

CILASCI

5

**5º CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO
EM SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS**

***5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS
ON FIRE SAFETY***

15-17 /07/ 2019 - Porto, Portugal

**Atas dos Artigos
Proceedings (full papers)**

5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019



**5º CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO
EM SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS**

***5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS
ON FIRE SAFETY***

15-17 /07/ 2019 - Porto, Portugal

Atas dos Artigos Full Papers Proceedings



*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

TITLE:

Atas dos Artigos

5º Congresso IBERO-LATINO-AMERICANO EM SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

Full Papers Proceedings

5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY

PUBLISHER:

ALBRASCI - Associação Luso-Brasileira para a Segurança Contra Incêndio

ALBRASCI - Luso Brazilian Association for Fire Safety

EDITORS:

Paulo Piloto (IPB - DMA), Débora Ferreira (IPB - DMA), Elza Fonseca (ISEP - DEM), João Santos Baptista (FEUP-DEM), José Miguel Castro (FEUP – DEC), Luís Mesquita (IPB - DMA), Mário Vaz (FEUP-DEMec), Miguel Chichorro (FEUP – DEC), Rui Miranda Guedes (FEUP-DEMec) et al.

BOOK COVER DESIGN:

Soraia Maduro – Instituto Politécnico de Bragança

INTERNET WEB PAGE:

Pedro Oliveira – Instituto Politécnico de Bragança

EDITION:

1ª, Julho de 2019

ISBN:

978-989-97210-3-6

IMPRINT:

Tipografia Artegráfica Brigantina

NOTE:

No part of this work may be reproduced without the written permission of the authors and the publisher.

PREFACE

The Iberian-Latin American Congress on Fire Safety (CILASCI) is held once every two years, with the aim of disseminating scientific and technical knowledge in the field of fire safety, integrating different players involved in this area of knowledge. The first edition of the Iberian-Latin American Congress on Fire Safety (CILASCI 1), was held in Natal (Brazil) between 10-12 March 2011. The second congress (CILASCI 2) was held in Coimbra (Portugal), between May 29 and June 1, 2013. The 3rd and 4th editions took place on the South American continent. The third congress (CILASCI 3) was held in Porto Alegre (Brazil) from November 3 to 6, 2015, while the fourth congress (CILASCI 4) was held in Recife (Brazil) from 9 to 11 October 2017. The CILASCI 5 will take place in the city of Porto (Portugal) from 15 to 17 July 2019, and presents 5 invited lectures and 78 manuscripts (full papers) from researchers around the world (Algeria, Australia, Belgium, Brazil, China, Czech Republic, France, Hong Kong, Italy, Mozambique, Portugal, Spain, United Kingdom and United States).

the 5th Iberian-Latin-American congress on fire safety reflects the new developments achieved on active and passive fire protection, on evacuation and human behaviour under fire, on computational modelling of structures and materials under fire, on explosion and risk management, on architectural issues for fire safety in buildings, on fire dynamics, on the experimental analysis of materials and structures under fire, on fires in special buildings and spaces, on fire-fighting operations and equipments, and on the behaviour of structures and materials under fire.

The Fire Safety is reaching new developments as a result of new research, development and innovation around the world, based on the excellence level of the research, the support of new skilled professionals and due to the existence of advanced training programmes in fire science technology. This development will increase the safety level of people, buildings, and products, but also is going to produce an impact in the economy of each country, with a positive impact on society.

The organizing committee believe that this congress will address to our delegates a wide forum of discussion about the recent developments in Fire Safety, promoting the exchange of ideas and international cooperation.

The organizing Committee would like to thanks to all authors and delegates.

On the behalf of the Organizing Committe
Paulo A. G. Piloto

5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019

ORGANIZING COMMITTEE

Paulo Piloto, Insituto Politécnico de Bragança - DMA
Débora Ferreira, Insituto Politécnico de Bragança - DMA
Elza Fonseca, Instituto Politécnico do Porto- ISEP - DEM
João Santos Baptista, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - DEM
José Miguel Castro, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – DEC
Luís Mesquita, Insituto Politécnico de Bragança - DMA
Mário Vaz, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto -DEMec
Miguel Chichorro, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto – DEC
Rui Miranda Guedes, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto -DEMec



SCIENTIFIC COMMITTEE

Aldina Maria Santiago – Universidade de Coimbra – Portugal
Ana Belén Ramos Gavilán - Universidade de Salamanca – Espanha
Ângela Gaio Graeff – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS - Brasil
André Teles – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – CBMDF - Brasil
António Moura Correia – Instituto Politécnico de Coimbra – Portugal
Armando L. Moreno Júnior – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Brasil
Bernardo Tutikian – Universidade do Vale dos Sinos – Brasil
Carla Neves Costa – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Brasil
Carlos Balsa - – Instituto Politécnico de Bragança - Portugal
Carlos Pina dos Santos – Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Portugal
Cristina Calmeiro dos Santos – Instituto Politécnico de Castelo Branco – Portugal
Daniel Alvear Portilla - Universidade de Santander - Espanha
Dayse Cavalcanti Duarte – Universidade Federal de Pernambuco – Brasil
Débora Rodrigues de Sousa Macanjo Ferreira - Instituto Politécnico de Bragança – Portugal
Domingues Xavier Viegas – Universidade de Coimbra - UC - Portugal
Edna Moura Pinto – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Brasil
Elza Maria Morais Fonseca - Instituto Superior de Engenharia do Porto – Portugal
Fabio Martin Rocha – Universidade de São Paulo – USP - Brasil
Francisco Carlos Rodrigues – Universidade Federal de Minas Gerais – Brasil
Gabriela B. de M. Lins de Albuquerque– Universidade de São Paulo – USP - Brasil
George Cajaty Braga – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal – CBMDF - Brasil
Geraldine Charreau – Instituto Nacional de Tecnologia Industrial – Argentina
João Santos Baptista - Universidade do Porto – FEUP - Portugal
João Godinho Viegas – Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Portugal
João Paulo Correia Rodrigues – Universidade de Coimbra – Portugal (Coord.)
João Ramôa Correia - Universidade de Lisboa – IST – Portugal
Jorge Gil Saraiva – Laboratório Nacional de Engenharia Civil - Portugal
Jorge Munaiar Neto – Escola de Engenharia de São Carlos da Univ. de São Paulo – Brasil
Jorge Saul Suaznabar Velarde - IASU - Bolívia
José Carlos Lopes Ribeiro – Universidade Federal de Viçosa - Brasil
José Carlos Miranda Góis – Universidade de Coimbra - Portugal
José Jéferson do Rêgo Silva – Universidade Federal de Pernambuco – Brasil
Jose Luis Torero - Universidade de Maryland - Austrália
José Miguel Castro - Universidade do Porto – FEUP - Portugal
Larissa Kirchof – Universidade Federal de Santa Maria – Brasil
Lino Forte Marques – Universidade de Coimbra – Portugal
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho– Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS
Luís Mesquita – Instituto Politécnico de Bragança – Portugal
Manuel Romero Garcia – Universidade Politécnica de Valencia – Espanha
Mariano Lázaro Urrutia - Universidade de Santander - Espanha
Mário Augusto Pires Vaz - Universidade do Porto – FEUP - Portugal
Miguel Chichorro Gonçalves – Universidade do Porto – FEUP - Portugal
Nuno Filipe Borges Lopes – Universidade de Aveiro – Portugal
Orlando V. Abreu Menéndez - Universidade de Santander – Espanha

*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

Paulo A. G. Piloto – Instituto Politécnico de Bragança - Portugal
Paulo Jorge M. F. Vila Real – Universidade de Aveiro – Portugal
Poliana Dias de Moraes – Universidade Federal de Santa Catarina - Brasil
Ricardo Azoubel Silveira – Universidade Federal de Ouro Preto – Brasil
Ricardo Cruz Hernandez – Universidade Industrial de Santander – Colômbia
Ricardo Fakury – Universidade Federal de Minas Gerais - Brasil
Rodrigo Barreto Caldas – Universidade Federal de Minas Gerais – Brasil
Rogério Antochaves – Universidade Federal de Santa Maria – Brasil
Ronaldo Rigobello - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Brasil
Rosária Ono – Faculdade de Arquitetura da Universidade de São Paulo – Brasil
Rui Faria – Universidade do Porto FEUP – Portugal
Rui Miranda Guedes - Universidade do Porto FEUP – Portugal
Saulo Almeida – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP - Brasil
Tiago Ancelmo de Carvalho Pires – Universidade Federal de Pernambuco – Brasil
Valdir Pignatta e Silva – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Brasil (Coord.)
Wolfram Jahn – Pontifícia Universidade Católica do Chile – Chile

5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019

INDEX

PREFACE	iv
ORGANIZING COMMITTEE	v
SCIENTIFIC COMMITTEE	vi
INVITED LECTURES	1
EMERGENCY EXITS IN HIGH-RISE BUILDINGS	3
A NOVA GERAÇÃO DAS PARTES 1-2 (VERIFICAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO FOGO) DOS EUROCÓDIGOS ESTRUTURAIIS 1, 3 E 4.....	13
CHARACTERIZATION OF THE FIRE REACTION OF MATERIALS	31
CONTROLO DE FUMO EM COMPARTIMENTOS: SIMULAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO	41
SESSION S1A: ACTIVE AND PASSIVE FIRE PROTECTION	69
ESTIMATIVA DA POTÊNCIA CALORÍFICA LIBERTADA NO INCÊNDIO OCORRIDO NO TÚNEL DO MARÃO EM 2017-06-11	71
A IMPORTÂNCIA DOS SISTEMAS DE PROTEÇÃO QUE INDEPENDEM DO USUÁRIO PARA EDIFICAÇÕES OCUPADAS POR PESSOAS COM DIFICULDADE DE MOBILIDADE AUTÔNOMA EM CASO DE INCÊNDIO	81
PROPIEDADES TÉRMICAS DE LADRILLOS CERÁMICOS CON ADICION DE PRODUCTOS DE RECICLADO: REVISIÓN DE ESTUDIOS	89
INTUMESCENT COATINGS FOR THE PROTECTION OF STRUCTURAL STEEL IN CELLULOSIC FIRES – WATER BORNE VS SOLVENT BORNE	99
SYNTHESIS OF SILICA NANOPARTICLES TO ENHANCE THE FIRE RESISTANCE OF CEMENT MORTARS.....	113
SESSION S1B: EVACUATION AND HUMAN BEHAVIOUR UNDER FIRE	123
EVACUAÇÃO EMERGENCIAL DE EDIFICAÇÕES HOSPITALARES	125
A INFLUÊNCIA DE DIFERENTES ÂNGULOS DE FUSÃO ENTRE FLUXOS DE PEDESTRES NO TEMPO DE EVACUAÇÃO	133
ESCADAS E RAMPAS EM SAÍDAS DE EMERGÊNCIA E O TEMPO DE EVACUAÇÃO EM EDIFICAÇÃO ESCOLAR ...	145
MÉTODO PARA COLETA DE TEMPOS E TRAJETOS EM ESCADAS PARA A OBTENÇÃO DE VELOCIDADE DE CAMINHAMENTO DE CRIANÇAS EM SIMULADOS DE ABANDONO	155
SESSION S2A: COMPUTATIONAL MODELLING OF STRUCTURES AND MATERIALS UNDER FIRE	167
NON-LOADBEARING LIGHT STEEL FRAMING WALLS UNDER FIRE	169
NUMERICAL SIMULATION OF COMPOSITE SLABS WITH STEEL DECK UNDER FIRE CONDITIONS	187
MODELO NUMÉRICO TRIDIMENSIONAL PARA A VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	203

*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

MÉTODO GERAL PARA O DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE COLUNAS DE INÉRCIA VARIÁVEL – ENCURVADURA PARA FORA DO PLANO	215
ESTUDO NUMÉRICO DE PAREDES DE ALVENARIA ESTRUTURAL DE BLOCOS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO.....	227
NUMERICAL ANALYSIS OF CELLULAR STEEL BEAMS FAILURE MODES IN FIRE CONDITIONS	239
A REAPPRAISAL OF THE NOMINAL CURVATURE METHOD IN THE FIRE DESIGN OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS	255
SESSION S2B: FIRE, EXPLOSION AND RISK MANAGEMENT	265
ANÁLISE DE RISCO EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS. A SITUAÇÃO EM PORTUGAL FACE À DIRECTIVA 2004/54/CE	267
AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIO DO CENTRO URBANO ANTIGO DE VILA NOVA DE GAIA / MATOSINHOS....	279
INFLUÊNCIA DOS OCUPANTES E DOS ELEVADORES NA EVACUAÇÃO EM CASO DE INCÊNDIO DAS ENFERMARIAS E DOS LABORATÓRIOS DE UM HOSPITAL	291
AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO DE UM EDIFÍCIO NO CENTRO HISTÓRICO DE VISEU	307
ANÁLISE DE RISCO DE INCÊNDIO EM QUATRO ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO NA CIDADE DE PORTO ALEGRE E POSSÍVEIS IMPLICAÇÕES NO PLANO DE EMERGÊNCIA DAS EDIFICAÇÕES	319
EXPLOSÕES DE POEIRA: UMA VISÃO GERAL	331
SESSION S3A: COMPUTATIONAL MODELLING OF STRUCTURES AND MATERIALS UNDER FIRE	345
REVIEW ON THE BUCKLING STRUCTURAL ANALYSIS OF COLD-FORMED STEEL COLUMNS AT AMBIENT AND FIRE CONDITIONS.....	347
PROPOSTA DE NOVAS EXPRESSÕES PARA O CÁLCULO DO FATOR DE MASSIVIDADE EM PERFIS ESTRUTURAIS EM CONTACTO COM PAREDES.....	359
THERMAL BEHAVIOUR OF PARTIALLY ENCASED COLUMN UNDER COMBINED COMPRESSION AND BENDING	371
EFFECT OF THE LOAD LEVEL IN THE FIRE RESISTANCE OF COMPOSITE SLAB WITH STEEL DECKING	385
BEHAVIOUR OF INDUSTRIAL BUILDINGS WITH STEEL PORTAL FRAMES UNDER FIRE CONDITIONS	401
VIRGILE PROJECT: THE CONCEPT OF VIRTUAL FIRE RESISTANCE FACILITY FOR THE ASSESSMENT OF CONSTRUCTION PRODUCTS PERFORMANCE	413
RESISTÊNCIA AO FOGO DE COLUNAS EM AÇO INOXIDÁVEL COM SECÇÕES CIRCULARES OCAS	423
PARTIALLY ENCASED COLUMNS EMBEDDED ON WALLS UNDER FIRE	435
SESSION S3B: ARCHITECTURAL ISSUES AND EVACUATION FOR FIRE SAFETY IN BUILDINGS.....	447
ATUALIZAÇÃO DO MÉTODO ARICA E DISCUSSÃO DA SUA APLICAÇÃO À REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS EXISTENTES.....	449
VULNERABLE PEOPLE AND THE RESEARCHES ON FIRE SAFETY	459
COMPARAÇÃO DE CUSTOS DE EXECUÇÃO ENTRE LAJES CONVENCIONAIS E NERVURADAS UNIDIRECIONAIS DIMENSIONADAS EM TEMPERATURA AMBIENTE E EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	465

*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

INTEGRATED FIRE-SAFE AND ENERGY-EFFICIENT DESIGN OF INSULATED ASSEMBLIES USING A MULTI-CRITERIA APPROACH.....	477
SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO DE EDIFICAÇÕES ANTIGAS E TOMBADAS: SOLUÇÕES ADOADAS PELO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL	489
COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL: SISTEMAS LEVES DE ALTO DESEMPENHO AO FOGO	499
PERCEPCIÓN SUBJETIVA VS REALIDAD OBSERVADA DURANTE LOS PROCESOS DE EVACUACIÓN EN CASO DE EMERGENCIA	511
SAÍDAS DE EMERGÊNCIA, ANÁLISE E REFLEXÃO A PARTIR DE ESTUDO POR MODELAGEM E NORMALIZAÇÃO.....	519
SESSION S4A: COMPUTATIONAL MODELLING OF STRUCTURES AND MATERIALS UNDER FIRE	529
SOBRE A FLUÊNCIA DOS AÇOS ESTRUTURAIS EM INCÊNDIO	531
THE FIRE RESISTANCE OF (W-W) WOOD-TO-WOOD CONNECTIONS PROTECTED WITH DIFFERENT TYPES OF GYPSUM PLASTERBOARD.....	543
ERRO DE MODELO PARA O CÁLCULO DA CONFIABILIDADE ESTRUTURAL DE LIGAÇÕES PARAFUSADAS DE ESTRUTURAS DE MADEIRA EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	553
THE DENSITY EFFECT IN (W-S-W) WOOD CONNECTIONS WITH INTERNAL STEEL PLATE AND PASSIVE PROTECTION UNDER FIRE	563
ANÁLISE DA CONFIABILIDADE DE UM PILAR DE AÇO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO DIMENSIONADO CONFORME AS NORMAS BRASILEIRAS	573
ANÁLISE TERMOESTRUTURAL DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO	585
SOBRE OS EFEITOS DAS INTERAÇÕES ENTRE VIGAS E PILARES EM PÓRTICOS BIDIMENSIONAIS DE CONCRETO EM SITUAÇÃO DE INCÊNDIO	595
MECHANICAL ANALYSIS OF A PORTAL STEEL FRAME WHEN SUBJECTED TO A POST EARTHQUAKE FIRE.....	607
SESSION S4B: FIRE DYNAMICS	617
SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA EXAUSTÃO DE FUMAÇA POR MEIO DE CONVECÇÃO NATURAL EM DUTOS DE ESCADAS DE EMERGÊNCIA	619
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS UNIFAMILIARES EMPREGANDO A FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL.....	631
PROTOTIPAGEM DA EXAUSTÃO DE FUMAÇA POR MEIO DE CONVECÇÃO NATURAL EM DUTOS DE ESCADA DE EMERGÊNCIA	643
GASES DE INCÊNDIO: A COLETA E ANÁLISE EM EXPERIMENTOS EM ESCALA REAL	655
CONSIDERAÇÕES SOBRE O TAMANHO DA MALHA EM SIMULAÇÕES COM O FIRE DYNAMICS SIMULATOR	661
SISTEMA ALTERNATIVO DE COLETA DE ÁGUAS PLUVIAS PARA COMBATE DE INCÊNDIOS RESIDENCIAS	673
OS CUIDADOS NO SISTEMA DE COMBATE A INCÊNDIO ENVOLVENDO ALUMÍNIO LÍQUIDO	683
SESSION S5A: EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MATERIALS AND STRUCTURES UNDER FIRE.....	689

*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

THERMAL ANALYSIS OF SOLID GLASS BRICK WALL EXPOSED TO FIRE	691
SELF-EXTINGUISHMENT ON LAMINATED BAMBOO STRUCTURES	701
FIRE BEHAVIOUR OF ECOLOGICAL SOIL-CEMENT BLOCKS WITH WASTE INCORPORATION – EXPERIMENTAL AND NUMERICAL ANALYSIS	709
STRUCTURAL PERFORMANCE OF STRUCTURAL INSULATED PANELS USED AS FLOOR SYSTEMS UNDER FIRE CONDITIONS	723
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DO FOGO NA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO RESIDUAL DO CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO POR MEIO DO ENSAIO DEWS (DOUBLE EDGE WEDGE SPLITTING)	733
DURABILITY OF REACTION TO FIRE PERFORMANCE OF WOOD BASED PANELS THROUGH ACCELERATED AGING CYCLES	743
SESSION S5B: FIRES IN SPECIAL BUILDINGS AND SPACES	757
FIRE SAFETY IN BIG PUBLIC TRANSPORT TERMINAL BUILDINGS	759
DESENVOLVIMENTO DO INCÊNDIO NO EMPREENDIMENTO PORTIMÃO RETAIL PARK	767
COMPORTAMENTO DE INCÊNDIOS EM AMBIENTE MOBILIADO COM MATERIAIS CONSTITUÍDOS COM RETARDANTE DE CHAMA: UM ESTUDO COMPARATIVO	783
CARACTERIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO DOS INCÊNDIOS REGISTRADOS NO ESTADO DO TOCANTINS NO ANO DE 2018 – UMA GRANDE INTERFACÉ URBANA FLORESTAL	797
MODELLING REAL FIRE BY THE MEAN OF FDS AND A 2-ZONE MODEL FOR STRUCTURAL POST-FIRE ASSESSMENT PURPOSES	807
INNOVATIONS FOR SMOKE MANAGEMENT IN PASSENGER TRAINS	819
A MOVE TO FULL PROFESSIONALISM FOR FIRE SAFETY ENGINEERS – THE WARREN CENTRE RESEARCH	831
SESSION S6A: EXPERIMENTAL ANALYSIS OF MATERIALS AND STRUCTURES UNDER FIRE	841
ANÁLISE EXPERIMENTAL DE PAREDES DE VEDAÇÃO DE BLOCOS MACIÇOS DE GESSO SUBMETIDAS À ELEVADAS TEMPERATURAS	843
ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DE CONCRETOS ESTRUTURAIIS SUBMETIDOS À TEMPERATURAS ELEVADAS	853
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE CURA DE PLACAS MACIÇAS PRÉ-FABRICADAS DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS À ELEVADAS TEMPERATURAS	865
REAL-SCALE EXPERIMENTAL ANALYSIS ON THE CONTINUITY EFFECT OF STEEL-CONCRETE COMPOSITE SLABS UNDER FIRE: STATE OF THE ART	875
NUMERICAL ANALYSIS OF LATERAL TORSIONAL BUCKLING OF STEEL I-BEAMS WITH AND WITHOUT WEB-OPENINGS UNDER FIRE	893
SESSION S6B: FIRE-FIGHTING OPERATIONS AND EQUIPMENTS	905
NUMERICAL VALIDATION OF THE FIRE PERFORMANCE OF FIRE FIGHTER CLOTHING AND EXPERIMENTAL TESTS	907

*5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY – CILASCI 5
Porto, Portugal, 15 - 17 July 2019*

NUMERICAL PREDICTION OF THE INCOMING HEAT FLUXES ON FIREFIGHTER PROTECTIVE CLOTHING	919
MODELAÇÃO DA EFICÁCIA DA INTERVENÇÃO DOS BOMBEIROS NA SEGURANÇA AO INCÊNDIO EM EDIFÍCIOS	929
PROTOCOLO EXPERIMENTAL EM CONTAINER PARA TESTES DE TRAJES DE COMBATE A INCÊNDIO	939
SISTEMA DIGITAL DE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO E PÂNICO DO DISTRITO FEDERAL: IMPLANTAÇÃO E RESULTADOS DO SCIPWEB	951
AVALIAÇÃO DA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE EXTINÇÃO DE INCÊNDIO	963
ANÁLISE DA CULTURA DE PREVENÇÃO DE INCÊNDIOS E PERCEPÇÃO DE RISCO DE INCÊNDIO EM COMUNIDADES ESCOLARES DE PORTO ALEGRE PARA O DESENVOLVIMENTO DE TREINAMENTO PARA PROFESSORES.....	975

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LADRILLOS CERÁMICOS CON ADICION DE PRODUCTOS DE RECICLADO: REVISIÓN DE ESTUDIOS

Ana B. R. Gavilán*
Profesora
U. SALAMANCA
Zamora

M^a Paz Sáez
Profesora
U. GRANADA
Granada

M^a Ascensión Rodríguez
Profesora
U.SALAMANCA
Zamora

M^a Natividad Antón
Profesora
U.SALAMANCA
Zamora

Jesús Iñaki Gómez
Profesor
U SALAMANCA
Zamora

Paulo A. G. Piloto
Profesor
IPB
Bragança

Palabras clave: Ladrillo cerámico; reciclaje de residuos; propiedades térmicas; propiedades mecánicas.

1. INTRODUCCIÓN

Los ladrillos cerámicos son uno de los materiales de construcción más antiguos y demandados del mundo. Técnica y económicamente competitivos, tienen una buena capacidad portante, durabilidad, resistencia a fuego, aislamiento térmico y no causan problemas de calidad del aire en los interiores, [1]. Se producen a partir de arcillas sinterizadas a altas temperaturas y, por lo tanto, incorporan altos niveles de energía en su fabricación, [2].

En un contexto de sostenibilidad, y con las regulaciones medioambientales cada vez más restrictivas, una de las líneas de innovación del sector es la incorporación de residuos domésticos, industriales y agrícolas en su fabricación. Su adición no solo busca la eliminación de estos residuos, sino que además trata de mejorar las propiedades de los ladrillos o de su fabricación. Son numerosos los trabajos que han intentado incorporar residuos en la producción de ladrillos, como cenizas volantes, lodos de plantas de tratamiento de agua, residuos de la fabricación del papel, boquillas de cigarrillos, espuma de poliestireno, fibra plástica, serrín, paja, cáscaras de semillas, tejido, desechos de algodón, escoria granulada, caucho, polvo de piedra

* Autor correspondiente – Dep. de Ingeniería Mecánica, Universidad de Salamanca - Politécnica Superior de Zamora. Avda. Cardenal Cisneros, 34. 49029 Zamora. Telef.: +34 980 545 000, E-mail: aramos@usal.es

caliza, lodos de plantas de tratamiento de efluentes de petróleo, etc., recogidos en trabajos de revisión previos, como los realizados por Raut et al. [3], Dondi et al. [4], Kadir y Sarani [1], Zhang, [2], Shakir y Mohamed [5], Monteiro et. [6] y Al-Fakih et al. [7].

La mejora de la eficiencia energética de los edificios promueve el empleo de aislamientos cada vez más eficientes en cerramientos y particiones. La norma CTE DB-HE: 2017 [8] establece un límite de transmitancia térmica de las paredes según su ubicación y clima. Este criterio favorece el diseño de soluciones constructivas en base a ladrillos huecos, generados por extrusión, que reducen la conductividad térmica del ladrillo respecto a la del material cerámico.

La conductividad térmica de la cerámica ordinaria está influenciada de manera compleja por muchas variables, entre las que cabe destacar la densidad aparente, la porosidad, el tamaño de los poros y los componentes mineralógicos, en particular silicatos ricos en calcio, cuarzo y amorfo [9]. Por lo tanto, una forma de incrementar la capacidad aislante de los ladrillos es a través del empleo de arcillas aligeradas que, mediante una porosidad homogénea en su matriz, disminuye su conductividad térmica.

Este estudio presenta una revisión de los artículos que analizan el comportamiento térmico de ladrillos cerámicos procedentes del reciclaje de residuos, buscando la mejora de la eficiencia energética de los cerramientos. Muchos de estos trabajos aportan, además, datos relativos a la composición del material, y sus características físicas, micro-estructurales y mecánicas.

2. ESTUDIOS QUE ANALIZAN LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LADRILLOS CERÁMICOS PROCEDENTES DEL RECICLAJE DE RESIDUOS

En función de su origen, los residuos empleados como aditivos en los ladrillos cerámicos se pueden dividir en dos categorías: orgánicos o procedentes de fuentes renovables, como productos o subproductos de cultivos agrícolas y residuos agroindustriales e industriales; y minerales o inorgánicos, como residuos del mármol, escorias, cenizas, o residuos de vidrio [7].

Las investigaciones dedicadas al estudio de la conductividad térmica de los productos cerámicos fabricados con estos materiales de desecho coinciden en que tanto los denominados orgánicos como los denominados minerales o inorgánicos se incorporan como agentes formadores de poro.

2.1 Reciclaje de residuos orgánicos y procedentes de fuentes renovables.

En 2006, Ugheoke et al. [10] estudiaron experimentalmente la idoneidad de usar caolín, cáscara de arroz y arcilla para producir ladrillos refractarios aislantes, determinando la proporción óptima de estos constituyentes. El estudio analiza diez muestras de ladrillos con diferentes composiciones, cocidas a 1200°C, obteniendo que para la proporción en peso de caolín/arcilla/cáscara de arroz de 40/10/50, la conductividad térmica es de 0.005W/mK y que para la proporción 60/10/30 es de 0.134W/mK. Estos resultados muestran que un alto porcentaje de cáscara de arroz provoca una baja conductividad térmica, debido a que esta adición deja

muchos poros en el material cerámico. La conductividad de las muestras de ladrillo disminuye con la reducción de la densidad y el aumento de la porosidad.

Banhidi y Gomze [11] llevaron a cabo una investigación experimental en 2008 para mejorar las propiedades de aislamiento de los ladrillos convencionales, agregando materiales de desecho agrícolas: serrín, cáscara de arroz y cáscara de semillas de girasol; en proporciones del 0%, 4% y 7% en peso. La temperatura de cocción utilizada fue de 900°C en todas las muestras. La medición de conductividad térmica se realizó mediante un equipo de tipo RAPID-K, a través del que se registró una reducción significativa con porcentajes más altos de residuos orgánicos. La ignición de la adición de estos residuos disminuyó la energía utilizada durante la cocción al proporcionar energía térmica adicional y creó poros durante el proceso de cocción que mejoraron las propiedades de aislamiento del material. La conductividad térmica disminuyó entre un 10% y un 31% respecto al ladrillo de control con el empleo de un 4% de aditivos. La mayor reducción se obtuvo a través de la adición de cáscara de semilla de girasol (37%), seguida de cáscara de arroz (26%) y de serrín (16%). El valor de conductividad térmica disminuyó de 0.27 W/mK a 0.17 W/mK con un 7% de aditivo. Por contra, la resistencia a compresión disminuyó del 26% al 77% con la adición de un 4% de residuos orgánicos, y del 25% al 48% con el 7%. En términos de propiedades mecánicas, el aditivo más adecuado fue el serrín.

Sutcu y Akkurt [12] desarrollaron en 2009 ladrillos cerámicos ligeros con conductividad térmica reducida, empleando residuos procedentes de la industria papelera como aditivo formador de poros. Las mezclas elaboradas contenían materias primas del ladrillo y aditivos en diferentes proporciones, de hasta un 30% en peso. Los ladrillos se conformaron por moldeo en prensa hidráulica a 10MPa, y fueron sinterizados a 1100°C. Los ensayos realizados evaluaron la densidad aparente, la porosidad aparente, la absorción de agua, la conductividad térmica y la resistencia a compresión. La conductividad térmica se analizó a través de un medidor de conductividad térmica rápida, que trabaja según el método de hilo caliente. Los resultados muestran que la incorporación del residuo provoca la reducción de la conductividad térmica de más del 50%, 0.83-0.42 W/mK, el aumento de la porosidad aparente y la disminución la resistencia a compresión que, además, está influenciada por la dirección de prensado y la forma de los poros.

Folanrami [13] investigó en 2009 el efecto de las cenizas procedentes de la quema árboles de mango seco y del serrín de la madera de caoba sobre la conductividad térmica de ladrillos de arcilla. Para ello se incorporaron diferentes porcentajes de ceniza y serrín, que oscilaron entre el 1% y el 30%, y se sinterizaron a 800°C. La conductividad térmica de las muestras se analizó a través de un equipo que emplea el método Lee, obteniéndose valores comprendidos entre 0.180 a 0.250 W/mK en caso de ladrillos que contenían cenizas. Este leve descenso se debe a los puentes que generan las partículas de cenizas entre las partículas de arcilla. Por otro lado, la conductividad térmica de los ladrillos de arcilla con serrín varió de 0.060 a 0.230 W/mK, debido a la presencia de los poros generados por su combustión a altas temperaturas.

Kadir et al. [14] analizaron en 2010 distintas propiedades físico-mecánicas de ladrillos de arcilla cocida procedentes del reciclado de boquillas de cigarrillos de acetato de celulosa. Las boquillas se desinfectaron por calentamiento a 105°C durante 24h y se mezclaron con la arcilla en cuatro dosificaciones diferentes, de hasta el 10% en peso. La mezcla se colocó en moldes y compactó

manualmente con el contenido óptimo de humedad obtenido en las pruebas de compactación estándar, y se cocieron a 1050°C. Los resultados muestran una reducción de la densidad de los ladrillos de hasta un 30%, obtenida para un contenido del 10% de boquillas. El rendimiento de conductividad térmica de los ladrillos se mejoró un 51 y 58% para contenidos del 5 y 10% respectivamente. En este estudio la conductividad térmica se estimó a través del valor de densidad seca, empleando para ello un modelo desarrollado en base a los resultados obtenidos con 256 muestras de ladrillo, hormigón y áridos. El estudio presenta además pruebas de lixiviación, que revelan trazas de metales pesados en las muestras. La resistencia a compresión de los ladrillos se redujo de 25.65MPa a 12.57MPa, 5.22MPa y 3.00MPa para porcentajes de boquillas del 2.5%, 5.0% y 10% de respectivamente, mientras que la resistencia a flexión no disminuye significativamente con la incorporación de este tipo de residuo.

En 2010, Saiah et al. [15] investigaron el uso de distintos tipos de residuos vegetales: semillas de trigo, fibras de madera resinosa, semillas de colza, mazorca de maíz, semillas de maíz, paja de trigo y semillas de girasol, como adición en ladrillos de arcilla cocida, analizando el efecto de las distintas porosidades generadas. Las muestras analizadas contenían un porcentaje materia vegetal inferior al 10%, de modo que la densidad se aproximaba en todos los casos a 1.6 g/cm³. Durante la combustión, la materia vegetal creó poros que aumentaron la porosidad del 11% al 18%, disminuyendo así la conductividad térmica hasta en un 32%, con la que podría esperarse una mejora de la resistencia térmica de entre el 18% y 48% en ladrillos perforados. La porosidad obtenida empleando como aditivo la paja de trigo proporciona la mejor relación entre las propiedades térmicas y las mecánicas.

Cusidó y Soriano [16] analizaron en 2011 la viabilidad del empleo de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante la pelletización, un proceso de ceramización con sinterización a 1050°C, para obtener un material similar a la arcilla expandida utilizada como material de construcción. Aunque no se incorpora a una matriz de arcilla, la pelletización se asocia con un proceso de cocción similar al de la arcilla. Los autores afirmaron haber desarrollado un nuevo material ligero con una porosidad abierta del 62% y una conductividad térmica media de 0.09 W/m K, que clasifica al material como aislante térmico. Las pruebas de lixiviación revelaron cantidades indetectables de metales peligrosos, con la excepción del vanadio. Las pruebas de toxicidad también mostraron resultados negativos. Las emisiones de combustión se encontraron sorprendentemente más bajas que las de los ladrillos de arcilla a los que se incorporaron lodos de depuradora. Los autores también concluyeron que la ceramización de los gránulos de lodo es una técnica a considerar tanto desde el punto de vista económico como tecnológico.

Eliche-Quesada et al. [17] investigaron en 2012 el empleo de residuos de la producción de biodiesel como aditivo en la fabricación de ladrillos de arcilla porosa. Los ladrillos se fabricaron por prensado en molde y sinterizaron a 1050°C, a los que se agregaron por separado dos tipos distintos de residuos: tierra gastada de la filtración con biodiesel (hasta 20% en peso) y glicerina (hasta 15% en peso). Los resultados indicaron que las muestras que contenían tierras lograron valores de resistencia a compresión entre 26.1 y 41.2 MPa, obteniendo el valor más bajo con el mayor contenido de residuos por la presencia de poros abiertos y otras imperfecciones microscópicas. Por el contrario, la resistencia a compresión aumentó con la adición de residuos de glicerina. La resistencia a compresión aumentó de 41.0 a 78 MPa con adiciones entre el 5 y

15%. La conductividad térmica se redujo un 12% con la adición del 5, 10 y 15% residuos de tierra, llegando al 20% con la incorporación del 20% de residuo. Esto se debe a que la densidad aparente fue casi constante con la adición de hasta un 15% de desechos y disminuyó cuando se agregó hasta un 20%. La incorporación de hasta un 15% de glicerina produjo una reducción más importante en la conductividad térmica, de hasta un 40% en comparación con los ladrillos de arcilla de referencia.

Muñoz et al. [18] estudiaron en 2013 la influencia del empleo de la pasta de papel como aditivo de la arcilla, en las propiedades térmicas y mecánicas del material cerámico. El estudio analiza muestras con distintos porcentajes de residuos, entre el 0% y el 17% en peso, conformadas por moldeo a 2MPa y sinterizadas a 942°C. El estudio concluye que para porcentajes de pasta de papel inferiores al 15% las propiedades mecánicas mantienen valores de resistencia superiores a 10MPa. Esta cantidad de pasta de papel mejoró las propiedades de conductividad en un 39.69% en comparación con la arcilla sin aditivos, registrando un valor de conductividad mínimo a 10° C de 0.45 W/mK. Esta disminución en la conductividad del material cerámico da como resultado una mejora del 16% en la transmisión térmica equivalente para las paredes de ladrillo hechas de la misma manera. El ensayo de conductividad térmica se desarrolló con el método de placa caliente guardada, EN 12664-2001 [19].

Gorhan y Simsek [20] estudiaron en 2013 la posibilidad de fabricar ladrillos cerámicos empleando cáscaras de arroz como aditivo. La cáscara de arroz se incorporó a la materia prima en dos formas, como cáscara de arroz gruesa y como cáscara de arroz molida, con porcentajes de residuos del 5%, 10% y 15% en volumen. Las piezas, conformadas por moldeo bajo una compresión de 0.6Mpa, se sinterizaron en el rango de 700-1000 °C. La resistencia a compresión de las muestras de referencia sin aditivo, cocidas a 1000°C, fue de 17.1 MPa. Se observa la reducción de resistencia con el aumento de la cantidad de cáscara de arroz, más acusado con la cáscara gruesa. Los resultados revelaron que al agregar un porcentaje de cáscara de arroz entre el 5% y 10%, la resistencia a la compresión alcanzaba los 7-10Mpa. La conductividad de todas las muestras, determinada mediante el método de cable caliente, aumentó con la temperatura de cocción para temperaturas en el rango de 800-1000°C. La muestra de referencia presentó la máxima conductividad térmica, de 0.548 W/mK, que disminuyó hasta los 0.165 W/mK en el caso de piezas cocidas a 800°C con un 15% de cáscara de arroz grueso. La cáscara de arroz grueso mejoró la conductividad térmica más que la cáscara molida, pero aquellos ladrillos que contenían un 15% de la cáscara gruesa de arroz eran frágiles, por lo que el contenido óptimo de cáscara de arroz para la fabricación de ladrillos de arcilla fue del 10%.

En 2014, Muñoz et al. [21] investigaron la producción de ladrillos de arcilla cocida mediante la utilización de residuos de orujo de la industria del vino. Se analizaron cuatro mezclas: con 0% de aditivo para las muestras de control, 5%, 11% y 17%, con un contenido de agua constante del 20%. Las muestras se moldearon por compresión, ejerciendo una presión de hasta 25 bar con una prensa hidráulica y, tras el secado, se sinterizaron a 980°C. La determinación de la conductividad térmica se realizó según las normas europeas [22] [23], mediante el método de la placa caliente guardada y el método del medidor de flujo de calor. Los resultados determinaron que el contenido óptimo de aditivo era del 5%, tanto por absorción de agua como por la resistencia a compresión. Para arcilla sin aditivo, la conductividad térmica fue de 0.738 W/mK, que se redujo a 0.63W/mK una vez aditivada, lo que significó una mejora del 10% en la

transmisión térmica. La adición de residuos redujo la contracción lineal y la densidad aparente, que llegó al 23% al incorporar el 17% de residuos en la mezcla.

Adazabra et al. [24] estudiaron en 2017 la adición de desechos de karité para mejorar la fabricación de ladrillos de arcilla cocida, investigando su influencia en las propiedades químicas, mineralógicas, de enlace molecular y tecnológicas. Se emplearon mezclas de arcilla amarilla, con un valor constante del 25%, de arcilla blanca y porcentajes de residuos que oscilaban entre el 0% y el 20%, sinterizadas a 900°C, 1000°C, 1100°C y 1200°C. Los resultados indicaron que la introducción de desechos de karité contribuyó al ahorro de energía, mejoró la formación de poros, redujo la conductividad térmica de los ladrillos y mejoró la resistencia a la compresión. La conductividad térmica de los ladrillos sinterizados a 900°C mostró valores que oscilaron entre 0.36 y 0.21 W/mK., mientras que los estándares de referencia cocidos a 1000, 1100 y 1200 °C registraron valores de 0.49, 0.54 y 0.60 W/mK, respectivamente.

En 2017, Galán-Arboledas et al. [25] investigaron la incorporación de residuos de tierras de diatomeas en la fabricación de ladrillos cerámicos. Estos residuos procedían de dos procesos industriales: el refinado de aceites vegetales y la elaboración de cerveza. Se emplearon proporciones entre el 3 y 10% en peso, para obtener piezas cerámicas a tres temperaturas de cocción: 850, 950 y 1050 °C. Los resultados muestran que esta adición mejora el comportamiento de los materiales en el proceso de secado, aumenta la porosidad abierta de las piezas cocidas y reduce la densidad aparente hasta en un 10%. El aumento de la porosidad es mayor en las piezas que incorporaron diatomeas de la filtración de aceite, alcanzando el valor máximo (37% en volumen). El aumento del contenido de ambos residuos disminuyó la resistencia a flexión alcanzando valores superiores a 10 MPa, admisibles para su uso en la construcción. Además, la liberación de energía de los residuos durante la etapa de cocción es mayor que la demanda de energía requerida para el secado, mientras que los valores de conductividad térmica de los materiales finales disminuyen con la cantidad de residuo, que confiere propiedades de aislamiento térmico a las piezas cerámicas y, por lo tanto, puede reducir el consumo energético de los edificios. La conductividad térmica se obtuvo a través de una adaptación del método del hilo caliente, obteniéndose dos tendencias diferentes de la evolución con el aumento del residuo independientemente de la temperatura de cocción empleada. En caso de probetas que incorporaban residuos de la industria del aceite, la conductividad térmica se mantiene o disminuye cuando aumenta la cantidad de residuos. Por otro lado, si se usa hasta un 7% el residuo de la industria de la elaboración de cerveza provoca una ligera disminución de la conductividad térmica, mientras que si se agrega un 10% en peso de residuo, dicha conductividad térmica aumenta levemente de nuevo, en línea con la mayor capacidad de vitrificación observada en este material en los diagramas de sinterización.

2.2 Reciclaje de residuos inorgánicos o minerales.

En 2013, Gencel et al. [26] investigaron el efecto de la adición de distintas combinaciones de escoria de ferrocromo, material de desecho de la fabricación del ferrocromo metal, y zeolita natural, en las propiedades físicas, mecánicas, de conductividad térmica y microestructura de los ladrillos. Las mezclas semisecas de materia prima y adición, cuyo porcentaje oscilaba entre 0% y 30%, se comprimieron a 20 MPa y sinterizaron a 900°C. El estudio caracterizó las propiedades

físicas, térmicas y mecánicas de los ladrillos cocidos, obteniendo la densidad, la porosidad, la absorción de agua, la pérdida de peso, la resistencia a compresión y flexión, las propiedades de conductividad térmica y el análisis microestructural y de fase de los ladrillos. La conductividad térmica se obtuvo a través de un sensor que emplea el método MTPS (Modified Transient Plane Source). Mientras que la densidad aparente de los ladrillos con la escoria aumentó, la de los ladrillos con zeolita disminuyó. Los ladrillos con la adición de escoria presentaron una resistencia a compresión de 27.5-32 MPa, ligeramente más pequeña que el ladrillo de referencia, 34.9 MPa. Los ladrillos con adición de zeolita mostraron una resistencia a compresión de 14.3-22.3 MPa, y los ladrillos que incluyeron una combinación de escoria y zeolita oscilaron entre 17.4 y 27.7 MPa. El efecto de la zeolita en la porosidad del ladrillo es dominante debido a la estructura porosa generada por la ignición de la zeolita. La conductividad térmica de las muestras aumentó con la adición de escoria de ferrocromo y disminuyó con la adición de zeolita. La muestra de ladrillo con un 30% de aditivo de zeolita presentó el valor más bajo de conductividad térmica, de 0.69 W/mK, y el más alto, de 1.26 W/mK correspondió a la muestra que contenía un 30% de aditivo de escoria. Todos los resultados mostraron que las muestras de ladrillos producidos con zeolita natural y escoria de ferrocromo-zeolita adicional se pueden usar como material de construcción de aislamiento térmico.

Stucu et al. [27] analizaron en 2015 ladrillos de arcilla cocida aligerados agregando hasta 35% en peso de polvo de mármol de desecho, sinterizados a 950°C y 1050°C. Los resultados del estudio muestran que el uso de polvo de mármol residual redujo la densidad aparente y la resistencia a compresión de las muestras, que llega a alcanzar los 8.2 MPa. La conductividad térmica disminuyó con la adición de 0.97 a 0.40 W/mK, demostrando que el polvo mármol de desecho podría usarse como un aditivo formador de poros y contribuir a la formación de fases cristalinas en la producción de ladrillos en ciertas proporciones.

En 2018, Munir et al. [28] analizaron la viabilidad del empleo de residuos de lodo de mármol procedentes de la industria, en la producción de ladrillos de arcilla. Para ello se prepararon ladrillos en condiciones reales, sinterizados a 800°C, utilizando porcentajes de residuos comprendidos entre el 5% y el 25% en peso de arcilla. El estudio analiza diferentes propiedades físicas, mecánicas y térmicas, que compara con otros estudios que emplean otro tipo de residuos. El estudio muestra cómo la adición de residuos de lodo de mármol genera una estructura con poros abiertos de forma irregular e interconectados, que mejora las propiedades de aislamiento térmico y disminuye la densidad aparente y resistencia de los ladrillos. Con un 15% de residuos la conductividad térmica desciende entorno al 16%, y la resistencia se reduce casi a la mitad, logrando mantener un valor superior a 5MPa.

Kazmi et al. [29] estudiaron en 2018 diferentes propiedades físico-mecánicas y térmicas de ladrillos de arcilla que incorporaban diferentes dosis de polvo de vidrio de desecho, 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en peso de arcilla, elaborados en un horno industrial. Los ladrillos fabricados tenían mayor densidad y resistencia a la compresión tras la adición de polvo de vidrio. Los ladrillos cerámicos que incorporaron un 25% de adición mostraron un aumento del 37% en la resistencia a la compresión. También se observó la reducción de la porosidad aparente y la absorción de agua al aumentar el contenido de residuos de vidrio. Las imágenes microscópicas también mostraron una estructura densa y homogénea con una porosidad reducida, que aumentó la conductividad térmica de los ladrillos. Las muestras de control mostraron una

Ana Belén Ramos, M^a Paz Sáez, M^a Natividad Antón, M^a Ascensión Rodríguez, Jesús Iñaki Gómez, Paulo A. G. Piloto

conductividad térmica de 0.53 W/mK, que aumentó a 0.59 W/mK después de incorporar un 25% de residuo. Según este estudio, la utilización de polvo de vidrio de desecho en la producción de ladrillos en proporciones de hasta un 25% puede ser útil para reducir el relleno sanitario y los problemas ambientales asociados.

3. DISCUSIÓN

A pesar de la escasa fabricación de ladrillos cerámicos con materiales procedentes del reciclaje de residuos, esta revisión muestra el gran potencial del material obtenido, que en muchos casos cumple con los requisitos establecidos en diferentes estándares y las propiedades de los ladrillos. Los trabajos presentados demuestran que es posible el empleo de residuos en la fabricación de ladrillos cerámicos, y que su uso permite no solo su eliminación, sino que además evita el agotamiento de los recursos.

La falta de homogeneidad de los materiales de origen y de los métodos empleados para determinar las propiedades del material cerámico, en especial la conductividad térmica, no permite establecer una comparación de resultados, que requerirían normas precisas para su obtención.

A pesar de los reducidos valores de conductividad térmica que se logran en algunos de los estudios analizados, no existen trabajos que determinen experimentalmente la resistencia a fuego de ladrillos cerámicos procedentes del reciclado de residuos, o el comportamiento térmico y mecánico del material a altas temperaturas. Los anejos nacionales de la norma EN 1996-1-2:2005 [8] facilitan curvas de densidad, conductividad térmica, calor específico, deformación térmica, y diagramas tensión-deformación en función de la temperatura, asociados a distintos rangos de densidad de los ladrillos, con las que se podría realizar una estimación de la resistencia en base a un modelo de elementos finitos.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una gran variedad de estudios que determinan la conductividad térmica de ladrillos cerámicos procedentes del reciclaje de residuos, clasificados por la naturaleza orgánica o inorgánica de los aditivos empleados. Estos estudios analizan, además, distintas propiedades físico-mecánicas y químicas de los ladrillos de acuerdo con literatura y normas existentes.

La reducción de la densidad y de la conductividad térmica y el mantenimiento de la resistencia a compresión en valores aceptables, ofrece una opción económica para el diseño de ladrillos ecológicos.

El estudio del comportamiento a fuego del material cerámico con la incorporación de productos procedentes del reciclaje de residuos con baja conductividad térmica permitirá valorar su uso como material aislante en construcciones sostenibles.

REFERENCIAS

- [1] Kadir, A.A.; Sarani, N.A. – “*An Overview of Wastes Recycling in Fired Clay Bricks*”, *International Journal of Integrated Engineering*, vol. 4, no. 2, 2012, p. 53- 69.
- [2] Zhang, L. – “*Production of bricks from waste materials – A review*”, *Construction and Building Materials*, vol. 47, 2013, p. 643- 655.
- [3] Raut, S.P.; Ralegaonkar, R.V., Mandavgane S.A. – “*Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-crete bricks*”, *Magazine of Concrete Research*, vol. 37, no. 133, 1985, p. 195- 215.
- [4] Dondi, M.; Marsigli, M.; Fabbri, B. – “*Recycling of Industrial and Urban Wastes in Brick Production-A Review*”, *Tile & Brick International*, vol. 13, no.3, 1997, p. 218-309.
- [5] Shakir, A.A.; Mohammed, A. A. – “*Manufacturing of Bricks in the Past, in the Present and in the Future: A state of the Art Review*”, *International Journal of Advances in Applied Sciences*, vol. 2, no. 3, 2013, p. 145- 156.
- [6] Monteiro, S.N.; Vieira, C.M.F. – “*On the production of fired clay bricks from waste materials: A critical update*”, *Construction and Building Materials*, vol. 68, 2014, p. 599–610.
- [7] Al-Fakih, A.; Mohammed, B.S.; Liew, M.S.; Nikbakht, E. – “*Incorporation of waste materials in the manufacture of masonry bricks: An update review*”, *Journal of Building Engineering*, vol. 21, 2019, p. 37–54
- [8] Código Técnico de la Edificación (CTE) Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE), 2017
- [9] Dondi, M.; Mazzanti, F.; Principi, P.; Raimondo, M.; Zanarini, G. – “*Thermal Conductivity of Clay Bricks*”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 16, no. 1, 2004, p. 8- 14.
- [10] Ugheoke, B. I.; Onche, E. O.; Namessan O. N.; Asikpo, G. A. “*Property Optimization Of Kaolin-Rice Husk Insulating Fire-Bricks*”, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, vol. 9, 2006, p. 167-178.
- [11] Bànhidi, V.; Gömze, L.A. – “*Improvement of insulation properties of conventional brick products*”, *Materials Science Forum*, vol. 589, 2008, p. 1-6.
- [12] Sutcu, M.; Akkurt S. – “*The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity*”, *Ceramics International*, vol. 35, 2009, p. 2625–2631.
- [13] Folaranmi, J. - “*Effect of Additives on the Thermal Conductivity of Clay*”, *Leonardo Journal of Sciences*, vol. 14, 2009, p. 74-77.
- [14] Kadir, A.A.; Mohajerani, A.A.; Roddick, F.; Buckeridge J. - “*Density, Strength, Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts*”, *International Journal of Environmental Science and Engineering*, vol. 2, no. 4, 2010.
- [15] Saiah, R.; Perrin, B.; Rigal, L. - “*Improvement of Thermal Properties of Fired Clays by Introduction of Vegetable Matter*”, *Journal of Building Physics*, vol. 34, no. 2, 2010, p. 124-142.
- [16] Cusido, J.A.; Soriano, C. - “*Valorization of pellets from municipal WWTP sludge in lightweight clay ceramics*”, *Waste Management*, vol. 31, 2011, p. 1372–1380.
- [17] Eliche-Quesada, D.; Martínez-Martínez, S.; Pérez-Villarejo, L.; Iglesias-Godino, F.J.; Martínez-García, C.; Corpas-Iglesias, F.A. – “*Valorization of biodiesel production residues in making porous clay brick*”, *Fuel Processing Technology*, vol. 103, 2012, p. 166–173.

- [18] Muñoz, P.; Juárez, M.C.; Morales, M.P.; Mendivil, M.A. – “*Improving the thermal transmittance of single-brick walls built of clay bricks lightened with paper pulp*”, *Energy and Buildings*, vol. 59, 2013, p.171–180.
- [19] EN 12664-2001. Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance.
- [20] Gorhan, G.; Simsek, O. - “*Porous clay bricks manufactured with rice husks*”, *Construction and Building Materials*, vol. 40, 2013, p. 390–396.
- [21] Muñoz, P.; Morales, M.P.; Mendivil, M.A.; Juárez, C.; Muñoz, L. - “*Using of waste pomace from winery industry to improve thermal insulation of fired clay bricks. Eco-friendly way of building construction*”, *Construction and Building Materials*, vol. 71, 2014, p. 181–187.
- [22] EN 1946-2 1999. Thermal performance of building products and components. Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties. Measurements by guarded hot plate method.
- [23] EN 12667-2002. Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance.
- [24] Adazabra, A.N.; Viruthagiri, G.; Shanmugam, N. – “*Management of spent shea waste: An instrumental characterization and valorization in clay bricks construction*”, *Waste Management*, vol. 64, 2017, p. 286–304.
- [25] Galán-Arboledas, R.J.; Cotes-Palomino, M.T.; Bueno, S.; Martínez-García, C. - “*Evaluation of spent diatomite incorporation in clay based materials for lightweight bricks processing*”, *Construction and Building Materials*, vol. 144, 2017, p. 327-337.
- [26] Gencil, O; Sutcu, M; Erdogmus, E; Koc, V; Cay, V.V.; Gok, M.S. – “*Properties of bricks with waste ferrochromium slag and zeolite*”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 59, 2013, p. 111-119.
- [27] Sutcu, M.; Alptekina, H.; Erdogmus, E.; Er, Y.; Gencil, O.- “*Characteristics of fired clay bricks with waste marble powder addition as building materials*”, *Construction and Building Materials*, vol. 82, 2015, p. 1-8.
- [28] Munir, M. J.; Kazmi, S. M. S.; Wu, Y.-F.; Hanif, A.; Khan, M. U. A. – “*Thermally efficient fired clay bricks incorporating waste marble sludge: An industrial-scale study*”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, 2018, p. 1122-1135.
- [29] Kazmi, S.M.S.; Munir, M.J.; Wu, Y.F. ; Hanif, A.; Patnaikuni, I. – “*Thermal performance evaluation of eco-friendly bricks incorporating waste glass sludge*”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 172, 2018, p. 1867-1880.
- [30] CEN- European Committee for Standardization, Ed., *EN 1996-1-2: Eurocode 6. Design of masonry Structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design*, CEN-Europ. Brussels, 2005.

CILASCI

5

5º CONGRESSO IBERO-LATINO-AMERICANO EM SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS

5th IBERIAN-LATIN-AMERICAN CONGRESS ON FIRE SAFETY

Sponsors



Media Partner



ISBN 978-989-97210-3-6



9 789899 721036

