

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 EDIFÍCIO 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 A ALTAS TEMPERATURAS



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) expuestas a temperatura ambiente y a altas temperaturas, considerando el fenómeno de la inestabilidad por pandeo lateral (PL). Empleando el programa comercial ANSYS [1], se generan y analizan dos modelos tridimensionales: uno térmico y otro mecánico, capaces de predecir el comportamiento de VPEs de 2.4m y 3.9m, generadas en base a un perfil IPE100, ensayadas en una campaña experimental desarrollada en el Laboratorio del Instituto Politécnico de Bragança [2]. Una vez calibrados, estos modelos permitirán la simulación del comportamiento de VPEs con idéntica sección y condiciones de apoyo y carga, para distintas longitudes y niveles de temperatura.

PALABRAS-CLAVE: simulación numérica, vigas parcialmente embebidas, pandeo lateral, altas temperaturas.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de los resultados obtenidos en el análisis experimental de VPEs sometidas a flexión a temperatura ambiente y a altas temperaturas (200°C, 400°C y 600°C) [2], cuyo esquema se muestra en la Figura 1, este trabajo aborda la simulación numérica del mismo mediante el MEF, generando dos modelos capaces de predecir el comportamiento térmico y mecánico de las VPEs ensayadas.

*Autor correspondente – 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

Las VPEs analizadas están generadas en base a un perfil IPE100 de acero S275 [3], recubierto con hormigón C20/25 [4]. La armadura del hormigón es de acero corrugado soldable B500SD [5], formado por cuatro barras longitudinales de 8mm de diámetro y cercos de 6mm de diámetro dispuestos cada 167mm. En la Figura 2(a) se define gráficamente la geometría de la sección de las probetas. Las vigas, de 2.4m y 3.9m de luz (ver L_s en la Figura 1), se someten a flexión en cuatro puntos y, en los ensayos a altas temperaturas, se exponen a un calentamiento previo en el tramo situado entre las cargas centrales (ver L_f en la Figura 1), a través de resistencias electro cerámicas situadas en las alas del perfil y de mantas de fibra de vidrio que aíslan el contorno de las vigas en el tramo calentado.

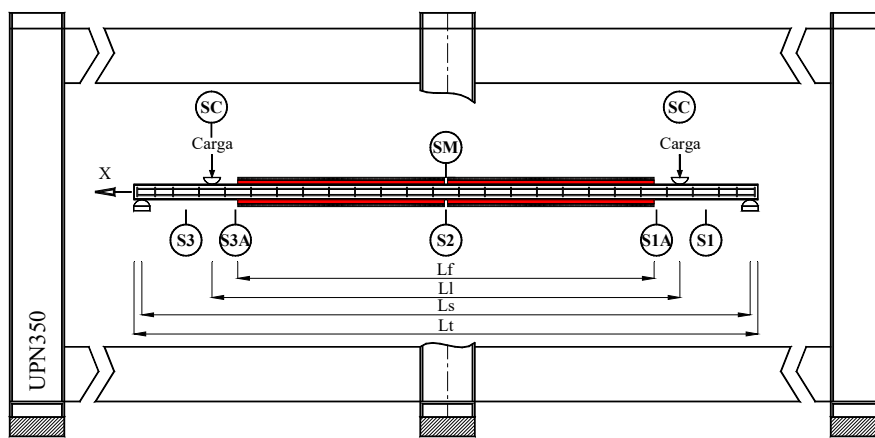


Figura 1: Esquema del ensayo a flexión a altas temperaturas en cuatro puntos.

2. GEOMETRÍA Y MALLAS GENERADAS

Se define una malla de nodos sobre la que se construyen los modelos térmico y mecánico, sobre la que se generan elementos con factor de forma próximo a la unidad, que permite aplicar de forma sencilla en el modelo mecánico las temperaturas obtenidas del análisis térmico. Para analizar la inestabilidad por PL de las VPEs, se introduce una imperfección global lateral en la geometría de la malla de valor máximo $L/300$, ya que el Eurocódigo 4 [6] indica que, para analizar la inestabilidad de soportes de sección parcialmente embebida entorno al eje de menor inercia de la sección, hay que considerar la curva de pandeo tipo c.

El diseño de la malla considera la geometría real del perfil empleado en el estudio experimental, sin considerar la definición exacta de detalles geométricos como: curvaturas del perfil y geometría exacta de la armadura del hormigón, insignificantes para el estudio, a excepción de la curvatura del encuentro ala-alma del perfil, que en el modelo mecánico se resuelve a través de elementos tipo viga auxiliares. 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 10mm. Los nodos de la superficie de contacto perfil-hormigón se duplican para modelizar su comportamiento térmico y mecánico a través de elementos tipo muelle. También se duplican los nodos del ala superior del perfil en las

secciones sobre las que se aplican las cargas, situadas a 0,45m de los extremos, y del ala inferior en las secciones extremas, para simular las condiciones de contorno mediante elementos de contacto. Ver Figura 2(c).

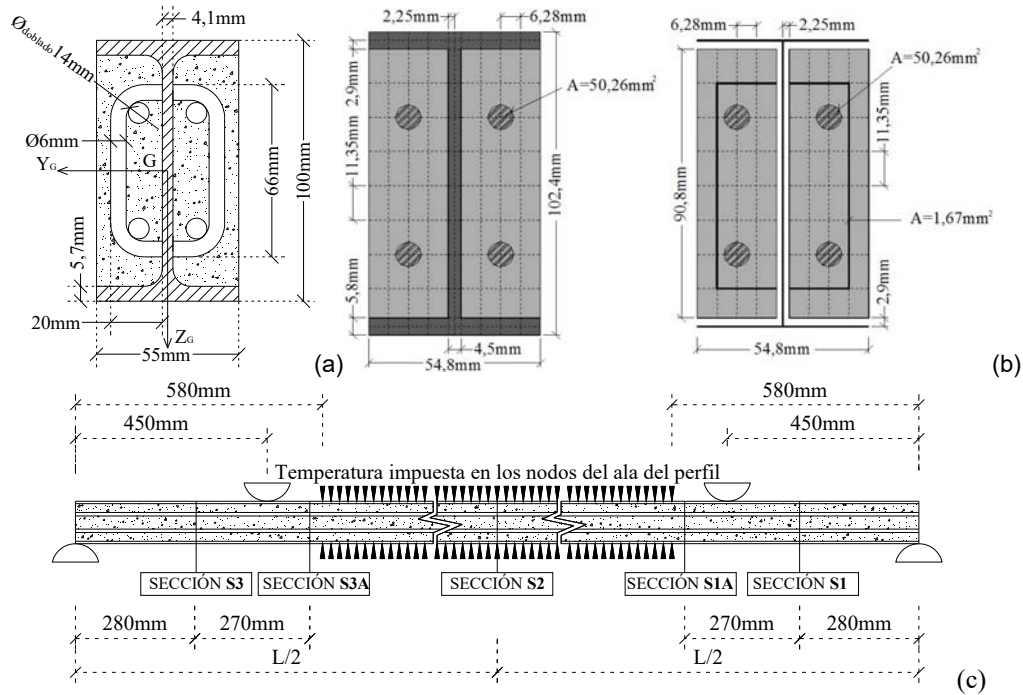


Figura 2: (a) Sección teórica de las probetas del análisis experimental. (b) Sección de los modelos: térmico (izquierda) y mecánico (derecha) (c) Esquema de calentamiento y carga.

2. ANÁLISIS TÉRMICO

El análisis térmico permite determinar el campo de temperaturas de la viga a lo largo del calentamiento y establecer las temperaturas de los nodos en modelo mecánico. El calentamiento de las probetas se modeliza mediante la imposición de temperaturas en los nodos exteriores del ala del perfil del tramo central, como se representa en la Figura 2(c). Las temperaturas aplicadas siguen una curva tiempo-temperatura similar a la registrada en el sistema de calentamiento eléctrico en el estudio experimental. El aislamiento se simula anulando el flujo de calor en el contorno de la viga, considerando únicamente el proceso de calentamiento por conducción. Este diseño desprecia el enfriamiento que sufren las probetas por convección fuera del tramo aislado y las pérdidas pelo aislamiento.

El modelo térmico emplea: el elemento tridimensional SOLID70 de ANSYS [7] para analizar el comportamiento del perfil y del hormigón, el elemento tipo muelle COMBIN39 de ANSYS [7] para simular el contacto térmico perfil-hormigón, 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 [3] para el acero al carbono, y las del hormigón son las recogidas en el Eurocódigo 2 [4] para hormigones con árido silíceo. El comportamiento del contacto térmico perfil-hormigón se define mediante una curva flujo de calor versus temperatura, adoptándose un valor de conductancia a elevadas temperaturas de $67(\text{W}/\text{m}^2\text{K})$, obtenido mediante optimización del modelo [8].

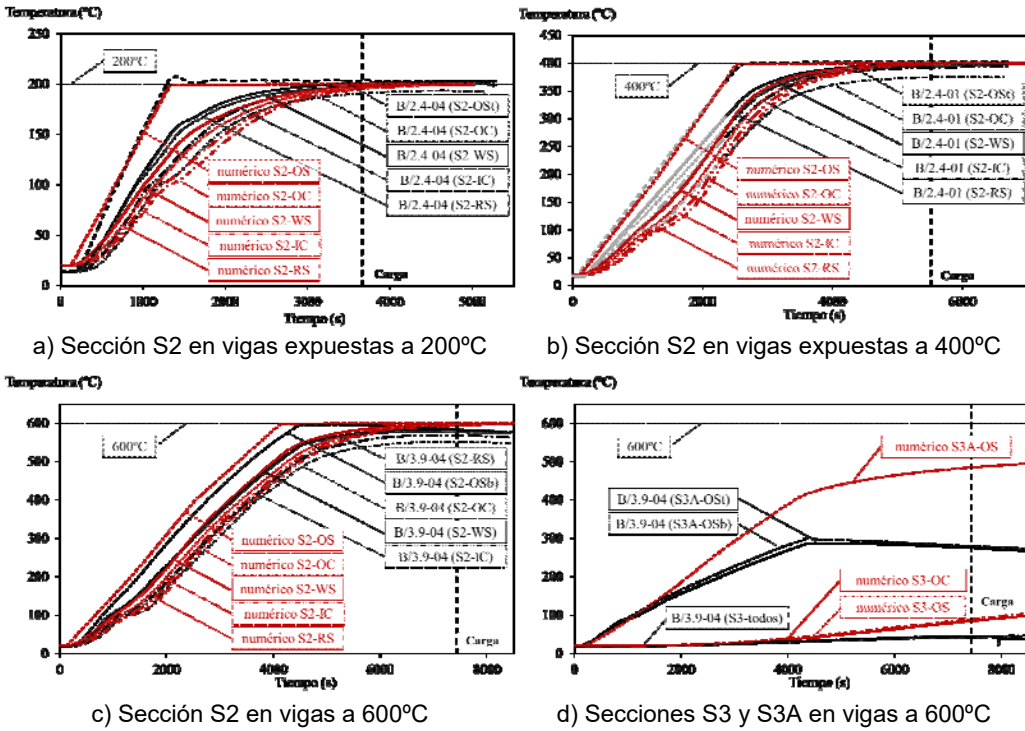


Figura 3: Calentamiento numérico vs experimental.

Para la resolución numérica se emplea el procedimiento Array Parameter Method de ANSYS [1], que aplica un historial de carga en función del tiempo a través de bucles, en los que se define el tamaño de los pasos tiempo empleados para la resolución no lineal mediante el método de Newton-Raphson.

2.1 Resultados del análisis térmico

A pesar de la simplificación de las condiciones de contorno, el modelo térmico logra simular correctamente el calentamiento de las secciones centrales de la probeta. En Figura 3 (a), (b) y (c) se muestra el resultado numérico y experimental en caso de calentamiento a 200°C, 400°C y a 600°C. El aislamiento empleado en el estudio experimental no logra estabilizar correctamente temperaturas superiores a 400°C, por lo que en el ensayo a 600°C las temperaturas del modelo son ligeramente superiores a las de las probetas. Las mayores

diferencias se registran en las secciones no aisladas próximas al tramo calentado, que solo afectan al comportamiento mecánico de las vigas sometidas a 600°C, ver Figura 3 (d).

3. ANÁLISIS MECÁNICO

Mediante el modelo de elementos finitos mecánico se aborda el análisis del comportamiento a flexión de VPEs sometidas a temperatura ambiente y a altas temperaturas. Este análisis permite validar un modelo mecánico capaz de predecir la resistencia y el modo de deformación experimentado bajo carga última por las vigas en el análisis experimental.

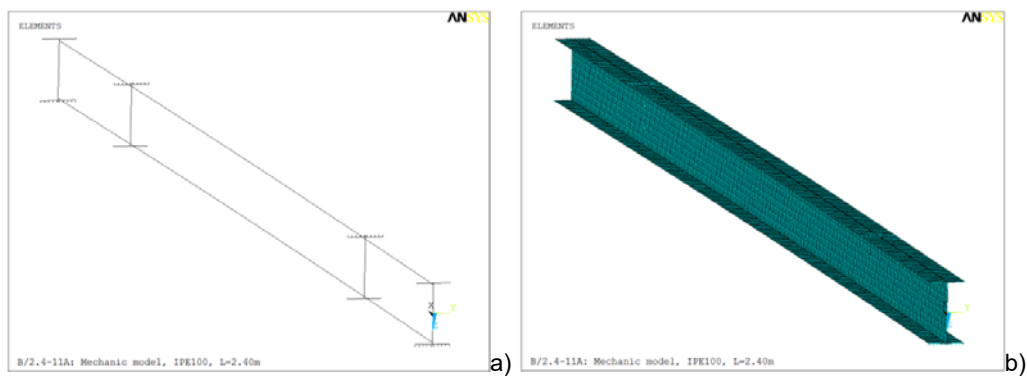


Figura 4: Modelo del perfil: (a) BEAM188 longitudinales y transversales (b) SHELL181

El comportamiento mecánico del perfil se simula a través de elementos tipo cáscara SHELL181 de ANSYS [7], situados en el plano medio del espesor del perfil. Estos elementos se refuerzan mediante elementos tipo viga BEAM188 de ANSYS [7]. Los elementos viga longitudinales simulan la curvatura ala-ala, y los transversales evitan la distorsión de las secciones de apoyo y carga, ver Figura 4. La geometría de las secciones empleadas se recoge en la Tabla 1. El modelo del hormigón armado es discreto, empleando el elemento sólido SOLID65 de ANSYS [7] para el hormigón y elementos tipo barra LINK8 [7] para el refuerzo. El elemento del hormigón simula la rotura por tracción y compresión del hormigón. Como hormigón y refuerzo comparten nodos, el contacto entre ambos se considera perfecto, ver Figura 5(a). El área de las barras que simulan la armadura longitudinal corresponde con la realmente dispuesta, y la de la armadura transversal corresponde con la cuantía de armadura que existe cada 10mm, y se distribuye en cada sección del modelo, ver Tabla 1. El contacto mecánico perfil-hormigón se resuelve nodo a nodo mediante tres elementos tipo muelle, COMBIN39 ANSYS [7], previamente validados [9]: dos simulan el contacto tangencial y el tercero el comportamiento normal. Ver Figura 5(b). Las curvas fuerza-desplazamiento que rigen el comportamiento de los muelles para las distintas temperaturas son las recogidas en la Tabla 2. Las condiciones de contorno de las vigas se simulan a través de elementos de contacto nodo a nodo CONTAC52 de ANSYS [7], considerando en los apoyos contacto acero-acero engrasado ($\mu=0.05$), y en los puntos de carga teflón-teflón ($\mu=0.04$).

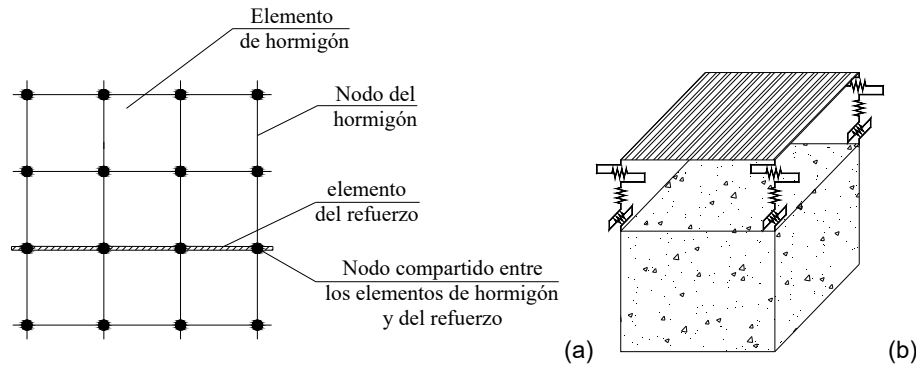


Figura 5: (a) Modelo discreto del hormigón (b) modelo del contacto perfil-hormigón.

Tabla 1: Sección de los elementos tipo barra y viga.

Elemento	Lado (m)	Area (m ²)	Iz (m ⁴)	Iy (m ⁴)	It (m ⁴)	Iw (m ⁴)
BEAM188 - Curvatura ala-alma	0.0025	-	-	-	-	-
BEAM188 - Rigidizador apoyos	-	0.05	1E-4	1E-4	1E-10	1E-10
LINK8 - Armadura longitudinal	-	5.026E-5	-	-	-	-
LINK8 - Armadura transversal	-	1.670E-6	-	-	-	-

Tabla 2: Curvas fuerza-desplazamiento de los elementos COMBIN39.

Temperatura	Contacto tangencial perfil-hormigón						Contacto normal	
	D(m)	F(N)	D(m)	F(N)	D(m)	F(N)	D(m)	F(N)
20°C	D(m)	0.0	5.0E-6	1.0E-4	5.0E-4	0.1	0.0	1.0E-4
	F(N)	0.0	9.7	34.7	21.7	6.5	0.0	8.5E3
200°C	D(m)	0.0	5.0E-6	1.0E-4	5.0E-4	0.1	0.0	1.0E-4
	F(N)	0.0	9.5	33.8	6.1	6.0	0.0	8.2E3
400°C	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	7.2E3
600°C	D(m)	0.0	5.0E-6	1.0E-4	5.0E-4	0.1	0.0	1.0E-4
	F(N)	0.0	6.5	23.2	2.9	2.8	0.0	3.8E3

Las propiedades mecánicas del acero del perfil a temperatura ambiente corresponden con las obtenidas en los ensayos de caracterización realizados la campaña experimental, transformándolas a altas temperaturas según el Eurocódigo 3 [10], mientras que las del hormigón y las del acero del refuerzo son las recogidas en el Eurocódigo 2 [4][11] para un hormigón C20/25, con un grado de confinamiento $f_{ck,c}/f_{ck}=2$, y un acero B500. Para que el modelo numérico simule el comportamiento de las vigas, y dado que no se considera el efecto de las tensiones residuales, la curva tensión-deformación experimental se modifica aumentando el valor de la tensión límite elástica obtenido en el ensayo de caracterización, y desplazando la curva media en el rango plástico desde el límite elástico experimental hasta límite elástico registrado en el ensayo de flexión de las vigas [2]. Ver figura 6.

Estudio numérico de vigas parcialmente embebidas sometidas a flexión a altas temperaturas

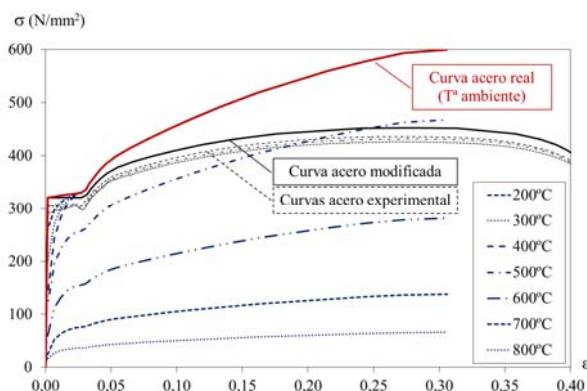


Figura 6: Curvas tensión-deformación del acero del perfil.

En las secciones de carga se imponen desplazamientos verticales de forma incremental en los nodos del cilindro, que simulan el descenso de los hidráulicos a lo largo del ensayo de carga. Además, estos nodos tienen anulados los movimientos horizontales. Los apoyos tipo horquilla se simulan anulando todos los movimientos de los nodos del apoyo así como los movimientos horizontales transversales en los extremos de las alas del perfil. Para facilitar la convergencia del análisis numérico, se anula el movimiento longitudinal del centro de gravedad de la sección central de la viga.

Para la resolución numérica se emplea el procedimiento Array Parameter Method de ANSYS [1]. La matriz de carga consiste en valores de desplazamientos impuestos en las secciones de carga a lo largo del tiempo y, en el análisis termo-mecánico, los valores de las temperatura final en los nodos del modelo obtenidas del análisis térmico y los valores de desplazamientos impuestos en las secciones de carga a lo largo del tiempo.

3.1 Resultados del análisis mecánico

El modelo mecánico generado es capaz de simular el modo de fallo de las vigas ensayadas, desarrollando desplazamientos laterales y giros de las secciones en todas las vigas a excepción de las VPEs ensayadas a 600°C, como sucede en el análisis experimental. La Tabla 3 recoge los valores de carga límite de proporcionalidad, F_p , límite de deformación, $F_{L/30}$, y última, F_u , obtenidas en el análisis numérico, que se ajustan a los valores experimentales a excepción del ensayo a 600°C.

La deformación en los modelos expuestos a temperatura ambiente validan las curvas tensión-deformación empleadas para el acero del perfil, ver Figura 7.

El comportamiento de las vigas en rango plástico no se ajusta correctamente a altas temperaturas debido al desconocimiento del comportamiento real de los materiales, ver Figura 8.

Estudio numérico de vigas parcialmente embebidas sometidas a flexión a altas temperaturas

La Figura 9 representa el modo de deformación, siendo visible la rotación de la sección e el desplazamiento lateral, para las VPEs de diferentes dimensiones.

La Figura 10 representa el daño acumulado de fisuración por tracción de aplastamiento por compresión en la VPE de mayor longitud expuesta a temperatura ambiente.



Figura 9: Deformada final del modelo numérico de VPE de longitud: (a) 2.4m y (b) 3.9m

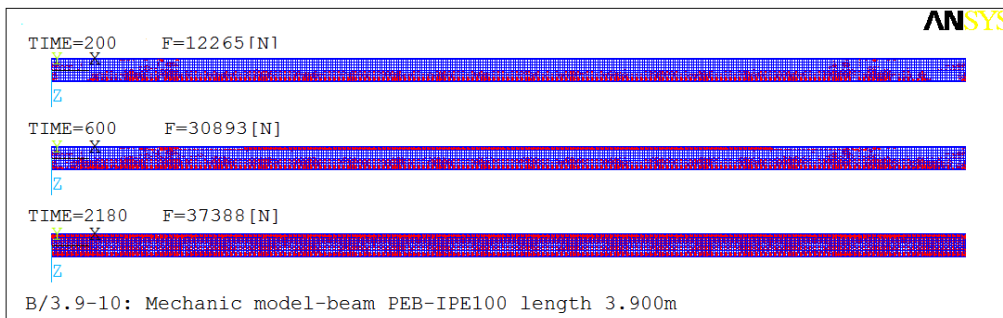


Figura 10: Evolución de la fisuración a lo largo de la simulación de VPE de 3.9m a 20°C

4. CONCLUSIONES

Se han presentado dos modelos que simulan el comportamiento térmico y mecánico de las VPE ensayadas [2], considerando el PL. Los resultados obtenidos para vigas expuestas a temperaturas inferiores a 400°C se ajustan a los resultados experimentales. El menor calentamiento de las vigas expuestas a 600°C en el ensayo respecto al modelo, provoca el desajuste a esa temperatura. Las curvas obtenidas no predicen correctamente el comportamiento en el rango plástico, debido al desconocimiento real de las curvas tensión-deformación de los materiales a altas temperaturas. Los modelos generados permiten simular el comportamiento de VPEs con idéntica sección y condiciones de apoyo y carga, para distintas longitudes y temperaturas.

REFERENCIAS

- [1] ANSYS® Academic Research, Release 14.0
- [2] P. Piloto, A.B.R. Gavilán, L. Mesquita, C. Gonçalves, L. Barreira. -- Experimental Investigation on the Performance of Partially Encased Beams at Elevated and Room Temperature, 2º Congresso em Segurança Contra Incêndios, Coimbra, 2013, p. 187-196.
- [3] UNE-EN 1993-1-1:2008. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificios, 2008.
- [4] UNE-EN 1992-1-1:2010. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, 2010.
- [5] EHE-08. Instrucción de hormigón estructural, 2008.
- [6] EN 1994-1-1:2004. Eurocódigo 4: Proyecto de estructuras mixtas de acero y hormigón. Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, Diciembre 2004.
- [7] ANSYS® Academic Research, Release 14.0, ANSYS, Element Library, ANSYS, Inc.
- [8] 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.
- [9] Ramos-Gavilán, A.B.; Piloto, P.A.G.; Mesquita, L.M.R., Estudio del *Contacto entre Perfil Metálico y Hormigón en Vigas Metálicas Parcialmente Embebidas*, CMNE, 2007; p.390.
- [10] UNE-EN 1993-1-2:2011. Eurocódigo 3: Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas a fuego, 2011.
- [11] UNE-EN 1992-1-2:2011. Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón. Parte 1-2: Reglas generales. Proyecto de estructuras sometidas a fuego, 2011.