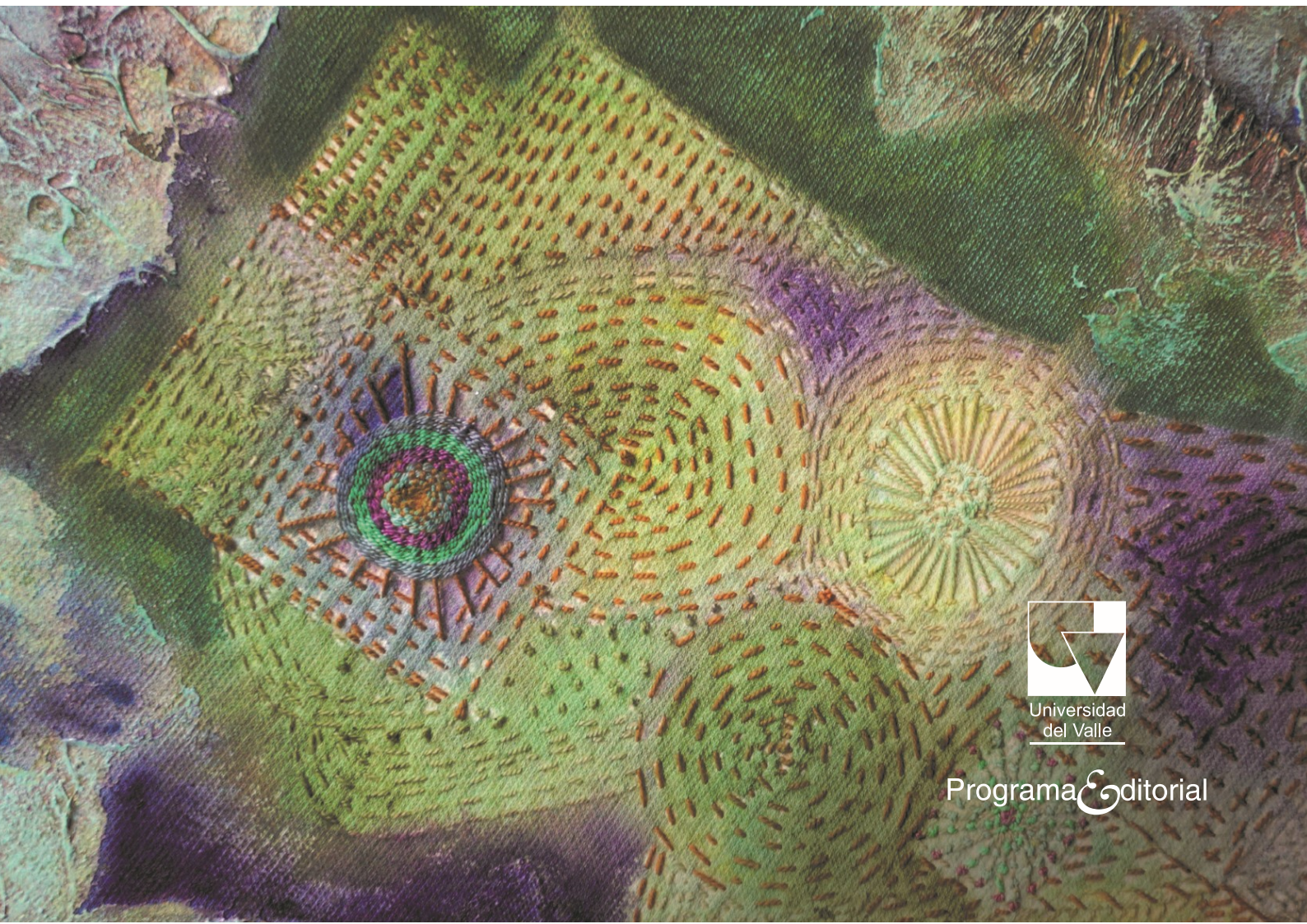


CONFORT Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL DISEÑO DE EDIFICACIONES UN ENFOQUE PRÁCTICO

• MIGUEL ENRIQUE ROSILLO P. •
CARLOS ALBERTO HERRERA C. •



Universidad
del Valle

Programa Editorial

La climatización de edificaciones demanda, para su completo éxito, la integración de la ingeniería mecánica con la arquitectura. Cada decisión (tipo de fachada, tamaño de ventanas, tipo de techo, etc.), además de su valor estético-funcional, condiciona las necesidades de equipo y, por ende, el consumo de energía, las inversiones, los costos de operación y mantenimiento, y los impactos ambientales.

Este libro pone al alcance de sus usuarios diversas opciones para sustituir un diseño intuitivo por un diseño racional, objetivo, organizado, y evaluable en todas las áreas. Gracias a estos textos, se podrán seleccionar estrategias y equipos de climatización que conduzcan al confort, a la calidad de aire, a la inversión inteligente y moderada de recursos económicos y energéticos, y a la mitigación de efectos ecológicos negativos. Todo lo anterior no excluye la capacidad de análisis crítico en edificaciones existentes, esto es especialmente aplicable en rehabilitaciones, proyectos de mejora, acompañamiento (commissioning) o simplemente evaluación ambiental. Estas aseveraciones tienen fundamento en el hecho de que tanto el confort como la eficiencia energética son cuantificables —y manejables— desde el diseño, o sea que no son accidentes a medir en campo, sino condiciones factibles de determinar anticipadamente.



CONFORT Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL DISEÑO DE EDIFICACIONES

UN ENFOQUE PRÁCTICO



Colección Ingeniería

Rosillo P., Miguel E.

Confort y eficiencia energética en el diseño de edificaciones : un enfoque práctico / Miguel Enrique Rosillo Peña, Carlos Alberto Herrera Cáceres. -- Cali : Editorial Universidad del Valle, 2019.

208 páginas ; 24 cm. -- (Colección ingeniería)

Incluye bibliografía.

1. Eficiencia energética – Edificios 2. Eficiencia energética – Indicadores 3. Edificios -- Condiciones ambientales 4. Edificios – Climatización I. Herrera Cáceres, Carlos Alberto, autor II. Tít. III. Serie 333.79 cd 22 ed. A1648259

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel

Universidad del Valle

Programa Editorial

Título: Confort y eficiencia energética en el diseño de edificaciones. Un enfoque práctico

Autores: Miguel Enrique Rosillo Peña, Carlos Alberto Herrera Cáceres

ISBN-PDF: 978-958-5599-47-5

Colección: Ingeniería

Primera edición

Rector de la Universidad del Valle: Édgar Varela Barrios

Vicerrector de Investigaciones: Jaime Cantera Kintz

Director del Programa Editorial: Omar Díaz

© Universidad del Valle

© Miguel Enrique Rosillo Peña, Carlos Alberto Herrera Cáceres

Diseño de carátula y diagramación: Diana Lizeth Velasco D.

Corrección de estilo: Luis Jaime Ariza T.

Imagen de portada: María Ximena González, mximenagonzalez@hotmail.com

Este libro, salvo las excepciones previstas por la Ley, no puede ser reproducido por ningún medio sin previa autorización escrita por la Universidad del Valle.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión del autor y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad del Valle, ni genera responsabilidad frente a terceros. El autor es responsable del respeto a los derechos de autor del material contenido en la publicación, razón por la cual la Universidad no puede asumir ninguna responsabilidad en caso de omisiones o errores.

Cali, Colombia, octubre 2019

CONFORT Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL DISEÑO DE EDIFICACIONES UN ENFOQUE PRÁCTICO

MIGUEL ENRIQUE ROSILLO P.
CARLOS ALBERTO HERRERA C.



Colección Ingeniería

CONTENIDO

Prefacio	9
---------------------------	---

Aspectos generales del proyecto de una edificación y del diseño de climatización	11
---	----

CAPÍTULO 1

Fundamentos	13
------------------------------	----

CAPÍTULO 2

Confort térmico	23
Concepto de confort.	23
Indices de confort	32
Normatividad sobre confort térmico	40
Herramientas de cuantificación numérica del confort.	42

CAPÍTULO 3

Condiciones ambientales	51
La estación meteorológica	52
Lectura de la rosa de los vientos	59
La instrumentación	61

CAPÍTULO 4

Calidad del aire	65
Introducción	65
Glosario, abreviaturas, acrónimos	65
Calidad de aire interior y exterior	72
Contaminantes.	77
Instrumentación	86
Calidad de aire en Colombia	91
Contenido	104
Ventilación	118

CAPÍTULO 5

Carga térmica	125
Cargas calóricas	128

CAPÍTULO 6

Caso base (<i>base case</i>)	135
Caracterizaciones	135
Identificación de la hora crítica	140
Calidad de aire interior y análisis de los primeros resultados.	150
Capacidad de renovación de aire por ventilación natural	150

CAPÍTULO 7

Estrategias de climatización	153
Caso base	160
Proposición de estrategias	160
Primer balance de modificaciones	163
Selección de modificaciones y balance climático final.	168
Otras alternativas	170

CAPÍTULO 8

Eficiencia energética	173
Eficiencia energética de aparatos con la misma función.	176
Caso base	177
Edificios energía cero, o energía cercana a cero, o energía plus.	180

CAPÍTULO 9

Análisis económico e impacto ambiental	183
Vida del proyecto	183
Inversión de capital	184
Caso base	185
Costos de operación, mantenimiento, combustibles y servicios	186
Caso base	188
Elementos de ingeniería económica	190
Caso base	194
Producción de CO ₂	195

Bibliografía	197
-------------------------------	-----

PREFACIO

La climatización, en el marco del diseño de edificaciones, demanda para su completo éxito la integración de la ingeniería mecánica con la arquitectura. Esto se da porque cada decisión (tipo de fachada, tamaño de ventanas, tipo de techo, etcétera), además de su valor estético/funcional, condiciona las necesidades de equipo y, por ende, el consumo de energía, las inversiones, los costos de operación y mantenimiento y, consecuentemente, los impactos ambientales. Para abordar lo anterior dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje, cada profesor organiza su cátedra particular a partir de sus experiencias personales y/o referencias preferidas, encontrándose una variedad de ofertas con distintas calidades y resultados. Esta situación, informalmente estructurada, conduce a que cada docente priorice sus intereses o habilidades, dejando emerger sus inseguridades y prejuicios, resultando en ocasiones su cátedra plagada de incertidumbre, mitificada y, por ello, muchas veces deficiente.

Este libro pretende resolver el anterior problema pues pondrá al alcance de sus usuarios diversas opciones para sustituir un diseño intuitivo por un diseño racional, objetivo, organizado, y evaluable en todas las áreas. Es decir, gracias a los aspectos disponibles en este texto los equipos diseñadores podrán seleccionar las estrategias y las facilidades de climatización que conduzcan al confort, a la calidad de la construcción, a la inversión inteligente y moderada de recursos económicos y energéticos, y a la mitigación de efectos ecológicos negativos. Estas aseveraciones tienen fundamento en el hecho de que tanto el confort como la eficiencia energética son cuantificables —y manejables— desde el diseño, o sea que no son accidentes a medir en campo sino condiciones factibles de determinar anticipadamente.

ASPECTOS GENERALES DEL PROYECTO DE UNA EDIFICACIÓN Y DEL DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN

Básicamente una edificación es una construcción fabricada con materiales resistentes, destinada a servir como espacio para el desarrollo de alguna actividad humana (habitación, culto, recreación, etc.). Hoy el diseño de una edificación es una tarea multidisciplinaria en la que intervienen grupos de arquitectura así como de ingenierías civil, mecánica, eléctrica, de control, sanitaria, de seguridad y de comunicaciones. La coordinación, en general efectuada por el grupo de arquitectura, es vital para que cada instalación cumpla su función sin interferir las demás. La climatización trata de proveer condiciones térmicas satisfactorias.

Como se puede advertir en el Graphical Abstract, en la *fase inicial* se hacen explícitos los objetivos obligatorios y los deseables (“musts & wants”), y se aportan, para conocimiento de todos, las restricciones y las condiciones que se hayan acordado. En este punto el grupo de arquitectura hace una propuesta base sobre la que cada uno de los otros grupos trabaja en su propia primera proposición. Durante la *fase media* se debaten, afinan y coordinan las diferentes propuestas hasta obtener un conjunto que cumpla con las expectativas del cliente, expectativas que se han venido ajustando. En la *fase final* se produce la documentación técnica que permite pasar a las fases de licitación, contratación, construcción y entrega del inmueble.

En el caso particular del diseño de climatización, la información básica debe reunir las condiciones medio-ambientales; las limitaciones físicas, topográficas, legales y presupuestales; las normativas aplicables; el proyecto base aportado por arquitectura, y el objetivo de confort a obtener (PMV o equivalente). Con estos insumos se elabora la propuesta inicial de climatización y se incorpora al proceso de antítesis/síntesis descrito anteriormente, del que se derivan las decisiones finales.

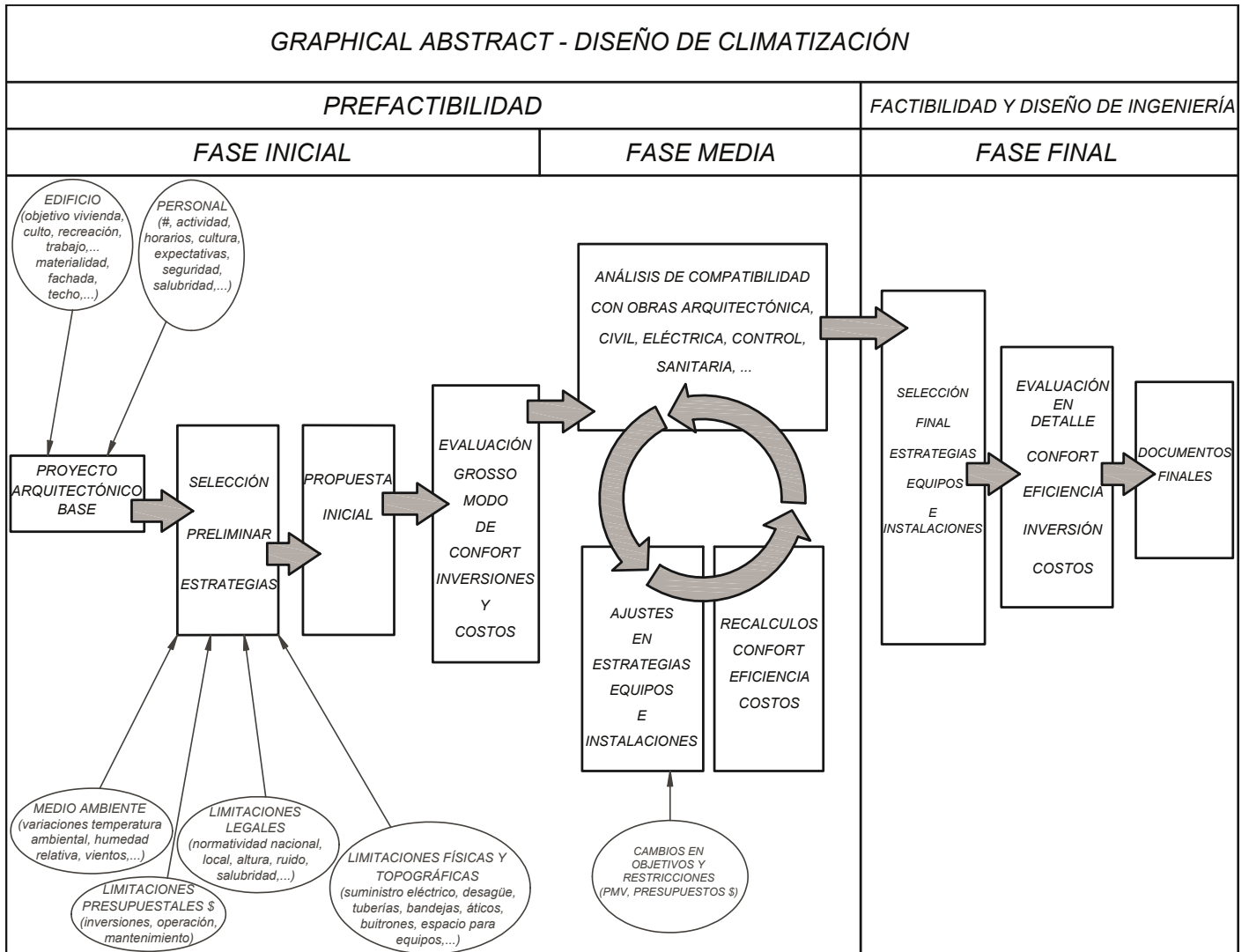


Figura 1.1. GRAPHICAL ABSTRACT - DISEÑO DE CLIMATIZACIÓN

BIBLIOGRAFÍA

- 1 ANSI/ASHRAE American National Standards Institute & American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc, «ANSI/ASHRAE STANDARD 55-2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy» 2013.
- 2 Y. A. Cengel, «Heath Transfer A Practical Approach», NY, (1998).
- 3 J. Hardy, J.D., H. Wolf y H. Goodell , «Pain sensations and Reactions», Baltimore, 1952.
- 4 ASHRAE American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, «ASHRAE Fundamentals» de 2005.
- 5 J. Gamboa , O. Lopez, V. Iglesias, C. Herrera y M. Rosillo, Confort ambiental en vivienda de interés social en Cali, Cali: Universidad del Valle, 2011.
- 6 K. Charles, «Fanger´s thermal comfort and draught models», 2003.
- 7 Carrier, «Manual de AIRE ACONDICIONADO», México, 2009.
- 8 Soler & Palau ficha técnica, «Velocidad del aire», 2017.
- 9 K. Blazejczyk, . Y. Epstein, G. Jendritz, H. Staiger y B. Tinz, «Comparison of UTCI to selected thermal índices», *International Journal of Biometeorology*, vol. 56, nº 3, pp. 515-535, 2012.
- 10 Y. EPSTEIN y D. Moran, «Thermal Comfort and the Heat Stress Indices», *Ind Health*, vol. 44, nº 3, pp. 388-398, 2006.
- 11 F. Houghton FC, y C. Yaglou, «Determining equal comfort lines», *J Am Soc Heat Vent Eng.*, vol. 29, pp. 165-176, 1923.
- 12 C. Yaglou y W. Miller, «Effective temperature with clothing», *Tranm. Amer. Soc. Heat. Vent. Engrs.*, vol. 31, nº 89, 1925.
- 13 H. Alan, «Thermal Comfort», 2010. [En línea]. Available: <http://me.emu.edu.tr/hacisevki/ASHRE%20Thermcomfort.pdf>. [Último acceso: 2017].
- 14 K. Parsons, Human Thermal Environments, Boca Raton FL USA : CRC Press, 2002.

- 15 A. Dufton, «The Measurement of Equivalent Temperature», *J. Hyg (Lond)*, vol. 33, nº 4, pp. 474-475, 1933.
- 16 T. Bedford, *Industr. Hlth. Res. Bd. Report No. 76*, nº 76, 1936.
- 17 F. Chrenko, *Bedford's Basic Principles of Ventilation and Heating*, London.: H.K. Lewis, 1974.
- 18 H. Nilsson, *Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models*, National Institute for Working Life, 2004, p. 37.
- 19 V. Barbosa Felix, D. de Moura, L. Pereira y A. Tribess, «Evaluation of thermal comfort in surgical environments using Fanger's method and equivalent temperatures», *Ambiente Construido*, vol. 10, nº 4, 2010.
- 20 M. FA, «Température effective d'une atmosphere Généralisation température résultante d'un milieu», *In: Encyclopédie Industrielle et Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation. Librairie de l'Enseignement Technique*, Paris, 1933, pp. 131-185.
- 21 . J. Paulo y E. Galvani, «“ÍNDICE DE TEMPERATURA RESULTANTE (TR) NO ZONEAMENTO DO CONFORTO TÉRMICO DO RIO GRANDE DO SUL”, Joao Paulo, 2012,» *Geonorte*, vol. 1, nº 5, 2012.
- 22 H. Vernon y C. Warner, «The influence of the humidity of the air on capacity for work at high temperatures», *J. Hyg*, 1932.
- 23 T. Bedford, «Environmental warmth and its measurement», *Med Res Council Memo 17. HMSO*, , 1946.
- 24 P. Siple y C. Passel, «Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures», *Proc. Amer. Philos. Soc.*, vol. 89, pp. 177-199., 1945.
- 25 R. OSCZEWSKI y M. BLUESTEIN, «THE NEW WIND CHILL EQUIVALENT TEMPERATURE CHART», *AMERICAN METEOROLOGICAL SOCIETY*, pp. 1453-1458, 2005.
- 26 H. Belding HS y T. Hatch, «Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain», *Heat Pip Air Condit*, vol. 27, pp. 129-36, 1955.
- 27 C. YAGLOU y D. MINARD, «Control of heat casualties at military training centers. YAGLOU CP, MINARD D», *AMA Arch Ind Health.*, vol. 16, nº 4, pp. 302-16, Oct 1957.
- 28 R. Kirchner Amor, «Determinación del índice de estrés térmico WBGT durante la celebración del 20º Campeonato Europeo de Atletismo en Barcelona», Universitat de Barcelona, 2010. [En línea]. Available: <http://study-lib.es/doc/6232185/determinaci%C3%B3n-del-%C3%ADndice-de-estr%C3%A9s-t%C3%A9rmico-wbgt>. [Último acceso: 2017].
- 29 O. Fanger, *Thermal Comfort*, Copenhagen: Danish Technical Press, 1970.

- 30 A. Gagge, J. Stolwijk y Y. Nishi, «An Effective Temperature Scale Based on a Simple Model of Human Physiological Regulatory Response», *ASHRAE Transactions*, vol. 77, pp. 247-262., 1971.
- 31 A. Gagge y Y. Nishi, «Physical indices of the thermal environment», *ASHRAE J.*, vol. 18, pp. 47-51, 1976.
- 32 P. Moonen, T. Defraeye, V. Dorer, B. Blocken y J. Carmeliet, «Urban Physics: Effect of the micro-climate on comfort, health and energy demand», *Frontiers of Architectural Research*, vol. 1, nº 3, pp. 197-228, 2012.
- 33 M. Humphreys y J. Nicol, «Understanding the adaptive approach to thermal comfort», *ASHRAE Transactions*, vol. 104, nº 1b, pp. 991-1004, 1998.
- 34 J. Pickup y R. de Dear, An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part I - The Model and its Assumptions. In *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium*. WCASP 50: WMO/TD No.1026. Edited by R.J. de Dear, J.D. Kalma, T.R.Oke and A. Auliciems., Geneva: WMO, 2000, pp. 279-283.
- 35 Pickup y de Dear, «An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part II - Applications», de *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium*. WCASP 50: WMO/TD No.1026., Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium. WCASP 50: WMO/TD No.1026., Chapter: «An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part II - Applications», Publisher: WMO: Geneva, Editors: RJ de Dear, JD Kalma, TR Oke, A Auciliems, pp., 2000, pp. 284-290.
- 36 L. Marques Monteiro y M. Peinado Alucci, «Theoretical issues on outdoor thermal comfort: historical review, state of the art discussion and proposal for model clasification», *Ambiente construido*, vol. 7, nº 3, pp. 43-58, 2007.
- 37 P. McNall, J. Jaax, F. Rohles, R. Nevins y W. Springer, «Thermal comfort (thermally neutral) conditions for three levels of activity, Part I», *ASHRAE Transactions*, vol. 73, nº 2014, pp. 1.3.1.-I.3.14, 1967.
- 38 R. Nevins, F. H. Rohles, W. Springer y A. Feyerherm, «Temperature-humidity chart for thermal comfort of seated persons», *ASHRAE Transactions Part 1*, vol. 72, pp. 283-291., 1966.
- 39 T. Doherty y E. Arens, «Evaluation of the physiological bases of thermal comfort models», *ASHRAE Transactions*, vol. 94, nº 1, p. 15, 1988.
- 40 M. Humphreys, «Field studies and climate chamber experiments in thermal comfort research», de *Thermal Comfort : Past Present and Future*, Garston, UK: Building Research Establishment, 1994, pp. 52-72.
- 41 W. Howell y P. Kennedy, «Field validation of the Fanger thermal comfort model», *Human Factors*, vol. 21, nº 2, pp. 229-239, 1979.
- 42 J. Nichol y M. Humphreys, «Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings», *Energy and Buildings*, vol. 34, pp. 563-572, 2002.

- 43 R. de Dear, G. Brager y D. Cooper, «Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. FINAL REPORT ASHRAE RP- 884», 1997.
- 44 D. AULICIEMS y J. D. KALMA, «Human thermal climates of Australia», *Geographical Research*, vol. 19, nº 1, pp. 3-24, 1981.
- 45 K. McCartney y J. Nicol, «Developing an adaptive control algorithm for Europe», *Energy and Buildings*, vol. 34, nº 6, pp. 623-635, 2002.
- 46 R. de Dear, T. Akimoto, E. Arens, G. Brager y C. Candido, «Progress in thermal comfort research over the last twenty years», *Indoor Air*, vol. 23, nº 6, pp. 442-461, 2013.
- 47 T. Hoyt, S. Schiavon , A. Piccioli , D. Moon y K. Steinfeld , «CBE Thermal Comfort Tool», Center for the Built Environment, University of California Berkeley, 2013. [En línea]. Available: <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>. [Último acceso: 10 2017].
- 48 A. Marsh, «psychrometric cart Human Comfort», Square One Research PTY LTD, 1999. [En línea]. Available: <https://psychotool.informer.com/>.
- 49 M. Santamouris, *Energy and Climate in the Urban Built Environment*, Routledge, 2013.
- 50 S. e. a. “. C. 2. t. P. S. B. -. C. o. W. G. I. t. t. F. A. R. o. t. I. P. o. C. C. Solomon y N. U. 9. Cambridge University Press, Solomon, S., *et al.* “Climate Change 2007 the Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change”, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
- 51 Wikipedia, «<https://es.wikipedia.org/wiki/Meteorolog%C3%ADa>», [En línea].
- 52 «Nimbus weather servicess», 2001. [En línea]. Available: <http://nimbus.com.uy/weather/pdf/cap2.pdf>.
- 53 E. Castro Fonseca, «Manual de Procedimientos para las Estaciones Meteorológicas», Organización para estudios Tropicales, 2008. [En línea]. Available: <http://www.ots.ac.cr/meteoro/files/manual.pdf?pestacion=1>.
- 54 SAGARPA Mexico, «Colegio Posgraduados - estación meteorológica», [En línea]. Available: <http://www.cm.colpos.mx/meteoro/>. [Último acceso: 2017].
- 55 B. Blocken y J. Persoon, «Pedestrian wind comfort around a large football stadium in an urban environment: CFD simulation, validation and application of the new Dutch wind nuisance standard», *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 97, nº 5-6, pp. 255-270, 2009.
- 56 IDEAM, «Rosa de los vientos Bucaramanga,» Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, MinAmbiente, Colombia, 10 1999. [En línea]. Available: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.htm>.

- 57 R. Kumar, B. Ramaswamy y A. Kumar, «Air Pollution Instrumentation (A Review of Web Sites on Air Pollution Instrumentation)», Global Education and Consulting Services, Mississauga, Ontario, Canada; Department of Civil Engineering, University of Toledo, OH», [En línea]. Available: www.eng.utoledo.edu/~akumar/IAP1/instrumentation.htm.
- 58 IDEAM, «Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2007-2010», 2012. [En línea]. Available: http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023637/Informe_del_Estado_de_la_Calidad_del_Aire_en_Colombia_2011-2015_vfinal.pdf.
- 59 T. Piqué Ardanuy, «Concentración inmediatamente peligrosa para la vida o la salud. Nota técnica de prevención NTP 292», Madrid.
- 60 W. Strauss y S. Mainwaring, «W. Strauss, S. J. Mainwaring», de *Contaminación del aire: causas, efectos y soluciones*, Trillas, 1995, p. 177.
- 61 ASHRAE, ANSI/ASHRAE STANDAR 62.1- 2016. Ventilation for acceptable indoor air quality, Atlanta: ASHRAE, 2016.
- 62 SMACNA, iNDOOR AIR QUALITY, 1998.
- 63 OSHA, «OSHA Labor Department USA», [En línea]. Available: <https://www.osha.gov/Publications/3214-10N-05-spanish-07-05-2007.html>. [Último acceso: 11 2017].
- 64 AENOR, «Norma UNE 171330: Calidad ambiental en interiores», Madrid, 2008.
- 65 AENOR, «UNE 100012, 'Higiene en la red de conductos'», 2005.
- 66 AENOR, «UNE 171330, 'Calidad ambiental en interiores'», Madrid.
- 67 AENOR, «UNE 171340:2012: Validacion y cualificación de salas de ambiente controlado en hospitales», Madrid, 2012.
- 68 MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, «REGLAMENTO DE INSTALACIONES TERMICAS EN LOS EDIFICIOS», 2013.
- 69 EPA, «Reviewing National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)», Washington, 1997.
- 70 Chemical Abstracts Service, «CAS», [En línea]. Available: <https://www.cas.org/>. [Último acceso: 2017].
- 71 Matheson Gas Products, Matheson Gas Data Book. Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors (LEL/UEL), p. 443.
- 72 D. T. Teitelbaum, «Capítulo 56: Introducción a la toxicología ocupacional y ambiental», de *Farmacología básica y clínica.*, L. m. b. (. e. edición), Ed. Mexico, McGraw-Hill-Lange, 2009.
- 73 Sistemas Químicos, Sistemas Químicos. Chemical Bond Approach Project, Barcelona: Editorial Reverté, 1966.

- 74 B. Pope, Dirección, *Cosmos: Una odisea en el espacio-tiempo. Capítulo el mundo liberado*. [Película]. USA: Cosmos Studios, 1980.
- 75 The Engineering toolbox, «Gases - Explosive and Flammability Concentration Limits», The Engineering toolbox, [En línea]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/explosive-concentration-limits-d_423.html. [Último acceso: 11 2017].
- 76 Environmental Chemistry, «Environmental, Chemistry & Hazardous Materials News, Careers & Resources», Environmental Chemistry, [En línea]. Available: <http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/H.html>. [Último acceso: 11 2017].
- 77 WHO, «WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide», 2006.
- 78 EPA, «Integrated Review Plan for the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter», Washington, 2008.
- 79 Lenntech, «Efecto del plomo sobre la salud», Lenntecvh, 11 2017. [En línea]. Available: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm#ixzz-4fOAm68CT>.
- 80 R. Nevin, «Understanding international crime trends: The legacy of preschool lead exposure», *Environmental Research*, vol. 104, nº 3, pp. 315-336, 2007.
- 81 F. Burriel Martí, F. Lucena Conde, S. Arribas Jimeno y J. Hernandez Mendez, Química analítica de los cationes: Plomo. Química analítica cualitativa, 18ª ed., Thomson., 2006, pp. pp. 426-435..
- 82 Car and Driver, «Plomo baja su índice atmosférico gracias a la prohibición», *Car and Driver*, 2017.
- 83 J. Lincoln y J. Lincoln Kitman, «The Secret History of Lead By Jamie Lincoln Kitman», *The Nation*, 23 2000.
- 84 L. Liu, B. Urch, R. Poon, M. Szyszkowicz, M. Speck, D. R. Gold, A. J. Wheeler, J. A. Scott, J. R. Brook, P. S. Thorne y F. Silverman, «Ling Liu, *et al.* “Effects of Ambient Coarse, Fine, and Ultrafine Particles and Their Biological Constituents on Systemic Biomarkers: A Controlled Human Exposure Study” Environmental health perspectives june 2015 volume 123 issue 6», *Environ Health Perspect*, vol. 123, 2015.
- 85 NAFA ; National Air Filtration Association, NAFA GUIDE TO AIR FILTRATION, 2º ed., Washington DC, 1996.
- 86 Radon Toxicity: Who is at Risk?, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2000., «ATSDR; Agency for Toxic Substances and Disease Registry», 2000. [En línea]. Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/csem.asp?csem=8&po=7>.

- 87 J. M. Samet, «Indoor radon and lung cancer. Estimating the risks», *Samet, J. M. (1992). «Indoor radon and lung cancer. Estimating the risks». The Western journal of medicine 156 (1): 25-9. PMC 1003141. PMID 1734594*, vol. 156, nº 1, pp. 25–29, 1992.
- 88 IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «INFORME DEL ESTADO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN COLOMBIA 2011–2015», Bogotá, 2015.
- 89 The Gale Group Inc., *Encyclopedia of Public Health*, 2002.
- 90 J. R. Brook, T. F. Dann y R. Burnett, , «The Relationship Among TSP, PM10, PM2.5, and Inorganic Constituents of Atmospheric Particulate Matter at Multiple Canadian Locations», *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 47, nº 1, 2011.
- 91 TSI, *MEASURING TOTAL SUSPENDED PARTICULATES (TSP) WITH AEROSOL PHOTOMETERS*.
- 92 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *RESOLUCIÓN 610 DE 2010 Por la cual se modifica la Resolución 601 del 4 de abril de 2006*”, Bogotá, 2006.
- 93 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *RESOLUCIÓN 601 DE 2006. Por la cual se establece la Norma de Calidad del Aire o Nivel de Inmisión, para todo el territorio nacional en condiciones de referencia*, Bogotá, 2006.
- 94 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *RESOLUCIÓN 909 DE 2008, normas y estándares de emisión admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas*, Bogotá, 2008.
- 95 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *Resolución 1377 de 2015 (por el cual se modifica la Resolución 909 de 2008)*, Bogotá, 2015.
- 96 Presidencia de la República, «RESOLUCIÓN 650 DE 2010. Por la cual se adopta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire»», *Diario Oficial de la Republica de Colombia*, 2010.
- 97 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *RESOLUCIÓN 2153 DE 2010 (Noviembre 2) Por la cual se ajusta el Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas*, Bogotá, 2010.
- 98 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, *RESOLUCIÓN 2154 de 2010. Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones*, Bogotá, 2010.

- 99 ACGIH ; American conference of Governmental Industrial Hygienists, Industrial Ventilation A Manual of Recommended Practice, Cincinnati, Ohio, USA, 1998.
- 100 NIOSH, The National Institute for Occupational Safety and Health, Guidance for Filtration and Air-Cleaning Systems to Protect Building Environments from Airborne Chemical, Biological, or Radiological Attacks, 2003.
- 101 ANSI/ASHRAE, «Std. 52.2-2012: Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size (ANSI Approved)», 2012.
- 102 NAFA; National Air Filtration Association, «NAFA Understanding MERV 2014», 2014. [En línea]. Available: <https://www.nafahq.org/wp-content/uploads/52-2-Brochure-November-2014-BW.pdf>.
- 103 A. M. A. AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, BUILDING OWNERS, SMACNA, US GREEN BUILDING COUNCIL, EPA y ASHRAE, Indoor Air Quality Guide. Best practices for design, construction and commissioning, 2010.
- 104 ANSI/ASHRAE, «Standard 62.2-2016. Ventilation and Acceptable Air Indoor Quality in Residential Buildings», 2016.
- 105 SMACNA; Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association, «HVAC Duct Construction Standards», 2003.
- 106 ISO 14644-1:2015, «Cleanrooms and associated controlled environments -- Part 1: Classification of air cleanliness by particle concentration», de ISO 14644-1, 2015.
- 107 Drexel University, «<http://www.pages.drexel.edu/~jef22/myweb4/hcalc.htm>», [En línea]. Available: <http://www.pages.drexel.edu/~jef22/myweb4/hcalc.htm>. [Último acceso: 4 Enero 2018].
- 108 F. Hutchinson, Design of heating and ventilating systems, N.Y.: The Industrial Press, 1955.
- 109 J. H. Lienhard IV y J. Lienhard V, A Heat Transfer textbook, Cambridge Massachusetts: Phlogiston Press, 2017.
- 110 Y. Cengel y A. Ghajar, Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications, NY: Mc Graw Hill, 2015.
- 111 A. Macías, *Proyecto Mejoramiento Bioclimático Vivienda Urbana*, Cali, 2012.
- 112 M. Santamouris y D. Asimakopoulous, Passive Cooling of Buildings, London, UK: James & James, 2001.
- 113 University of Strathclyde, «<http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>», [En línea]. Available: <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>. [Último acceso: enero 2018].

- 114 University of Strathclyde, «http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm», Enero 2018. [En línea]. Available: http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r_overview.htm.
- 115 Department of Energy, USA, «<http://www.doe2.com/>», Enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.doe2.com/>.
- 116 University of Wisconsin, «<http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>», Enero 2018. [En línea]. Available: <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>.
- 117 T. Esbensen, T.V. y V. Korsgaard, «Dimensioning of the solar heating system in the Zero Energy House in Denmark», *Solar Energy*, vol. 19, pp. 191-200, 1977.
- 118 S. Hernandez Moreno, «Cómo se mide la vida útil de los edificios?», *Revista Ciencia*, vol. 67 , nº 4, 2016.
- 119 Climaexpress, «<https://climaexpress.cl/>», Julio 2017. [En línea]. Available: <https://climaexpress.cl/>.
- 120 J. L. Ramirez Pajuelo, «AA de precision vs AA de confort», *Mundo HVACR*, Enero 2014.
- 121 A. Bejan, G. Tsatsaronis y M. Moran, *Thermal Design & Optimization*, N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- 122 Electric Power Research Institute, *Technical Assessment Guide (TAG-TM)*, Vols. %1 de %23, Rev 6, TER-100281, 1991.
- 123 P. R. Mondelo, E. G. Torada, S. Comas, E. Castejón y B. Esther, *Ergonomía 2 Confort y Estrés Térmico*, 2013.
- 124 F. T. Jose, *La Ciudad y el Medio Natural*, Siglo XXI, 2007.
- 125 R. J. de Dear, T. Akimoto, G. Brager, C. Candido, K. Cheong, N. Nishihara, S. Shekhar, S. Tanabe, J. Toftum, H. Zhang y Y. Zhu, «Progress in thermal confort research over the last twenty years», *Indoor air*, vol. 23, nº 6, pp. 442-61, 2013.
- 126 World Health Organization, «WHO guidelines for indoor air quality. Selected Pollutants», WHO - Regional Office for Europe, 2006. [En línea]. Available: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf.
- 127 IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, «LISTA LABORATORIOS AMBIENTALES ACREDITADOS IDEAM – MATRIZ AIRE», 2016. [En línea]. Available: <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/596001/6.+Listado+completo+laboratorios+Acreditados+a+31+de+marzo+de+2016.pdf/9947cade-e885-490a-9b53-7ff8b8409c4a>.
- 128 M. Lippmann, *Environmental Toxicants*, N.Y.: Wiley, 2009.
- 129 EPA, U.S. Environmental Protection Agency, *Air Quality Criteria for Particulate Matter*, . EPA 600/p.99/002. Washington, DC., 2001.
- 130 EPA, US Environmental Protection Agency, «Residential Air Cleaners: A Summary of Available Information», 2008.

- 131 EPA; US Environmental Protection Agency, «US Environmental Protection Agency», 2017. [En línea]. Available: <http://www.epa.gov>.
- 132 J. Pickup y R. deDear, «An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) – Part 1 -The model and its assumptions, and Part 2- applications», de *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millennium. WCASP 50: WMO/TD No.1026, Chapter: “An Outdoor Thermal Comfort Index (OUT_SET*) - Part I - The Model and its Assumptions*, WMO: Geneva, Editors: RJ de Dear, JD Kalma,, 2000.

LOS AUTORES*

Miguel Enrique Rosillo Peña

Profesor titular de Ingeniería Mecánica en la Universidad del Valle, Colombia. Ingeniero mecánico de la Universidad del Valle y maestro en Ingeniería en Energías Alternativas, de la Universidad de Andalucía, España. Su interés se ha centrado en las áreas de refrigeración y aire acondicionado, eficiencia energética, ventilación y transporte neumático, termodinámica teórica y aplicada, y arquitectura bioclimática.

Fue directivo de la Asociación Colombiana de Ingenieros Electricistas y Mecánicos, ACIEM; ha sido consultor de las principales industrias regionales, y ha realizado numerosos proyectos de ingeniería arquitectónica, climatización y calidad de aire.

Carlos Alberto Herrera Cáceres

Profesor titular de Ingeniería Mecánica y de Arquitectura de la Universidad del Valle, Colombia. Cursó su pregrado en la Universidad del Valle, su Maestría en Termodinámica en la Universidad Nacional Autónoma de México, y su Doctorado en Lehigh University, Pennsylvania. Sus áreas de trabajo son eficiencia y valoración energética, flujo de fluidos, termodinámica, climatización y arquitectura bioclimática.

Miembro de ASHRAE y ACAIRE, consejero del capítulo estudiantil de ASHRAE en la Universidad del Valle, y participante en numerosos proyectos industriales de eficiencia energética y diseño de arquitectura sostenible.

* Los profesores Herrera y Rosillo son coautores de varios libros de investigación en el campo de arquitectura ecológica aplicada (Confort ambiental en vivienda interés social en Cali y Confort ambiental en escuelas públicas de Cali), y han publicado numerosos artículos en revistas reconocidas en el área de ciencias térmicas. La obra *Hundimiento de la Avenida Colombia* les ha merecido compartir honores, siendo reconocidos con el Premio Obras CEMEX Internacional, edición XXIII, 2014, tercer lugar; el Premio Obras CEMEX Colombia, 2014, primer lugar, categoría Infraestructura y Urbanismo, y el Premio CEMEX Colombia, 2014, categoría Premio Especial Sostenible. Y por la obra *Plaza de la Caleñidad* fueron acreedores del Premio CEMEX Colombia, 2015, primer lugar, categoría Infraestructura y Urbanismo.



Programa Editorial
Ciudad Universitaria, Meléndez
Cali, Colombia
Teléfonos: (+572) 321 2227
(+572) 321 2100 ext. 7687
<http://programaeditorial.univalle.edu.co>
programa.editorial@correounivalle.edu.co