

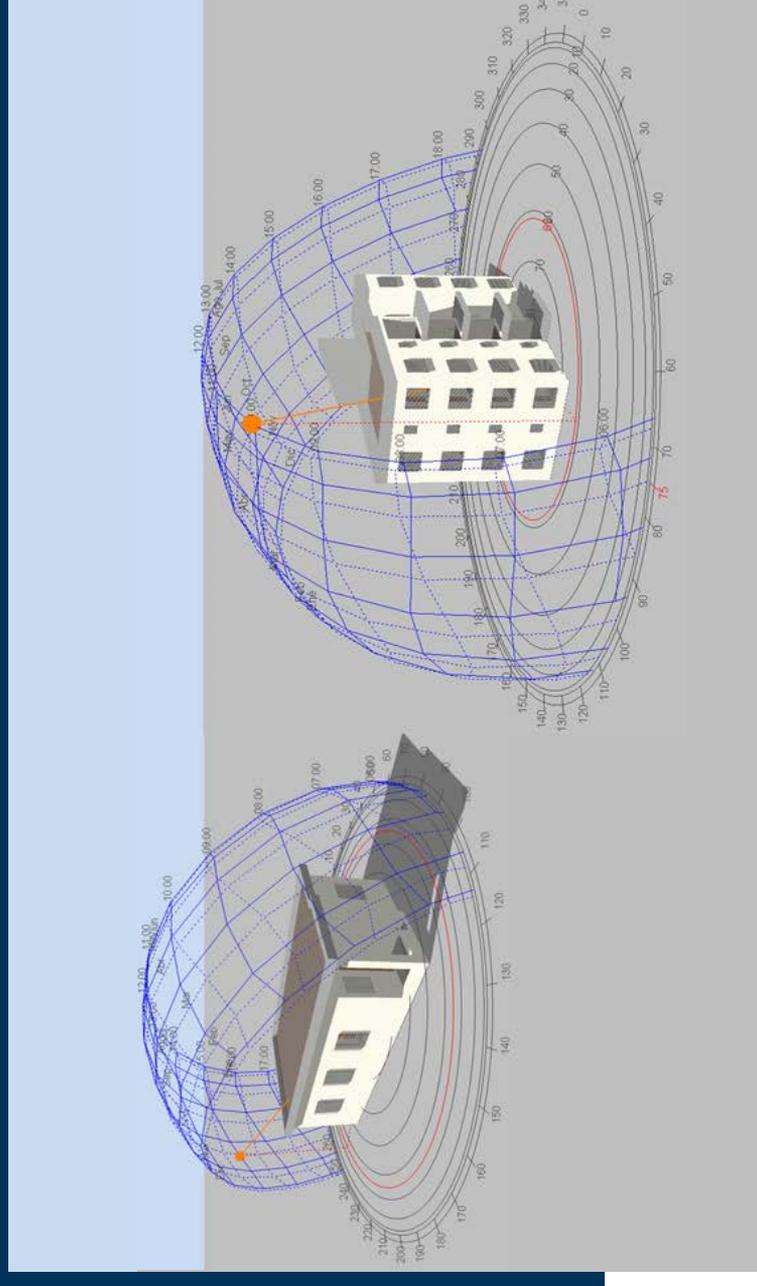
Optimización de la Sostenibilidad Energética en Edificaciones Residenciales: Una aplicación al caso de la República Dominicana

OPTIMIZACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES: UNA APLICACIÓN AL CASO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA

TESIS DOCTORAL

presentada para optar al título de **Doctor Ingeniero Industrial**

Yokasta I. García Frómata



Yokasta I. García Frómata

DIRECTORES

Dr. Jesús Cuadrado/ Dr. Eduardo Rojí

Departamento de Ingeniería Mecánica / Ingeniería Mecánica Salla

Bilbao, Septiembre 2018



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Departamento de Ingeniería
Mecánica / Ingeniería
Mecánica Salla



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

INGENIARITZA
MEKANIKOA
SAILA
DEPARTAMENTO
DE INGENIERIA
MECÁNICA

Abstract

The development of the countries is generating a series of problems worldwide that are causing changes in the climate, which in most cases greatly affect families with fewer resources. Similarly, global overpopulation and the growth of urban environments, has generated the development of cities that have grown both in extension (this for the houses of a plant), and in height (for multi-storey buildings), where in the latter case the primary objective is to make the most of the available space and resources. On the other hand, the world population demands in its measure minimum levels of comfort in buildings. This is increasing global energy consumption and in turn producing adverse phenomena associated with climate change.

In countries with a hot and humid climate, as is the case of the Dominican Republic, where the effects of internal overheating and overhumidification directly affect the comfort of homes, as well as being located in highly seismic areas, and with a permanent incidence of hurricanes, tropical storms, characterized by strong winds and torrential rains, it is required that the buildings have constructive structures resistant to these atmospheric phenomena.

Achieving that these buildings also comply with the internal comfort standards established by international regulations, without the exclusive use of mechanical air conditioning systems, is one of the main purposes to be reached in the development of this research, since the majority of the population of this country, does not have the economic resources to be able to use said air conditioning systems.

The final objective of this research focuses on the analysis of comfort conditions in Dominican homes. More specifically, the residential

buildings of the two predominant groups of the real estate park in the country have been analyzed, which are currently in continuous growth (Case 1: single-family housing of a plant and Case 2: Multi-plant construction of 4 levels).

The methodology followed has analyzed two buildings of reference, with its traditional construction system, seeking the best orientation of the building, the use of different shading elements, and the improvement of the building envelope, through the use of non-traditional materials in the building, the construction of the country, in the search of the techniques that improve the interior comfort with almost no energy consumption.

To analyze the different alternatives proposed, the thermal comfort inside the building has been measured, according to the ASHRAE 55. A set of 57 different configurations has been proposed, which have been analyzed with the Energy Building simulation software DesignBuilder, contemplated only passive measures (that is, they do not consume energy), in order to favor its application even in families with low economic resources. The work shows the alternatives analyzed, the results obtained in the simulations carried out, with significant improvements in comfort and an analysis of the economic impact of the changes made in the final price of the home.

Agradecimientos

A **Dios**, por su infinito amor y su protección para conmigo, por ayudarme todos los días y en todas las circunstancias.

A mami, **María I. Frómeta Martínez**, por ser mi aliada y mi ejemplo, por apoyarme y motivarme a salir adelante, por cuidar de mi amado hijo, Diego Ignacio, y así yo poder estudiar.

A mis directores de Tesis, **Dr. Jesús Cuadrado y Dr. Eduardo Rojí**, por su apoyo y entusiasmo para este proyecto. En especial a **Jesús Cuadrado**, por su infinita paciencia y su inagotable ayuda.

Al grupo de investigación IT781-13: Sostenibilidad integral en sistemas de edificación y sus materiales, por su colaboración en este proyecto.

A mi hermana y amigas, **Julissa García, Maggi Madrid, Esmerarda Montero y Ornella Bruno**, por su inmenso amor, apoyo y ayuda (Las tres A).

A todos **mis amigos, compañeros y maestros de la UPV/EHU**, formaron parte de esta aventura y siempre se quedaron en mis recuerdos.

Al **Ministerio de Educación Superior, Ciencia y Tecnología**, por permitir tan importante desarrollo para mi carrera, con la beca recibida.

A la **Pontificia Universidad Católica, Madre y Maestra, PUCMM**, por el apoyo brindado en la estancia pre-doctoral. En especial a la **Dra. Letzai Ruiz**, profesora, compañera y amiga.

Con todo cariño,

Yokasta García Frómeta.-

Índice general

Índice de figuras	xiii
Índice de cuadros	xix
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Objetivos	9
1.3 Estructura del Documento	11
1.4 Relevancia y Utilidad de la Tesis	12
2 Estado del Arte	13
2.1 Introducción	15
2.1.1 ¿Que es la Sostenibilidad?	15
2.2 Construcción Sostenible	18
2.2.1 Certificaciones de Sostenibilidad	19
2.3 República Dominicana	30
2.3.1 Ubicación y Geografía	30
2.3.2 División Político-Administrativa	32
2.3.3 Radiación Solar	33
2.3.4 Condiciones Climáticas	35
2.3.4.1 Temperaturas	35
2.3.4.2 Precipitaciones	36
2.3.4.3 Microclimas	37
2.3.5 Historia y Antecedentes de la Construcción	42

ÍNDICE GENERAL

2.3.5.1	Antes de 1492	42
2.3.5.2	Tiempos Coloniales	44
2.3.5.2.1	Primeras Ciudades Españolas	47
2.3.5.3	Nueva Identidad	49
2.3.5.4	La Era de Trujillo	51
2.3.5.5	La Política de “Varilla y Cemento”	53
2.3.5.6	Construcción Contemporánea	55
2.3.6	Población y Vivienda	58
2.3.6.1	Volumen Poblacional	58
2.3.6.1.1	Estructura de la población: Por Sexo y Edad	60
2.3.6.2	Tipología Edificatoria	61
2.3.6.2.1	Viviendas Rurales	63
2.3.6.2.2	Viviendas Urbanas	65
2.3.6.2.3	Evolución de los Materiales de Construcción	68
2.3.6.2.4	Análisis Energético de las Viviendas	72
2.3.7	Normativa presente en la Construcción	77
2.3.7.1	Reglamento General de Edificaciones	77
2.3.7.2	Sistema de Elaboración de Reglamentos	79
2.3.7.3	Licencia de Construcción	79
2.3.7.3.1	Documentos requeridos	80
2.3.7.4	Listado de Boletines y Reglamentos	82
2.4	Construcción Sostenible en la Rep. Dominicana	87
2.4.1	Edificios Verdes	87
2.4.1.1	Centro Comercial Ágora	89
2.4.1.2	Torre Anacaona 27	90
2.4.1.3	Oficinas Grupo Banas	92
2.4.2	Energías Renovables	93
2.4.2.1	Energía Eólica	93
2.4.2.2	Energía Solar	97
2.4.2.3	Biomasa	100
2.4.2.4	Plantas Hidroeléctricas Pequeñas	101

2.5	Conclusiones	104
3	Metodología de Actuación	107
3.1	Introducción	109
3.2	Casos de Estudio	111
3.2.0.1	Características constructivas	112
3.2.1	Unifamiliar de 1 nivel	113
3.2.2	Multifamiliar de 4 niveles	114
3.3	Metodología: Análisis y Estudios	115
3.3.1	Orientación de la Edificación	116
3.3.2	Modificación de la Envolvente	117
3.3.3	Elementos de Sombreamiento	119
3.4	Herramientas informáticas utilizadas en el desarrollo de la metodología	120
3.4.1	EnergyPlus® Simulation Software	120
3.4.2	Autodesk® Ecotect Analysis 2011	121
3.4.3	DesignBuilder® v4.2.0.057	123
3.5	Conclusiones	125
4	Aplicación de la Metodología	127
4.1	Introducción	129
4.2	Análisis del edificio Unifamiliar de un nivel	135
4.2.1	Estudio de la orientación más favorable	136
4.2.2	Análisis de los elementos de sombreamiento	141
4.2.2.1	Aleros	142
4.2.3	Estudio de la envolvente	144
4.2.3.1	Cubierta para la vivienda unifamiliar	145
4.2.3.2	Fachada para la vivienda unifamiliar	153
4.2.3.3	Combinada Cubierta + Fachada para la vivienda unifamiliar	161
4.3	Análisis del edificio Multiplanta de 4 niveles	164
4.3.1	Estudio de la orientación más favorable	165
4.3.2	Análisis de los elementos de sombreamiento	172
4.3.2.1	Aleros	173

ÍNDICE GENERAL

4.3.2.2	Parasoles	176
4.3.3	Estudio de la envolvente	185
4.3.3.1	Cubierta para el edificio multiplanta	187
4.3.3.2	Fachada para el edificio multiplanta	194
4.3.3.3	Solución constructiva combinada Cubierta + Fachada para el edificio multiplanta	201
4.4	Conclusiones	207
5	Conclusiones y líneas de investigación futuras	213
5.1	Conclusiones	215
5.1.1	Conclusiones referidas al problema	215
5.1.2	Conclusiones referidas a la metodología	216
5.1.3	Conclusiones por caso de estudio	217
5.1.3.1	Caso 1: Edificio Unifamiliar de un nivel	217
5.1.3.2	Caso 2: Edificio Multiplanta de 4 niveles	219
5.2	Líneas de Investigación Futuras	221
6	Anexos	223
6.1	Anexo A: Tablas y gráficos del Modelo de Referencia para las diferentes orientaciones (Caso 1)	225
6.2	Anexo B: Tablas de temperaturas operativas horarias para las diferentes orientaciones (Caso 1)	231
6.3	Anexo C: Tablas de perdidas y ganancias (en kW) para las diferentes orientaciones (Caso 2)	237
6.4	Anexo D: Tablas de temperaturas operativas horarias para las diferentes orientaciones (Caso 2)	239
	Bibliografía	245

El comienzo es la parte más importante de la obra.

Platón

CAPÍTULO

1

Introducción

RESUMEN

En este primer capítulo muestran los diversos cambios que están afectando al mundo, asociados al cambio climático y sus efectos. Dentro de las consecuencias que provoca este fenómeno están: las olas de calor intenso, las inundaciones, los vientos huracanados, entre otros tipo de inclemencias en el clima. El ser humano dispone de los edificios para refugiarse de estos fenómenos; y en este sentido esta tesis se centra en proporcionar a las viviendas en República Dominicana, de mejoras en el confort interior para sus habitantes, con el mínimo consumo energético.

Por otro lado, se presentan los objetivos tanto generales como específicos, los cuales pretenden ser alcanzados en esta tesis doctoral. A su vez, se explica la estructura establecida para la misma, identificando cada uno de sus capítulos, acompañado de su resumen, concluyendo, con la relevancia y utilidad de la investigación realizada.

Ser sustentable no es sólo lavar las culpas ni sólo cuidar el medio ambiente, sino ser socialmente justo, responsable con el ambiente y, por lo tanto, también económicamente viable.

Cecilia Goya de Riviello

CAPÍTULO

2

Estado del Arte

RESUMEN

Este capítulo reseña como el concepto de sostenibilidad ha ido calando en la cotidianidad del acontecer, y a su vez, su incorporación a la construcción tradicional, ha generado la conocida comúnmente como construcción sostenible o bioconstrucción, la cual trata de evitar la generación de impactos en los nuevos edificios, como los que se han ido produciendo y producen hasta nuestros días. De su mano, también se presentan detalladamente las herramientas o sistemas creados por instituciones independientes, las cuales quieren medir y clasificar el nivel sostenible alcanzado en las edificaciones construidas.

También, de una forma resumida, de desglosa todo lo concerniente a este ambiente de estudio en la República Dominicana. Con el propósito de conocer a fondo su ubicación, su clima y todo el conjunto de su condiciones y características, que permitan estudiar con plenitud las actuales técnicas constructivas que poseen e implementan en sus viviendas.

El desafío urgente de proteger nuestra casa común incluye la preocupación de unir a toda la familia humana en la búsqueda de un desarrollo sostenible e integral.

Papa Francisco

CAPÍTULO

3

Metodología de Actuación

RESUMEN

En este capítulo se describen los casos a ser estudiados, como representación de las viviendas tradicionales (unifamiliares y multifamiliares) dentro del mapa edificatorio Dominicano, seleccionados mediante los datos presentados por la Oficina Nacional de Estadística del país, donde desglosa los materiales más utilizados en la construcción, lo que nos define las características constructivas y los materiales de los modelos estudiados.

También, se detallan, los distintos análisis a los que se sometieron los casos de estudio, agrupados en tres puntos de interés, como son: la orientación más favorable y adecuada para los edificios; la propuesta de alternativas de mejora para los sistemas constructivos de cubierta y de fachadas; y la inclusión de elementos de sombreado, como lo son los aleros y los parasoles. Análisis realizados con herramientas informáticas de última generación en el diseño y construcción sostenible, como son el Ecotect® Analysis y el DesignBuilder®.

La innovación requerida para crear el futuro no vendrá de una sola fuente. No de la ciencia, no de la tecnología, no de los gobiernos, no de los negocios, sino de todos nosotros.

Hannah Jones

CAPÍTULO

4

Aplicación de la Metodología

RESUMEN

Este capítulo desarrolla los métodos y análisis planteados, y brinda los resultados obtenidos de dichos procedimientos. Al analizar las viviendas tradicionales de la República Dominicana (unifamiliares y multiplantas) desde el punto de vista de la orientación más favorable y adecuada para los edificios; la propuesta de alternativas de mejora para los sistemas constructivos de cubierta y de fachadas; y la inclusión de elementos de sombreado, como lo son los aleros y los parasoles, se pretende obtener resultados que optimicen dichas viviendas, con la ayuda de herramientas informáticas, como lo es el DesignBuilder®.

Cuando las generaciones futuras juzguen a las que vinieron antes respecto a temas ambientales, tal vez lleguen a la conclusión de que no sabían: evitemos pasar a la historia como las generaciones que sí sabían, pero no les importó.

Mikhail Gorbachev

CAPÍTULO

5

Conclusiones y líneas de investigación futuras

RESUMEN

En este capítulo se sintetizan las principales conclusiones obtenidas de la investigación presentada para esta tesis doctoral, tanto en la metodología de actuación planteada, así como en las simulaciones y análisis de los dos casos de estudio de las edificaciones residenciales más predominantes en la República Dominicana. Por otro lado, también se plantean nuevas líneas de investigación, las cuales, ayuden a completar el conocimiento generado por los resultados y conclusiones obtenidos, así como la puesta en práctica de las mismas.

Hoy más que nunca, la vida debe caracterizarse por un sentido de responsabilidad universal, no solo entre naciones y entre humanos, sino entre humanos y cualquier otra forma de vida.

Dalai Lama

CAPÍTULO

6

Anexos

6.1 Anexo A: Tablas y gráficos del Modelo de Referencia para las diferentes orientaciones (Caso 1)

El siguiente anexo contiene las tablas que describen las ganancias y pérdidas de calor (en kW), de los principales cerramientos de la vivienda, de cada una de las orientaciones planteadas. Así como también, las gráficas correspondientes a los valores energéticos de la vivienda. En la tabla final, se desglosan los valores de las diferentes temperaturas, tanto internas como externas, en valores medios, máximos y mínimos.

6.4 Anexo D: Tablas de temperaturas operativas horarias para las diferentes orientaciones (Caso 2)

En la siguiente tabla, están contenidas las temperaturas operativas de la edificación residencial multiplanta analizada, en función de las horas que componen el día, en las diferentes orientaciones en que se realizó la simulación.

Bibliografía

- [1] Ghulam Akhmat, Khalid Zaman, Tan Shukui, and Faiza Sajjad. Does energy consumption contribute to climate change? evidence from major regions of the world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36:123 – 134, 2014. 3
- [2] Jukka Heinonen and Seppo Junnila. Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in finland. *Energy and Buildings*, 76(0):295 – 303, 2014. 3
- [3] Panagiotis Chastas, Theodoros Theodosiou, and Dimitrios Bikas. Embodied energy in residential buildings-towards the nearly zero energy building: A literature review. *Building and Environment*, pages–, 2016. 3
- [4] A. Allouhi, Y. El Fouih, T. Kousksou, A. Jamil, Y. Zeraouli, and Y. Mourad. Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109:118 – 130, 2015. 3, 4
- [5] Amine Allouhi, Tarik Kousksou, Abdelmajid Jamil, Tarik El Rhafiki, Youssef Mourad, and Youssef Zeraouli. Economic and environmental assessment of solar air-conditioning systems in morocco. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50:770 – 781, 2015. 4
- [6] DP van Vuuren, N Nakicenovic, K Riahi, A Brew-Hammond, D Kammen, V Modi, M Nilsson, and KR Smith. An energy vision: the transformation towards sustainability interconnected challenges and solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(1):18 – 34, 2012. Open issue. 4

