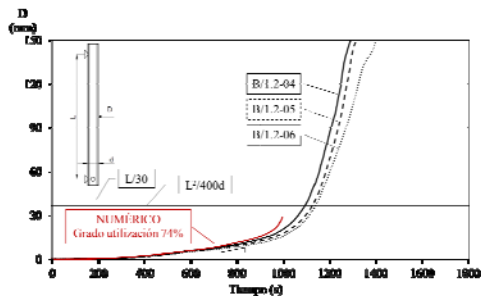


Figura 13 a) Curvas F-D numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 74%.

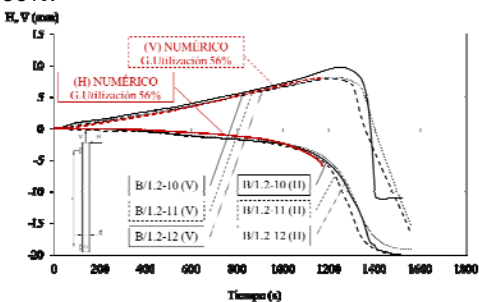


Figura 12 b) Curvas F-H y F-V numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 56%.

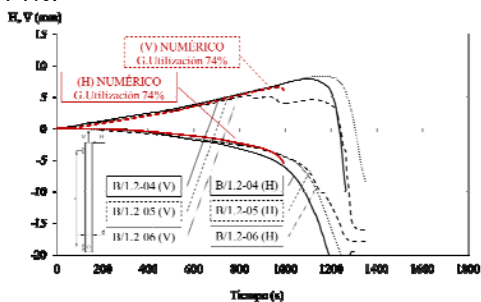


Figura 13 b) Curvas F-H y F-V numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 74%.

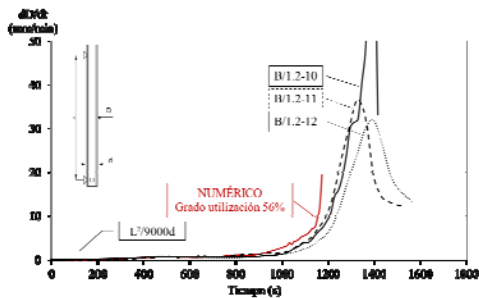


Figura 12 c) Curvas tiempo – velocidad numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 56%.

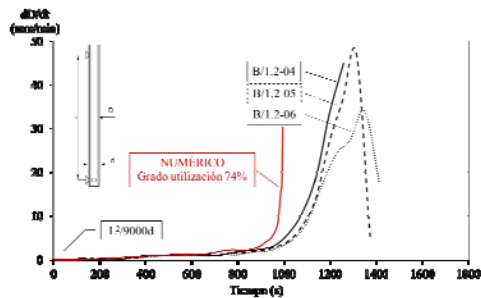


Figura 13 c) Curvas tiempo – velocidad numéricas y experimentales de VPE. Grado de utilización 74%.

Sin embargo, en los casos de mayor momento flector: 56% y 74% del momento plástico, el modelo no llega a alcanzar este límite de deformación, siendo la resistencia a fuego numérico en esos casos el instante último de cálculo numérico. Ver Figura 12 (a) y Figura 13 (a). En estos dos casos, a pesar de que el límite de velocidad de deformación numérico ($L^2/9000d$) [11] arroja un tiempo similar al experimental, la velocidad de deformación en el tramo final crece

mucho más rápidamente en el que en el ensayo experimental, por lo que el modelo finaliza la simulación para deformaciones inferiores al límite $L/30.$, ver Figura 12(c) y 13(c). En todos los casos el modelo numérico obtiene las curvas de desplazamientos de la sección superior (H y V) similares a las obtenidas experimentalmente. Ver Figura 11 (b), Figura 12(b) y Figura 13(b).

4. CONCLUSIONES

Se han presentado dos modelos que simulan el comportamiento térmico y mecánico de VPE sometidas a fuego ISO834, [1].

El modelo térmico simula correctamente el calentamiento en el interior del horno del perfil, de la armadura del hormigón y del hormigón situado en el interior de la probeta. La evolución de las temperaturas de la superficie del hormigón es superior en el modelo numérico que en el análisis experimental. Las deficiencias del registro en el análisis experimental, donde el registro de la temperatura del hormigón se realiza mediante elementos de acero, y el desconocimiento de la conductividad real del hormigón, provocan estas diferencias entre el modelo numérico y experimental. A pesar de ello se valida el modelo numérico, ya que el ajuste es correcto.

El modelo mecánico simula correctamente el comportamiento de las probetas al inicio del calentamiento, pero no alcanza el extremo del tramo lineal, lo que indica una deficiencia de límite elástico respecto al comportamiento real. En todos los casos el instante último de carga está asociado a una velocidad de deformación asintótica. Es por lo tanto necesario mejorar la rigidez de la sección en el modelo numérico y reducir el paso de carga.

El ajuste de las curvas de caracterización de los materiales y la geometría real del perfil puede ayudar a mejorar el ajuste numérico.

REFERENCIAS

- [1] ISO 834-1:1999. *Fire resistance tests- Elements of building construction. Part 1: General requirements*, 1999.
- [2] ANSYS® Academic Research, Release 14.0
- [3] P.A.G. Piloto, A.B.R. Gavilán, M. Zipponi, A. Marini, L.M.R. Mesquita, G. Plizzari, *Experimental investigation of the fire resistance of partially encased beams*, Journal of constructional Research, 80, p121-137, 2013.
- [4] UNE-EN 1993-1-1:2008. *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios*, 2008.
- [5] UNE-EN 1992-1-1:2010. *Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación*, 2010.
- [6] EHE-08. *Instrucción de hormigón estructural*, 2008.
- [7] ANSYS® Academic Research, Release 14.0, ANSYS, *Element Library*, ANSYS, Inc.
- [8] UNE-EN 1993-1-2:2011. *Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego*, 2011.

P.Piloto, A.B.Ramos Gavilán, L.Mesquita

- [9] *UNE-EN 1992-1-2:2011. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas al fuego, 2011.*
- [10] *Piloto, P.A.G.; Ramos Gavilán, A.B.; Mesquita, L.M.R.; “Determinação numérica da condutância térmica da interface aço-betão para estruturas mistas a temperaturas elevadas”; actas da II Conferência Nacional de Métodos Numéricos em Mecânica de Fluidos e Termodinâmica, Universidade de Aveiro, 8-9 de Maio de 2008.*
- [11] *UNE-EN 1363-1: Ensayos de resistencia al fuego Parte 1: Requisitos generales, 2000.*