

T
621.3
DIA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS G"
F. I. M. C. P.

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**"Estudio del Comportamiento Energético de Viviendas
Populares con eQUEST."**

EXAMEN COMPLEXIVO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentada por:

Byron Jorge Díaz López

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2014

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en el presente examen complejo, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



BIBLIOTECA "GONZALO SPINALE" E. I. M. C.

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Byron Jorge Diaz Lopez", is written over a horizontal line.

Byron Jorge Diaz Lopez

RESUMEN

En este documento se presenta el estudio sobre el comportamiento energético de Viviendas de tipo social en Ecuador con el software de modelación eQUEST.

El principal objetivo es determinar el consumo energético de una vivienda de tipo social, con la ayuda del software de modelación eQUEST v 3.6, de 36 m² de superficie, construida con materiales tradicionales y sin haber contemplado la orientación más favorable de la misma.

Este estudio, además analiza soluciones que pueden ser implementadas para mejorar la eficiencia energética y también evalúa un modelo de vivienda social construida con caña guadua.

Se analizaron cinco configuraciones diferentes de soluciones de mejora energética de la vivienda social para determinar el consumo de las mismas.

Las soluciones analizadas están relacionadas con: orientación, porcentaje o fracción de acristalamiento, elementos de protección solar en las ventanas y mejora de la conductividad térmica en la cubierta por medio de aislamiento y mejorando el coeficiente de reflectancia solar. La aplicación de todas las

soluciones energéticas logran un ahorro del 45.4% sobre el consumo energético de una vivienda social tipo construida actualmente.

En este estudio se incluyó el análisis de consumo energético de una vivienda social, con el supuesto de que se utilice caña guadua como material de construcción.

Esta alternativa se analiza debido a la presentación de un estudio sobre la utilización de la caña guadua para construcción de viviendas, realizado por la Universidad Católica Santiago de Guayaquil – UCSG. El estudio incluye la fabricación industrial de paneles prefabricados con recubrimiento ignífugo.

Adicionalmente, otros elementos considerados para la realización de un estudio con este material son que: la caña guadua es un material de bajo costo, es un material que se encuentra en la zona, es de ciclo corto, es ligero y con adecuados tratamientos, según el estudio antes mencionado, tiene buenas prestaciones desde el punto de vista térmico y acústico (23).

El análisis del consumo energético de una vivienda construida con caña guadua, con mayor superficie de acristalamiento y con la fachada orientada al oeste, determinó que se logra un 15.5% de ahorro respecto al consumo energético de la vivienda social construida con materiales tradicionales.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	viii
SIMBOLOGÍA.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE PLANOS.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1	
1. INFORMACIÓN.....	4
1.1 Identificación del Problema.....	4
1.2 Hipótesis.....	8
1.3 Objetivos.....	8
1.3.1 Objetivo General.....	8
1.3.2 Objetivos Específicos.....	9
1.4 Alcance.....	9

CAPÍTULO 2

2. ANTECEDENTES.....	11
2.1 Consumo de Energía en Viviendas Sociales.....	11
2.2 Utilización de Herramientas Informáticas para el Estudio del Consumo de Energía en Viviendas.....	16
2.2.1 Ventajas de una Simulación.....	18
2.2.2 Desventajas de una Simulación.....	19
2.3 Estudios Similares del Comportamiento Energético de Viviendas en la Región.....	19

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
3.1. Presentación del Programa de Simulación eQUEST.....	26
3.1.1 Descripción General del Programa.....	27
3.1.2 Características del Programa.....	29
3.1.3 Simulación con eQUEST.....	36
3.1.4 Modelos Físicos Utilizados en el Programa.....	38

CAPÍTULO 4

4. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO EN EL SOFTWARE.....	57
4.1. Elaboración del Modelo.....	57

4.1.1 Localización y Clima.....	57
4.1.2 El Edificio.....	59
4.2 Resultados del Caso de Estudio.....	70
4.3 Análisis del Caso de Estudio.....	73

CAPÍTULO 5

5. MODIFICACIONES AL MODELO Y ALTERNATIVA PROPUESTA.....	75
5.1 Modificaciones Introducidas.....	75
5.1.1 Cambio de Orientación.....	76
5.1.2 Modificación de la Fracción de Acristalamiento.....	77
5.1.3 Sombras en las Ventanas.....	78
5.1.4 Mejora del Techado de la Vivienda.....	78
5.2 Resultados de la Modificación.....	79
5.2.1 Cambio de Orientación.....	79
5.2.2 Modificación de la Fracción de Acristalamiento.....	81
5.2.3 Sombras en las Ventanas.....	84
5.2.4 Mejora del Techado de la Vivienda.....	88

CAPÍTULO 6

6. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO EN CAÑA GUADUA.....	95
6.1 Elaboracion del Modelo en Caña Guadua.....	95
6.2 Resultados del Modelo en Caña Guadua.....	106

6.3 Análisis del Modelo en Caña Guadua.....	
.....	109

CAPÍTULO 7

7. CONCLUSIONES.....	113
RECOMENDACIONES.....	115
APÉNDICES.....	117
ANEXOS.....	139
BIBLIOGRAFÍA.....	160

ABREVIATURAS

ACS:	Agua Caliente Sanitaria
ASHRAE:	Sociedad Americana de Ingenieros En Calefacción Refrigeración y Aire Acondicionado.
BDL:	Lenguaje de Descripción del Edificio - eQUEST
DOE:	Departamento de Energía de EEUU
DUIS:	Desarrollo Urbano Integral Sustentable (México)
DVH:	Doble Vidrio Hermético
E4:	Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012.
EEM:	Estudio de Rendimiento Energético - eQUEST
EUI:	Índice de Uso de Energía.
FS:	Factor Solar.
GLP:	Gas Licuado de Petróleo
HVAC:	Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado.
MIDUVI:	Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda de Ecuador
Pc:	Computadora Personal.
RITE:	Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.
SHGC:	Coefficiente de Ganancias de Calor Solar.
UE:	Unión Europea.
UNAM:	Universidad Nacional Autónoma de México.
UCSG:	Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

SIMBOLOGÍA

GWh:	Medida de energía eléctrica, 1 millón de kilovatios suministrados en 1 hora.
MWh:	Medida de energía eléctrica, 1 millón de vatios suministrados en 1 hora.
KWh:	Medida de energía expresada en forma de unidades de potencia por tiempo.
EER:	Índice de Eficiencia Energética.
U:	Coefficiente Global de Transferencia de Calor
T:	Temperatura
t:	Tiempo.
a:	Difusividad.
°C:	Unidad de temperatura, grados Celsius.
α:	Absortividad.
h:	Coefficiente convectivo.
I_D, I_d:	Componentes directo y difuso de radiación solar.
Q:	Energía en forma de Calor.
ΔT:	Gradiente de temperatura.
k:	Coefficiente de Conductividad del elemento.
τ:	Transmisividad
v:	Caudal volumétrico.
ρ:	Densidad.
C_p:	Calor específico del aire
Q₀:	Calor sensible
w:	Vatio.

INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1.	Consumo de Energía por Sectores.....	5
Figura 1.2.	Consumo de Electricidad por Sector al 2012.....	6
Figura 4.1.	Orientación del Modelo Base.....	58
Figura 4.2.	Implantación del Modelo Base.....	60
Figura 4.3.	Representación Geométrica del Modelo Base.....	60
Figura 4.4.	Capas en Pared Exterior del Modelo Base.....	61
Figura 4.5.	Capas de Piso del Modelo Base.....	63
Figura 4.6.	Consumo General de Electricidad en Modelo Base...	71
Figura 4.7.	Distribución Porcentual del Uso de la Electricidad en Modelo Base.....	72
Figura 5.1.	Consumo General de Electricidad por Cambio de Orientación en Modelo Base.....	79
Figura 5.2.	Distribución Porcentual del Uso de la Electricidad por Cambio de Orientación en Modelo Base.....	80
Figura 5.3.	Consumo General de Electricidad por Modificación de la Fracción de Acristalamiento en Modelo Base...	82
Figura 5.4.	Distribución Porcentual del Uso de la Electricidad por Modificación de la Fracción de Acristalamiento en Modelo Base con Cambio de Orientación.....	83
Figura 5.5.	Diagrama de recorrido solar.....	85
Figura 5.6.	Consumo General de Electricidad por Sombras en las Ventanas en Modelo Base con Cambio de Orientación y Fracción de Acristalamiento.....	86
Figura 5.7.	Distribución Porcentual del Uso de la Electricidad por Sombras en las Ventanas en Modelo Base con Cambio de Orientación y Fracción de Acristalamiento.....	87
Figura 5.8.	Consumo General de Electricidad por Aislamiento del Techo en Modelo Base con Cambio de Orientación, Fracción de Acristalamiento y Generación de Sombras en las Ventanas.....	89
Figura 5.9.	Distribución Porcentual del Uso de la Electricidad por Aislamiento del Techo en Modelo Base con Cambio de Orientación, Fracción de Acristalamiento y Generación de Sombras en las Ventanas.....	90

Figura 5.10.	Consumo General de Electricidad por Aislamiento del Techo Pintado de Blanco en Modelo Base con Cambio de Orientación, Fracción de Acristalamiento, Generación de Sombras en las Ventanas y Aislamiento de Techo.....	92
Figura 5.11.	Distribución Porcentual del Uso de la Electricidad por Techo Pintado de Blanco en Modelo Base con Cambio de Orientación, Fracción de Acristalamiento, Generación de Sombras en las Ventanas y Aislamiento de Techo	93
Figura 6.1	Implantación de la Vivienda en Caña Guadua.....	96
Figura 6.2	Fachada Frontal Vivienda en Caña Guadua.....	97
Figura 6.3	Fachada Lateral Vivienda en Caña Guadua.....	98
Figura 6.4	Capas en Panel de Pared en Caña Guadua.....	99
Figura 6.5	Capas en Panel de Piso en Caña Guadua.....	101
Figura 6.6	Consumo Eléctrico en Vivienda Caña Guadua.....	107
Figura 6.7	Demanda de Energía en Vivienda Caña Guadua....	108
Figura 6.8	Consumo Total de Energía de Modelo Base, sus modificaciones y Vivienda Caña Guadua.....	111
Figura 6.9	Índice de Uso de Energía de Modelo Base, sus modificaciones y Vivienda Caña Guadua.....	112



BIBLIOTECA "GONZALO ZAVALEOS"
E. I. M. C. P.

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Consumo Sectorial de Electricidad en el Ecuador – base 2012..... 7
Tabla 2	Datos Climáticos de Guayaquil durante el año..... 59
Tabla 3	Materiales de Pared Exterior Modelo Base..... 62
Tabla 4	Materiales de Piso Modelo Base..... 64
Tabla 5	El Área, Volumen y Diseño Máximo de Ocupantes en Modelo Base..... 65
Tabla 6	Horario de Ocupación de Espacios del Modelo Base..... 66
Tabla 7	Densidad de Potencia de Iluminación en Modelo Base..... 68
Tabla 8	Valores de Ganancia de Calor en Personas para Diferentes Niveles de Actividad..... 70
Tabla 9	Cargas Pico de Componentes de Modelo Base..... 73
Tabla 10	Modificaciones de Mejores Prácticas de Diseño..... 76
Tabla 11	Carga Pico de Componentes de Modelo Base por Cambio de Orientación..... 81
Tabla 12	Carga Pico de Componentes de Modelo Base por Fracción de Acristalamiento con Cambio de Orientación..... 84
Tabla 13	Carga Pico de Componentes de Modelo Base por Generación de Sombras en las Ventanas con Cambio de Orientación y Fracción de Acristalamiento..... 88
Tabla 14	Carga Pico de Componentes de Modelo Base por Aislamiento del Techo con Cambio de Orientación, Fracción de Acristalamiento y Generación de Sombras en las Ventanas..... 91
Tabla 15	Carga Pico de Componentes de Modelo Base por Techo Pintado de Blanco con Cambio de Orientación, Fracción de Acristalamiento, Generación de Sombras en las Ventanas y Aislamiento del Techo..... 94
Tabla 16	Materiales de Panel de Pared en Caña Guadua..... 100
Tabla 17	Materiales de Techo con Caña Guadua..... 100
Tabla 18	Coefficientes Convectivos del Aire..... 101

Tabla 19	El Área, Volumen y Diseño Máximo de Ocupantes en la Vivienda de Caña Guadua.....	102
Tabla 20	Horario de Ocupación de Espacios de Vivienda en Caña Guadua.....	103
Tabla 21	Densidad de Potencia de Iluminación en Vivienda de Caña Guadua.....	104
Tabla 22	Carga Pico de Componentes de Modelo Caña Guadua.....	109
Tabla 23	FRESA versión 2.5 Características claves.....	146
Tabla 24	FEDS versión 5.0.1 Características claves.....	146
Tabla 25	Energy Scheming Características claves.....	147
Tabla 26	Building Design Advisor 3.1 Características claves.....	147
Tabla 27	TRACE Load 700- Características claves.....	147
Tabla 28	Hourly Analysis Program versión 4.2 Características claves.....	148
Tabla 29	DOE-2 versión 2.1 Características claves.....	148
Tabla 30	eQUEST versión 3.6 Características claves.....	148
Tabla 31	BLAST Características claves.....	149
Tabla 32	Energy Plus versión 1.2.2 Características claves.....	149
Tabla 33	BLCC versión 5.3-05 Características claves.....	150
Tabla 34	Quick BLCC versión 2.9-05 Características claves.....	150

ÍNDICE DE PLANOS

Ver plano al final de tesis



INTRODUCCIÓN

Cada año el interés de la comunidad mundial por el ahorro energético crece a pasos agigantados. En países en desarrollo como el nuestro, aunque existen excepciones a nivel regional, en la construcción de viviendas no se incorporan conceptos de eficiencia energética, en gran parte, debido a la falta de una normativa o marco legal que regule la eficiencia de las edificaciones durante su vida útil.

En Ecuador muchas de las edificaciones que aún se construyen son de bajo presupuesto y los materiales “económicos” que se utilizan no permiten que las viviendas brinden el confort térmico mínimo esperado. Otra causa detectada es que no existe una sólida formación de los profesionales que trabajan en este ramo con competencias claras en conceptos de bioclimatismo, eficiencia energética, así como, en el uso de otras fuentes de energías renovables.

El primer caso o modelo de análisis de consumo energético, al que a partir de ahora llamaremos Modelo Base, es de una vivienda social con las siguientes características: vivienda unifamiliar de una planta, dos habitaciones de dormitorios, una sala, un espacio para comedor, un cuarto de cocina, un cuarto de baño, 36 m² de superficie, paredes de 2,2 m de altura construidas de

bloques y enlucidas, techo fabricado con planchas de zinc de espesor de 23 mm y correas metálicas, altura máxima del techo de 3,36 m.

Se estudiaron soluciones diversas, empezando por cambios en el diseño pasivo del caso de estudio, cambios en la envolvente, iluminación, etc. Se inició con modificaciones sencillas y se siguió con las más complejas.

Este estudio se ha dividido en 7 capítulos. En el Capítulo 1 se encuentra la identificación del problema, hipótesis, objetivos y alcance del estudio.

En el Capítulo 2 se describe de manera general el consumo energético en viviendas sociales, el empleo de herramientas informáticas, para este fin, teniendo presente las ventajas y desventajas de los procesos de simulación y los estudios emprendidos por otros países de la región.

En el Capítulo 3 se describen paso a paso las características de la herramienta informática eQUEST y los modelos físicos en que se basa.

En el Capítulo 4 se especifican las condiciones adoptadas para realizar la simulación del Modelo Base que incluyen localización, clima, forma y uso del edificio. En el Capítulo 5 se plantean modificaciones al Modelo Base y su impacto en el consumo energético. El Capítulo 6 hace referencia al análisis del

modelo de una vivienda social empleando paneles prefabricados de caña guadua.

Finalmente, en el Capítulo 7 se presentan las conclusiones y recomendaciones. Adicionalmente se incluyen 4 anexos. El anexo 1 hace una introducción al concepto de simulación energética; el anexo 2 se refiere a las herramientas informáticas existentes en el mercado para llevar a cabo las simulaciones; el anexo 3 describe la estructura de DOE-2, el motor de cálculo de eQUEST; el anexo 4 incluye información referente a cálculos de carga en general y las consideraciones de las ganancias térmicas y cargas térmicas entre otras puntualizaciones.

CAPÍTULO 1

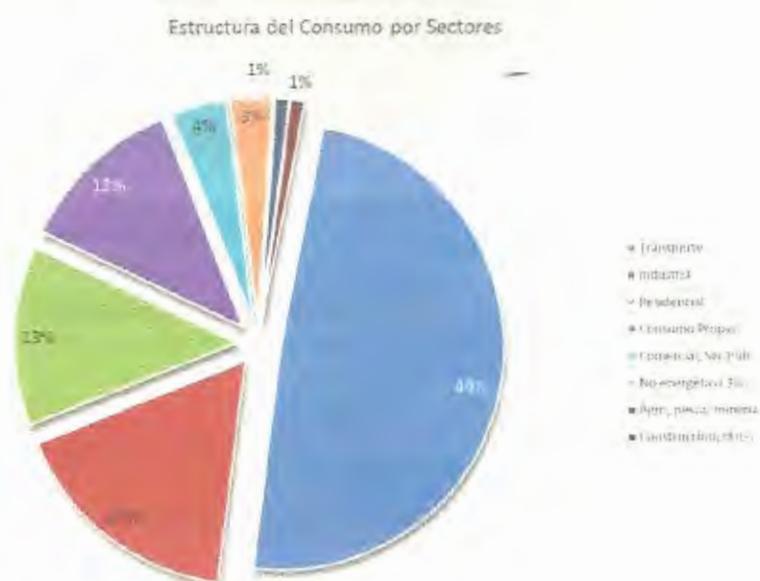
1. INFORMACIÓN.

1.1 Identificación del Problema.

El litoral ecuatoriano se compone de 6 provincias, siendo la más poblada la provincia del Guayas. Existen 2 estaciones claramente diferenciadas, la lluviosa, que es calurosa y húmeda con temperaturas por encima de los 30°C, y la seca con temperaturas promedio entre 25 y 26° C. Es normal que la humedad relativa en la época lluviosa alcance valores alrededor de 80 a 89% durante el día. Las condiciones descritas anteriormente, junto al incremento del nivel de vida en las clases sociales media y baja, son el motivo principal

para que los sistemas de aire acondicionado sean cada vez más utilizados por la población y, por tanto, se ve reflejado en el aumento de consumo de energía eléctrica.

En el país el sector residencial es el tercer consumidor de energía, por debajo del sector transporte y el industrial (1).

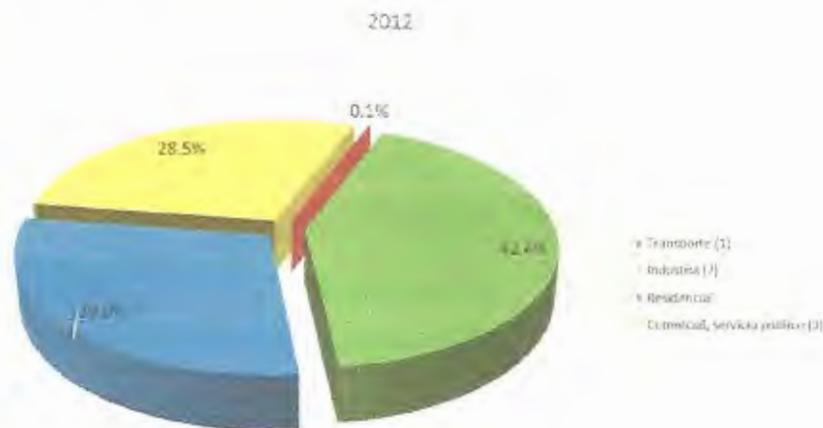


Fuente: (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013)

FIGURA 1.1 CONSUMO DE ENERGÍA POR SECTORES

El consumo eléctrico representa el 13% del consumo final de energía requerida en el Ecuador y, dentro de este segmento, el 29% corresponde al sector residencial. En el sector residencial el 59% del consumo de energía se suple con gas licuado, seguido de energía

eléctrica con el 28%, la leña suministra el 13% del requerimiento restante.



Fuente: (Balance Energético Nacional 2013 - base 2012)

FIGURA 1.2 CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR SECTOR AL 2012

El sector residencial es un gran consumidor de energía eléctrica a nivel nacional por debajo del sector industrial, a partir del año 2009 superó en el acumulado global al sector comercial – servicio público, ver Tabla 1.

El consumo energético en el sector residencial, desde el año 2008, se ha incrementado, en promedio, a razón del 6.2% anual hasta el 2013, representando 5,881 GWh en este último año (2). La tendencia histórica indica que para el año 2020 esta situación no va a variar de manera significativa.

TABLA 1

Consumo Sectorial de Electricidad en el Ecuador - base 2012

CONSUMO SECTORIAL DE ELECTRICIDAD - GWh

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Transporte (1)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Industria (2)	2,218	2,200	2,877	3,055	4,005	4,405	5,499	6,417	6,293	6,368	7,163	7,724	8,220
Residencial	2,808	2,918	3,098	3,170	3,516	3,702	3,896	4,095	4,385	4,672	5,114	5,351	5,624
Comercial, servicio público (3)	1,873	1,945	3,044	3,282	3,676	4,046	4,398	4,606	4,840	4,388	4,585	5,080	5,523
Consumo Energetico	7,904	8,071	9,029	9,617	11,207	12,163	13,800	15,128	15,528	15,438	16,823	18,175	19,377

El sector residencial en países desarrollados, como Alemania, Reino Unido y Francia, es el segundo consumidor de energía luego del sector transporte, superando al sector industrial (3). Este es un indicativo para determinar que habrá un crecimiento de la demanda de este sector en nuestro país en el corto y mediano plazo, especialmente, debido al impulso del cambio de la matriz energética del estado.

Por lo anteriormente expuesto se determina que para lograr un proceso de construcción sostenible debe implementarse, en primer lugar, una normativa que obligue a seguir un procedimiento adecuado desde el diseño de la edificación hasta la construcción.

1.2 Hipótesis.

La inclusión de medidas básicas de eficiencia energética en el diseño y construcción de viviendas de tipo social, promovidas en Ecuador, puede mejorar la temperatura interior de habitabilidad.

Aplicando soluciones de diseño pasivas en viviendas de tipo social puede lograr mejoras en el confort térmico de la vivienda que se traducirán en un menor consumo energético.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Estudiar el comportamiento energético de las viviendas sociales tipo, construidas en Ecuador en los últimos años, y proponer un nuevo diseño que utilice materiales regionales, sostenibles desde el punto de vista ecológico, que ayude a mejorar la eficiencia energética y que no incremente el costo de construcción.

1.3.2 Objetivos Específicos.

Revisar el estado del arte sobre estudios energéticos en edificaciones y materiales de construcción utilizados en el Ecuador y la región.

Determinar las bondades de la herramienta de simulación eQUEST.

Realizar el análisis energético de una vivienda Modelo Base construida en Ecuador en los últimos años.

Determinar si en el diseño y construcción de la vivienda Modelo Base se han considerado medidas de eficiencia energética y sostenibilidad.

1.4 Alcance.

Se estudia el consumo energético de una vivienda Modelo Base construida por el Ministerio de Vivienda del Ecuador (MIDUVI) en los últimos años.

En el análisis se consideran los siguientes parámetros: envolvente que comprende las paredes exteriores, cubierta y piso. Se tomaron en cuenta la absorción de radiación solar de paredes exteriores, la

transmisión y la reflectividad, así como también, el porcentaje de elementos translúcidos (ventanas) y los opacos (paredes, techo).

Finalmente, el estudio incluye una propuesta de nuevo diseño arquitectónico con una envolvente fabricada con paneles de caña guadua, con la finalidad de estimar su consumo energético y determinar si ésta solución habitacional es una opción válida en el mercado ecuatoriano de la construcción.

CAPÍTULO 2

2. ANTECEDENTES

2.1 Consumo de Energía en Viviendas Sociales.

Diversos factores como el incremento en la construcción de viviendas, los hábitos de consumo, el equipamiento progresivo de los hogares, el incremento en la capacidad de poder adquisitivo, hacen prever el aumento del consumo energético en este sector.

Es preciso conocer a detalle la demanda energética del sector residencial para diseñar políticas de eficiencia adecuadas para lograr, en el corto plazo viviendas de "bajo consumo energético".

En América Latina existen avances importantes en la regulación e implementación de estrategias para reducir el consumo energético en el sector residencial.

En Chile el Ministerio de Vivienda y Urbanismo tiene como misión mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, especialmente de los sectores más vulnerables, para asegurar viviendas de mejor calidad, competitivas y sustentables. Regula su construcción mediante normativa para viviendas con criterios de Eficiencia Energética para la Envolvente (vigente desde el 2007). (6)

El consumo energético del sector de la edificación residencial, público y comercial representa el 25.8% del consumo final de energía en éste país al 2012 y, dentro de este segmento, el 80% corresponde al sector residencial. En el sector residencial el 59% del consumo de energía se suple con leña y biomasa, luego el Gas licuado aporta con el 17%, le sigue la electricidad con el 15%, el gas natural suministra el 7% del requerimiento. (7)

En la vivienda, el 56% del consumo de energía se destina a los calefactores y cerca del 18% a agua caliente sanitaria (ACS), siendo las principales fuentes de energía la leña con el 46.6%, electricidad con el 17.6%, gas licuado con el 21.4% y gas natural con el 10.1%. (6) En México se plantea que para el año 2030 existirán 49.6 millones de vivienda tomando en cuenta las 28.6 millones existentes hasta el 2010 INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (8)

El sector residencial, comercial y público en México consume el 16.2% del total de la energía requerida por el país, siendo responsable del 4.9% de las emisiones de CO₂ durante el 2012. (9)

En México existe un estudio del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) presentado en el 3er. Congreso Internacional de Estructuras Prefabricadas, efectuado en septiembre del 2011 en la ciudad de Puebla, donde se menciona entre otras cosas que el impacto por vivienda en el caso mexicano es el siguiente:

- Consumo del 16,05% de la energía producida.
- Consumo del 63% del GLP.
- Consumo del 25% de la electricidad.
- Consumo del 99.26% de la leña.

El sector residencial, comercial y público representa el 20% del total del consumo de energía final, por debajo de la industria 30% y transporte 47%. Dentro del 20% de consumo en edificios el 83% corresponde al consumo de las viviendas.

El promedio nacional de consumo de energía eléctrica en México es de 1.73 MWh/año, 6.2 toneladas de leña por vivienda, 128 kilos de GLP anual por vivienda y 1.89 Ton de CO₂ emitidas por vivienda por el uso de la energía. (10)

Existe una clara estrategia para fomentar un uso más eficiente de la energía en desarrollos habitacionales y viviendas, poniendo especial interés en el ahorro y uso eficiente a través de arquitectura bioclimática, materiales e insumos (aislamiento térmico), tecnología (equipos), así como, el aprovechamiento de energías renovables con el calentamiento de agua con energía solar y uso de paneles fotovoltaicos.

A finales del año 2003, el gobierno español aprobó la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). La E4 ha sido implementada a través de los Planes de Acción 2005-2007, 2008-2012, y en la actualidad por el Plan 2011-2020 que incluye una cuantificación de los ahorros de energía derivados de los dos primeros planes anteriormente mencionados (11). La E4 tiene como objetivo reducir los índices de intensidad energética a través de tres pilares básicos de la política energética, comunitaria y española:

- a) Garantizar el suministro de energía

- b) Mejorar la competitividad a través de la utilización eficiente de recursos energéticos.

- c) Fomentar la protección del medioambiente y compatibilizar el progreso económico y el bienestar derivado de un entorno medioambiental más limpio

Las medidas que se han implementado en España son:

1. Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes: se busca promover la aplicación de criterios de eficiencia energética en la restitución de edificios, a través del incremento del nivel de aislamiento en fachadas y cubiertas, la mejora de vidrios y la incorporación de protecciones solares.

2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes: sustituyendo calderas, generadores de frío, equipos de tratamiento de fluidos y equipos de transporte de fluidos; además de una inspección periódica de los mismos.

3. Mejora de eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior de los edificios existentes: sustituyendo millones de lámparas incandescentes por lámparas de bajo consumo en el sector doméstico y la renovación de las instalaciones de iluminación del sector servicios.

2.2 Utilización de Herramientas Informáticas para el Estudio del Consumo de Energía en Viviendas.

La simulación energética en el sector de la construcción ha venido desempeñando un papel primordial, no sólo en el diseño de edificios, sino también en la operación, diagnóstico, puesta en marcha y evaluación de los edificios. Ayuda a los diseñadores a comparar distintas opciones y llegar al diseño más eficiente energéticamente en vista de la rentabilidad.

La simulación energética en la construcción también puede ayudar a gerentes de planta y a ingenieros a identificar potenciales ahorros de energía, evaluar la eficiencia energética y la rentabilidad de las medidas que podrían ejecutar.

Existen herramientas de análisis energético sencillas, las cuales, proporcionan un rápido análisis del uso anual de energía de las edificaciones; pero no todos los programas de análisis de energía tienen el mismo nivel de precisión.

Las herramientas de simulación energética permiten incluir especificaciones técnicas que logran ahorros de energía importantes cuantificables (4):

1. Acrecentando la resistencia térmica de las paredes, suelos y techos se obtienen ahorros aproximados del 21,5% al 28%.
2. Utilizando acristalamiento doble en las ventanas mejora un 15% y acristalamiento triple hasta un 21% los ahorros por consumo de energía.
3. Modificando la proporción ventanas – pared, reduciendo de manera efectiva el acristalamiento se pueden conseguir ahorros hasta de un 16%.
4. Cambiando la orientación a norte-sur y la relación longitud anchura se puede llegar a ahorrar hasta un 13%.

La calibración de los modelos de simulación es necesaria y fundamental para obtener precisión en los resultados.



2.2.1 Ventajas de una Simulación.

Como resultado de los avances en la metodología de simulación, a continuación se enumeran algunas de sus ventajas.

La decisión está basada en una herramienta de diseño, se logra entender mejor el sistema y proponer cambios que mejoren la operación y su eficiencia.

Es una herramienta de comparación, la simulación permite identificar las variables más importantes dentro de un sistema y su interrelación.

Predicción del uso de la energía, permitiéndonos anticiparnos ante posibles resultados no contemplados.

No se requiere construir un sistema para experimentar con él, solo poder recrearlo en el sistema de simulación.

En relativamente poco tiempo se pueden simular muchas alternativas, tener los resultados disponibles en forma breve y ser decisivos en la elección de un diseño para un sistema.

Al igual que se realiza un experimento sobre un sistema real, durante la simulación existen variables que se mantienen constantes y otras que no, con la finalidad de evaluar su influencia en el sistema.

2.2.2 Desventajas de una Simulación.

Entre las desventajas se mencionan las siguientes:

La introducción de variables adicionales, sin control aparente, puede ocasionar resultados no adecuados.

Quien realiza la simulación debe tener experiencia en el manejo de la herramienta.

La persona que realiza la simulación debe conocer el modelo de diseño del programa de simulación.

2.3 Estudios Similares del Comportamiento Energético de Viviendas en la Región.

En Chile el Ministerio de Vivienda y Urbanismo emprendió en el reacondicionamiento térmico de viviendas existentes para alcanzar la condición térmica normada desde el año 2007, entre las regiones de O'Higgins y Magallanes.

El ahorro estimado en la demanda de calefacción de la zona de Temuco es del 35% gracias al mejoramiento de los coeficientes globales de transferencia de Calor - U de muros, techos y pisos en 64%, 59% y 79% respectivamente. (6)

También se evaluaron la efectividad de las mejoras térmicas en las viviendas de la región de Araucanía, que consistía en estudios antes y después de acondicionarla, caracterización de la vivienda, mediciones de temperatura exterior e interior, humedad relativa interior, humedad relativa exterior, test de infiltración y registros termográficos. Como conclusiones se rescata lo siguiente: persistencia de infiltraciones altas, mejor comportamiento térmico de aislamiento exterior, más del 50% de la muestra reduce su demanda de energía en calefacción en un 27%.

El acondicionamiento térmico de una vivienda nueva tiene como objetivo superar la condición técnica normada desde el año 2007 mediante evaluación energética del diseño arquitectónico base, sugerencias de mejoras al diseño y materiales y estimación del impacto de aplicar las mejoras. El impacto esperado es un ahorro en el consumo de energía en calefacción en al menos un 30%.

Se propusieron por separado 3 mejoras específicas:

- Cambiar la tipología de las ventanas a Doble Vidrio Hermético (DVH).

- Agregar 15 mm de aislante térmico a la solución de muro exterior propuesta.
- Aislar térmicamente el piso con poliestireno extruido de 25 mm.

La combinación de las 3 mejoras en simultáneo, logra una reducción del 32% en la demanda de calefacción. Otro objetivo fue generar una herramienta de apoyo al diseño de viviendas sociales con criterios de eficiencia energética, definida como "Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Vivienda Social", la cual es un apoyo técnico dirigido a arquitectos, ingenieros, constructores, diseñadores y, en general, a todos los estamentos relacionados con el mundo de la construcción y el desarrollo social.

El primer proyecto sustentable en México, denominado DUIS - Desarrollo Urbano Integral Sustentable, es Valle San Pedro al sureste de Tijuana en Baja California, y se dio gracias a la alianza entre las empresas BASF y URBI. Se desarrollaron viviendas para personas de bajos ingresos, siendo la más pequeña de 38 m² con un costo de 18.333 USD, destinadas para personas con un ingreso mensual estipulado en 357 USD y la, más grande, fue de 50 m² con un valor de 22.666 USD para personas con ingresos mensuales de 687 USD. (8)

La ruta crítica de la eficiencia energética en este proyecto es el diseño bioclimático, eficiencia en la envolvente, enseres domésticos e iluminación eficiente, para el análisis de los requerimientos de energía para el proyecto se consideró lo siguiente: Diseño y características de la vivienda observada.

- Consumo de energía de electrodomésticos normalmente en uso en cualquier vivienda.
- Análisis de los acabados con tecnología BASF disponibles para reducir la temperatura interior de la vivienda.

Las tecnologías propuestas por BASF fueron:

- Poliestireno Expandible modificado con grafito. Usado en México por primera vez.
- Poliuretano sin emisiones de Clorofluorocarbonos de acuerdo al protocolo de Montreal.
- Stucco mortero de cemento preparado con nanotecnología que reducen la temperatura interior de 4 a 7 °C.
- Cubierta elastomérica que contribuye a disminuir la intensidad de la luz interna.
- Cubierta acrílica a prueba de agua que ayuda a la reflectancia

Las herramientas informáticas utilizadas en este proyecto fueron TRANSYS y DOE.

Luego del monitoreo en conjunto por BASF y URBI, a partir de un año, el resultado de análisis es el siguiente:

- A más de lograr una diferencia de la temperatura interior de hasta 5°C entre el tipo básico de construcción y NetZero, el total de ahorro de la inversión fue de \$190,000.00 pesos al eliminar el uso del aire acondicionado. El edificio base alcanza una temperatura interior en los meses más críticos de hasta 36°C mientras que en el edificio Cero Energía llega a 29-30°C.
- Reduce las emisiones de CO₂ en 30 Ton por año, al bajar el consumo de energía del edificio con éstos atributos.
- Ahorro de energía en kWh obtenido del aislamiento termo envolvente, el tiempo estimado de retorno de la inversión es de 1.5 años.
- La combinación de los sistemas de aislamiento de BASF, logró una reducción del 55% en el consumo de energía de este edificio.
- El uso de aire acondicionado fue eliminado; y solamente se requirió la instalación de 1 o 2 ventiladores.

- Una batería de paneles solares fue instalada para proporcionar el 45% restante de la energía requerida por el edificio.

En España se han obtenido ahorros concretos producto de mejoras en el consumo energético sin sacrificar el confort de los usuarios, realizando 35,000 simulaciones sobre 36 edificios tipo, aplicando cerca de 14 mejoras o medidas que definieron como "rehabilitación energética".

Entre los principales resultados obtenidos en el proyecto se tienen:

- Ahorros entre el 5% y el 20% en el consumo de energía.
- Disminuciones entre el 10 y el 30% en las emisiones de CO₂ por edificio.
- Ahorros anuales en la factura de energía entre 500 y 2000 € por vivienda.
- Aislamiento de cubiertas puede lograr un ahorro energético del 4 al 14% del consumo total del edificio.

Se diferenciaron claramente las limitaciones que se presentan con las intervenciones en los edificios ya construidos respecto de edificaciones nuevas, basándose principalmente en:

- Reducción de la demanda energética del edificio mejorando las partes opacas y los vidrios de las ventanas en fachada y cubierta.
- Mejora de la eficiencia energética implantada usando con mejores rendimientos y menores consumos.
- Cambio de combustible, diversificando las fuentes usando combustibles menos contaminantes como el GLP por ejemplo.

Implantación de energías renovables en el sector doméstico sobre todo para la producción de agua caliente sanitaria usando energía solar térmica (5).

Es evidente el esfuerzo de muchos países, por promover la aplicación de criterios de eficiencia energética en la construcción de viviendas de tipo social, considerando la creciente demanda de energía del sector residencial sobre el consumo energético total.

CAPÍTULO 3

3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Presentación del Programa de Simulación eQUEST.

Las herramientas de análisis de energía caen dentro de tres categorías principales: Programas de Análisis Simple, Programas de Análisis Detallados y Programas de Análisis Especiales.

Dentro de los programas de análisis simple se encuentra eQUEST y Energy-10; los programas de análisis detallado comprenden DOE-2, VisualDOE 2.6 y Power DOE; los programas especiales incluyen EnergyPro, Trane Trace 600 y HAP (Carrier Hourly Analysis Program).

La elección de la herramienta a utilizar debe considerar el tipo de interrogantes que se requieren responder con el modelo propuesto y el nivel de detalle requerido.

Para el análisis de modelos de una manera sencilla se optó por el programa eQUEST por ser una herramienta amigable que combina asistentes simplificados de entrada de datos junto con las herramientas detalladas de simulación; siendo capaz de satisfacer necesidades, tanto de arquitectos como de ingenieros.

Está basado en una interface de Windows para el motor de cálculo DOE 2.2 que permite al usuario seleccionar, a partir de un número predefinido de formas de edificaciones, el ingreso de datos específicos del proyecto y luego, la ejecución de una simulación completa de DOE-2 para la evaluación del impacto del consumo de energía.

3.1.1 Descripción General del Programa.

El programa eQUEST tiene el potencial para satisfacer diferentes necesidades tanto en las etapas de diseño conceptual, cuando se sabe poco acerca de la construcción, así como en las etapas finales

del diseño, cuando la mayoría de los detalles del proyecto han finalizado.

eQUEST es una herramienta de análisis energético para edificaciones, fácil de usar, con una agradable interfaz gráfica, que combina; un asistente de creación de las características geométricas de la edificación, un asistente para los parámetros energéticos y un módulo de pantalla gráfica de resultados. El cálculo se realiza con una programación derivada del DOE-2.

El programa DOE-2 fue desarrollado por el Grupo de Investigación de Simulación en el Laboratorio de Lawrence Berkeley de la Universidad de California en el año 1991, con la mayoría de fondos provistos por el departamento de energía de los Estados Unidos.

DOE-2 predice el uso de energía por hora y el costo de energía de una edificación dada información del tiempo por hora y una descripción del edificio, sus equipos de HVAC y una estructura de las tarifas de servicios; con DOE-2 se puede determinar la opción de los parámetros del edificio que mejoran la eficiencia energética mientras se mantiene un confort térmico.

eQUEST consta de dos motores de cálculo principales, uno que implica el diseño de la vivienda y sus instalaciones, y otro que realiza un estudio del rendimiento energético (EEM), todo ello representado por medio de gráficos que facilitan la interpretación y comparación de los resultados.

El "motor" de simulación dentro de eQUEST se extiende y amplía las capacidades de DOE-2 en varios aspectos importantes, incluyendo el funcionamiento interactivo, los valores predeterminados dinámicos / inteligente, y la mejora de numerosas deficiencias de antaño en el DOE-2, que han limitado su uso por los principales diseñadores.

3.1.2 Características del Programa.

eQUEST realiza el análisis de las propiedades termodinámicas de la envolvente y el consumo anual de energía de diferentes construcciones.

El asistente de la herramienta lleva al usuario a través del proceso de creación de un modelo de construcción geométrico, que permite de forma sencilla introducir los datos descriptivos de la vivienda a evaluar e incluye una representación bidimensional y tridimensional

de la geometría de la edificación. Este software permite el acceso a todos los parámetros de entrada, tanto de características físicas de la vivienda como de características climáticas del entorno donde se ubica la vivienda, así como la posibilidad de obtener un informe de los resultados con distribución horaria.

El programa eQUEST, realiza una simulación horaria de la construcción basada en sus muros, ventanas, vidrio, cargas térmicas debido a las personas, cargas por uso de artefactos eléctricos, y la ventilación. También simula el funcionamiento de los ventiladores, bombas, refrigeradores, calderas y otros equipos consumidores de energía.

Permite crear múltiples simulaciones dentro del mismo modelo y ver los resultados alternativos en gráficos agrupados.

Dispone de estimación de costos de energía debido a iluminación natural y control del sistema de iluminación, también admite la aplicación automática de las medidas de eficiencia energética. (12)

Construcción de Bloques de Simulación.

Antes de "construir" el modelo de simulación, hay que tener en cuenta lo siguiente:

Análisis Objetivo - El modelo de simulación debe ser abordado con una clara comprensión de las cuestiones de diseño que deben ser respondidas. Hay que enfocarse en las cuestiones importantes y, al mismo tiempo, limitar las preguntas.

Cargas Térmicas – Es la cantidad de energía térmica que un edificio o recinto cerrado intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior, siendo las condiciones externas las más desfavorables. Las cargas externas se refieren a la transmisión de calor de superficies opacas, superficies semitransparentes, cargas por ventilación e infiltración. Las cargas internas abarcan los ocupantes, la iluminación, máquinas, motores.

Información sobre el sitio del edificio y datos meteorológicos – Entre las características importantes de los sitios de construcción se obtiene la latitud, longitud y altitud, que ayudan a la herramienta de simulación a escoger el sitio de clima adecuado para la ubicación

Cubierta del edificio, Estructura, Materiales y Sombras - eQUEST necesita información acerca de los tipos de materiales de construcción empleados en las paredes, pisos y techo del edificio propuesto, su conformación, espesores, coeficientes de conductividad térmica, así como también de su geometría y dimensiones.

También se demanda las propiedades del vidrio empleado en las ventanas, al igual que las dimensiones de salientes y protectores solares ubicados en ellas. Las superficies opacas y semitransparentes aquí detalladas son parte de las cargas externas. Otras características requeridas del sitio incluyen información sobre las estructuras adyacentes o paisaje capaz de proyectar sombras sobre la edificación existente.

Operaciones de Construcción y Planificación - Esto incluye información acerca de los horarios de uso de la edificación (horas, días de la semana, y las variaciones estacionales, como las escuelas), punto de referencia del termostato interior y los horarios de funcionamiento del sistema HVAC y equipos internos. eQUEST tiene horarios de operación predeterminados basados en el tipo de construcción

Cargas Internas - La ganancia de calor a partir de las cargas internas (por ejemplo, la gente, las luces y equipos) pueden constituir una parte importante de las necesidades energéticas de grandes edificios, tanto de sus necesidades de consumo directo y el efecto indirecto que tienen sobre los requisitos de refrigeración y calefacción

De hecho, las cargas internas a menudo pueden provocar que grandes edificios se vuelvan relativamente insensibles al clima. Más importante aún, el rendimiento de casi todas las alternativas de diseño de eficiencia energética se verá afectado directa o indirectamente por la cantidad de carga interna dentro del edificio.

Equipo HVAC y Rendimiento - Una buena información en cuanto a la eficiencia del equipo de climatización será importante para la precisión de cualquier simulación de uso de energía.

Siempre que sea posible, se deben conseguir las características de los equipos para cada análisis, por ejemplo, a partir de los ingenieros de diseño de edificios o directamente desde los fabricantes de equipos.



Tarifas de Servicios Públicos - Una gran fortaleza de la simulación detallada del consumo de energía que usa eQUEST es la capacidad de predecir por hora perfiles de demanda eléctrica, que luego se pueden acoplar con los detalles completos de las tarifas de los servicios correspondientes.

Parámetros Económicos - Esto facilita recomendar ciclos de vida económicos por encima de los métodos de recuperación simple del análisis económico. Dado que el retorno de las inversiones de eficiencia energética suelen arrojar beneficios a lo largo de toda la vida del edificio o sistema, es más apropiado tener en cuenta su impacto del ciclo de vida.

Zonificación HVAC -Un edificio puede estar compuesto de varias zonas, cada zona está atendida por un equipo HVAC; al interior de una edificación existen diferentes zonas con distintos perfiles de carga. Identificando áreas con similares perfiles de carga y agrupándolos bajo el mismo control del termostato, mejora la comodidad y puede reducirse el consumo de energía. Cada una de estas áreas o "zona" podría, por lo tanto, ser adecuadamente controlada por un solo termostato

En otras palabras, la zonificación térmica de los equipos de climatización pretende agrupar esas áreas en una edificación en la que compartan características similares de carga y uso, con fines de control. Por supuesto, este procedimiento imaginario no es como los ingenieros de equipos de climatización realmente zonifican un edificio. Por el contrario, los métodos que se siguen son los siguientes:

Cálculo de la magnitud y configuración del calendario de las cargas internas.

Cálculo de la magnitud y configuración del calendario de las ganancias solares.

Creación de un programa de operaciones del ventilador del sistema.

Cálculo de requerimientos de aire exterior.

Finalización de las medidas de eficiencia proyectadas.

Finalización de la ubicación de los termostatos en los planos del sistema HVAC.

Actualmente, eQUEST ofrece al usuario dos regímenes de zonificación automáticas, una zona por planta, y la zonificación

núcleo simple vs. Perímetro. Basándose en la selección del usuario, eQUEST automáticamente puede zonificar el modelo.

3.1.3 Simulación con eQUEST.

Luego de compilar la descripción de la vivienda, eQUEST proporciona una simulación detallada del edificio, así como una estimación del consumo energético necesario para el funcionamiento de la vivienda y sus instalaciones.

El proceso de simulación comienza desarrollando un modelo de la vivienda basado en los proyectos y los datos especificados, asumiendo un nivel mínimo de eficacia (por ejemplo un valor mínimo según ASHRAE 90.1), que toma como base para calcular posteriormente los ahorros de energía estimados; se efectúa una simulación hora a hora del consumo de energía del sistema diseñado durante un año entero (8760 horas), teniendo en cuenta además los datos meteorológicos para la ubicación dada.

Durante la simulación, se calcula la energía del edificio según los distintos usos asignados, así se tiene:

- Iluminación

- Consumo eléctrico (Pc's, aparatos eléctricos en general)
- Calefacción
- Refrigeración
- Ventilación.

Tipos de Superficies de Transferencia de Calor.

Se tienen tres tipos de superficies de transferencia de calor para modelar distintos tipos de superficies de transferencia de calor en una edificación:

1. Superficies Translúcidas, por ejemplo, ventanas, paredes de bloques de vidrio, puertas de vidrio corredizas, claraboyas. El motor de cálculo las considera a todas ellas como un mismo tipo de superficie de transferencia de calor, es decir, una VENTANA.
2. Superficies Opacas, por ejemplo, pueden ser paredes interiores o paredes exteriores, techos y suelos interiores o exteriores. El motor de cálculo agrupa todo esto como un mismo tipo de superficie de transferencia de calor, es decir, ya sea una PARED EXTERIOR o una PARED INTERIOR según corresponda

3. Superficies Subterráneas, por ejemplo, los pisos y las paredes del sótano y losa de cimentación. El motor de cálculo toma a todas ellas como un mismo tipo de superficie de transferencia de calor, es decir, una PARED SUBTERRÁNEA.

3.1.4 Modelos Físicos Usados en el Programa.

Los subprogramas utilizan variados modelos para los fenómenos de transferencia de calor y masa en condiciones estáticas y dinámicas. A continuación una breve descripción de los modelos empleados.

Método de Factores de Ponderación.

Es el método usado para el cálculo de la carga sensible instantánea en un espacio; para efecto de análisis se ignora la capacidad calorífica del aire asumiendo que siempre se mantiene en equilibrio térmico, bajo éstas suposiciones la carga sensible instantánea del espacio y la velocidad de remoción de calor son iguales en magnitud pero de signos opuestos. (13)

El método de factores de ponderación relaciona los métodos más simples, como cálculos en estado estacionario, que ignoran la

capacidad de la masa del edificio para almacenar energía y métodos más complicados, como cálculos de balance de energía complejos.

Con este método, las ganancias de calor del espacio a una temperatura de espacio constante, se determinan a partir de una descripción física del edificio, condiciones climáticas y los perfiles de carga internos. Junto con las características y la disponibilidad de sistemas de calefacción y refrigeración del edificio, las ganancias de calor del espacio son usadas para calcular las temperaturas del aire y las tasas de extracción de calor; estos datos se calculan en dos pasos

Primer paso: En el primer paso el cual se realiza en el programa LOADS, la temperatura del aire se asume fija a un valor de referencia. Las ganancias de calor instantáneas para la habitación se calculan sobre la base de ésta temperatura constante.

Se consideran varios tipos de ganancia de calor, como radiación solar ingresando a través de las ventanas, energía de las luminarias, personas o equipos y energía de conducción a través de las paredes. La carga de refrigeración para el cuarto, la cual se define como la rapidez con que la energía debe ser removida de la habitación para

mantener el valor de referencia de la temperatura del aire, se calcula para cada tipo de ganancia de calor instantánea.

La carga de refrigeración asociada a una fuente de calor en particular puede diferir de la ganancia de calor instantánea para la misma fuente de calor. Los factores de ponderación son un conjunto de parámetros que determinan cuantitativamente cuanta de la energía que ingresa a la habitación se almacena y cuán rápido ésta energía almacenada es liberada durante las horas subsiguientes.

El tipo de ganancia de calor, como por ejemplo energía solar ingresando a través de las ventanas en comparación con conducción a través de las paredes, puede afectar las cantidades relativas de energía almacenada. Por esta razón los factores de ponderación para cada tipo de ganancia de calor son diferentes.

De manera similar, la construcción de un cuarto puede influenciar cómo se almacena la energía entrante y cuán rápido es liberada, por lo tanto cuartos distintos pueden tener diferentes factores de ponderación.

Al finalizar el primer paso, las cargas de refrigeración de las distintas ganancias de calor se suman para proveer la carga de refrigeración total de la habitación.

Segundo paso. En el segundo paso el cual se realiza en el programa SYSTEMS, la carga de refrigeración total de la habitación, junto con la data referente del sistema HVAC adjunto a la habitación y un conjunto de factores de ponderación de temperatura del aire, se usan para calcular la tasa actual de extracción de calor y la temperatura del aire.

La tasa actual de extracción de calor difiere de la carga de refrigeración porque en la práctica la temperatura del aire varía a partir del valor de referencia especificado por el usuario en el programa LOADS o por las características del sistema HVAC.

Los factores de ponderación de temperatura del aire son un conjunto de parámetros que relacionan la carga de refrigeración neta (la carga de refrigeración se calcula a través del programa LOADS menos cualquier extracción de calor o adición realizada por el sistema HVAC) con la desviación de la temperatura del aire a partir del valor de referencia especificado en LOADS. (13)

El método de factores de ponderación utiliza funciones de transferencia de conducción para determinar las ganancias o pérdidas de transferencia de calor.

Los factores de ponderación representan funciones de Z transferencia. La transformada Z es un método usado para resolver ecuaciones diferenciales con datos discretos. Se utilizan dos tipos de factores de ponderación, ganancia de calor y temperatura del aire.

Los factores de ponderación de ganancia de calor representan funciones de transferencia que relacionan las cargas de refrigeración del espacio con las ganancias térmicas instantáneas del espacio.

Se consideran ganancias de calor instantáneas de cinco diferentes fuentes, radiación solar ingresando a través de las ventanas, iluminación general, energía de personas y equipos y energía ingresando por conducción a través de las paredes.

Las principales diferencias entre estas fuentes de energía son las cantidades relativas de energía que aparecen como convección al aire versus radiación y la distribución de la energía radiante como por ejemplo las intensidades relativas de radiación sobre distintas paredes

y mobiliario. Variaciones en estas dos características resultan en diferentes factores de ponderación para las cinco fuentes.

Los factores de ponderación de temperatura del aire representan funciones de transferencia que relacionan la temperatura del aire de la habitación a la carga de energía neta de la habitación. Todos los factores de ponderación de temperatura del aire son funciones de transferencia Z .

Se hacen dos hipótesis en el método de factores de ponderación, primero los procesos modelados son lineales, este supuesto es necesario porque las ganancias de calor de varias fuentes son calculadas independientemente y sumadas para obtener el resultado global, es decir, se utiliza el principio de superposición; por lo tanto los procesos no lineales como radiación y convección natural, deben aproximarse de forma lineal.

Esto no representa una limitación significativa porque estos procesos pueden ser linealizados con suficiente precisión para la mayoría de los cálculos.

El segundo supuesto es que las propiedades del sistema que influyen en los factores de ponderación son constantes (es decir, no son funciones del tiempo). Este supuesto es necesario porque se utiliza sólo un conjunto de factores de ponderación durante todo el periodo de simulación.

El método de factores de ponderación utiliza un coeficiente combinado de transferencia de calor convectivo-radiativo como coeficiente de transferencia de calor de una superficie interna.

Este valor se supone constante aun cuando en una habitación real, el calor radiante transferido de una superficie depende de la temperatura de otras superficies de la habitación, no de la temperatura de la habitación y el coeficiente de transferencia de calor combinado no es constante. (14)

Cerramientos exteriores o en contacto con el terreno.

Las ganancias o pérdidas de calor en cuerpos opacos exteriores se deben, no sólo a la diferencia de temperaturas del aire en contacto con sus caras interiores y exteriores, sino también a la radiación solar absorbida por las superficies exteriores.

Las transiciones que experimentan la irradiación solar y la temperatura exterior durante el día, hacen que el flujo de calor a través de la estructura sea de naturaleza variable. Por otra parte, la inercia térmica de los cuerpos o cerramientos impide que la transferencia de calor a través de los mismos pueda ser tratada por las fórmulas habituales de régimen permanente, por ello se recurre a la resolución de la ecuación general de conducción, sometida a unas condiciones de contorno variables con el tiempo.

Admitiendo que la conducción es unidimensional, se debe resolver la siguiente ecuación para cada una de las n capas que componen la envolvente o el cerramiento. (15)

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} = \frac{1}{a_i} \frac{\partial T_i}{\partial t} \quad i = 1, \dots, n$$

Ecuación 3.1.

Siendo:

T_i : Temperatura en la capa i

a_i : Difusividad de la capa i

t : Tiempo

La resolución se la realiza a través de un método indirecto que es el método de factores de ponderación "Z-Transfer functions" anteriormente explicado.

Cerramientos Interiores.

Se refiere a la transmisión de calor en muros que separan dos locales que se encuentran a diferente temperatura, o bien, muros situados entre un local climatizado y otro no climatizado.

En este tipo de cerramientos se alcanza en cada hora el régimen permanente, debido por una parte a la débil inercia térmica de los mismos y por otra a la constancia de las condiciones de contorno. Teniendo presente estas circunstancias, el flujo de calor por unidad de área se puede calcular mediante la expresión:

$$Q = \frac{\Delta T}{\frac{1}{h_1} + \sum \frac{\Delta x_i}{K_i} + \frac{1}{h_2}}$$

Ecuación 3.2.

Donde:

ΔT : Gradiente de temperatura a través del muro

h_1 y h_2 : Coeficientes de película en los dos extremos del muro

Δx_i : Espesor de la capa i

K_i : Conductividad de la capa i

n : Número de capas constituyentes del muro

Se define la resistencia equivalente o total como la suma de todas las resistencias en serie

$$R_{eq} = \sum R_i = \frac{1}{h_1 A} + \frac{x_1}{k_1 A} + \frac{x_2}{k_2 A} + \dots + \frac{1}{h_2 A}$$

Ecuación 3.3

Según esto el coeficiente global de transferencia (U) es el inverso de la resistencia equivalente y por lo tanto la ecuación 3.2 también puede expresarse de la forma:

$$Q = U \Delta T$$

Ecuación 3.4.

Ganancia de Calor a través de Medios Semitransparentes

La transmisión de calor a través de medios semitransparentes reviste especial importancia, debido a las amplias superficies acristaladas presentes en la mayoría de los edificios actuales.

Las fuerzas impulsoras de dicha transmisión son, por una parte, el gradiente de temperatura existente entre los extremos del vidrio, que determina una transferencia por conducción, y por otra la irradiación solar incidente, que provoca lo que se conoce como transmisión radiante.

El flujo neto de calor resultante de la presencia simultánea de ambos agentes puede determinarse a partir de un balance global de energía sobre el acristalamiento; aunque por razones de operatividad se tratan ambos aspectos separadamente, previa aplicación del principio de superposición.

Ganancia de Calor por Conducción.

El pequeño espesor, la conductividad relativamente alta y la escasa capacidad térmica de los vidrios usuales, hacen que el orden de magnitud de sus constantes de tiempo sea despreciable frente al intervalo de cálculo adoptado para determinar la demanda energética

Este hecho posibilita la suposición de régimen permanente, con lo que el flujo de calor por unidad de superficie viene dado por la expresión utilizada en el caso de cerramientos opacos interiores.

Ganancia de Calor por Radiación Solar.

El flujo de calor debido a la radiación solar incluye dos componentes, una convectiva y otra radiante. La componente radiante está formada por la radiación incidente, que es transmitida directamente a través del acristalamiento y se expresa mediante:

$$Q_t = \tau_D I_D + \tau_d I_d$$

Ecuación 3.5.



Donde τ_D y τ_d son las transmisividades del vidrio frente a los componentes directo (I_D) y difuso (I_d) de la radiación solar, respectivamente.

El hecho de considerar dos transmisividades distintas se debe a la dependencia direccional de esta propiedad. La radiación de albedo está incluida en el término I_D , puesto que se ha considerado que la reflexión del terreno es difusa. La componente convectiva está constituida por la fracción de radiación absorbida que pasa hacia el

interior por convección. De modo análogo a la ecuación de la radiación transmitida, la radiación absorbida viene dada por:

$$Q_a = \alpha_D I_D + \alpha_d I_d$$

Ecuación 3.6.

Siendo α_D y α_d las absorptividades del vidrio frente a los componentes directo (I_D) y difuso (I_d) de la radiación solar, respectivamente.

Las propiedades radiantes de los vidrios frente a la radiación solar directa, tales como la absorptividad (α_D) y la transmisividad (τ_D), dependen fuertemente del ángulo de incidencia entre el rayo solar y la normal exterior al vidrio.

Un balance de energía en el vidrio, teniendo en cuenta únicamente la fracción absorbida y suponiendo constante la temperatura del mismo, quedaría:

$$Q_a = h_e T_c + h_i T_c$$

Ecuación 3.7

De donde T_c (temperatura del acristalamiento) resulta:

$$T_c = \frac{Q_a}{h_e + h_i}$$

Ecuación 3.8.

El flujo de calor hacia el interior valdrá:

$$Q_{ai} = h_i T_c = h_i \frac{Q_a}{h_e + h_i} = h_i \frac{\alpha_D I_D + \alpha_d I_d}{h_e + h_i}$$

Ecuación 3.9.

Se define así el factor solar (FS) de un vidrio como la relación entre la energía total que entra al local a través del acristalamiento y la energía solar que incide en la superficie exterior de dicho vidrio. Esta energía es la suma de la entrante por transmisión directa y la entrante como consecuencia de su absorción de energía solar y posterior convección hacia el interior. Para el caso anterior:

$$FS = \tau_D I_D + \tau_d I_d + h_i \frac{\alpha_D I_D + \alpha_d I_d}{h_e + h_i}$$

Ecuación 3.10.

Cuando se estudian vidrios múltiples o sistemas vidriados con dispositivos de sombra interiores, exteriores o integrados, se puede proceder de un modo similar, aunque en la práctica es más conveniente expresar el flujo de calor para este tipo de sistemas en función de un cálculo detallado del factor solar (FS).

Otra forma de expresar el factor solar es por comparación con el factor solar de un vidrio de referencia o patrón: a esta relación se le denomina coeficiente de sombra (shading coefficient). El "Handbook of Fundamentals" de ASHRAE, contiene valores de coeficientes de sombra para un amplio rango de ventanas y de dispositivos de sombra.

Ganancia de Calor debida a Infiltración y Ventilación.

Toda la energía entrante debido a infiltración y/o ventilación puede considerarse puramente convectiva, por lo que toda la ganancia de calor puede suponerse como carga térmica.

La ganancia (o pérdida) de calor resultante se obtiene mediante un balance de energía realizado sobre el volumen de aire exterior.

La expresión de dicho balance es la siguiente:

$$Q = \dot{v}\rho c_p(T_e - T_i)$$

Ganancia de calor debida a Factores Internos de Carga.

Son aquellos factores cuya característica común es que la fuente de calor se halla en el interior del espacio acondicionado. Son tres: iluminación, ocupación y equipo diverso.

Iluminación.

En general, la ganancia instantánea de calor procedente de la iluminación puede expresarse mediante:

$$Q = P \cdot F_u \cdot C$$

Ecuación 3.12.

Donde:

P : Potencia útil instalada

F_u : Factor de utilización

C : Coeficiente característico del tipo de luminaria

El factor de utilización es la relación entre los vatios utilizados en el instante concreto de cálculo y los vatios instalados totales, es decir, la fracción de potencia instalada que está en uso

El coeficiente C se introduce en las luminarias fluorescentes para tener en cuenta el calor emitido por la reactancia o resistencia limitadora, y depende de los vatios por lámpara y del número de lámparas (1 o 2) que haya en el dispositivo fluorescente; su valor oscila entre 1.2 y 1.3, pudiéndose tomar 1.25 como valor promedio, sin introducir un error apreciable en los cálculos.

Ocupación.

Las ganancias por ocupación son debidas a las transformaciones exotérmicas que se producen en el cuerpo humano. Su valor depende del individuo (peso, sexo), grado de actividad, tipo de vestido y condiciones ambientales.

Los valores relativos a las ganancias de calor motivadas por los ocupantes se encuentran en la tabla 2.9 del "Manual de Aire Acondicionado" de Carrier.

El flujo de calor por este concepto en un instante determinado, se obtiene mediante:

$$Q = n \cdot Q_0 \cdot F$$

Ecuación 3.13.

Donde: n : Número máximo de ocupantes

Q_o : Calor sensible desprendido por ocupante

F : Fracción de ocupación que hay en el instante considerado

Equipo Diverso.

El apartado equipo diverso comprende las ganancias de calor debidas a ordenadores, fotocopiadoras, aparatos diversos, etc. La energía disipada por estos elementos se obtiene de modo análogo a las de iluminación y ocupación; es decir, multiplicando la potencia máxima por el porcentaje de dicha potencia utilizado en el instante de cálculo.

El tipo de equipo considerado se especifica con un coeficiente que proporciona la fracción de energía radiante desprendida por el mismo (función de su temperatura superficial) y que interviene directamente en el cálculo de la carga térmica.

CAPÍTULO 4

4. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO EN EL SOFTWARE.

4.1. Elaboración del Modelo.

En este capítulo se desarrolla la simulación energética del Modelo Base, construida por parte del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador - MIDUVI.

4.1.1 Localización y Clima.

Se analiza una vivienda construida en la ciudad de Guayaquil llamada Modelo Base. Los datos de clima se obtuvieron de la página www.weatheranalytics.com con datos históricos de clima desde el

año 2003 hasta el año 2013, necesarios para completar el proyecto estructural, cálculos y el modelo de simulación energética.

En la simulación se ha considerado la condición más crítica, la orientación de la vivienda es de forma tal, que las ventanas de la fachada principal están proyectadas hacia el oeste. La figura 4.1 muestra la orientación del edificio.

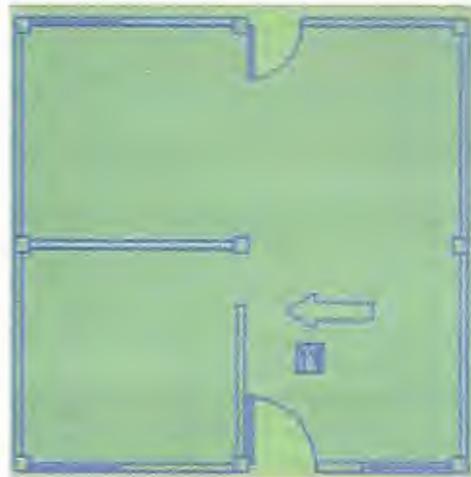


FIGURA 4.1 ORIENTACIÓN DEL MODELO BASE

La influencia de las corrientes marinas fría de Humboldt y cálida de El Niño, ocasionan que el clima en Guayaquil sea del tipo tropical sabana y tropical monzón, con temperaturas elevadas durante la mayor parte del año. La temperatura promedio es de 26°C aproximadamente.

Guayaquil tiene dos estaciones: invierno o época de lluvias, la cual comprende una temporada de enero a mayo aproximadamente; y la época de verano o época seca que va desde junio hasta diciembre. La Tabla 2 muestra los datos climáticos de la ciudad de Guayaquil a lo largo del año.

TABLA 2
DATOS CLIMÁTICOS DE GUAYAQUIL DURANTE EL AÑO

	Latitud	02 09S	Longitud	079 53W	Elevación	9 metros				
	Temperatura Promedio	Promedio de Alta Temperatura	Promedio de Baja Temperatura	Promedio de Humedad Relativa en el Día	Promedio de Humedad Relativa en las Noches	Promedio de Velocidad del Viento				
	°C	°C	°C	%	%	km/h				
Anual	26	30	22	84	59	12				
Ene	27	31	23	85	60	17				
Feb	27	30	23	89	64	8				
Mar	27	31	24	87	61	9				
Abr	27	31	23	87	62	9				
May	27	30	23	85	61	12				
Jun	25	29	22	85	62	14				
Jul	25	28	21	85	60	14				
Ago	25	28	20	94	57	16				
Sep	25	30	21	83	56	14				
Oct	25	29	21	82	57	14				
Nov	26	30	22	81	55	14				
Dic	27	31	22	81	54	14				

Fuente: Weather History for Guayaquil Ecuador, Weather Underground

4.1.2 El Edificio.

El área de construcción de la vivienda es de 36 m² (6 x 6) y tiene una planta de construcción que incluye sala, comedor, cocina y dos dormitorios para una familia de cuatro miembros. La altura del piso al

techo es de 3.36 metros en su parte más alta; el plano de la construcción se muestra en la Figura 4.2.

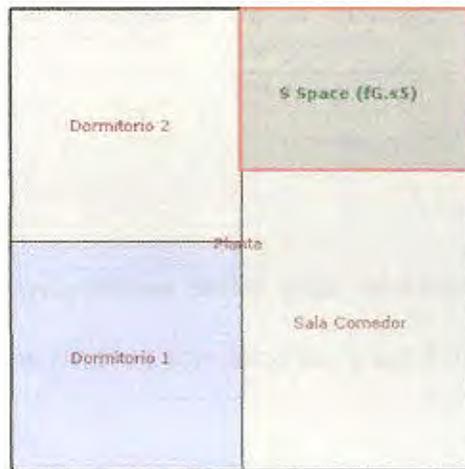


FIGURA. 4.2 IMPLANTACIÓN DEL MODELO BASE.

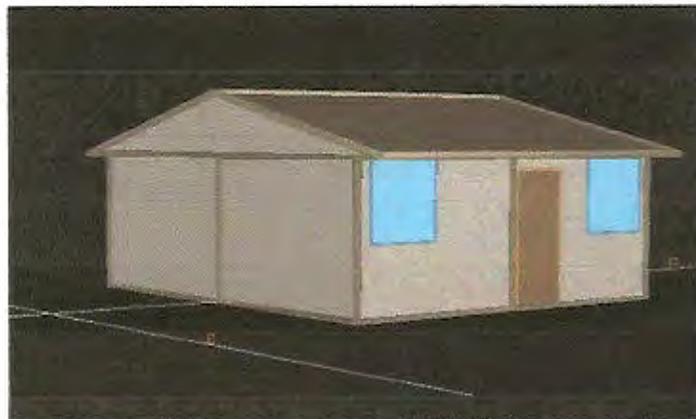


FIGURA 4.3 REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA DEL MODELO BASE.

Parámetros de Diseño del Modelo Base.

Esta sección describe los parámetros de diseño del Modelo Base, los detalles incluyen la envolvente de la edificación, ocupación e iluminación.

Envolvente

La envolvente incluye paredes, techo, piso, ventanas y puertas. Los detalles de cada uno de ellos son descritos a continuación.

Construcción de Pared Exterior

Las diferentes capas, desde el exterior al interior, y su espesor relativo se muestran gráficamente en la Figura 4.4.

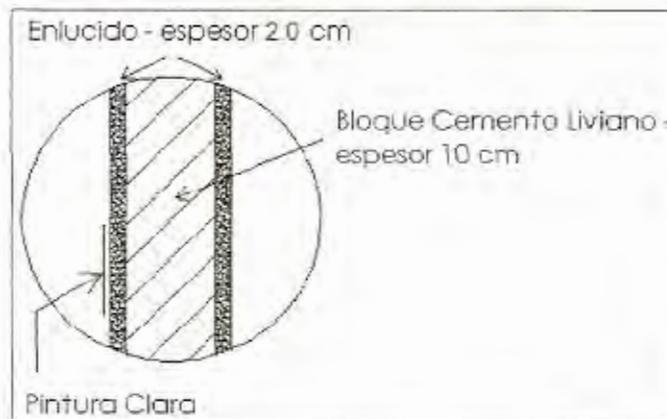


FIGURA 4.4 CAPAS EN PARED EXTERIOR DEL MODELO BASE.

Las paredes exteriores del Modelo Base están compuestas por tres capas: una capa de enlucido de cemento y arena de 2.0 cm en el interior y exterior de la pared, y un bloque de 10.0 cm de concreto. El valor global U (coeficiente global de transferencia de calor) resultante es de $2.277 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ ($0.401 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$).

Los materiales y propiedades de las diferentes capas de las paredes exteriores del Modelo Base son dados en la Tabla 3.

TABLA 3.

MATERIALES DE PARED EXTERIOR MODELO BASE

Capa	Material	Espesor [m]	Conductividad Térmica [W/m ² ·K]	Densidad [kg/m ³]	Calor Específico [J/kg·K]
1	Enlucido	0.020	0.7212	1858.14	837.36
2	Bloque Cemento liviano	0.101	0.3845	1041.20	837.36
3	Enlucido	0.020	0.7212	1858.14	837.36

Construcción del Techo.

La construcción del techo sólo incluye planchas de zinc, el valor global de transferencia de calor U del techo es de $6.06 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{K}$ ($1.067 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$), con base a las características propias del material (24).

Se consideraron los valores de emisividad y absorptancia de una plancha de zinc nueva, 0.25 y 0.39 respectivamente (16).

Construcción del Piso.

Las diferentes capas, desde el exterior al interior, y su espesor relativo se muestran gráficamente en la Figura 4.5

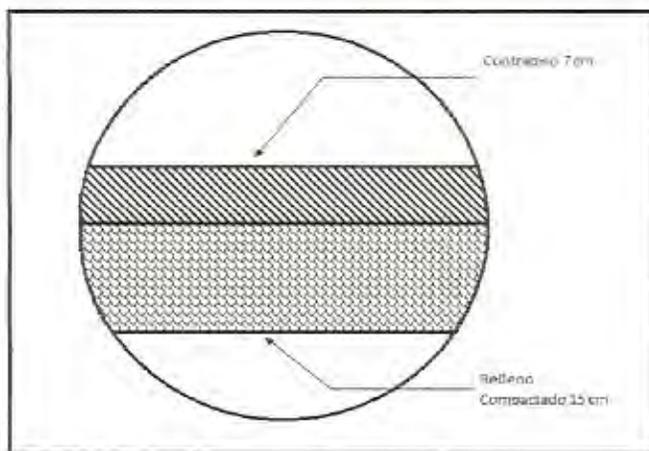


FIGURA 4.5 CAPAS DE PISO DEL MODELO BASE

Los materiales y propiedades de las diferentes capas del piso son dados en la Tabla 4. La diferencia radica en el valor de la resistencia del suelo asignado por el simulador, según la ubicación de las zonas en que se dividió la vivienda. Las características del relleno y el concreto son iguales en todos los espacios definidos. El valor resultante del coeficiente U en las distintas zonas es: Dormitorio Master $1.7319 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ ($0.305 \text{ BTU/h-ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$), Dormitorio-1 1.7262

$W/m^2 \cdot ^\circ K$ (0.304 BTU/h-ft²-°F), Sala-Comedor 1.4650 $W/m^2 \cdot ^\circ K$ (0.258 BTU/h-ft²-°F), Cocina-Baño 2.2770 $W/m^2 \cdot ^\circ K$ (0.401 BTU/h-ft²-°F)

TABLA 4.

MATERIALES DE PISO MODELO BASE

	Capa	Material	Espesor	Conductividad Térmica	Densidad	Calor Específico	Resistencia	Valor U Calculado
				[m]				
Dormitorio Master	1	Suelo	n/a	n/a	n/a	n/a	0.2404	1.7319
	2	Relleno Compactado	0.15	0.8654	1601.85	1046.70		
	3	Contrapiso	0.07	1.7307	2242.58	837.36		
Dormitorio 1	1	Suelo	n/a	n/a	n/a	n/a	0.2423	1.7262
	2	Relleno Compactado	0.15	0.8654	1601.85	1046.70		
	3	Contrapiso	0.07	1.7307	2242.58	837.36		
Sala - Comedor	1	Suelo	n/a	n/a	n/a	n/a	0.3469	1.4650
	2	Relleno Compactado	0.15	0.8654	1601.85	1046.70		
	3	Contrapiso	0.07	1.7307	2242.58	837.36		
Cocina - Baño	1	Suelo	n/a	n/a	n/a	n/a	0.1027	2.2770
	2	Relleno Compactado	0.15	0.8654	1601.85	1046.70		
	3	Contrapiso	0.07	1.7307	2242.58	837.36		

Ventanas y Puertas.

La relación ventana-pared es de 21.9% del lado este y 10.9% del lado oeste; la ventana hecha de vidrio claro es de 3 mm de espesor con marco de aluminio, tiene un valor global de transferencia de calor U de 8.347 $W/m^2 \cdot ^\circ K$ (1.47 BTU/h-ft²-°F) y un coeficiente de ganancia solar SHGC 0.86. La transmisión de luz es de 0.9 para todas las ventanas.

Existen dos clases de puertas, una para ingresar a la vivienda y la otra para acceder al patio interior. La primera es de tipo metálica y su valor global de transferencia de calor U es de $11.81 \text{ W/m}^2\cdot\text{°K}$ ($2.08 \text{ BTU/h-ft}^2\cdot\text{°F}$). El otro tipo es de madera y su valor global de transferencia de calor U es de $3.1798 \text{ W/m}^2\cdot\text{°K}$ ($0.56 \text{ BTU/h-ft}^2\cdot\text{°F}$)

Ocupación e Iluminación.

La superficie, el volumen y el diseño de los máximos ocupantes de la vivienda son mostrados en la Tabla 5

TABLA 5
EL ÁREA, VOLUMEN Y DISEÑO MÁXIMO DE OCUPANTES EN
MODELO BASE.

	Área [m ²]	Volumen [m ³]	Diseño Máximo de Ocupantes [m ² /persona]
Sala-Comedor	11.7	25.74	2.93
Dormitorio Master	9.0	19.80	4.50
Dormitorio 1	9.0	19.80	4.50
Cocina	6.3	13.86	6.30

El horario de ocupación se estableció de acuerdo a los usos de los espacios en que se dividió la vivienda, y no todos los espacios son ocupados o usados al mismo tiempo.

TABLA 6

HORARIO DE OCUPACION DE ESPACIOS DEL MODELO BASE

ESPACIO	HORARIO	% USO
Dormitorios	Lunes a Viernes: de 00:00 a 06:00 de 19:00 a 24:00	100%
	Feriados y Fin de Semana: de 00:00 a 08:00 de 20:00 a 24:00	100%
Cocina	Lunes a Viernes: de 06:00 a 13:00 de 18:00 a 19:00	100%
	Feriados y Fin de Semana: de 08:00 a 09:00 de 10:00 a 13:00 de 18:00 a 19:00	100%
Sala- Comedor	Lunes a Viernes: de 06:00 a 07:00 de 13:00 a 14:00 de 14:00 a 19:00	75%
	Feriados y Fin de Semana: de 08:00 a 09:00 de 10:00 a 13:00 de 18:00 a 19:00	75%
	Feriados y Fin de Semana: de 09:00 a 10:00 de 13:00 a 18:00 de 19:00 a 20:00	100%

Los espacios de la vivienda están iluminados con focos de bajo consumo o conocidos como ahorradores. La densidad de potencia del sistema de iluminación es diferente para dormitorios, sala-comedor, baño y cocina (ver Tabla 7).

El horario de uso de la iluminación interior es uno sólo para todo el año, no se consideró estacionalidad y se configura de la siguiente forma:

- De lunes a viernes 50% de 5 am a 6 am, 100% a partir de las 6 am hasta las 8 am y por la noche de 6 pm a 11 pm.
- Los fines de semana y feriados, 50% de 6 am a 7 am, 100% de 7 am hasta las 8 am, y por la tarde de 6 pm a 11 pm.

En el caso de la iluminación, la carga producida es en su totalidad carga sensible y contribuye a la carga térmica de la edificación.

TABLA 7

DENSIDAD DE POTENCIA DE ILUMINACIÓN EN MODELO BASE

	Área [m ²]	Densidad de Potencia de Iluminación [w/m ²]
Sala-Comedor	11.7	3.42
Dormitorio Master	9.0	2.22
Dormitorio 1	9.0	2.22
Cocina	6.3	6.10

Infiltración.

Para el Modelo Base, se usa el rango de infiltración sugerido por defecto, para zonas perimetrales 0.038 cfm/ft² de superficie de pared exterior y para zonas centrales 0.001 cfm/ft² de superficie del piso.

Sistema HVAC

El sistema HVAC para el Modelo Base está configurado como tipo paquete (aire de ventana) colocado en las paredes de los dormitorios y la sala-comedor; el flujo de aire mínimo de diseño se estipula en 0.5 cfm/sqft. La temperatura de los dormitorios está configurada en 25°C que es la temperatura de confort correspondiente a 78°F y la temperatura de suministro del aire en 13°C que corresponde a 55°F.

El horario de trabajo del aire acondicionado funciona cuando la vivienda está ocupada y la temperatura interior es más alta que la temperatura configurada del termostato (25°C).

Horarios de funcionamiento.

Existen varios horarios creados para controlar la simulación del funcionamiento mecánico de la construcción, así se tiene:

1. Horario anual – Ocupación, Iluminación interior, Equipo de Refrigeración.
2. Horario semanal – Ocupación, Iluminación Interior, Equipo de Refrigeración.
3. Horario diario – Ocupación diaria, Ocupación fin de semana y días feriados por espacios, Iluminación interior diaria, Iluminación interior fin de semana y días feriados, Ventilador de Suministro diaria, Ventilador de Suministro y feriados por espacios.

Personas.

En este estudio se estima que las personas que habitan la vivienda se encuentran realizando trabajo ligero, o de pie, situación para la que se estima una ganancia de calor de 450

BTU/hr, y de descanso donde el valor de la ganancia de calor se sitúa en 350 BTU/hr.

Para los habitantes de la vivienda, la carga total será la suma de la carga latente y la carga sensible. El programa calcula los valores de las componentes sensible y latente usando una temperatura de aire fijo de 23.9°C (75°F).

TABLA 8
VALORES DE GANANCIA DE CALOR EN PERSONAS PARA
DIFERENTES NIVELES DE ACTIVIDAD.

Grado de Actividad	Aplicación Típica	*Ganancia de Calor de Personas		
		BTU/h	SHG	LHG
Sentado en el Teatro.	Teatro.	350	245	105
Sentado/Trabajo muy ligero.	Oficinas, Moteles, Apartamentos.	400	245	155
Actividad Moderada Trabajo de Oficina.	Oficinas, Hoteles, Apartamentos.	450	250	200
Caminando, De pie.	Farmacia, Banco.	500	250	250
ASHRAE Handbook of Fundamentals de 1997, Tabla 3, Capítulo 28				
*Basado en un porcentaje normal de hombres, mujeres y niños para la aplicación				

4.2 Resultados del Caso de Estudio.

El Modelo Base fue creado en eQUEST realizando la geometría de la edificación, los detalles del diseño descritos anteriormente y con la información completa se efectuó la simulación.

Los resultados de la simulación indicaron que el Índice de Uso de Energía (EUI) es 68.62 kWh./m²/año. La figura 4.6 muestra el desglose de los consumos globales eléctricos durante cada mes a lo largo del año por diferentes factores. Se observa que el mayor consumo de energía es debido al uso de equipos para climatización de ambiente, seguido por "Iluminación". Finalmente la cantidad de energía empleada en "Ventiladores" representa la menor fracción de todas.

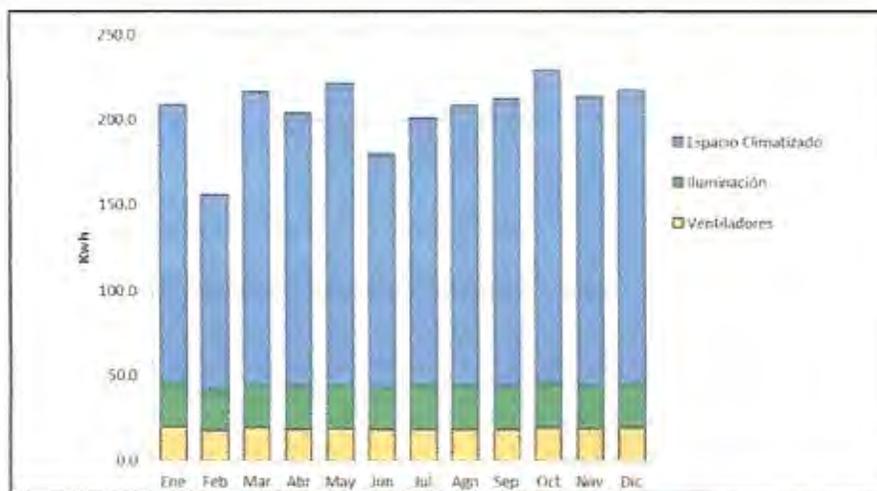


FIGURA 4.6 CONSUMO GENERAL DE ELECTRICIDAD EN MODELO BASE.

El consumo eléctrico anual empleado en el Espacio Climatizado es de 1,938.4 kWh, en el Ventilador de Suministro 228 kWh y en la Iluminación 304.0 kWh, con un total de 2,470.4 kWh/año

La Figura 4.7 muestra el desglose en porcentaje del consumo de energía a lo largo del año, el 78.5% del total anual se emplea para climatizar la vivienda, el 12.3% de la energía es utilizada para iluminación y por último el 9.2% se emplea para mantener en funcionamiento el ventilador de los equipos de climatización.

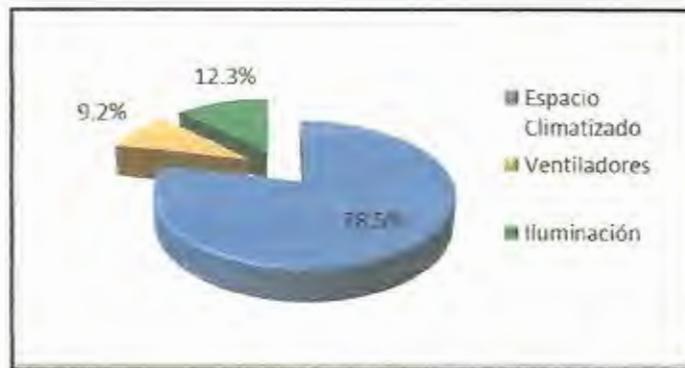


FIGURA 4.7 DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL USO DE LA ELECTRICIDAD EN MODELO BASE.

Los resultados de la máxima ganancia térmica en la edificación corresponden al horario de las 13:00 horas del día 10 de noviembre (Ver Tabla 9) y fueron de 39,997 BTU/h.

TABLA 9
CARGA PICO DE COMPONENTES DE MODELO BASE.

	SENSIBLE		LATENTE	
	(KBTU/h)	(KW)	(KBTU/h)	(KW)
Conducción de Pared	3.525	1.033	0.000	0.000
Conducción de Techo	32.319	9.472	0.000	0.000
Conducción de Ventana + Marco	0.784	0.230	0.000	0.000
Ganancia Solar Ventana	0.977	0.286	0.000	0.000
Conducción de Puerta	0.733	0.215	0.000	0.000
Conducción Superficies Internas	0.000	0.000	0.000	0.000
Conducción Superficies Subterráneas	-1.574	-0.461	0.000	0.000
Ocupantes al Espacio	1.078	0.316	0.965	0.283
Luces al Espacio	0.009	0.003	0.000	0.000
Equipos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Procesos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltración	0.641	0.188	0.541	0.159
TOTAL	38.491	11.281	1.506	0.441
Carga Total	39.997 KBTU/h		11.722 KW	

4.3 Análisis del Caso de Estudio.

Teniendo en cuenta los resultados de la simulación, el enfriamiento del espacio climatizado de la vivienda representa cerca del 79% del total de la energía empleada.

El enfriamiento de la vivienda es el proceso de energía más intensivo y necesitaría la máxima atención y trabajo para lograr la mayor reducción posible.

Observando el uso de la energía eléctrica por los distintos factores, el rubro de iluminación significa un 12.3%. En la simulación se consideró el uso de focos ahorradores (fluorescentes) que están suspendidos debajo del techo, en lugar de focos incandescentes.

Aunque no se ha considerado en la simulación la inclusión de electrodomésticos o equipos eléctricos usados en el hogar, la reducción de energía en estos equipos depende exclusivamente del uso de modelos más eficientes y no tiene nada que ver con el diseño de la envolvente de la construcción.

En este estudio los equipos que aportan al consumo de energía de la vivienda no son analizados, queda a criterio entonces de los propietarios de la vivienda la disminución de su uso y el empleo de equipos de mayor eficiencia que puedan reemplazarlos.

Queda claro que el enfoque se centra en el enfriamiento de espacios para disminuir el consumo de energía necesario para climatizar la vivienda; se plantea hacer nuevas simulaciones con modificaciones al diseño existente y finalmente evaluar una envolvente de un material como la caña guadua y luego valorar sus resultados.

CAPÍTULO 5

5. MODIFICACIONES AL MODELO Y ALTERNATIVA PROPUESTA.

En este capítulo se presentan los resultados y análisis de todos los casos que fueron simulados en base a mejoras de diseño concatenadas.

5.1 Modificaciones Introducidas.

Luego de simular el Modelo Base, se plantean varias modificaciones, las cuales representan mejores prácticas en el diseño y la operación para lograr reducir el consumo de energía en la vivienda.

La mayoría de estas modificaciones deben comenzar en las etapas de diseño y planificación de cualquier edificación, por lo tanto,

algunas de éstas técnicas no son posibles de implementar en las viviendas construidas.

Primero se deben realizar cambios en el diseño pasivo de la edificación, seguido por cambios en la envolvente, iluminación y modificación de sistemas mecánicos.

La Tabla 10 muestra las modificaciones consideradas como mejores prácticas de diseño y su aplicabilidad en la vivienda actual.

TABLA 10.

MODIFICACIONES DE MEJORES PRÁCTICAS DE DISEÑO.

No.	DESCRIPCIÓN DEL CASO	OBSERVACIONES
1	Modelo Base	Vivienda construida por el MIDUVI, fachada orientada al oeste
2	Cambio de Orientación	La fachada está orientada al norte
3	Cambio de la Fracción de Acristalamiento	Reducción de la superficie final de las ventanas
4	Sombras en las Ventanas	Instalación de aletas laterales
5	Ventanas de la Vivienda Mejorada	Vidrios más eficientes. No considerada para el análisis.
6	Mejora de las Paredes, Piso y Techo	Mejora del techo aislado con poliuretano.
7	Mejora de los niveles de infiltración	No considerada para el análisis.
8	Iluminación mejorada	La carga debida a iluminación es pequeña.
9	Recubrimiento Blanco en Techo Metálico	Mejora de factores de reflectancia y emitancia

5.1.1 Cambio de Orientación.

La orientación de la vivienda fue cambiada de forma de que la fachada principal, que contiene la mayor superficie de

acristalamiento, esté orientada hacia el norte y no hacia el oeste como en el Modelo Base.

Esto es una decisión arquitectónica que permite optimizar el consumo de energía y que se puede aplicar desde la fase de diseño.

5.1.2 Modificación de la Fracción de Acristalamiento.

La fracción de acristalamiento en el Modelo Base es de 7.5% y se modificó al 6.3%. Esta solución consiste en minimizar las ganancias de calor a través de la radiación solar.

Las ventanas inicialmente de 1.20 m. de alto y 1.20 m de ancho, fueron modificadas sus medidas a 1.10 m. de alto y 1.10 m. de ancho.

La fracción de acristalamiento en el muro de orientación Sur se redujo de 10.9% a 9.2%, y en el muro de orientación Norte fue reducida de 21.8% a 18.3%.

5.1.3 Sombras en las Ventanas.

Todas las ventanas de la vivienda han sido provistas con elementos de protección solar de 0.4 metros de profundidad y separadas 10 cm a cada lado de las ventanas.



BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"
E. I. M. G. P.

5.1.4 Mejora del Techado de la Vivienda.

La mejora del techado de la vivienda se logra de dos maneras:

- a) Colocación de Espuma de Poliuretano: Se realizó modificación en el techo de zinc, simulando la colocación de espuma de poliuretano de 2 cm (0.066 ft) de espesor bajo toda su superficie, debido a su bajo coeficiente de conductividad térmica. El valor de conductividad usado es de 0.0164 BTU/h-ft-°F, densidad de 2.50 lb/ft³, y calor específico de 0.40 BTU/lb-°F.

El valor global de transferencia de calor U del techo de hoja de zinc con poliuretano es de 1,005 W/m²-°K (0,177 BTU/h-ft²-°F). No es un panel tipo sándwich, la adición de poliuretano es directa bajo la superficie del techo de zinc.

- b) Recubrimiento Blanco del Techo Aislado: Con esto se simuló el aumento de la reflectancia solar para conseguir una reducción en la temperatura de la superficie del techo, disminuyendo la

penetración de calor hacia la vivienda. Se utilizan valores de emitancia de 0.85 y reflectancia solar de 0,67 (16)

5.2 RESULTADOS DE LA MODIFICACIÓN.

5.2.1 Cambio de Orientación.

Los resultados indican que el índice de Uso de Energía (EUI) es de 62.32 kWh/m²/año, decreciendo alrededor del 9.18% contra lo obtenido en el Modelo Base.

El cambio de la orientación permitiría tener un mayor porcentaje de acristalamiento en las caras Norte y Sur.

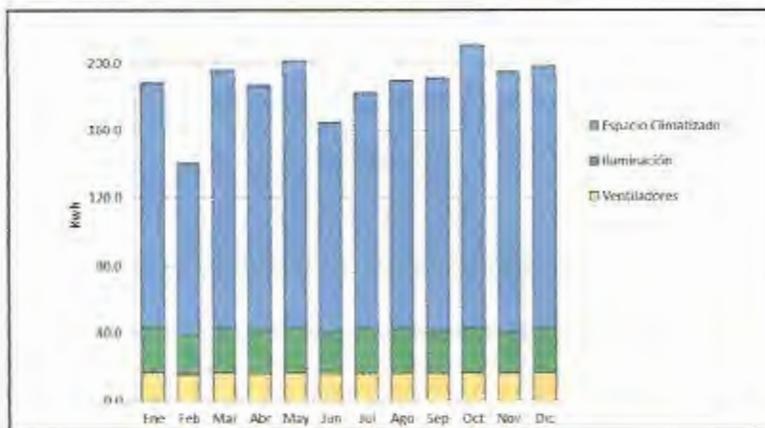


FIGURA 5.1. CONSUMO GENERAL DE ELECTRICIDAD POR CAMBIO DE ORIENTACIÓN EN MODELO BASE.

El consumo eléctrico anual empleado en el Espacio Climatizado es de 2,243.6 kWh, en el Ventilador de Suministro 198.6 kWh y en la Iluminación 304.0 kWh, con un total de 2,243.6 kWh/año.

La demanda de energía para la climatización de la vivienda decrece de 78.5% a 77.6%, comparando este modelo con el Modelo Base.

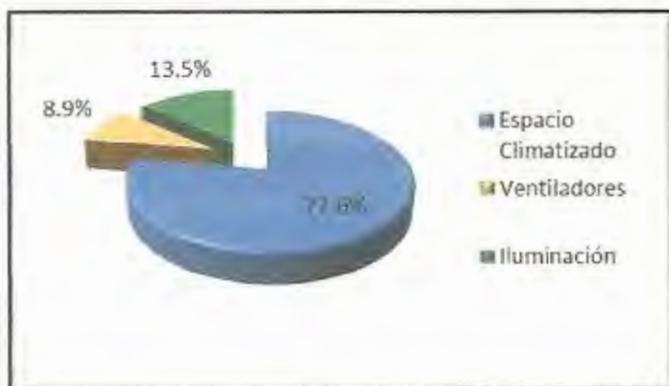


FIGURA 5.2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL USO DE LA ELECTRICIDAD POR CAMBIO DE ORIENTACIÓN EN MODELO BASE.

Los resultados de la máxima ganancia térmica en la edificación corresponden al horario de las 13:00 horas del 10 de noviembre (Ver Tabla 11) y fueron de 39,441 BTU/h

TABLA 11
CARGA PICO DE COMPONENTES DE MODELO BASE POR
CAMBIO DE ORIENTACIÓN.

	SENSIBLE		LATENTE	
	(KBTU/h)	(KW)	(KBTU/h)	(KW)
Conducción de Pared	3.633	1.065	0.000	0.000
Conducción de Techo	32.314	9.470	0.000	0.000
Conducción de Ventana + Marco	0.766	0.224	0.000	0.000
Ganancia Solar Ventana	0.802	0.235	0.000	0.000
Conducción de Puerta	0.704	0.206	0.000	0.000
Conducción Superficies Internas	0.000	0.000	0.000	0.000
Conducción Superficies Subterráneas	-1.574	-0.461	0.000	0.000
Ocupantes al Espacio	0.806	0.236	0.800	0.234
Luces al Espacio	0.009	0.003	0.000	0.000
Equipos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Procesos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltración	0.641	0.188	0.541	0.159
TOTAL	38.100	11.166	1.341	0.393
Carga Total	39.441 KBTU/h		11.559 KW	

5.2.2 Modificación de la Fracción de Acristalamiento.

En este caso se incluyeron los cambios en el porcentaje de acristalamiento en conjunto con el cambio de orientación del Modelo Base, el Índice de Uso de Energía (EUI) es de 61.54 kWh/m²/año, decreciendo un 10.32% respecto del Modelo Base y 1.25% respecto del Cambio de Orientación.

La disminución de la demanda de energía para enfriamiento se debe a la reducción global de la fracción de acristalamiento en las 3

ventanas existentes en el Modelo Base adicional al cambio de orientación del modelo anterior.

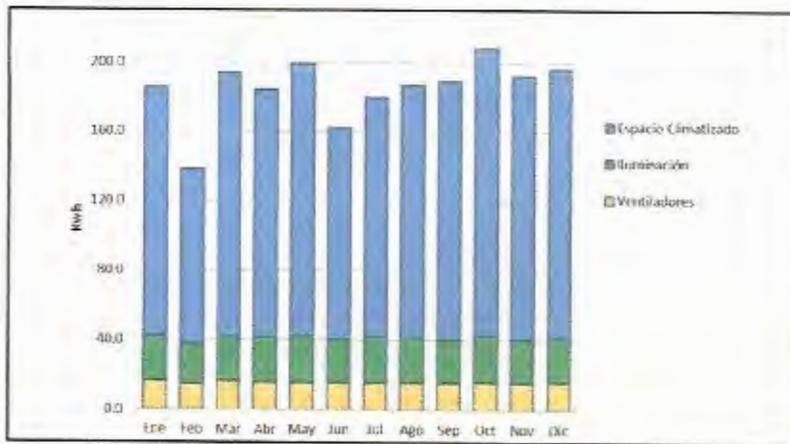


FIGURA 5.3. CONSUMO GENERAL DE ELECTRICIDAD POR MODIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO EN MODELO BASE CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN.

El consumo eléctrico anual empleado en el Espacio Climatizado es de 1,717.3 kWh, en el Ventilador de Suministro 194.1 kWh y en la Iluminación 304.0 kWh, con un total de 2,215.4 kWh/año.

La demanda de energía para la climatización de la vivienda se mantuvo prácticamente estable.

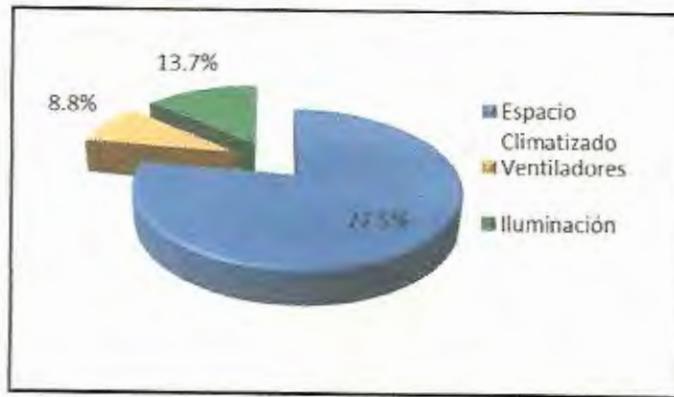


FIGURA 5.4. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL USO DE LA ELECTRICIDAD POR MODIFICACIÓN DE LA FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO EN MODELO BASE CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN.

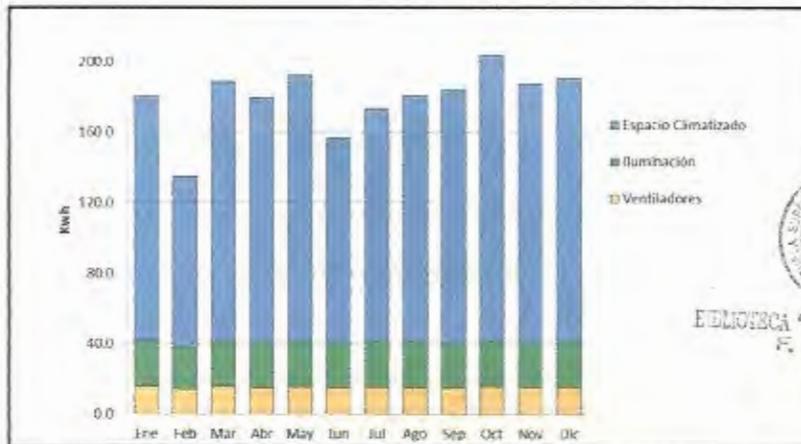
Los resultados de la máxima ganancia térmica en la edificación corresponden al horario de las 13:00 horas del 10 de noviembre (Ver Tabla 12) y fueron de 39,267 BTU/h

TABLA 12
CARGA PICO DE COMPONENTES DE MODELO BASE POR
FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO CON CAMBIO DE
ORIENTACIÓN.

	SENSIBLE		LATENTE	
	(KBTU/h)	(KW)	(KBTU/h)	(KW)
Conducción de Pared	3.674	1.077	0.000	0.000
Conducción de Techo	32.314	9.470	0.000	0.000
Conducción de Ventana + Marco	0.660	0.193	0.000	0.000
Ganancia Solar Ventana	0.694	0.203	0.000	0.000
Conducción de Puerta	0.704	0.206	0.000	0.000
Conducción Superficies Internas	0.000	0.000	0.000	0.000
Conducción Superficies Subterráneas	-1.577	-0.462	0.000	0.000
Ocupantes al Espacio	0.808	0.237	0.800	0.234
Luces al Espacio	0.009	0.003	0.000	0.000
Equipos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Procesos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltración	0.641	0.188	0.541	0.159
TOTAL	37.926	11.115	1.341	0.393
Carga Total	39.267 KBTU/h		11.508 KW	

5.2.3 Sombras en las Ventanas.

Añadiendo elementos de protección solar en las ventanas ubicadas en toda la vivienda, adicional al cambio de orientación y a la reducción de la fracción de acristalamiento, el Índice de Uso de Energía (EUI) es de 59.86 kWh/m²/año, disminuye en aproximadamente un 12.8% en referencia al Modelo Base y 2.74% respecto de las modificaciones en la fracción de acristalamiento y al cambio de orientación.



BIBLIOTECA "CONDOMINIO" ANALISIS G
F. 4. 1. 1. 1. 1.

FIGURA 5.6. CONSUMO GENERAL DE ELECTRICIDAD POR SOMBRAS EN LAS VENTANAS EN MODELO BASE CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN Y FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO.

El consumo eléctrico anual empleado en el Espacio Climatizado es de 1,664.8 kWh, en el Ventilador de Suministro 186.0 kWh y en la Iluminación 304.0 kWh, con un total de 2,154.8 kWh/año.

La demanda de energía para la climatización de la vivienda decrece de 77.5% a 77.3%.

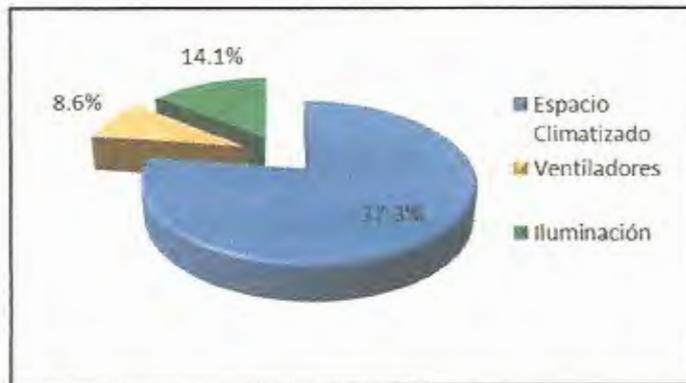


FIGURA 5.7. DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL USO DE LA ELECTRICIDAD POR SOMBRAS EN LAS VENTANAS EN MODELO BASE CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN Y FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO.

Los resultados de la máxima ganancia térmica en la edificación corresponden al horario de las 13:00 horas del 10 de noviembre (Ver Tabla 13) y fueron de 39,077 BTU/h.

TABLA 13
CARGA PICO DE COMPONENTES DE MODELO BASE POR
GENERACIÓN DE SOMBRAS EN LAS VENTANAS CON
CAMBIO DE ORIENTACION Y FRACCIÓN DE
ACRISTALAMIENTO.

	SENSIBLE		LATENTE	
	(KBTU/h)	(KW)	(KBTU/h)	(KW)
Conducción de Pared	3.642	1.067	0.000	0.000
Conducción de Techo	32.314	9.470	0.000	0.000
Conducción de Ventana + Marco	0.647	0.190	0.000	0.000
Ganancia Solar Ventana	0.551	0.161	0.000	0.000
Conducción de Puerta	0.702	0.206	0.000	0.000
Conducción Superficies Internas	0.000	0.000	0.000	0.000
Conducción Superficies Subterráneas	1.577	-0.462	0.000	0.000
Ocupantes al Espacio	0.808	0.237	0.800	0.234
Luces al Espacio	0.009	0.003	0.000	0.000
Equipos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Procesos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltración	0.641	0.188	0.541	0.159
TOTAL	37.736	11.059	1.341	0.393
Carga Total	39.077 KBTU/h		11.452 KW	

5.2.4 Mejora del Techado de la Vivienda.

Los resultados indican que de todas las modificaciones implementadas, las efectuadas en la mejora del techo representan los mayores ahorros de energía para la climatización del Modelo Base.

La colocación de Espuma de Poliuretano consigue reducir el Índice de Uso de Energía (EUI) a 43.76 kWh/m²/año, 36.2% en referencia al Modelo Base y 26.89 % respecto de las modificaciones para generación de sombras, fracción de acristalamiento y cambio de orientación.

La disminución de la demanda de energía para enfriamiento se debe al uso de aislamientos probados con éxito en el mercado de la construcción.

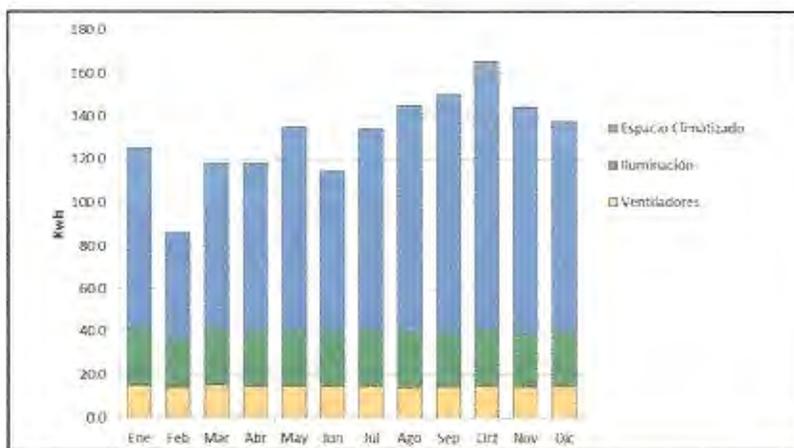


FIGURA 5.8. CONSUMO GENERAL DE ELECTRICIDAD POR AISLAMIENTO DEL TECHO EN MODELO BASE CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN, FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO Y GENERACIÓN DE SOMBRAS EN LAS VENTANAS.

El consumo eléctrico anual empleado en el Espacio Climatizado es de 1,097.2 kWh, en el Ventilador de Suministro 174.1 kWh y en la Iluminación 304.0 kWh, con un total de 1,575.3 kWh/año.

La demanda de energía para la climatización de la vivienda decrece de 77.3% a 69.7% respecto del modelo con modificaciones para generación de sombras en las ventanas, reducción de la fracción de acristalamiento y cambio de orientación.

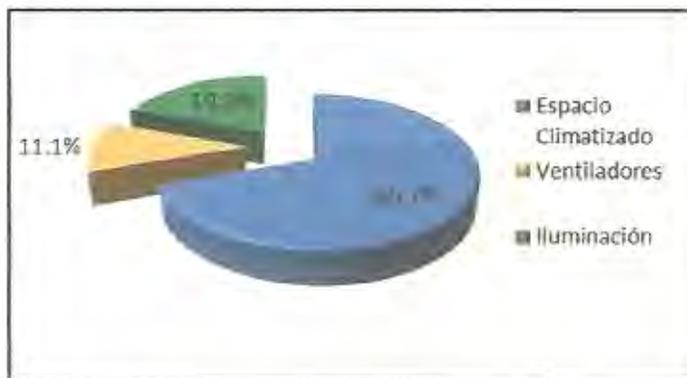


FIGURA 5.9. DISTRIBUCION PORCENTUAL DEL USO DE LA ELECTRICIDAD POR AISLAMIENTO DEL TECHO EN MODELO BASE CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN, FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO Y GENERACIÓN DE SOMBRAS EN LAS VENTANAS.

Los resultados de la máxima ganancia térmica en la edificación corresponden al horario de las 13:00 horas del día 27 de octubre (Ver Tabla 14) y fueron de 16,952 BTU/h.

TABLA 14
CARGA PICO DE COMPONENTES DE MODELO BASE POR
 AISLAMIENTO DEL TECHO CON CAMBIO DE ORIENTACIÓN,
 FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO Y GENERACIÓN DE
 SOMBRAS EN LAS VENTANAS.

	SENSIBLE		LATENTE	
	(KBTU/h)	(KW)	(KBTU/h)	(KW)
Conducción de Pared	4.130	1.210	0.000	0.000
Conducción de Techo	8.975	2.630	0.000	0.000
Conducción de Ventana + Marco	0.713	0.209	0.000	0.000
Ganancia Solar Ventana	0.651	0.191	0.000	0.000
Conducción de Puerta	0.861	0.252	0.000	0.000
Conducción Superficies Internas	0.000	0.000	0.000	0.000
Conducción Superficies Subterráneas	-0.986	-0.289	0.000	0.000
Ocupantes al Espacio	0.808	0.237	0.800	0.234
Luces al Espacio	0.009	0.003	0.000	0.000
Equipos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Procesos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltración	0.641	0.188	0.350	0.103
TOTAL	15.802	4.631	1.150	0.337
Carga Total	16.952 KBTU/h		4.968 KW	

Pintar con recubrimiento de color blanco el techo aislado de zinc, logra un ahorro adicional de energía debido a que se incrementa el factor de reflectancia solar, provocando que el Índice de Uso de Energía (EUI) se sitúe en 37.44 kWh/m²/año, disminuyendo un 45.4% en referencia al Modelo Base y 14.44 % respecto del aislamiento del techo de zinc con 2 cm de espuma de poliuretano, generación de

TABLA 15
CARGA PICO DE COMPONENTES DE MODELO BASE POR
TECHO PINTADO DE BLANCO CON CAMBIO DE
ORIENTACIÓN, FRACCIÓN DE ACRISTALAMIENTO,
GENERACIÓN DE SOMBRAS EN LAS VENTANAS Y
 AISLAMIENTO DE TECHO.

	SENSIBLE		LATENTE	
	(KBTU/h)	(KW)	(KBTU/h)	(KW)
Conducción de Pared	4.130	1.210	0.000	0.000
Conducción de Techo	6.742	1.976	0.000	0.000
Conducción de Ventana + Marco	0.713	0.209	0.000	0.000
Ganancia Solar Ventana	0.651	0.191	0.000	0.000
Conducción de Puerta	0.861	0.252	0.000	0.000
Conducción Superficies Internas	0.000	0.000	0.000	0.000
Conducción Superficies Subterráneas	-0.986	-0.289	0.000	0.000
Ocupantes al Espacio	0.808	0.237	0.800	0.234
Luces al Espacio	0.009	0.003	0.000	0.000
Equipos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Procesos al Espacio	0.000	0.000	0.000	0.000
Infiltración	0.641	0.188	0.350	0.103
TOTAL	13.569	3.977	1.150	0.337
Carga Total	14.719 KBTU/h		4.314 KW	

CAPÍTULO 6

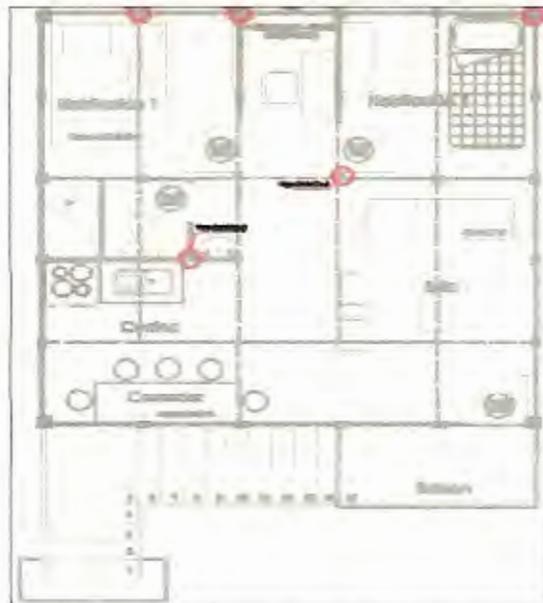
6. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DEL MODELO EN CAÑA GUADUA.

El modelo propuesto para el análisis corresponde a un prototipo ideado en la UCSG a cargo del Arq. Jorge Morán Ubidia; en la vivienda fabricada en caña guadua, la parte habitable no se encuentra en la planta baja sino en el primer piso. La vivienda se encuentra orientada con su fachada en dirección oeste, similar al Modelo Base.

6.1 Elaboración del Modelo en Caña Guadua

El área de construcción de la vivienda es de 36 m² (6 x 6). Tiene una planta de construcción que incluye sala, cocina-comedor, un área de

estudios, un baño completo y dos dormitorios que sirven a una familia de cuatro miembros. La altura del piso a la planta alta, que es donde se desarrolla arquitectónicamente toda la vivienda, es de 2.4 metros; la altura del piso de la vivienda al techo es de 3.36 metros en su parte más alta, la altura de las paredes es de 2.4 metros; la implantación de la vivienda fabricada con caña guadua se muestra en la Figura 6.1.



**FIGURA 6.1. IMPLANTACIÓN DE LA VIVIENDA EN CAÑA
GUADUA**

Fuente: Arq. José Morán Ubidia - UCSG

La información de la localización de la vivienda y el clima de influencia es la misma que se detalló en el inciso 4.1.1.

Las fachadas de la vivienda en caña guadua se muestran en las figuras 6.2 y 6.3

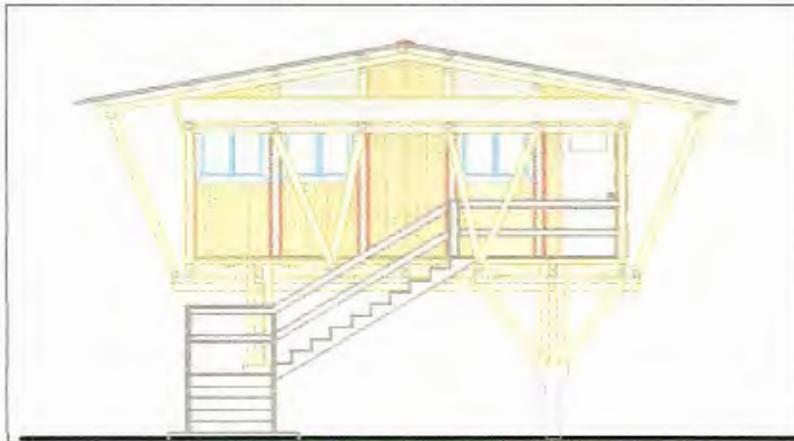
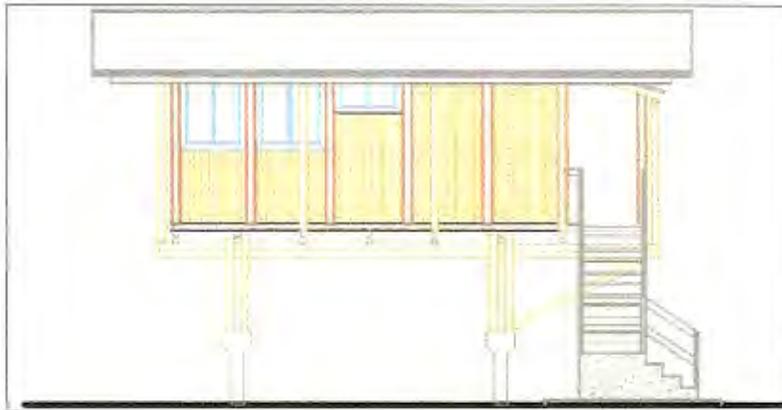


FIGURA 6.2 FACHADA FRONTAL VIVIENDA EN CAÑA GUADUA.

Fuente: Arq. José Morán Ubidia - UCSG



**FIGURA 6.3 FACHADA LATERAL VIVIENDA EN CAÑA
GUADUA.**

Fuente: Arq. José Morán Ubidia - UCSG

Parámetros de Diseño de Vivienda en Caña Guadua.

Esta sección describe los parámetros de diseño de la Vivienda en Caña Guadua. Los detalles incluyen la envolvente de la edificación, ocupación e iluminación.

Envolvente

La envolvente incluye paredes, techo, piso, ventanas y puertas. Los detalles de cada uno de ellos son descritos a continuación.

Construcción de Pared Exterior

Las diferentes capas, desde el exterior al interior, y su espesor relativo se muestran gráficamente en la Figura 6.4.

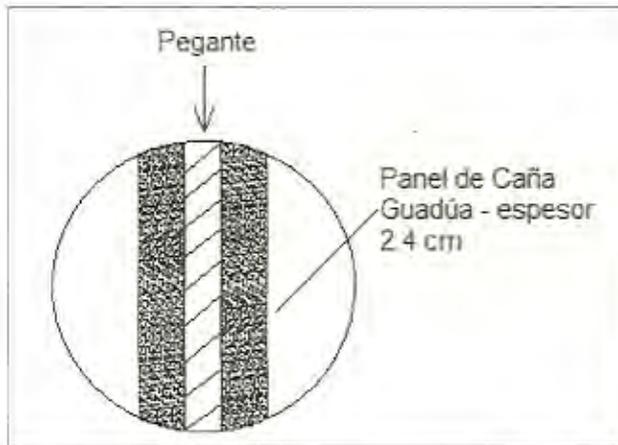


FIGURA 6.4 CAPAS EN PANEL DE PARED EN CAÑA GUADUA.

El panel utilizado en la conformación de las paredes exteriores de la vivienda en Caña Guadua están compuestas por dos capas de material de caña unidas por un pegante dando un espesor total de 2.4 cm. El valor global U (coeficiente global de transferencia de calor) es $3.043 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$ ($0.536 \text{ BTU/h-ft}^2\text{-}^\circ\text{F}$).

Los materiales y propiedades del panel de caña guadua se simularon como madera con un espesor de 2.4 cm, que son mostrados en la Tabla 16.

TABLA 16
MATERIALES DE PANEL DE PARED EN CAÑA GUADUA.

Capa	Material	Espesor [m]	Conductividad Térmica [W/m·°K]	Densidad [kg/m ³]	Calor Específico [J/kg·°K]
1	Madera	0.024	0.14	420	2720

Construcción del Techo.

La construcción del techo incluye plancha de zinc y material de caña guadua de 2.4 cm de espesor. El valor global de transferencia de calor U del techo es de 2.027 W/m²·°K (0.357 BTU/h-ft²·°F).

Los materiales y propiedades de los componentes del techo de hoja de zinc y caña guadua son dados en la Tabla 16.

TABLA 17
MATERIALES DE TECHO CON CAÑA GUADUA.

Capa	Material	Espesor [m]	Conductividad Térmica [W/m·°K]	Densidad [kg/m ³]	Calor Específico [J/kg·°K]	Resistencia [m ² ·K/W]
1	Hoja de Zinc	n/a	n/a	n/a	n/a	0.165
2	Madera	0.024	0.14	420	2720	

Construcción del Piso.

Las diferentes capas, desde el exterior al interior, y su espesor relativo se muestran gráficamente en la Figura 6.5. El valor global

calculado de transferencia de calor U del piso es de $2,447 \text{ W/m}^2\cdot\text{°K}$
 ($0,431 \text{ BTU/h}\cdot\text{ft}^2\cdot\text{°F}$).

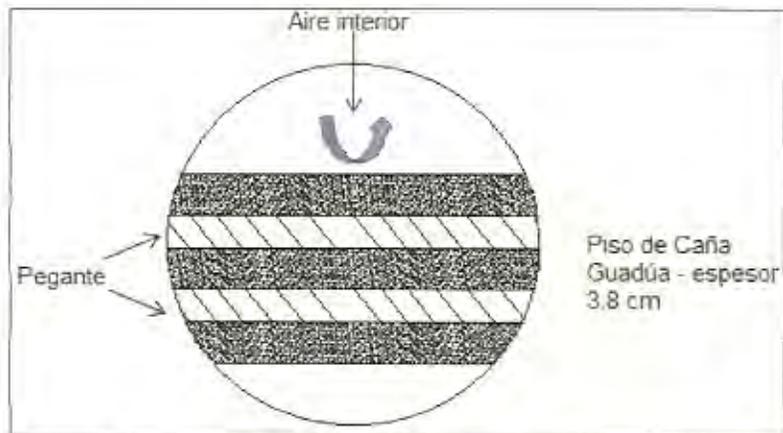


FIGURA 6.5 CAPAS EN PANEL DE PISO EN CAÑA GUADUA

Debido a que eQUEST considera el piso como una pared "bajo tierra" y puesto que el piso de la vivienda de caña guadua no se encuentra asentado directamente sobre el suelo, se utilizaron coeficientes conectivos del aire interior y exterior para el cálculo de la resistencia térmica del piso.

TABLA 18.

COEFICIENTES CONVECTIVOS DEL AIRE

	Resistencia Térmica	
	[h·m ² ·°C/kcal]	[h·ft ² ·°F/BTU]
Coefficiente convectivo exterior	0.035	0.171
Coefficiente convectivo interior	0.125	0.610

Fuente: Manual de Aire Acondicionado de Carrier.

Ventanas y Puertas.

La relación ventana-pared es de 14.3% del lado este, 17.8% del lado oeste y 21.6% del lado sur; la ventana hecha de vidrio claro es de 3 mm de espesor con marco de aluminio, tiene un valor global de transferencia de calor U de $8.347 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ ($1.47 \text{ BTU/h-ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$) y un coeficiente de ganancia solar SHGC 0,86. La transmisión de luz es de 0.9 para todas las ventanas.

Existe sólo una puerta, se considera de tipo madera y su valor global de transferencia de calor U es de $3.179 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ ($0.56 \text{ BTU/h-ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$).

Ocupación e Iluminación.

La superficie, el volumen y el diseño de los máximos ocupantes de la vivienda son mostrados en la Tabla 19.

TABLA 19
EL ÁREA, VOLUMEN Y DISEÑO MÁXIMO DE OCUPANTES EN
LA VIVIENDA DE CAÑA GUADUA.

	Área [m ²]	Volumen [m ³]	Diseño Máximo de Ocupantes [m ² /persona]
Sala	15.84	38.02	3.96
Dormitorio Master	5.76	13.82	2.88
Dormitorio I	5.76	13.82	2.88
Cocina-Comedor	8.64	20.74	2.16



BIBLIOTECA 'GONZALEZ' 2011
F. I. B. C. P.

1. Horario anual – Ocupación, Iluminación interior, Equipo de Refrigeración,
2. Horario semanal – Ocupación, Iluminación Interior, Equipo de Refrigeración.
3. Horario diario – Ocupación diaria, Ocupación fin de semana y días feriados de espacios de la vivienda, Iluminación interior diaria, Iluminación interior fin de semana y días feriados, Ventilador de Suministro diaria, Ventilador de Suministro y feriados por espacios de la vivienda.

Personas.

La ganancia de calor producida por la ocupación, se obtiene conociendo el número de personas presentes en cada espacio y la actividad física que realizan.

El valor de ganancia de calor estipulado es igual al empleado en el Modelo Base para actividades de trabajo ligeras o de pie (Ver Tabla 8).

6.2 Resultados del Modelo en Caña Guadua.

Con toda la información de geometría, edificación y detalles descritos en el punto 6.1, la Vivienda de Caña Guadua se creó en eQUEST

es viable reducir aún más el consumo de energía empleado en la climatización de la vivienda, incorporando técnicas de ventilación natural en el diseño de la misma.

Es posible realizar un análisis detallado de costo-beneficio, tomando en cuenta las propuestas aquí efectuadas, para saber cuánto realmente costaría la envolvente que se necesita, y determinar con certeza el tiempo de retorno de la inversión adicional si existiere.

Se pueden llevar a cabo estudios sobre el impacto en la reducción de emisiones de carbono logradas con la aplicación de las modificaciones estipuladas en el Modelo Base y también con la construcción de viviendas en material de Caña Guadua.

El ahorro en consumo de energía obtenido en la simulación de una vivienda fabricada con elementos de caña guadua, y con un incremento en la superficie de acristalamiento del 79.2%, fue del 15.5%, que es muy superior inclusive a las mejoras concatenadas de cambio de orientación, reducción de la fracción de acristalamiento y generación de sombras en

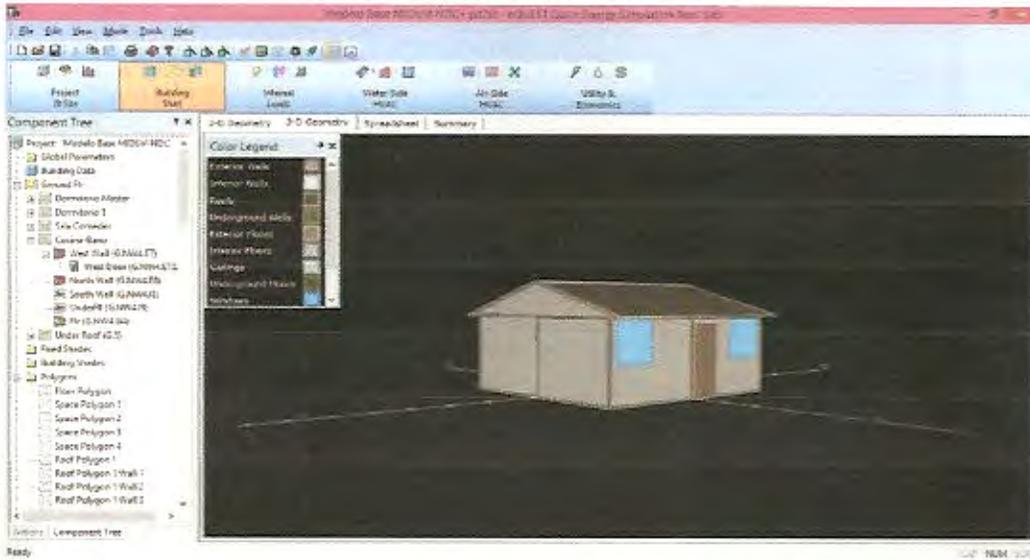
La vivienda en caña guadua puede reducir aún más el consumo de energía requerido para un adecuado confort térmico, si al techo de zinc en su parte exterior se lo pintase con pintura blanca, esto lograría situar su consumo en sólo un 15.9% por encima de la opción que incluye todas las mejoras con techo aislado con poliuretano.

Para constatar la exactitud de los datos arrojados en la simulación por el software eQUEST, tanto en la vivienda Modelo Base como en la vivienda construida con caña guadua, sería válido el que se corroborara éstos datos con mediciones reales en cada uno de los modelos de vivienda aquí mencionados, finalmente para evaluar el impacto de la ventilación natural en el diseño de una vivienda, en base a la ubicación estratégica de aberturas, sus dimensiones y también en base a la posición relativa de éstas aberturas, con la finalidad de asegurar que los flujos de aire incidan de la manera más amplia posible al interior de la vivienda, se recomienda realizar un análisis CFD puesto que queda fuera del alcance de lo que puede efectuar eQUEST.

APÉNDICES

APÉNDICE A-1

Design Builder Modelo Base.



Cálculo U-Value de Pared de Concreto

Surface Construction, Layers, and Material Properties

Construction | Layers | Material |

Currently Active Construction: Type: Layers Input

Surface Construction Parameters

Construction:

Specification Method:

Calculated U-Value:

Surface Roughness:

Ext. Color (absorpt.):

Wall Parameter:

Construction Layers: (material layers ordered from outside to inside)

	Material Name	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft-°F)	Density (lb/ft ³)	Spec. Heat (Btu/lb-°F)	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)
1	1 in. Mortar 1st (CM1)	0.083	8.416	150.00	0.00	0.01
2	CMU 12 in. hollow (CB4)	0.112	5.222	95.00	0.200	0.02
3	3/8 in. Plaster 1st (CM2)	0.036	8.416	150.00	0.200	0.00

Done

U-Value de Techo de Zinc

Surface Construction, Layers, and Material Properties

Construction | Layers | Material |

Currently Active Construction: Type: U-Value Input

Surface Construction Parameters

Construction:

Specification Method:

Overall U-Value:

Surface Roughness:

Ext. Color (absorpt.):

Wall Parameter:

Done

Cálculo U-Value de Piso Dormitorio Master

Surface Construction, Layers, and Material Properties

Construction | Layers | Material

Currently Active Construction: UFCone (4.3E1.02) Type: Layers Input

Surface Construction Parameters

Construction: UFCone (4.3E1.02)

Specification Method: Layers Input

Calculated U-Value: 0.335 Btu/h-ft²-°F

Surface Roughness: 3

Ext. Color (absorpt.): 0.700

Wall Parameter: undefined

Construction Layers: UFLys (G.5E1.02) (material layers ordered from outside to inside)

	Material Name	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft ² -°F)	Density (lb/ft ³)	Spec. Heat (Btu/lb-°F)	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)
1	UFLys (G.5E1.02.01)	0.12	0.04	150	0.25	0.003
2	Light S&W (4.3E1.02)	0.002	0.000	100.000	0.250	0.000
3	Comp. Ins. (4.3E1.02)	0.12	0.020	145.000	0.200	0.006

Done

Cálculo U-Value de Piso Dormitorio 1

Surface Construction, Layers, and Material Properties

Construction | Layers | Material

Currently Active Construction: UFCone (4.3W2.03) Type: Layers Input

Surface Construction Parameters

Construction: UFCone (4.3W2.03)

Specification Method: Layers Input

Calculated U-Value: 1.354 Btu/h-ft²-°F

Surface Roughness: 3

Ext. Color (absorpt.): 0.700

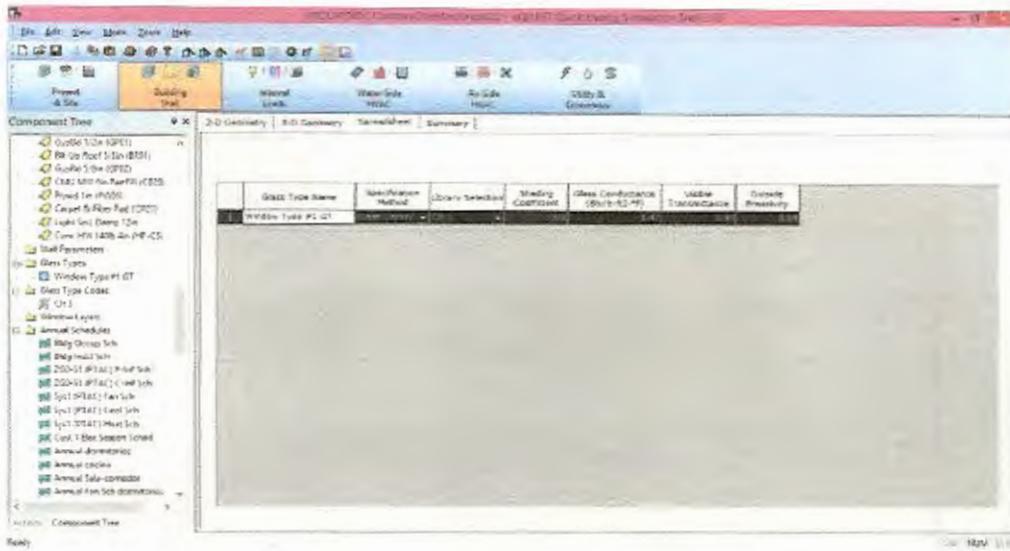
Wall Parameter: undefined

Construction Layers: UFLys (G.5W2.03) (material layers ordered from outside to inside)

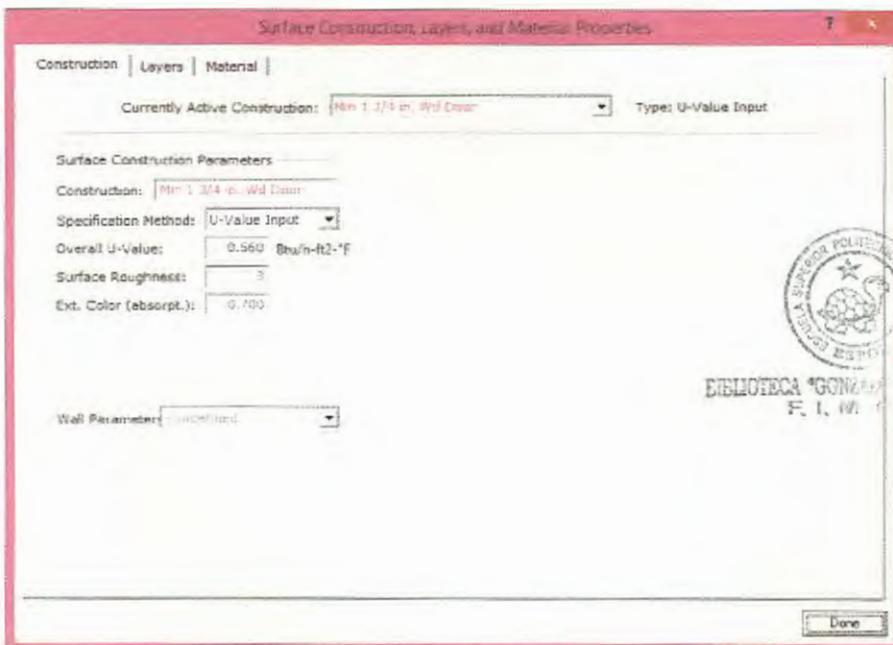
	Material Name	Thickness (ft)	Conductivity (Btu/h-ft ² -°F)	Density (lb/ft ³)	Spec. Heat (Btu/lb-°F)	R-Value (h-ft ² -°F/Btu)
1	UFLys (G.5W2.03.01)	0.12	0.04	150	0.25	0.003
2	UFLys (G.5W2.03)	0.500	0.020	150.000	0.250	0.025
3	Comp. Ins. (4.3W2.03)	0.12	0.020	145.000	0.200	0.006

Done

U-Value de Vidrio de Ventana



U-Value de Puerta de Madera



U-Value de Puerta de Metal

Surface Construction, Layers, and Material Properties

Construction | Layers | Material

Currently Active Construction: Type: U-Value Input

Surface Construction Parameters

Construction:

Specification Method:

Overall U-Value: Btu/h-R2-F

Surface Roughness:

Ext. Color (absorp.):

Wall Parameter:

Done

APÉNDICE A-2

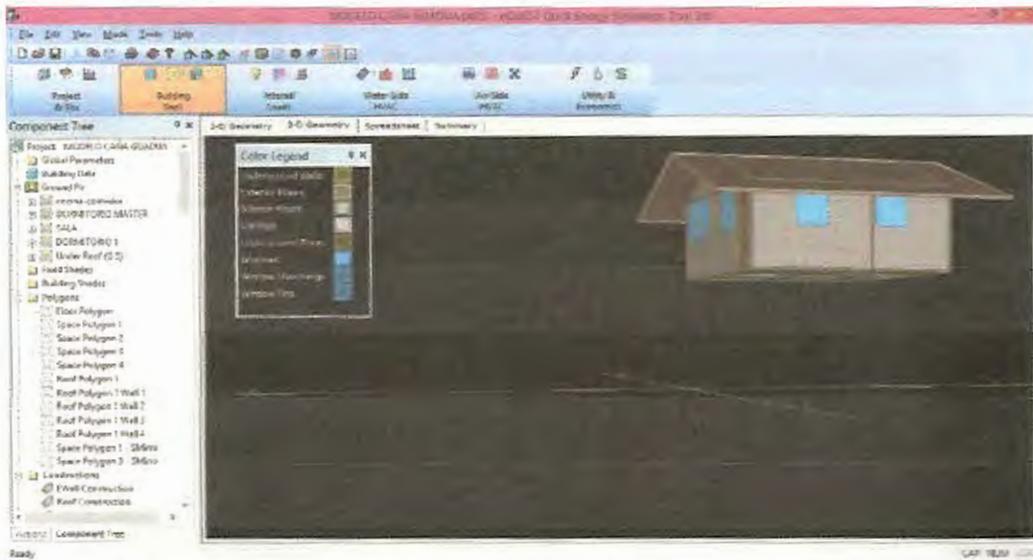
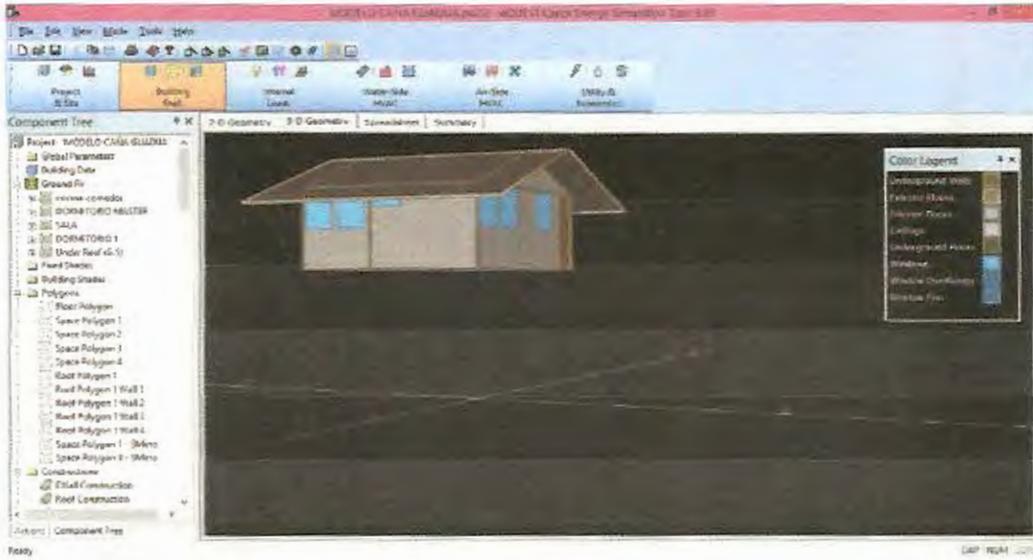
Baseline Design Modelo Base.

SPACE NAME	MULTIPLIER	SPACE FLOOR	COOLING LOAD (kBtu/hr)	TIME OF PEAK	DRY- BULB	WET- BULB	HEATING LOAD (kBtu/hr)	TIME OF PEAK	DRY- BULB	WET- BULB
DORMITORY MASTER	1	1	2 421	JUL 15 5 PM	94 F	71 F	+0 524	JUN 5 9 AM	74 F	71 F
CORRIDOR :	1	1	1 376	OCT 31 3 PM	92 F	72 F	-0 527	JAN 26 6 AM	72 F	68 F
SALA-COMEDOR	1	1	3 828	OCT 13 4 PM	94 F	74 F	-0 750	JAN 26 9 AM	72 F	68 F
COCINA	1	1	1 487	OCT 21 1 PM	98 F	73 F	+0 870	JUN 29 6 AM	72 F	68 F
Under Roof (C-1)	1	1	33 425	NOV 2 1 PM	91 F	70 F	-1 121	JUN 19 10 AM	63 F	62 F
SUB:			47 835				-4 804			
BUILDING PEAK:			38 451	NOV 20 1 PM	95 F	74 F	-1 177	JUN 29 9 AM	64 F	64 F

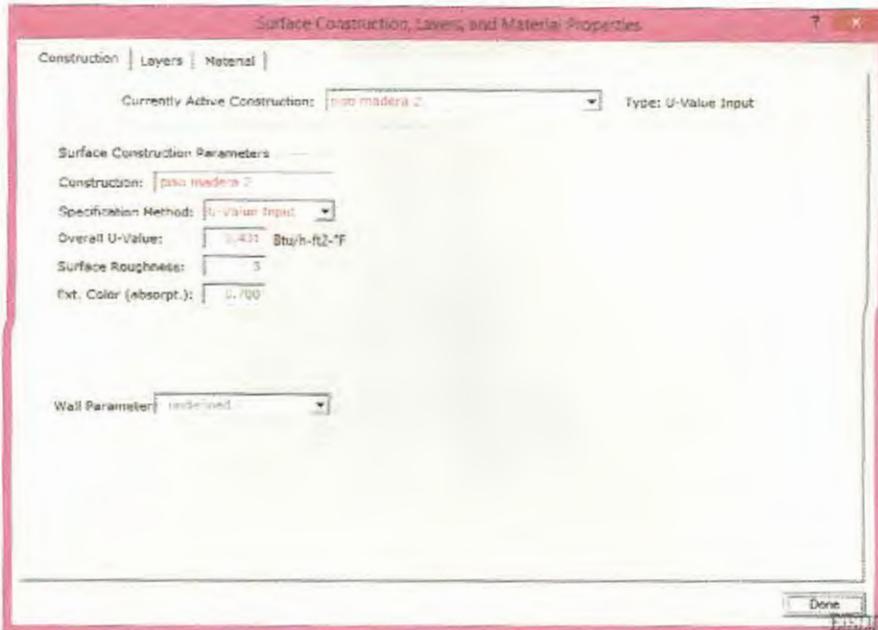
En esta gráfica se muestra un resumen del cálculo de carga térmica por espacios en kBtu/hr que tiene la vivienda en el día más caluroso del año. La tabla muestra la hora pico y las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo.

APÉNDICE A-8

Design Builder Caso Caña Guadua

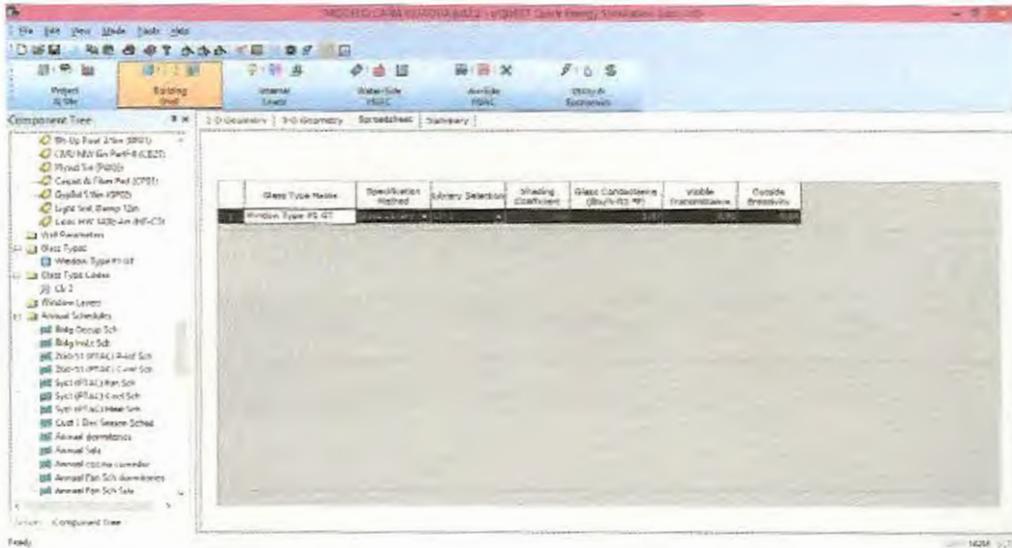


Cálculo U-Value de Piso Modelo Caña Guadua.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE GUAYAQUIL
F. 1. 84

U-Value de Vidrio de Ventana



ANEXOS

ANEXO 1. Simulación Energética.

La energía usada para calentar o enfriar una construcción depende de la distribución de temperatura dentro de la construcción, así como de las propiedades térmicas de la envolvente y la tasa de intercambio de aire entre el interior y el exterior de la construcción. La distribución de temperatura juega un rol importante, porque la tasa de flujo de calor a través de ventanas o paredes depende de la diferencia en temperatura entre la superficie de la ventana o pared y la temperatura del aire adyacente a la superficie. También depende del coeficiente de transferencia de calor entre la superficie interna de la envolvente y el aire interior, que a su vez depende de la tasa de movimiento del aire y el grado de turbulencia.

El patrón detallado de movimiento de aire depende del sistema de ventilación mecánica, así como, de la distribución de temperatura. A su vez, la distribución de temperatura depende del movimiento del aire y de las temperaturas en todas las superficies de la habitación. Esto crea un bucle de retroalimentación, la distribución de la temperatura y las condiciones de contorno dependen, en parte, del movimiento del aire, el cual a su vez depende (en parte) de la distribución de la temperatura y las condiciones de contorno.

El cálculo de ésta interacción para un edificio completo requiere resolver las ecuaciones de dinámica de fluidos y de temperatura sobre una rejilla fina que corresponde a la geometría del edificio en cuestión. Este enfoque se refiere a la dinámica de fluidos computacional (CFD) y requiere una considerable potencia de cálculo y memoria (Harvey, 2006, Apéndice D). CFD calcula el

confort térmico de un edificio con precisión, pero debido a la naturaleza extremadamente complicada de los cálculos involucrados, no se utiliza ampliamente. En su lugar, se utiliza un enfoque mucho más simple que consiste en tratar a diferentes habitaciones en un edificio como una serie de cajas. La temperatura en el interior de cada una de estas cajas se asume que es uniforme. El flujo de calor a través de cada superficie que limita cada caja se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$q = \text{diferencia de temperatura} / \text{resistencia térmica} = \Delta T / R$$

q (flujo de calor) tiene unidades de vatios por metro cuadrado (W/m²).

Varias fuentes de calor, tales como la iluminación, ventiladores, equipos, personas, etc. pueden incluirse al evaluar los requerimientos netos de calentamiento ó enfriamiento. El cambio de temperatura durante un período de tiempo dado depende de todos los flujos netos que entran y salen de la caja durante ese intervalo de tiempo. Este enfoque se denomina Simulación Energética (ES por sus siglas en inglés) y se aplican siempre cuando los modelos de simulación por computadora se utilizan como parte del proceso de diseño. El lado negativo de los programas de Simulación Energética es que no se puede predecir con exactitud el consumo de energía para los sistemas que producen temperaturas no uniformes al interior del edificio, tales como ventilación por desplazamiento. Además, no puede proporcionar información sobre el flujo de aire que entra en un edificio a través de la ventilación natural, considerando por ejemplo que el flujo de aire es importante para la predicción de las temperaturas del aire interior y la determinación de las cargas de calefacción y enfriamiento en edificios con ventilación natural.

Los avances tecnológicos en los programas informáticos han proporcionado herramientas que son muy eficaces en la predicción de la eficiencia energética

una vez que el edificio esté en funcionamiento. Una herramienta de simulación energética modela lo térmico, lo visual, la ventilación y otros procesos que consumen energía que tienen lugar dentro de un edificio para predecir su comportamiento energético y ambiental. Durante el proceso de cálculo, estas herramientas tienen en cuenta los factores climáticos externos, las fuentes internas de calor, materiales de construcción y sistemas para modelar con precisión el edificio. La simulación energética de construcciones es un poderoso método para el estudio de eficiencia energética de los edificios y para evaluar decisiones en el diseño arquitectónico, así como opciones para materiales de construcción y sus métodos. Los temas complicados de diseño pueden ser examinados y su rendimiento puede ser cuantificado y evaluado. La simulación y los análisis de energía son esenciales para los diseñadores en el desarrollo de componentes y formas eficaces para sus edificios. La simulación energética en la construcción es un proceso que se puede utilizar para analizar el rendimiento energético de un edificio, estas herramientas se apoyan en el uso integrado de múltiples investigaciones y visualizaciones durante la evolución del proceso de diseño, desde las fases conceptual y esquemática hasta las especificaciones detalladas de los componentes de construcción y sus sistemas.

Existe una amplia gama de herramientas de simulación disponibles en la actualidad, que ayudan a predecir diversos aspectos del comportamiento de la edificación, tales como, la eficiencia energética, el rendimiento acústico, movimiento del fuego, el rendimiento antisísmico, simuladores de evaluación del ciclo de vida, etc.

Las herramientas de simulación de rendimiento energético permiten a los diseñadores:

- Predecir el comportamiento térmico de los edificios en relación con su entorno exterior.
- Prever el impacto de la luz natural y la luz artificial en el interior de edificios.
- Modelar el impacto del patrón de viento y la ventilación en el uso de la energía.
- Estimar el tamaño / capacidad de los equipos necesarios para el confort térmico y visual.
- Calcular el efecto de diversos componentes de construcción, distintos unos de otros y predecir las condiciones resultantes.
- Verificar el cumplimiento de los códigos de construcción.
- Considerar el edificio como un único sistema integrado.

ANEXO 2.

Tipos de Software de Análisis de Energía.

La mayoría de las herramientas de análisis de energía pueden ser clasificadas en cuatro tipos genéricos:

- Herramientas de Proyección.
- Herramientas de Diseño Arquitectónico.
- Herramientas de Cálculo de Cargas y Dimensionamiento de HVAC.
- Herramientas de Evaluación Económica.

Herramientas de Proyección.

Su uso se da principalmente para presupuestación y determinación de beneficios; se considera la evaluación de la viabilidad del proyecto en las etapas iniciales de programación y muchos de ellos tienen la capacidad de

incorporar algunos análisis económicos. También tienden a efectuar correlaciones más que simulaciones completas por hora.

En un programa basado en correlaciones, el rendimiento del edificio diario, mensual o estacional, es calculado mediante la comparación o correlación. El rendimiento del edificio en cuestión se compara contra ecuaciones predeterminadas (o curvas) que predicen el rendimiento de la edificación basado en características térmicas e información climática. Los programas de correlación con seguridad corren rápidamente porque ellos demandan un mínimo de cálculo, pero ésta velocidad es a expensas de la precisión o exactitud de los resultados. Los programas de correlación debido a su relativa simplicidad no son capaces de evaluar la interrelación entre ciertas estrategias energéticas como la iluminación natural y la calefacción o la masa térmica y el enfriamiento. Las herramientas de éste tipo son:

- FRESA (The Federal Renewable Energy Screening Assistant).
- FEDS (The Facility Energy Decision System)

Herramientas de Diseño Arquitectónico.

Son utilizadas principalmente durante la programación, esquematización y en el desarrollo del diseño de la nueva construcción. Están destinadas a evaluar la importancia relativa de las decisiones de diseño, como orientación de la edificación, acristalamiento e iluminación natural.

- Energy Scheming.
- BDA (Building Design Advisor)

Herramientas de Cálculo de Cargas y Dimensionamiento de HVAC.

Son usadas principalmente durante el desarrollo de diseño y construcción de la documentación de la nueva edificación. Están diseñadas principalmente para dimensionar y ayudar en la selección de equipos como calderos, hornos o enfriadores. Muchas herramientas de cálculos de carga y dimensionamiento de sistemas HVAC incluyen la habilidad de llevar a cabo simulaciones energéticas anuales. Algunas de estas herramientas de dimensionamiento son productos de propietarios de software creadas y distribuidas por fabricantes de equipos.

- TRACE Load 700.
- HAP (Hourly Analysis Program).
- DOE-2
- eQUEST.
- BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics).
- Energy Plus.

Herramientas de Evaluación Económica.

Son usadas durante todo el proceso de diseño. Consideran los costos de adquisición, posesión, y la disposición de la edificación ó de los sistemas de construcción. Son especialmente útiles cuando se tienen proyectos alternativos que cumplen las mismas condiciones de rendimiento, pero difieren con respecto a sus costos iniciales y costos de operación.

- BLCC (Building Life-Cycle Cost).
- QuickBLCC (Quick Building Life-Cycle Cost)

Características Claves de Software Existente.

Las exhaustivas pruebas de software de análisis energético en la construcción es una tarea difícil por el gran número de entradas que se pueden introducir y por las dificultades para el establecimiento de estándares aceptados por todos.

Las pruebas efectuadas han sido guiadas por un plan de pruebas completo que incluye los siguientes tipos de pruebas:

- Las pruebas analíticas que se comparan contra soluciones matemáticas.
Las pruebas comparativas que cotejan los resultados de un modelo dado contra otro software.
- Las pruebas de sensibilidad que comparan pequeños cambios de valores de entrada frente a una corrida de referencia.
- Las pruebas de rango que emplea el programa sobre amplios rangos de valores de entrada.
- Las pruebas empíricas que comparan los resultados del modelo con datos experimentales.

Zhou, (2008) evaluó la eficiencia energética del VAV (Volumen de Aire Variable) del sistema de aire acondicionado, una nueva simulación del módulo fue desarrollado y validado experimentalmente en este estudio, sobre la base de EnergyPlus. Las diferencias entre la media de los datos monitoreados y los datos predichos para la energía total de enfriamiento y la potencia de refrigeración pico demostraron ser menos de 25% y 28% con lo cual se corrobora lo manifestado anteriormente de que los sistemas de simulación sólo proveen de estimaciones más no de datos exactos.

TABLA 28:
HOURLY ANALYSIS PROGRAM VERSIÓN 4.2 - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Mejor prueba de DOE-2 • Compara consumo de energía y costos de operación de alternativas de diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> • Habilidad limitada para calcular interacción entre distintas estrategias.

DOE-2

TABLA 29:
DOE-2 VERSIÓN 2.1 - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Detallado, cada hora, análisis de energía de todo el edificio de múltiples zonas en construcciones de diseños complejos • Ampliamente reconocido, el estándar por defecto. • Puede ser utilizado para analizar la eficiencia energética de nuevas tecnologías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto nivel de conocimiento del usuario y comandos computacionales requeridos.

eQUEST

TABLA 30:
eQUEST VERSIÓN 3.6 - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción dramática del tiempo empleado para construir un modelo DOE-2. • Utiliza DOE-2 como un motor de simulación. • Muestra modelado en 3-D como ayuda para verificar exactitud • Implementa cálculos de iluminación natural. • Importa archivos CAD para definir zonas térmicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pobre modelación de instalaciones solares pasivas.

- Especialmente útil para estudios de envolventes y diseño de alternativas de sistemas HVAC
- Hasta 20 alternativas se pueden definir para un solo proyecto

BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics)

TABLA 31:
BLAST - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Usa algoritmos detallados de equilibrio de calor que permiten el análisis del confort térmico y otros factores que no pueden ser analizados en programas con modelos de zonas menos rigurosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado nivel de pericia para operar el programa.

Energy Plus

TABLA 32:
ENERGY PLUS VERSIÓN 1.2.2 - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Exacto, capacidades detalladas de simulación a través de capacidades de modelo complejas. • Se basa en las características y capacidades más destacadas de BLAST y DOE-2. • Interconexión exitosa utilizando modelo IFC estándar de arquitectura para la obtención de la geometría de los programas CAD. • Datos meteorológicos de más de 550 localidades alrededor del mundo disponible en la red. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad de usar sin interfaces gráficas. • No incluye análisis económico

BLCC (Building Life-Cycle Cost)

TABLA 33:
BLCC VERSIÓN 5.3-05 - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none">• Actualizado anualmente para tasas de descuento y precios de la energía.• Realiza análisis de Costo de Ciclo de Vida de alta calidad.• Guía de usuario incluido como archivo.	<ul style="list-style-type: none">• Resultados no son particularmente gráficos.• Todavía se están incorporando mejoras solicitadas por los usuarios.

QuickBLCC (Quick Building Life-Cycle Cost)

TABLA 34:
QUICK BLCC VERSIÓN 2.9-05 - CARACTERÍSTICAS CLAVES

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none">• Ideal para una evaluación económica preliminar de múltiples alternativas de diseño.• Guía de usuario incluido como archivo en el programa.	<ul style="list-style-type: none">• No se incluye ningún análisis de impuestos del sector privado.

Selección de Programa de Simulación.

Tomando en cuenta las fortalezas y debilidades de los distintos programas analizados, se eligió el software eQUEST por su destacada interface gráfica y también porque está basado en el motor de simulación DOE-2, la herramienta de simulación de edificaciones más reconocida, usada y confiable disponible hoy por hoy.

Se debe estar conscientes que el consumo real no puede ser pronosticado con exactitud por los cálculos de consumo energético

realizados por las distintas herramientas de análisis, entre otras cosas, porque siempre se verán influenciados por la calidad en la construcción, los horarios de uso de la edificación y también por los procedimientos de mantenimiento que ocasionan variaciones notables de las hipótesis contenidas en el análisis afectando los resultados finales.

ANEXO 3.

Estructura de DOE -2.

DOE-2 tiene básicamente un subprograma para traducir el archivo de entrada del usuario (Procesador de BDL – Building Description Language), y cuatro subprogramas de simulación (LOADS, SYSTEMS, PLANT y ECONOMICS).

Los subprogramas LOADS y SYSTEMS se ejecutan en secuencia para cada paso de tiempo (1 hora).

Un diagrama de flujos del programa se muestra en la siguiente figura.

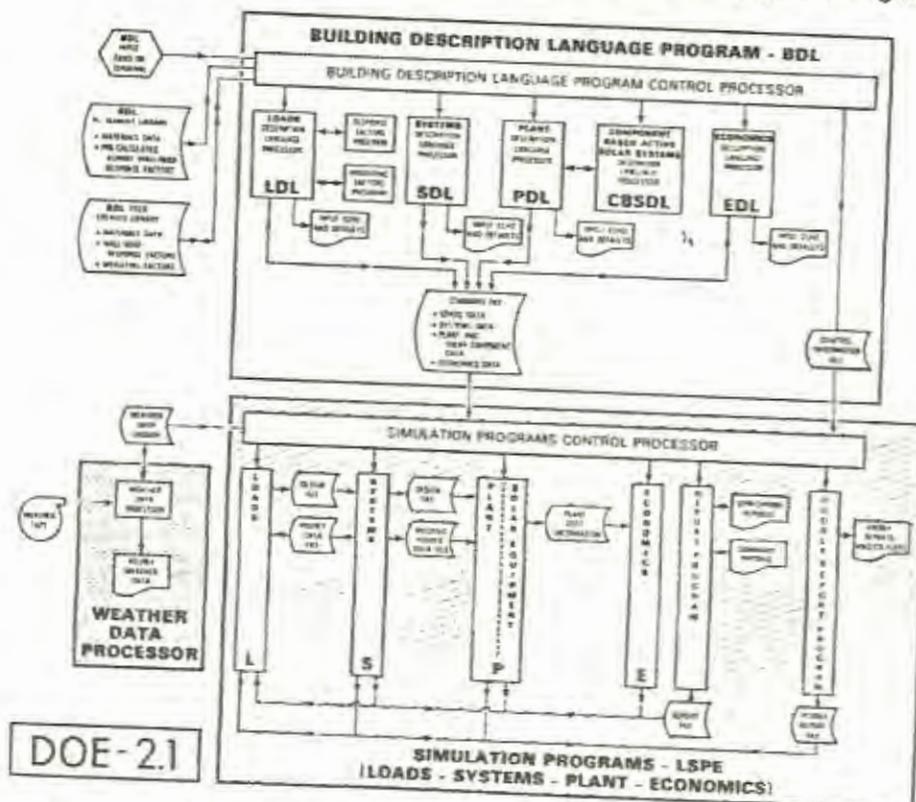


FIGURA 6.10. CONFIGURACIÓN PROGRAMA COMPUTACIONAL DOE-2.
(FUENTE DOE-2 ENGINEERS MANUAL VERSION 2.1A).

El subprograma PLANT utiliza los resultados hora a hora de LOADS y SYSTEMS y las instrucciones del usuario para calcular el consumo de combustible y electricidad del edificio.

ECONOMICS [Económico].

El subprograma de análisis económico calcula los costos del ciclo de vida de varios componentes de la edificación. Puede también usarse para calcular los ahorros en modificaciones de edificios o para comparar los costes de diferentes diseños para un mismo edificio.

ANEXO 4.

Cálculos de Carga – Comentarios Generales.

La carga térmica de cada uno de los espacios que conforman una edificación se expresa como la cantidad de calor a extraer (refrigeración) o suministrar (calefacción), para mantener la temperatura y humedad del aire de ese espacio constante e igual a un valor predeterminado. Un espacio es una subdivisión del edificio definida por el usuario.

Las cargas térmicas en cada uno de los espacios se obtienen usando un proceso de dos etapas:

1. Cálculo de las ganancias (o pérdidas) térmicas instantáneas de cada espacio. Se entiende por ganancia todos aquellos flujos de calor que

entran (positivos) o salen (negativos) del volumen de control definido por los límites físicos del espacio.

2. Cálculo de las cargas térmicas a partir de las ganancias para cada espacio.

Los flujos de calor que constituyen las ganancias térmicas pueden ser divididos en dos grandes grupos:

Flujos de Calor de Origen Externo:

1. Calor solar procedente de la radiación entrante en el espacio a través de superficies semitransparentes.
2. Calor por conducción térmica a través de muros, techos, ventanas y puertas en contacto directo con el aire exterior.
3. Calor debido a infiltración de aire procedente del exterior.
4. Calor por conducción a través de muros o forjados en contacto directo con el terreno sobre el cual se asienta el edificio.
5. Calor a través de muros, forjados o particiones en contacto con otros espacios del edificio (acondicionados o no) a temperatura diferente de la del espacio de cálculo.

Flujos de Calor de Origen Interno:

1. Calor debido a ocupación.
2. Calor debido a iluminación.
3. Calor debido a equipo diverso.

Cada uno de los flujos de calor está constituido por una fracción convectiva y otra fracción radiante. La fracción convectiva afecta directamente al aire interior del espacio; pero la fracción radiante del flujo

de calor es primero absorbida por los cerramientos perimetrales del espacio, pasando luego por convección al aire del mismo.

La fracción convectiva de cada uno de los flujos de calor pasa a ser directamente carga del espacio; y la fracción radiante del flujo de calor es amortiguada y desfasada antes de considerarse carga. Para la obtención de la carga térmica a partir de la fracción radiante del flujo de calor se utiliza el método de los factores de respuesta (response factors) que utiliza internamente DOE-2.

Un concepto importante es el Calor Extraído (o añadido), que es la cantidad de calor eliminado o añadido realmente por el sistema de climatización, bajo la hipótesis de que la temperatura de la zona no es constante en el tiempo.

Con el objeto de ilustrar los conceptos anteriores se considera un ejemplo sencillo como es la iluminación en una habitación. Los flujos de calor provenientes de la luminaria pueden dividirse en dos fracciones: calor convectivo y calor radiante. El calor radiado por la luminaria es absorbido por las paredes, suelos, techos y mobiliario de la habitación. Esto ocasiona el incremento de temperatura de la superficie de los elementos anteriormente mencionados. Así, el calor es radiado nuevamente hacia otras superficies, al aire por convección y se transfiere por conducción en la masa térmica adyacente a la superficie en cuestión. Este proceso de absorción, almacenamiento, re-radiación y convección final al aire, se encuentra diferido en el tiempo, por lo tanto, la ganancia de calor debida a la luminaria durante la hora actual de análisis se convertirá en carga en la hora actual y en las horas subsiguientes.

mismos se apliquen las fórmulas habituales de régimen estacionario, por ello se recurre a la resolución de la ecuación general de conducción con condiciones de contorno variables en el tiempo. El problema radica en encontrar el flujo de calor al interior y al exterior de las superficies de una pared, dadas las temperaturas de las superficies internas y externas.

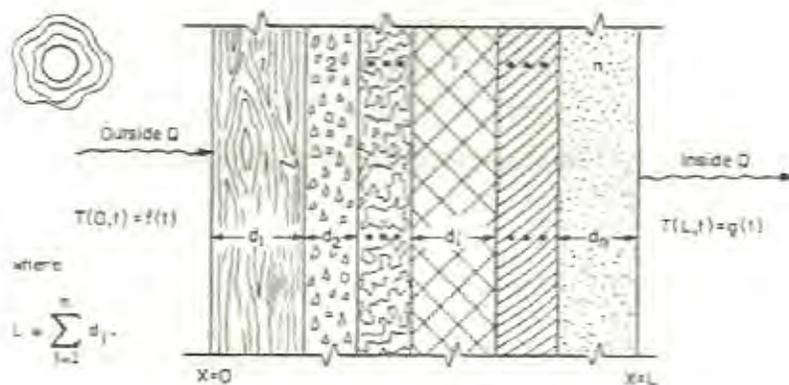


FIG 6.11 FLUJO DE ENERGÍA A TRAVÉS DE UNA PARED DE MÚLTIPLES CAPAS (FUENTE DOE-2 ENGINEERS MANUAL V2.1A)

BIBLIOGRAFÍA

1. Consumo de Energía por Sectores, 2013. **Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos**,
2. Boletín Estadístico Sector Eléctrico Ecuatoriano, 2012. **CONELEC**
3. Electricity consumption of households, 2012. **European Commission**, [En línea]
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/main_tables
4. **Suárez Romero, José Luis**, Aplicación de Materiales Ecológicos y Criterios de Eficiencia Energética a una Vivienda Unifamiliar, Universidad Politécnica de Cataluña, 2010
5. **Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid**, Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas, 2008, [En línea] <http://fenercom.com>
6. Iniciativas y Proyecciones de la Eficiencia Energética desde el Estado, Junio 2011, **Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Gobierno de Chile**, [En línea]
http://www.minurvi.org/documentos/4_Documentos%20trabajo/02-%20Calidad/Chile-

%20INICIATIVAS%20Y%20PROYECCIONES%20DE%20LA%20EFICIENCIA%20ENERG%C3%89TICA.ppt.

7. Balance Energético 2012 – BNE, 2012, **Ministerio de Energía, Gobierno de Chile**. [En línea]

<http://www.minenergia.cl/documentos/balance-energetico.html>.

8. **BASF & URBI**, Primer Proyecto Piloto de Vivienda Vertical Cero Energía en México, [En línea]

http://mexiko.ahk.de/fileadmin/ahk_mexiko/news_bilder/2_BASF.pdf.

9. Balance Nacional de Energía, 2012, **Subsecretaría de Planeación Energética y Desarrollo Tecnológico, México**, [En línea]

http://www.sener.gob.mx/res/PE_y_DT/pub/2012/BNE_2011.pdf

10. **Morillon, David**. Edificio Sustentable: Iniciativas vs Materiales de Construcción, Instituto de Ingeniería Universidad Nacional Autónoma de México, Septiembre 2011, [En línea]

http://www.anippac.org.mx/contenido/pdf/edificio_sustentable_iniciativas.pdf

11. **Proyecto Enerbuilding** – Eficiencia Energética en Viviendas. ADICONSUM, CLCV, DECO, ADEME, ADENE, APER, CNE, CECU, escan

s.a.

[En

línea]

http://www.cne.es/cne/doc/publicaciones/libros_patrocinados/AomCli.pdf.

12. **Enerlogic, James J. Hirsch & Associates**, eQUEST... the QUick Energy Simulation Tool v3, 2008, [En línea]

<http://www.doe2.com>

13. **Lawrence Berkeley Laboratory, University of California**, DOE-2 Engineers Manual Version 2, 1982.

14. **ASHRAE Handbook Fundamentals**, Energy Estimating and Modeling Methods Capitulo 19, 2009.

15. **IDAE – Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía**, Manual Técnico CALENER-GT: Grandes Edificios Terciarios, 2009, [En línea]

www.idae.es

16. **CAP ACERO**, Rollos y Planchas de Zincoalum, 2012, [En línea]

www.capacero.cl

17. **Clima de Guayaquil** [En Línea]

http://espanol.wunderground.com/history/airport/SEGU/2013/1/1/MonthlyHistory.html?req_city=NA&req_state=NA&req_statename=NA

18. **Shalini Srivastava - Modi.** *Evaluating the Ability of eQUEST Software to Simulate Low-energy buildings in a cold climate region.* University of Toronto, 2011.

19. **Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian.** *Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China.* College of Civil Engineering, Hunan University, Febrero 2008.

20. **A. Synnefa, M. Santamouris, H. Akbari.** *Estimating the effect of using cool coatings on energy loads and thermal confort in residential buildings in various climatic condition,* Enero 2007.

21. **ASHRAE.** Standard 55- Thermal Environmental Conditions for human Occupancy. [Aut. libro] ASHRAE Inc. Atlanta: s.n.

22. **Suneet Tuli^a, DurgaRao Palada^a, Krishnendu Chatterjee^a, Smita Chugh^b and Sudhakar Puttanguta^b.** *Modeling Thermal Images of Defects in Bamboo.* ^a Centre for Applied Research in Electronics (CARE), Indian Institute of Technology (IIT) Delhi, India. ^b Centre for Rural Development and Technology (CRDT), IIT Delhi, India. [En línea] [www.ndi.net/article/ndi-india2008/ytdf/13-B-4.pdf](http://www.ndi.net/article/ndi/india2008/ytdf/13-B-4.pdf)

23. Morán Ubidia, Jorge, Planta Piloto de Investigación, Producción y Transferencia Tecnológica en uso de eco materiales innovadores para la construcción de vivienda de bajo costo Código PIC-08-0000286, 2011.

24. Díaz, Osttuhen, *La cubierta metálica en el clima cálido húmedo: análisis del comportamiento térmico del techo de zinc de la vivienda vernácula dominicana*, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Cataluña, 2012