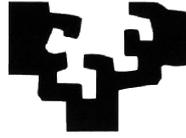


eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco
Euskal Herriko Unibertsitatea
The University of the Basque Country

Metodología para la implementación de estrategias de eficiencia energética en edificios situados en zonas climáticas tropicales. Caso de estudio: edificios del sector terciario de la República Dominicana

Joan Manuel Felix Benitez

Tesis Doctoral

Programa de Doctorado en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en
Ingeniería y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Energética

Directores:

Dr. Luis Alfonso del Portillo Valdés

Dr. Víctor José del Campo Díaz

Bilbao, mayo. 2023

Resumen

Uno de los ejes sobre el que gira el desarrollo sostenible es la Eficiencia Energética (EE) y teniendo en cuenta que el 27% [1] del consumo primario de energía se concentra en el sector de la edificación, la mejora de la eficiencia energética de los edificios se convierte en un elemento de mejora esencial para conseguir el reto de un desarrollo sostenible de acuerdo con los estándares marcados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) [2]. Los países situados en zonas tropicales no deben ser ajenos a este reto, pero las estrategias para la mejora de la eficiencia energética en edificios aplicables en países de otras latitudes son, evidentemente, inadecuadas para la zona tropical, por lo que se requieren metodologías adecuadas a dicha zona climática. En muchos países no tropicales existe legislación, con mayor o menor grado de cumplimiento, sobre la eficiencia energética en edificios, pero en la mayoría de los países ubicados en la zona tropical no existe legislación alguna y, como ya se ha mencionado, no es fácil su transposición por cuestiones climáticas evidentes.

Esta tesis presenta una metodología para la implementación de estrategias de eficiencia energética en edificios situados en zonas climáticas tropicales y para validar la metodología propuesta se ha analizado el caso de estudio de los edificios del sector terciario en la República Dominicana.

En el primer capítulo se contextualiza la problemática de la eficiencia energética en la edificación y se fijan las hipótesis y objetivos de esta tesis. En el segundo capítulo se hace una exhaustiva recopilación del estado del arte en la investigación sobre la eficiencia energética en los edificios y especialmente en la modelización y monitorización de los mismos, ya que son la base la parte experimental de esta tesis.

La metodología propuesta representa en el tercer capítulo. Esta metodología consta de tres bloques principales, el primero consiste en la caracterización del objeto de estudio, incluyendo la clasificación climática del país o región objeto de estudio, la identificación de la tipología edificada y un análisis de las costumbres de uso de los edificios y de sus instalaciones. El segundo bloque lo constituye la selección, caracterización de los edificios representativos, que concluye con validación de los modelos térmicos de los edificios tipo. Finalmente, el tercer bloque consiste en el análisis y evaluación de las estrategias de eficiencia energética y concluye con la implementación y validación de las mismas en los edificios tipo.

Con el fin de validar la metodología propuesta se ha analizado el caso de estudio de los edificios del sector terciario en la República Dominicana y en el capítulo cuarto se presenta la aplicación de esta metodología al caso de estudio.

En el capítulo quinto se presentan los principales resultados obtenidos de la aplicación de la metodología al caso de estudio y, de alguna forma, se valida la metodología propuesta con avances significativos en la mejora del consumo energético.

Finalmente, en capítulo sexto se analizan las conclusiones, cumplimiento de objetivos y verificación de las hipótesis de esta tesis y se concluye con la propuesta de futuras líneas de investigación.

Abstract

One of the axes on which sustainable development revolves is Energy Efficiency (EE) and taking into account that the 27% [1] of primary energy consumption is concentrated in the building sector, improving efficiency energy of buildings becomes an element of essential improvement to meet the challenge of sustainable development in accordance with the standards set by United Nations (ONU) [2]. Countries located in tropical zones should not be oblivious to this challenge, but the strategies for improving energy efficiency in buildings applicable in countries located at other latitudes are, evidently, inadequate for the tropical zone, hence appropriate methodologies are required for that climatic zone. In many non-tropical countries there is legislation, with a greater or lesser degree of compliance, on energy efficiency in buildings, but in most of the countries located in the tropical zone there is no legislation and, as it has been already mentioned, it is not easy its transposition due to obvious climatic reasons.

This thesis presents a methodology for the implementation of energy efficiency strategies in buildings located in tropical climatic zones and to validate the proposed methodology, the case study of tertiary sector buildings in the Dominican Republic has been analyzed.

In the first chapter, the problem of energy efficiency in buildings is contextualized and the hypotheses and objectives of this thesis are established. In the second chapter there is an exhaustive compilation of the state of the art in research on energy efficiency in buildings and especially in buildings modeling and monitoring, since they are the basis of the experimental part of this thesis.

The proposed methodology is represented in the third chapter. This methodology consists of three main blocks, the first consists of the characterization of the object of study, including the climatic classification of the country or region under study, the identification of the built typology and an analysis of the habits of use of buildings and its installations. The second block is made up of the selection and characterization of the representative buildings, which concludes with the validation of the thermal models of the standard buildings. Finally, the third block consists of the analysis and evaluation of the energy efficiency strategies and concludes with their implementation and validation in the standard buildings.

In order to validate the proposed methodology, the case study of tertiary sector buildings in the Dominican Republic has been analyzed and the fourth chapter presents the application of this methodology to the case study.

In the fifth chapter, the main results obtained from the application of the methodology to the case study are presented and, in some way, the proposed methodology is validated with significant advances in the improvement of energy consumption.

Finally, in the sixth chapter the conclusions, fulfillment of objectives and verification of the hypotheses of this thesis are analyzed and it concludes with the proposal of future research lines.

Agradecimientos

Y todo lo que hagan, de palabra o de obra, háganlo en el nombre del Señor Jesús, dando gracias a Dios el Padre por medio de Él. (Colosenses 3:17). Gracias Dios porque el camino ha sido largo y lleno de obstáculos, las montañas han sido altas y con bajadas difíciles, pero con tu protección, me has dado fuerzas y me has provisto de la valentía y el deseo de continuar cada día.

Mis padres, Paula Benitez, Jesús Felix, y tutoras Mamá Fredy y Maria Benitez, quienes siempre fueron un pilar en este trayecto, desde inicios, son cómplices de mis decisiones, de mis objetivos y propósitos, les agradezco por la sabiduría y la oportunidad de entregarse para que siempre obtuviera una buena educación, valores y principios.

A mi director Luis del Portillo, quien se ha dedicado en este proyecto profesional y de vida, con su vocación de enseñar, corregir y calificar, aspectos que me han llevado a alcanzar un nivel profesional, dándome la oportunidad de escalar un escalón más para servir a los demás. Además del agradecimiento profesional, un gran agradecimiento paternal. De igual forma agradezco a Victor del Campo, quien me mostro herramientas para el desarrollo de este proyecto.

Mi hermana Rossy Felix, quien, con su guía, sus inicios, me mostró que es un buen camino el poder arriesgarnos en busca de horizontes y conocimientos. Hoy en día no me arrepiento. También te agradezco por mis sobrinos (Camila y Sebastian), quienes lograban sacar una sonrisa siempre, con su inocencia y las ganas de jugar, me daban impulsos, aun en aquellos momentos en que creía que no podía más.

Mi abuela Mama Freddy, quien con sus ganas de verme graduado y al decirme que ella seria parte de ello, consigue de mí siempre, ese compromiso firme y las ganas de continuar día a día, gracias por ser mi alegría al verte reír, agregando y no dejando en el olvido a mi abuela mami mimina por todo su carisma y su orgullo hacia mí. ¡Todo mi amor para ustedes!

Un gran agradecimiento a un segundo padre, Jorge Acevedo, quien además de lo profesional, su amistad, sus consejos y sus conocimientos fueron siembra para los frutos de esta cosecha. Siempre apostaste, y mi deber como buen hijo, es pagar por ello. “Cuando la gratitud es tan absoluta las palabras sobran”. -Álvaro Mutis-

Mi tía Maria Benitez quien siempre me daba esas llamadas de aliento y mensajes de paz, creyendo siempre en mi y en mis decisiones.

Jake, Luppy, llegaron a mi vida para no dejarme ni un instante solo, incluso aquellas noches largas, fines de semanas, siempre estuvieron en mis pies, dándome el calor y la sensación de que ¡no solo era yo! Gracias.

Un gran agradecimiento a mis compañeros del master en España, Beatriz, Alex, Julen, Aritz, David, quienes me dieron fuerzas en cada viaje, separando parte de su espacio durante todo este trayecto para mostrarme una sonrisa y haciéndome sentir como en casa, ¡gracias, amigos!

El esfuerzo de otros, lo valoro, lo respeto y, sobre todo, les agradezco. “La gratitud da sentido a nuestro pasado, trae la paz en el día de hoy y crea una visión hacia el mañana”. –MB.

Índice General

RESUMEN	I
ABSTRACT	3
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE GENERAL	7
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE GRÁFICAS	12
ÍNDICE DE FIGURAS	15
ACRÓNIMOS	18
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	20
1.1. INTRODUCCIÓN	21
1.2. HIPÓTESIS	25
1.3. MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS	25
1.4. ESTRUCTURA DE LA TESIS	26
CAPÍTULO 2 ESTADO DEL ARTE	29
2.1. INTRODUCCIÓN AL ESTADO DEL ARTE	30
2.1.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN	32
2.1.1.2. NORMATIVAS ASOCIADAS A EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN	34
2.1.2. MODELIZACIÓN DE EDIFICIOS	35
2.1.3. MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS	38
CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA	41
3.1. INTRODUCCIÓN AL CAPÍTULO 3	42
3.2. METODOLOGÍA	44
3.3. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE EDIFICATORIO	45
3.4. ELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE EDIFICIOS	46
3.5. ANÁLISIS DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y SU IMPLEMENTACIÓN EN LOS MODELOS (C)	47
3.6. ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS MEDIDAS A NIVEL DE REGIÓN O PAÍS	48
CAPÍTULO 4 CASO DE ESTUDIO	49
4.1. INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 4	50
4.2. LA REPÚBLICA DOMINICANA	51
4.3. CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE EDIFICATORIO PARA EL CASO DE ESTUDIO	53
4.3.1. ZONIFICACIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS DE LA REPÚBLICA DOMINICANA	53

4.3.1.1.	BREVE DESCRIPCIÓN DE LA CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA EN LA REPÚBLICA DOMINICANA SEGÚN KÖPPEN-GEIGER	56
4.3.1.2.	TEMPERATURA BASE	57
4.3.1.3.	METODOLOGÍA UTILIZADA PARA DETERMINAR TIPOS DE ZONAS CLIMÁTICAS EN REPÚBLICA DOMINICANA	58
4.3.1.3.1.	RESULTADOS DE ZONAS CLIMÁTICAS IDENTIFICADAS	60
4.3.1.4.	CONCLUSIONES SOBRE LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA PARA LA RD	64
4.3.1.5.	UNIFICACIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS PARA EL CASO DE ESTUDIO	65
4.3.2.	IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS TIPO DE LA RD.	67
4.3.2.1.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN LA RD.	68
4.3.2.2.	REPLANTEO DE FACHADAS EN EDIFICIOS TERCARIOS DE LA RD	69
4.3.2.3.	COMPOSICIÓN DE CUBIERTAS DE EDIFICIOS TERCARIOS DE LA RD.	70
4.3.3.	ENCUESTA DE EFICIENCIAS DE AIRE ACONDICIONADO (AA) EN LA R.D.	70
4.3.3.1.	DATOS DEL LOTE PARA LA ENCUESTA A NIVEL NACIONAL EN LA RD	72
4.3.3.2.	MÉTODO DE MUESTREO	73
4.3.3.3.	MEDIO UTILIZADO Y APLICADO EN LA ENCUESTA REALIZADA	75
4.3.3.4.	PROCESO DE LA ENCUESTA	75
4.3.3.5.	RESULTADOS DE LA ENCUESTA	76
4.3.3.5.1.	PROVINCIA SAN JUAN DE LA MAGUANA	76
4.3.3.5.2.	PROVINCIA MONSEÑOR NOUEL (BONAO)	78
4.3.3.5.3.	PROVINCIA SAN JOSÉ DE OCOA	79
4.3.3.5.4.	PROVINCIA SANTIAGO	81
4.3.3.5.5.	PROVINCIA DUARTE (SAN FRANCISCO DE MACORÍS)	83
4.3.3.5.6.	PROVINCIA PEDERNALES	84
4.3.3.5.7.	PROVINCIA LA ALTAGRACIA (PUNTA CANA)	86
4.3.3.5.8.	PROVINCIA LA ROMANA	88
4.3.3.6.	ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SOBRE AIRES ACONDICIONADOS UTILIZADOS EN LA REPÚBLICA DOMINICANA.	90
4.3.3.7.	CONCLUSIONES Y CONSIDERACIONES SOBRE LOS RESULTADOS DE LA ENCUESTA	92
4.3.4.	CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE EDIFICIOS TIPOS	93
4.4.	ELECCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE EDIFICIO REPRESENTATIVO RD	95
4.4.1.	ELECCIÓN DE EDIFICIOS TIPO	95
4.4.1.1.	EDIFICACIÓN TIPO ZONA C:	97
4.4.1.2.	CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL EDIFICIO DE LA ZONA C	102
4.4.1.2.1.	TRANSFERENCIA DE CALOR PARA EL EDIFICIO DE LA ZONA C	108
4.4.2.	MONITORIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN	112
4.4.2.1.	SITUACIÓN ACTUAL RESPECTO A LA CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO TIPO ZONA C	113
4.4.3.	AJUSTE DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO EN DESIGNBUILDER	118
4.4.3.1.	VALIDACIÓN DEL MODELO. CONSUMO SIMULADO VS MONITORIZADO	123
4.4.3.1.1.	EDIFICACIÓN TIPO ZONA C. PROVINCIA SAN JOSÉ DE OCOA	124
4.4.3.1.1.1.	PORCENTAJE ENERGÉTICO DESTINADO A CLIMATIZACIÓN EDIFICIO ZONA C	126
4.4.3.1.1.2.	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA SIMULADO VS MONITORIZADO DEL AA	127

4.5.	ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA E IMPLEMENTACIÓN EN EL MODELO DEL CASO DE ESTUDIO	128
4.5.1.	IDENTIFICACIÓN DE MEJORAS DE EEES	128
4.5.1.1.	ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA INTRUSIVAS	129
4.5.1.2.	ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA NO INTRUSIVAS	130
4.5.1.3.	ANÁLISIS DE EEES PARA EL CASO DE ESTUDIO	130
4.5.1.4.	ELECCIÓN DE EEE A APLICAR EN EL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO	132
4.5.2.	SIMULACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO CON EEES APLICADAS.	134
4.5.3.	INTRODUCCIÓN DE MEJORA EN EL EDIFICIO	136
4.5.4.	MONITOREO DE EDIFICIOS DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	139
CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS		144
5.1.	INTRODUCCIÓN CAPÍTULO 5	145
5.2.	RESULTADOS DE LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA RD.	145
5.3.	EFFECTIVIDAD DE LAS EEES EN LAS DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS	148
5.4.	RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN POSTERIOR A LA INSTALACIÓN DE EEES	161
5.5.	ANÁLISIS	166
5.5.1.	ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA	166
5.5.2.	ANÁLISIS DE LA ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LA RD.	167
5.5.3.	ANÁLISIS DE LA EFECTIVIDAD DE LAS EEES EN LAS DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS	168
5.5.4.	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MONITORIZACIÓN POSTERIOR A LA INSTALACIÓN DE LAS EEES	168
CAPÍTULO 6 CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS; CONCLUSIONES Y FUTUROS TRABAJOS		170
6.1.	CONCLUSIONES Y CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	171
6.2.	FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	174
6.3.	CONTRIBUCIONES	174
REFERENCIAS		176

Índice de Tablas

TABLA 1: VALORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA SIGNIFICATIVOS POR PROVINCIAS ----	61
TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE PROVINCIAS TIPO SEGÚN TEMPERATURA DEL AIRE (°C) Y HUMEDAD RELATIVA (%) -----	65
TABLA 3: PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN TIPOS EN REPÚBLICA DOMINICANA. -----	68
TABLA 4: ELEMENTOS DE LA FACHADA DE UNA CONSTRUCCIÓN TÍPICA EN REPÚBLICA DOMINICANA. -----	69
TABLA 5: ELEMENTOS DEL TECHO EN UNA CONSTRUCCIÓN TÍPICA EN REPÚBLICA DOMINICANA -----	70
TABLA 6: CANTIDAD DE EDIFICIOS DE OFICINAS POR PROVINCIAS REPRESENTATIVAS DE ZONAS CLIMÁTICAS Y PROMEDIO DE CONSUMO ELÉCTRICO KWH/MES DE ESTE SECTOR-----	72
TABLA 7: TAMAÑO DE LOTES O GRUPOS Y NIVELES DE INSPECCIÓN A APLICAR SEGÚN NORMAL MIL-STD-105E-----	73
TABLA 8: NIVELES DE CALIDAD DE ACEPTACIÓN SEGÚN NORMA MIL-STD-105E-----	74
TABLA 9: TAMAÑO DE LA MUESTRA VS CANTIDAD DE EDIFICIOS DE OFICINAS IDENTIFICADOS A ENCUESTAR SEGÚN MIL-STD-105E -----	74
TABLA 10: RELACIÓN DE CANTIDAD DE PUNTOS A LLAMAR POR PROVINCIAS VS LLAMADAS REALIZADAS-----	75
TABLA 11: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN SAN JUAN DE LA MAGUANA-----	76
TABLA 12: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN MONSEÑOR NOUEL (BONAO) -----	77
TABLA 13: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN MONSEÑOR NOUEL (BONAO) -----	78
TABLA 14: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS -----	79
TABLA 15: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN SAN JOSÉ DE OCOA	80
TABLA 16: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN SAN JOSÉ DE OCOA -----	80
TABLA 17: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN SANTIAGO -----	81
TABLA 18: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN SANTIAGO -----	82
TABLA 19: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN DUARTE (SAN FRANCISCO DE MACORÍS) -----	83

TABLA 20: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN DUARTE (SAN FRANCISCO DE MACORÍS)-----	84
TABLA 21: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN PEDERNALES -----	85
TABLA 22: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN PEDERNALES -----	86
TABLA 23: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN LA ALTAGRACIA (PUNTA CANA)-----	87
TABLA 24: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN LA ALTAGRACIA (PUNTA CANA)-----	87
TABLA 25: CANTIDAD DE AIRES ACONDICIONADOS VS CANTIDAD DE LOCALES EN LA ROMANA-----	88
TABLA 26: TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LOCALES ENCUESTADOS EN LA ROMANA -----	89
TABLA 27: CATEGORÍAS CLASIFICATORIAS PARA IDENTIFICAR EL TIPO DE ENVOLVENTE DE UN EDIFICIO-----	94
TABLA 28: CLASIFICACIÓN DE LA ENVOLVENTE DE EDIFICIOS TIPO DEL CASO EN ESTUDIO -----	94
TABLA 29: PORCENTAJE DE VIDRIO EN LAS FACHADAS DEL EDIFICIO TIPO.-----	102
TABLA 30: CONSUMO MENSUAL DEL EDIFICIO TIPO DEL CASO EN ESTUDIO -----	126
TABLA 31: ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS EN RELACIÓN A LA ENVOLVENTE -----	130
TABLA 32: EEE QUE AFECTAN AL SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO.-----	131
TABLA 34: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR EN LA EDIFICACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO. -----	132
TABLA 35: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS A IMPLEMENTAR EN LA VENTANA FRONTAL DEL CASO EN ESTUDIO. -----	133
TABLA 36: CONSUMO MENSUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA (KWH) ANTES Y DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS EEE EN CADA UNA DE LAS ZONAS CLIMÁTICAS SIMULANDO LOS EDIFICIOS EN DESIGNBUILDER.-----	148
TABLA 37: COMPARACIÓN ENTRE DIFERENTES EES UTILIZADOS POR DIFERENTES INVESTIGADORES UTILIZANDO ENERGÍA AHORRADA (%) Y SU COSTO UNITARIO (\$ /%). -----	152
TABLA 38: RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL EDIFICIO F. MANCEBO EN LAS OCHO DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS.-----	159
TABLA 39: CONSUMO ENERGÉTICO HORARIO PARA LOS TRES ESCENARIOS CONSIDERADOS -----	162
TABLA 40: COMPARACIÓN Y APLICACIÓN DE LAS SCS CON RELACIÓN LA METODOLOGÍA DE ESTA TESIS. -----	167

Índice de Gráficas

GRÁFICA 1: EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES ANUALES DE CO ₂ A NIVEL MUNDIAL [5] -----	22
GRÁFICA 2: CUOTA ANUAL DE EMISIONES GLOBALES DE CO ₂ [5] -----	23
GRÁFICA 3: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN SAN JUAN DE LA MAGUANA ----	77
GRÁFICA 4: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN MONSEÑOR NOUEL (BONAO) -	78
GRÁFICA 5: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN SAN JOSÉ DE OCOA -----	80
GRÁFICA 6: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN SANTIAGO-----	82
GRÁFICA 7: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN DUARTE (SAN FRANCISCO DE MACORÍS) -----	84
GRÁFICA 8: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN PEDERNALES-----	85
GRÁFICA 9: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN LA ALTAGRACIA (PUNTA CANA) -----	87
GRÁFICA 10: % DE AA POR TIPO DE MARCA COMERCIAL UTILIZADA EN LA ROMANA-----	89
GRÁFICA 11: MARCAS QUE REPRESENTAN EL 89 % DE LOS EQUIPOS INSTALADOS-----	91
GRÁFICA 12: COMPARACIÓN DE EFICIENCIA DE AIRES ACONDICIONADOS; MARCAS EN EL MERCADO DE LA RD -----	92
GRÁFICA 13: FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN MÁS CONVECCIÓN EN LA FACHADA PRINCIPAL DEL EDIFICIO F. MANCEBO PARA UN DÍA PROMEDIO. -----	109
GRÁFICA 14: FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN MÁS CONVECCIÓN POR EL LADO DERECHO DEL EDIFICIO-----	109
GRÁFICA 15: FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN MÁS CONVECCIÓN POR LA FACHADA POSTERIOR DEL EDIFICIO.-----	109
GRÁFICA 16: TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN A TRAVÉS DE LA FACHADA FRONTAL DEL EDIFICIO EN HORAS DE TRABAJO PARA UN DÍA TIPO. -----	110
GRÁFICA 17: TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN A TRAVÉS DE LA FACHADA LATERAL DURANTE LAS HORAS DE TRABAJO DE UN DÍA TIPO. -----	111
GRÁFICA 18: TRANSFERENCIA DE CALOR POR RADIACIÓN A TRAVÉS DE LA PARED POSTERIOR DURANTE LAS HORAS DE TRABAJO EN UN DÍA TIPO. -----	111
GRÁFICA 19: PARÁMETROS CLIMÁTICOS RECOGIDOS EN EL EDIFICIO REPRESENTATIVO DURANTE EL PERIODO DE SEGUIMIENTO. -----	115
GRÁFICA 20: DATOS DE TEMPERATURA EXTERIOR Y HUMEDAD RELATIVA PARA EL DÍA TIPO CALCULADO -----	115

GRÁFICA 21: DATOS DE TEMPERATURA INTERIOR Y HUMEDAD RELATIVA PARA EL DÍA TIPO CALCULADO.-----	116
GRÁFICA 22: COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EXTERIOR (°C) Y LA RADIACIÓN (W/M ²)_EDIFICIO TIPO OCOA -----	117
GRÁFICA 23: DATOS DE CONSUMO DE ENERGÍA DEL AIRE ACONDICIONADO (AA) DEL EDIFICIO TIPO ZONA C-----	117
GRÁFICA 24: DATOS DE TEMPERATURA EXTERIOR (°C) DEL EDIFICIO TIPO ZONA C.-----	118
GRÁFICA 25: FLUJO DE CALOR SIMULADO VS CALCULADO DE LA PARED FRONTAL DEL EDIFICIO ZONA C PARA UN DÍA TIPO. -----	124
GRÁFICA 26: FLUJO DE CALOR SIMULADO VS. CALCULADO A TRAVÉS DE LA VENTANA FRONTAL DEL EDIFICIO ZONA C PARA UN DÍA TIPO.-----	125
GRÁFICA 27: FLUJO DE CALOR SIMULADO VS. CALCULADO A TRAVÉS DE LA VENTANA FRONTAL DEL EDIFICIO ZONA C PARA UN DÍA TIPO.. -----	125
GRÁFICA 28: CONSUMO DE ENERGÍA SIMULADO VS. CALCULADO DE LAS UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO (AA) DEL EDIFICIO ZONA C. -----	127
GRÁFICA 29: COMPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE LOS FLUJOS DE CALOR EN LA VENTANA FRONTAL ANTES Y DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA EEE (B) PARA UN DÍA TIPO. -----	135
GRÁFICA 30: COMPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN DEL FLUJO DE CALOR EN LA VENTANA LATERAL ANTES Y DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA EEE (F) PARA UN DÍA TIPO. -----	135
GRÁFICA 31: COMPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ANTES VS DESPUES DE IMPLEMETAR EEES -----	136
GRÁFICA 32: TEMPERATURAS DENTRO DEL EDIFICIO ANTES Y DESPUÉS DE LAS ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA PARA UN DÍA TIPO -----	140
GRÁFICA 33: HUMEDAD RELATIVA EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO ANTES Y DESPUÉS DE LAS ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA UN DÍA TIPO -----	141
GRÁFICA 34: CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA SIMULADO VS MONITOREADO POR EL AA ANTES Y DESPUÉS DE LAS ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. -----	141
GRÁFICA 35: CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA SIMULADO Y MONITOREADO POR EL AA LUEGO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA. -----	142
GRÁFICA 36: DIFERENCIA ENTRE PRONÓSTICOS MODELADOS VS. MONITOREADOS CON TEMPERATURA INTERIOR.-----	143
GRÁFICA 37: % DE SIGNIFICANCIA DE LA TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA EXTERIOR POR PROVINCIAS DE LA RD -----	146
GRÁFICA 38: % DE SIGNIFICANCIA DE LA HUMEDAD RELATIVA MÁXIMA Y MÍNIMA EXTERIOR POR PROVINCIAS DE LA RD -----	147

GRÁFICA 39: EFECTO DE LAS EES EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA A EN UN DÍA TIPO.-----149

GRÁFICA 40: EFECTO DE LAS EEE EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA B EN UN DÍA TIPO. -----150

GRÁFICA 41: EFECTO DE LAS EEE EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA C EN UN DÍA TIPO. -----151

GRÁFICA 42: PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN PARA LA IMPLANTACIÓN DE
 ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL RECINTO.-----153

GRÁFICA 43: EFECTO DE LAS EEE EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA D EN UN DÍA TIPO. -----154

GRÁFICA 44: EFECTO DE LAS EEE EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA E EN UN DÍA TIPO. -----155

GRÁFICA 45: EFECTO DE LAS EEE EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA G EN UN DÍA TIPO. -----156

GRÁFICA 46: EFECTO DE LAS EES EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA F EN UN DÍA TIPO. -----157

GRÁFICA 47: EFECTO DE LAS EES EN UN EDIFICIO DE LA ZONA CLIMÁTICA H EN UN DÍA TIPO.-----158

GRÁFICA 48: CONSUMO ELÉCTRICO DIARIO (KWH) DE LAS UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO EN EL
 EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO EN LAS OCHO DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS DE RD, ANTES DE LA
 IMPLANTACIÓN DE LAS EES.-----160

GRÁFICA 49: CONSUMO DIARIO DE ELECTRICIDAD (KWH) DE LAS UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO
 DEL EDIFICIO DEL CASO EN ESTUDIO EN LAS OCHO DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS DE RD, LUEGO DE
 LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS EES.-----161

GRÁFICA 50: COMPORTAMIENTO DEL CONSUMO ELÉCTRICO MONITOREADO EN EL AA, ANTES Y
 DESPÚES DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS EES.-----163

GRÁFICA 51: COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA INTERIOR MONITOREADA, ANTES Y DESPUÉS
 DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS EES -----164

GRÁFICA 52: RELACIÓN DEL EDIFICIO CON RESPECTO A LA TEMPERATURA ANTES VS DESPUÉS DE
 IMPLEMENTAR LAS EES Y ESTAS CON LA TEMPERATURA BASE Y LA TEMPERATURA DE CONSIGNA.
 -----165

GRÁFICA 53: COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD RELATIVA INTERIOR MONITOREADA, ANTES Y
 DESPUÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LAS EES -----166

Índice de Figuras

FIGURA 1: EMISIONES GLOBALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO POR SECTOR 2020 [8]-----	23
FIGURA 2: ANÁLISIS GRAFICO DEL ANALISIS SOBRE LA BUSQUEDA LITERARIA DE FUENTES PRIMARIAS EN BASES DE DATOS INTERNACIONALES. -----	31
FIGURA 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE BÚSQUEDA SOBRE FUENTES PRIMARIAS CON DERIVACIÓN E INTERES DE INVESTIGACIONES A PARTIR DEL CONFORT TERMICO.-----	32
FIGURA 4: METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LATITUDES TROPICALES. LOS BLOQUES (A–C) DESCRIBEN LOS PASOS A SEGUIR PARA EL ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LAS MEDIDAS A NIVEL DE REGIÓN O PAÍS-----	43
FIGURA 5: PASOS A1 Y A1.1. ZONIFICACIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS Y UNIFICACIÓN DE ZONAS CLIMÁTICAS -----	53
FIGURA 6: LÍNEA DEL RANGO ESTABLECIDO PARA LA SELECCIÓN DEL PAÍS DE REFERENCIA EN CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA-----	58
FIGURA 7: CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LAS PROVINCIAS SEGÚN EL GRADO SIGNIFICATIVO DE TEMPERATURA MÁXIMA Y MÍNIMA -----	62
FIGURA 8: CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LAS PROVINCIAS SEGÚN EL GRADO SIGNIFICATIVO DE HUMEDAD RELATIVA -----	63
FIGURA 9: ELEMENTOS Y FACTORES DE CLIMA TOMADOS EN CUENTA EN ESTE CASO DE ESTUDIO----	65
FIGURA 10: CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE LAS PROVINCIAS SEGÚN LA INFLUENCIA SIGNIFICATIVA DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS-----	67
FIGURA 11: PASOS A2. Y A2.1. IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS TIPO Y MATERIALES DE LA CONSTRUCCIÓN TIPO DE LA RD. -----	68
FIGURA 12: SECCIÓN DE PARED DE UN EDIFICIO TIPO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA. -----	69
FIGURA 13: SECCIÓN TÍPICA DEL TECHO DE UN EDIFICIO -----	70
FIGURA 14: PASO A3, ENCUESTA SOBRE EL USO Y TIPO DE AA EN EDIFICIO TIPO DE LA RD.-----	71
FIGURA 15: PASOS A3.1. ANÁLISIS DE EFICIENCIA DE AA UTILIZADOS EN LA RD.-----	90
FIGURA 16: PASOS A4. CARACTERIZACIÓN TÉRMICA DE EDIFICIOS TIPO DE LA RD. -----	93
FIGURA 17: PASO B1. SIMULACIÓN DE EDIFICIOS-----	95
FIGURA 18: VISTA DE TIPOS DE EDIFIOS IDENTIFICADOS EN LA DIVISIÓN DE CADA ZONA CLIMÁTICA EN LA FIGURA 7 (A–H), ZONAS IDENTIFICADAS PARA EL CASO DE ESTUDIO EN RD -----	96
FIGURA 19: VISTA FRONTAL EDIFICIO TIPO - SAN JOSÉ DE OCOA-----	97
FIGURA 20: UBICACIÓN Y ORIENTACIÓN; EDIFICACIÓN SAN JOSÉ DE OCOA-----	98

FIGURA 21: VISTA EN PLANTA DEL EDIFICIO TIPO ZONA CLIMÁTICA C (SAN JOSÉ DE OCOA) -----	99
FIGURA 22: DIMENSIONES DE LA VISTA FRONTAL DE LA EDIFICACIÓN TIPO ZONA C (SAN JOSÉ DE OCOA)-----	100
FIGURA 23: DIMENSIONES DE LA VISTA LATERAL DERECHO DE LA EDIFICACIÓN TIPO ZONA C (SAN JOSÉ DE OCOA)-----	100
FIGURA 24: DIMENSIONES DE LA VISTA POSTERIOR DE LA EDIFICACIÓN TIPO ZONA C (SAN JOSÉ DE OCOA)-----	101
FIGURA 25: VISTA DE LA CONSTRUCCIÓN EN DESIGNBUILDER EDIFICACIÓN TIPO ZONA C (SAN JOSÉ DE OCOA)-----	101
FIGURA 26: TRAYECTORIA SOLAR EDIFICIO TIPO, VISTA EN PLANTA (A), VISTA FRONTAL (B), VISTA LATERAL DERECHO (C), VISTA POSTERIOR (D). -----	102
FIGURA 27: RESISTENCIA TÉRMICA EN SERIE PARA LAS PAREDES -----	104
FIGURA 28: RESISTENCIA TÉRMICA EN PARALELO EN LOS HUECOS DEL EDIFICIO TIPO-----	105
FIGURA 29: RESISTENCIA PARA LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN -----	106
FIGURA 30: RESISTENCIA TOTAL PARA EL FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN-----	106
FIGURA 31: RESISTENCIA TOTAL PARA EL FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN EN LA VENTANA Y LA PUERTA -----	107
FIGURA 32: RESISTENCIA TÉRMICA EN PARALELO EN LOS HUECOS (VENTANAS Y PUERTAS) -----	107
FIGURA 33: PASO B2. SIMULACIÓN DE EDIFICIOS-----	112
FIGURA 35: VISTA DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA TANTO DEL INTERIOR COMO EL EXTERIOR DEL EDIFICIO TIPO EN LA ZONA C, SAN JOSÉ DE OCOA -----	114
FIGURA 36: PASO B3. AJUSTE DE LA SIMULACIÓN VS MONITORIZACIÓN-----	118
FIGURA 37: MODULO EN DESING BUILDER DE HVAC DETALLADO MODIFICADO -----	119
FIGURA 38: CIRCUITO DE AIRE ACONDICIONADO POR COMPRESIÓN DE VAPOR PARA LOS EDIFICIOS TIPO DE LA REPÚBLICA DOMINICANA. -----	120
FIGURA 39: DATOS DE TEMPERATURA MODIFICADAS EN EL MÓDULO DE DESIGNBUILDER PARA LOS DIFERENTES MODELOS -----	120
FIGURA 40: VISTA DE EQUIPOS DESACTIVADOS PARA LA SIMULACIÓN EN EL MÓDULO DE HVAC QUE NO PERTENECEN A REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN D ELLOS LOCALES. -----	121
FIGURA 41: MÓDULO PARA MODIFICAR LOS DATOS A ASIGNAR A UNIDADES DE AIRE ACONDICIONADO DE LOS DIFERENTES MODELOS. -----	122
FIGURA 42: MÓDULO PARA AJUSTAR HORARIOS EN DESIGNBUILDER PARA LA SIMULACIÓN -----	123
FIGURA 43: PASO C1. IDENTIFICACIÓN DE MEJORAS DE EEE.-----	129
FIGURA 44: PASO C2. SIMULACIÓN DE EDIFICIOS CON MEJORAS-----	134

FIGURA 45: PASO C3. INTRODUCCIÓN DE MEJORAS EN LOS EDIFICIOS-----	137
FIGURA 46: MODELADO EN SKETCHUP DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO SIN EEE-----	137
FIGURA 47: MODELADO EN SKETCHUP DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO CON EEE.-----	138
FIGURA 48: VISTA DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO ANTES Y DESPUÉS DE LAS ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADAS DE FORMA REAL EN LA VENTANA FRONTAL.-----	138
FIGURA 49: VISTA DEL EDIFICIO DEL CASO DE ESTUDIO ANTES Y DESPUÉS DE LAS ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA APLICADAS DE FORMA REAL EN LA VENTANA LATERAL DERECHO.-----	139
FIGURA 50: PASO C4. MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS-----	139
FIGURA 51: REPRESENTACIÓN DEL EDIFICIO TIPO EN LAS OCHO ZONAS CLIMÁTICAS TIPO-----	159

Acrónimos

AA: Aire Acondicionado
AFP: Anual Factor Performance
BREEAM: Evaluación Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios
COP: Coeficiente de operación
DB: DesignBuilder
DB-HE: Código Técnico para la Edificación de España
DGNB: Consejo Alemán de Construcción Sostenible
EdeEste: Empresa Distribuidora de Electricidad del Este
EdeNorte: Empresa Distribuidora de Electricidad del Norte
EdeSur: Empresa Distribuidora de Electricidad del Sur
EEEs: Estrategias de eficiencia energética
ENHOGAR: Encuesta Nacional de Viviendas de Usos Múltiples
FWCT: Refrigeración con torres de enfriamiento de agua dulce
GEI: Gases de efecto invernadero
Hem: Humedades relativas estadísticamente mínimas
HeM: Humedades relativas estadísticamente máximas
HQE: Medio Ambiente de Alta Calidad
HR: Humedad Relativa
HVAC: Sistemas de aire acondicionados
LEED: Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental
NREL: Laboratorio Nacional de Energía Renovable
ODS: Objetivos de Desarrollo Sostenible
ONAMET: Oficina Nacional de Meteorología de la República Dominicana
ONE: Oficina Nacional de Estadísticas
ONU: Naciones Unidas
PI: Porcentaje de incidencia
PIH: Porcentaje de incidencia de la humedad relativa
RD: República Dominicana
SAIP: Solicitud de Acceso a la Información Pública
SCS: Sistemas de Certificación de Sostenibilidad, Soluciones para la Construcción Sostenible
SEER: Seasonal Energy Efficiency Ratio
Tem: Temperaturas estadísticamente mínimas
TeM: Temperaturas estadísticamente máximas
USA: Estados Unidos de América
VFS: Ventilador de velocidad variable

CAPÍTULO 1

Introducción

Introducción

Hipótesis

Motivación y Objetivos

Estructura de la Tesis

1.1. Introducción

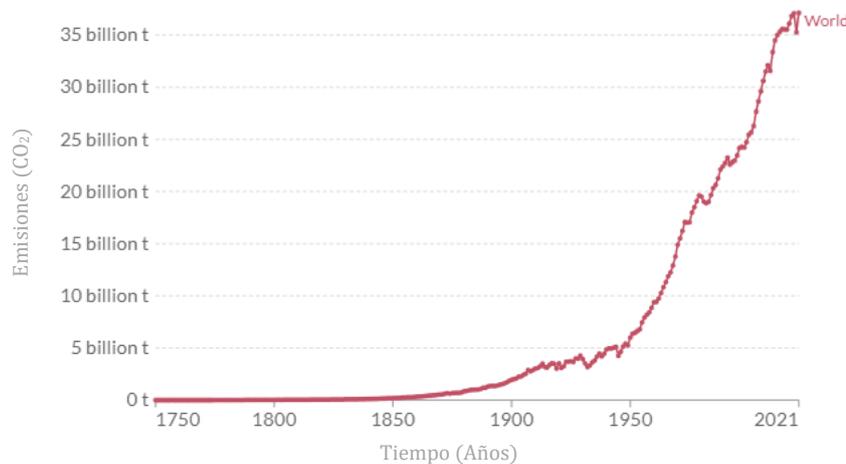
La humanidad se enfrenta en la actualidad a un gran reto que es el desarrollo sostenible. Es un reto que afecta a todos los habitantes del planeta, independientemente de que sean ricos o pobres o de que pertenezcan a una etnia u otra, y que requiere del compromiso de todos ellos para conseguirlo, es un reto global que afecta a todas las actividades de la humanidad, desde la economía hasta la educación, desde las relaciones sociales a la salud, desde la ciencia y la ingeniería al ordenamiento jurídico y todo ello pasando por el arte y la cultura, que exige que todas esas actividades se adapten al nuevo modelo de desarrollo sostenible y, finalmente, es un reto que afecta a toda la geografía de nuestro planeta, desde los climas extremos a los climas templados y a los cinco continentes a la vez. Es, por lo tanto, el problema más complejo y global al que nos enfrentamos en toda nuestra historia.

Nuestra sociedad a menudo se enfrenta a cambios repentinos e inesperados sobre los que tiene poco control y/o conocimiento como, por ejemplo, la reciente pandemia de COVID-19, la cual ha demostrado un alto nivel de incertidumbre generando problemas importantes en las economías mundiales y ha puesto en evidencia la necesidad de estar preparados para adoptar estrategias comunes a nivel mundial para superar la crisis. El COVID-19 afectó a la economía global, incluyendo a las pequeñas y medianas empresas ya que impactó al desarrollo económico global [3]. De esta crisis sanitaria global la mejor lección que se puede extraer es que la humanidad debe afrontar los grandes retos con objetivos comunes, tal y como se está afrontando el problema de la sostenibilidad.

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ONU) para la agenda 2030 ponen un gran énfasis en la transformación hacia un mundo mejor [2]. Ponen como principal punto el bienestar y la prosperidad dentro de los 17 ODS, seguidos de 169 subobjetivos. Alcanzar los ODS requiere de acciones serias en todos los aspectos de la vida, lo que supone en sí mismo un reto para la innovación tecnológica. El ODS número 9 marca las pautas a las que se debe prestar atención en la industria, la innovación y la infraestructura, que son esenciales para lograr los objetivos restantes. Estos objetivos van de la mano con el compromiso mundial en busca de la reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI), para limitar el calentamiento global a 2°C o incluso a 1.5°C, objetivo en el que más de 200 países se han comprometido en las diferentes conferencias de la Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP26 y COP27) [4], [5], buscando cumplir el histórico Acuerdo de París [6],

que se adoptó en beneficio de las personas y el planeta. El acuerdo de París se centra explícitamente en la importancia de las tecnologías climáticas avanzadas para un futuro sostenible. De hecho, acelerar y alentar la innovación es una respuesta al cambio climático global que puede ayudar a promover el crecimiento económico y reducir la carga ambiental. El reto más importante de todos estos compromisos es desacelerar el cambio climático a nivel mundial reduciendo las emisiones de CO₂.

El aumento de las emisiones globales desde mediados del siglo XVIII hasta la actualidad ha sido muy evidente, en la Gráfica 1 se muestra la evolución de emisiones anuales de CO₂ en el mundo [7].

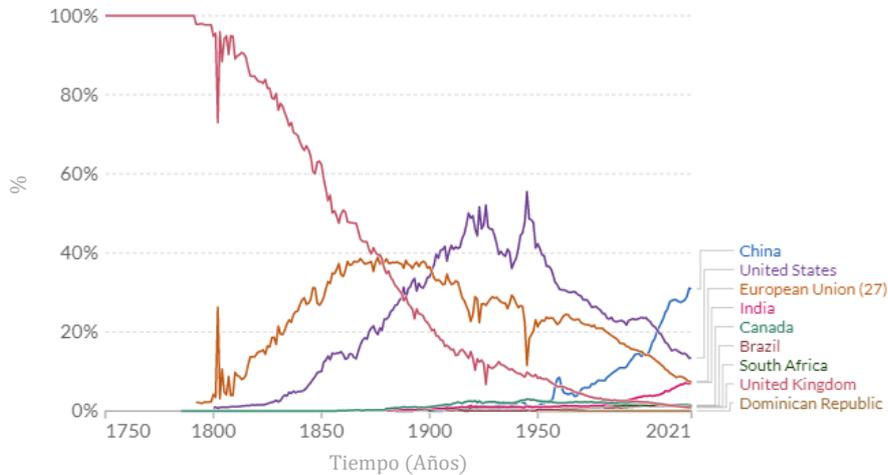


Gráfica 1: Evolución de las emisiones anuales de CO₂ a nivel mundial [7]

En el 1950 el mundo emitió unos 6 millones de toneladas de CO₂, ya para el 1990 esto casi se había cuadruplicado, alcanzando más de 22 mil millones de toneladas. Las emisiones han seguido creciendo rápidamente hasta llegar al punto de que en el mundo se emiten más de 34 mil millones de toneladas cada año.

Mientras algunos países han realizado esfuerzos para reducir su cuota de emisiones de CO₂, otros tienden al alza. Se muestra en la Gráfica 1, como los esfuerzos y estrategias implementadas de la mano con el desarrollo sostenible de países que conforman la Unión Europea y Estados Unidos, por mencionar dos de los que aglutinan los mayores retos en reducción de emisiones de GEI en el mundo, aun manteniendo o aumentando la calidad de vida de sus habitantes, en los últimos años se evidencia una reducción en términos porcentuales de emisiones de CO₂. Por el contrario, a partir del 1970, se evidencia un

aumento en Asia, [8] año en que registra que la esperanza de vida ha aumentado de 41 a 74 años y se ha visto una caída dramática en la pobreza extrema [9].



Gráfica 2: Cuota anual de emisiones globales de CO₂ [7]

Según datos registrados en el año 2020 [10] mostrados en la Figura 1, las mayores emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial se registran en el sector energético (electricidad, calor y transporte) con un 73.2% (15.8 mil millones de toneladas de CO₂).

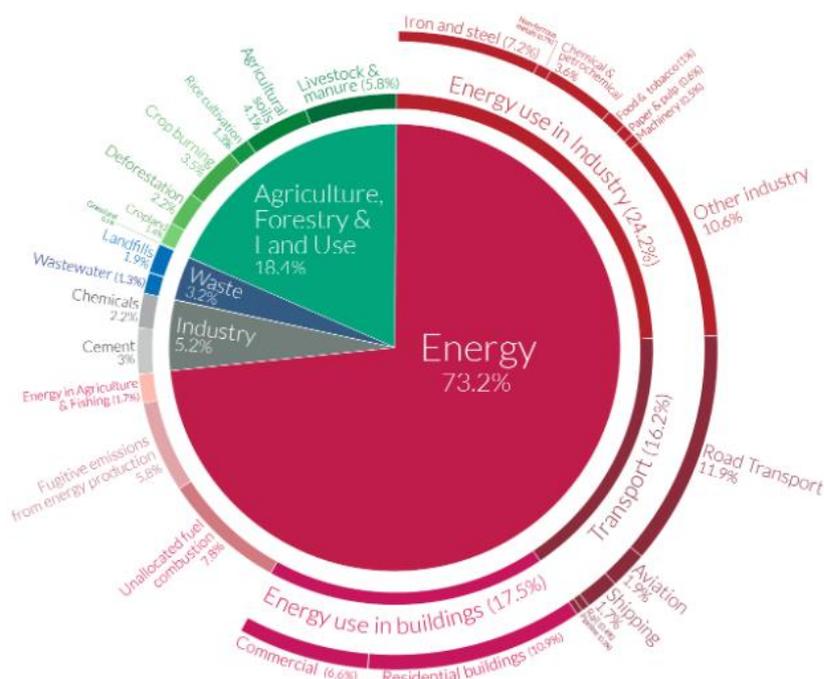


Figura 1: Emisiones globales de gases de efecto invernadero por sector 2020 [10]

Dentro del total de la energía, el transporte representa el 16.2%, la energía en industria registra el 24.2% y los edificios tienen una cuota del 17.5%, subdividiéndose en los edificios residenciales con una partida del 10.9% y los edificios comerciales (oficinas, restaurantes, tiendas) con una partida del 6.6% de las emisiones relacionadas con la energía.

La energía es uno de los recursos con mayor necesidad en los diferentes países, ya que soluciona en gran parte las diferentes actividades humanas. Si nos situamos en países con clima tropical, da solución en edificios a la comodidad, manteniendo la temperatura en niveles considerables. Según estudios [11] los países tropicales serán los primeros en superar los límites históricos de temperatura, afectando esto a los países más poblados y con menor cantidad de recursos para adaptarse. Las áreas de climas tropicales, situadas más cerca del trópico de Cáncer, o sea unos 23.5° Norte, serán las primeras zonas que experimentarán climas sin precedentes en la próxima década aumentando el consumo de energía.

La demanda eléctrica de las edificaciones en países donde, debido a su ubicación, requieren de equipos de climatización en todos los meses del año puede verse reducida utilizando estrategias de eficiencia energética (EEEs) adecuadas para el clima tropical.

En esta tesis, se pretende demostrar la funcionalidad de una metodología que sea de guía para países con clima tropical a la hora de analizar las normativas a aplicar en temas de desarrollo sostenible y eficiencia energética en edificios.

La metodología de trabajo incluye la identificación de zonas climáticas tipo, según la zonificación climática de un país tomado como referencia, el análisis de la demanda de refrigeración en el sector edificación, simulación, monitorización y calibración de un edificio tipo para demostrar la efectividad relacionada a la metodología que se presenta, donde para estos países tropicales, es evidente unas variables del clima que son prácticamente similares. Partiendo de esto, se puede deducir que con la aplicación de esta metodología en un país tipo, sería de referencia para los demás países con climas y tipología de construcción similares, además de sentar las bases para que sea un apoyo a la hora de formular regulaciones y normas en estos países donde no existen las mismas.

1.2. Hipótesis

Para el desarrollo de esta investigación y formulación de esta tesis, se pretende validar las siguientes hipótesis:

- A. Se puede desarrollar una metodología específica para climas tropicales con el objetivo de mejorar la eficiencia energética en edificio, adaptándose a la realidad económica y social de su entorno.
- B. La Zonificación climática de un país es la base efectiva para determinar las acciones específicas necesarias para la mejora de la eficiencia energética en edificios.
- C. El consumo eléctrico asociado a la climatización de edificios en países situados en climas tropicales puede verse reducido aplicando EEEs específicas, acordes a la situación socioeconómica y tecnológica del país.

1.3. Motivación y objetivos

El objetivo principal de esta tesis es proporcionar al mundo científico una metodología específica para países tropicales que permita analizar, evaluar y mejorar la eficiencia energética en edificios abarcando indicadores de las Soluciones para la Construcción Sostenible.

Para lograr este objetivo principal se deben cumplir así mismo los siguientes objetivos complementarios:

- 1) Revisar y analizar del estado del arte para que con esta minería de datos se puedan verificar los avances y limitaciones encontrados hasta el momento por la comunidad científica.
- 2) Proponer una metodología para obtener una zonificación climática que sirva de base al objetivo principal de esta tesis.
- 3) Probar la efectividad de la metodología propuesta un caso de estudio.

- 4) Obtener conclusiones sobre la metodología aplicada, su funcionalidad para los sectores políticos y sociales de un país de clima tropical para que sea una base a la hora de tomar decisiones para nuevos proyectos o rehabilitación de edificios.

Objetivos específicos:

- 1) Realizar una zonificación climática de la República Dominicana (RD) adaptada al sector de la edificación.
- 2) Analizar y caracterizar energéticamente el parque de edificios comerciales de la RD.
- 3) Utilizar herramientas de modelado energético y técnicas de monitorización de edificios, elaborar modelos energéticos fiables de los edificios del sector terciario de la RD.
- 4) Demostrar la efectividad de la implementación de EEEs económicamente viables y no intrusivas para reducir el consumo de energía eléctrica en los edificios del sector terciario de la RD.

1.4. Estructura de la tesis

Esta Tesis es una contribución para el desarrollo de medidas y normas de eficiencia energética en el sector edificación en países de climas tropicales, dando a conocer la funcionalidad de una metodología para ingenieras, ingenieros, técnicos y técnicas del área ante la toma de decisiones.

Las contribuciones de esta Tesis se presentan en el desarrollo de 6 capítulos:

El Capítulo 1, presenta una contextualización sobre la motivación, el alcance y los objetivos de esta tesis. Así mismo se formulan las hipótesis a validar.

El capítulo 2 da a conocer el estado del arte sobre la principal problemática ante la realización de esta Tesis, el desarrollo y avances que se han alcanzado en temas de eficiencia energética en la edificación, tanto a nivel mundial como de manera específica para países de climas tropicales, estudios, análisis, normativas, etc.

El Capítulo 3 describe la metodología de la Tesis, donde se muestra:

Los tres bloques básicos de la metodología: caracterización del parque edificatorio, elección y caracterización de edificios y análisis de las medidas de eficiencia energética e implementación en los modelos. Especificando para cada uno de ellos la secuencia de pasos a seguir.

Para el primer bloque se describen los tres pilares en los que se sustenta: Zonificación de zonas climáticas, Identificación de edificios tipo y encuesta sobre el uso y tipo de acondicionadores de aire en edificios típicos. En este caso también se analiza secuencialmente los pasos a seguir.

Para el segundo bloque se describe la metodología de simulación, monitorización y validación de modelos de edificios.

Finalmente, para el tercer bloque, se muestran los factores a tener en cuenta para el análisis de las medidas de eficiencia energética adaptadas a las diversas situaciones socioeconómicas, tecnológicas, etc., del caso de estudio y se analiza el nuevo proceso de simulación, monitorización y cuantificación de la mejora obtenida.

Luego, el Capítulo 4 presenta el caso de estudio utilizado para la validación de la metodología propuesta. Se trata de aplicar la metodología para el caso de edificios del sector terciario en la República Dominicana.

Se discuten las ventajas al zonificar las zonas climáticas y que factores se deben tener en cuenta al realizar este proceso.

Se realiza una encuesta a nivel de país sobre la eficiencia de aires acondicionados utilizados en el sector comercial terciario del país, analizando con los resultados obtenidos la eficiencia de los equipos de mayor uso y el impacto que se podría tener al introducir uno u otro en los edificios en términos de consumo de energía.

Se realiza un análisis acabado en un modelo de edificio comercial, donde se simula, se monitoriza y se implementan mejoras de eficiencia energética. Se comparan las medidas seleccionadas con el impacto económico al introducir estas.

Se comparan los resultados del modelo analizado con datos experimentalmente simulados y se obtienen las primeras conclusiones al introducir las mejoras in situ.

En el capítulo 5 se presentan los principales resultados del caso de estudio.

Se presentan los resultados de la zonificación climática realizada en la RD, su utilización y análisis de los factores que afectan térmicamente los edificios de la RD.

Los resultados del comportamiento del modelo del caso presentado con la comparación de los datos experimentales analizados y después su comprobación real.

Se muestran las ventajas y desventajas de las medidas de eficiencia energética en los modelos tipo de edificios comerciales seleccionados de cada zona climática, los modelos desarrollados y analizados en esta Tesis.

Finalmente, en el capítulo 6 se presentan las principales conclusiones alcanzadas en la Tesis, las contribuciones más destacadas, la verificación de las hipótesis planteadas y las futuras líneas de investigación.

CAPÍTULO 2

Estado del Arte

Introducción al Estado del Arte

Eficiencia Energética en Edificación

Modelización de edificios

Monitorización de edificios

2.1. Introducción al Estado del Arte

La sostenibilidad se ha convertido en un factor significativo en el sector edificación, integrando el diseño, la construcción, la rehabilitación y la operación de edificios. Las diversas iniciativas en todo el mundo son para la obtención de información sobre la construcción de edificios eficientes según la zona climatológica que pertenece el mismo, ya que se pueden obtener ganancias o ahorros en los costos asociados al consumo energético.

Al sector de la edificación se le imputa aproximadamente el 40.12% del consumo eléctrico en países de clima tropical [12], dentro de este, el mayor consumo recae sobre los equipos de climatización, ya que teniendo en cuenta la climatología de estos países son los sistemas energéticos más utilizados.

La buena elección de estrategias de eficiencia energética en la edificación, combinada con sistemas de climatización eficientes, hoy en día es el objetivo de la construcción y de la rehabilitación de edificios, tomando en cuenta que obtener la temperatura de confort del aire interior con un menor consumo energético, es uno de los objetivos perseguidos.

En el presente capítulo se presenta una revisión del estado del arte que tiene por objetivo enlistar estado actual a nivel mundial sobre el conocimiento de la simulación y monitorización de edificios para conseguir edificaciones eficientes, analizando y comparando las diferentes alternativas en edificios de países con clima tropical, tales como:

- Mejoras en la envolvente con estrategias no intrusivas
- Estrategias de eficiencia energética en equipos de climatización
- Sistemas energéticos monitorizados y controlados

Sobre estas alternativas, se realiza una búsqueda a nivel mundial utilizando la herramienta Visualizing scientific landscapes (VOSviewer), arrojando un único objetivo que es la eficiencia energética, como se muestra en el análisis de la Figura 2.

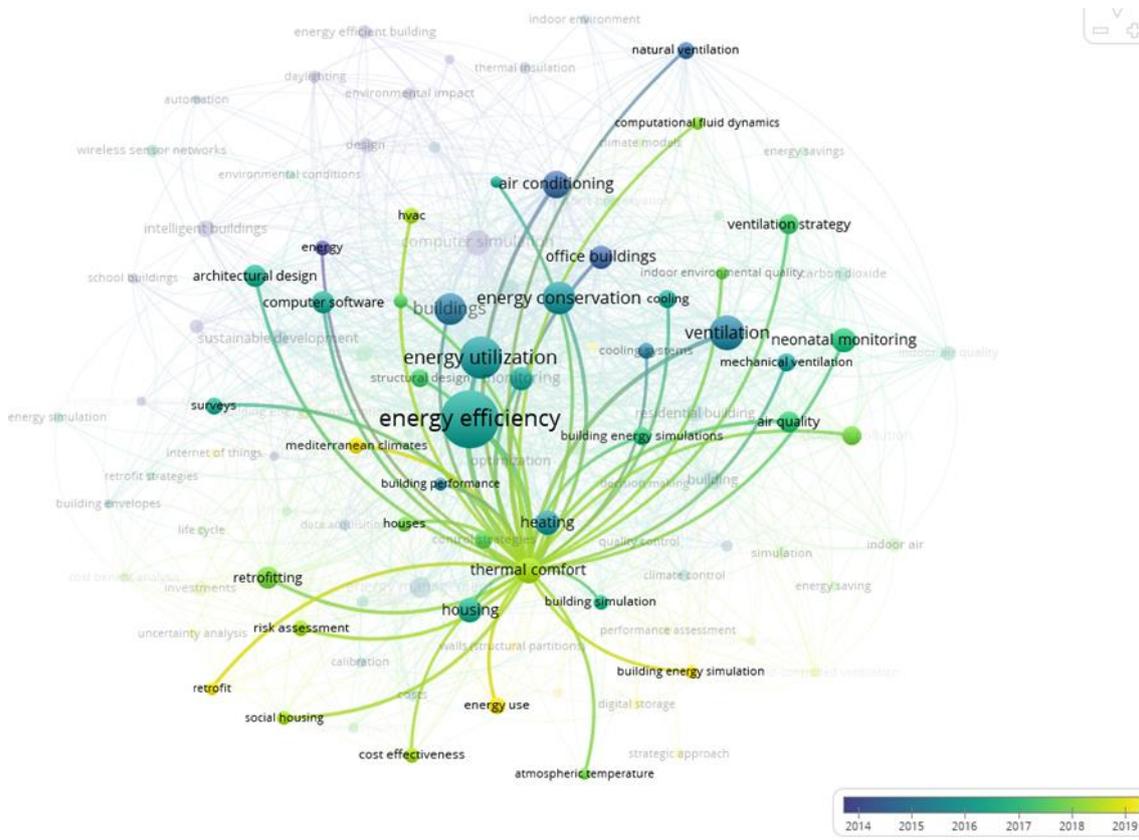


Figura 3: Resultados del análisis de búsqueda sobre fuentes primarias con derivación e interés de investigaciones a partir del confort térmico.

2.1.1. Eficiencia Energética en la edificación

Datos estadísticos [14] de informes de países con climas tropical informan que el 52% de toda la energía utilizada se consume en el sector de la edificación, distribuido en edificios domésticos, terciarios e industriales, además estos edificios representan el 36% de las emisiones de CO₂. La mayoría de los edificios existentes hoy en día se construyeron en un momento en que la eficiencia energética no era una preocupación importante [15]. Esto conduce a una gran cantidad de consumo de energía para calefacción, refrigeración e iluminación, siendo los dos primeros los que ocupan la mayor parte, contribuyendo del 50% al 70% del consumo total de energía [16].

La envolvente es uno de los elementos clave del edificio, que aparte de reflejar su identidad y el carácter final, debe contribuir al cumplimiento de una serie exigencias; aspectos técnicos relevantes que van encaminados a contribuir en las condiciones de

confort en el interior de las viviendas [17]. Ésta es la parte del edificio con mayor exposición a los agentes externos, y que confinan todos los espacios interiores habitables separándolos del ambiente exterior aislando térmicamente. Los defectos de la envolvente del edificio sin importar el clima en que se encuentre pueden afectar hasta el 42% del uso de energía en los edificios [18].

Las decisiones tomadas en las etapas de diseño como la elección de la ubicación y la orientación de una construcción tienen un importante efecto sobre el consumo energético necesario para su funcionamiento [19]. Estas decisiones son particularmente importantes para el caso de la ventilación natural, en el que esas decisiones tempranas determinan el potencial para una ventilación eficiente, que se traduzca en menores costos energéticos y en mejor calidad de aire interior [20]. Son decisiones tempranas en la fase de diseño y tan bien tienen significativa importancia en la ganancia térmica del edificio, pudiéndose reducir los costes derivados del uso de los equipos de refrigeración.

En el sudeste de Asia, Xiaonuan [21], adaptó una edificación en la que incorporó diversas estrategias de diseño activo y pasivo en un clima tropical. El estudio reveló un ahorro de 23 MWh al año cuando realizaron cambios de los equipos de aire acondicionado con ventilador de velocidad variable (VFS), esto luego de identificar en una fase de monitoreo inicial que los aires acondicionados de la edificación tenían un bajo desempeño.

Un equipo de climatización convencional por compresión de vapor [22], equipo de mayor utilización en las edificaciones en países de climas tropicales no resuelve el problema de confort por sí sólo, teniendo además otros costos asociados muy elevados [23]. Mucho antes de la instalación de un sistema de climatización para una edificación, las áreas de arquitectura e ingeniería deberían haber hecho su aporte para combatir las altas temperaturas. La arquitectura tropical y bioclimática recurren a materiales y diseños que contrarrestan tanto el calor como la humedad en el interior de las edificaciones [24].

La determinación del consumo de energía real y el patrón de uso de un acondicionador de aire son cuestiones importantes para la evaluación de su eficiencia energética. El tiempo de funcionamiento de un aire acondicionado es información fundamental para el cálculo de valores como el SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio)

y AFP (Anual Factor Performance) que pueden ayudar a reducir el costo de las facturas de energía en una edificación [25], [26].

Las ganancias de calor proveniente de la radiación solar incidente en las edificaciones son la principal causa del consumo de energético atribuible a las unidades de aire acondicionado[27]-[29], y son aún mayores cuando su funcionamiento está en fase horaria con la radiación solar. En ese caso, la unidad de aire acondicionado funciona tratando de compensar esa ganancia térmica, lo que sucede cuando la diferencia entre la temperatura interior y exterior es muy alta, como es el caso de países ubicados en latitudes tropicales.

Una buena elección de sistemas de climatización que combine EEEs para reducir las cargas térmicas en la construcción y rehabilitación de edificios puede proporcionar a los usuarios el confort del aire interior necesario con un menor consumo energético[30].

2.1.1.2. Normativas asociadas a eficiencia energética en la edificación

Existen muchos Sistemas de Certificación de Sostenibilidad (SCS) [31] como la Metodología de Evaluación Ambiental del Establecimiento de Investigación de Edificios (BREEAM), el Consejo Alemán de Construcción Sostenible (DGNB), el Medio Ambiente de Alta Calidad (HQE), el Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental (LEED), y para el caso específico de países latinoamericanos se encuentran [32] Excelencia en Diseño para Mayores Eficiencias (EDGE), Sello EDIF - Brasil y Sello CES - Chile, entre otros. Todos ellos tienen estructuras jerárquicas similares que establecen protocolos similares para la evaluación del desempeño sustentable de los edificios. Estos protocolos conducen a los técnicos paso a paso hacia la meta final; es decir, obtener una edificación más sostenible. Uno de los ítems que utilizan estos SCS para validar el objetivo final es el consumo de energía.

También existen algunas directivas como la Eficiencia Energética de los Edificios en Europa o la Norma ASHRAE 90.1-2007 en Estados Unidos de América (USA) que establecen criterios y procedimientos para optimizar la eficiencia energética de los edificios. Hay que tomar en cuenta todos estos sistemas, directivas y estándares con el fin de presentar una nueva metodología para la mejora del rendimiento energético de edificios adaptados a climas tropicales.

2.1.2. Modelización de edificios

Los esfuerzos centrados en mejorar la eficiencia energética en el sector edificación [33]-[35] han llevado a diferentes sectores académicos, sociales y económicos a explorar diferentes estrategias. La utilización de software especializados en la simulación energética de edificios permite evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono antes de realizar inversiones cuantiosas para estos fines, permitiendo hacer una comparación entre un antes y un después de haber recopilado los datos y entonces poder realizar las mejoras [36].

La simulación energética de edificios, caracterizando estos en sus diferentes escalas y utilizando programas informáticos, permiten simular diferentes configuraciones de edificios, arrojando resultados precisos que tienen en cuenta todas las variables que afectan el consumo de energía del edificio para el control del clima interior como son, los diferentes materiales de la envolvente, orientación, datos meteorológicos, entre otros [37]. Las simulaciones se realizan a menudo para la toma de decisiones en la fase de diseño, y para buscar las mejores soluciones en la rehabilitación de edificios. Dada la gran cantidad de variables a considerar, suele ser necesario un gran número de simulaciones antes de identificar las soluciones más adecuadas y eficientes.

Según Gelezs [38] la simulación puede ser definida como una herramienta que permite analizar, diseñar y evaluar un sistema a través de modelos que contemplen cualitativa y cuantitativamente las entradas y salidas del sistema. En sí, la simulación es un proceso que se utiliza para obtener un modelo fiable de un sistema real.

El parámetro principal para la validación de un modelo es la comparación del consumo real de energía de un edificio en un determinado periodo de tiempo, comparándola con el predicho por el modelo [39], por ende, las soluciones que brindan los diferentes softwares muestran una orientación aproximada de lo real y, por lo tanto, estudiar las diferentes estrategias de mejoras a implementar.

Debido a la amplia gama de parámetros que influyen en el consumo de energía de un edificio, las herramientas de simulación permiten proponer al tiempo que cuantifican estrategias de eficiencia energética, basadas en criterios científicos, para mejorar la eficiencia energética. Por ejemplo, la simulación energética de edificios para conocer el comportamiento de estos con respecto al clima en que se ubica el edificio se ha convertido

en una herramienta esencial a la hora de tomar decisiones que viabilicen las nuevas construcciones o las reformas en edificios existentes [40].

Fathalian et al [41] simularon el consumo anual de energía de un edificio de oficinas en la provincia de Semnan (Irán) utilizando DesignBuilder, los resultados de la simulación coinciden con los registros mensuales de facturación de consumo eléctrico con un error de 1.6%, validando con este factor que el edificio está ajustado y dando paso a proponer diferentes estrategias para disminuir el consumo de energía, la sustitución de ventanas de acristalamiento simple por ventanas de doble acristalamiento con bajas emisiones, la instalación de una lámina de aislamiento térmico en la pared exterior del edificio y el uso de técnicas de sombreado horizontal en el exterior, eliminando cortinas internas. Los resultados muestran que estas estrategias conducen a una reducción de entre el 13% y el 18% en el consumo de energía. Este resultado se valida monitorizando el edificio durante un año.

En Chile, Olmos et al [42] llevaron a cabo un estudio para un edificio donde se utilizaron los softwares de simulación Ecotect, Arshisun y DesignBuilder. El edificio del caso de estudio fue monitorizado por un periodo de 5 días, los datos climáticos reales fueron introducidos en los componentes de DesignBuilder y así obtuvieron valores de consumo energético de manera precisa, tanto en la simulación, como en la monitorización de los mismos días de la medición real.

Eskin y Türkmen [43], [44] realizaron un estudio de investigación en el que simularon las interacciones entre diferentes condiciones, estrategias de control y refrigeración en edificios de oficinas en las cuatro zonas climáticas más importantes de Turquía: verano caluroso e invierno frío, verano cálido y caluroso e invierno cálido, verano caluroso y húmedo y cálido invierno los cuales fueron evaluados a través de un software de EnergyPlus y comparados con valores obtenidos de las mediciones realizadas en un edificio de oficinas ubicado en Estambul, de modo que la diferencia en las cargas de enfriamiento fueron 5%. Los resultados de la simulación ilustran que el efecto de la relación del % del área de ventana con respecto a la pared correspondiente induce a que en la demanda de energía del edificio sea más significativa para todas las ciudades. Los requisitos anuales de energía de refrigeración y los requisitos anuales de energía total de los edificios de oficinas aumentan significativamente con grandes cantidades de acristalamiento en comparación con los edificios con menores cantidades de acristalamiento.

Para reducir el consumo de energía del edificio con respecto a refrigeración, en China se implementaron estándares de energía de construcción obligatorios para nuevos edificios residenciales [45]. Estos estándares requieren una mejora térmica significativa de la envolvente del edificio, paredes externas, techo, ventanas y persianas. Estos estándares de energía del edificio requieren que los arquitectos simulen el rendimiento energético de los edificios diseñados y solo aquellos edificios cuyo rendimiento de ahorro de energía cumple con el estándar de diseño pueden ser construidos. Por lo tanto, la precisión de los resultados de la simulación es fundamental para lograr un edificio energéticamente eficiente. Estos estándares podrían aplicarse para reducir las facturas en la parte del acondicionamiento del aire en una edificación.

Los resultados de la simulación y el análisis energético de un edificio en Kuala Lumpur (Malasia) realizado por Sedeghifam [46], revelaron que los componentes del edificio tienen un efecto importante en el ahorro de energía, tales como, las paredes, las ventanas y los techos, siendo este último la mayor vía de transferencia de calor si no se toman en cuenta los materiales constructivos en climas tropicales. Los resultados indicaron que, en edificios residenciales en regiones tropicales, cambiar los techos y los materiales del techo son la forma más efectiva de reducir el consumo de energía, además, los materiales de las paredes y así conseguir una disminución significativa en la temperatura interior.

D'Oca [47], realizó un estudio en un edificio de oficina de tres plantas en Irán, con un área de 240 m² y un área total de 651.34 m². En el que se tomaron en cuenta las propiedades térmicas de las paredes en el edificio como, la transmitancia solar, reflectancia solar exterior, reflectancia solar interior, transmitancia visible entre otras propiedades. Otros factores tomados en cuenta para la simulación fueron las condiciones climáticas y el horario de ocupación en el edificio bajo estudio debido a que la ocupación del edificio es un parámetro importante que afecta el rendimiento energético del mismo.

Felix et al [48], realizaron un estudio para la RD sobre la comparación de las diferentes zonas climáticas sobre los registros de la temperatura media del bulbo seco y de la humedad relativa recopilada de la minería de datos almacenada cada 30 minutos por un periodo de 18 años (1998-2016) desde La Oficina Nacional de Meteorología de la República Dominicana (ONAMET) [49] y la base de datos del Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL por sus siglas en inglés) del Departamento de Energía de los USA [50] para obtener los valores de temperaturas máximas, mínimas y medias significativas de cada provincia de la RD. Estos datos fueron utilizados para simular y

modelar mediante DesignBuilder edificios tipos en cada zona climática de la RD, para obtener la demanda energética en estos edificios y una visualización del comportamiento actual de estos y el comportamiento a posteriori con la introducción de estrategias de eficiencia energética.

Para poder obtener una veracidad en los datos que se obtienen de DesignBuilder hay que tomar en cuenta los factores de entradas que se han parametrizado en el programa, como los valores de temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad y caudal del viento, entre otros [51], parámetros que son de utilidad para el análisis con miras a poder conseguir edificios ajustados asimétricamente con lo real, ya que es lo esencial para la toma de decisiones al disminuir la incertidumbre, además de la comparación de los resultados del modelado y la monitorización [52].

Los Valores de entradas exigidos y que se deben conocer para introducir en un software de simulación energética son [53]:

- Los datos climáticos, estos son una parte esencial de la simulación energética ya que estos parámetros son los que más impactan en el consumo energético en la edificación.
- Las características constructivas de la envolvente, su geometría y cerramientos.
- Las operaciones y cargas que se encuentra en el edificio estudiado.
- Los equipos de climatización e iluminación como factores de entrada.

Diferentes estudios [54]-[60] muestran la gama de resultados que se pueden conseguir con el software de simulación DesignBuilder, como son la contribución de las diferentes cargas térmicas en cada momento y en cada zona del edificio, aportando la información suficiente para poder identificar los puntos críticos donde el consumo es mayor pudiendo así elegir las medidas de ahorro que mejor se adaptan, tan bien, el estudio y comportamientos de los sistemas de climatización ante cualquier clima, al utilizar datos climáticos reales.

2.1.3. Monitorización de edificios

La monitorización [61] se basa en observar y medir la variación de las principales variables térmicas y de confort del edificio respecto al tiempo. También ayuda en el

control de las instalaciones y puede poner en evidencia anomalías y patologías de la edificación.

La cantidad de energía usada en la refrigeración de un edificio depende de diversos factores, el diseño, la ventilación, la ocupación y la eficiencia de los sistemas de aire acondicionado [62]. Con una simulación precisa en conjunto con la monitorización de edificios existentes se pueden realizar análisis energéticos y económicos que pueden cuantificar de manera correcta y confiable la inversión a realizar para la mejora de la eficiencia energética.

Las temperaturas interiores del edificio están asociadas con la demanda del edificio y a diferentes factores que alteran la carga. Estos factores pueden ser externos (meteorológicos) o internos (como ocupación, iluminación u otras cargas), y su afectación a la dinámica térmica del edificio está restringida por las condiciones de confort establecidas por los usuarios [63]. Además de este factor se debe asegurar el ajuste en la fase de simulación y el monitoreo en la fase de ensayos, de los sistemas de aire acondicionado [64], [65], [66] para tener la relación del cambio de temperatura interior y el consumo de energía del edificio.

Las temperaturas del aire interior y exterior representan dos de las principales variables consideradas en el control del sistema de aire acondicionado de los edificios, también se utilizan para caracterizar el comportamiento energético de la envolvente del edificio en uso, para estimar la demanda energética de los edificios, el nivel de confort de los usuarios, entre otros. En un edificio del nivel terciario ubicado en Leioa (Bilbao) Catalina G., et al [67], realizaron un proceso de monitoreo móvil 3D, donde contaron con un conjunto de datos que diferentes sensores pudieron captar para permitir a posteriori estudiar la incertidumbre de la temperatura del aire interior y exterior, siendo habitual considerar solo la precisión del sensor como la incertidumbre de medida.

En Hong Kong, China, Jia [68] realizó un estudio, sobre sesenta y seis (66) edificios de oficinas. En éste se comparó el uso de energía de refrigeración de dichos edificios desde 2004 al 2013. Los factores examinados en los datos de estos 66 edificios incluyen la relación de aberturas por ventana y la pared, el coeficiente de sombreado, el grosor del vidrio de la ventana, los materiales de la pared y el techo, el coeficiente de transferencia de calor (valor U) y el área del piso con aire acondicionado. Se supuso que el espesor total de ventanas, paredes y techos era equivalente al espesor total de todos los materiales de

construcción utilizados menos las cavidades de aire. Se consideraron otros factores como el tipo de sistemas de aire acondicionado, temperatura interior, densidad de potencia de iluminación, índice de ventilación, coeficiente de operación (COP) nominal de unidades de refrigeración, intensidad de potencia del ventilador del sistema, tipo de sistema de rechazo de calor, tipo de sistema de bombeo y tipo de sistema de control del ventilador. Los resultados arrojaron que el uso de unidades de refrigeración con torres de enfriamiento de agua dulce (FWCT) jugó un papel importante en la mejora de la eficiencia energética. Estas mejoras aplicadas dieron como resultado una disminución de 14.692 kWh/m² a 11.842 kWh/m²

Alireza et al [69], realizó un estudio en un edificio de oficina en Teherán, el edificio se modela y se simula utilizando DesignBuilder para realizar el análisis del desempeño termo energético del edificio, detectando que, debido a sus materiales de construcción convencionales, presenta elevadas pérdidas energéticas. Optimizando los materiales del edificio, redujeron las pérdidas en aproximadamente un 82%. Al optimizar el edificio, consiguieron ahorros de un 1.3% alrededor de 2 MWh/año de total de 153.2 MWh.

Los datos de la monitorización de edificios sirven para poder identificar mejoras en el edificio, ya sea en el envolvente térmico o en las instalaciones de este, para que los usuarios puedan disfrutar de mejores condiciones de confort, aumentando su nivel bienestar y productividad [70]. La monitorización de los consumos energéticos y medidas ambientales existentes en un edificio es el primer paso imprescindible para reducir el costo asociado a ello, además de, ser responsables con el medio ambiente. Es un elemento principal en cualquier auditoría o certificación energética [71].

CAPÍTULO 3

Metodología

Introducción al capítulo 3

Caracterización del parque edificatorio

Elección y caracterización de edificios

Análisis de las medidas de eficiencia energética e implementación en los modelos.

Análisis del impacto de las medidas a nivel de región o país.

3.1. Introducción al capítulo 3

Uno de los mayores retos a nivel mundial en lo que respecta a la eficiencia energética en edificios radica en la aplicación eficaz de estrategias de eficiencia energética tanto sobre las nuevas edificaciones como sobre el parque edificatorio existente. En los países tropicales estas estrategias tienen como objetivo común la reducción del flujo de calor hacia el interior de la vivienda.

Con el fin de conseguir el objetivo anteriormente fijado es necesario disponer de una herramienta de análisis, llamada metodología, que aborde el problema desde un punto de vista global y con criterios científicos, sociales y económicos para el conjunto de países situados entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio.

En este capítulo se describe una metodología que reúne los requisitos anteriormente mencionados, para que pueda ser utilizada por todos los agentes, científicos, políticos, empresariales, administraciones públicas, etc. implicados en el sector de la construcción sostenible, a la hora de analizar las posibles soluciones que podrán aplicar en sus diferentes cometidos.

La metodología propuesta, como se ha indicado previamente, está enfocada a países tropicales y su fin es proveer de una herramienta sistemática que permita el análisis comparativo de la implementación de diferentes EEEs, teniendo en cuenta las diferentes restricciones que el caso práctico concreto pueda requerir.

La metodología propuesta consta de los cuatro pasos generales que se indican en la Figura 4. En esta figura se han representado mediante diagramas de flujos el itinerario a seguir en cada caso de estudio.

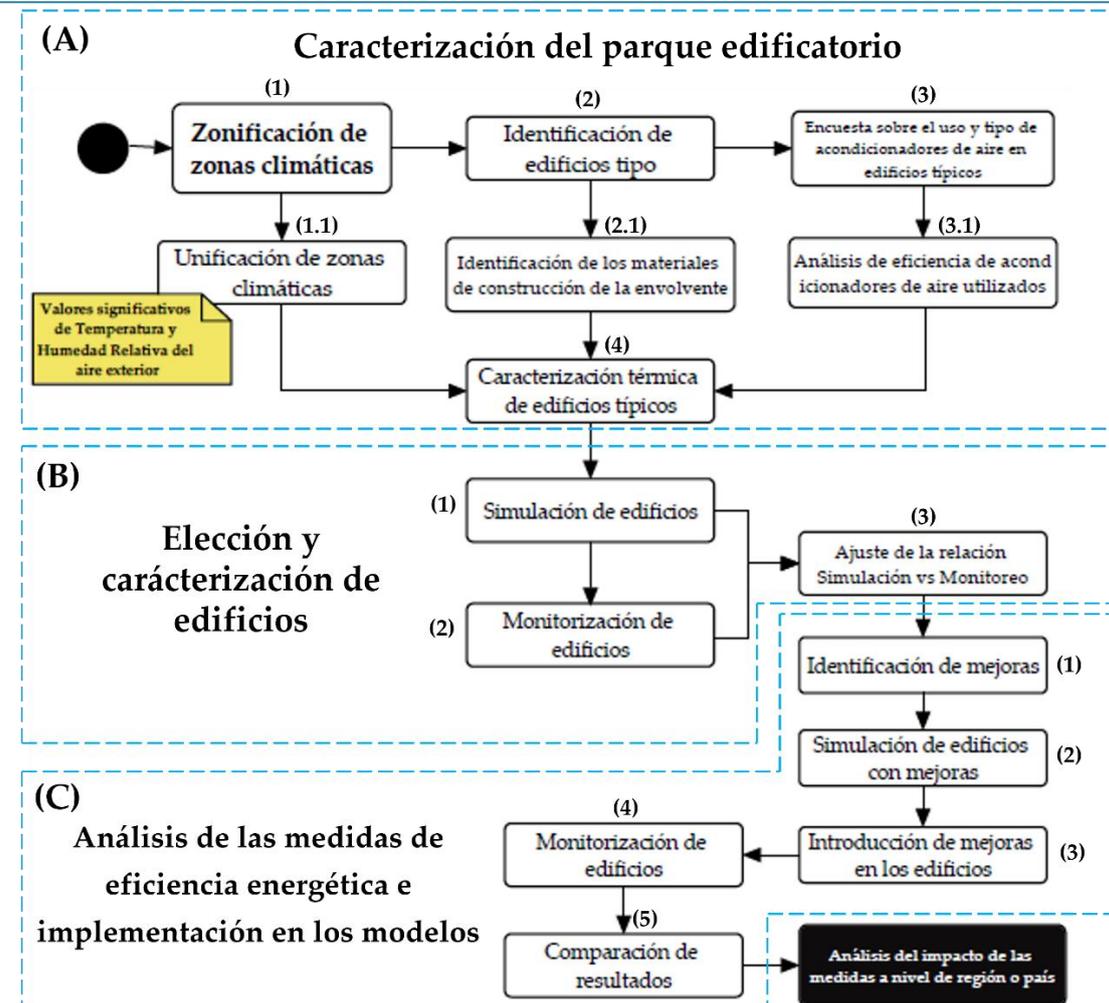


Figura 4: Metodología propuesta para la evaluación del desempeño de la eficiencia energética en latitudes tropicales. Los bloques (A-C) describen los pasos a seguir para el análisis del impacto de las medidas a nivel de región o país

- ▼ BLOQUE (A). En este primer paso se analizan las características del caso de estudio. Su objetivo es caracterizar los elementos que afectan a la eficiencia energética, como son la climatología, el edificio o el parque edificatorio, según sea el caso de estudio, y los hábitos de uso que los usuarios de los edificios, si los hubiese, tienen a la hora de interactuar con el edificio y con sus instalaciones térmicas. Como resultado de este bloque A se obtiene un conocimiento exhaustivo o caracterización completa de las afecciones externas, así como de la tipología edificatoria del caso de estudio.
- ▼ BLOQUE (B). El objetivo del segundo paso es disponer de un modelo informatizado y validado del caso de estudio. Dependiendo de las

características del caso de estudio este segundo paso puede empezar por la elección de uno o varios edificios tipo representativos del caso de estudio. Una vez determinado(s) el(los) edificio(s) tipo se deberán acometer las dos acciones principales de este paso, la modelización mediante un software de simulación energética de edificios y la monitorización del(os) edificio(s) reales. Esta monitorización deberá comprender las dos estaciones características de climas tropicales, la seca y la de lluvias. Para finalizar este bloque se procederá a validar el modelo informático del edificio mediante la comparación con los datos obtenidos de la monitorización, obteniéndose, por lo tanto, un modelo informatizado y validado sobre el que operar en el bloque C.

- ▼ BLOQUE (C). En este paso se analizan e implementan las EEEs, que pudiesen ser de aplicación, teniendo en cuenta las restricciones del caso de estudio, sobre el modelo informatizado obtenido en el paso anterior y se realiza un primer análisis del impacto de las mismas. Posteriormente, si el caso de estudio así lo requiere, esto depende principalmente del alcance del mismo, se procederá a implementar las EEEs en el(os) edificio(s) tipo seleccionado(s) en el bloque B y a realizar otra monitorización completa del(os) mismo(s), incluyendo, como se ha explicado anteriormente las dos estaciones tropicales. Finalmente, la comparación de los resultados de la monitorización con los de la simulación permitirán, en su caso, la validación de la inclusión de las EEEs. Este bloque da como resultado la comprobación de la efectividad de las EEEs en el(os) edificio(s) tipo.
- ▼ El último paso de esta metodología es optativo y depende por completo del alcance del caso de estudio. Se alimenta de un modelo informatizado y validado (bloque B) y de la validación de la implementación de diferentes EEEs (bloque C) y permitirá, generar políticas o estrategias empresariales, por ejemplo, a los promotores del caso de estudio.

3.2. Metodología

La metodología propuesta comienza con una contextualización detallada de los tres elementos claves requeridos en la mejora de la eficiencia energética (A, B, C) en el sector

de la edificación en un país o región geográfica específica, es decir, la climatología, la tipología del edificio y las instalaciones energéticas.

3.3. Caracterización del parque edificatorio

A.1 Teniendo en cuenta que el objetivo final de cualquier tipo de edificación es proteger a sus usuarios de las inclemencias meteorológicas, es evidente que el conocimiento detallado de los factores determinantes de climatología sobre las edificaciones en las diferentes zonas climáticas de un país, o una región concreta, es fundamental para abordar el problema de la mejora energética en el sector de la edificación.

Es por ello por lo que se identifican los dos factores que son fundamentales al estudiar los tipos de climas, la temperatura y la humedad relativa del aire. Estos son los dos factores que más inciden en el consumo de energía asociado a la edificación [48], aunque, evidentemente, existen otros factores que también impactan en el comportamiento de las edificaciones, pero en menor medida.

También es importante conocer la tipología de los edificios en las diferentes zonas climáticas identificadas (A.2), además de, analizar las propiedades de los materiales (A2.1.) que componen la construcción ya que estos influyen en la transferencia de calor hacia el interior del edificio y su análisis para futuras propuestas de mejora, ya que es un factor fundamental al estudiar un edificio.

Para finalizar con la sección de la caracterización, se debe realizar un análisis de los diferentes sistemas de climatización instalados en los edificios (A.3), incluyendo el análisis de los criterios de uso adoptados por los usuarios y el análisis de eficiencia energética de estos equipos (A3.1.).

Dependiendo del caso de estudio este estudio se puede enfocar desde distintos aspectos, pero su objetivo final es conocer el consumo energético de las instalaciones existentes. Es evidente que, además del conocimiento técnico de las instalaciones, el conocimiento de cómo interactúa el usuario con las mismas es importante a la hora de establecer las diferentes estrategias.

Las bases de datos de edificaciones existentes y de sus consumos energéticos constituyen una de las principales vías para la obtención de información necesario. Esta

información también puede ser complementada con encuestas específicas dirigidas a los sectores de población objeto del estudio y utilizando los muchos métodos de encuestas que existen.

Al finalizar esta primera fase del estudio se deben conocer tanto las zonas climáticas como, en términos generales, la tipología de los edificios, sus consumos medios y el uso que normalmente se hace de las instalaciones de AC.

3.4. Elección y caracterización de edificios

El objetivo final de este segundo paso es obtener un modelo informatizado y validado de uno o varios edificios ubicados en las diferentes zonas climáticas.

En este caso también es evidente que dependerá del alcance del caso de estudio en particular la elección de los edificios tipo, pero una vez seleccionado(s) se deberá proceder, en paralelo a monitorizar el edificio durante un ciclo completo con el fin de obtener datos reales de su comportamiento, al mismo tiempo se procederá a la introducción del edificio en un software energético tipo DesignBuilder.

La elección del edificio tipo se hará con el criterio general de que sea un edificio similar en todos los aspectos al “tipo” caracterizado en la sección A, es decir, deberá ser un edificio representativo del caso de estudio que se esté analizando.

La monitorización del edificio se hará durante un año climatológico completo, por lo que no deberá interferir con el normal funcionamiento del edificio y los usuarios deberán continuar haciendo el mismo uso de las instalaciones que venían haciendo. Las variables a monitorizar deberán ser, al menos, la temperatura exterior, una o varias temperaturas interiores significativas, es decir, correspondientes a estancias comunes y no situadas dentro de la acción de focos de calor, como ventanas, salidas del Aire Acondicionado (AA), etc, la humedad relativa interior y el consumo energético.

Una vez realizado el monitorizado del edificio se utilizarán los resultados del proceso para:

1. Comparar los resultados de la medición con los datos macroscópicos generales obtenidos en la primera fase (A) de la metodología para determinar las posibles desviaciones que deban considerarse en posteriores análisis.

2. Validar el modelo informatizado mediante las regulaciones de las variables del edificio para ajustar energéticamente el edificio modelizado al edificio real. El fin último en esta parte de la metodología es la obtención de un modelo fiable del edificio real en el que se puedan implementar las EEEs y evaluar la respuesta del mismo.

Al término de esta fase de la metodología se deberá disponer de:

- A) Datos medios del comportamiento energético del edificio “tipo”, obtenidos en la fase (A).
- B) Datos reales del comportamiento energético de un edificio real muy similar al edificio “tipo”, obtenidos mediante monitorización en tiempo real del edificio.
- C) Un edificio modelizado energéticamente cuyo comportamiento replica, aceptablemente, el comportamiento del edificio real.

3.5. Análisis de medidas de eficiencia energética y su implementación en los modelos (C)

La fase final de esta metodología se centra en el estudio pormenorizado de las EEEs que pueden ser de aplicación en el caso de estudio y en el impacto que la implementación de las mismas supondrá.

En primer lugar, se deberán identificar las diferentes EEEs, teniendo en cuenta las restricciones que el caso de estudio pudiera presentar tanto en el aspecto económico como social y comercial. Este análisis deberá ser lo más exhaustivo posible y debe conducir a la disponibilidad de un listado de medidas documentado y detallado.

Posteriormente se realizará un análisis de viabilidad de las diferentes EEEs sobre el edificio simulado, analizando el impacto sobre la eficiencia energética del edificio de cada EEEs en particular y analizando los posibles escenarios que pudieran darse en el caso de estudio.

Una vez analizados los posibles escenarios se elegirá aquel que sea más conveniente para el caso de estudio y se pasará al siguiente paso que consiste en la implementación de

las EEEs elegidas en el edificio real y una nueva monitorización del edificio, con las medidas implementadas, durante un nuevo año climatológico.

Los datos recopilados en esta segunda monitorización valdrán para completar el análisis de validación de la implementación de las EEEs, concretamente analizando la desviación entre impacto de las mejoras sobre el modelo informático y el impacto de las mejoras sobre el edificio real.

3.6. Análisis del Impacto de las Medidas a Nivel de Región o País

Finalmente, un análisis detallado del impacto de las medidas a diferentes niveles económico, social, comercial, etc. puede ayudar a gestionar las políticas de ahorro energético a nivel regional o nacional.

Con esta metodología se pueden alcanzar niveles aceptables en la mejora de la eficiencia energética de edificios que pueden estar dentro de la norma ISO 7730. Además, se dispone de una herramienta científica y sistemática para abordar la mejora de la eficiencia energética en países o regiones tropicales.

En el siguiente capítulo se aplica esta metodología a un caso específico de estudio para demostrar la validez de la misma.

CAPÍTULO 4 Caso de estudio

Introducción al capítulo 4

La República Dominicana

Caracterización del Parque Edificatorio para el caso de estudio

Elección y caracterización de edificios

Análisis de las medidas de eficiencia energética e implementación en el modelo del caso de estudio.

4.1. Introducción Capítulo 4

Con el fin de validar la metodología propuesta se ha seleccionado un caso de estudio situado en la RD que, evidentemente, es representativa de un típico clima tropical.

Concretamente se ha planteado el análisis de la posibilidad de la mejora de la eficiencia energética de edificios dedicados a actividades comerciales con una o dos plantas construidas. Estos edificios constituyen el 57.8% de los edificios comerciales del País [72].

Estos edificios son regentados, en su inmensa mayoría, por pequeños empresarios. Se caracterizan por un elevado consumo de electricidad derivado del empleo de instalaciones de acondicionamiento de aire. Además, la capacidad de inversión está muy limitada y cualquier actuación sobre los mismos no puede limitar la actividad comercial.

Para abordar este estudio se seguirán las pautas marcadas en el capítulo 3 y que definen la metodología que se propone en esta tesis doctoral, se procederá a la zonificación climática de la RD, se caracterizaran los edificios atendiendo a la tipología de ellos mismos y se realizara un análisis de las tendencias de uso de estos.

Como segundo paso se elegirán los edificios tipos representativos de las diferentes zonas climática y se procederá a la elección de uno de ellos para ser monitorizados y modelado en DesignBuilder. La validación se hará comparando los datos obtenidos de la monitorización con los resultados aportados por el simulador.

Como tercer paso se analizarán, de acuerdo con las condiciones estipuladas en los párrafos anteriores, de las estrategias de eficiencia energética aplicables en este caso.

Finalmente se procederá a la instalación de estas medidas energéticas en el edificio monitorizado previamente y se volverá a realizar otra monitorización completa. Simultáneamente se procederá a una nueva simulación en DB del edificio equipado con las EEEs y se realizará una comparación nuevamente de los datos obtenidos de la monitorización con los resultados de la simulación.

La finalidad en la aplicación de esta metodología es mostrar el potencial de esta mediante la evaluación del diseño actual de los edificios, la simulación, la monitorización y adecuación en los puntos identificados con EEEs de baja intrusión, primero desde un análisis simulado hasta su aplicación real y así conseguir lograr una eficiencia en el consumo energético de los edificios.

4.2. La República Dominicana

República Dominicana es un país ubicado en la zona central del mar Caribe, de acuerdo con la disposición de las Antillas, la capital es Santo Domingo de Guzman, la administración del país se divide en tres grandes regiones y 32 provincias que albergan cerca de 10.358 millones de habitantes aproximadamente según las estimaciones del año 2019 de la Oficina Nacional de Estadística [73].

La RD tiene como principales ejes económicos el turismo, reportando en el año 2019 un 36.4% de los ingresos del país [74], la educación, la sanidad y la administración pública, en todos ellos la actividad se desarrolla en edificios terciarios, es decir, los edificios que tienen como finalidad la prestación de servicios al público, a las empresas u organismos, tales como los servicios de alojamiento temporal, comercio en sus diferentes formas, información, administración, gestión, actividades financieras u otras similares.

Por las características climáticas de la RD, aproximadamente el 58% de estos edificios están equipados con sistemas de climatización convencionales [72], lo que hace que el gasto representado en la factura eléctrica del país sea elevado, representando el 23% del consumo energético en este sector [16].

Cabe destacar que dichas instalaciones trabajan cuando se producen los picos más elevados de temperatura debido a que operan en conjunto con el sol y, por lo tanto, se requiere de un trabajo más elevado por parte de los acondicionadores de aire para vencer las cargas térmicas de esos lugares para llevar la temperatura interior de los edificios a una zona de confort, provocando, consecuentemente, un incremento del consumo eléctrico.

En la actualidad los equipos de climatización convencionales se presentan accesibles en la sociedad dominicana, pero los gastos operativos de estos son

elevados, reflejándose en un elevado costo en electricidad. Más aún cuando las actividades diarias en el espacio a utilizar requieren un confort aceptable por el público en general, debido a la climatología del país estos equipos son imprescindibles y exigibles en este tipo de edificaciones.

Por estos motivos, en esta tesis se presentan análisis, propuestas y/o estudios para favorecer la eficiencia energética de los sistemas tradicionales para el sector comercial de la RD, y con la implementación de Estrategias de Eficiencia energética, que sean a favor tanto a nivel ambiental, como económico para el país y la sociedad.

4.3. Caracterización del Parque Edificatorio para el caso de estudio

La RD posee un clima tropical y por ello una importante demanda energética [75], principalmente para el funcionamiento de los equipos de aire acondicionado [76], [77].

El conocimiento detallado de las diferentes zonas climáticas es fundamental para mejorar la eficiencia energética de los edificios. Por lo tanto, Peña et al. [78] realizó el primer trabajo conocido de zonificación climática para la República Dominicana, y Félix et al. [48] contribuyó con un estudio más detallado que permitió una nueva reestructuración y unificación de las anteriores zonas climáticas con criterios basados en las variables climáticas más influyentes en la gestión energética de los edificios, es decir, la temperatura exterior y la humedad relativa del aire.

También es importante conocer la tipología edificatoria en las diferentes zonas climáticas. En este contexto, es importante destacar el trabajo realizado por Peña [79] al identificar las diferentes tipologías edilicias de RD y asociarlas a las zonas climáticas.

4.3.1. Zonificación de zonas climáticas de la República Dominicana

Con referencia a los pasos A1 y A1.1 de la Figura 4, se realiza la zonificación climática de la RD.

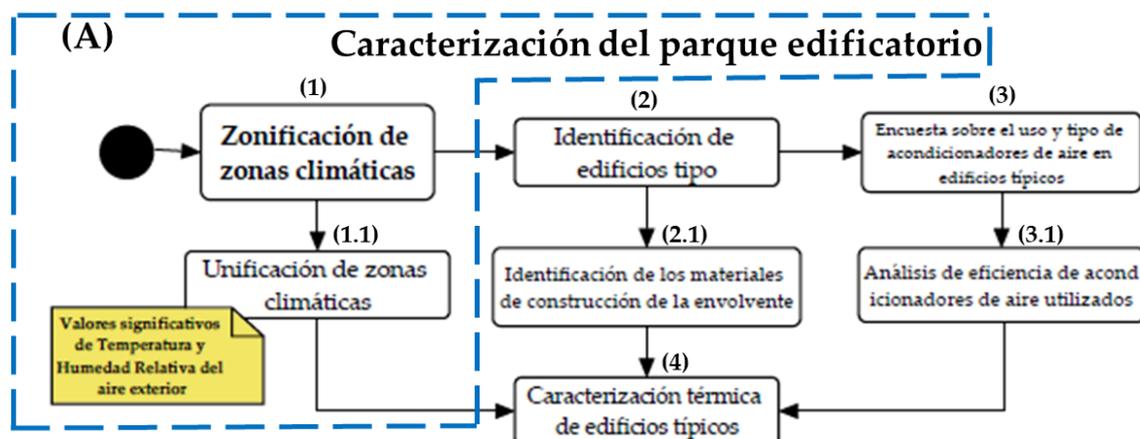


Figura 5: Pasos A1 y A1.1. Zonificación de zonas climáticas y unificación de zonas climáticas

La zonificación climática, en materia de eficiencia energética, es uno de los factores más importantes para tener en cuenta cuando se busca satisfacer el confort deseado por los ocupantes de una edificación. Existen una serie de países, entre los que se encuentra la RD, que, por su ubicación, enfrentan elevadas temperaturas ambientales durante todo el año. Si a esta situación, se une al alto consumo energético asociado a los sistemas de climatización convencionales y altos costos de la tarifa eléctrica entonces, se evidencia la necesidad de trabajar en el estudio, selección e implementación de estrategias en la envolvente para la rehabilitación de edificios existentes y establecer los inicios para que se puedan realizar normas de construcción de para nuevos edificios.

Los organismos de la RD destinados a la aplicación de límites ante la demanda energética en la edificación no han logrado asentar bases sobre este tema, por lo que es preciso establecer, racionalmente, una cierta limitación en el consumo energético de los edificios. Esta limitación no puede resolverse sin caracterizar climáticamente el territorio dominicano. En consecuencia, este estudio describe una clasificación climática imprescindible para el análisis de rendimiento y toma de decisiones en cuanto a eficiencia energética. Un elemento importante para el estudio fue la selección del método de clasificación climática.

En primera instancia se caracterizó todo el territorio de la RD, utilizando los registros de la temperatura media del bulbo seco y de la humedad relativa recopilada cada 30 minutos y recolectada durante un periodo de 18 años (1998-2016). Para la recopilación de estos parámetros se acudió a los registros facilitados por la ONAMET [49] y la NREL del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América [50]. Se logró la caracterización climática de las 32 provincias de la RD y de otros puntos turísticos indicados como importantes en la isla. Este resultado posibilitará del desarrollo de posteriores estudios dirigidos a plasmar estrategias locales para modelar y verificar edificios tipo en materia energética.

La zonificación climática generalmente se adopta para definir características de construcción de edificios de una forma adecuada de la mano con la eficiencia energética [80], sin embargo, no existe una técnica científica ampliamente aceptada para la caracterización climática [81]. Este proceso está condicionado por las particularidades de cada país y el estado de sus programas de energía del edificio.

Diferentes métodos para realizar clasificaciones climáticas se encuentran registrados, pero no todos son los más adecuados para implementar en países con diferentes latitudes en la que se ha desarrollado. Mencionamos el ejemplo de la metodología utilizada en el Código Técnico para la Edificación de España (DB-HE) [82], el cual muestra la clasificación climática según el resultado de severidades climáticas en cada temporada del año, llámese invierno o verano, utilizando una temperatura base establecida en 18 °C y unos coeficientes de regresión ya calculados y estandarizados para ese país. Dicho método al tratar de implementarlo en latitudes como la que se encuentra la República Dominicana N 19°0'0", colocan estos países en la misma categoría de clasificación con el rango de severidad climática de verano, además de que los coeficientes de regresión en el DB-HE ya están establecidos para utilizarlos según los meses del año en que en España se marca el periodo de verano, o sea, desde el mes de Junio hasta Septiembre y en la RD todos los meses del año es requerido el enfriamiento pues aunque las temporadas de noviembre a abril son las menos calurosas, el supuesto "invierno", en solo unas pocas zonas que se encuentran en gran altura se perciben temperaturas bajas pero manejables como para no requerir calentadores. En las demás zonas la temperatura media ronda por los 26.3 °C de media.

En otros países han utilizado el método internacional ASHRAE Standard 90.1-2007 [83], [84], método utilizado en Norteamérica, en el cual establecen la clasificación climática para uso de refrigeración en base a 10 °C, utilizando la sumatoria de los grados días de refrigeración se clasifican en rangos de clima muy caliente y caliente, esto con el parámetro de la temperatura del bulbo seco y con relación a las precipitaciones incidentes se realizan clasificación es de clima húmedo, seco o marino. La implementación de este método para clasificar el clima en la RD arrojaría resultados confusos a la hora de utilizar los mismos para generar las soluciones de climatización en cada zona, esto por la temperatura base ya establecida en este método, aclaran que algunas advertencias están en orden con respecto a la aplicación de la clasificación fuera de los Estados Unidos [5], sin embargo, se podría utilizar para determinar el grado de que tan húmeda o seca es una zona.

La temperatura es una de las variables climáticas más utilizadas para la realización de una zonificación climática. Estudios revelan que el 56% de los casos utilizan la Temperatura del aire como parámetro principal a la hora de realizar una clasificación de clima de un país [81]. Generalmente se le considera un indicador importante ante la

demanda de energía de los sistemas de aire acondicionados (HVAC por sus siglas en inglés).

La falta de regulaciones impulsa a que la RD este dentro de los países con gran interés en la implementación de una caracterización climática sin inclinación hacia ninguna metodología existente.

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado para la elección de la metodología aplicada para la clasificación climática de la RD realizado en este caso de estudio.

4.3.1.1. Breve descripción de la clasificación climática en la República Dominicana según köppen-geiger

Actualmente la clasificación climática encontrada en registros mundiales y la más utilizada en países sin ninguna clasificación establecida para obtener algunos datos térmicos, es la clasificación de Köppen Geiger [85], la cual incluye definiciones cuantitativas para categorías de clima basadas en índices de temperatura y precipitación y utiliza códigos de dos y tres letras para designar tipos de clima. La clasificación se denomina "empírica" porque está diseñada para ser descriptiva más que explicativa [86].

Según la clasificación climática de Köppen-Geiger, la RD se encuentra en una zona climática tropical, donde se puede clasificar en tres zonas, AF, AW y AM.

Clima A: Se caracteriza porque todos los meses tienen una temperatura media superior a los 20 °C y las precipitaciones anuales son superiores a la evaporación (unos 2500 mm anuales en promedio en el ecuatorial hasta los 1200 mm en las sábanas). Bajo estas condiciones se suelen dar las selvas y los bosques tropicales.

La segunda letra hace referencia al régimen de precipitaciones:

- ▼ F: precipitaciones constantes. Completamente húmedo
- ▼ M: precipitaciones constantes excepto algún mes seco y precipitaciones exageradas en algunos meses.
- ▼ W: periodo seco en invierno.

Dentro de los climas AF se puede citar la provincia de La Vega de la RD, en la que el clima que influye en la misma es de alta vegetación verde y es una de las provincias más húmedas. En la clasificación AW según esta clasificación y descripción se incluyen las provincias del noreste de la RD, zonas como Samaná, María Trinidad Sánchez entre otras. Dentro de las zonas AM se incluyen provincias como Santiago de los Caballeros y Santo Domingo.

4.3.1.2. *Temperatura Base*

Las características térmicas de un edificio y las condiciones climáticas locales influyen en la determinación de la temperatura del punto de referencia, y cada edificio puede tener su propia temperatura de punto de referencia cuando utiliza el método de grados día. Por lo tanto, es importante seleccionar una temperatura base apropiada para los cálculos basados en grados-día.

La temperatura base representa la temperatura en la cual debe existir un balance energético tal en el objeto de análisis (edificios residenciales, comerciales, industriales, etc.) en que no se requiera calefacción ni enfriamiento para obtener una sensación agradable para sus ocupantes, aunque esta no dependa íntegramente del parámetro temperatura, pero sí de factores relacionados con ella directa o indirectamente.

La temperatura del punto de referencia no es un valor fijo, sino un valor variable que depende de los factores de condiciones climáticas externas (temperatura, humedad, radiación solar, viento, entre otras).

En países semejantes en climatología a la RD fue estudiada y establecida la temperatura base, podemos citar lo establecido en el código de edificación de Puerto Rico, donde declaran la temperatura base para este país de 23.8 °C [87].

De igual forma fue verificado un estudio realizado en la isla de Cuba donde establecen la temperatura base de 23.6 °C, con el que implementaron técnicas de cálculo para la determinación de los grados días de refrigeración requeridos durante todo un año [88].

En un estudio realizado por Peña et al. [89] muestran los resultados de 65 puntos con datos climáticos de 18 años (1998-2015) de la RD, concluyendo con que el 81.54% de las estaciones tienen una severidad climática cálida para todo el año, el 13.85% tienen una

severidad climática templada de noviembre a marzo y cálida de abril a octubre, y el 4.61% la tienen templada durante todo el año. La temperatura media mensual de bulbo seco más baja fue de 19.49 °C en el mes de enero y correspondiente a la estación La Castilla, que se encuentra ubicada a 1.127 msnm. Por el contrario, a la estación de Monte Cristi le corresponde la temperatura media mensual de bulbo seco más alta de 28.08 °C en el mes de agosto. En consecuencia, en el intervalo [19.49 °C; 28.08 °C] se encuentran todas las temperaturas medias mensuales de las 65 estaciones.

4.3.1.3. Metodología utilizada para determinar tipos de zonas climáticas en República Dominicana

En busca de la mejor clasificación que se pudiera adaptar para la RD, se realizó una búsqueda literaria de proyectos realizados en países comprendidos en el litoral de del Trópico del Cáncer como se muestra en la Figura 6. Países como Hainan (China), Filipinas, Vietnam, La India, Cuba, Puerto Rico y Tailandia, fueron verificados, siendo este último país (Tailandia) la selección encontrada como la más apropiada para la realización del estudio ya que utilizan la clasificación de sus zonas climáticas es según severidad de temperatura y humedad relativa más frecuentes durante un periodo de tiempo.

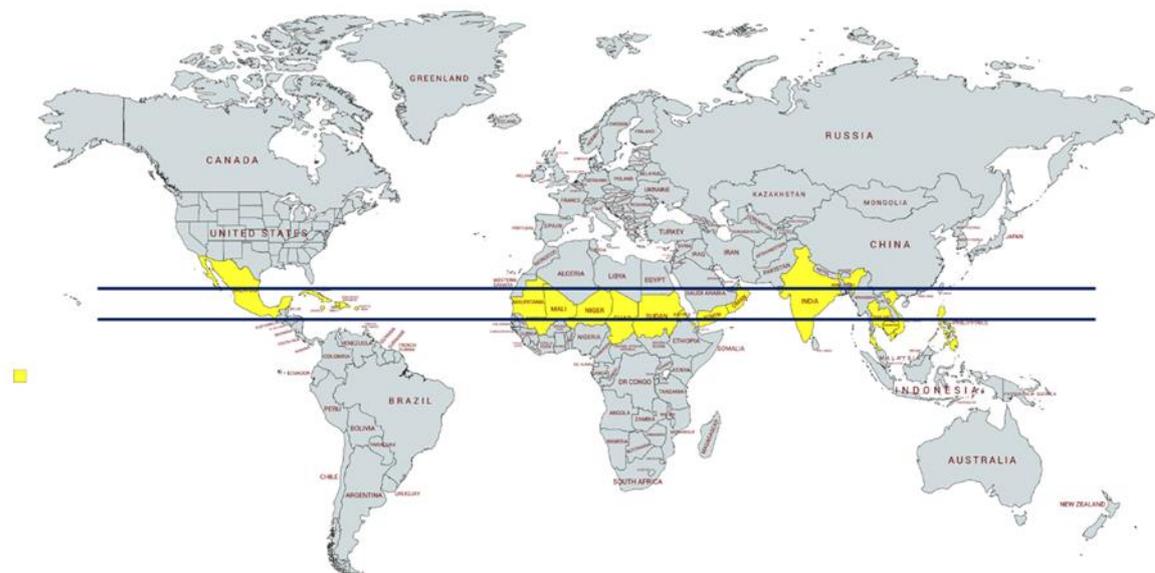


Figura 6: Línea del rango establecido para la selección del país de referencia en clasificación climática

A pesar de que la isla de Puerto Rico tiene clima semejante al de la RD, la clasificación de esta se realizó según la norma ASHRAE Standard 90.1-2007 [83], [84], la misma no se tomó en cuenta como referencia para aplicar en la RD, ya que esta clasificación climática está basada en un índice de grados días de refrigeración en base 10 °C (índice de referencia para los países de Norteamérica), por consecuencia es un índice que castiga al seleccionar cualquier estrategia en países tropicales que necesitan en la mayor parte del tiempo refrigerar para alcanzar el confort deseado como es el clima de la RD.

Por otro lado se encuentran los índices de severidad climáticas de España que se presentan en el (DB-HE) [82], al utilizar este método, aproximadamente el 80 % de todas las provincias entrarían en el rango de tipo de clima A4 [89], pero como para el cálculo de estos índices se usan unas constantes de regresión ya establecidas para el tipo de clima de este país, que sufre temporadas tanto de fríos extremos como de calor en ciertos meses del año, no se toma en cuenta como una buena estrategia para implementar en la clasificación climática de las provincias de la RD y poder aplicar en este estudio.

A continuación, se describe una caracterización climática utilizando la metodología descrita en un estudio previo realizado en Tailandia [90] mediante la que distribuyen las zonas climáticas con los factores que más impactan en el estado de confort en la edificación, la temperatura (T) del aire ambiente y la Humedad Relativa (HR).

La clasificación climática realizada según el procedimiento utilizado en Tailandia consiste en un método de distribución de frecuencias regular y relativa de la temperatura del bulbo seco y la humedad relativa del aire.

Los datos de temperatura y HR fueron obtenidos de los registros brindados por la ONAMET [49], y la NREL del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América [50]. Los mismos fueron obtenidos desde el año 1998-2016 (18 años), con valores comprendidos en 30 minutos, es decir, 00:00, 00:30, 1:00, 1:30 horas todos los días.

Para determinar la distribución de frecuencia regular y relativa se concretó el siguiente método aplicado a cada provincia individualmente [91]:

Los valores máximos y mínimos extremos de la temperatura del aire y la humedad relativa fueron identificados para cada una de las 32 provincias más un distrito municipal.

Se obtiene el valor del número (N) total de datos a ser utilizados para el estudio, teniendo en cuenta que los valores duplicados en cuanto al mismo valor durante un día deben ser eliminados.

Se calcula el rango (R), este valor es obtenido de la diferencia entre la temperatura máxima (T_{max}) y la temperatura mínima (T_{min}):

$$R = T_{max} - T_{min}$$

Se calcula el número total de intervalos (K). Es la cantidad de intervalos en que se dividirá la distribución de frecuencia. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$K = 1 + 3.22 * \log (N)$$

Para el cálculo de este valor se tuvo en cuenta redondear las cantidades con decimales para obtención de un número entero y además de que sea impar.

Amplitud (I): Es la amplitud entre los rangos para la distribución de frecuencias. Se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$I = \frac{R}{K}$$

Aplicando este método se procedió a la construcción de una tabla de distribución de frecuencia para cada provincia, con la que se pudo clasificar según el índice del valor significativo, valor establecido por la norma ASHRAE 90A-1980 [92], como indicación de si se rechaza o se acepta una muestra. Esta establece que son tomados como aceptables y significativos valores con el rango mayor o igual a 2.5% en la distribución de frecuencias.

4.3.1.3.1. Resultados de zonas climáticas identificadas

Para cada provincia se obtuvo el valor significativo como máximo y mínimo tanto de temperatura como HR. Los valores correspondientes se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1: Valores de temperatura y Humedad Relativa significativos por provincias (data 1998 -2016)

No.	Provincia / Distrito Nacional/ otros puntos de interés	Región	Lat.	Long.	T _{min}	T _{max}	HR _{min}	HR _{max}
1	Dajabón	Cibao	19.57	-71.66	20	34	40	100
2	Duarte (San Francisco de Macorís)	Cibao	19.29	-70.26	20	33	47	100
3	Español (Moca)	Cibao	19.41	-70.54	20	33	47	100
4	Hermanas Mirabal (Salcedo)	Cibao	19.37	-70.42	19	34	44	100
5	La Vega	Cibao	19.21	-70.50	17	31	42	100
6	María Trinidad Sánchez (Nagua)	Cibao	19.37	-69.86	21	32	55	100
7	Monseñor Nouel (Bonao)	Cibao	18.93	-70.42	17	31	42	100
8	Monte Cristi	Cibao	19.85	-71.66	22	32	58	100
9	Puerto Plata	Cibao	19.77	-70.70	21	32	54	100
10	Samaná	Cibao	19.21	-69.34	23	31	60	100
11	Sánchez Ramírez (Cotuí)	Cibao	19.05	-70.14	20	34	38	100
12	Santiago	Cibao	19.45	-70.74	18	34	42	100
13	Santiago Rodríguez (Sabaneta)	Cibao	19.49	-71.34	19	34	32	100
14	Valverde (Mao)	Cibao	19.57	-71.06	20	34	38	100
15	Distrito Nacional	Este	18.49	-69.90	21	32	49	100
16	El Seibo	Este	18.77	-69.02	23	32	55	100
17	Hato Mayor	Este	18.77	-69.26	22	33	51	100
18	La Altagracia	Este	18.65	-68.70	23	32	50	100
19	La Romana	Este	18.41	-68.98	23	32	52	100
20	Monte Plata (Bayaguana)	Este	18.81	-69.78	21	35	44	100
21	San Pedro de Macorís	Este	18.49	-69.30	22	33	48	100
22	Santo Domingo Este	Este	18.49	-69.86	22	33	50	100
*	Punta Cana	Este	18.61	-68.38	24	30	68	100
23	Azua	Sur	18.45	-70.74	18	30	52	100
24	Bahoruco (Neiba)	Sur	18.49	-71.42	20	32	41	100
25	Barahona	Sur	18.21	-71.10	21	30	56	100
26	Elías Piña (Comendador)	Sur	18.85	-71.70	18	33	29	100
27	Independencia (Jimaní)	Sur	18.49	-71.86	19	34	40	100
28	Pedernales	Sur	18.05	-71.74	21	31	55	100
29	Peravia (Baní)	Sur	18.29	-70.34	22	31	59	100
30	San Cristóbal	Sur	18.41	-70.14	21	32	51	100
31	San José de Ocoa	Sur	18.53	-70.50	19	32	51	100
32	San Juan	Sur	18.81	-71.22	17	32	35	100

Se observa que, aunque las provincias están ubicadas en una misma región, la variación de la temperatura y humedad relativa es notable, esto puede deberse a las zonas con grandes bosques y en algunas montañas de poca altura.

A partir de estos valores se realizó una distribución por niveles de intervalos para clasificar las provincias desde el punto de vista de temperatura. Se muestra en la Figura 7, la clasificación para las provincias según el grado de temperaturas.

En esta clasificación se puede observar ocho zonas de temperaturas, tomando como referencia la temperatura mínima extrema y significativa como patrón de inicio.

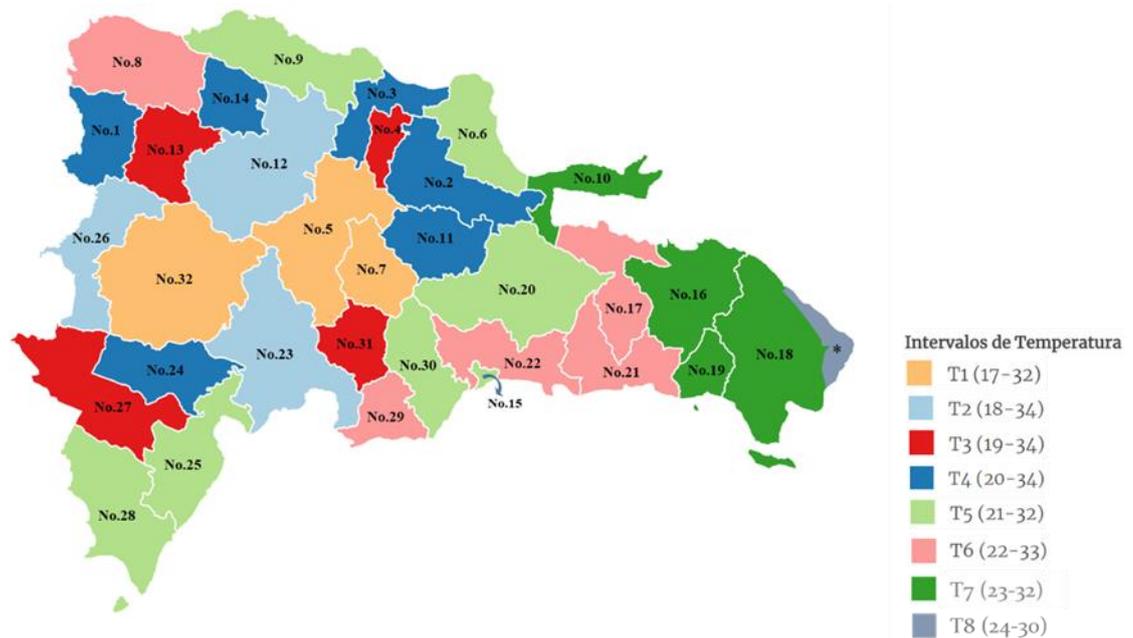


Figura 7: Clasificación climática de las provincias según el grado significativo de temperatura máxima y mínima

Tomando como referencia lo que indica el DB-HE [82], donde presentan una metodología para realizar el cálculo de severidad climática de invierno en el caso de requerir calentamiento o severidad climática de verano para refrigerar, con un índice de temperatura base ya establecido, buscando calcular los grados-día como un medio para contabilizar el confort térmico interior de un edificio, lo que significa que es la temperatura exterior la que separa los tiempos en que un edificio necesita refrigeración o cuando no es requerida. Por ejemplo, si tomamos como temperatura de consigna (temperatura base) de 23.6 °C [88], como lo que se busca es refrigeración si la temperatura exterior promedio en un día determinado es de 28 °C, entonces el valor de grado día de refrigeración sería de 4.4 °C y, por lo tanto, el sistema de enfriamiento debe operar para enfriar el edificio en 4.4 °C hasta llegar a 23.6 °C. Específicamente, el calor que

sale o entra al edificio se debe a la diferencia entre la temperatura interior del edificio y la temperatura en que se encuentra en el exterior el ambiente.

De igual forma se realizó la clasificación para las provincias según el grado de humedad relativa significativa como se muestra en la Figura 8. Esta división de clima correspondiente a al nivel de humedad relativa significativa que incide en las diferentes provincias para dar a conocer el nivel de incomodidad que podrían tener los usuarios al relacionar esta con la temperatura, sumado el nivel de humedad más las ganancias térmicas en el interior de una edificación, crean un nivel de insatisfacción que provoca la utilización de equipos de climatización en niveles de ineficiencia:

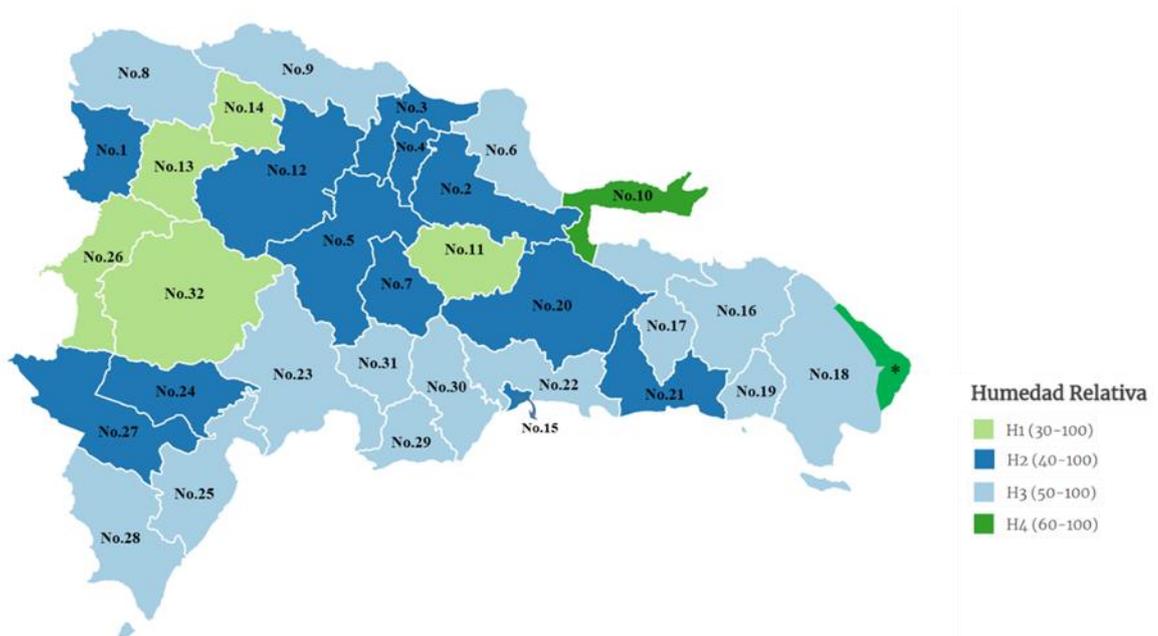


Figura 8: Clasificación climática de las provincias según el grado significativo de Humedad Relativa

Se muestra en la Figura 8 como las provincias de las costas son las impactadas con el grado de humedad más alto, alcanzando niveles mínimos de 50% y máximos de 100%. Según estudios consultados, los índices de temperatura y humedad relativa para mantener un ambiente de confort dentro de las edificaciones deberían rondar por los 23°C a 25°C de temperatura y 45% - 60% de humedad relativa [93]. Indican que estos parámetros garantizan el confort para las personas. Verificando los datos arrojados como significativos en todas las zonas llegan a un máximo de 100% de humedad relativa, por lo

que se hace necesario pensar en este parámetro a la hora de seleccionar estrategias de eficiencia energética en edificios de la RD.

4.3.1.4. Conclusiones sobre la zonificación climática para la RD

La caracterización climática realizada en este apartado asienta bases para su utilización en la implementación de estrategias de eficiencia energética en todo tipo de edificación en la RD, dando orientaciones sobre, en cuales zonas se podría pensar en la implementación de energías alternativas como soporte de equipos de climatización o en cuales zonas, con la elección de estrategias debidamente aplicadas, se puede conseguir niveles de temperatura en el interior que sean aceptables. Además, el método utilizado de distribución de frecuencias para tomar como punto de partida los valores significantes podría ser implementado como forma para determinar los niveles de radiación solar en todo el país, horas pico-tiempo y duración por épocas del año, nivel del viento, temperatura exterior vs temperatura del agua de red para implementación de geotermia, entre otros.

Estudios realizados por varios investigadores [94], [95] sobre técnicas para conseguir el confort térmico en edificios y técnicas de enfriamiento pasivo para climas cálidos y húmedos se han revisado para su utilización a posteriori como complemento en la utilización de este estudio.

Las clasificaciones climáticas utilizadas en el mundo se derivan de la combinación escalar de elementos climáticos; entre ellos los más importantes son la temperatura y la humedad relativa del aire. La clasificación climática presentada se deriva de estos factores del clima, tanto integrantes variables y factores modificadores. En la Figura 9 se muestran los factores que fueron incluidos en la zonificación climática realizada.

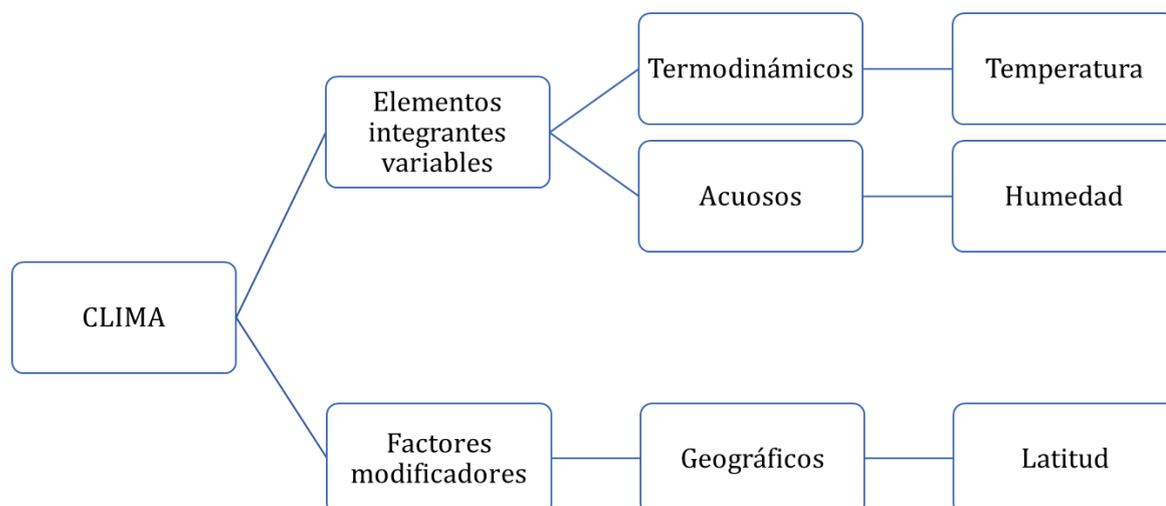


Figura 9: Elementos y factores de clima tomados en cuenta en este caso de estudio

4.3.1.5. Unificación de zonas climáticas para el caso de estudio

Con la finalidad de elegir las provincias tipo para el caso de estudio y para dar cumplimiento al paso A1.1. de la metodología presentada en la Figura 4, fueron utilizados los valores de intervalos significativos obtenidos en el apartado 4.2.1.3 de temperaturas y humedad relativa para las 32 provincias y un punto de interés (Distrito municipal Punta Cana), realizando una clasificación identificada desde la letra (A) que son las zonas identificadas con menor temperatura y humedad relativa significativa, hasta la letra H, que son las zonas de mayor temperatura y humedad relativa significativas identificadas como se muestra en la Tabla 2.

Nota: esta clasificación se realizó con la finalidad de obtener una visualización de resultados más centralizados, a razón de los recursos destinados en esta fase de la investigación.

Tabla 2: Clasificación de provincias tipo según Temperatura del aire (°C) y Humedad Relativa (%)

No.	Provincia / Distrito Nacional/ otros puntos de interés	Zona	Intervalo de temperaturas representativas (T_{\min} - T_{\max}) °C	Intervalo de H. Relativa representativa (H_{\min} - H_{\max}) %
1	San Juan	A	17-29	30-100
2	Monseñor Nouel (Bonaó)	B	19-29	40-100
3	Elías Piña (Comendador) Estrellata	C	20-30	30-100
4	La Vega	C	20-30	40-100

5	Sánchez Ramírez (Cotuí)	C	20-30	30-100
6	Valverde (Mao)	C	20-30	30-100
7	Bahoruco (Neiba)	C	20-30	40-100
8	Independencia (Jimaní)	C	20-30	40-100
9	San José de Ocoa	C	20-30	50-100
10	Santiago Rodríguez (Sabaneta)	D	21-31	30-100
11	Santiago	D	21-31	40-100
12	Monte Plata (Bayaguana)	D	21-31	40-100
13	Dajabón	E	22-30	40-100
14	Duarte (San Francisco de Macorís)	E	22-30	40-100
15	Españolat (Moca)	E	22-30	40-100
16	Hermanas Mirabal (Salcedo)	E	22-30	40-100
17	Azua	E	22-30	50-100
18	Monte Cristi	F	23-31	50-100
19	Puerto Plata	F	23-31	50-100
20	Barahona	F	23-31	50-100
21	Pedernales	F	23-31	50-100
22	San Cristóbal	F	23-31	50-100
23	María Trinidad Sánchez (Nagua)	G	24-31	50-100
24	Samaná	G	24-31	60-100
25	Distrito Nacional	G	24-31	40-100
26	Hato Mayor	G	24-31	50-100
27	La Altagracia	G	24-31	50-100
28	San Pedro de Macorís	G	24-31	40-100
29	Santo Domingo Este	G	24-31	50-100
30	Peravia (Baní)	G	24-31	50-100
*	Punta Cana	G	24-31	60-100
31	El Seibo	H	25-31	50-100
32	La Romana	H	25-31	50-100

La distribución de las provincias tipo, elegidas para el caso en estudio se muestran en el siguiente mapa (Figura 10), identificando con el número de orden de la Tabla 2 la ubicación de las provincias. Esto con el objetivo clave de estudiar el comportamiento de los equipos de climatización con relación al diferencial de temperatura del aire y las ganancias de calor durante el día en edificios del nivel terciario en la República Dominicana.

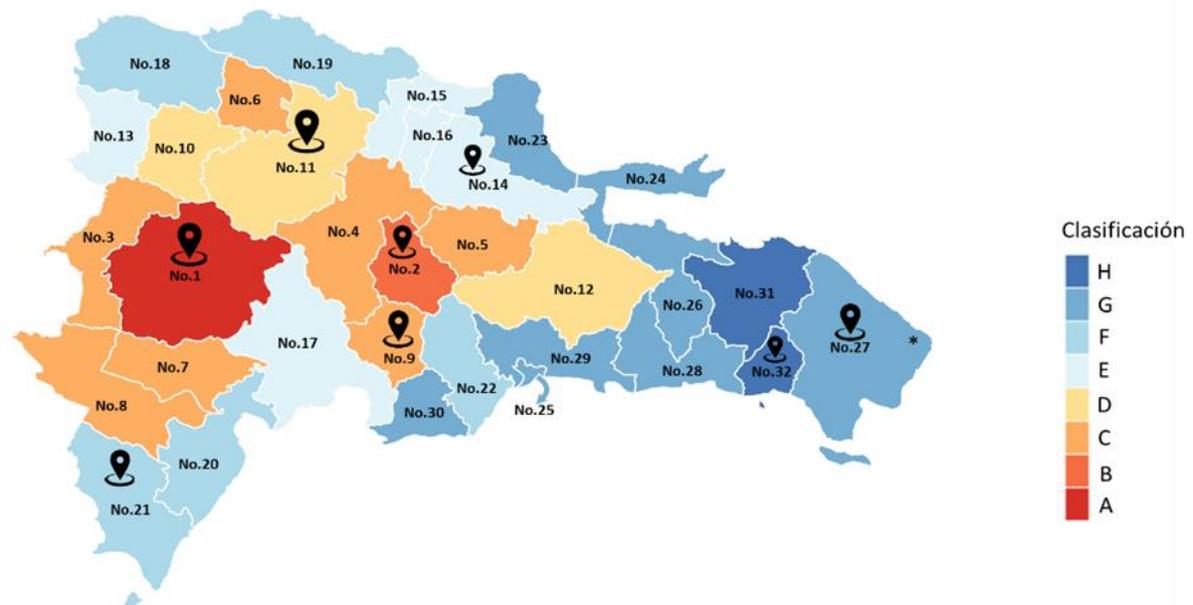


Figura 10: Clasificación climática de las provincias según la influencia significativa de las condiciones climáticas

La distribución que se muestra en la Figura 10, de las zonas tipo elegidas están dispersas en cada punto del país, así, se podrá realizar una evaluación y obtener una noción de las condiciones en las que se encuentran térmicamente sometidos los edificios en las zonas este, norte, sur, oeste y central de la RD.

4.3.2. Identificación de edificios tipo de la RD.

Respecto al paso A.2 de la Figura 4:

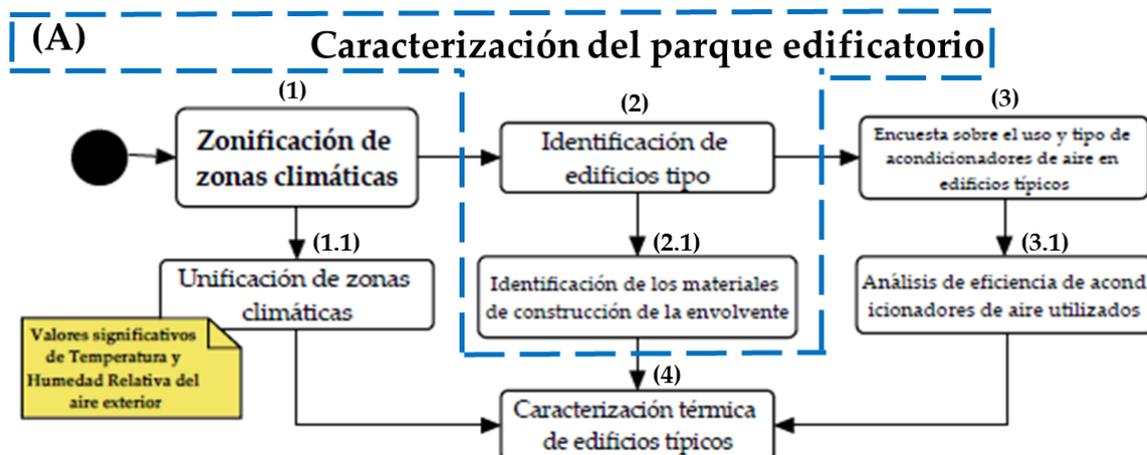


Figura 11: Pasos A2. y A2.1. Identificación de edificios tipo y materiales de la construcción tipo de la RD.

Para dar cumplimiento a la metodología en los puntos A.2 y A.2.1 (Figura 11), específicamente para edificios de la República Dominicana, se presenta un levantamiento de datos sobre la composición de la envolvente para edificios del nivel terciario (edificios de oficina).

4.3.2.1. Propiedades de los materiales de construcción en la RD.

Según datos de la caracterización de las MiPymes (ENHOGAR) 2022, elaborada por la Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) [72], los materiales de construcción predominantes en RD son los bloques de concreto para construir muros exteriores y tabiques con un 85.4%, techos de concreto y ventanas de aluminio y/o vidrio simple. Las propiedades térmicas de estos materiales que componen los edificios específicos de la RD se muestran en la Tabla 3 [96].

Tabla 3: Propiedades térmicas de materiales de construcción tipos en República Dominicana.

Elementos de fachada	Conductividad Térmica W/m °K	Resistencia Térmica m ² °K/W	Valor (U) W/m ² °K
Revoque de mortero	1.30	0.017	5.39
Bloque de hormigón para fachada	1.18	0.13	3.37
techo de hormigón	1,65	0.13	3.30
Ventana de vidrio	1.05	0.19	5.70
Aluminio (marcos)	230	-	5.84
Puerta de cristal	1.05	0.29	2.19
Puerta de madera	0.16	2.50	0.37

Puerta de PVC	0.16	0.77	1.30
---------------	------	------	------

4.3.2.2. Replanteo de fachadas en edificios terciarios de la RD

En la Figura 12 se muestra la composición de una fachada típica de los edificios de la RD, compuesta por una capa de mortero (k_1), una capa de block de concreto (k_2) y una segunda capa de mortero (k_3)

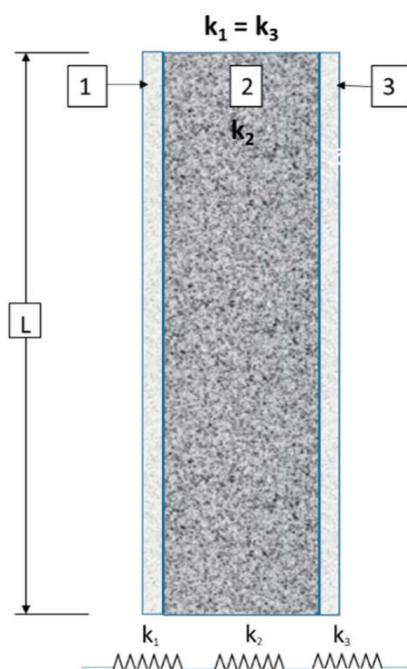


Figura 12: Sección de pared de un edificio tipo de la República Dominicana.

En la Tabla 4, para cada capa de la sección de la pared, hay una descripción de los materiales y las propiedades térmicas, incluido el valor U.

Tabla 4: Elementos de la fachada de una construcción típica en República Dominicana.

Capa	Material	Espesor (m)	Resistencia Térmica $m^2 \text{ } ^\circ K/W$	Valor (U) $W/m^2 \text{ } ^\circ K$
1	Revoque de mortero	0.02	0.017	
2	Bloque de hormigón para fachada	0.15	0.12	3.086
3	Revoque de mortero	0.02	0.017	

4.3.2.3. Composición de cubiertas de edificios terciarios de la RD.

En la Figura 13, se muestra el diseño de techo más común utilizado en edificios en RD.

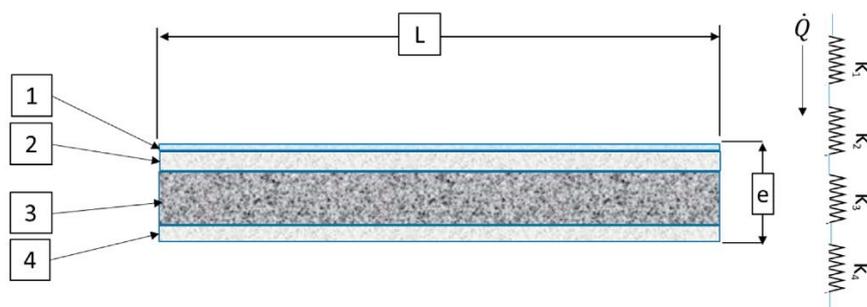


Figura 13: Sección típica del techo de un edificio

Los techos de concreto son los que se configuran mediante una estructura dirección de vigas con un posterior hormigonado sobre el correspondiente armado.

En la Tabla 5 se muestran las propiedades térmicas del material de cada una de las capas de la cubierta, así como el valor U de la cubierta.

Tabla 5: Elementos del techo en una construcción típica en República Dominicana

Capa	Material	Espesor (m)	Resistencia Térmica $m^2 \text{ } ^\circ K/W$	Valor (U) $W/m^2 \text{ } ^\circ K$
1	Impermeabilización	0.004	0.02	2.538
2	Exterior de hormigón sencillo.	0.040	0.017	
3	Losa de hormigón (hormigón armado)	0.100	0.13	
4	Enfoscado interior de mortero.	0.015	0.017	

4.3.3. Encuesta de Eficiencias de Aire Acondicionado (AA) en la R.D.

Respecto al paso A.3 de la Figura 4:

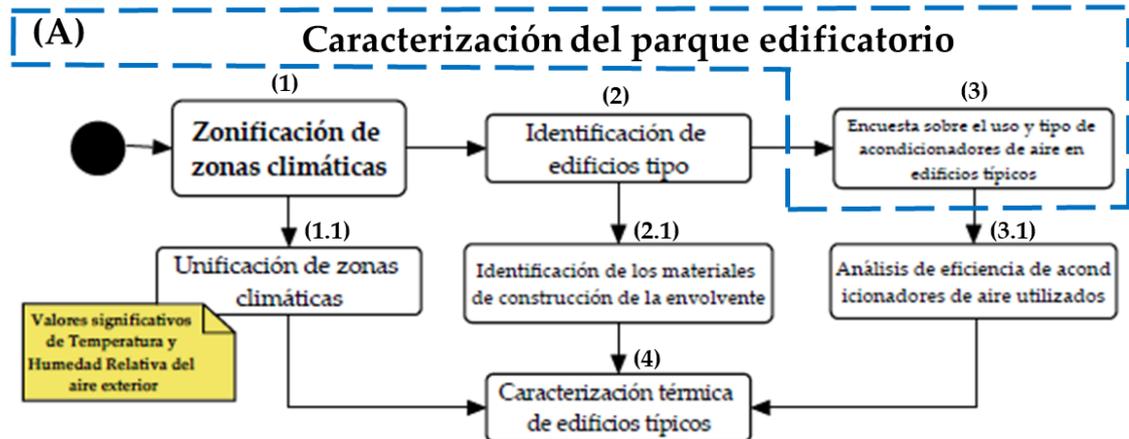


Figura 14: Paso A3, Encuesta sobre el uso y tipo de AA en edificio tipo de la RD.

Se detalla la metodología llevada a cabo para el proceso de la encuesta sobre las características de los sistemas de aire acondicionado y su uso.

Al analizar el consumo de los equipos de climatización, entran en juego una gran cantidad de variables. En primer lugar, se tiene en cuenta la zona climática en la que se pone a funcionar el equipo, el intervalo de la temperatura exterior y la temperatura de consigna en la que es programado el AA. Estas variables hacen que el equipo se comporte en términos de consumo eléctrico de diferentes formas ya sea para mayor o menor consumo energético.

El consumo eléctrico de la instalación va a variar también en función de las necesidades del usuario. Estas necesidades se establecen en función de la temperatura exterior, el aislamiento térmico de la envolvente de la edificación en el que desee actuar, de la ventilación y de la sensación térmica del usuario o grupo de usuarios. En función de eso el equipo climatizador deberá reducir en la edificación una serie de grados de temperatura, que, variará sustancialmente en función de la zona climática. Cuantos más grados térmicos de temperatura se quiera reducir, mayor será el consumo del sistema.

En el siguiente apartado se muestran los resultados obtenidos del comportamiento de los usuarios de edificios de oficinas con relación a los equipos de climatización en la República Dominicana, donde se realizó una encuesta en las ocho (8) provincias del caso en estudio, las cuales representan el clima general del país. La encuesta se realizó vía

telefónica durante el año 2019, utilizando como base para su realización la norma MIL-STD-105E.

4.3.3.1. Datos del lote para la encuesta a nivel nacional en la RD

Utilizando el estudio realizado de la división climática realizada por intervalos de temperaturas y humedad relativa significativas de la sección 4.2.1.5 , las provincias San Juan, Monseñor Nouel (Bonaio), San José de Ocoa, Santiago, Duarte (San francisco de Macorís), Pedernales, Punta Cana y La Romana fueron las seleccionadas para realizar la encuesta, ya que son provincias con climas que representan las diferentes zonas climáticas de la RD y realizar el estudio en ellas, representaría el comportamiento de las zonas que se asemejan en cuanto a los valores de temperatura y humedad relativa.

Con el fin de obtener los datos de cantidad de edificios de oficinas y el consumo promedio de energía kWh/mes que representa este sector en las ocho provincias, se procedió a solicitar mediante el portal de Solicitud de Acceso a la Información Pública (SAIP) [97]-[99], los datos a las distribuidoras de electricidad del país, Empresa de Electricidad del Norte (EdeNorte) , Empresa de Electricidad del Sur (EdeSur) y la Empresa de Electricidad del Este (EdeEste) concerniente a los clientes registrados bajo el rubro oficina para las distintas provincias del caso en estudio [100]-[102]. En la Tabla 6, se muestra el resumen de los datos obtenidos para las ocho (8) provincias.

Tabla 6: Cantidad de edificios de oficinas por provincias representativas de zonas climáticas y promedio de consumo eléctrico kWh/mes de este sector

Provincias	Zona Climática	Cantidad de edificios de oficinas	Promedio de consumo electricidad kWh/mes
San Juan	A	903	1,042
Monseñor Nouel (Bonaio)	B	267	648
San José de Ocoa	C	222	739
Santiago	D	2,731	1,245
Duarte (San francisco de Macorís)	E	333	883
Pedernales	F	160	1,044
La Altagracia (Punta Cana)	G	1,937	1,120
La Romana	H	1,064	1,072

4.3.3.2. Método de muestreo

Utilizando como base la Norma MIL-STD-105E [103], se procedió a calcular el tamaño de la muestra de la cantidad de oficinas a encuestar. Con el tamaño del lote (N) de la cantidad de edificios de oficinas que se muestra en la Tabla 7 para cada provincia, se procede a identificar el rango y nivel a aplicar en la encuesta. En la Tabla 7 se muestran los niveles de inspección a tomar en cuenta según el tamaño del lote que se presenta en la encuesta.

Tabla 7: Tamaño de lotes o grupos y niveles de inspección a aplicar según normal MIL-STD-105E

Tamaño del lote o grupo	Niveles de inspección especial				Niveles de inspección general		
	S-1	S-2	S-3	S-4	I	II	III
2-8	A	A	A	A	A	A	B
9-15	A	A	A	A	A	B	C
16-25	A	A	B	B	B	C	D
26-50	A	B	B	C	C	D	E
51-90	B	B	C	C	C	E	F
91-50	B	B	C	D	D	F	G
151-280	B	C	D	E	E	G	H
281-500	B	C	D	E	F	H	J
501-1200	C	C	E	F	G	J	K
1201-3200	C	D	E	G	H	K	L
3201-10000	C	D	F	G	J	L	M
10001-35000	C	D	F	H	K	M	N
35001-150000	D	E	G	J	L	N	P
150001-500000	D	E	G	J	M	P	Q
500001- y más	D	E	H	K	N	Q	R

Se procede a identificar de la Tabla 7, en el rango de niveles de inspección general la letra que corresponde al nivel a implementar. Como lo que se busca es el tamaño de la muestra que justifique el universo de lo que se desea encuestar y no se trata de productos físicos que pasaran bajo una inspección de calidad, se toma como parámetro el nivel II del rango de inspección general.

En la Tabla 8 se busca la letra que corresponde al lote y el nivel seleccionado y se identifica el tamaño de la muestra.

Tabla 8: Niveles de calidad de aceptación según norma MIL-STD-105E

Letra de código de tamaño muestral	Tamaño muestral	Niveles de calidad aceptables (inspección normal)																											
		0.010	0.015	0.025	0.040	0.065	0.10	0.15	0.25	0.40	0.65	1.0	1.5	2.5	4.0	6.5	10	15	25	40	65	100	150	250	400	650	1000		
A	2	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
B	3	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
C	5	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
D	8	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
E	13	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
F	20	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
G	32	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
H	50	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
J	80	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
K	125	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
L	200	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
M	315	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
N	500	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
P	800	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
Q	1250	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	
R	2000	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	

El tamaño de la muestra, de acuerdo con el lote correspondiente para cada provincia, se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9: Tamaño de la muestra vs cantidad de edificios de oficinas identificados a encuestar según MIL-STD-105E

Provincias	N- edificios de oficinas	Rango según tamaño del lote según tabla 2	Letra identifica la muestra según tabla 3	Cantidad a encuestar
San Juan	903	501-1200	J	80
Monseñor Nouel (Bonaó)	267	151-280	G	32
San José de Ocoa	222	151-280	G	32
Santiago	2,731	1201-3200	K	125
Duarte (San francisco de Macorís)	333	181-500	H	50
Pedernales	160	151-280	G	32
La Altagracia (Punta Cana)	1,937	1201-3200	K	125

La Romana 1,064 501-1200 J 80

Se muestra en la Tabla 9 que el total de edificios de oficinas a realizar la encuesta es de 556 para las ocho (8) provincias.

4.3.3.3. Medio utilizado y aplicado en la encuesta realizada

Con la ayuda de los directorios telefónicos de compañías que brindan el servicio de teléfonos fijos en la RD, se procedió a identificar los números telefónicos de comercios del nivel terciario y contactar vía telefónica para realizar la encuesta.

Las preguntas realizadas fueron:

- ▼ ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?
- ▼ ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?
- ▼ ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?
- ▼ ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

4.3.3.4. Proceso de la encuesta

El proceso de la encuesta inicio en el mes de abril 2019 hasta agosto 2019. El total de llamadas realizadas a edificios de oficina por provincias se detalla en la Tabla 10, donde se muestra que, del total de llamadas realizadas, el 58% fueron atendidas.

Tabla 10: Relación de cantidad de puntos a llamar por provincias vs llamadas realizadas

Provincias	Muestra	Estimado de llamadas realizadas	% de llamadas atendidas
San Juan	80	172	47%
Monseñor Nouel (Bonaó)	32	73	44%
San José de Ocoa	32	60	53%
Santiago	125	170	74%

Duarte (San francisco de Macorís)	50	71	70%
Pedernales	32	75	43%
La Altagracia (Punta Cana)	125	195	64%
La Romana	80	144	56%
Total:	556	960	58%

4.3.3.5. Resultados de la encuesta

A continuación, se muestran los detalles obtenidos de las preguntas realizadas en los edificios contactados de las diferentes provincias:

4.3.3.5.1. Provincia San Juan de la Maguana

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener AA para climatizar el local.

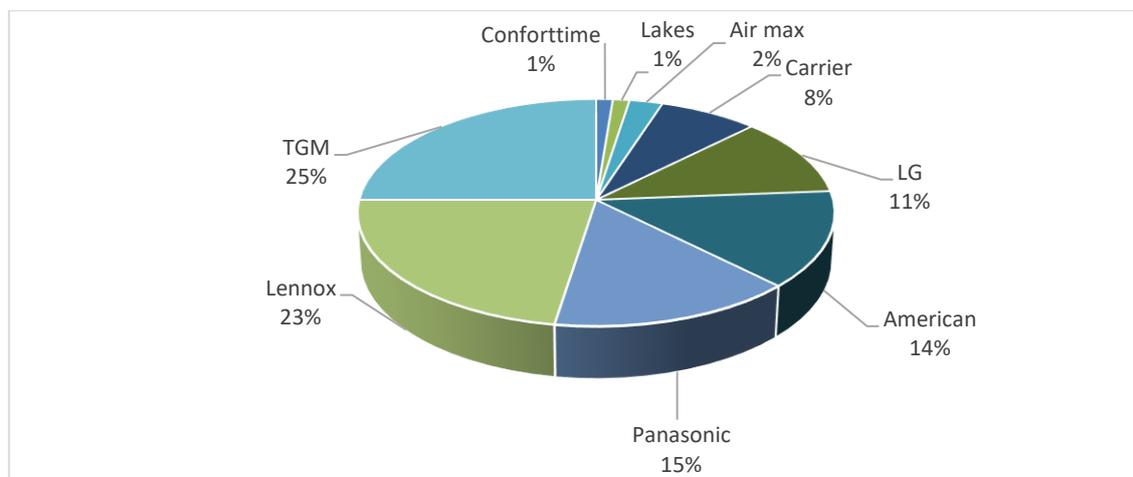
- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

Se visualiza en la Tabla 11 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 a 3 equipos instalados, el 94 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 11: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en San Juan de la Maguana

Cantidad de AA en el local	Cantidad de Locales	% representación
1	31	39%
2	31	39%
3	13	16%
4	2	3%
5	1	1%
6	1	1%
8	1	1%

Se muestra en la Gráfica 3 que, el 76 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas TGM, Lennox, Panasonic y American.



Gráfica 3: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en San Juan de la Maguana

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 12 que, el 64% de los encuestados respondieron que mantienen el aire acondicionado en un intervalo de temperatura de consigna de 20 °C y 22 °C.

Tabla 12: Temperatura de operación en locales encuestados en Monseñor Nouel (Bonaó)

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% representación
17	11	14%
18	11	14%
19	4	5%
20	23	29%
21	20	25%
22	8	10%
23	2	3%
25	1	1%

Al relacionar estas temperaturas con el rango identificado como significativo para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del punto 4.1.1.3.1. que ronda entre los 17 °C y 29 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 20°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 9 °C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.5.2. Provincia Monseñor Nouel (Bonaio)

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener AA para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

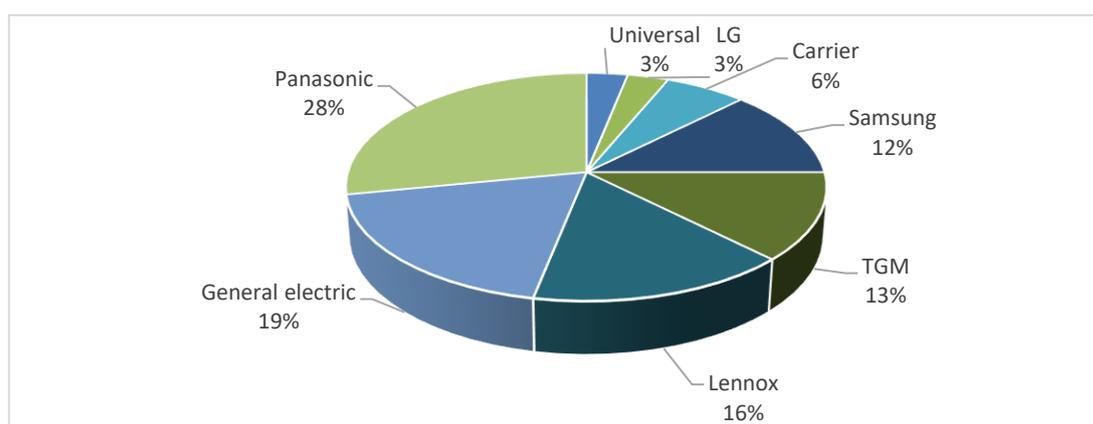
Se visualiza en la Tabla 13 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 a 3 equipos instalados, el 94 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 13: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en Monseñor Nouel (Bonaio)

Cantidad de AA en el local	Cantidad de Locales	% representación
1	11	34%
2	11	34%
3	8	25%
4	1	3%
5	1	3%

- ¿Marca de los AA que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 4 que, el 75 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas Panasonic, GE, Lennox y TGM.



Gráfica 4: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en Monseñor Nouel (Bonaio)

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 14 que, el 50% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en una temperatura de consigna de 17 °C.

Tabla 14: Temperatura de operación en locales encuestados

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% representación
17	16	50%
18	4	13%
22	4	13%
23	4	13%
24	3	9%
26	1	3%

Al relacionar estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1. que ronda entre los 19 °C y 29 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 17°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 12°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.5.3. Provincia San José de Ocoa

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener AA para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

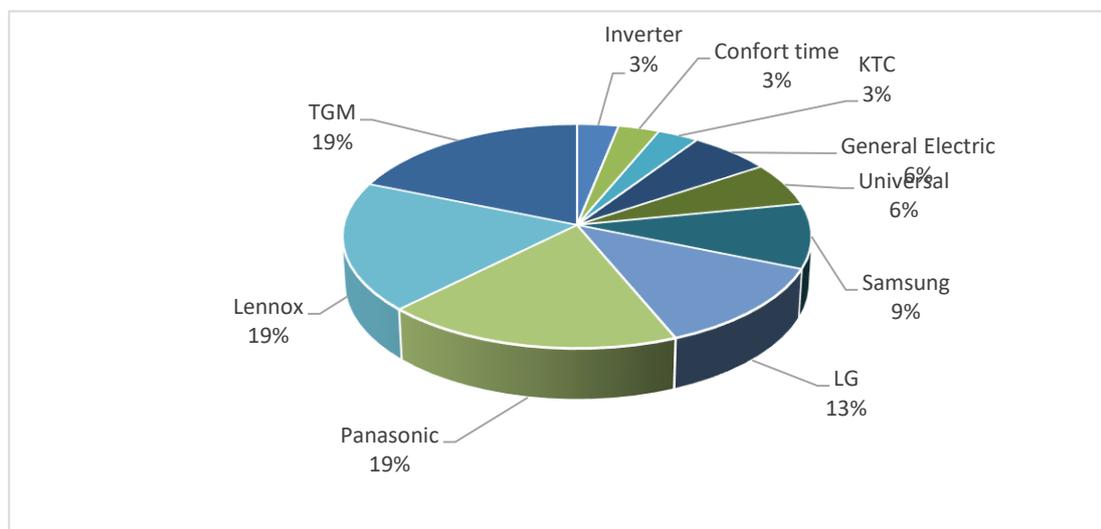
Se visualiza en la Tabla 15 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 a 3 equipos instalados, el 91 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 15: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en San José de Ocoa

Cantidad de AA en el local	Cantidad de Locales	% representación
1	16	50%
2	8	25%
3	5	16%
4	2	6%
5	1	3%

- ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 5 que, el 56 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas TGM, Lennox y Panasonic.



Gráfica 5: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en San José de Ocoa

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 16 que, el 56% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en el rango de temperatura de 18 °C a 22 °C.

Tabla 16: Temperatura de operación en locales encuestados en San José de Ocoa

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% de representación
17	3	9%
18	11	34%

21	2	6%
22	7	22%
23	4	13%
24	5	16%

Si relacionamos estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1. que ronda entre los 20 °C y 30 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 17°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 12°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

También se verifica el incremento de locales en que su temperatura de consigna ronda por los 23°C y 24 °C, esto se debe a que, aunque la temperatura máxima significativa alcanzada para esta provincia es de 30 °C, permanece más del 65 % del tiempo con temperaturas bajas durante horas de la mañana y al atardecer.

4.3.3.5.4. Provincia Santiago

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener Aires Acondicionados para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

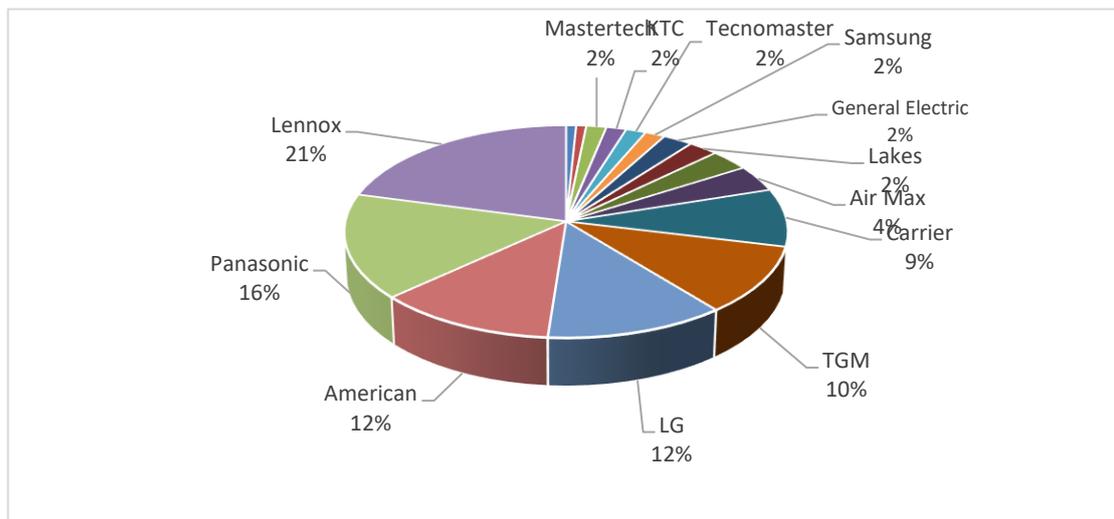
Se visualiza en la Tabla 17 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 a 3 equipos instalados, el 96 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 17: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en Santiago

Cantidad de AA en el local	Cantidad de Locales	% representación
1	59	47%
2	43	34%
3	18	14%
4	3	2%
6	1	1%
8	1	1%

- ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 6 que, el 71 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas Lennox, Panasonic, American, LG y TGM.



Gráfica 6: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en Santiago

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen de consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 18 que, el 73% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en el rango de temperatura de 19 °C a 21 °C.

Tabla 18: Temperatura de operación en locales encuestados en Santiago

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% representación
17	16	13%
18	19	15%
19	12	10%
20	34	27%
21	26	21%
22	14	11%
23	1	1%
25	1	1%
26	2	2%

Al relacionar estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1. que ronda entre los 21 °C y 31 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 19°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 12°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.5.5. Provincia Duarte (San Francisco de Macorís)

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener Aires Acondicionados para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

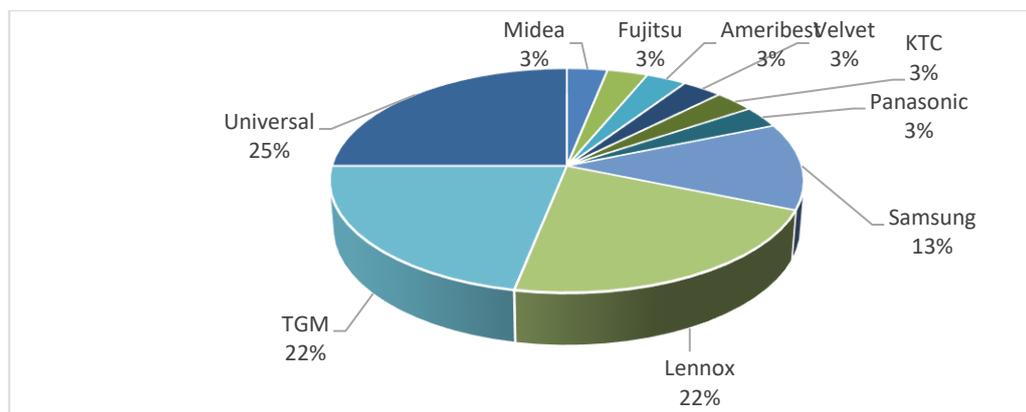
Se visualiza en la Tabla 19 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 a 3 equipos instalados, el 88 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 19: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en Duarte (San Francisco de Macorís)

Cantidad de AA en el local	Cantidad de Locales	% representación
1	11	34%
2	10	31%
3	7	22%
4	3	9%
7	1	3%

- ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 7 que, el 69 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas TGM, Universal y Lennox.



Gráfica 7: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en Duarte (San Francisco de Macorís)

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen configurado los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 20 que el 75% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en el rango de temperatura de 17 °C a 18 °C.

Tabla 20: Temperatura de operación en locales encuestados en Duarte (San Francisco de Macorís)

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% de representación
17	15	47%
18	9	28%
21	1	3%
22	4	13%
23	2	6%
24	1	3%

Si relacionamos estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1. que ronda entre los 19 °C y 29 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 17°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 12°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.5.6. Provincia Pedernales

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener Aires Acondicionados para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

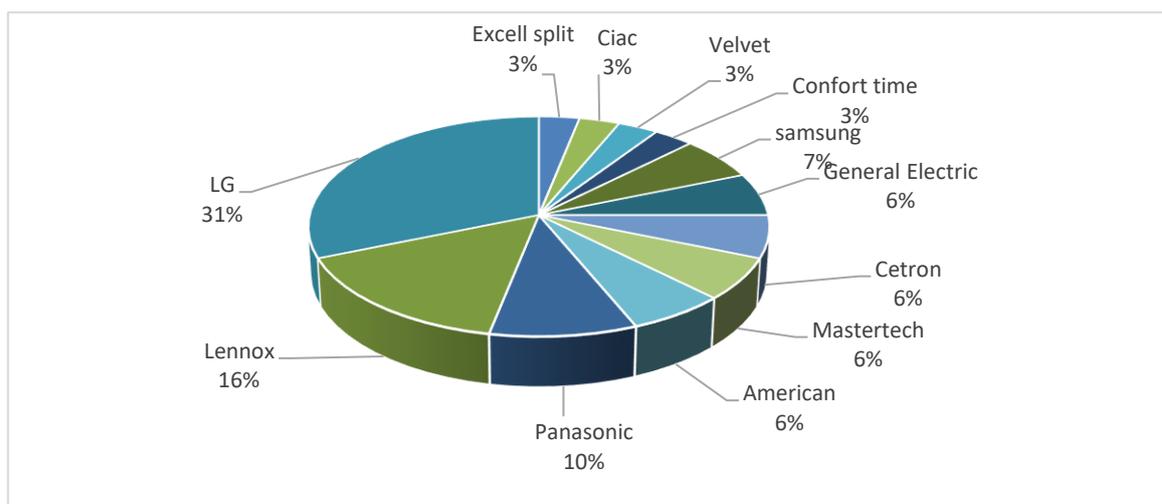
Se visualiza en la Tabla 21 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 a 3 equipos instalados, el 75 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 21: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en Pedernales

Cantidad de AA del local	Cantidad de Locales	% representación
1	7	22%
2	10	31%
3	7	22%
4	4	13%
5	2	6%
7	1	3%
8	1	3%

- ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 8 que, el 56 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas LG, Lennox y Panasonic.



Gráfica 8: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en Pedernales

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 22 que, el 63% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en la temperatura de consigna de 17 °C.

Tabla 22: Temperatura de operación en locales encuestados en Pedernales

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% representación
17	20	63%
18	3	9%
20	1	3%
21	1	3%
22	1	3%
23	5	16%
24	1	3%

Si relacionamos estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1 que ronda entre los 23 °C y 31 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 17°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 14°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.5.7. Provincia La Altagracia (Punta Cana)

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener Aires Acondicionados para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

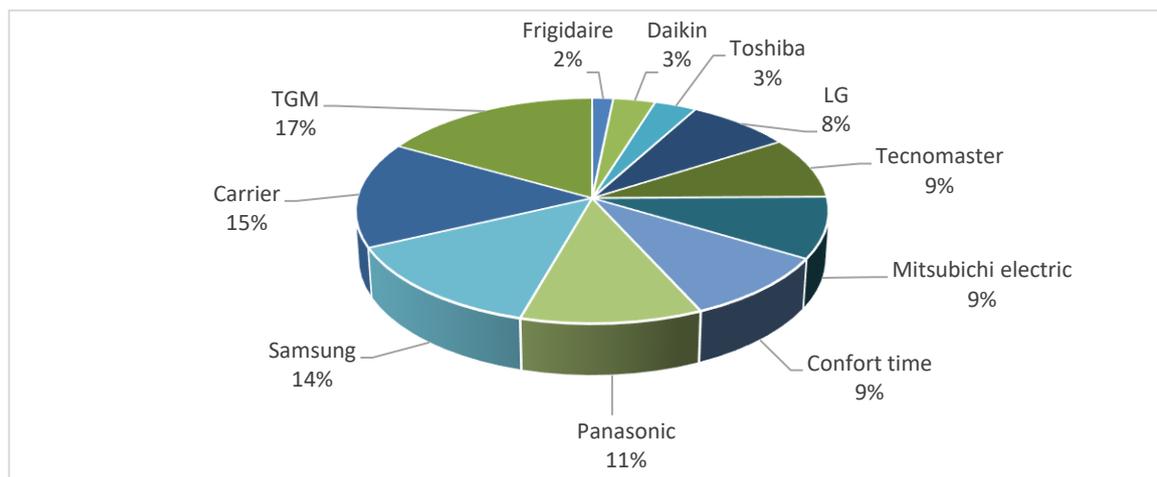
Se visualiza en la Tabla 23 que, el rango de equipos de climatización en este tipo de edificios ronda en su mayoría desde 1 y 2 equipos instalados, el 83 % de los locales se muestran representativos en este tipo de instalación.

Tabla 23: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en La Altagracia (Punta Cana)

Cantidad de AA del local	Cantidad de Locales	% representación
1	59	47%
2	45	36%
3	18	14%
4	3	2%

- ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 9 que, el 57 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas TGM, Carrier, Samsung y Panasonic.



Gráfica 9: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en La Altagracia (Punta Cana)

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 24 que, el 63% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en los intervalos de temperatura de consigna entre 20 °C y 21 °C.

Tabla 24: Temperatura de operación en locales encuestados en La Altagracia (Punta Cana)

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% representación
17	1	1%

18	15	12%
19	14	11%
20	43	34%
21	36	29%
22	9	7%
23	5	4%
24	1	1%

Si relacionamos estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1 que ronda entre los 24 °C y 31 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 20°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 11°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.5.8. Provincia La Romana

- ¿Posee en sus instalaciones aires acondicionados?

El 100 % de los edificios contactados declararon tener Aires Acondicionados para climatizar el local.

- ¿Cuántos aires acondicionados posee en el local?

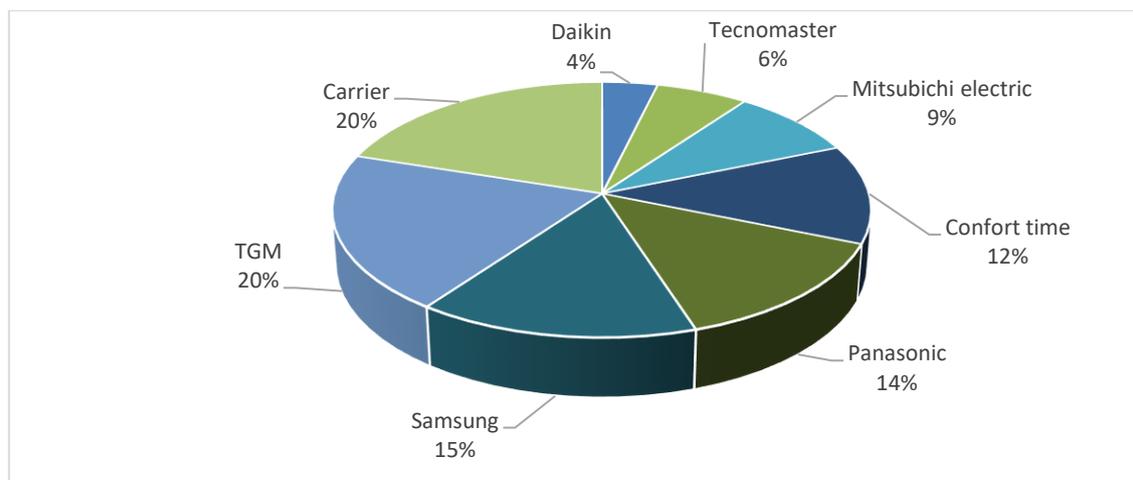
Se visualiza en la Tabla 25 que el 51 % de los locales al menos cuentan con un AA.

Tabla 25: Cantidad de Aires Acondicionados vs cantidad de locales en La Romana

Cantidad de AA del local	Cantidad de Locales	% representación
1	41	51%
2	27	34%
3	11	14%
4	1	1%

- ¿Marca de los Aires acondicionados que tiene en su local?

Se muestra en la Gráfica 10 que, el 40 % de los AA de uso en esta provincia son de las marcas TGM y CARRIER.



Gráfica 10: % de AA por tipo de marca comercial utilizada en La Romana

- ¿Cuál es la temperatura que normalmente tienen en consigna los aires acondicionados?

Se puede visualizar en la Tabla 26 que el 85% de los encuestados respondieron que mantienen el Aire Acondicionado en el rango de temperatura de 20 °C a 22 °C.

Tabla 26: Temperatura de operación en locales encuestados en La Romana

Temperatura de consigna (°C)	Cantidad de locales	% representación
18	6	8%
19	6	8%
20	25	31%
21	27	34%
22	16	20%

Si relacionamos estas temperaturas con el rango identificado como incidente para esta provincia según el estudio realizado para la división climática del apartado 4.1.1.3.1 que ronda entre los 25 °C y 31 °C [104], para mantener el local en las condiciones en que se programa el equipo climatizador de 20°C, el equipo tendrá que trabajar para vencer un intervalo de temperatura de hasta 11°C en su punto más crítico y para mantenerla deberá estar el local bien aislado térmicamente.

4.3.3.6. Estudio de eficiencia energética sobre aires acondicionados utilizados en la República Dominicana.

Respecto al paso A.3.1 de la Figura 4:

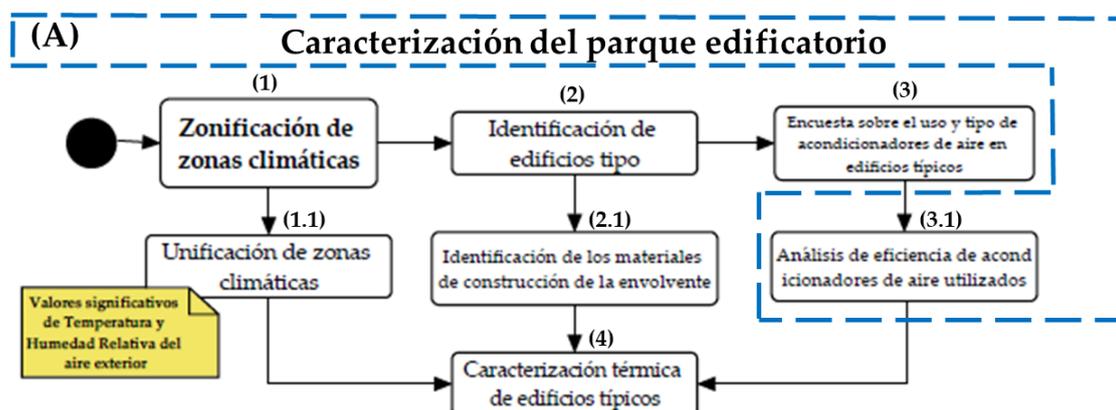
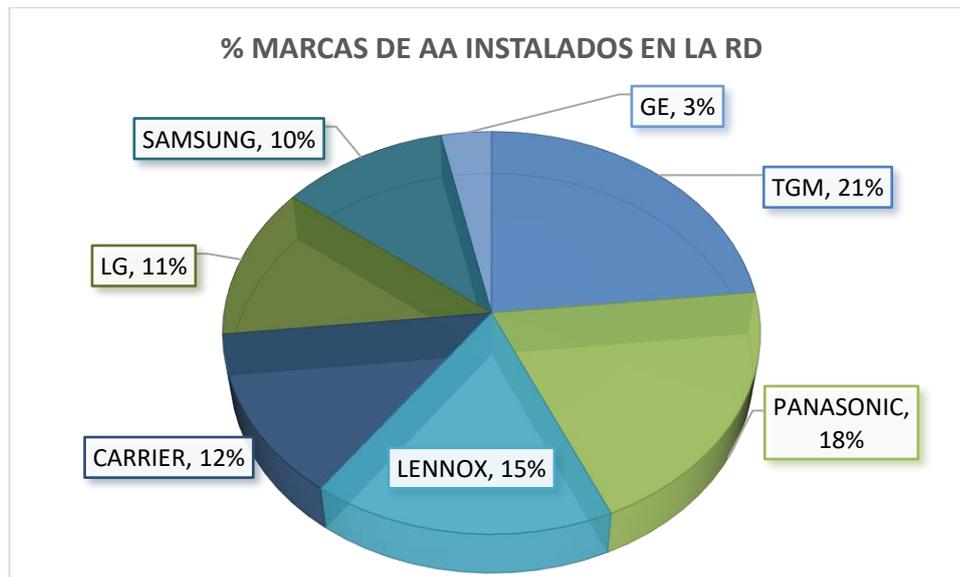


Figura 15: Pasos A3.1. Análisis de eficiencia de AA utilizados en la RD.

El tipo de AA utilizado podría afectar fácilmente el consumo de energía. En este apartado se realizó una comparación entre los estándares de eficiencia energética de las diferentes marcas de equipos de aires acondicionados que fueron levantados en la encuesta del apartado 4.2.3.5. y los resultados obtenidos en la investigación.

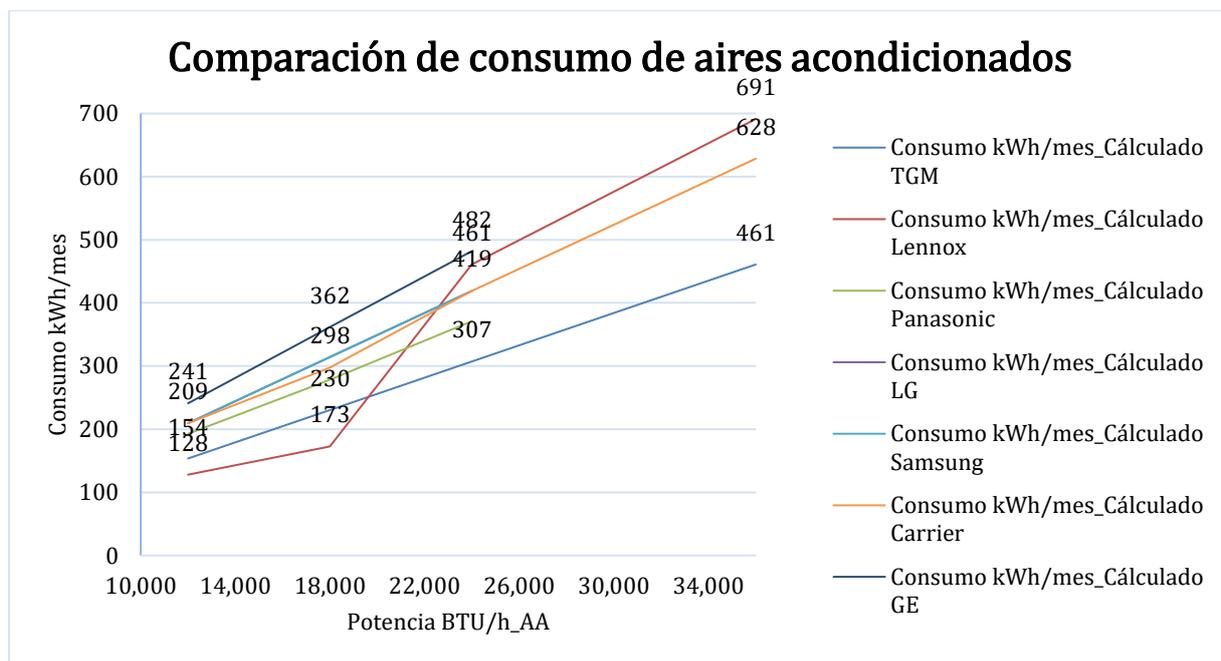
Los equipos de aires acondicionados vienen etiquetados con los parámetros de EER o SEER que es la potencia frigorífica / Potencia eléctrica consumida en refrigeración. Este valor indica cuantos kW térmicos (frío) nos dará el equipo por cada kW eléctrico que consuma de la fuente de alimentación eléctrica. El SEER mide el consumo de un aparato en frío. Cuanto mayor sea, más eficiente será el aire acondicionado.

En la Gráfica 11 se muestran las marcas que representan el 89 % de los equipos instalados en las 556 edificaciones del sector comercial encuestadas en la RD



Gráfica 11: Marcas que representan el 89 % de los equipos instalados

En la Gráfica 12 se muestra una comparativa de eficiencia y el consumo eléctrico según la eficiencia de los aires acondicionados representativos que se identificaron en los edificios del nivel terciario de la RD. Los datos calculados mostrados en la Gráfica 12, fueron realizados en base al SEER de los equipos de climatización allí mostrados [105]-[109].



Gráfica 12: Comparación de eficiencia de aires acondicionados; marcas en el mercado de la RD

En la Gráfica 12 se verifica que los equipos de marca Carrier tienen una alta eficiencia en sus unidades más pequeñas, desde los 12,000 BTU hasta los 18,000 BTU. En segundo lugar, siguen los equipos de marca TGM.

Con esta comparación se pretende dar a conocer cuales equipos tienen mayor eficiencia y que pueden ser una alternativa para introducción en nuevos edificios o si es requerido un cambio para el caso de la rehabilitación de estos en la RD.

4.3.3.7. Conclusiones y consideraciones sobre los resultados de la encuesta

El uso de AA en la RD representa el 40% del consumo nacional de electricidad en edificios del nivel terciario. Con los resultados obtenidos en la encuesta realizada se identificaron los equipos de climatización que son de mayor uso por los usuarios de edificios de oficinas, nivel terciario del país.

Como resultado de la aplicación del paso A.3.1 de la Figura 4, los resultados obtenidos en el apartado 2.4.3. muestran que el 100% de este tipo de edificaciones cuentan con al menos un aire acondicionado, el 65% de los usuarios tienen la costumbre de colocar la

temperatura de consigna por debajo de 20 °C, y el 66% de los aires acondicionados tienen una eficiencia (SEER) inferior a 6.10.

A través de los datos declarados por los usuarios y mediante el rango de temperatura significativa para cada provincia, se tiene una noción de los intervalos de temperatura que tienen que vencer los aires acondicionados y en qué condiciones debe estar el ambiente para mantener esa temperatura.

Con los datos de EER y SEER se podrá ver reflejada la eficiencia de los equipos de climatización de distintas capacidades frigoríficas y a partir de estos, se puede obtener un parámetro inicial del consumo eléctrico del aire acondicionado del edificio que se pretende estudiar, además, se podrá determinar distintas estrategias para hacer más eficiente el equipo climatizador.

4.3.4. Caracterización térmica de edificios tipos

Respecto al paso A.4 de la Figura 4:

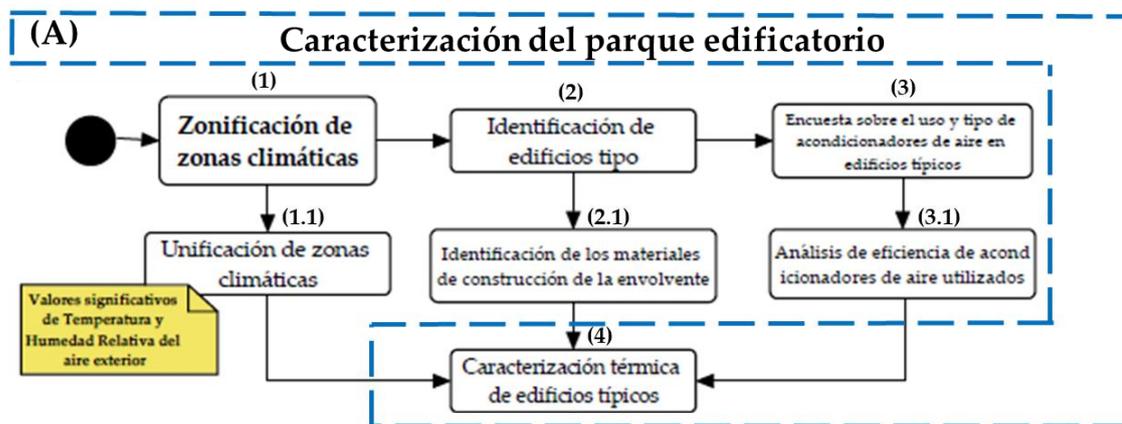


Figura 16: Pasos A4. Caracterización térmica de edificios tipo de la RD.

Con el fin de obtener una visualización más detallada de la envolvente y de las tipologías edilicias objeto de estudio, además de poder aplicar la metodología en el punto A.4 de la Figura 4 para cualquier edificación con las mismas características, se realizó una clasificación en relación con los detalles más importantes identificados en la envolvente.

En la Tabla 27 se muestran las diferentes categorías para poder identificar el tipo de edificio a trabajar y así tomar decisiones de mejoras aplicables a la envolvente según la tipología de la construcción.

Tabla 27: Categorías clasificatorias para identificar el tipo de envolvente de un edificio

(A) Área de Construcción (m ²)	(B) Volumen pulsado (m ³)	(C) Sobre	(D) Sistema Constructivo	(E) Tipo de ventana	(F) Protecciones Solares	(G) Acristalamiento Fachada Sur (%)
A1 (≤ 50)	B1 (≤ 50)		D1 (Sin aislamiento)			
A2 (51–80)	B2 (51–100)	C1 (opaco)	D2 (Con aislante + cámara de aire exterior e interior)	E1 (ventana sencilla)	F1 (Con protecciones solares)	G1 (≤ 30 fachada sur)
A3 (81–110)	B3 (101–200)					G2 (31–50 fachada sur)
A3 (81–110)	B4 (201–300)					
A4 (111–200)	B5 (301–400)					
A5 (≥ 200)	B6 (401–500)	C2 (ventana acristalada)	D3 (Aislamiento interior + Cámara de aire)	E2 (Ventanas dobles/Cámara de aire)	F2 (Sin protecciones solares)	G3 (51–70 fachada sur)
	B7 (501–600)					
	B8 (601–800)					G4 (≥ 71 fachada sur)
	B9 (≥ 800)					

Se presentan las categorías de área de construcción e intervalos de espacio climatizado en esta área, el tipo de envolvente, sistema constructivo, protecciones solares y el % de acristalamiento en la fachada sur, orientación crítica en ganancias internas por el paso del sol en la latitud en que se encuentra la RD. Todas estas categorías apuntan a ver qué tan eficiente con respecto a las ganancias de calor internas pueden impactar la edificación.

Los resultados de la clasificación realizada para los ocho (8) edificios tipo del caso de estudio muestran en la Tabla 28.

Tabla 28: Clasificación de la envolvente de edificios tipo del caso en estudio

Zona climática	Provincia	Orientación fachada principal	Clasificación de cada modelo de edificio						
			Área de construcción	Volumen para climatizar	Envolvente	Sistema constructivo	Tipo de ventana	Protecciones solares	%Acristalamiento
A	San Juan	E-NE	A4	B3	C1	D1	E1	F2	-

B	Monseñor Nouel (Bonaó)	S	A1	B3	C2	D1	E1	F1	-
C	San José de Ocoa	OE-SO	A1	B3	C1	D1	E1	F2	-
D	Santiago San Francisco de Macorís	N	A3	B3	C2	D1	E1	F1	-
E	Pedernales	SE	A1	B1	C2	D1	E1	F2	G2
F	La Altagracia (Punta Cana)	NE	A1	B2	C1	D1	E1	F1	-
G	La Romana	SE	A4	B8	C2	D1	E1	F2	G3
H		E	A5	B4	C1	D1	E1	F2	G1

4.4. Elección y Caracterización de edificio representativo RD

Para lograr el paso B siguiendo la metodología de la Figura 4 sobre la elección y caracterización de edificios, se toman en cuenta los siguientes pasos:

- ▼ Elección del tipo de edificación en cada zona climática;
- ▼ Modelado de edificios;
- ▼ Monitoreo de edificios durante al menos seis meses, asegurando que se incluyan las dos estaciones tropicales;
- ▼ Ajuste del proceso de modelado;
- ▼ Validación del modelado.

4.4.1. Elección de edificios Tipo

Respecto al paso B.1 de la Figura 4:

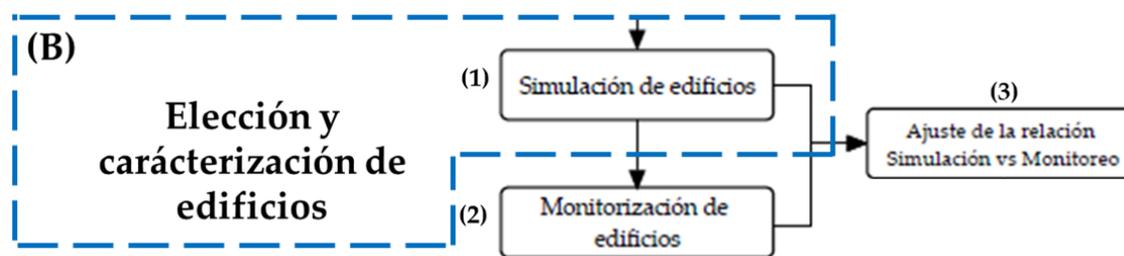


Figura 17: Paso B1. Simulación de edificios

Para lograr el paso B.1 marcado en la Figura 17, se seleccionó un edificio representativo en cada una de las ocho zonas climáticas. La elección de los ocho edificios representativos, uno por zona climática, se basó en el estudio realizado con las características constructivas y climatológicas de los apartados 4.3.1 y 4.3.2.

La Figura 18 muestra una vista de la modelación en DesignBuilder de los ocho edificios seleccionados.



Figura 18: Vista de tipos de edificios identificados en la división de cada zona climática en la figura 7 (A-H), Zonas identificadas para el caso de estudio en RD

Para simular adecuadamente los ocho edificios se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones generales:

- ▼ La envolvente de cada edificio se construyó en un formato de visualización 3D con las características térmicas de los materiales existentes[110].
- ▼ Se eliminaron las acciones energéticas por uso (cargas asociadas fuera del parámetro de climatización) para asegurar que se estudiaran los parámetros térmicos y energéticos del propio equipo con su entorno.
- ▼ Para cada uno de los modelos construidos, en los datos de configuración y laboral de la oficina, fueron asignados y editados los parámetros de horarios

en que labora el local y las cargas metabólicas según el promedio de personas en el local.

- ▼ Los datos meteorológicos significativos correspondientes en cada provincia, obtenidos del visor de datos NSRDB [50], se cargaron para calcular la simulación en cada modelo.
- ▼ Los análisis de simulación centraron el mayor esfuerzo en visualizar las ganancias internas de cada modelo y el comportamiento de los equipos de climatización.

Como edificio representativo entre los ocho edificios preseleccionados, se seleccionó el situado en la zona climática C (ver Figura 18), debido a la disposición del inmueble para implementar las EEEs y apoyarlas económicamente.

4.4.1.1. Edificación tipo zona C:

El edificio está ubicado en la provincia de San José de Ocoa en la RD. Este edificio se encuentra concretamente situado en la latitud 18.537240 y longitud 70.507698, con una orientación de 258° al Suroeste, y es ocupado por una compañía que brinda servicios de seguros múltiples; por lo tanto, pertenece a edificios de nivel terciario.

El edificio estudiado es el de la planta baja, el cual está formado por una zona de recepción y dos despachos. La Figura 19 muestra una vista en planta del edificio.



Figura 19: Vista frontal edificio tipo - San José de Ocoa

Los detalles de una forma esquemática de la orientación y ubicación se muestran en la Figura 20. La edificación se encuentra en la latitud 18.537240 y longitud -70.507698, con una orientación de 258° al Oeste-Suroeste.

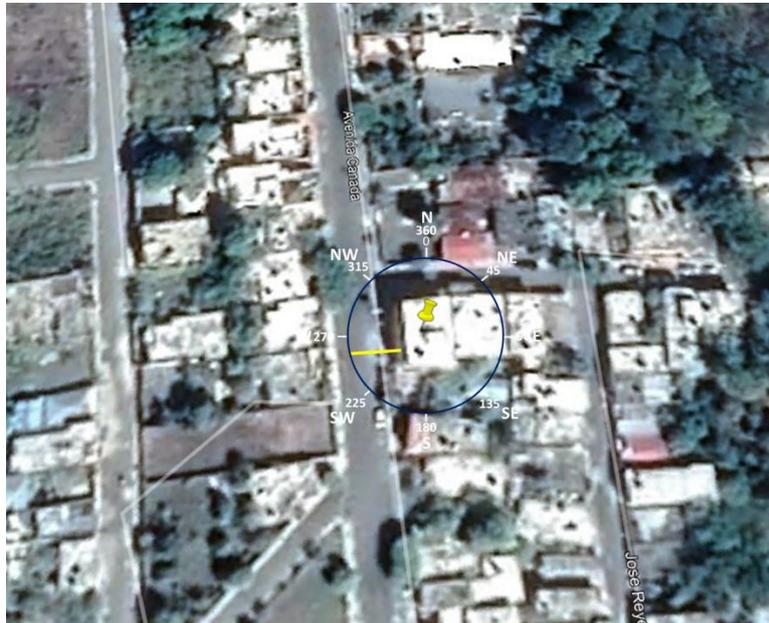


Figura 20: Ubicación y orientación; edificación San José de Ocoa

Esta edificación está destinada como uso de oficinas con operaciones laborales en fase horaria con la radiación solar ya que sus colaboradores inician su jornada laboral en el horario comprendido de 8:00 AM a 6:00 PM.

La potencia instalada para climatización es de 7.034 kW en aires acondicionados convencionales por compresión de vapor.

A continuación, se muestran los datos de dimensiones con su vista en planta (Figura 21), frontal (Figura 22), lateral derecho (Figura 23) y vista posterior (Figura 24) respectivamente del levantamiento realizado in situ para proceder con la construcción en DesignBuilder

Nota: el lateral izquierdo se presenta como una parte adiabática con otro local, por lo que el flujo de temperatura será constante y despreciable para esta cara de la envolvente.

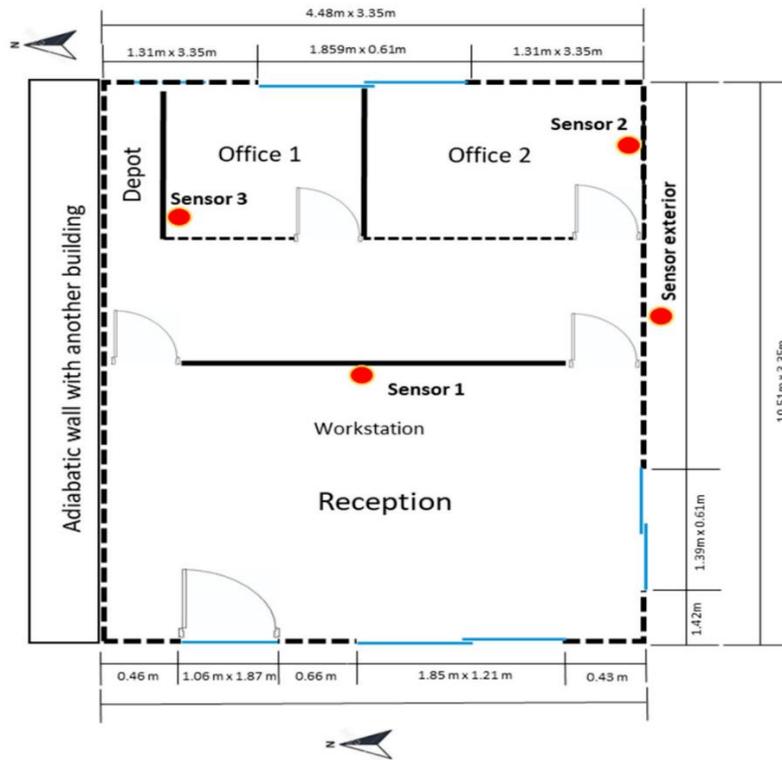


Figura 21: Vista en planta del edificio tipo zona climática C (San José de Ocoa)

Los puntos rojos de la Figura 21 indican la ubicación de los sensores de temperatura y humedad relativa utilizados para la monitorización del local para su comparación con la simulación de este.

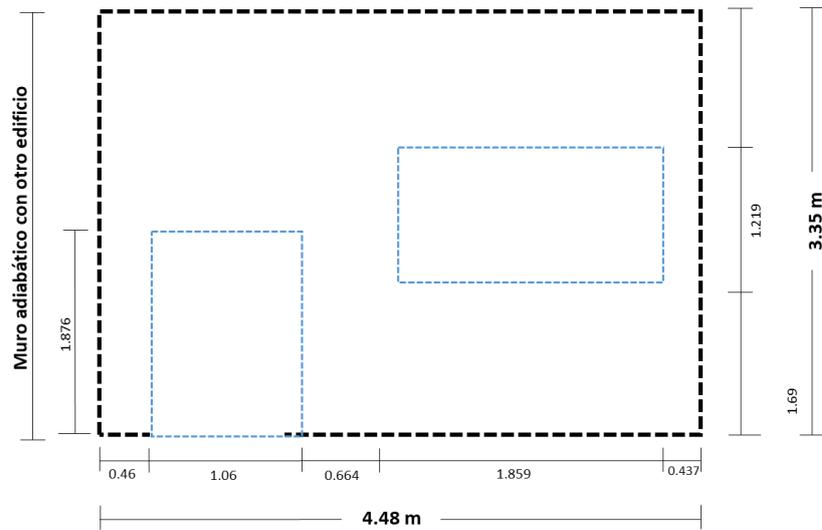


Figura 22: Dimensiones de la vista frontal de la edificación tipo zona C (San José de Ocoa)

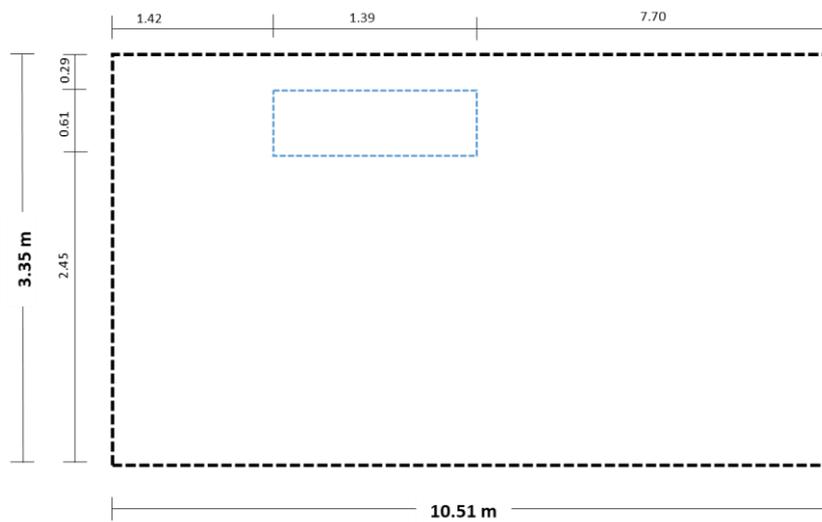


Figura 23: Dimensiones de la vista lateral derecho de la edificación tipo zona C (San José de Ocoa)

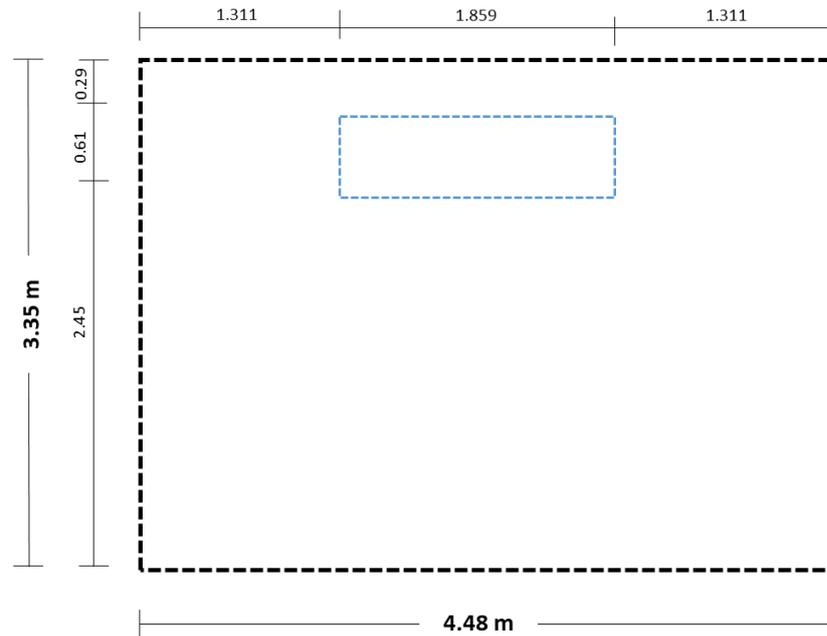


Figura 24: Dimensiones de la vista posterior de la edificación tipo zona C (San José de Ocoa)

A continuación, en la Figura 25, se presentan los detalles y una vista de la construcción de este edificio realizada en DesignBuilder:

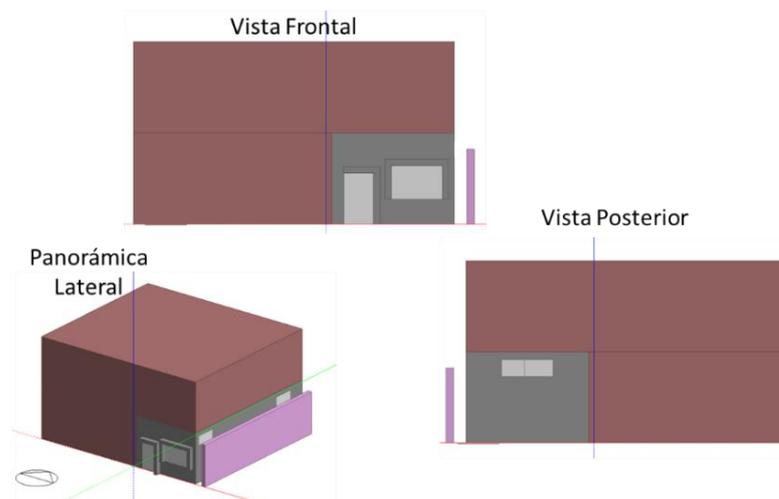


Figura 25: Vista de la construcción en DesignBuilder edificación tipo zona C (San José de Ocoa)

Se utilizaron los datos de orientación y ubicación para tener una simulación real con respecto a la trayectoria solar que incide en cada una de las fachadas de la envolvente, en

la Figura 26 se muestran imágenes de la trayectoria solar del edificio tipo. Vista en planta (A), vista frontal (B), vista lateral derecho (C), vista posterior (D).

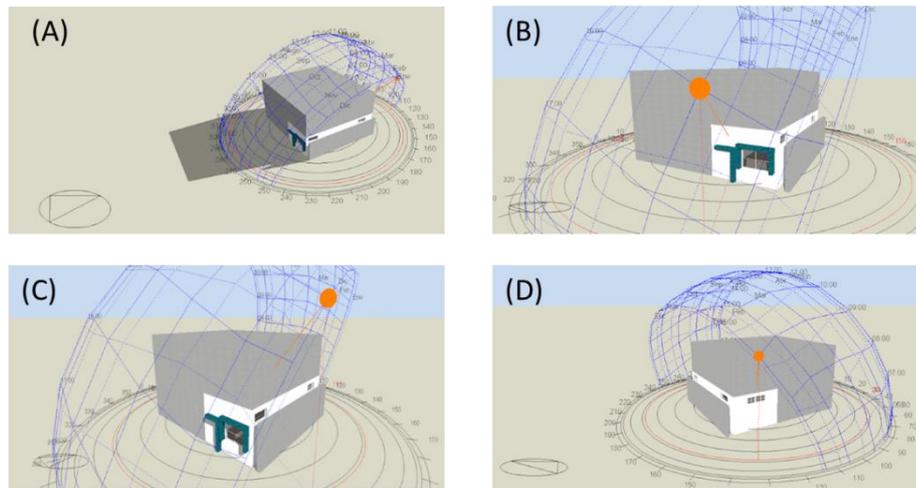


Figura 26: Trayectoria solar edificio tipo, vista en planta (A), vista frontal (B), vista lateral derecho (C), vista posterior (D).

Para elaborar las estrategias a implementar, es necesario obtener datos referentes al área de la fachada vs el área de vidrio (consistente en el porcentaje de vidrio en cada lado del edificio), como se muestra en la tabla 29. Esto, junto con la orientación, permite identificar las fachadas más expuestas a la radiación solar.

Tabla 29: Porcentaje de vidrio en las fachadas del edificio tipo.

% de vidrio con respecto a la pared de la fachada		
Vista	% de vidrio	Orientación
Fachada frontal	28.35%	258° - Suroeste
Fachada lateral	7.56%	177° -Sur
Fachada trasera	7.56%	93° -Este

4.4.1.2. Cálculo de transferencia de calor para el edificio de la zona C

Factores externos como la radiación solar, la temperatura exterior, la velocidad y dirección del viento entre otros influyen en las ganancias totales con las que se tiene que lidiar en el interior del edificio tipo.

Este flujo de calor puede circular a través de tres formas de transferencia de calor las cuales son conducción, convección y radiación que se pueden calcular según el proceso llevado a cabo en la RD por René Pérez et al, [111] la con las siguientes fórmulas del libro de transferencia de calor Yunus Cengel [112]

- **Conducción: Ley de Fourier:**

$$Q_{cond} = \frac{K \times A \times (T_{Ext} - T_{Int})}{X}$$

Siendo:

- $Q_{conducción}$ = Flujo de calor por conducción (Watt)
- K = conductividad térmica del material ($\frac{\text{Watt}}{\text{metro} \times \text{Kelvin}}$)
- A = Superficie de transferencia de calor (Metro^2)
- T_{Ext} = Temperatura de la superficie exterior (Kelvin)
- T_{Int} = Temperatura de la superficie interior (Kelvin)
- X = Espesor del material (metro)

- **Convección: Ley de Enfriamiento de Newton:**

$$Q_{conv} = h \times A \times (T_S - T_{\infty})$$

Siendo:

- $Q_{convección}$ = Flujo de calor por convección (Watt)
- h = Coeficiente de transferencia de calor por convección ($\frac{\text{Watt}}{\text{Metro}^2 \times \text{Kelvin}}$)
- A = Superficie de transferencia de calor (Metro^2)
- T_S = Temperatura de la superficie (Kelvin)
- T_{∞} = Temperatuda del ambiente (Kelvin)

- **Radiación: Ley de Stefan Boltzmann**

$$Q_{rad} = A \times \varepsilon \times \sigma \times (T_S^4 - T_{alre}^4)$$

Siendo:

- $Q_{radiación}$ = Flujo de calor por radiación (Watt)
- A = Superficie de transferencia de calor ($Metro^2$)
- ε = Emisividad del material (adimensional)
- σ = Constante de Stefan Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \left(\frac{Watt}{Metro^2 \times Kelvin^4} \right)$
- T_s = Temperatura de la superficie (Kelvin)
- $T_{alrededores}$ = Temperatura de los alrededores (Kelvin)

Debido a las distintas capas de materiales que posee el edificio y que el flujo de calor debe de pasar por todas ellas para llegar al interior del edificio tipo, se hizo necesario tomarlas en cuenta para la realización del cálculo en forma de resistencias térmicas.

Para el cálculo de transferencia de calor por conducción en las paredes, debido a que estas poseen dos capas de pintura (una en el interior y otra en el exterior), más dos capas de revoque (una en el interior y otra en el exterior) y los bloques de concreto en el intermedio según como se mostró en la Figura 12, todas las capas una a continuación de la otra (en serie), la red de resistencias térmicas queda como se observa en la Figura 27.



Figura 27: Resistencia térmica en serie para las paredes

En este caso, el cálculo del flujo de calor se calculó con la ecuación:

$$Q_{Pared} = \frac{T_{Ext} - T_{Int}}{R_{Total}}$$

Siendo R_{Total} debido a que las resistencias están en serie, la suma de las resistencias:

$$R_{Total} = R_{Pintura} + R_{Revoque} + R_{Block} + R_{Revoque} + R_{Pintura}$$

Calculando R de la siguiente forma, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R = \frac{L}{K \times A} \left(\frac{\text{Kelvin}}{\text{Watt}} \right) \text{ Siendo } L \text{ el espesor}$$

Para el cálculo de transferencia de calor por conducción en las ventanas y en la puerta, debido a que poseen un marco que se encuentra al mismo nivel del vidrio (en paralelo), la red de resistencias térmicas queda como se muestra en la Figura 28:

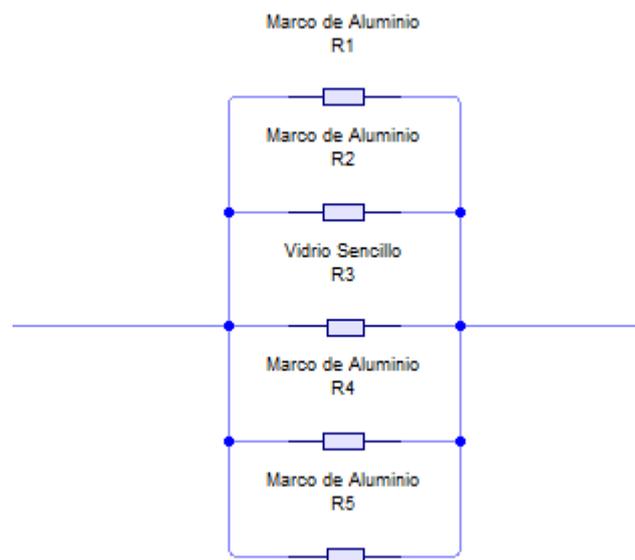


Figura 28: Resistencia térmica en paralelo en los huecos del edificio tipo

Para este caso, $Q_{Ventana}$ y Q_{Puerta} se calculan de la misma forma que Q_{Pared} , sólo cambiando el cálculo de R_{Total} el cual se realizó con la ecuación:

$$R_{Total} = \frac{1}{\frac{1}{R_{Marco}} + \frac{1}{R_{Marco}} + \frac{1}{R_{Vidrio}} + \frac{1}{R_{Marco}} + \frac{1}{R_{Marco}}}$$

En el caso de la convección, debido a que se tienen dos flujos que impulsan al calor (uno en el interior y otro en el exterior), la red de resistencias térmicas queda como se muestra en la Figura 29:



Figura 29: Resistencia para la transferencia de calor por convección

Calculando $R_{convección}$ de la siguiente manera:

$$R_{convección} = \frac{1}{h \times A}$$

Al estar ambas resistencias en serie, R_{Total} es igual a la suma de estas y $Q_{Convección}$ se calcula con:

$$Q_{Convección} = Q_{Convección1} + Q_{Convección2}$$

Cuando se calculan tanto el flujo de calor por conducción como por convección (como fue en este caso) la red de resistencias se combina como se muestra en las Figura 30 y Figura 31:

- Para las paredes:

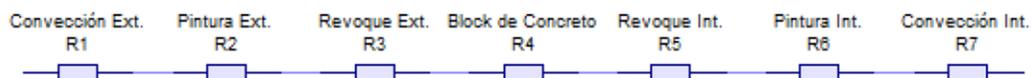


Figura 30: Resistencia total para el flujo de calor por conducción y convección

- Para las ventanas y la puerta:

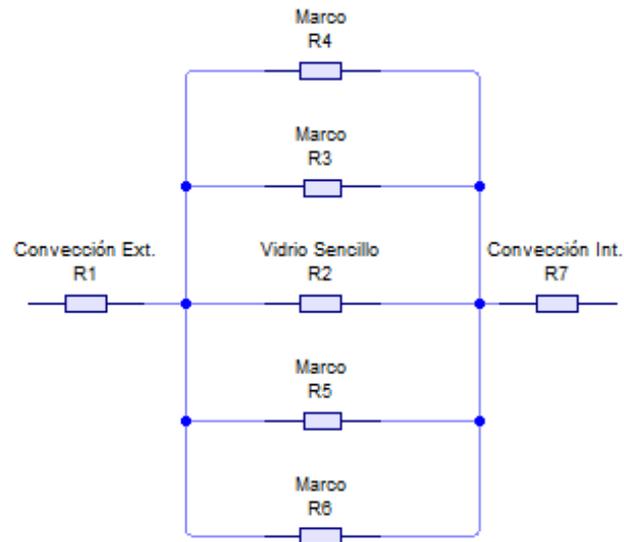


Figura 31: Resistencia total para el flujo de calor por conducción y convección en la ventana y la puerta

En el caso de la transferencia de calor por radiación, en las ventanas y en la puerta, debido a los marcos, también se hizo necesario dividir el cálculo con la red de resistencias térmicas que se muestra en la Figura 32.

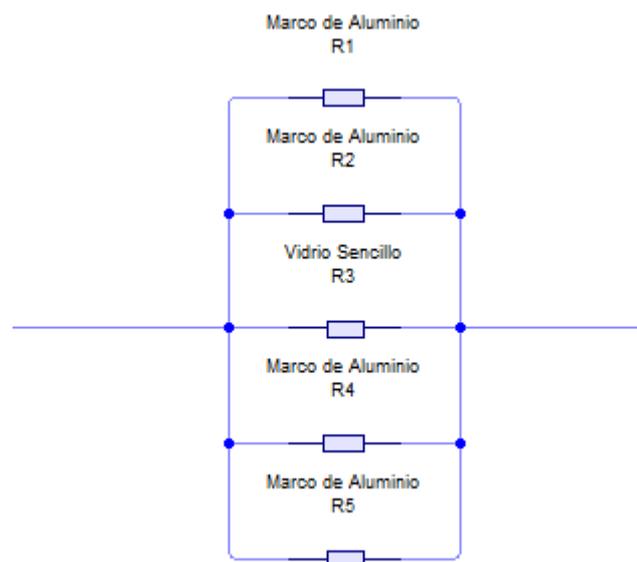


Figura 32: Resistencia térmica en paralelo en los huecos (ventanas y puertas)

Calculando R con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{4\sigma\epsilon T_m^3 \times A}$$

Siendo T_m^3 la temperatura media y se calcula con la ecuación:

$$T_m^3 = \frac{T_p^4 - T_{Al}^4}{4(T_p - T_{Al})}$$

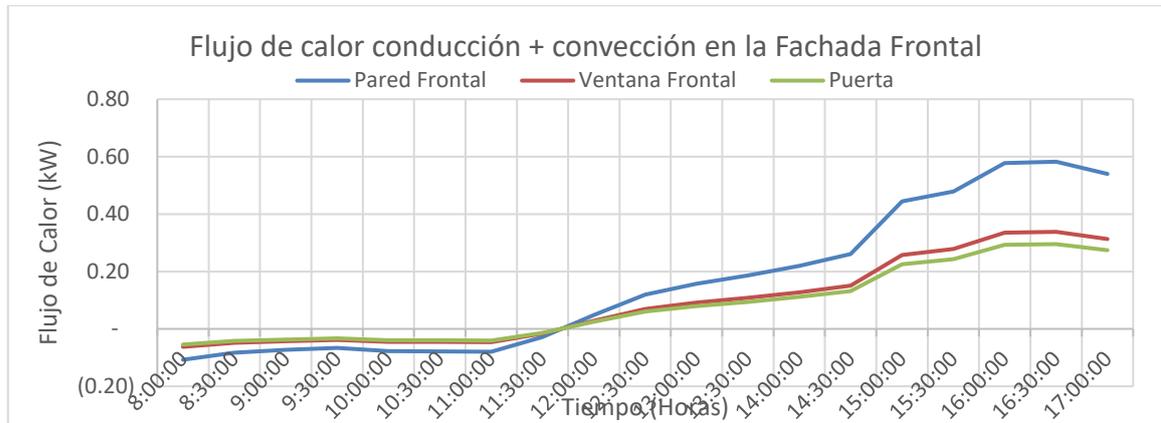
Como las resistencias están en paralelo, R_{Total} es igual al recíproco de la suma de los recíprocos y el calor por radiación en las ventanas y en la puerta se calcula con:

$$Q_{Ventana y Puerta} = \frac{T_S - T_{Alrededores}}{R_{Total}}$$

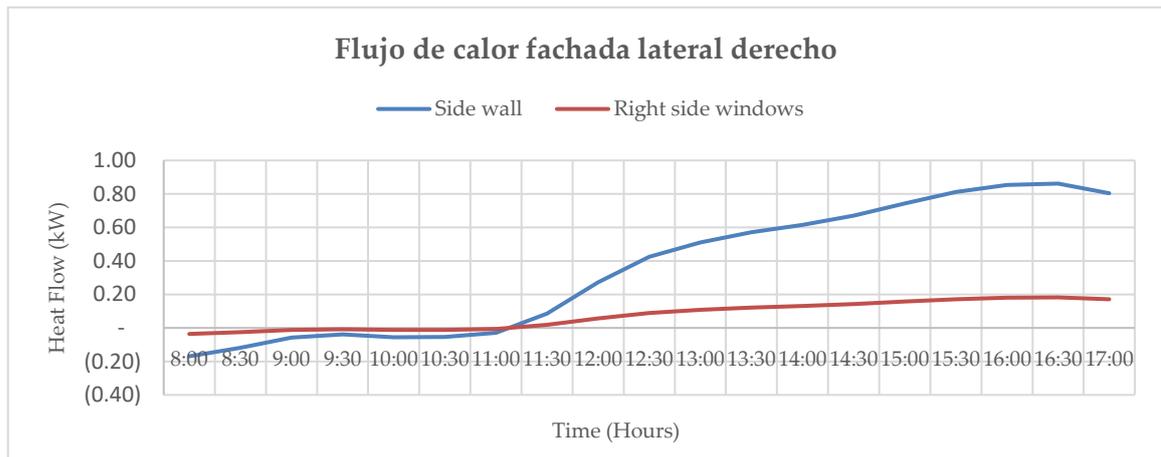
4.4.1.2.1. Transferencia de calor para el edificio de la zona C

Utilizando las fórmulas de la sección 4.3.2.1, se procedió a realizar los cálculos de transferencia de calor para cada fachada de la edificación de la provincia San José de Ocoa.

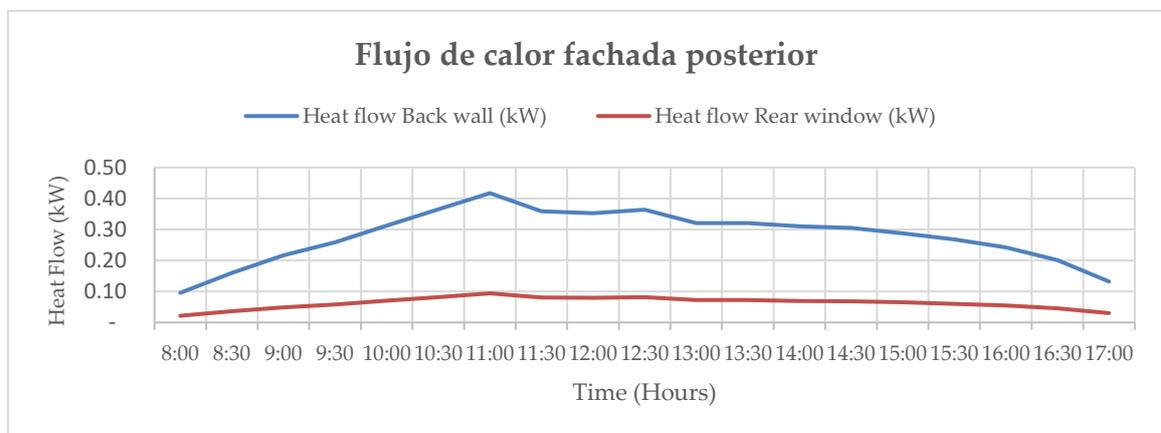
Los resultados de los cálculos de transferencia de calor para el edificio tipo zona C se muestran en la Gráfica 13 (flujo de calor por conducción más convección de la fachada frontal), Gráfica 14 (flujo de calor por conducción más convección de la fachada lateral derecho) y Gráfica 15 (flujo de calor por conducción más convección de la fachada posterior). Los datos utilizados para el cálculo se obtuvieron de la monitorización del edificio mediante los sensores de temperatura colocados dentro y fuera del edificio durante un período de tres meses, con intervalos de medición de 30 min.



Gráfica 13: Flujo de calor por conducción más convección en la fachada principal del edificio F. Mancebo para un día promedio.



Gráfica 14: Flujo de calor por conducción más convección por el lado derecho del edificio

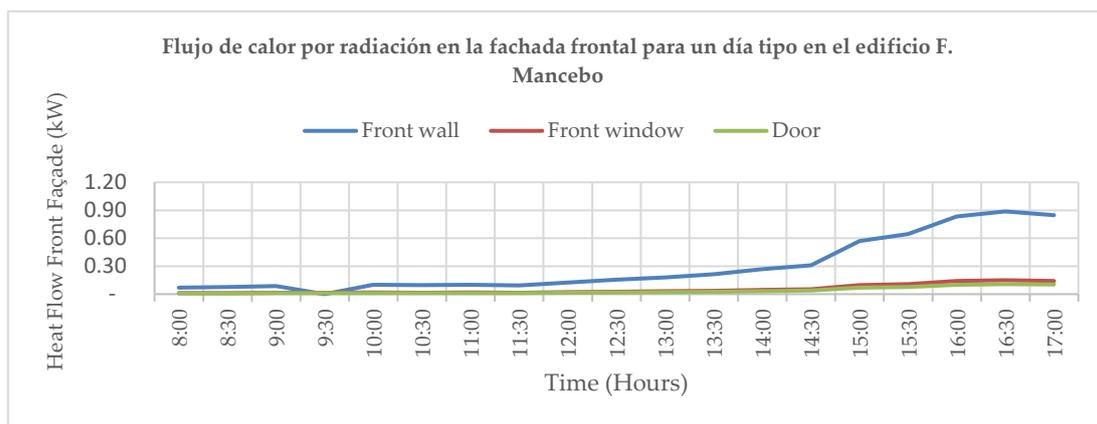


Gráfica 15: Flujo de calor por conducción más convección por la fachada posterior del edificio.

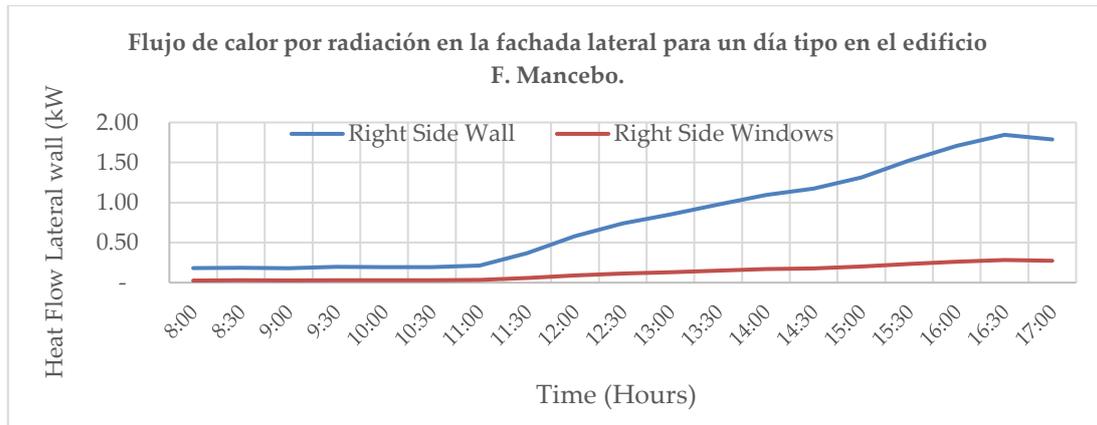
La Gráfica 13 y la Gráfica 14 muestran que la pared frontal, orientada 258° al suroeste, y la pared de la derecha, orientada 177° al sur, aumentan el flujo de calor hasta aproximadamente las 12 del mediodía. Esto se debe a la orientación del edificio en RD con respecto al sol. De la misma manera, la pared posterior (Gráfica 15), orientada 93° al este, presenta un mayor flujo de calor durante las horas de la mañana.

La mayor y más constante ganancia de calor se produce a través de la fachada frontal, tanto en muros como en huecos, alcanzando los 0.58 kW de flujo de calor hacia el interior.

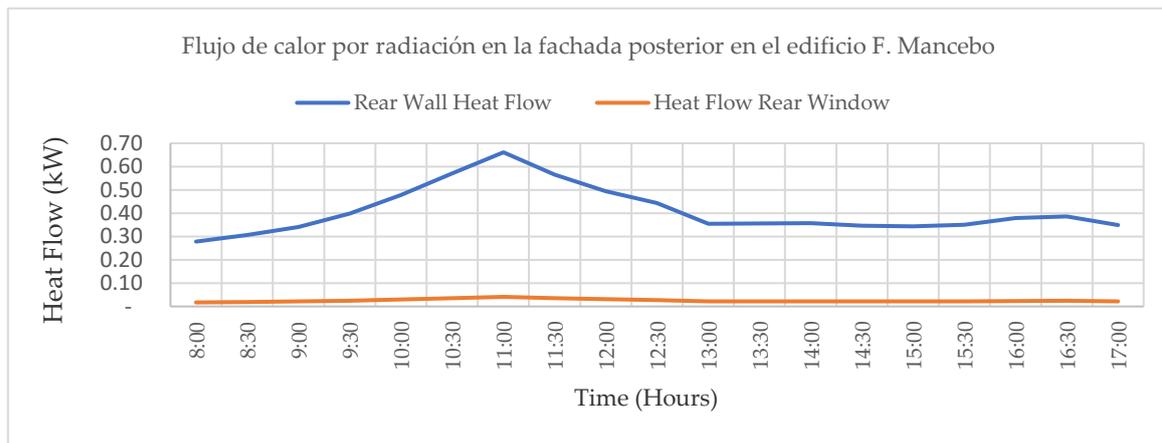
Se muestran los cálculos por radiación en la Gráfica 16 (transferencia de calor por radiación en la fachada frontal), Gráfica 17 (transferencia de calor por radiación en la fachada lateral derecho), y Gráfica 18 (transferencia de calor por radiación en la fachada posterior).



Gráfica 16: Transferencia de calor por radiación a través de la fachada frontal del edificio en horas de trabajo para un día tipo.



Gráfica 17: transferencia de calor por radiación a través de la fachada lateral durante las horas de trabajo de un día tipo.



Gráfica 18: Transferencia de calor por radiación a través de la pared posterior durante las horas de trabajo en un día tipo.

Para conducción más convección (Gráfica 13, Gráfica 14 y Gráfica 15) y para radiación (Gráfica 16, Gráfica 17 y Gráfica 18) muestran que los puntos más críticos para la transferencia de calor en los tres métodos son los de la pared del lado derecho, con los picos llegando a 0.86 kW por conducción más convección y 1.85 kW por radiación, sin tener en cuenta que esta es la fachada que más tiempo está expuesta al sol. También se puede observar que la fachada frontal alcanza 0.58 kW por conducción más convección y 0.89 kW por radiación durante las últimas horas de trabajo del día.

Los gráficos muestran las diferencias entre los flujos de calor, tanto a través de las paredes como de las aberturas. Se puede observar que estos últimos son los de mayor

impacto, no sólo por los materiales y sus propiedades, sino también por la radiación incidente que a través de ellos llega al interior del edificio, llegando a las distintas superficies interiores, lo que sugiere un aumento en la temperatura y más carga de trabajo para el aire acondicionado.

En cuanto a la orientación, la Gráfica 14 y la Gráfica 17 muestran que alrededor de las 14:00 horas, en la ventana lateral más cercana a la fachada frontal, el sol incide directamente sobre ella, mientras que, en los resultados de la fachada frontal, que se muestran en la Gráfica 13 y Gráfica 16, a partir de las 15:00 horas, el sol incide directamente en una mayor superficie de la ventana de la fachada frontal, dando lugar a ganancias de calor en el edificio.

Dicha transferencia de calor en su conjunto, junto con las cargas internas que se producen en el edificio, genera una mayor sensación de incomodidad, que no permite el óptimo desarrollo de las actividades laborales. Además, también supone una mayor carga de trabajo para las unidades de aire acondicionado instaladas, lo que también supone un mayor gasto energético por su uso.

4.4.2. Monitorización y caracterización

Respecto al paso B.2 de la Figura 4:

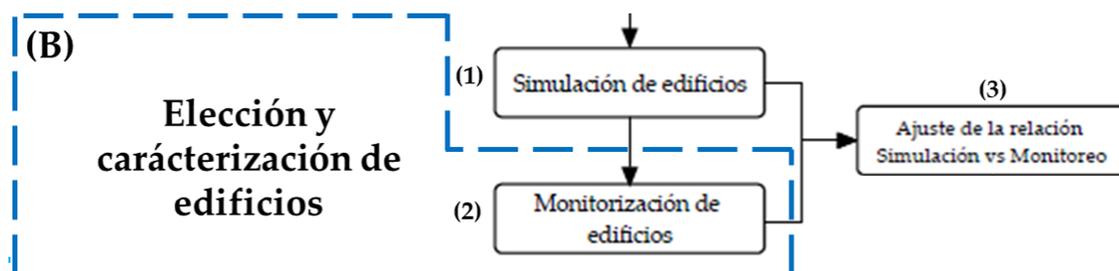


Figura 33: Paso B2. Simulación de edificios

Para el proceso de la monitorización en el edificio, se procedió a instalar sensores de temperatura y humedad relativa en la envolvente del edificio, tanto en el interior como en el exterior, junto con un registrador de datos para medir el consumo de las unidades dedicadas a la climatización.

4.4.2.1. *Situación actual respecto a la climatización del edificio tipo zona C*

Para definir la situación actual del tipo de edificio seleccionado con respecto al comportamiento del aire acondicionado, se colocaron sensores con registradores de datos en diferentes partes del edificio. Tenían las siguientes especificaciones [113]:

- ▼ Marca: WiFi-TH+.
- ▼ Temperatura de -20 a $+60$ °C y rango de medición de humedad de 0 a 100%.
- ▼ Precisión de $\pm 0,3$ °C.
- ▼ Los datos se pueden verificar de forma inalámbrica utilizando EasyLog Cloud.
- ▼ Memoria de registro de hasta 500,000 valores.
- ▼ Los datos pueden ser extraídos por el puerto USB.

Los sensores se colocaron tanto dentro como fuera del edificio, proporcionando lecturas de la temperatura del aire y la humedad relativa del ambiente interior y exterior.

Además, se colocó un medidor de energía eléctrica en la toma eléctrica del aire acondicionado con el fin de cuantificar el consumo eléctrico del sistema y así determinar el intervalo de trabajo del edificio seleccionado.

- ▼ El medidor de energía eléctrica tenía las siguientes especificaciones [114]:
- ▼ Marca: ELOG sensor DENT.
- ▼ Configuración para almacenamiento de datos por PC.
- ▼ Almacenamiento, dependiendo de los valores seleccionados, hasta 300,000 valores.
- ▼ Configuración para grabación de datos por preferencia de tiempo (de 1 a 10 segundos o 5, 10, 30 minutos.).
- ▼ Registro de datos de energía (activa, aparente y reactiva), potencia, factor de potencia, corriente, tensión, entre otros.
- ▼ Descarga de datos por puerto USB.

En la Figura 34 se muestra la colocación in situ del datalogger en el edificio tipo de San José de Ocoa, colocando el mismo para censar el consumo de energía en intervalos de 30 minutos para seccionar el consumo del aire acondicionado del resto de la medida del local



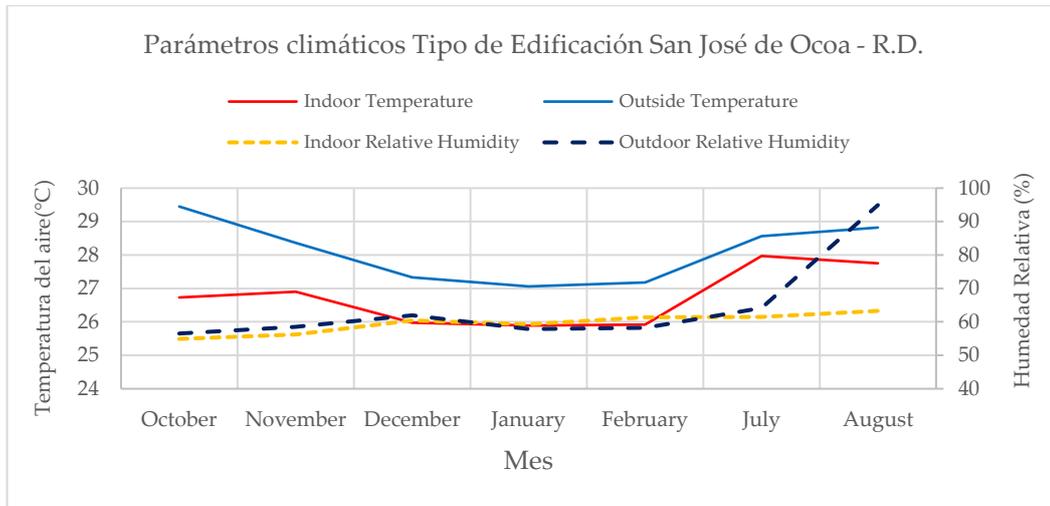
Figura 34: Vista de la instalación de sensores en la edificación tipo de la zona C - Provincia San José de Ocoa

En la Figura 35 se muestra la colocación de los dispositivos que censarán las temperaturas y la humedad relativa del aire cada 30 minutos tanto del exterior como del interior del local.



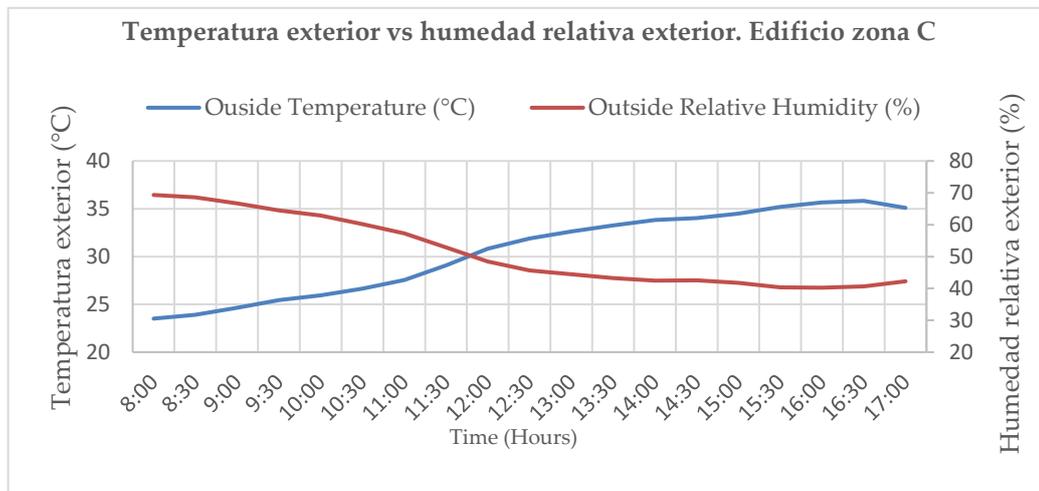
Figura 35: Vista de los sensores de temperatura y humedad relativa tanto del interior como el exterior del edificio tipo en la zona C, San José de Ocoa

Los sensores y el medidor de energía se instalaron por un período de 7.5 meses, 225 días. Además, los datos fueron tomados a intervalos de 30 min, para todos los parámetros medidos. En la Gráfica 19 se muestran los datos recopilados de los meses monitoreados.

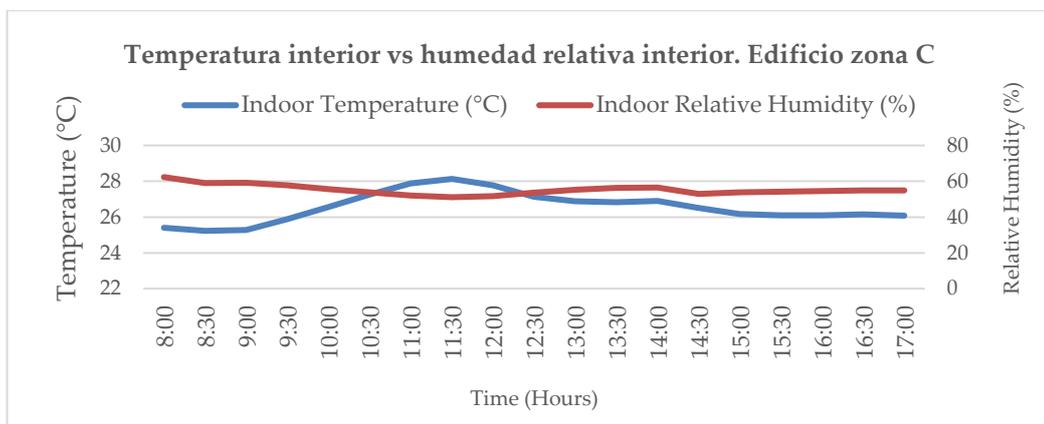


Gráfica 19: Parámetros climáticos recogidos en el edificio representativo durante el periodo de seguimiento.

Estos datos se utilizaron para determinar el día tipo, datos que se muestran en la Gráfica 20 y la Gráfica 21.



Gráfica 20: Datos de temperatura exterior y humedad relativa para el día tipo calculado



Gráfica 21: Datos de temperatura interior y humedad relativa para el día tipo calculado.

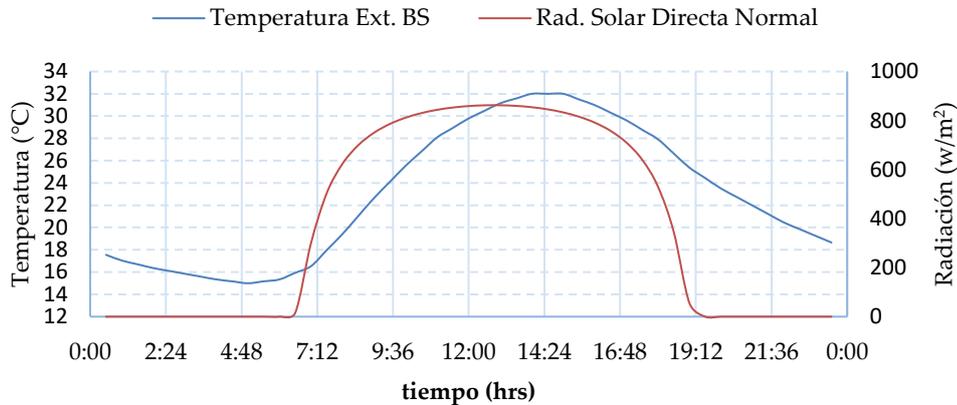
La temperatura y la humedad relativa son parámetros clave tanto para el confort térmico como para el control del aire acondicionado. Estos valores deben tenerse en cuenta para lograr condiciones confortables para la actividad que se desarrolla en el área interior de un edificio [48].

En los edificios de nivel terciario, la temperatura y la humedad relativa necesarias para el confort de los usuarios rondan los 23,8 °C y el 60 %, respectivamente [104].

Como muestran los datos de la Gráfica 21, estas temperaturas de confort no se alcanzan en el interior del edificio tipo, siendo la temperatura más alta de 28 °C, que está lejos de los 23.8 °C, lo que demuestra que los sistemas de aire acondicionado convencionales necesitan trabajar más para vencer las cargas térmicas, y esto implica a su vez un mayor consumo de energía eléctrica, superando los 12.62 kWh/día de media.

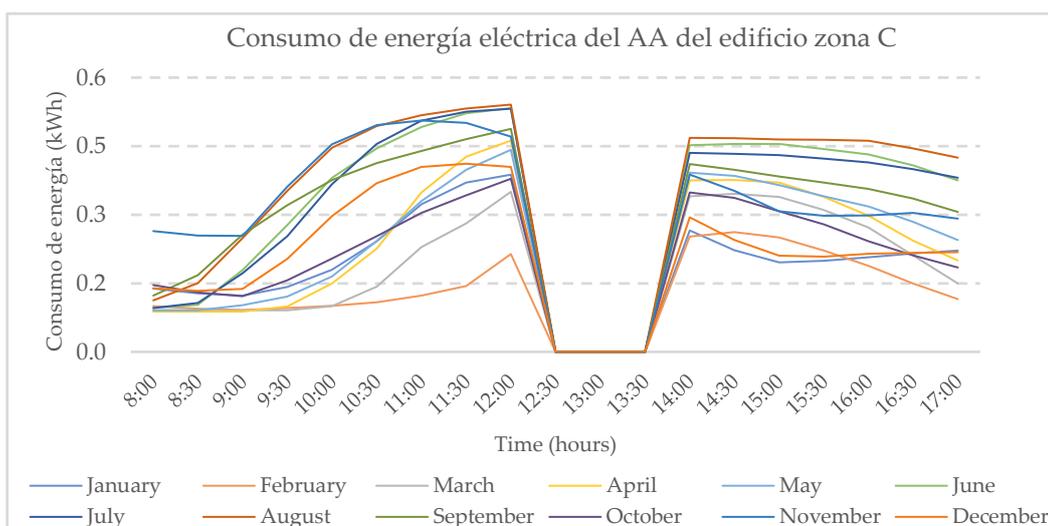
Los datos de la Gráfica 21 muestran que la humedad relativa interior casi siempre se mantiene por encima del nivel recomendado, por lo que se puede afirmar que este parámetro está dentro de los niveles aceptables para obtener un ambiente de confort.

En la Gráfica 22, se muestran los datos de la provincia San José de Ocoa, donde se alcanza un pico de unos 32°C en su temperatura exterior en un día tipo crítico y una radiación solar de 862.3 W/m².

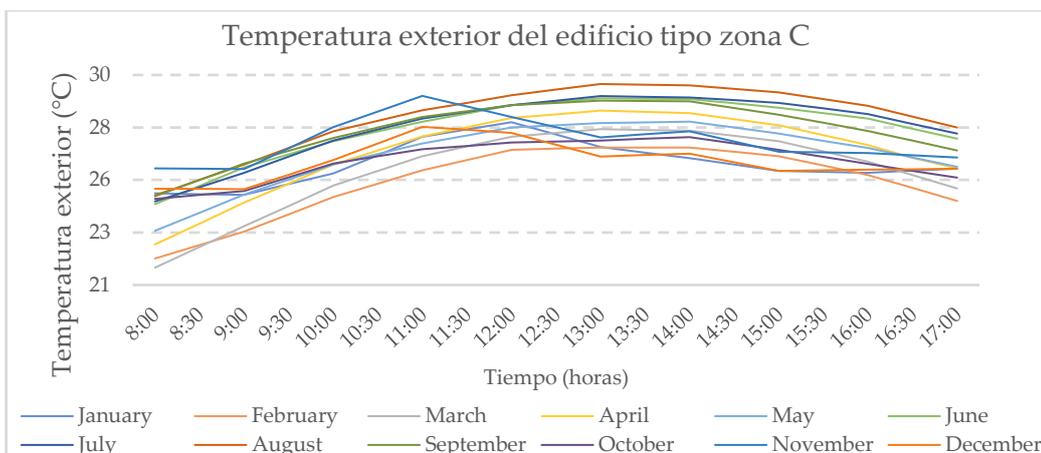


Gráfica 22: Comportamiento de la temperatura exterior (°C) y la radiación (W/m²)_edificio tipo Ocoa

La Gráfica 23 muestra el consumo de energía eléctrica de las unidades de aire acondicionado (kWh), y la Gráfica 23 muestra el comportamiento de la temperatura exterior del edificio tipo del caso en estudio. En la Gráfica 24 se puede observar que, para todos los días tipos de cada uno de los meses en estudio, la cantidad de energía eléctrica utilizada en el acondicionamiento del edificio se encuentra en la misma fase que la fase de radiación solar. También es destacable que, durante las tardes de los meses de junio, julio y agosto, el consumo de energía se mantiene constante, así como la temperatura exterior, esto es debido a la elevación del sol durante esos meses en la latitud en que se encuentra la RD.



Gráfica 23: Datos de consumo de energía del aire acondicionado (AA) del edificio tipo zona C



Gráfica 24: Datos de temperatura exterior (°C) del edificio tipo zona C.

También vale la pena señalar que, al mediodía, es decir, el tiempo de descanso, el punto de ajuste del aire acondicionado se cambia apagado y luego se vuelve a poner en operación cuando el personal termina el descanso, pero este hábito lleva a un pico en el que la unidad de AA unidad tiene que lidiar con el calor acumulado durante el tiempo de descanso, lo que significa que el consumo de energía eléctrica es mayor durante el período de la tarde.

4.4.3. Ajuste de la simulación del modelo en DesignBuilder

Respecto al paso B.3 de la Figura 4:

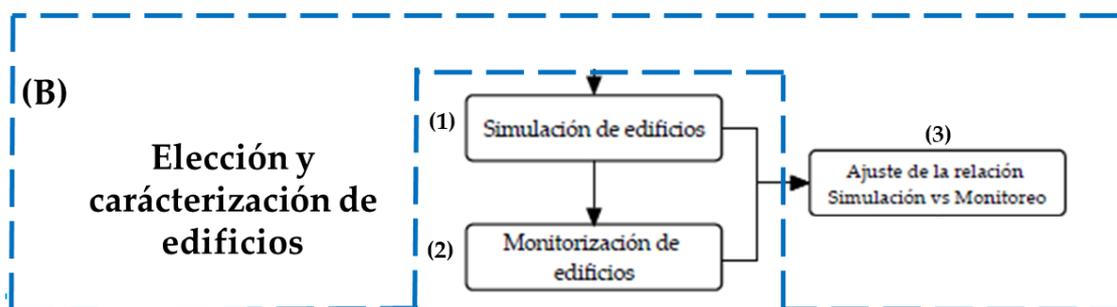


Figura 36: Paso B3. Ajuste de la simulación vs monitorización

Para simular el modelo de edificio tipo del caso en estudio en DesignBuilder (DB) se realizaron una serie de acciones para conseguir el ajuste del consumo simulado en DB y el consumo monitorizado con los diferentes sensores.

Tras construir los diferentes modelos de los edificios tipo en el software de simulación DB, se ajustaron ciertos parámetros con la finalidad de igualar el consumo simulado al real monitorizado. Para esto, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Se modificaron los archivos de los datos climáticos EPW del programa con los monitorizados de las provincias tipo seleccionadas. Luego, se modificaron los días específicos en los cuales se tomaron las mediciones en tiempo real in situ de los edificios correspondientes para ser modificados en el archivo climático.
- En DB se diseñó un módulo de ventilación programada y aire acondicionado (HVAC) detallado con los datos de potencia instalada y tipo de aire acondicionado de los diferentes edificios, siendo la parte que interesa de este módulo la de aire acondicionado como se muestra en la Figura 37.

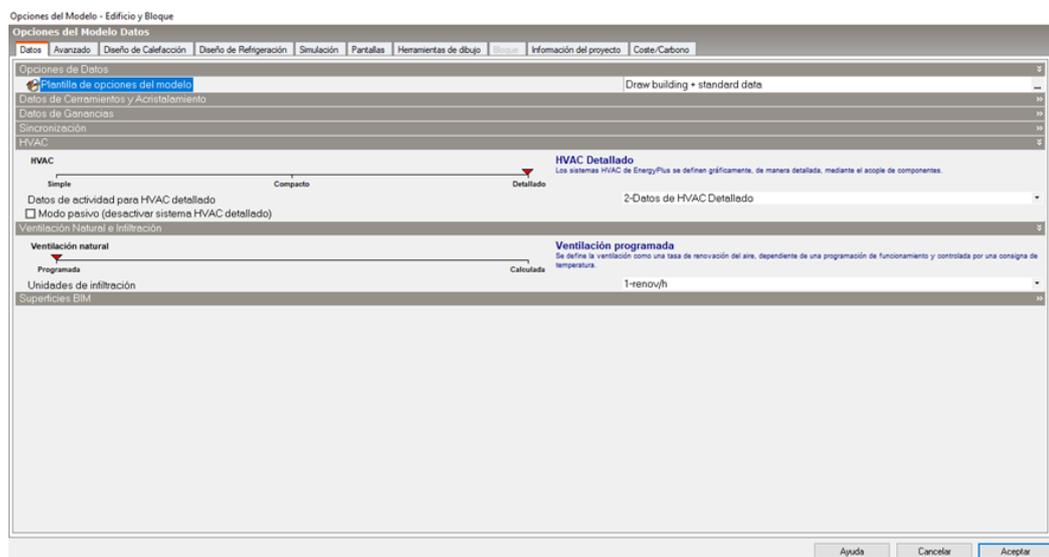


Figura 37: Módulo en Desing Builder de HVAC Detallado modificado

- En el módulo de HVAC detallado, se procedió a armar el circuito de aire acondicionado de las diferentes zonas que componen los edificios tipo del caso en estudio, como se muestra en la Figura 38.

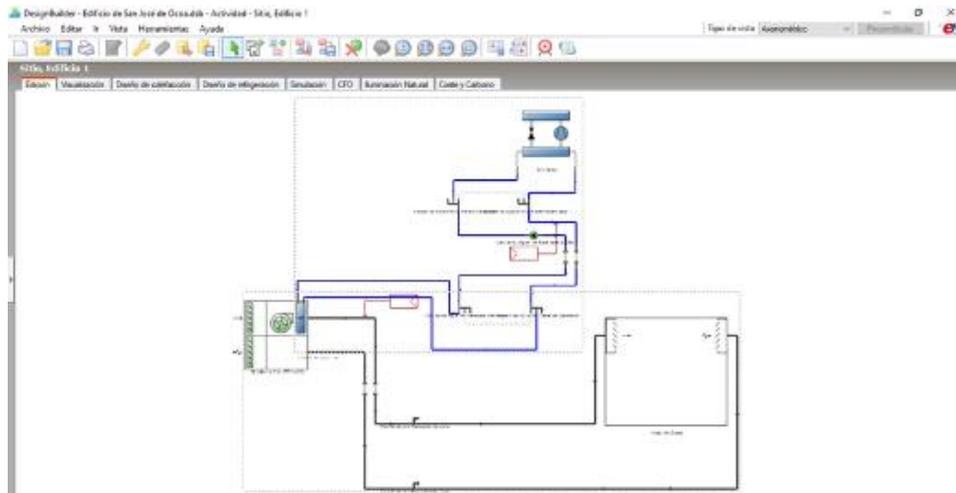


Figura 38: Circuito de aire acondicionado por compresión de vapor para los edificios tipo de la República Dominicana.

- Otros datos modificados en los diferentes módulos de DB fueron:
 - Ubicación: latitud, longitud y orientación del modelo.
 - Temperatura máxima y mínima de bulbo seco del interior y exterior de los diferentes modelos, tomados de los valores significativos mostrados en la sección 4.2.2, datos modificados en el módulo que se muestra en la Figura 39.
 - Consignas de temperatura de refrigeración primarias y secundarias que se muestran en la Figura 39 (con los datos monitorizados) que son el punto de control a los que el aire acondicionado debe llevar la temperatura interior.

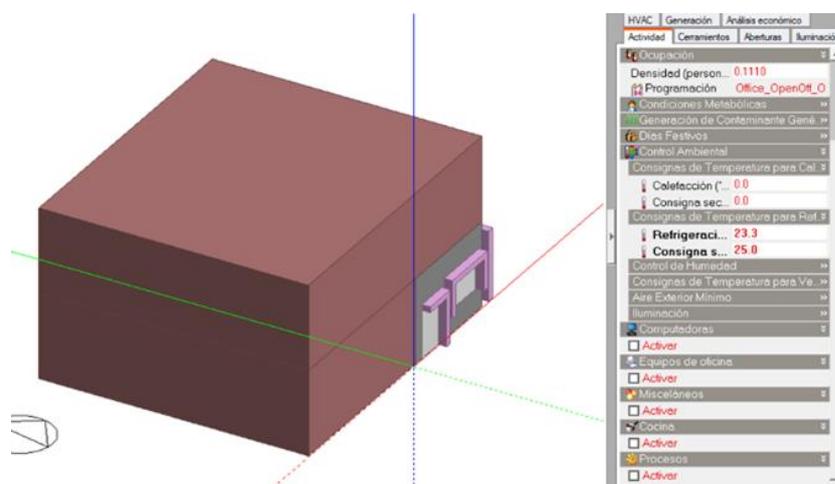


Figura 39: Datos de temperatura modificadas en el módulo de DesignBuilder para los diferentes modelos

- Siendo el consumo destinado a refrigeración del local, el objetivo del caso en estudio, se desactivó cualquier otra unidad que suponga un consumo dentro del edificio como computadoras, equipos de oficina, misceláneos, utensilios de cocina, entre otros equipos, aparte de, se desactivaron por completo los datos de calefacción y ventilación mecánica. Los datos desactivados son aquellos que no corresponden a la unidad de aire acondicionado como se muestra en la Figura 40.

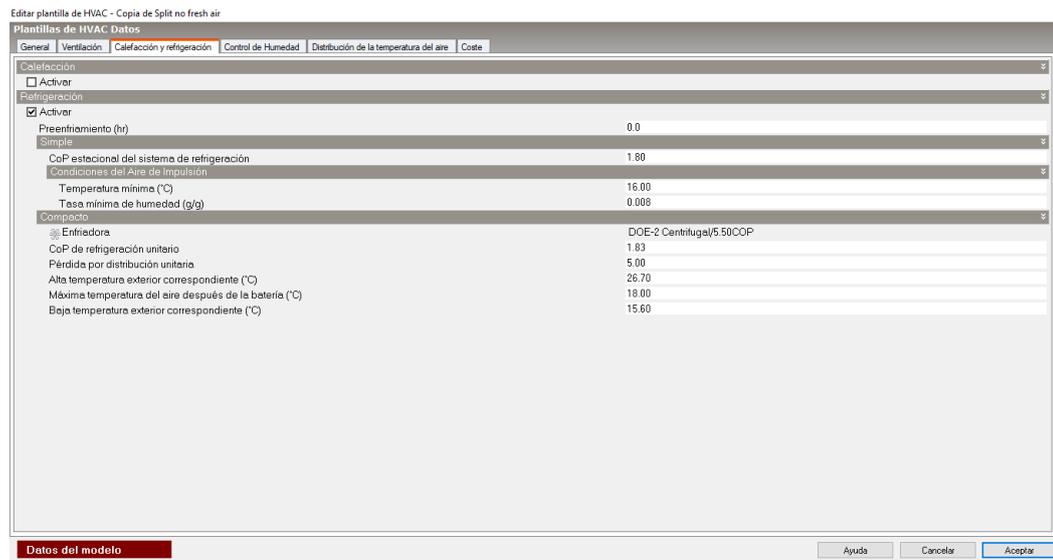


Figura 40: Vista de equipos desactivados para la simulación en el módulo de HVAC que no pertenecen a refrigeración y climatización d ellos locales.

- Se ajustaron los parámetros concernientes a los equipos del módulo de refrigeración mostrados en la Figura 41, datos como la unidad enfriadora a la cual se le modificó la capacidad de referencia, que es la capacidad real de las unidades de refrigeración instaladas en los edificios tipo del caso en estudio. Se establecieron los días y las horas de funcionamiento de las unidades. Todo esto en función de lo que en realidad sucede en los edificios seleccionados, con los datos de los sensores colocados en la monitorización.

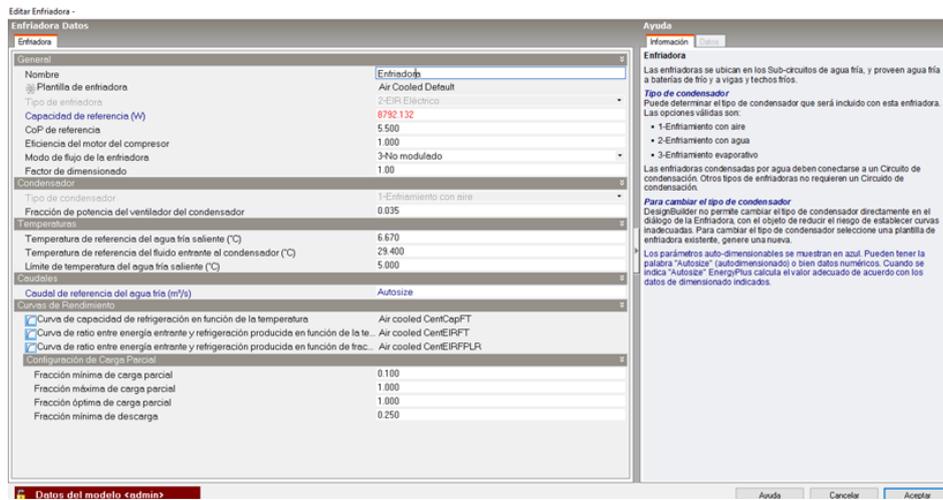


Figura 41: Módulo para modificar los datos a asignar a unidades de aire acondicionado de los diferentes modelos.

- Fueron eliminadas las acciones energéticas procedentes del uso (ocupantes y cargas asociadas fuera del parámetro climatizador), esto para asegurarnos del estudio en sí de los parámetros térmicos y energéticos de estos equipos.
- Para cada uno de los modelos construidos se asignó la planilla de oficina.
- Por último, se deben ajustar los días y las horas de funcionamiento de las unidades en función de lo que en realidad sucede en el edificio estudiado como se muestra en la Figura 42.

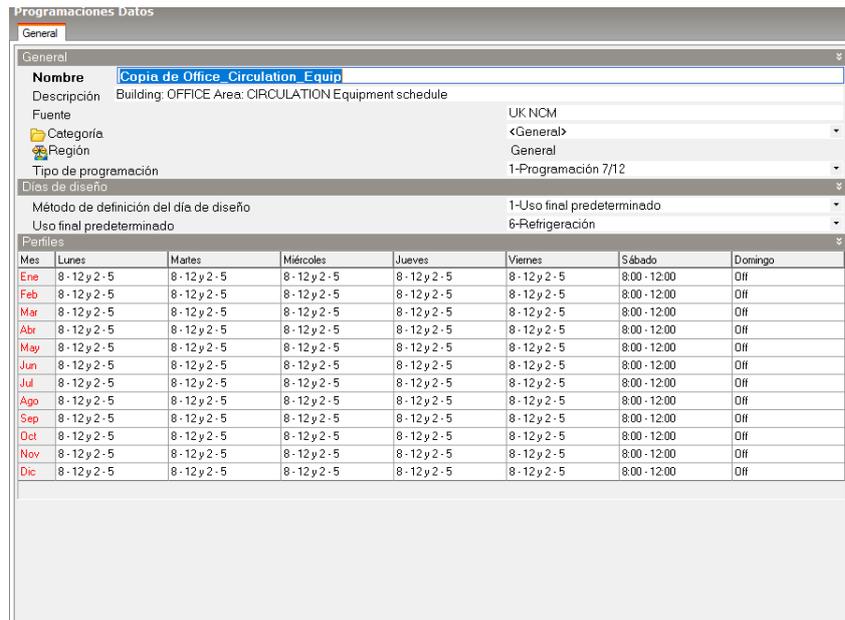


Figura 42: Módulo para ajustar horarios en DesignBuilder para la simulación

Los análisis de la simulación se han centrado en el mayor esfuerzo en la visualización de las ganancias internas para cada modelo.

Los resultados de la simulación fueron obtenidos al correr cada edificio tipo con sus incidencias térmicas durante un año completo.

4.4.3.1. Validación del modelo. Consumo simulado VS monitorizado

Se procede a cruzar los datos para realizar comparaciones de la energía simulada en DB vs la energía monitorizada durante un periodo de tiempo.

Después de crear el modelo del edificio tipo en el software de simulación DB, se ajustaron los parámetros descritos en la sección 4.4.2. para igualar el consumo simulado y el monitorizado.

Para ello se realizaron las siguientes acciones:

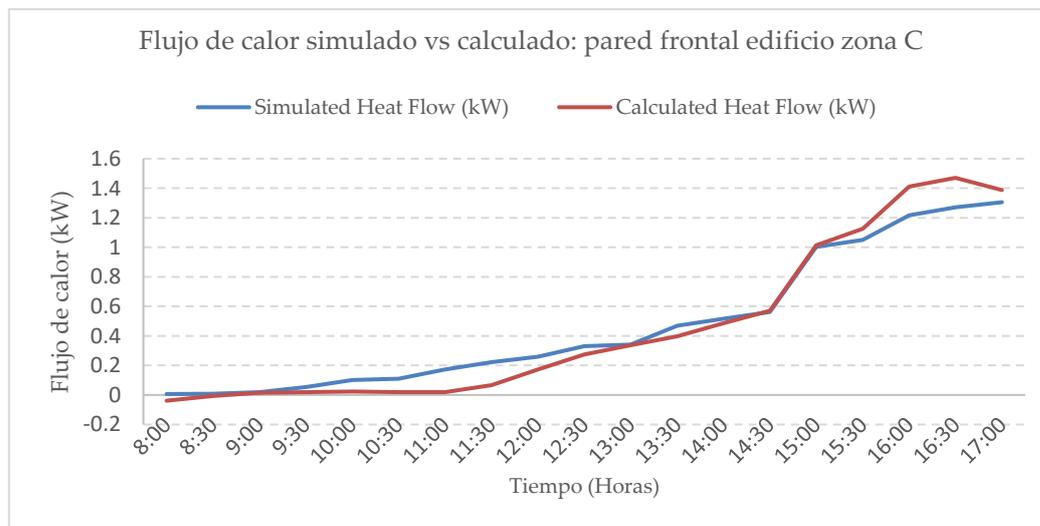
Los archivos de datos climáticos de EPW del programa DB se modificaron utilizando el monitoreo de la provincia seleccionada. Los días específicos en los que se tomaron las medidas en tiempo real se modificaron en el archivo climático. Estos datos fueron

temperatura; humedad relativa; velocidad y dirección del viento; radiación directa, difusa y reflejada; y temperatura de punto de rocío, entre otros. Estos datos fueron seleccionados para igualar las condiciones climáticas del modelo con las de la provincia de San José de Ocoa. También se ajustaron los siguientes valores geográficos: latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar y datos como la velocidad y la dirección del viento tomados de la base de datos del visor de datos NSRDB, así como la orientación del edificio.

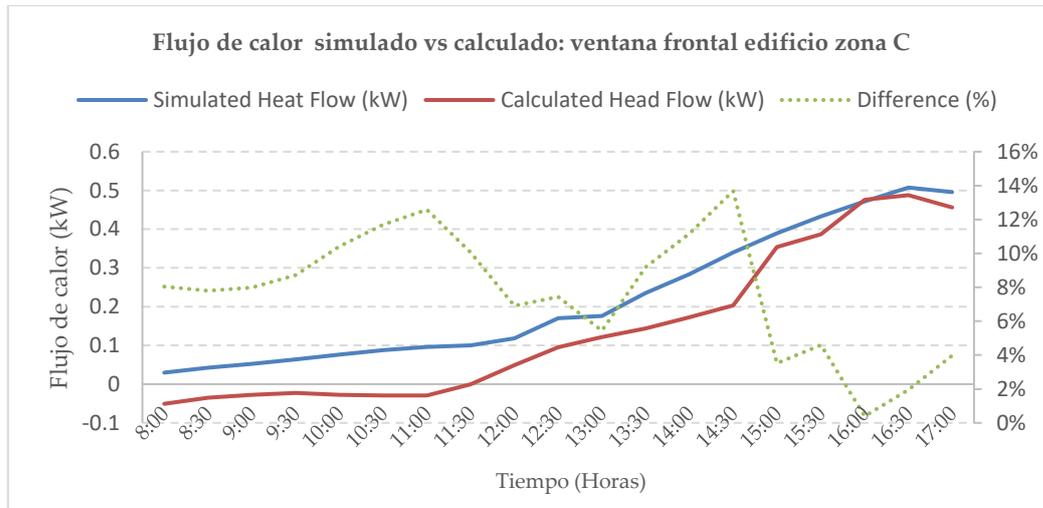
Finalmente, también se ajustaron los días y horarios de funcionamiento del aire acondicionado.

4.4.3.1.1. Edificación tipo zona C. Provincia San José de Ocoa

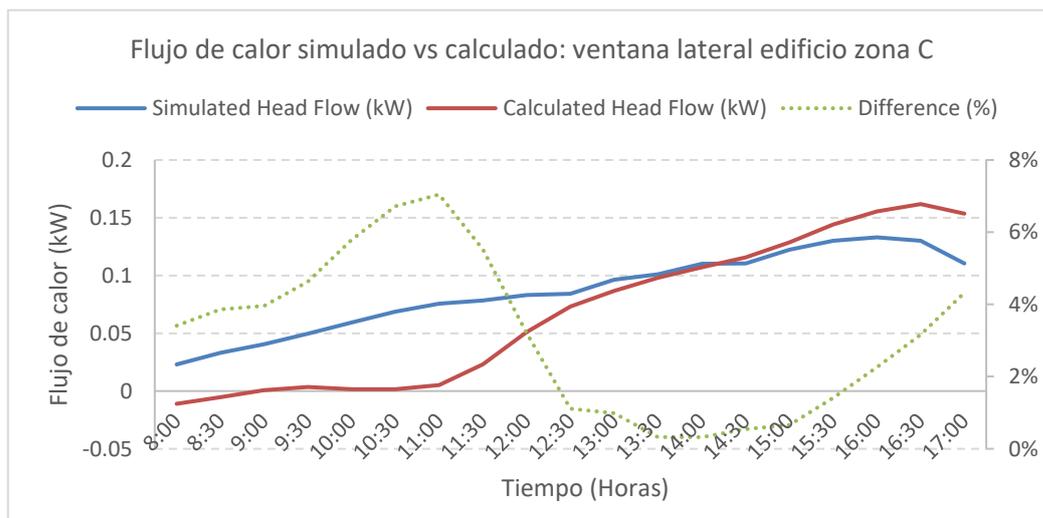
Una vez realizados todos los pasos descritos en el apartado anterior, se simuló el flujo de calor a través de diferentes superficies del edificio seleccionado, junto con el consumo de energía del aire acondicionado, comparando estos y obteniendo los resultados que se muestran en la Gráfica 25, Gráfica 26 y Gráfica 27.



Gráfica 25: Flujo de calor simulado vs calculado de la pared frontal del edificio zona C para un día tipo.



Gráfica 26: Flujo de calor simulado vs. calculado a través de la ventana frontal del edificio zona C para un día tipo.



Gráfica 27: Flujo de calor simulado vs. calculado a través de la ventana frontal del edificio zona C para un día tipo..

Es claro que los datos obtenidos de la simulación se acercan bastante a los cálculos a partir de los datos obtenidos en la primera etapa de monitoreo, con un margen máximo de diferencia del 20% en la Gráfica 25, mientras que en el resto dicha diferencia es solo 14% en la Gráfica 26 y 7% en la Gráfica 27.

Se puede observar que la ventana frontal y la ventana lateral más cercana al muro frontal son las aberturas con mayor incidencia del sol, como se muestra en el análisis

anterior. Estos resultados se tomarán en cuenta a la hora de elegir las estrategias y simulaciones a implementar.

4.4.3.1.1.1. Porcentaje energético destinado a climatización edificio zona C

Utilizando los valores de energía registrados y facturados por la distribuidora de electricidad que brinda servicio en el local, en la Tabla 30 se muestra el consumo de energía eléctrica mensual en kWh del edificio tipo zona C en la provincia Ocoa.

Tabla 30: Consumo mensual del edificio tipo del caso en estudio

Períodos (Mes/año)	Consumo Eléctrico (kWh/mes)
Jul. / 2019	374
Ago. / 2019	454
Sep. / 2019	401
Oct. / 2019	363
Nov. / 2019	373
Dic. / 2019	343
Ene. / 2020	328
Jul. / 2020	392

El promedio medio mensual de la edificación es de 378 kWh/mes. Se toma en cuenta los valores de consumos de energía comprendidos en los meses entre febrero 2020 a junio 2020, esto debido al paro de las actividades laborales en este sector por el COVID 19, lo que provocó que el consumo en el edificio disminuyera considerablemente hasta su reintegración en julio del 2020.

Se observa como el consumo eléctrico del edificio alcanza los valores más elevados de consumo eléctrico en los meses de julio, agosto y septiembre, registrando incluso el pico más alto de 454 kWh/mes en agosto 2019, esto es debido a que es la temporada más cálida para la República Dominicana, lo que provoca que el trabajo realizado por los equipos de climatización aumenten para vencer la carga térmica interior y con ello disminuir la temperatura del edificio para mantener en un confort deseado.

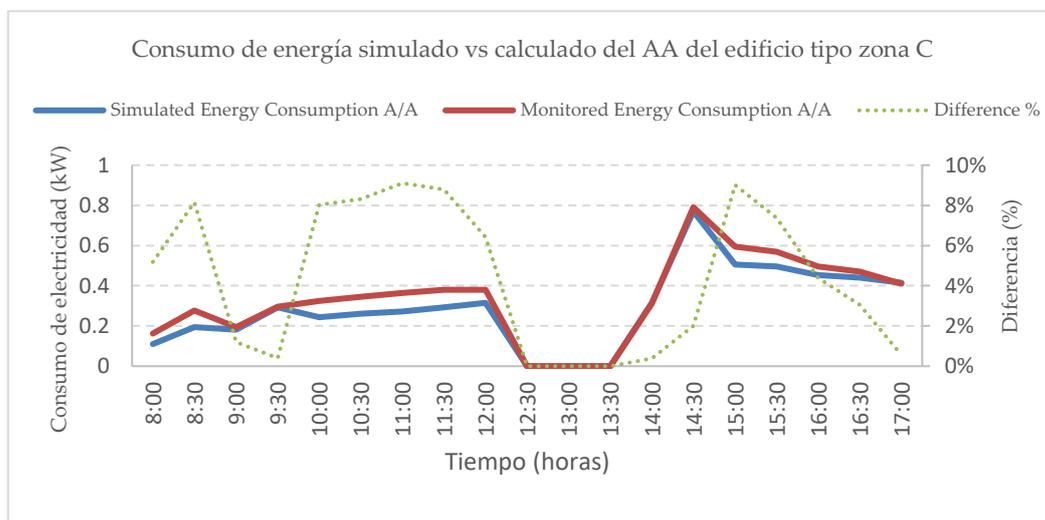
El consumo promedio de energía durante un día tipo es 12.62 kWh/día, comparando este valor promedio con los datos registrados por el datalogger colocado en el equipo de aire acondicionado durante el periodo de los ciento nueve (109) días que se estuvo

monitorizando la edificación se tiene como resultado que el equipo de climatización tiene un consumo de energía eléctrica de 7.22 kWh/día, equivalente a un 57.2% del consumo del edificio, es decir, casi un tercio del costo a pagar de energía eléctrica es destinado a climatización.

4.4.3.1.1.2. Consumo de energía eléctrica simulado vs monitorizado del AA

Para la climatización, el edificio cuenta con dos unidades de aire acondicionado convencional por compresión de vapor de la marca Panasonic, con una capacidad de enfriamiento 12,000 BTU cada una, para un total de, equivalente a una potencia instalada en climatización de 7.034 kW, ambas con una eficiencia del equipo (EER) en refrigeración de 11.21 BTU/h*W que trabajan a un voltaje de 220V y frecuencia de 60Hz [107].

En la Tabla 30 se muestra la comparación del consumo promedio horario de los 109 días de monitorización del edificio tipo San José de Ocoa, donde fue corrida la simulación y se cruzaron los datos de la monitorización. Los resultados se muestran en la Gráfica 28.



Gráfica 28: Consumo de energía simulado vs. calculado de las unidades de aire acondicionado (AA) del edificio zona C.

Los valores simulados vs monitoreados que se muestran en la Gráfica 28 demuestran que hay una diferencia máxima de 9% entre 14:30 y 15:00 en los datos reales vs

monitoreados; validando así el uso del software de simulación con la implementación de estrategias de eficiencia energética para el edificio ajustado.

Como se mencionó anteriormente, en el horario de 12:00 a 14:00, el aire acondicionado está apagado ya que no hay personal trabajando entre estas horas, lo que explica la caída en el gráfico en este momento.

4.5. Análisis de las medidas de Eficiencia Energética e Implementación en el modelo del caso de estudio

Una vez caracterizadas las edificaciones tipos de cada zona climática, se analizan las EEEs que podrían implementarse, dando cuenta de circunstancias específicas respecto al objetivo del estudio, tales como impacto económico, disponibilidad, confiabilidad, grado de intrusión, entre otros. De esta forma se pueden establecer varios niveles de actuación en el edificio.

Debido a que este proyecto está dirigido a servidores públicos y políticos con el fin de ayudarlos en el proceso de toma de decisiones de nuevas reglas enfocadas en el desempeño de eficiencia energética en RD, el marco para la selección de las EEEs es que sean de bajo costo, alta disponibilidad y confiabilidad a el nivel RD, y un bajo grado de intrusión en el edificio.

4.5.1. Identificación de mejoras de EEEs

Respecto al paso C.1 de la Figura 4:

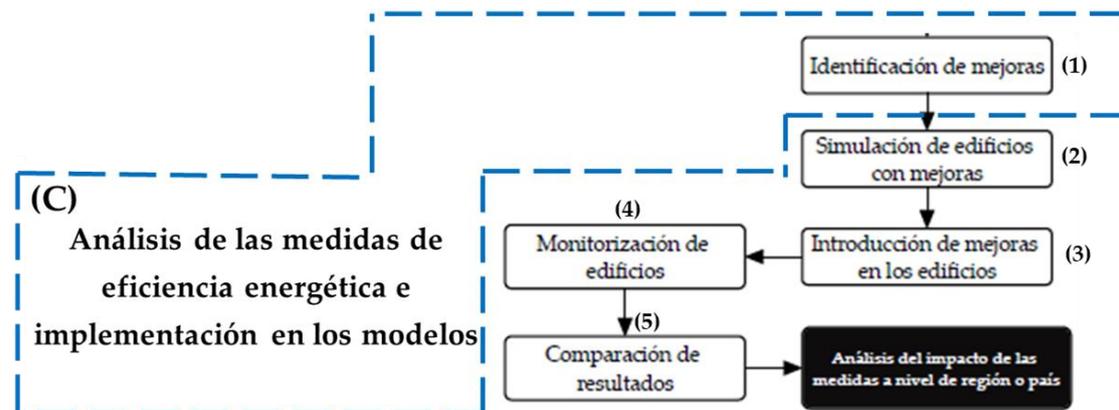


Figura 43: Paso C1. Identificación de mejoras de EEE.

Existen diversas estrategias para mejorar la eficiencia energética que incluyen tanto las que afectan a la envolvente del edificio como las que afectan al sistema energético instalado.

4.5.1.1. Estrategias de eficiencia energética intrusivas

Las EEEs intrusivas son aquellas que de alguna manera alteran la estructura del edificio, además, para su instalación es necesario una inversión que afecta a la actividad comercial del edificio y constituye un coste económico no soportable por empresarios del sector.

Las medidas intrusivas identificadas para edificios de climas tropicales son:

- ▼ Cambio de ventanas de simple a doble acristalamiento (incluyen las de cámaras de aire)
- ▼ Rehabilitación energética de cerramientos verticales y horizontales (incluye la aplicación de aislamiento térmico)
- ▼ Techo ajardinado
- ▼ Renovación de los sistemas de aire acondicionado
- ▼ Instalación de energías renovables

Estas solo son una parte del abanico de opciones que existen y que podrían ser implementadas en los edificios, teniendo en cuenta el que lo que se busca es evitar que el edificio gane calor.

4.5.1.2. Estrategias de eficiencia energética no intrusivas

Las EEE no intrusivas son aquellas que son de alta disponibilidad en la RD y aplicación en la edificación. Para la integración de estas, no es necesario ni una elevada inversión económica, ni la paralización de la actividad económica o comercial del edificio.

Las medidas no intrusivas identificadas para edificios de climas tropicales son:

- ▼ Aplicación de película vinílica microperforada en ventanas.
- ▼ Película pintada de sombra negra para colocar en las ventanas
- ▼ Aplicación de pintura nano cerámica en cerramientos opacos
- ▼ Aplicación de pintura acrílica blanca como base en cerramientos opacos exteriores.
- ▼ Colocación de toldos de lona para ventanas
- ▼ Colocación de toldos de aluminio para ventanas
- ▼ Colocación de lamas exteriores ensombrecedoras para ventanas
- ▼ Instalación de sistemas de ventilación nocturnos para la renovación de aire

4.5.1.3. Análisis de EEEs para el caso de estudio

La Tabla 31 muestra algunas de EEEs que se consideraran en este estudio y que afectan la envolvente del edificio, la Tabla 31 muestra las alternativas para el reemplazo de los sistemas de aire acondicionados.

Estas estrategias fueron tomadas en cuenta para validar su costo y grado de intrusión en el caso de estudio.

Tabla 31: Estrategias de Eficiencia Energética en edificios en relación a la envolvente

EEE	Descripción	Grado de intrusión (1-5)	Tiempo de implementación (meses)	Costo Unitario (\$/m ²)	Índice de disponibilidad en RD (1-10)
A	Cambio a ventanas con vidrio doble acristalado 4/16/4	4	1	300	1
B	Aplicación de película vinílica en ventanas.	1	0.1	26	10

C	Película pintada de sombra negra en ventanas	1	0.1	16	10
D	pintura nano cerámica	1	0.1	24	6
E	Aplicación de pintura acrílica blanca como base.	2	0.15	8.7	10
F	Toldos de lona para ventanas	2	0.1	150	10
G	Toldos de aluminio para ventanas	2	0.1	111	10
H	Rehabilitación energética de cerramientos verticales opacos	5	3	1080	7
I	Techo ajardinado	4	1.5	3039	6

Para facilitar la identificación de cada medida, cada EEEs se ha identificado con una letra mayúscula.

El grado de intrusión se mide en una escala de 1 a 5, donde 1 representa la menor intrusión y 5 la mayor.

El tiempo de implementación, medido en meses, indica el tiempo estimado de afectación de la edificación cuando se está implementando una EEEs.

El costo unitario se expresa en dólares estadounidenses por m² afectado.

También se ha incluido el indicador índice de disponibilidad en RD, el cual está en una escala de 1 a 10, donde 1 representa la accesibilidad mínima a un determinado producto en RD y 10 representa la máxima. Este índice mide la disponibilidad del producto en el mercado de la construcción en RD.

Asimismo, la Tabla 32 muestra datos relevantes sobre diferentes tipos de instalaciones de aire acondicionado.

Tabla 32: EEE que afectan al sistema de aire acondicionado.

EEE	Potencia (kW)	SEER	Costo unitario (\$//ud)
-----	---------------	------	-------------------------

	3.51	$4.60 \leq \text{SEER} < 5.10$	396.55
	3.51	$5.10 \leq \text{SEER} < 5.60$	413.79
J	3.51	$5.60 \leq \text{SEER} < 6.10$	465.52
	3.51	$6.10 \leq \text{SEER} < 8.50$	655.17
	3.51	$\text{SEER} > 8.50$	775.86

4.5.1.4. Elección de EEE a aplicar en el edificio del caso de estudio

Como se identificó en el apartado 4.3.3.1.1, la ventana frontal y la ventana lateral más cercana al muro frontal son las aberturas con mayor incidencia del sol y como medidas no intrusivas y de bajo coste para implementar en el caso de estudio, se procede a realizar los análisis para la aplicación de estas.

Las EEEs seleccionadas se recogen en la Tabla 33, donde se han colocado los costos asociados para su implementación.

Tabla 33: Estrategias de eficiencia energética elegidas para el edificio tipo del caso de estudio

EEE	Zonas del Edificio donde se implementará	Costo total (USD)
B	Fachada lateral derecho y fachada Frontal	81.35
F	Fachada Lateral derecho	127.12

Las estrategias seleccionadas representan un costo total de USD 208.47, lo que representa una inversión razonable para el costo mensual del consumo energético del sistema de aire acondicionado del edificio, que ronda los USD 57.87 mensuales.

Para la selección del toldo se utilizó el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP-TOPSIS) para comparar los tipos de material y así determinar la mejor alternativa. Para ello, se contactaron varios fabricantes en RD. Los resultados se resumen en la Tabla 34, mostrando los criterios utilizados en la selección.

Tabla 34: Criterios de selección de alternativas a implementar en la edificación del caso de estudio.

Cuadro de resumen de las alternativas

Tipo de Toldo	Proveedor 1		Proveedor 2		Proveedor 3		Proveedor 4
	Aluminio	Lona	Lona	Aluminio	Lona	Lona	
Costo del producto (USD)	99.15	133.33	186.32	185.3	224.62	246.15	
Emisividad del material	0.04	0.77	0.77	0.04	0.77	0.77	
Conductividad Térmica (W/m.K)	207	0.034	0.034	2207	0.034	0.034	
Impermeabilidad y Repelencia al Polvo	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	
Facilidad de mantenimiento	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	1-10	

Para mantener la coherencia con los criterios de selección de las estrategias de eficiencia energética, se dio mayor prioridad al costo una vez que las propiedades físicas se ajustaban a las requeridas en el lugar seleccionado, San José de Ocoa.

Como consecuencia del desarrollo del método de selección, se eligió e instaló el toldo de lona fabricado por el proveedor 1, ya que sus propiedades térmicas favorecen la reducción del flujo de calor deseado, y el precio es razonable.

La selección del vinilo microperforado se realizó en base a los datos consultados en dos empresas, como se muestra en la Tabla 35.

Tabla 35: Criterios de selección de alternativas a implementar en la ventana frontal del caso en estudio.

Tipo de vinilo	Cuadro de resumen para elección de la protección de la ventana frontal			
	Proveedor 5		Proveedor 6	
	Microperforado	Vinilo completo	Microperforado	Vinilo completo
Costo del producto (USD m ²)	26	24	29	26
Emisividad del material	0.94	0.94	0.94	0.94
Conductividad Térmica (W/mK)	0.25	0.12	0.29	0.16
Material	PVC polimérico	PVC polimérico	PVC monomérico	PVC monomérico

Espesor (mm)	0.0016	0.0016	0.0014	0.0014
Tamaño de los agujeros para permitir la visión (mm)	1.60	0	1.65	0
Vida Útil (años)	6	7	3	5

La elección se hizo en base a la durabilidad del material y la opción de mantener la vista desde el interior del edificio hacia su exterior. El vinilo microperforado de la empresa proveedor 5 cumple con las condiciones de 6 años de vida útil, con una conductividad térmica de 0.25 W/mK y una emisividad de 0.94.

4.5.2. Simulación del caso de estudio con EEEs aplicadas.

Respecto al paso C.2 de la Figura 4:

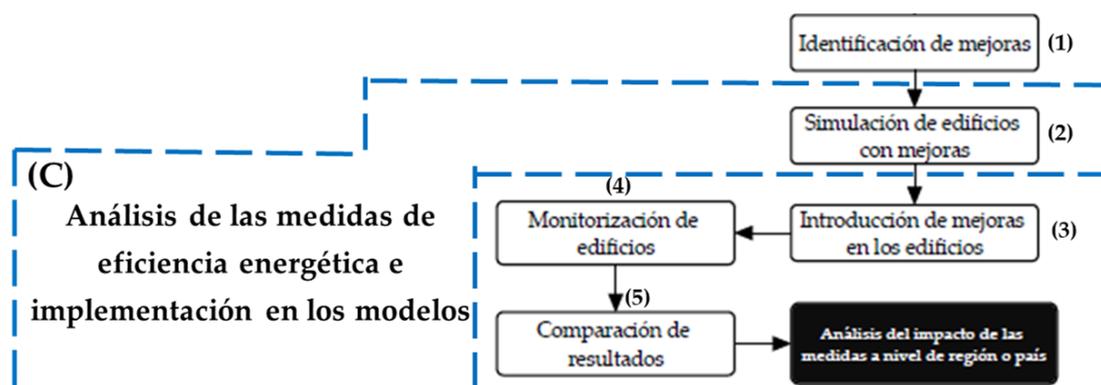
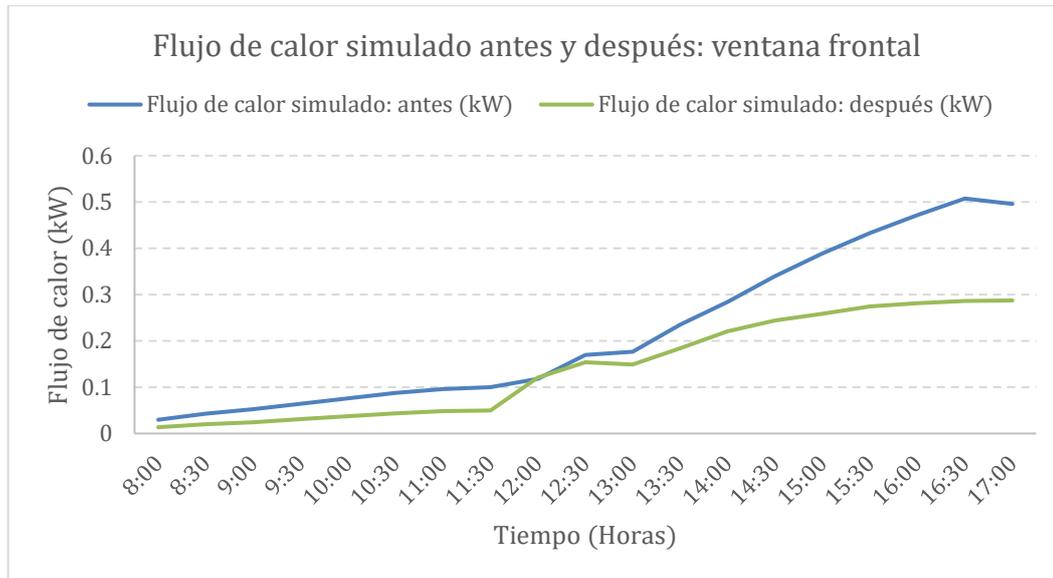


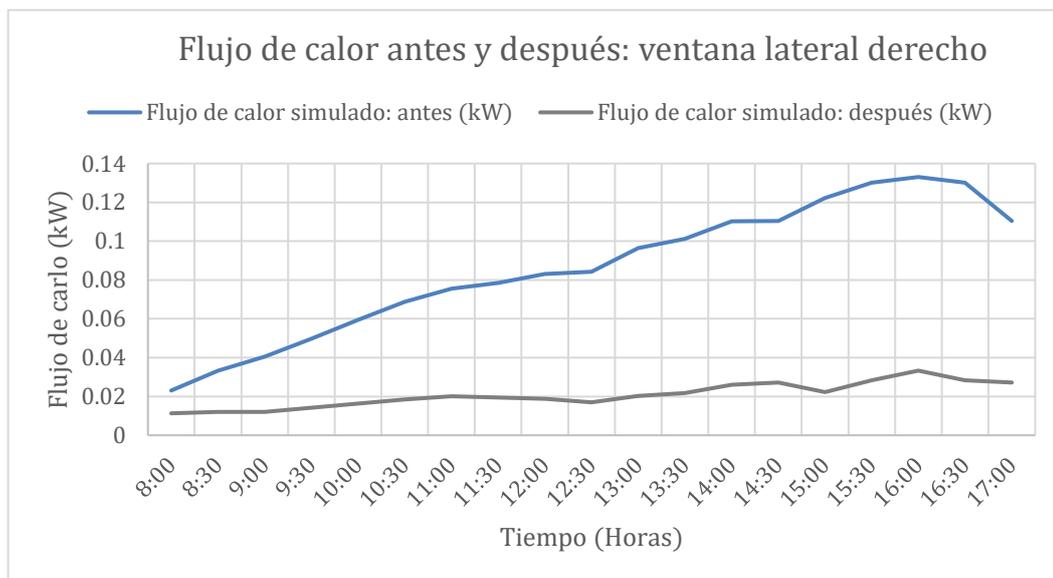
Figura 44: Paso C2. Simulación de edificios con mejoras

Como se indicó en el apartado anterior, se modelaron, instalaron y monitorearon dos EEEs diferentes. Para la ventana frontal se eligió una persiana de vinilo microperforado y para la ventana lateral se instaló un toldo para evitar el impacto directo de la luz solar en la ventana.

Para analizar el efecto de cada estrategia individual, cada una de ellas se simuló por separado con el software DB, y los resultados se muestran en la Gráfica 29, donde se muestra el impacto de la estrategia B, y en la Gráfica 30, donde se muestra el impacto de la estrategia F.



Gráfica 29: Comparación de la simulación de los flujos de calor en la ventana frontal antes y después de la implementación de la EEE (B) para un día tipo.

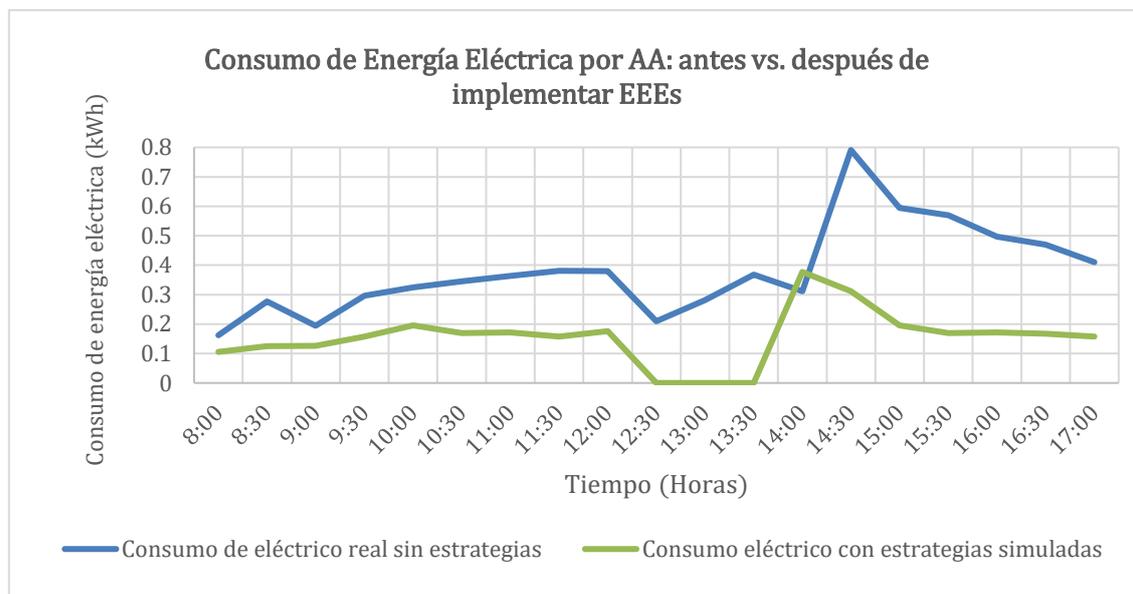


Gráfica 30: Comparación de la simulación del flujo de calor en la ventana lateral antes y después de la implementación de la EEE (F) para un día tipo.

La Gráfica 29 muestra que, durante el día, y especialmente en las horas en que el sol incide en la ventana delantera (15:00 a 17:00), hay una reducción significativa en el flujo de calor. Se puede observar que, en el pico, alrededor de las 16:30, la reducción del flujo de calor cambia de 0.49 kW a 0.28 kW (42.86%).

Por otro lado, para la simulación del toldo en la ventana lateral, la Gráfica 30 muestra que cuando se aplica la estrategia F se produce una reducción del flujo de calor durante todas las horas de luz solar, evidenciando una reducción promedio de un 77.61% en el flujo de calor con un pico de 81.11% (0.1 kW) a las 15:00.

En la Gráfica 31 se muestra la comparación del consumo de energía eléctrica antes vs después con las EEEs identificadas implementadas en el modelo.



Gráfica 31: Comparación de la simulación del consumo de energía antes vs después de implementar EEEs

El consumo eléctrico antes es de 7.22 kWh y el consumo eléctrico simulado con EEEs es de 4.29 kWh para una reducción del 59% con respecto al consumo anteriormente registrado simulado.

4.5.3. Introducción de mejora en el edificio

Respecto al paso C.3 de la Figura 4:

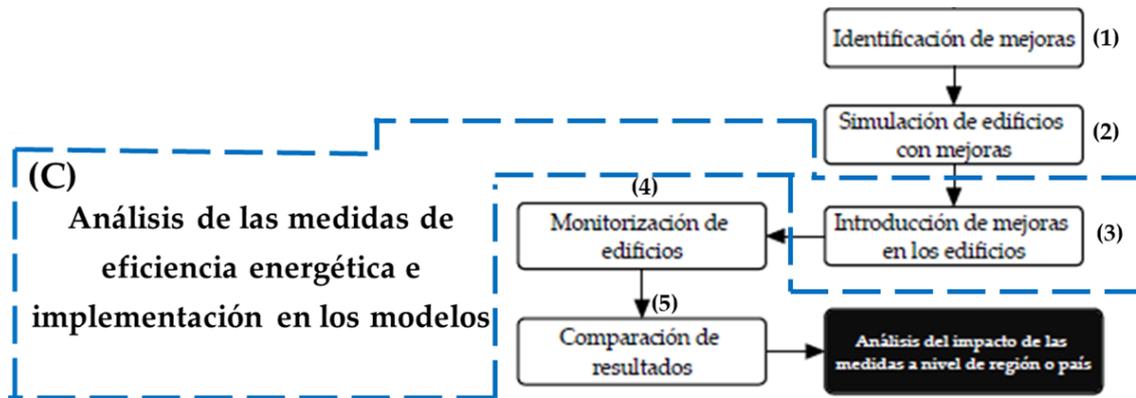


Figura 45: Paso C3. Introducción de mejoras en los edificios

Se realizó el modelado del edificio con el software de diseño SketchUp para mostrar las estrategias de eficiencia energética seleccionadas, la persiana microperforada y el toldo de lona.

La Figura 46 muestra el edificio modelado en SketchUp, donde se diseñaron los elementos a introducir.

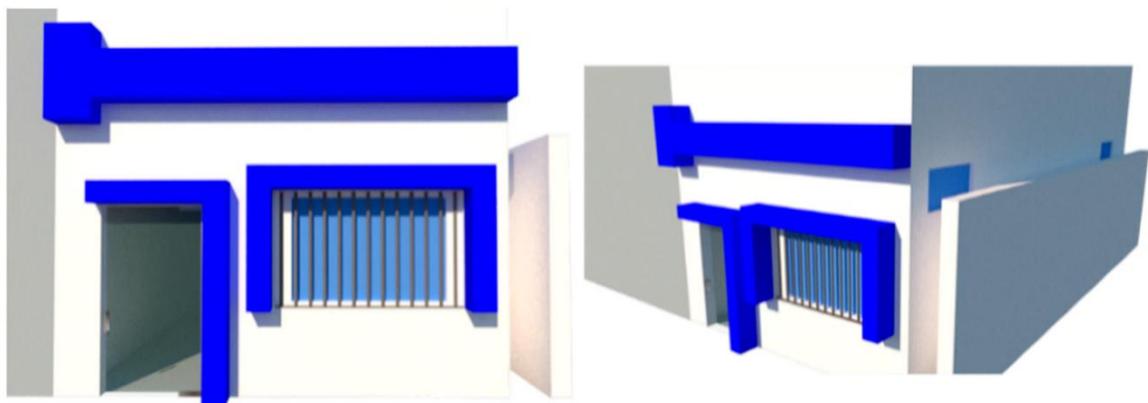


Figura 46: Modelado en SketchUp del edificio del caso de estudio sin EEE

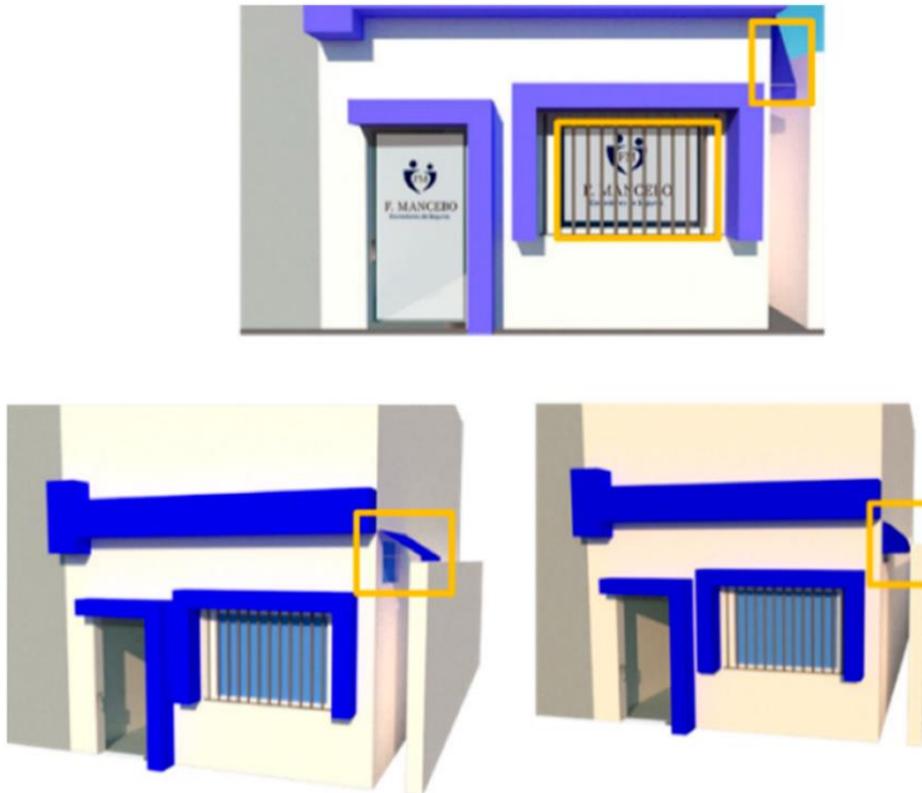


Figura 47: Modelado en SketchUp del edificio del caso de estudio con EEE.

La Figura 47 muestra la simulación en SketchUp indicando los elementos añadidos con el recuadro amarillo y la Figura 48 muestra los elementos introducidos in situ, una persiana microperforada en la ventana frontal y un toldo para la ventana lateral.



Figura 48: Vista del edificio del caso de estudio antes y después de las estrategias de eficiencia energética aplicadas de forma real en la ventana frontal.

Se tuvo en cuenta el logo de la empresa para ciegos, manteniendo así el diseño de la fachada frontal y reduciendo el nivel de intrusión.



Figura 49: Vista del edificio del caso de estudio antes y después de las estrategias de eficiencia energética aplicadas de forma real en la ventana lateral derecho.

4.5.4. Monitoreo de edificios después de la implementación de estrategias de eficiencia energética

Respecto al paso C.4 de la Figura 4:

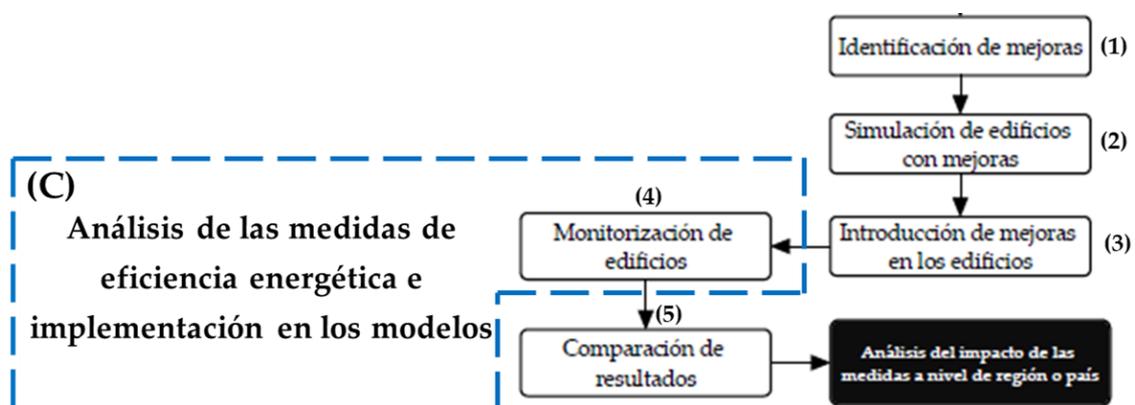
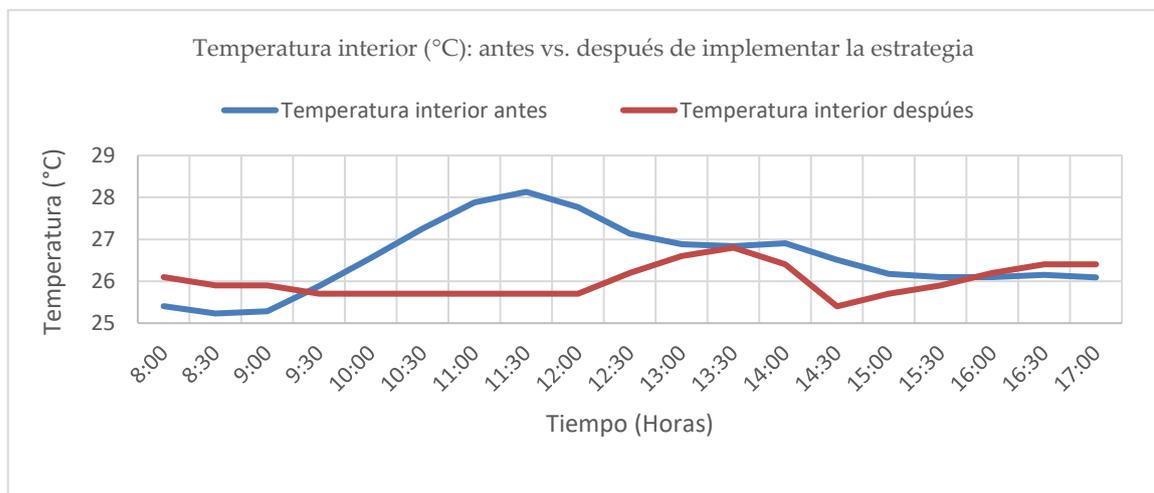


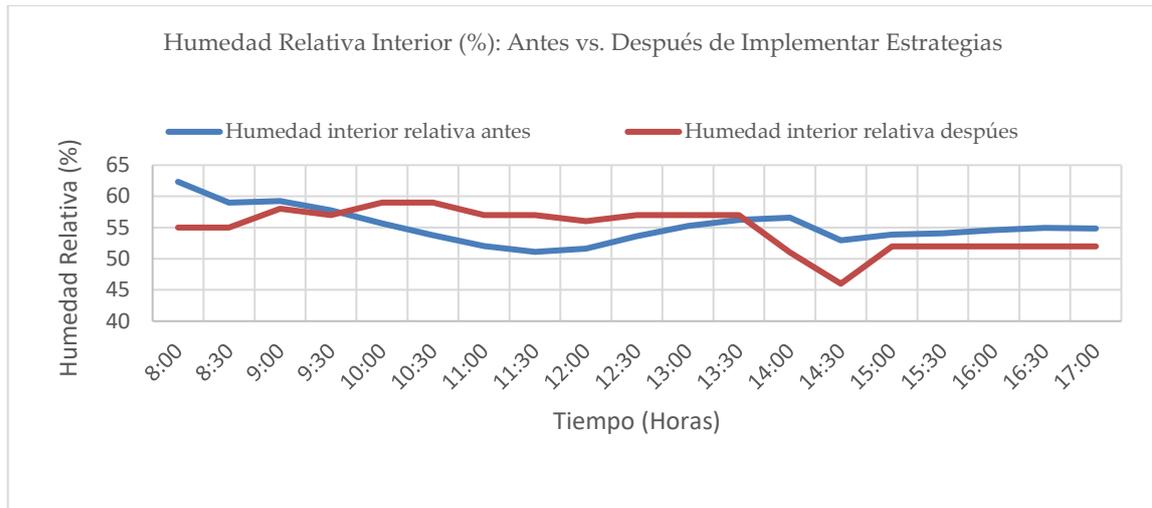
Figura 50: Paso C4. Monitorización de edificios

Una vez implementadas las estrategias, se volvió a monitorear el edificio durante un período de un año, pero debido a la situación de pandemia (COVID 19), el edificio estuvo fuera de servicio durante cuatro meses, de marzo a junio inclusive, los datos de monitoreo de esos meses fueron sacados del análisis.

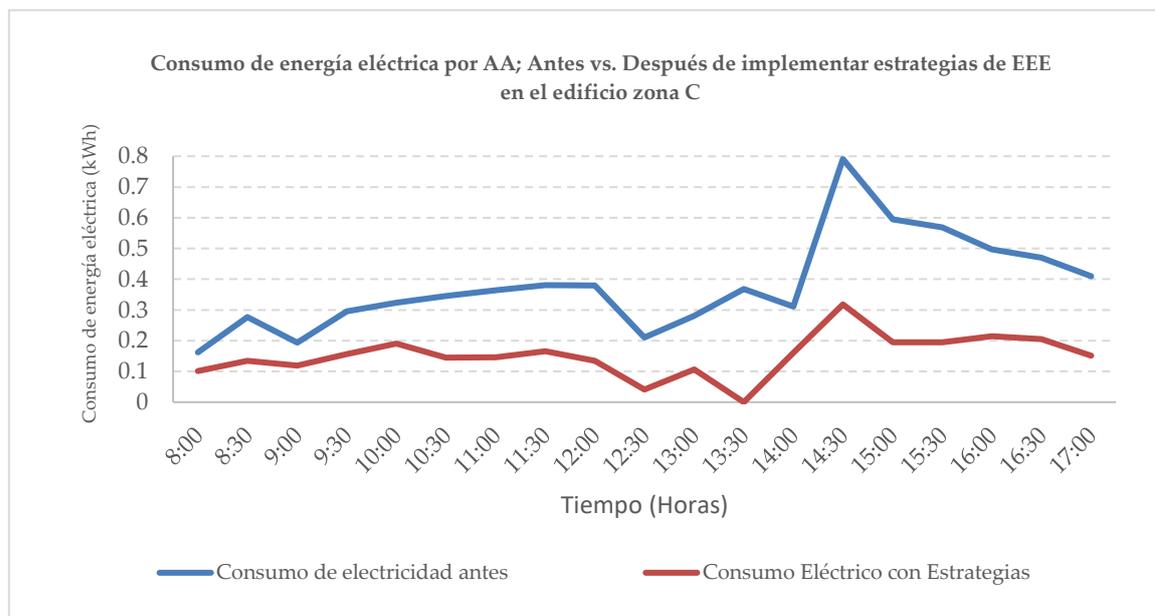
En este análisis se tiene en cuenta las variables relacionadas con las condiciones de confort interior como la temperatura interior (ver Gráfica 32) y la HR (ver Gráfica 33), así como el consumo energético del aire acondicionado, comparando las situaciones antes y después (ver Gráfica 34). Un gráfico adicional, la Gráfica 34, muestra la precisión entre el consumo de energía simulado y monitoreado.



Gráfica 32: Temperaturas dentro del edificio antes y después de las estrategias de eficiencia para un día tipo



Gráfica 33: Humedad relativa en el interior del edificio antes y después de las estrategias de eficiencia energética para un día tipo



Gráfica 34: Consumo de energía eléctrica simulado VS monitoreado por el AA antes y después de las estrategias de eficiencia energética.

La Gráfica 32 muestra la evolución de la temperatura interior durante un día tipo antes y después de la implementación de estrategias de eficiencia energética. Se puede observar que, durante toda la mañana (entre las 09:30 y las 12:00 horas), la temperatura interior se mantiene estable en torno a 2 °C por debajo de la registrada anteriormente. Para el resto del día diurno (12:30 a 17:00), que es cuando la luz del sol incide sobre las

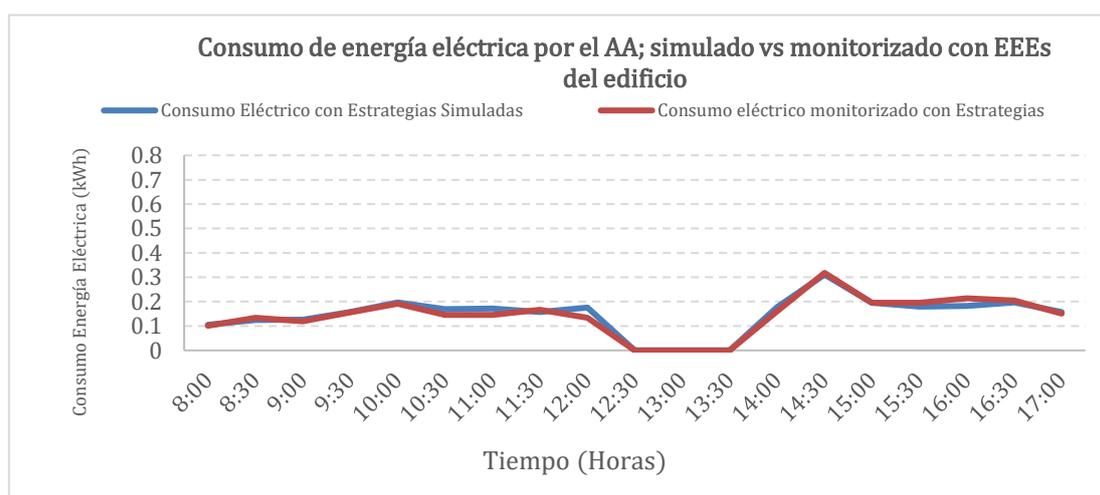
fachadas modificadas, las temperaturas se mantienen mayoritariamente por debajo de las temperaturas anteriores, llegando la diferencia a 1 °C por debajo de las anteriores a los registros.

La Gráfica 33 muestra que los valores de humedad relativa dentro del edificio modificado están ligeramente por debajo de los anteriores de 10:00 a 13:30 y ligeramente por encima de los anteriores de 14:00 a 17:30.

La Gráfica 34 muestra el consumo de electricidad asociado a la unidad de aire acondicionado antes (7.22 kWh) y después de la implementación de las EEEs es de (4.34 kWh) para una reducción real del 60%. Se aprecia un importante descenso en el consumo energético, con notables diferencias a las 14:30 horas, cuando se registra una diferencia de 0.472 kWh. El consumo eléctrico en un día tipo del circuito de AA es de 7.22 kWh

Teniendo en cuenta las mediciones registradas del antes y el después, el consumo total de energía del edificio disminuyó entre un 16% a un 24% aproximadamente.

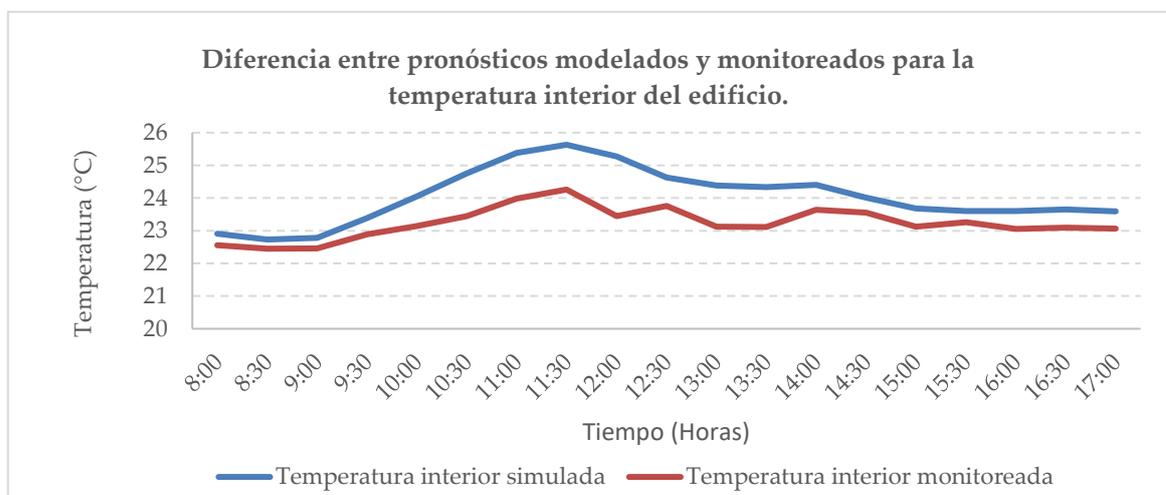
Los datos monitoreados del apartado 4.4.2 se utilizaron para validar el modelo una vez más. La Gráfica 35 muestra la precisión entre el consumo de energía modelado y monitoreado. El modelo predice adecuadamente el comportamiento del edificio y las tendencias a lo largo de un día tipo de trabajo.



Gráfica 35: Consumo de energía eléctrica simulado y monitoreado por el AA luego de la implementación de las estrategias de eficiencia energética.

Se observa que la tendencia es directamente proporcional y con un 0.2% de diferencia en el consumo de energía previsto en la simulación y lo real registrado en la monitorización del edificio del caso de estudio. El consumo eléctrico previsto total simulado era de 4.29 kWh y el real monitorizado fue de 4.34 kWh para una diferencia de un 1% de lo previsto en la simulación con respecto a lo real.

Además, la Gráfica 36 muestra la precisión entre las temperaturas interiores simuladas y monitoreadas del edificio.



Gráfica 36: Diferencia entre pronósticos modelados vs. monitoreados con temperatura interior.

Se observa un pico de diferencia de 1.7 °C en horario de 11:30 am, esto es debido a que en la simulación se consideró que el sol impacta la fachada posterior orientada al este sin considerar la vegetación que pertenece a otra finca y que no son controladas por el propietario del local del caso de estudio. Esta fachada se ve impactada por la radiación solar en el horario comprendido de 11:00 a 12:30, horario que se verifica con mayor diferencia entre la simulación y la monitorización.

CAPÍTULO 5

Resultados y

Análisis

Introducción al capítulo 5

Resultados de la zonificación climática de la RD

Efectividad de las EEE en las diferentes zonas climática

Resultados de la monitorización posterior a la instalación de las EEEs

Análisis

5.1. Introducción Capítulo 5

En este capítulo se presentan los resultados más relevantes obtenidos de la aplicación de la metodología propuesta en esta tesis para el caso de estudio presentado en el capítulo IV. Además, se completa el capítulo con un análisis de la efectividad de las diferentes EEEs según las zonas climáticas del país.

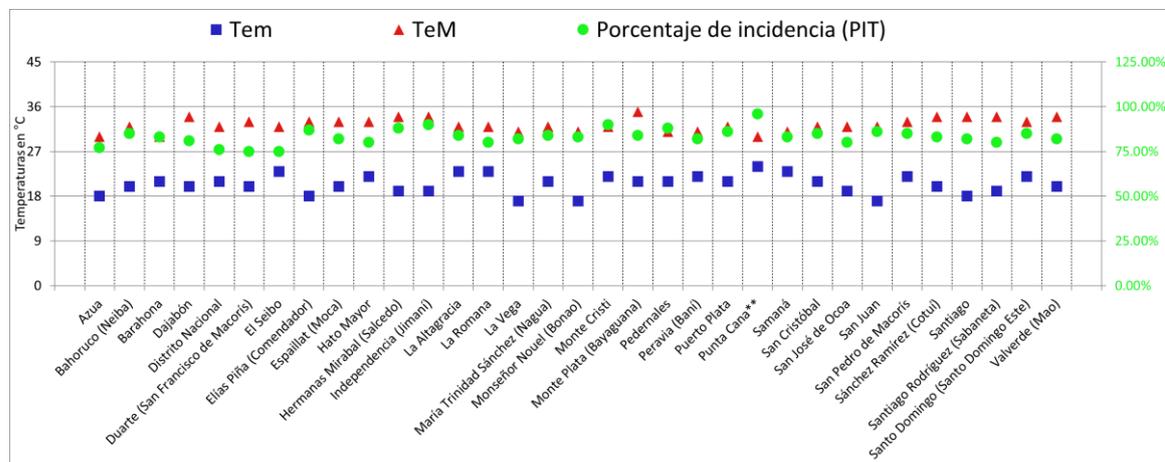
Concretamente, se presentan los resultados obtenidos de la zonificación climática y los resultados obtenidos en la segunda fase de monitorización, una vez implementadas las EEEs y que permite validar el modelo ante la implementación de las estrategias y, en consecuencia, muestra la solidez del modelado energético realizado. Finalmente, se muestra un análisis sobre la efectividad de las diferentes EEEs en función de la zona climática en las que se apliquen.

5.2. Resultados de la zonificación climática de la RD.

Con el objetivo de poder partir de este punto para realizar el análisis de estrategias de eficiencia energética a implementar en los edificios de oficinas en cada provincia de la RD, con el fin de alcanzar niveles de temperatura y la HR del bulbo seco aceptables [115], se realizó un análisis de incidencia atendiendo a los rangos de valores estadísticamente máximos y estadísticamente mínimos, dando lugar a las temperaturas estadísticamente máximas (T_{em}) y mínimas (T_{em}) y a las humedades relativas estadísticamente máximas (HeM) y mínimas (Hem). Es decir, en primer lugar, se analizó qué valores, máximos y mínimos, se registraban con mayor asiduidad en cada rango, máximo y mínimo, y se establecieron esos valores como máximos (T_{em} y HeM) y como mínimos (T_{em} y Hem). Seguidamente, se calculó el porcentaje del total de los valores registrados que se encontraban comprendidos entre los valores máximos y mínimos previamente calculados, a ese porcentaje se le ha llamado “porcentaje de incidencia” (PI) y ha dado lugar al porcentaje de incidencia de la temperatura (PIT) y al porcentaje de incidencia de la humedad relativa (PIH).

Los valores estadísticos máximos y mínimos y los PIs definidos en el párrafo anterior son muy útiles tanto en la etapa de diseño de los edificios y de las EEEs a implementar en la rehabilitación energética, como al analizar el comportamiento climático de una determinada región. Concretamente los PIs representan la probabilidad de que el edificio esté trabajando en las condiciones exteriores para las que ha sido diseñado.

En la Gráfica 37, se puede visualizar los valores obtenidos para TeM, Tem y PIT según las diferentes provincias de la RD.

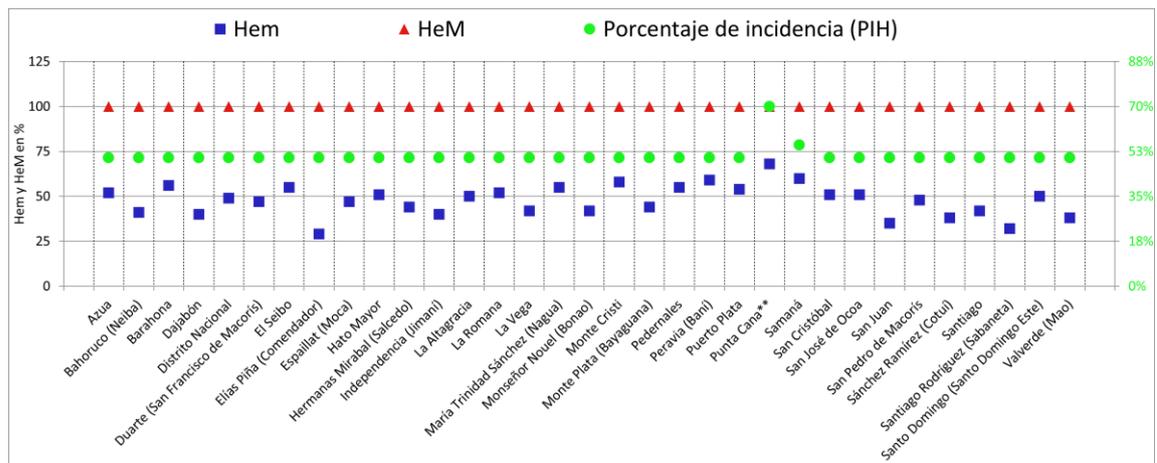


Gráfica 37: % de significancia de la temperatura máxima y mínima exterior por provincias de la RD

Resaltando algunos detalles importantes que se muestran en la Gráfica 37, se observa que, en la provincia de San Juan, donde la Tem es 17°C y la TeM 29°C, el valor del PIT es del 85%. Otro caso para resaltar es el Distrito Municipal de Bávaro Verón-Punta Cana, donde el 96 % del tiempo la temperatura exterior permanece en valores comprendidos entre 24°C (Tem) y 30°C (TeM), lo que indica que el 96% del tiempo los equipos de climatización estarán trabajando dentro de su rango de diseño. También indica que la implementación de las EEEs será más efectiva.

En la provincia de Duarte, sin embargo, se observa que el PIT es de los más bajos de la RD, lo que indica que el 25% del tiempo los equipos de climatización tendrán que trabajar fuera de su rango de diseño y que se deberían instalar EEEs destinadas a mitigar las ganancias solares cuando la temperatura externa se sitúe por encima de la TeM, que será, aproximadamente, el 25% del tiempo de funcionamiento.

En la Gráfica 38, se puede visualizar los valores obtenidos para HeM, Hem y PIH según las diferentes provincias de la RD.



Gráfica 38: % de significancia de la humedad relativa máxima y mínima exterior por provincias de la RD

Dentro de los detalles importantes a resaltar de la Gráfica 38, se observa que, el Distrito Municipal de Bávaro Verón-Punta Cana que es una zona costera, el valor de Hem es 68% y la HeM 100%, con un PIH del 70%. Otro caso que sale a relucir es el de la provincia Samaná, donde el 55% de tiempo la humedad relativa exterior ronda en Hem 60% y la HeM 100%, esta provincia pertenece tan bien a una zona costera de la RD.

En la provincia de Elias Piña (Comendador), sin embargo, se observa que la Hem 29% es de las más bajas dentro de todas las provincias de la RD con un PIH de 50%, lo que indica que es requerido un sistema de humidificación interior. Esta baja de HR se debe a que esta zona es de las más desérticas de la RD. Continuando en este mismo orden se identifican las provincias de Santiago Rodríguez (Hem 32% y PIH 50%), San Juan (Hem 35% y PIH 50%), Valverde (Hem 38% u PIH 50%), entre otras que tienen la misma particularidad de zonas desérticas.

Para mantener los niveles de humedad relativa dentro de niveles aceptables [93] (Hem 45% y HeM 60%), las EEEs deben ir en consonancia con este objetivo, tanto para el aumento como para la reducción de la HR interior de los edificios.

Además de buscar una reducción de la temperatura interior, este factor HR, es el segundo elemento que debemos relacionar cuando se realizan estudios de climatización en edificación.

5.3. Efectividad de las EEEs en las Diferentes Zonas Climáticas

Se realizó un análisis de la efectividad de las EEEs identificadas para cada uno de los ocho edificios de las zonas climáticas tipo. La Tabla 36 se muestran los datos del consumo de energía antes y después de la implementación de las EEE descritas en la Tabla 31 de la sección 4.4 y la reducción prevista del consumo de energía para cada zona climática de una manera simulada utilizando DB.

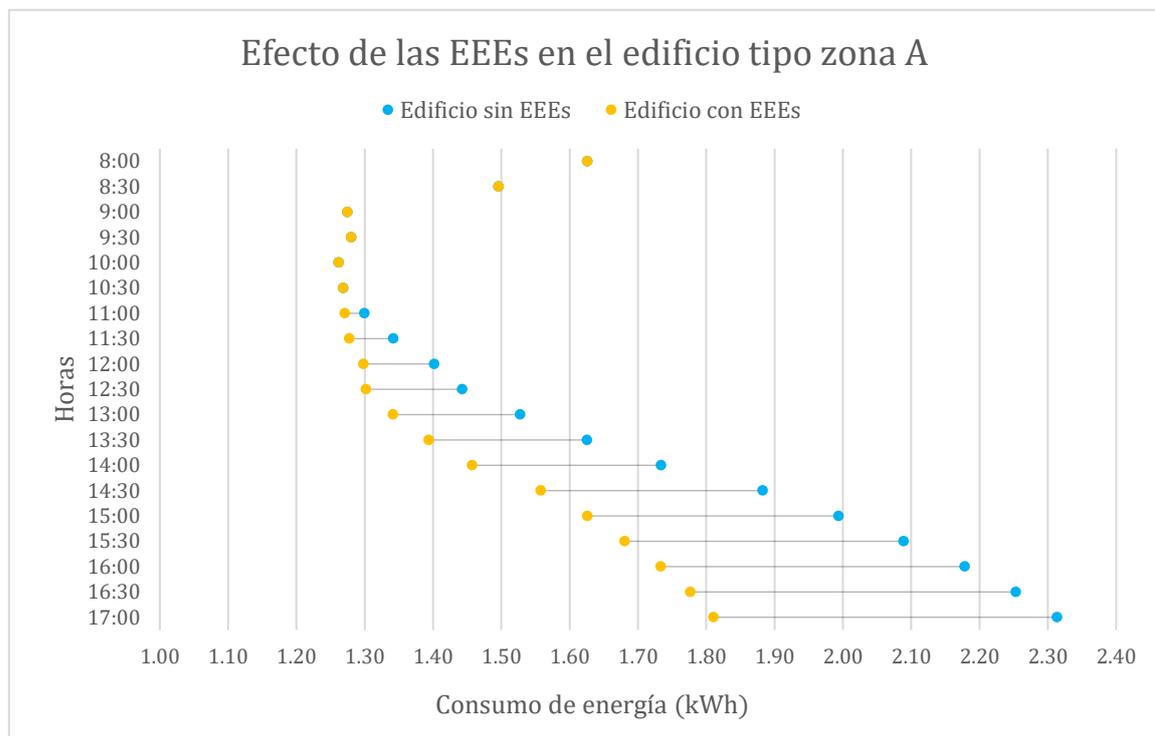
Tabla 36: Consumo mensual de energía eléctrica (kWh) antes y después de la implementación de las EEE en cada una de las zonas climáticas simulando los edificios en DesignBuilder.

Zona Climática	Provincia	EEES Implementadas identificadas en el (4.5.1.3)	Consumo de energía promedio mensual antes de la implementación de EEE (kWh)	Consumo de energía promedio mensual después de la implementación de EES (kWh)	Porcentaje de Reducción del Consumo de Energía
A	San Juan Monseñor	H, E	1433	948	41%
B	Nouel (Bonaó)	F, H, E	93.12	58	47%
C	San José de Ocoa	F, H, E	84.72	34	50%
D	Santiago	E, H	2326	2072	12%
E	San Francisco de Macorís	F, H, E	103	84	20%
F	Pedernales	B, H, E	2264	2104	7%
G	La Altagracia (Punta Cana)	C, H, E	2552	2068	13%
H	La Romana	F, H, E	1237	1174	5%

Se puede observar que las EEEs implementadas son más efectivas en las zonas climáticas A, B y C, esto es debido a que son las zonas que se encuentran en el centro del país y alejadas de las zonas costeras, además de que están rodeadas de vegetación. Mientras que en D, E y G la efectividad es más reducida, y en las zonas climáticas F y H la efectividad desciende considerablemente.

Los diferentes impactos de las EEEs seleccionadas también dependen de la topología del edificio y de la proporción entre superficies opacas y transparentes en las fachadas orientadas al sur por lo que este resultado debe ser considerado con prudencia.

En la Gráfica 39 se muestra el efecto de las EEEs en un edificio tipo de la zona climática A. El edificio tiene un 15.1% de acristalamiento en orientación sur, por lo que las EEEs seleccionadas e identificadas se enfocaron en los cerramientos, como la aplicación de pintura acrílica blanca en la base de cerramientos y una capa de aislamiento de madera.

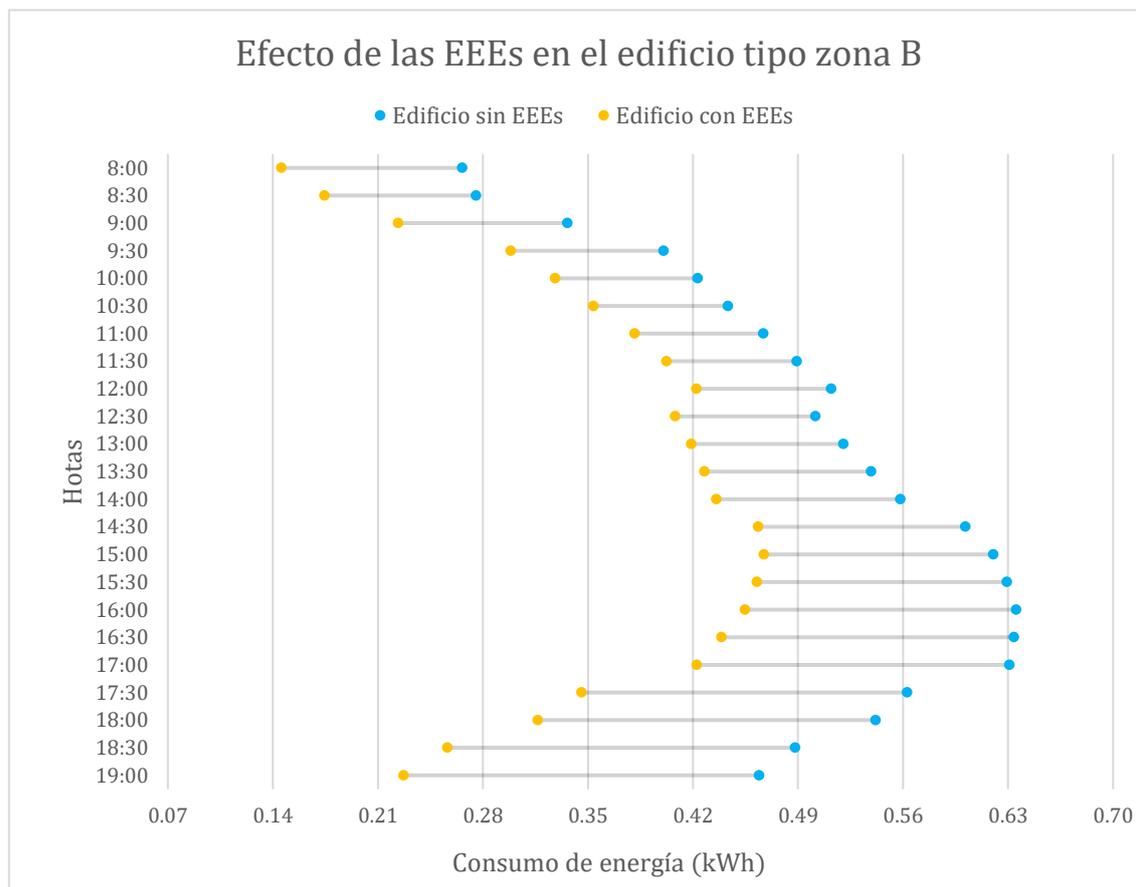


Gráfica 39: Efecto de las EEEs en un edificio de la zona climática A en un día tipo.

Se verifica en la Gráfica 39 que el efecto de la aplicación de pintura en conjunto con la aplicación de una capa de aislamiento en los cerramientos verticales y horizontales, esto provoca que a partir de las 11:30, se evidencie una reducción del consumo del edificio, dando referencia a que cuando el sol está impactando la fachada frontal en horas de la tarde, las ganancias solares se deben a este factor y que las medidas indicadas a aplicar en los cerramientos, llegan a reducir significativamente el consumo del edificio.

En la Gráfica 40 se muestra el resultado del efecto de las EEEs seleccionadas para un edificio tipo de la zona B, orientado este 180° al sur, con un 86.11% de acristalamiento en

esta fachada por lo que las EEEs seleccionadas e identificadas se enfocaron en protecciones solares con toldos de lona, rehabilitación de cerramientos verticales opacos con aislamiento de madera y aplicación de pintura acrílica blanca como base en los cerramientos.

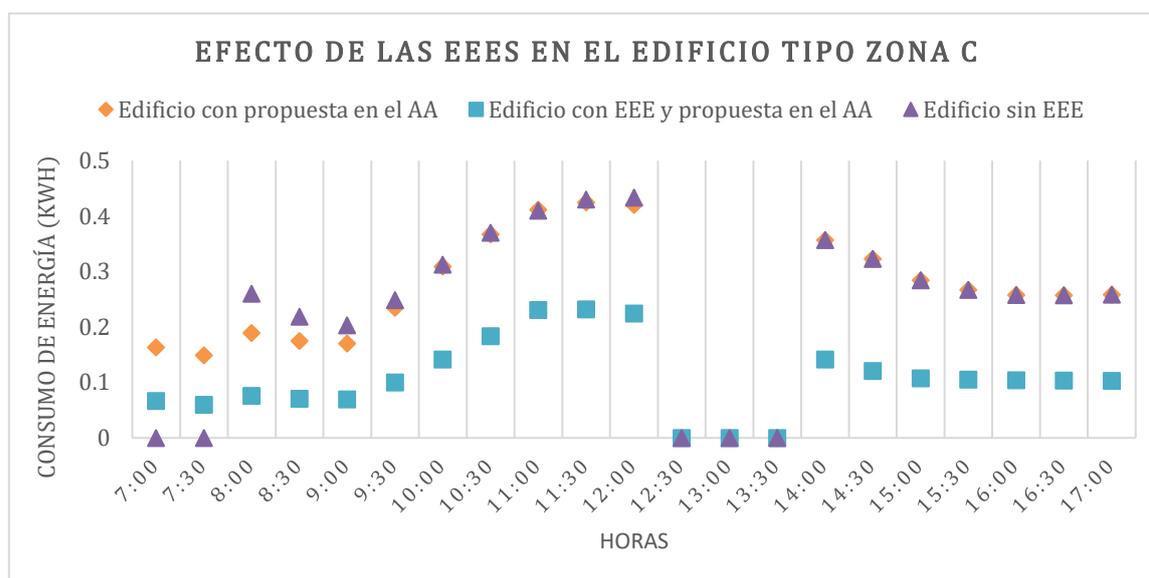


Gráfica 40: Efecto de las EEE en un edificio de la zona climática B en un día tipo.

Para esta zona climática, para edificios bajo las condiciones del edificio tipo seleccionado, se deben tener en cuenta las protecciones solares en ventanas ya que impactan directamente en el consumo. Con esta única medida, la disminución del consumo es de hasta un 30% y en conjunto con las de rehabilitación y aplicación de pintura blanca, el resultado es de aproximadamente 47% de ahorro, aunque la medida de protecciones solares en ventanas es una medida llamativa por ser no intrusiva y de fácil acceso.

En la Gráfica 41 se muestra el resultado del efecto de las EEEs para el edificio de la zona C.

Además de las estrategias de protecciones solares porque está construido con aproximadamente un 36% de fachada acristalada con orientaciones desfavorables, sur y suroeste, para este edificio, se muestran 3 escenarios representados en la Gráfica 41:



Gráfica 41: Efecto de las EES en un edificio de la zona climática C en un día tipo.

- ▼ Escenario 1: se presenta el edificio con su comportamiento inicial sin EES, donde encienden el equipo de climatización al mismo tiempo de inicio de la jornada laboral a las 8:00 (los empleados entran al edificio) y desde las 12:00 hasta las 13:30 se apaga en la hora de descanso. El consumo del edificio para este día tipo es de 4.892 kWh.
- ▼ Escenario 2: se presenta el caso del encendido del AA 1 hora antes del inicio de la jornada laboral a las 7:00 y con el apagado en la hora de descanso de 12:00 a 13:00. La sumatoria de la energía registrada (kWh) desde las 7:00 hasta las 17:00 es 5.020 kWh, un 2% mayor que si se hubiese encendido a las 8:00.
- ▼ Escenario 3: se considera la aplicación de las estrategias de protecciones solares, aplicación de pintura blanca en cerramientos y aislamiento en el mismo, además de la estrategia del encendido del AA una hora antes de la jornada laboral y no apagando este en el momento de descanso (12:00 a 13:30). El consumo de energía registrado es de 2.436 kWh, se evidencia una reducción de un 67% menos con respecto al escenario 1 y un 69% con respecto al escenario 2. Si se llegara a apagar el equipo de climatización

durante la jornada de descanso de 12:00 a 13:30, el consumo es de hasta un 77% menos de lo normal.

Con el fin de comparar este último escenario con las diferentes medidas utilizadas por diferentes estudios en diferentes edificios y diferentes países, en la Tabla 37 se muestra el porcentaje de energía ahorrada y su costo unitario (USD/%).

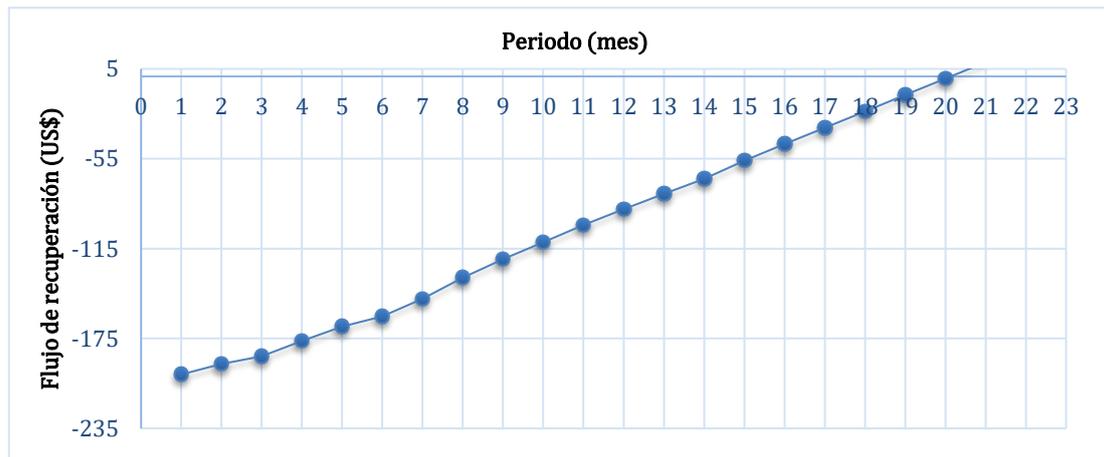
Hay muchas EEE diferentes que se pueden utilizar para reducir el consumo de energía. Jia [116] propuso cambiar las unidades de aire acondicionado por otras con mejor COP en un edificio de oficinas en Hong Kong. Alireza et al. [69] cambió las fachadas de un edificio de oficinas situado en Teherán con materiales de construcción mejorados. Fathalian et al. [41] sugirió la rehabilitación energética de cerramientos verticales opacos en un edificio de oficinas en Semana (Irán). Finalmente, Xiaonuan et al. [117] cambió los sistemas de iluminación y aire acondicionado en un edificio de oficinas ubicado en Singapur.

Tabla 37: Comparación entre diferentes EES utilizados por diferentes investigadores utilizando energía ahorrada (%) y su costo unitario (\$ /%).

Estudios	EEE	Energía ahorrada (%)	Costo unitario (USD/%)
Hong Kong [116]	Cambiar unidades de aire acondicionado	19%	1,947
Teherán [69]	Cambio de fachadas	53%	4,528
Semnan-Irán [41]	Rehabilitación energética de cerramientos verticales opacos	18%	14,810
Singapur [117]	Cambio de iluminación y unidades de aire acondicionado	40%	812
Caso de estudio	Pintar fachada Sombrear ventanas	37%	166

Se observa que la mayor reducción en el consumo de energía corresponde al edificio situado en Teherán, pero al mismo tiempo, es el más caro en términos de costo por % ahorrado. Por otro lado, la investigación realizada en este estudio tiene el menor costo por % ahorrado, y al mismo tiempo, presenta un porcentaje relativamente bueno de ahorro de energía.

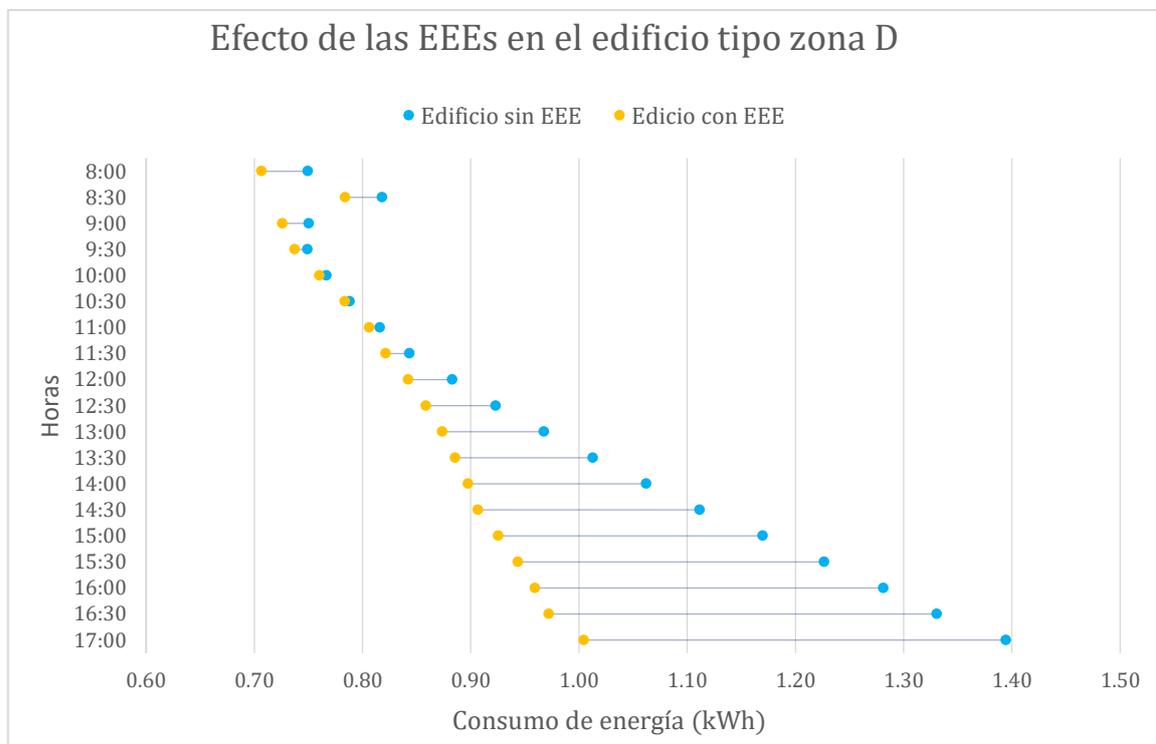
Para el caso de estudio de esta tesis y teniendo en cuenta los valores de reducción, se puede estimar que con la aplicación de la película vinílica en la ventana frontal y el toldo de lona en la ventana del lado derecho del edificio tipo de la zona climática C lo que requiere una inversión inicial de USD 208.47, se obtiene un período de retorno de la inversión de 1.75 años. Este resultado se muestra en la Gráfica 42.



Gráfica 42: Periodo de recuperación de la inversión para la implantación de estrategias de eficiencia energética en el recinto.

En las zonas climáticas D, E y G la efectividad de las EEEs es más reducida.

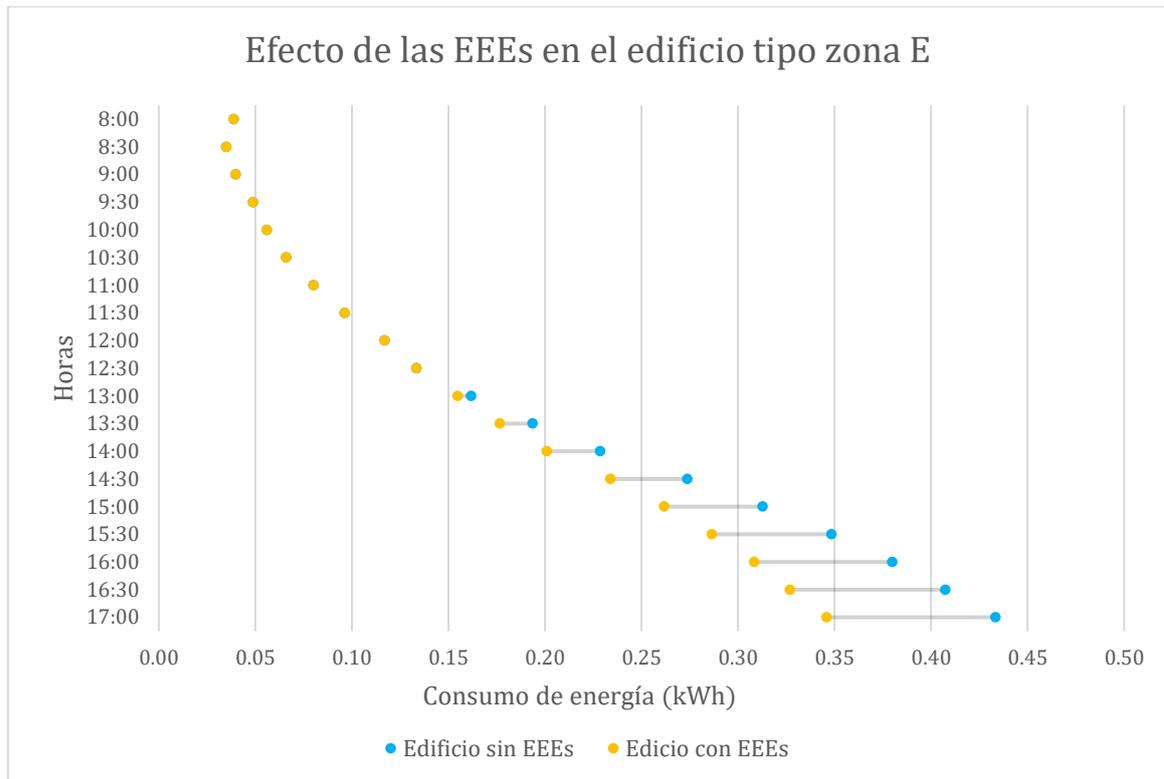
En la Gráfica 43 se muestra el efecto de las EEE en un edificio tipo de la zona climática D. El edificio tiene un 10.1 % de acristalamiento en orientación sur, por lo que las EEEs seleccionadas e identificadas se enfocaron en los cerramientos verticales al colocar aislamiento de madera en estos además de la aplicación de pintura acrílica blanca.



Gráfica 43: Efecto de las EEEs en un edificio de la zona climática D en un día tipo.

Se verifica en la Gráfica 43 que el efecto de la aplicación de pintura en conjunto con la aplicación de una capa de aislamiento en los cerramientos verticales y horizontales, esto provoca que a partir de las 11:30, se evidencie una reducción del consumo del edificio, dando referencia a que cuando el sol está impactando la fachada posterior en horas de la tarde, las ganancias solares se deben a este factor y que las medidas indicadas a aplicar en los cerramientos, llegan a reducir el consumo del edificio, aunque estas medidas al ser intrusivas, tengan un retorno elevado con respecto a la inversión.

Continuando con la demostración del comportamiento del edificio tipo de la zona E, en la Gráfica 44 se muestra el efecto de las EEEs para este caso, las cuales se enfocaron en protecciones solares con toldos de lona, rehabilitación de cerramientos verticales opacos con aislamiento de madera y aplicación de pintura acrílica blanca como base en los cerramientos.

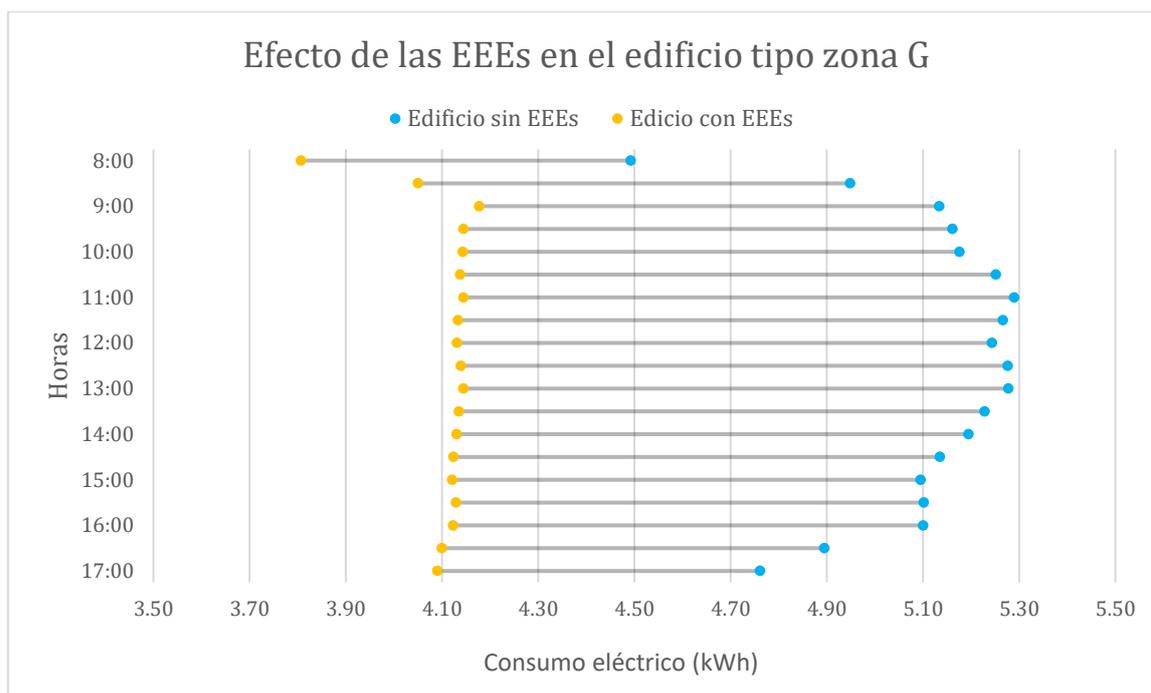


Gráfica 44: Efecto de las EEE en un edificio de la zona climática E en un día tipo.

Con relación a este caso, se evidencia una reducción significativa a partir de las 13:30, esto se debe a que la protección solar de la ventana frontal que representa un 58% del área de la fachada orientada al suroeste. La aplicación de adecuación en cerramientos solo representa un 15% de la reducción y el 85% es debido a las protecciones solares en las ventanas.

En la Gráfica 45, se muestra el comportamiento de un edificio modelado en la zona climática G, donde la orientación al sureste tiene un 66.17% de acristalamiento con respecto al total de la fachada.

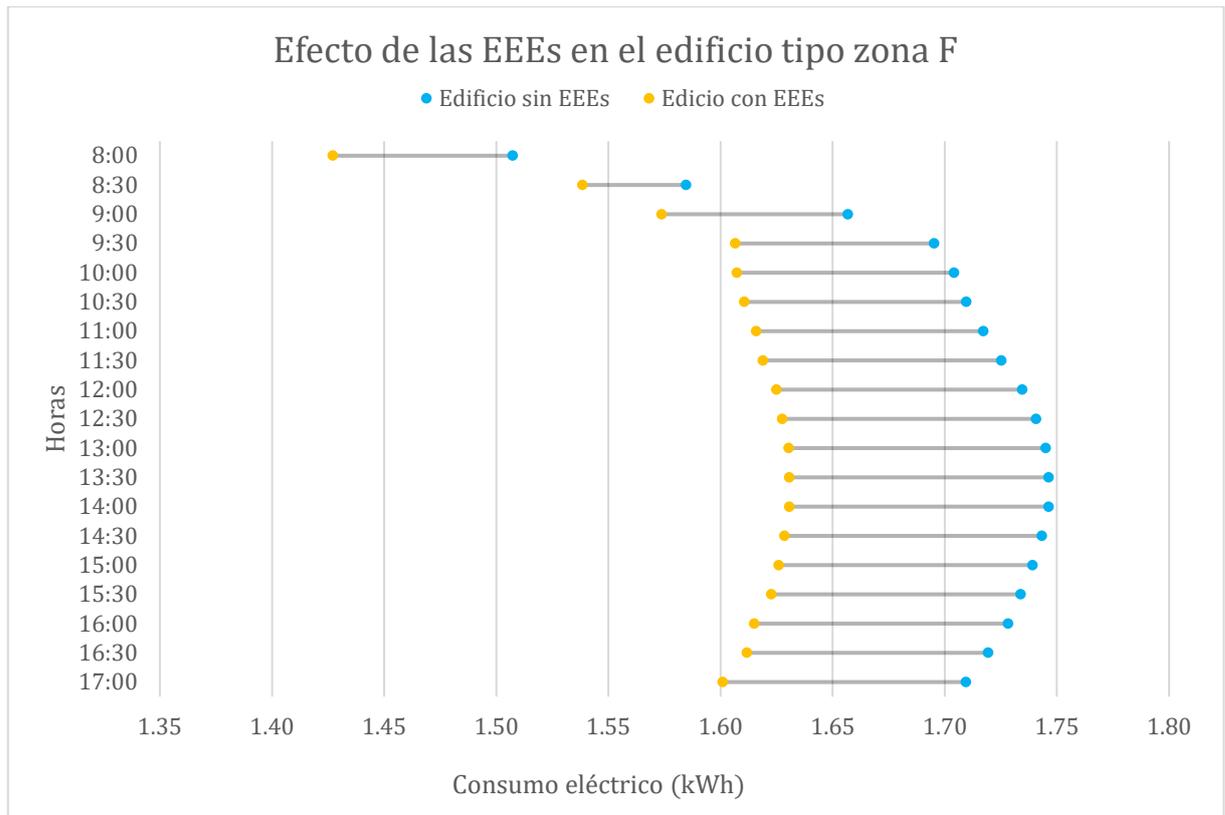
Se evidencia que la aplicación de protección solar en los cristales, como es la película pintada de sombra negra, llega a reducir el consumo energético en aproximadamente un 10%, con ayuda de la rehabilitación de cerramientos, se puede conseguir hasta un 13% en total.



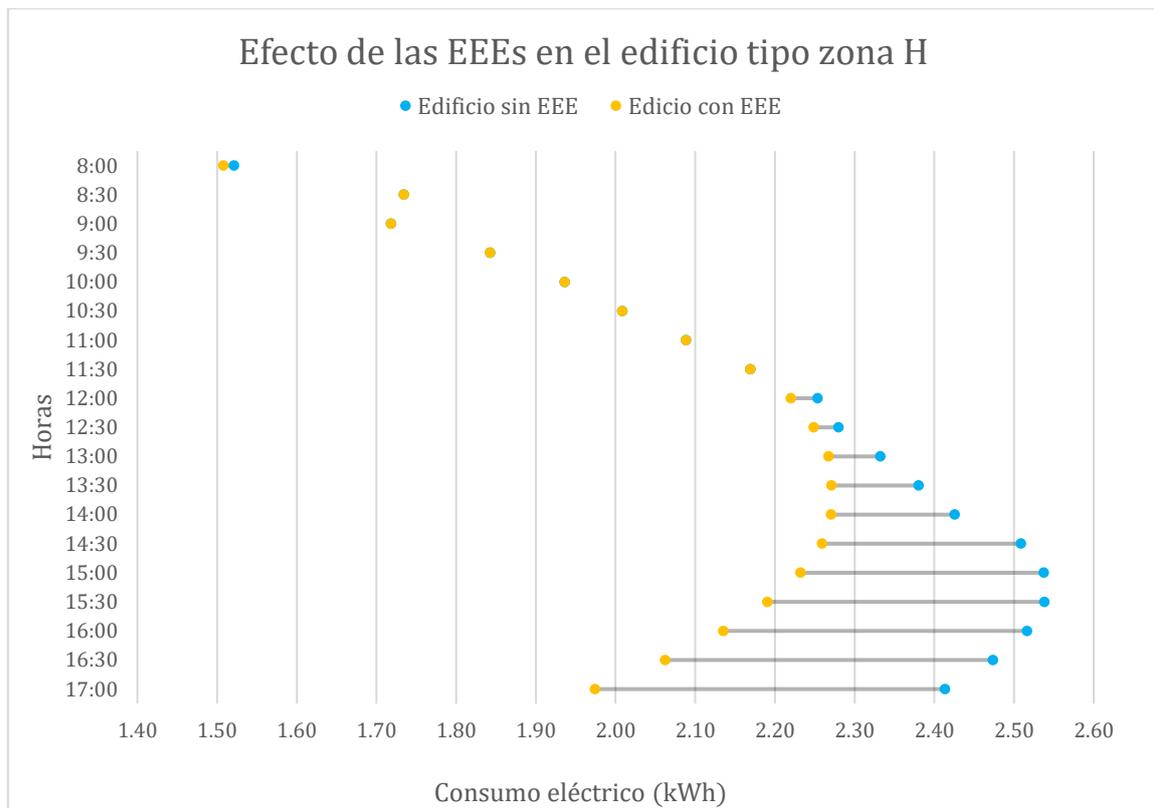
Gráfica 45: Efecto de las EEE en un edificio de la zona climática G en un día tipo.

Este caso evidencia que, con la elección de medidas no intrusivas, como son las protecciones solares (película con sombra negra en ventana o película vinílica), la rehabilitación de cerramientos verticales con aislamiento de madera y la aplicación de pintura acrílica blanca en estos cerramientos verticales. Con estas EEEs se puede llegar a conseguir resultados significativos en la reducción del consumo energético en edificios de esta zona.

En las zonas climáticas F y H la efectividad desciende considerablemente, pues son zonas que están más al sur del país, la radiación solar que impacta las edificaciones en estas zonas hace que siempre haya ganancias de calor de una manera constante todo el año y aunque se hayan colocado protecciones solares y rehabilitación en los cerramientos, solo se consigue disminuir un 7% para el caso del edificio en la zona de Pedernales (ver Gráfica 46) y un 5% en el edificio de la zona de La Romana (ver Gráfica 47).



Gráfica 46: Efecto de las EEEs en un edificio de la zona climática F en un día tipo.



Gráfica 47: Efecto de las EEE en un edificio de la zona climática H en un día tipo.

Los diferentes impactos de los EEE seleccionados también dependen de la tipología del edificio y de la proporción entre superficies opacas y transparentes en las fachadas orientadas al sur por lo que estos resultados deben ser considerados con prudencia a la hora de su aplicación y análisis.

Para minimizar aún más la incertidumbre, el edificio del caso de estudio de la zona C, se simuló dos veces en las ocho zonas climáticas tipo representadas en la Figura 51, antes y después de la implementación de las EEEs.

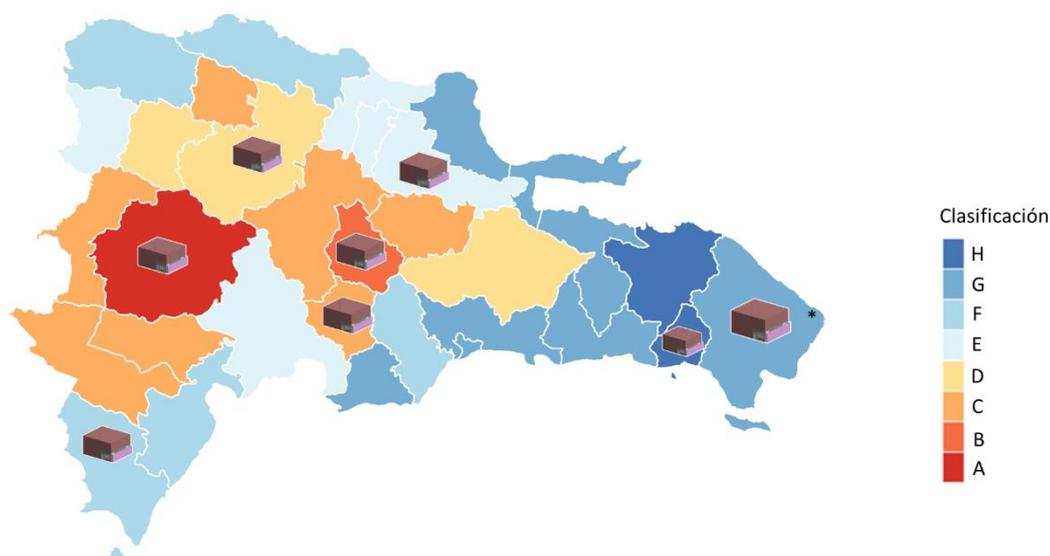


Figura 51: Representación del edificio tipo en las ocho zonas climáticas tipo

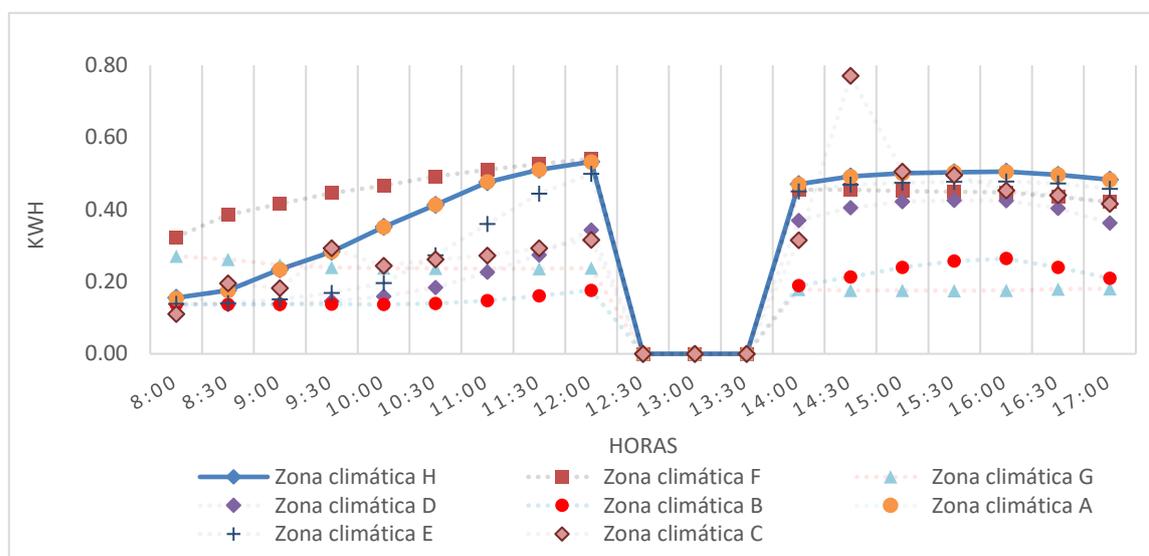
La Tabla 38 muestra los resultados de estas simulaciones.

Tabla 38: Resultados de la simulación del edificio F. Mancebo en las ocho diferentes zonas climáticas.

Zona Climática	Ubicación en el País	Provincia	Consumo eléctrico diario (kWh) antes de la implementación	Consumo diario de electricidad (kWh) después de la implementación	Reducción (%)
A	Sur oeste	San Juan Monseñor	6.58	3.52	37%
B	Norte	Nouel (Bonaó)	2.92	1.23	48%
C	Sur oeste	San José de Ocoa	5.56	2.78	40%
D	Norte	Santiago	4.56	2.47	36%
E	Norte	San Francisco de Macorís	5.65	3.43	30%
F	Sur oeste	Pedernales	7.22	5.05	22%
G	Este	La Altagracia (Punta Cana)	3.44	1.41	49%
H	Sur oeste	La Romana	6.58	3.55	36%

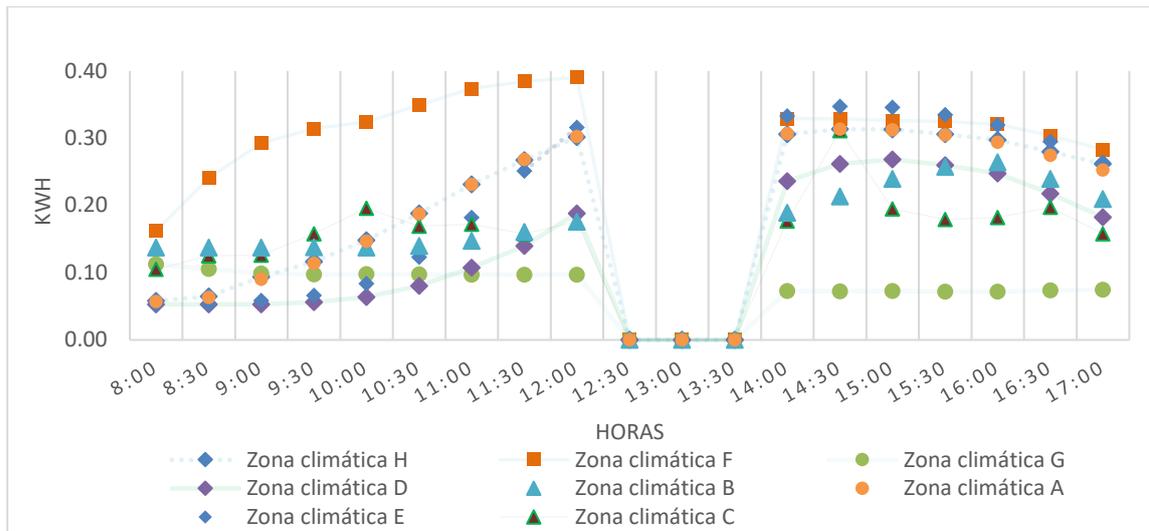
Se observa que la influencia de la zona climática en la efectividad de las EEEs seleccionadas es significativa en la reducción del consumo eléctrico, yendo desde la más alta en la zona climática G, 49%, hasta la más baja, 22%, en la zona climática F. Las zonas climáticas A, F, H y G están más cerca del ecuador, por lo que durante todo el año la ganancia térmica por radiación solar para estas zonas es mayor.

En la Gráfica 48 y la Gráfica 49, se muestra con más detalle, el consumo eléctrico diario en kWh.



Gráfica 48: Consumo eléctrico diario (kWh) de las unidades de aire acondicionado en el edificio del caso de estudio en las ocho diferentes zonas climáticas de RD, antes de la implantación de las EEEs.

En la Gráfica 48 se observa como el edificio en la zona climática C tiene un pico de consumo de hasta 0.76 kWh permaneciendo aproximadamente durante unas 2.5 horas por encima de la tendencia del consumo del edificio en esta zona, esto se debe a la orientación del edificio y la trayectoria solar en esta zona climática, además de las aberturas por ventanas dirigidas directamente a esta trayectoria solar.



Gráfica 49: Consumo diario de electricidad (kWh) de las unidades de aire acondicionado del edificio del caso en estudio en las ocho diferentes zonas climáticas de RD, luego de la implementación de las EEEs.

En la Gráfica 49 se observa el resultado de la zona climática F, aunque tuvo una reducción de aproximadamente un 40% durante el horario de 8:00 a 12:30, se mantiene por encima del consumo registrado con relación a las demás zonas climáticas. Esto se debe a que las aberturas están directamente dirigidas a toda la trayectoria solar durante el día.

Por otro lado, se observa que, las estrategias identificadas y empleadas para la zona climática C, tienden a una reducción del consumo eléctrico considerablemente, evidenciando una reducción de un 39% en el horario comprendido de 14:30 a 15:00, donde se registró el pico máximo de consumo para esta zona climática en la Gráfica 48.

5.4. Resultados de la monitorización posterior a la instalación de EEEs

A continuación, se analizan los resultados de los parámetros medidos posterior a la instalación de EEEs.

En la Tabla 39 se presenta la reducción prevista en el consumo eléctrico en base al correcto control de los equipos de aire acondicionado donde se presentan tres escenarios.

Tabla 39: Consumo energético horario para los tres escenarios considerados

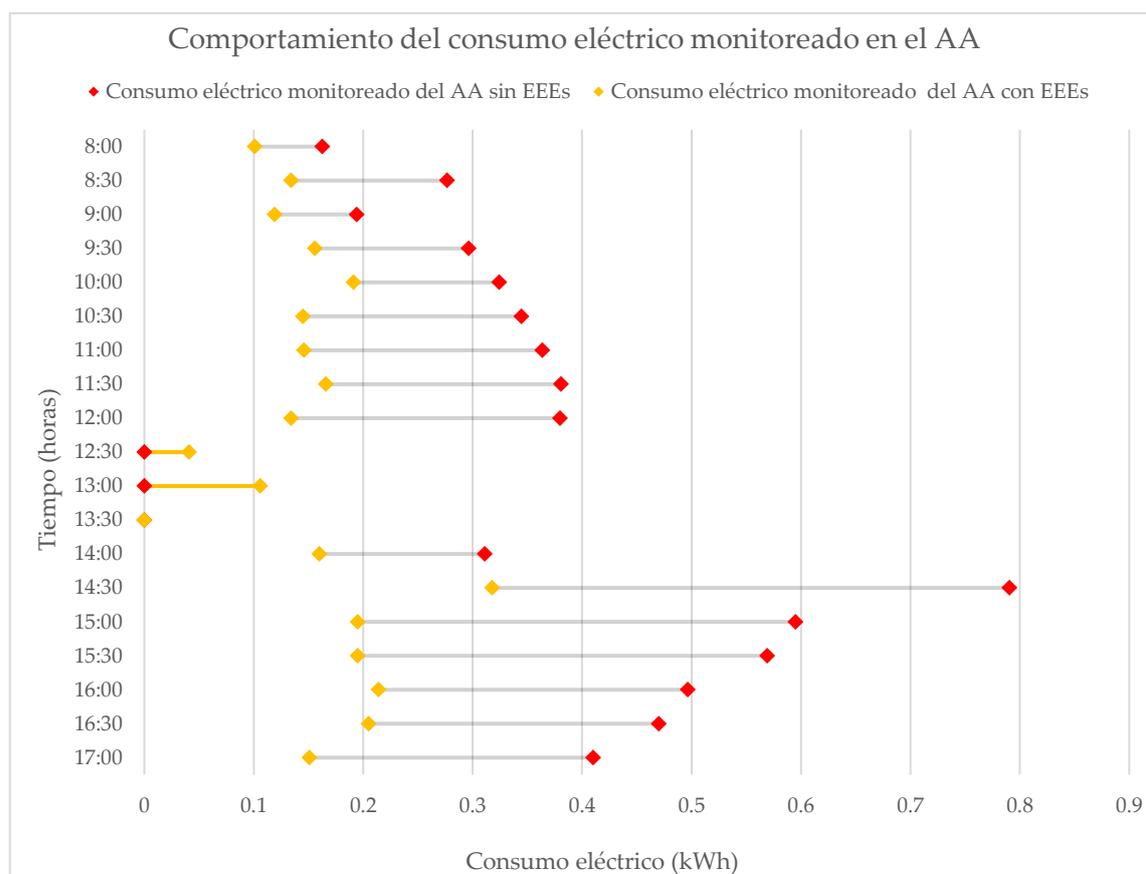
Tiempo (hora)	Escenario 1 (kWh)	Escenario 2 (kWh)	Escenario 3 (kWh)
7:00–7:30	0.00	0.16	0.17
7:30–8:00	0.00	0.15	0.15
8:00–8:30	0.26	0.19	0.19
8:30–9:00	0.22	0.18	0.18
9:00–9:30	0.20	0.17	0.17
9:30–10:00	0.25	0.23	0.24
10:00–10:30	0.31	0.31	0.31
10:30–11:00	0.37	0.37	0.37
11:00–11:30	0.41	0.41	0.41
11:30–12:00	0.43	0.42	0.42
12:00–12:30	0.43	0.42	0.42
12:30–13:00	0.00	0.35	0.00
13:00–13:30	0.00	0.33	0.00
13:30–14:00	0.00	0.32	0.00
14:00–14:30	0.36	0.32	0.33
14:30–15:00	0.32	0.29	0.29
15:00–15:30	0.28	0.25	0.25
15:30–16:00	0.27	0.24	0.24
16:00–16:30	0.26	0.24	0.24
16:30–17:00	0.26	0.24	0.24
17:00–30:30	0.26	0.24	0.24
kWh totales para un día laborable	4.89	5.83	4.86

Normalmente, en el escenario 1, las unidades de aire acondicionado se encienden tan pronto como llega el primer trabajador al edificio, 08:00 h, y permanecen encendidas hasta la hora del almuerzo, 12:00 h, cuando se apagan (todos los trabajadores almuerzan) a la misma hora), y se vuelven a encender a las 14:00 h; luego, una vez más se encienden todas las unidades de AA, permanecen encendidas hasta el final de la jornada laboral, es decir, 17:00 h.

Para analizar la importancia de los hábitos de los trabajadores con respecto al uso de unidades de aire acondicionado en la eficiencia energética del edificio, se implementaron otros dos escenarios y se compararon con el escenario 1. En el escenario 2, las unidades de aire acondicionado se encienden desde 07:00 a 17:00, y en el escenario 3, las unidades se encienden de 07:00 a 12:00 y de 14:00 a 17:00.

Estos resultados muestran que una buena estrategia es, encender las unidades de AA una hora antes del inicio de la jornada laboral, cuando la temperatura interior aún no es muy alta, aunque se mantenga el hábito de apagar las unidades de AA durante la hora del almuerzo.

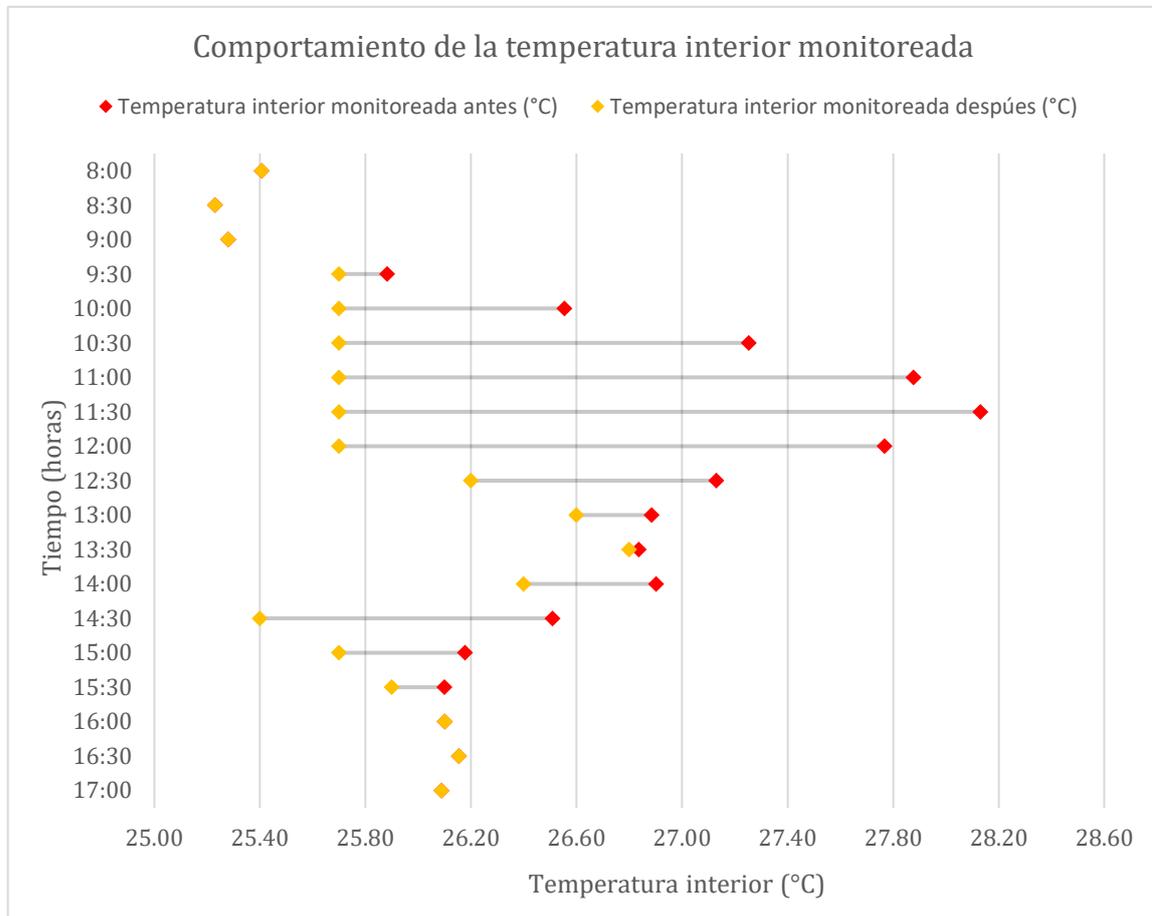
En a Gráfica 50 se muestra el comportamiento del consumo eléctrico monitoreado en el escenario 2 en el circuito de AA para el edificio del caso de estudio.



Gráfica 50: Comportamiento del consumo eléctrico monitoreado en el AA, antes y después de la implementación de las EEEs.

Se observa en la Gráfica 50 que, aunque el equipo de climatización se quede encendido durante el horario de descanso de 12:00 a 14:00, el consumo total registrado para este día tipo es un 45% menor a lo anteriormente monitorizado. Además, se observa que en el rango de 14:00 a 14:30, cuando se inicia la segunda jornada de labor, con las EEEs implementadas se registra la mayor cantidad de consumo reducido con 0.47 kWh, un 40%.

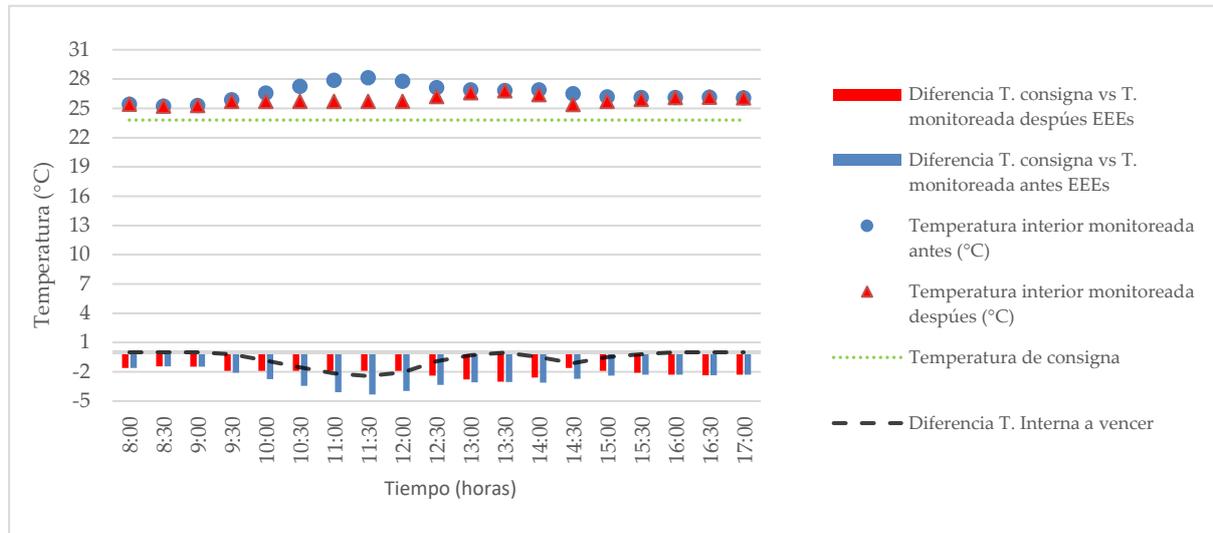
En la Gráfica 51 se muestra el resultado de la monitorización realizada a la temperatura interior del edificio antes y después de la implementar las EEEs.



Gráfica 51: Comportamiento de la temperatura interior monitoreada, antes y después de la implementación de las EEEs

Se observa en la Gráfica 51 que la temperatura llega a reducir hasta unos 2.4°C máximos, registrados en el intervalo de las 11:30. También se evidencia que la estrategia de dejar encendido el AA durante el horario de descanso, mantiene el descenso de la temperatura, por lo que impacta de manera positiva en el consumo del edificio.

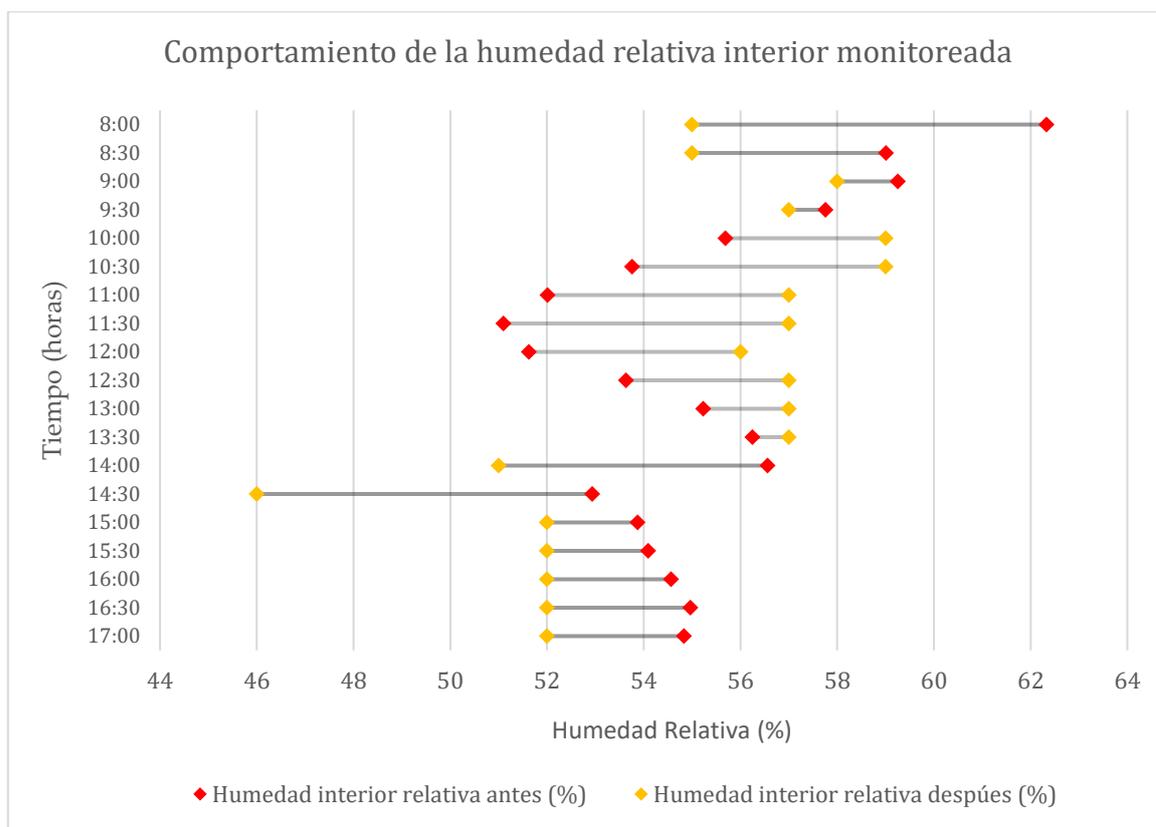
Al analizar el comportamiento de la temperatura interior del edificio con respecto a la temperatura que se ha identificado como temperatura base, 23.8°C. En la Gráfica 52 se muestra la relación del edificio con respecto a la temperatura antes vs después de implementar las EEEs y estas con la temperatura definida como base.



Gráfica 52: Relación del edificio con respecto a la temperatura antes vs después de implementar las EEEs y estas con la temperatura base y la temperatura de consigna.

En la Gráfica 52 se observa que al colocar un punto de consigna de 23.8°C, como temperatura base a lograr conseguir en el interior del edificio, el delta de la temperatura con respecto a un antes y después de implementar las EEEs pasaría de 4.33°C a 1.90°C respectivamente, unos 2.43°C que el equipo de climatización no tendrá que vencer para lograr la temperatura del punto de consigna.

En la Gráfica 53 se muestra el resultado de la monitorización realizada a la humedad relativa interior del edificio antes y después de la implementar las EEEs.



Gráfica 53: Comportamiento de la humedad relativa interior monitoreada, antes y después de la implementación de las EEEs

Se observa en la Gráfica 53 que en el intervalo comprendido de 11:00 a 13:30, la humedad relativa es mayor luego de implementar las EEEs, esto es favorable ya que se acerca al valor del 60% deseado como uno de los parámetros para que un cuerpo esté en confort. También se observa que en el intervalo de 15:00 a 17:00, la humedad relativa decae ligeramente 2.6% en promedio por cada intervalo, siendo este en el que la radiación solar está impactando las aberturas frontales y parte de la ventana lateral del edificio.

5.5. Análisis

A continuación, se presentan los análisis de los principales resultados obtenidos.

5.5.1. Análisis de la metodología utilizada

Abarcando los pasos de certificaciones, estándares y guías para la gestión energética de edificios mundialmente, la metodología presentada en esta tesis se formuló para zonas

de climas tropicales. Al implementar esta metodología se evalúan energéticamente los edificios, cumpliendo con estándares y normas internacionales. En la Tabla 40 se ha realizado una evaluación de las normas de Soluciones para la Construcción Sostenible(SCS) y los puntos de estas normas que se aplican en el caso de estudio.

Tabla 40: Comparación y aplicación de las SCS con relación la metodología de esta tesis.

SCS	Métricas	Aplicación en el caso de estudio
LEED	Rendimiento Energético Mínimo	✓
LEED	Optimizar el Rendimiento Energético	✓
LEED	Energía Renovable in situ	✗
LEED	Energía Verde	✗
BREEAM	Demanda de energía para calentamiento y enfriamiento	✓
BREEAM	Consumo de energía primaria	✗
BREEAM	Emisiones totales de CO2.	✓
DGNB	Requerimiento de Energía primaria no renovable	✓
DGNB	Requerimiento de disminución de la Energía total	✓
DGNB	Energía primaria renovable	✗
HQE	Reducción de la demanda energética a través del diseño arquitectónico	✓
HQE	Reducción del consumo de energía primaria	✗
HQE	Reducción de emisiones contaminantes a la atmosfera	✓

En la Tabla 40 se observa que, la metodología aplicada en esta tesis cumple con objetivos para el cumplimiento de requerimientos mínimos de normas internacionales.

5.5.2. Análisis de la zonificación climática de la RD.

Utilizando los valores máximos y mínimos de la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente, con los valores climáticos registrados cada 30 minutos por un periodo de 18 años se pudo obtener los valores que estadísticamente tenían una mayor repetición durante este periodo de tiempo, y estos valores fueron los catalogados como máximos y mínimos correspondientes. El % de incidencia es el porcentaje máximo que se repite durante el tiempo el valor de la temperatura máxima y mínima o la humedad relativa máxima o mínima para cada provincia o zona de interés.

Con estos valores se pudieron establecer grupos de zonas climáticas que comprenden una o más provincias, tomando valores semejantes tanto de temperatura máxima y mínima, como también de humedad relativa.

5.5.3. Análisis de la Efectividad de las EEEs en las diferentes zonas climáticas

Las 9 EEEs que se describen en este estudio fueron identificadas por su grado de intrusión, dando como prioridad aquellas que no es necesario un cambio en los elementos existentes en edificios ya construidos, además de llegar a mostrar EEEs que puedan ser accesibles en todos los niveles económicos de la sociedad, por ejemplo, de las descritas en la Tabla 31 del apartado 4.5.1.3, del total a incluir por m² de construcción, las EEEs A, B, C, D, E, F y G, solo representan el 13% del costo total a implementar, pero las EEEs H y I representan 23% y 64% respectivamente, siendo estas las de mayor coste económico y con los mayores índices de grado de intrusión.

Las EEEs que se describen en este estudio no son las únicas que se pueden implementar en países de zonas tropicales. Cada país según costumbres, accesibilidad y cualquier regulación que exista, podría ajustar y tomar como referencia las EEEs que se han identificado y se muestran en esta tesis.

Existen EEEs que son dirigidas directamente a la mejora en la humedad relativa, segundo factor que se tomó en cuenta para la zonificación climática y comportamiento energético de los edificios en este estudio. Para identificar estas estrategias se recomienda aplicar modos pasivos como la implementación de plantas dentro de la edificación para humidificar o por el contrario materiales absorbentes de humedad para deshumidificar, esto sin la aplicación de equipos que agreguen carga energética en el consumo del edificio.

El consumo eléctrico del edificio del caso de estudio fue reducido en un 77% al implementar solo 3 medidas de EEEs no intrusiva, además, estas medidas representan el 4% del costo total de implementación con respecto a las EEEs presentadas.

5.5.4. Análisis de los resultados de la monitorización posterior a la instalación de las EEEs

Partiendo de 3 escenarios en lo que se identificaron como mejoras en cuanto al uso en conjunto con la instalación de e las EEEs en el edificio estudiado, se obtuvieron valores

que, aun con mayor hora de uso del aire acondicionado, el consumo eléctrico asociado queda por debajo del consumo anterior registrado.

Para ello se solicitó a la empresa del caso de estudio que permitiera el acceso a una visualización del comportamiento de los usuarios de la empresa, donde se verifica que normalmente un usuario *x* enciende el circuito de aires al llegar a la jornada laboral a las 7:40, mientras que la jornada para los demás empleados iniciaba a las 8:00, produciendo esto que, con el inicio de ganancias solares, se uniera con las ganancias internas con personas y los demás elementos que generan calor dentro del edificio, provocando este comportamiento que el equipo de climatización tuviera un mayor consumo para llegar a la temperatura de consigna de 23.8°C.

Dentro de estos escenarios, se identifica el nombrados “escenario 3”, donde el consumo eléctrico asociado esta un 61% menos que el consumo inicial del edificio, un 17% con respecto al “escenario 2” y un 1% menos con respecto al “escenario 1” presentado en el apartado 5.3 de los resultados.

Los sensores de temperatura y humedad relativa fueron colocados dentro del edificio en las zonas indicadas inicialmente Figura 21 para obtener los valores luego de la implementación de las EEEs y los nuevos usos experimentales de los escenarios.

CAPÍTULO 6

Cumplimiento de objetivos; conclusiones y futuros trabajos

| Conclusiones y cumplimiento de objetivos

| Futuras líneas de investigación

| Contribuciones

6.1. Conclusiones y cumplimiento de objetivos

Se ha desarrollado en detalle una metodología para ayudar en la toma de decisiones relacionadas con la mejora de la eficiencia energética de edificios en zonas tropicales, desde diferentes puntos de vista, comercial, económico, político, etc.

Esta metodología se ha validado para un caso de estudio en la RD, concretamente se ha analizado el caso de edificios comerciales que constituyen el 3.4% de los edificios del país, siendo los responsables del 23% del consumo eléctrico total de la RD y con los condicionantes de actuar sobre edificios en uso y con limitaciones económicas importantes.

En primer lugar, se ha propuesto una nueva zonificación climática para la RD dentro del sector de la construcción de edificios comerciales del país, obteniendo los valores de temperatura y humedad relativa considerados como significativos desde un análisis de frecuencia absoluta.

La importancia de las temperaturas significativas y su porcentaje de incidencia se han manifestado decisivas para la investigación desarrollada, permitiendo una zonificación más práctica a la hora de implementarla metodología.

Se ha llevado a cabo un análisis pormenorizado de los equipamientos de climatización utilizados en los edificios comerciales de la RD, incluyendo el análisis de los hábitos de uso. Eso ha permitido realizar una selección adecuada de los edificios tipo para cada zona climática.

Se han modelado, monitorizado y ajustados ocho edificios, uno en cada zona climática presentada en este estudio en base a temperatura y humedad relativa del aire. Los resultados muestran una estrecha precisión de los modelos en cuanto al comportamiento de los edificios, dando fortaleza a la metodología propuesta.

Los programas de simulación energética demuestran fiabilidad con un bajo porcentaje de error a la hora de tomar decisiones en la implantación de mejoras para conseguir la eficiencia energética. Primero se monitorizó y luego se simuló uno de los edificios en una de las zonas climáticas de la RD. Los resultados de este estudio muestran

una tendencia similar en el consumo entre el edificio monitorizado y el edificio simulado y debidamente ajustando en DesignBuilder.

Se aplicó un criterio para la elección de las EEEs, visualizando los factores que afectan la envolvente en un clima tropical como el de la RD y demostrando la efectividad al aplicar estas en los puntos críticos de los edificios.

Se implementaron las EEEs seleccionadas en un edificio representativo del clima tropical de la República Dominicana. Después de haber sido simuladas y analizadas en DB, esas EEEs, se implementación en el edificio y se monitorizó durante el periodo de tiempo necesario para su validación. Con este análisis se ha demostrado la precisión entre el modelado y el comportamiento de los edificios después de la implementación de las EEE, obteniéndose una efectividad del 98.6%, Demostrando así que constituye una herramienta fiable para la toma de decisiones.

Se ha demostrado, en el edificio representativo, que se pueden conseguir reducciones significativas, de hasta el 77%, en el consumo energético mediante la implementación de EEEs de bajo costo, accesibles en el país y no intrusivas para su implementación, lo que demuestra que con la utilización de EEEs económicas, con inversiones inferiores a los 210 USD, se puede reducir hasta 31.81 USD/mes, un 44%, de la factura eléctrica de los edificios del sector terciario en zonas de climas tropicales dependiendo del tamaño del mismo. Todo lo anterior se puede resumir en que se ha demostrado que el consumo específico de energía del edificio tipo se ha reducido de 47.08 kWh/m² a 29.46 kWh/m².

Por lo tanto, la metodología propuesta ha demostrado ser una herramienta fiable que, además de ser utilizada para el análisis de la reducción del consumo energético de edificios, puede ser también utilizada en los siguientes casos, entre otros:

- ▼ Esta metodología podría ser una herramienta complementaria para evaluar la efectividad de ciertas medidas antes de su implementación cuando se utilice un código específico para la evaluación del edificio.
- ▼ Esta metodología puede ser una herramienta complementaria para evaluar el indicador energético cuando se requiera implementar un sistema de etiquetado en cualquier país.

- ▼ Esta metodología puede ser una herramienta útil al servicio de los funcionarios y políticos de países tropicales que tienen que tomar decisiones respecto a la implementación de medidas políticas o normativas que afecten al ahorro energético en la edificación.
- ▼ Esta metodología puede ser una herramienta válida para las empresas del sector de la construcción de países tropicales que pretendan tomar decisiones estratégicas con respecto al consumo energético de los edificios que les permitan situarse en posición ventajosa en el mercado.

Con respecto al cumplimiento de los objetivos fijados en el capítulo primero de esta tesis, se puede afirmar que se ha demostrado la hipótesis principal de la tesis en la que se estipulaba que podía desarrollarse una metodología científica, estructurada, replicable y específica para climas tropicales que abordase el análisis de la mejora de la eficiencia energética en la edificación desde una perspectiva integral.

Además, se han cumplido los siguientes objetivos secundarios:

- ▼ Se ha desarrollado un sistema específico para la zonificación climática de países tropicales.
- ▼ Se ha mostrado la factibilidad de la obtención de datos relativos al consumo y uso de sistemas de climatización para sectores concretos de la edificación, con recursos limitados propios de algunos países tropicales.
- ▼ Se ha generado conocimiento científico acerca del consumo energético de edificios en países tropicales.
- ▼ Se ha demostrado que la aplicación de estrategias de eficiencia energética no intrusivas y de bajo coste permiten reducir de forma significativa el consumo energético de los edificios.

6.2. Futuras líneas de investigación

Esta tesis puede considerarse un punto de partida para la mejora de la eficiencia energética en el sector de la edificación de la República Dominicana y así ha quedado demostrado durante el desarrollo de la misma, sin embargo, como es habitual en este tipo de trabajos no se han podido desarrollar otros aspectos importantes que se mencionan ahora como trabajos futuros:

- ▼ Desarrollar una metodología basada, además de en los criterios energéticos establecidos en esta tesis, en criterios económicos y medioambientales, que permita determinar la idoneidad de todas las EEEs en climas tropicales.
- ▼ Aplicar la metodología propuesta en esta tesis al sector residencial de la RD, para obtener conclusiones de ahorro energético tanto para las nuevas edificaciones como para la rehabilitación energética de edificios existentes.
- ▼ Desarrollar normas a aplicar en la base de eficiencia energética en edificios comerciales y residenciales de la RD, trazando el consumo mínimo por m² a consumir en estos y otorgando niveles de certificación según cumplimientos.
- ▼ Identificar medidas otras medidas no intrusivas para edificios comerciales y residenciales con más de un nivel de construcción en la RD

6.3. Contribuciones

Este estudio está enfocado a la reducción del consumo energético de los equipos de climatización mediante la mejora de la envolvente del edificio según el clima en el que se encuentre; por lo tanto, este estudio puede ser una herramienta complementaria para evaluar el indicador energético cuando se requiera implementar un sistema de etiquetado en cualquier país.

También muestra que los servidores públicos y los políticos que viven en zonas tropicales cuentan con una metodología científica para mejorar la eficiencia energética en los edificios ya que con la misma pueden iniciar a realizar una caracterización de edificios y con ello las políticas y medidas para incentivar la eficiencia energética en este sector.

Se dan a conocer las medidas no intrusivas y de un impacto significativo en la reducción del consumo de energía al aplicar estas en la envolvente de los edificios de un clima tropical, además de que son de fácil acceso para países en vía de desarrollo. .

REFERENCIAS

Referencias

Referencias

- [1] IEA, "Key World Energy Statistics 2021," vol. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-electricity-final-consumption-by-sector-2019>, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-electricity-final-consumption-by-sector-2019>, 26 de octubre de 2022.
- [2] Naciones Unidas, "Objetivos de Desarrollo Sostenible," 2019, 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [3] N. Ahmad et al, "The effects of technological innovation on sustainable development and environmental degradation: Evidence from China," *Technology in Society*, vol. 72, pp. 102184, 2023. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102184>.
- [4] L. Moosmann et al, "The COP26 climate change conference," in *Glasgow Climate Change conference—October-November 2021*. <https://unfccc.int/conference/glasgow-climate-change-conference-october-november-2021>
- [5] A. Wyns, "COP27 establishes loss and damage fund to respond to human cost of climate change," *The Lancet Planetary Health*, vol. 7, (1), pp. e21-e22, 2023. . DOI: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(22\)00331-X](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(22)00331-X).
- [6] M. Salman et al, "Paris climate agreement and global environmental efficiency: New evidence from fuzzy regression discontinuity design," *Energy Policy*, vol. 168, pp. 113128, 2022. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113128>.
- [7] Hannah Ritchie, Max Roser and Pablo Rosado, "'CO₂ and Greenhouse Gas Emissions'," vol. 1, <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>, 2020.
- [8] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, "World population prospects - UN (2022)," 2022. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.085114621877&doi=10.3389%2ffenvs.2021.689301&partnerID=40&md5=4950d17813c2cdd6c4d59d7bbdc4e2d>
- [9] World Bank Poverty and Inequality Platform, "% Of population living in households with an income or expenditure per person below \$2.15 a day," World Bank Data are based on primary household survey data obtained from government statistical agencies and World Bank country departments., 2022. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.085046651873&doi=10.1007%2fs12053-018-9675z&partnerID=40&md5=161d72eccded512f9d5cb297859de33>

[10] (2021). Global Historical Emissions. Available: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?end_year=2019&start_year=1990.

[11] C. Mora et al, "The projected timing of climate departure from recent variability," Nature, vol. 502, (7470), pp. 183-187, 2013.

[12] O. De Buen R., "DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DE LÍNEAS ESTRATÉGICAS SOBRE EL USO RACIONAL DE ENERGÍA (URE) EN REPÚBLICA DOMINICANA," <https://www.cne.gob.do/Wp-Content/Uploads/2015/11/AT-19-2006-Diagnostico-URE-Informe-Final.Pdf>, (DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DE LÍNEAS ESTRATÉGICAS SOBRE EL USO RACIONAL DE ENERGÍA (URE) EN REPÚBLICA DOMINICANA), pp. <https://www.cne.gob.do/wp-content/uploads/2015/11/AT-19-2006-Diagnostico-URE-Informe-Final.pdf>, 2015, 2015.

[13] L. García Montoro, "Objetivo 2020: de la eficiencia energética a los edificios de consumo de energía casi nulo," 2016. <https://revista.uclm.es/index.php/cesco/article/view/1199/976>

[14] Comisión Nacional de Energía de la República Dominicana, "Plan energético nacional 2022 - 2036," República Dominicana, Marzo 2022. 2022. <https://www.cne.gob.do/documentos/plan-energetico-nacional-2022-2036/>

[15] J. Felix Benitez, "La Refrigeración Con Apoyo Solar En Climas Tropicales," 2015.

[16] R. Opoku, I. A. Edwin and K. A. Agyarko, "Energy efficiency and cost saving opportunities in public and commercial buildings in developing countries – The case of air-conditioners in Ghana," Journal of Cleaner Production, vol. 230, pp. 937-944, 2019. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.067>.

[17] W. Sheng, B. Wen and L. Zhang, "Envelope performance of residential building in cool, warm and hot climatic zones: Results from self-designed in-situ monitoring campaigns," Energy Build., vol. 232, pp. 110655, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110655>.

[18] T. Rakha et al, "Building envelope anomaly characterization and simulation using drone time-lapse thermography," Energy Build., pp. 111754, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111754>.

[19] N. Muñoz Vazquez, B. M. Marino and L. P. Thomas, "Caracterización Del Comportamiento Térmico De Un Edificio Prototipo En Tandil (Buenos Aires).", Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina, 2015.

[20] A. Alahmer and S. Ajib, "Solar cooling technologies: State of art and perspectives," *Energy Conversion and Management*, vol. 214, pp. 112896, 2020. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112896>.

[21] X. Sun, Z. Gou and S. S. Lau, "Cost-effectiveness of active and passive design strategies for existing building retrofits in tropical climate: Case study of a zero energy building," *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 35-45, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.137>.

[22] S. S. Chauhan and S. P. S. Rajput, "Experimental analysis of an evaporative–vapour compression based combined air conditioning system for required comfort conditions," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 115, pp. 326-336, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.072>.

[23] Usar aire acondicionado le pasará factura en 2018. <https://www.diaadia.com.pa/elpais/usar-el-aire-acondicionado-le-pasara-factura-en-2018-331178>

[24] J. Campos, "Construir según el clima," *Arquitectura Tropical Y Bioclimática*, 2018.

[25] J. Aman, D. S. -. Ting and P. Henshaw, "Residential solar air conditioning: Energy and exergy analyses of an ammonia–water absorption cooling system," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 62, (2), pp. 424-432, 2014. . DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.10.006>.

[26] S. Minetto, A. Rossetti and S. Marinetti, "Seasonal energy efficiency ratio for remote condensing units in commercial refrigeration systems," *Int. J. Refrig.*, vol. 85, pp. 85-96, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.09.013>.

[27] Z. Wang, T. Hong and M. A. Piette, "Data fusion in predicting internal heat gains for office buildings through a deep learning approach," *Applied Energy*, vol. 240, pp. 386-398, 2019. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.066>.

[28] K. Ahmed, J. Kurnitski and B. Olesen, "Data for occupancy internal heat gain calculation in main building categories," *Data in Brief*, vol. 15, pp. 1030-1034, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.10.036>.

[29] J. Brouns et al, "Heat source discrimination in buildings to reconstruct internal gains from temperature measurements," *Energy and Buildings*, vol. 135, pp. 253-262, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.041>.

[30] P. Eguía Oller et al, "Improving the calibration of building simulation with interpolated weather datasets," *Renewable Energy*, vol. 122, pp. 608-618, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.100>.

[31] L. A. Mosciatti Jofré, "Análisis comparativo y aplicabilidad sobre el consumo y demanda de energía para edificios de distintas certificaciones de construcción sustentable en Chile," <https://Repositorio.Uchile.Cl/Bitstream/Handle/2250/143469/An%C3%A1lisis-ComparativoY-Aplicabilidad-Sobre-El-Consumo-Y-Demanda-De-energ%C3%ADa-ParaEdificios-De-Distintas-Certificaciones.Pdf?sequence=1&isAllowed=y>, 2016.

[32] Wilhelm Dalaison and et al, "La certificación de edificios verdes es cada vez más accesible en américa latina y el caribe," *Tech. Rep. 1*, Febrero 2020. 2020.

[33] C. Díaz López et al, "A comparative analysis of sustainable building assessment methods," *Sustainable Cities and Society*, vol. 49, pp. 101611, 2019. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101611>.

[34] J. P. Carvalho, L. Bragança and R. Mateus, "Optimising building sustainability assessment using BIM," *Automation in Construction*, vol. 102, pp. 170-182, 2019. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021>.

[35] K. Mehaoued and B. Lartigue, "Influence of a reflective glass façade on surrounding microclimate and building cooling load: Case of an office building in Algiers," *Sustainable Cities and Society*, vol. 46, pp. 101443, 2019. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101443>.

[36] A. Ordoñez Garcia, *Manual De Ayuda DesignBuilder En Español. (5ta. ed.)* <https://www.scribd.com/document/420983264/Manual-Design-Builder-Espanol-2017-03-03-Unlocked>: Sol-Arq, 2017.

[37] A. Barbaresi et al, "Application of Machine Learning Models for Fast and Accurate Predictions of Building Energy Need," *Energies*, vol. 15, (4), pp. 1266, 2022.

[38] A. Gelesz et al, "Characteristics that matter in a climate façade: A sensitivity analysis with building energy simulation tools," *Energy Build.*, vol. 229, pp. 110467, 2020. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110467>.

[39] A. Pedrini, F. S. Westphal and R. Lamberts, "A methodology for building energy modelling and calibration in warm climates," *Building and Environment*, vol. 37, (8), pp. 903-912, 2002. . DOI: [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00051-3](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00051-3).

[40] T. Østergård, R. L. Jensen and S. E. Maagaard, "Building simulations supporting decision making in early design – A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 61, pp. 187-201, 2016. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>.

[41] A. Fathalian and H. Kargarsharifabad, "Actual validation of energy simulation and investigation of energy management strategies (Case Study: An office building in Semnan, Iran)," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, pp. 510-516, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.06.007>.

[42] D. V. Olmos Gormaz, "Programas de simulación como herramientas de predeterminación del comportamiento energético en la arquitectura: análisis comparativo de 3 software de simulación energética aplicados a un proyecto construido y monitorizado," 2012.

[43] N. Eskin and H. Türkmen, "Analysis of Annual Heating and Cooling Energy Requirements for Office Buildings in Different Climates in Turkey." , Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2008.

[44] E. Kükrer and N. Eskin, "Effect of design and operational strategies on thermal comfort and productivity in a multipurpose school building," *Journal of Building Engineering*, vol. 44, pp. 102697, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102697>.

[45] W. G. Cai et al, "China building energy consumption: Situation, challenges and corresponding measures," *Energy Policy*, vol. 37, (6), pp. 2054-2059, 2009. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.11.037>.

[46] A. N. Sadeghifam et al, "Combined use of design of experiment and dynamic building simulation in assessment of energy efficiency in tropical residential buildings," *Energy Build.*, vol. 86, pp. 525-533, 2015. . DOI: [10.1016/j.enbuild.2014.10.052](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.10.052).

[47] S. D'Oca and T. Hong, "Occupancy schedules learning process through a data mining framework," *Energy Build.*, vol. 88, pp. 395-408, 2015. . DOI: [10.1016/j.enbuild.2014.11.065](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.065).

[48] J. Felix, L. Del Portillo and R. Izquierdo, "Análisis Comparativo De Las Diferentes Zonas Climáticas De La República Dominicana." , Universidad del País Vasco, Bilbao, España, 2018.

[49] (2018). INFORME DEL TIEMPO [ONAMET]. Available: <http://onamet.gov.do/m/>.

[50] (2018). VISOR DE DATOS NSRDB, The National Renewable Energy Laboratory ("NREL"), which is operated by the Alliance for Sustainable Energy LLC ("Alliance") for the U.S. Department of Energy (the "DOE"). [NREL]. Available: <https://maps.nrel.gov/nsrdb->

viewer/?aL=0&bL=clight&cE=0&IR=0&mC=18.724787372567558%2C-68.47915649414061&zL=14;

[51] Nima Forouzandeh, M. Tahsildoost and Z. S. Zomorodian, "A review of web-based building energy analysis applications," J. Clean. Prod., vol. 306, pp. 127251, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127251>.

[52] S. Chang, D. Castro-Lacouture and Y. Yamagata, "Decision support for retrofitting building envelopes using multi-objective optimization under uncertainties," Journal of Building Engineering, vol. 32, pp. 101413, 2020. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101413>.

[53] Z. S. Zomorodian and M. Tahsildoost, "Validation of energy simulation programs: An empirical and comparative approach," Iran.J.Energy, vol. 18, (4), pp. 115-132, 2016.

[54] Y. Diler et al, "Thermal comfort analysis of historical mosques. Case study: The Ulu mosque, Manisa, Turkey," Energy Build., vol. 252, pp. 111441, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111441>.

[55] A. Albatayneh, "Optimisation of building envelope parameters in a semi-arid and warm Mediterranean climate zone," Energy Reports, vol. 7, pp. 2081-2093, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.011>.

[56] B. A. Timur, T. Başaran and B. İpekoğlu, "Thermal retrofitting for sustainable use of traditional dwellings in Mediterranean climate of southwestern Anatolia," Energy Build., vol. 256, pp. 111712, 2022. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111712>.

[57] A. S. Jain, P. Saikia and D. Rakshit, "Thermal energy performance of an academic building with sustainable probing and optimization with evolutionary algorithm," Thermal Science and Engineering Progress, vol. 17, pp. 100374, 2020. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2019.100374>.

[58] M. Kovac and K. Kovacova, "Simulation of Energy Demand for HVAC in a Shopping Centre – Case Study," Energy Procedia, vol. 78, pp. 1105-1110, 2015. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.063>.

[59] M. Klimczak et al, "Analysis of the impact of simulation model simplifications on the quality of low-energy buildings simulation results," Energy Build., vol. 169, pp. 141-147, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.03.046>.

[60] Y. Li and Y. Rezgui, "A novel concept to measure envelope thermal transmittance and air infiltration using a combined simulation and experimental approach," *Energy Build.*, vol. 140, pp. 380-387, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.036>.

[61] R. Gupta et al, "Monitoring and modelling the risk of summertime overheating and passive solutions to avoid active cooling in London care homes," *Energy Build.*, vol. 252, pp. 111418, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111418>.

[62] J. Yao, "Modelling and simulating occupant behaviour on air conditioning in residential buildings," *Energy and Buildings*, vol. 175, pp. 1-10, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.07.013>.

[63] J. E. Pachano and C. F. Bandera, "Multi-step building energy model calibration process based on measured data," *Energy Build.*, vol. 252, pp. 111380, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111380>.

[64] A. Cacabelos et al, "Development of a new multi-stage building energy model calibration methodology and validation in a public library," *Energy Build.*, vol. 146, pp. 182-199, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.071>.

[65] B. Merema et al, "Calibration of a BES model of an educational building with demand controlled ventilation," in 15th Conference of IBPSA 43, 2017, .

[66] J. Joe et al, "Load characteristics and operation strategies of building integrated with multi-story double skin facade," *Energy Build.*, vol. 60, pp. 185-198, 2013. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.01.015>.

[67] C. Giraldo-Soto et al, "Dataset of an in-use tertiary building collected from a detailed 3D mobile monitoring system and building automation system for indoor and outdoor air temperature analysis," *Data in Brief*, vol. 31, pp. 105907, 2020. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105907>.

[68] J. Jia and W. L. Lee, "The rising energy efficiency of office buildings in Hong Kong," *Energy and Buildings*, vol. 166, pp. 296-304, 2018. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.062>.

[69] A. Pirmohamadi et al, "Integrated solar thermal systems in smart optimized zero energy buildings: Energy, environment and economic assessments," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 48, pp. 101580, 2021. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101580>.

[70] (). Monitorización de edificios.

[71] N. Kampelis et al, "Evaluation of the performance gap in industrial, residential & tertiary near-Zero energy buildings," *Energy Build.*, vol. 148, pp. 58-73, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.057>.

[72] Oficina Nacional de estadística de la República Dominicana, "Caracterización de las MIPYMES. encuesta nacional de hogares de propósitos múltiples (ENHOGAR 2022)," WEB, 2022. 2022.

[73] Oficina Nacional de Estadísticas (ONE), "En veinte años la población dominicana se incrementó en un 23.35%," vol. 1, 2019.

[74] Banco Central de la República Dominicana, "Importancia del Turismo en la República Dominicana," [https://www. Bancentral. Gov. do/a/D/5003-Importancia-Del-Turismo-En-Republica-Dominicana](https://www.bancentral.gov.do/a/D/5003-Importancia-Del-Turismo-En-Republica-Dominicana), vol. 1, 2021.

[75] Comisión Nacional de Energía de la República Dominicana, "Prospectiva de la demanda de energía de república dominicana," Enero 2014. 2014.

[76] A. A. Aziz, D. Sumiyoshi and Y. Akashi, "Low cost humidity controlled air-conditioning system for building energy savings in tropical climate," *Journal of Building Engineering*, vol. 11, pp. 9-16, 2017.. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.03.005>.

[77] B. Liddle et al, "Evaluating consumption and cost savings from new air-conditioner purchases: The case of Singapore," *Energy Policy*, vol. 145, pp. 111722, 2020. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111722>.

[78] J. N. Peña Suárez, "Caracterización Climática, Confort Térmico Y Reducción De La Demanda Energética En Viviendas De Tipología Mayoritaria De La República Dominicana Mediante Paneles Constructivos Más Sostenibles Y Aprovechamiento De La Ventilación Natural a(TRUNCATED)." , Euskal Herriko Unibertsitatea/Universidad del País Vasco, <https://addi.ehu.es/handle/10810/50328>, 2020.

[79] J. N. Peña Suárez and del Campo Díaz, Víctor José, "Degree-days in a Caribbean and tropical country: the Dominican Republic's case," *Int J Ambient Energy*, vol. 42, (7), pp. 795-800, 2021. Available: <https://doi.org/10.1080/01430750.2019.1566175>. DOI: 10.1080/01430750.2019.1566175.

[80] A. Walsh, D. Cóstola and L. C. Labaki, "Comparison of three climatic zoning methodologies for building energy efficiency applications," *Energy and Buildings*, vol. 146, pp. 111-121, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.044>.

[81] A. Walsh, D. Cóstola and L. C. Labaki, "Review of methods for climatic zoning for building energy efficiency programs," *Building and Environment*, vol. 112, pp. 337-350, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.046>.

[82] Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, "Código Técnico para la Edificación de España (DB-HE)," Documento Descriptivo Climas De Referencia, 2017.

[83] R. S. Briggs, R. G. Lucas and Z. T. Taylor, "Climate classification for building energy codes and standards: Part 2 - zone definitions, maps, and comparisons," in *ASHRAE Transactions*, 2003, .

[84] R. S. Briggs, R. G. Lucas and Z. T. Taylor, "Climate classification for building energy codes and standards: Part 1-development process," *ASHRAE Trans*, vol. 109, pp. 109, 2003. Available: <https://search.proquest.com/docview/192522382?accountid=17248>.

[85] D. Chen and H. W. Chen, "Using the Köppen classification to quantify climate variation and change: An example for 1901–2010," *Environmental Development*, vol. 6, pp. 69-79, 2013. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2013.03.007>.

[86] R. S. Briggs, R. G. Lucas and Z. T. Taylor, "Climate classification for building energy codes and standards: Part 1-development process," *ASHRAE Trans*, vol. 109, pp. 109, 2003. Available: <https://search.proquest.com/docview/192522382?accountid=17248>.

[87] Gobierno de Puerto Rico, "PUERTO RICO BUILDING CODE," 2011.

[88] A. Fonte Hernández and Z. Rivero Jaspe, "Grade-Day Methods. Temperature Determination for Camagüey Province," .

[89] J. N. Peña Suárez et al, "CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA REPÚBLICA DOMINICANA: LIMITACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN," 2017.

[90] J. Khedari, A. Sangprajak and J. Hirunlabh, "Thailand climatic zones," *Renewable Energy*, vol. 25, (2), pp. 267-280, 2002. . DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00005-2).

[91] (). Estadística - Intervalos de clases. Sturges, rango, amplitud [UNICOOS]. Available: <http://www.unicoos.com>.

[92] Inc. ASHRAE, "The American Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineering," The American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineering, Inc. ASHRAE Handbook Fundamentals, SI Ed. , ASHRAE, Atlanta, USA, 1993.

[93] M. Vellei et al, "The influence of relative humidity on adaptive thermal comfort," Building and Environment, vol. 124, pp. 171-185, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.005>.

[94] N. K. Khambadkone and R. Jain, "A bioclimatic analysis tool for investigation of the potential of passive cooling and heating strategies in a composite Indian climate," Building and Environment, vol. 123, pp. 469-493, 2017. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.07.023>.

[95] Z. S. Zomorodian, M. Tahsildoost and M. Hafezi, "Thermal comfort in educational buildings: A review article," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 59, pp. 895-906, 2016. . DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.033>.

[96] Luis R. Gedeón P., Jaume Avellaneda, M. Bosch, "Confort Y Comportamiento Termico En Cerramientos Con Materiales Naturales, Tecnica De Construccion Tejamanil En Republica Dominicana." , 2013.

[97] J. M. Felix Benitez, E. M. Rondón Rosario and R. Pérez González, "Solicitud de información sobre cantidad de oficinas registradas y promedio de consumos kWh/mes," 2019.

[98] J. M. Felix Benitez, E. M. Rondón Rosario and R. Pérez González, "Solicitud de información sobre cantidad de oficinas registradas y promedio de consumos kWh/mes EdeNorte," .

[99] J. M. Felix Benitez, E. M. Rondón Rosario and R. Pérez González, "Solicitud de Solicitud de información sobre cantidad de oficinas registradas y promedio de consumos kWh/mes EdeEste," 2019.

[100] Empresa de electricidad del Este (EdeEste), "Respuesta de solicitud formal de acceso a la información sobre cantidad de clientes en el rubro oficina y promedio de consumo kWh /mes de este sector," 2019. 2019.

[101] Empresa de electricidad del Norte (EdeNorte), "Respuesta de solicitud formal de acceso a la información sobre cantidad de clientes en el rubro oficina y promedio de consumo kWh /mes de este sector." 2019. 2019.

[102] Empresa de electricidad del Sur (EdeSur), "Respuesta de solicitud formal de acceso a la información sobre cantidad de clientes en el rubro oficina y promedio de consumo kWh /mes de este sector." Junio. 2019.

[103] Anonymous "Militar Estándar, Técnica De Muestreo." .

[104] J. M. Felix Benitez et al, "Simulation and Thermo-Energy Analysis of Building Types in the Dominican Republic to Evaluate and Introduce Energy Efficiency in the Envelope," Energies, vol. 13, (14), pp. 3731, 2020. <https://doi.org/10.3390/en13143731>

[105] Carrier, "Aire acondicionado carrier ," .
https://carrier.com.ec/product_detail.cfm?CFID=5d6ecc51-e824-4018-8806-4d0ce7474289&CFTOKEN=0&jsessionid=3A4B25EEF7CE44F9CA452C1FBE1D62E8&product_id=270&cat_id=128&parent_id=5

[106] Lennox, "Aire acondicionado LENNOX ," . <https://rubiera.com.do/producto/lennox-2/>

[107] Panasonic, "Aire acondicionado panasonic inverter premium ," .
<https://www.panasonic.com/pa/support/discontinued/aires-acondicionados/cs-s24tkv.html>

[108] Samsung, "Samsung split inverter ," .
<https://www.samsung.com/cl/airconditioners/wall-amount-ar12msspawq/>

[109] TGM, "TGM classic inverter ," . <http://benitezonline.com/productos/tgm-classic.html>,
<http://benitezonline.com/productos/tgm-classic.html>

[110] J. M. Felix Benitez, R. Pérez González and E. M. Rondón Rosario, "2do. informe: Modelación y validación de edificios tipo de la república dominicana; construcción en designbuilder edificios tipo." .

[111] René Pérez González, David Emmanuel Sosa Ozuna, Isaías Peguero Reyes, Joan Manuel Felix Benitez, Sandi Reyes Doñe, "ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA CLIMATIZACIÓN DE EDIFICIOS TIPO NIVEL TERCIARIO MEDIANTE LA INTRODUCCIÓN DE COLECTORES TERMO-SOLARES CON ESTRATEGIAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA SIMULADAS Y MONITORIZADAS EN SAN JOSÉ DE OCOA, REPÚBLICA DOMINICANA, ENERO-AGOSTO 2020," .

[112] Y. A. Çengel and A. J. Ghajar, Transferencia De Calor Y Masa: Fundamentos Y Aplicaciones, Cuarta Edición. 2011.

[113] Easy Log, "EL-WiFi-TH+. High Accuracy WiFi Temperature and Humidity Sensor," .

[114] DENT INSTRUMENTS, "Registrador de datos de energía portátil ELITEpro XC ™," .

[115] A. H. Calleja, "NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local," Instituto Nacional De Seguridad E Higiene En El Trabajo (INSHT), 1998.

[116] J. Jia and W. L. Lee, "The rising energy efficiency of office buildings in Hong Kong," *Energy and Buildings*, vol. 166, pp. 296-304, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.01.062>.

[117] X. Sun, Z. Gou and S. S. Lau, "Cost-effectiveness of active and passive design strategies for existing building retrofits in tropical climate: Case study of a zero energy building," *Journal of Cleaner Production*, vol. 183, pp. 35-45, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.137>.