

**DESARROLLO DE UN APLICATIVO EN MATLAB/SIMULINK PARA LA
SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA A
PARTIR DE MODELOS ESTABLECIDOS**

**YEISON NEIR PADILLA NAVARRO
DIEGO ARMANDO COTUA URZOLA**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2015**

**DESARROLLO DE UN APLICATIVO EN MATLAB/SIMULINK PARA LA
SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA A
PARTIR DE MODELOS ESTABLECIDOS.**

**YEISON NEIR PADILLA NAVARRO
DIEGO ARMANDO COTUA URZOLA**

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Electricista

Director:

MSc. GERMAN OSMA PINTO

Co-director:

Dr. GABRIEL ORDÓÑEZ PLATA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

Primero que todo a Dios por ser la guía espiritual, fuente de vida, salud y fortaleza y quien siempre ha alumbrado este camino, y ha enviado a personas maravillosas para apoyarme en este proceso.

A mis padres Fanny Isabel Navarro Sierra y Rusbel Padilla Navarro, quienes con su amor, sabiduría comprensión, guía, ejemplo, y apoyo incondicional, fueron parte importante de este logro y felicidad que me embarga en este momento.

A mis hermanos stainer, eimyscon su amistad, compañía, cariño y apoyo se convirtieron en parte importante de este logro.

A mi novia Mariana Herazo que con su amor incondicional me levanto cada vez que no quería continuar.

COGNITIO EST AETERNA

DEDICATORIA

Primero que todo a Dios por ser la guía espiritual, fuente de vida, salud y fortaleza y quien siempre ha alumbrado este camino, y ha enviado a personas maravillosas para apoyarme en este proceso.

A mis padres Arminio Cotuá Santos y Carmen Elena Urzola Escobar, quienes con su amor, sabiduría comprensión, guía, ejemplo, y apoyo incondicional, fueron parte importante de este logro y felicidad que me embarga en este momento.

A mis hermanos Luchy, Milo y la negra quienes con su amistad, compañía, cariño y apoyo se convirtieron en parte importante de este logro

De igual manera a mis amigos y compañeros con los que día a día compartí y conocí, de los cuales me llevo muy gratos recuerdos especialmente a mis amigos de vóley.

Y a mi novia Valerie Dennerlein Rodelo quien siempre estuvo ahí, apoyándome, brindándome amor, calidez, ternura, apoyo y amistad.

DIEGO ARMANDO COTUÁ URZOLA

AGRADECIMIENTOS

A los ingenieros Iván Javier Sánchez Galvis y Jheyston Omar Serrano Luna, por la ayuda que nos brindaron en todo el desarrollo de la herramienta y su valiosa colaboración.

A Valerie Dennerlein Rodelo por su gran aporte cuando escribíamos el libro, a nuestros padres y principalmente a Dios por brindarnos salud y vida.

A todas las personas que de una u otra manera tuvieron participación en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS.....	19
1.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	19
1.2 MODELADO RC	21
1.3 MODELADO DE LA ILUMINACIÓN INTERIOR.....	23
1.4 MODELADO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE PANELES FV.	24
1.5 MATLAB (SIMULINK-GUIDE).....	26
1.6 CONSIDERACIONES GENERALES	27
2. MODELADO ENERGÉTICO POR BLOQUES DE LA VIVIENDA.....	29
2.1 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA.....	29
2.2 ECUACIONES DE LAS COMPONENTES RC	30
2.3 MODELOS REPRESENTATIVOS TIPO RC DE LOS COMPONENTES DE UNA VIVIENDA.....	31
2.3.1 Paredes.....	31
2.3.2 Techo	32
2.3.3 Modelo del piso.....	33
2.3.4 Fuentes externas.	34
2.3.5 Capacidad térmica del aire	36
3. INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO Y MODELOS EN SIMULINK.....	38
3.1 INTERFAZ GRÁFICA	38
3.1.3 Ventana 1. Información general del proyecto.....	41
3.1.4 Ventana 2. Dimensiones de los niveles	42
3.1.5 Ventana 3. <i>Diseño urbanístico</i>	43

3.1.6 Ventanas 4 y 5. <i>CREACIÓN DE ÁREAS</i>	44
3.1.7 Ventana 6. <i>Datos de las áreas</i>	45
3.1.8 Ventana 7. <i>Generación</i>	47
3.2 MODELOS-SIMULINK.....	47
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	52
4.1 ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN	54
4.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN.....	56
4.3 ANÁLISIS TÉRMICO	58
5. CONCLUSIONES	63
6. RECOMENDACIONES.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
BIBLIOGRAFIA.....	67
ANEXOS.....	69

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama de secuencia de la herramienta.	20
Figura 2. Resistencias térmicas [2].	21
Figura 3. Modelo energético RC de una vivienda [3].	22
Figura 4. Modelo de una red térmica [4].	23
Figura 5. Diagrama de flujos en una vivienda	30
Figura 6. Configuraciones de los modelos eléctricos de los muros.	32
Figura 7. Modelo eléctrico del techo.	33
Figura 8. Modelo eléctrico del piso.	33
Figura 9. Capacidad térmica del aire.	36
Figura 10. Algoritmo de la herramienta.....	39
Figura 11 Algoritmo de la herramienta.....	40
Figura 12 Algoritmo de la herramienta.....	41
Figura 13. Datos de usuario.....	42
Figura 14. Dimensión de niveles.....	43
Figura 15. Diseño urbanístico.	44
Figura 16. Creación de áreas (1).	45
Figura 17. Creación de áreas (2).	45
Figura 18. Datos de áreas (1).	46
Figura 19. Datos de áreas (2).	46
Figura 20. Generación.	47
Figura 21. Modelo muro sencillo.	48
Figura 22. Modelo muro ventana.	49
Figura 23. Modelo muro puerta.....	49
Figura 24. Modelo muro ventana y puerta.	50
Figura 25. Modelo techo capa inferior única.	50
Figura 26. Modelo techo doble capa.....	51
Figura 27. Modelo piso.	51

Figura 28. Plano apartamento de una planta para el ejemplo de aplicación.....	52
Figura 29. Datos de radiación [11].	53
Figura 30. Ejecución de la iluminación Área 1.	55
Figura 31. Resultado de la iluminación del Área 1.....	55
Figura 32. Datos de salida de la simulación de iluminación.....	56
Figura 33. Visualización de la iluminación del ejemplo propuesto.	57
Figura 34. Resultado de la simulación de generación en sitio	58
Figura 35. Estructura de la vivienda en Simulink.	59
Figura 36. Comportamiento térmico de la cocina.....	60
Figura 37. Comportamiento térmico del pasillo y comedor.	60
Figura 38. Comportamiento térmico de la alcoba.	61
Figura 39. Comportamiento térmico del estudio.	61
Figura 40. Transitorio de la temperatura del Área 1.....	62

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Consideraciones generales.....	27
Tabla 2. Ecuaciones de los modelos RC	31
Tabla 3. Fuentes externas.	34
Tabla 4. Resumen de variables.	36
Tabla 5. Datos técnicos de equipos eléctricos.	53
Tabla 6. Datos de iluminación.....	54
Tabla 7. Datos característicos de las secciones de las áreas para la simulación. .	54

RESUMEN

TITULO: DESARROLLO DE UN APLICATIVO EN MATLAB/SIMULINK PARA LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA A PARTIR DE MODELOS ESTABLECIDOS*

AUTORES: DIEGO ARMANDO COTUÁ URZOLA
YEISON NEIR PADILLA NAVARRO**

Palabras claves: Modelos RC, MatLab/Simulink, Simulación, Herramienta computacional, Eficiencia energética, Iluminación, Generación.

Los sistemas eléctricos son ampliamente utilizados en el modelamiento de procesos ya sean de tipo mecánico, hidráulico y neumático, entre otras. En el presente libro se muestran los modelo estructurales de una vivienda, su análogo en circuitos eléctricos, un circuito RC, el aplicativo desarrollado y los resultados arrojados en una simulación (MatLab/Simulink).

El objetivo de este proyecto es otorgar al Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica (GISEL) de la Universidad Industrial de Santander con una herramienta computacional (aplicativo) que permita obtener a través de simulaciones el mejor diseño estructural de las viviendas.

En el desarrollo de este proyecto se utilizó los modelos y parámetros establecidos en la tesis doctoral que se encuentra en desarrollo del MSc. German Alfonso Osma Pinto titulada: "Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE".

El resultado es un aplicativo que interactúa entre la interfaz GUIDE y la hoja de trabajo de Simulink, facilitando el ingreso de datos, el armado de la configuración por parte del usuario siendo de gran ayuda a la hora de tomar medidas referentes al consumo energético

El aplicativo desarrollado realiza el análisis de generación y de iluminación mediante los datos ingresados por el usuario como la radiación, presencia de personas, velocidad del viento, temperatura, curva de uso de los electrodomésticos, calor específico y dimensiones de las paredes, techo y suelo, luego de la interconexión de los bloques en Simulink realiza analiza el análisis térmico de la vivienda como tal.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. MSc. German A. Osma Pinto.

ABSTRACT

TITLE: DEVELOPMENT OF AN APPLICATION IN MATLAB/SIMULINK FOR SIMULATING THE BEHAVIOR ENERGY OF A HOME FROM ESTABLISHED MODELS^{*}.

AUTHORS: DIEGO ARMANDO COTUÁ URZOLA
YEISON NEIR PADILLA NAVARRO^{**}

Key Words: RC models, Matlab/Simulink, Simulation, Computational tool, Energy efficiency, Lighting, Generation.

Electrical systems are widely used in process modeling whether mechanical, hydraulic and pneumatic type, among others. In this book the structural model of a house, its analogue circuits, an RC circuit, the application developed and the results obtained in a simulation (Matlab / Simulink) are shown.

The objective of this project is give to Research Group Power Systems (GISEL) of the Industrial University of Santander with a software tool (application) that allows simulations to get through the best structural design of the houses.

Models and parameters established in the thesis which is developing the MSc was used in the development of this project. German Osma Alfonso Pinto entitled "Modeling and design optimization of energy from tropical homes URE applications."

The result is an application that interacts between GUIDE interface and Simulink worksheet, facilitating data entry, armed configuration by the user is of great help in taking measures on energy consumption

The developed application performs analysis and generation lighting using data entered by the user as radiation, presence of people, wind speed, temperature, curve using appliances, specific heat and dimensions of the walls, ceiling and floor after the interconnection of the blocks in Simulink performs analyzes the thermal analysis of housing as such.

^{*} Proyecto de grado

^{**} Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela De Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. MSc. German A. Osma Pinto.

INTRODUCCIÓN

El progresivo agotamiento de las fuentes energéticas tradicionales y los requerimientos crecientes de habitabilidad han llevado a la sociedad a promover en menor o mayor grado diversas acciones para mejorar el desempeño sostenible de las construcciones, como lo son las viviendas [1].

Se tiene un gran interés en encontrar diversas soluciones para facilitar el ahorro energético en los hogares, sin dejar de satisfacer las necesidades básicas domésticas y mantener la vivienda en condiciones de confort interno adecuadas para la salud, así como en fomentar la eficiencia energética [1].

Actualmente, el Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica – GISEL lleva a cabo una investigación doctoral para modelar y optimizar el diseño energético de viviendas para un entorno tropical cálido. Este grupo de investigación pertenece a la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander.

Parte del alcance de esta investigación doctoral consiste en desarrollar una herramienta computacional que permita integrar los modelos energéticos obtenidos en la tesis doctoral* y realizar simulaciones de variables energéticas (temperatura, nivel de iluminación y demanda). Por tanto, existe la necesidad de desarrollar una herramienta de simulación energética.

En este trabajo de grado se presenta el desarrollo de una primera versión de la herramienta requerida para la simulación energética a partir de modelos y parámetros definidos y establecidos en la tesis doctoral¹, permitiendo comprender

* MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

de manera más detallada el comportamiento energético de una vivienda, lo cual es posible a partir de la interconexión de los modelos energéticos obtenidos como bloques en SIMULINK según la configuración de interés.

La propuesta plantea la posibilidad de analizar configuraciones de viviendas a partir de su respectivo modelado RC, según la interconexión de bloques en SIMULINK. Se consideraron factores tales como la radiación incidente en las paredes, energía emitida por aparatos, presencia de personas, ventilación, etc. Como entorno de trabajo, se desarrolló una interfaz de usuario creada en GUIDE (entorno de programación visual de MATLAB), donde es posible editar parámetros característicos de cada bloque para el ajuste de su comportamiento, según configuración y necesidades requeridas por el usuario.

Este libro describe y documenta el trabajo realizado para la construcción de la primera versión de la herramienta computacional. Está estructurado en 6 capítulos inicialmente por la introducción del problema (Capítulo 1), donde se muestra el comportamiento energético de las viviendas, la descripción del trabajo de grado, se describen los modelos eléctricos, modelos de la iluminación, modelos de la generación eléctrica a partir de paneles FV, una introducción a lo que es *MATLAB* y las consideraciones generales. Luego se detalla el modelado energético por bloques de la vivienda (Capítulo 2), se presenta la interfaz gráfica y modelos en simulink para el análisis del sistema (Capítulo 3), la realización del análisis del energético de la vivienda con base en la simulación (Capítulo 4), se presentan las conclusiones (Capítulo 5) y las recomendaciones (Capítulo 6).

1. COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS

Es aconsejable realizar diferentes actuaciones encaminadas a disminuir la demanda energética de las viviendas. Estas actuaciones se concentran principalmente en la mejora del diseño y la selección de componentes (cubierta, fachada, suelo y huecos), para permitir reducir el consumo energético, así como acometer la mejora del rendimiento de sus instalaciones que permitirá disminuir el consumo de éstas.

La demanda y el consumo tienden a relacionarse con las condiciones de confort interno adecuadas, los malos hábitos de las personas es una de las variables más importante a considerar en donde sin duda la incorporación de nueva tecnología domótica debería ayudar a corregir tales hábitos.

Para analizar el comportamiento energético en una vivienda es preciso emplear herramientas de simulación [1].

1.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Se diseñó y se desarrolló un aplicativo en *MATLAB/Simulink* con el propósito de integrar modelos establecidos como avance de una investigación de doctorado.

Con ayuda de esta herramienta se simuló el comportamiento energético de una vivienda, teniendo en cuenta su iluminación, climatización, la generación en sitio y el consumo energético de la red. Es de fácil manejo para el usuario en cuanto a la creación y análisis del modelo del consumo energético.

Para establecer los tipos de bloques de los modelos es necesario definir datos de entrada en el archivo adjunto “datos_project2.xlsx” como las condiciones climáticas y ambientales; a su vez listar y construir los componentes de tipo RC

tales como pared, ventana, electrodomésticos entre otros, así como la iluminación y generación en sitio de la vivienda.

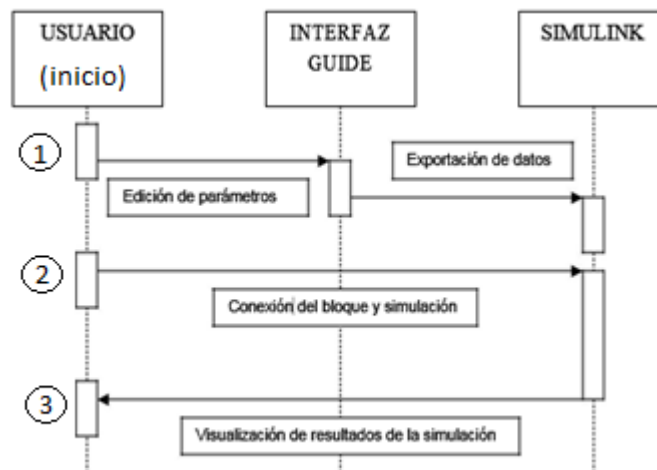
Cabe resaltar que la configuración de estos bloques permite una interacción dinámica y simple con el usuario, ya que el usuario puede interactuar por medio de ventanas o iconos para consultar o suministrar información.

La interfaz permite la construcción del modelo de la vivienda según imagen planos (estándares) y demás información constructiva. Por lo tanto, las capacidades de la interfaz son:

- Configurar la vivienda con todos sus elementos.
- Visualizar los resultados.

La Figura 1 muestra el diagrama de funcionamiento de la herramienta.

Figura 1. Diagrama de secuencia de la herramienta.



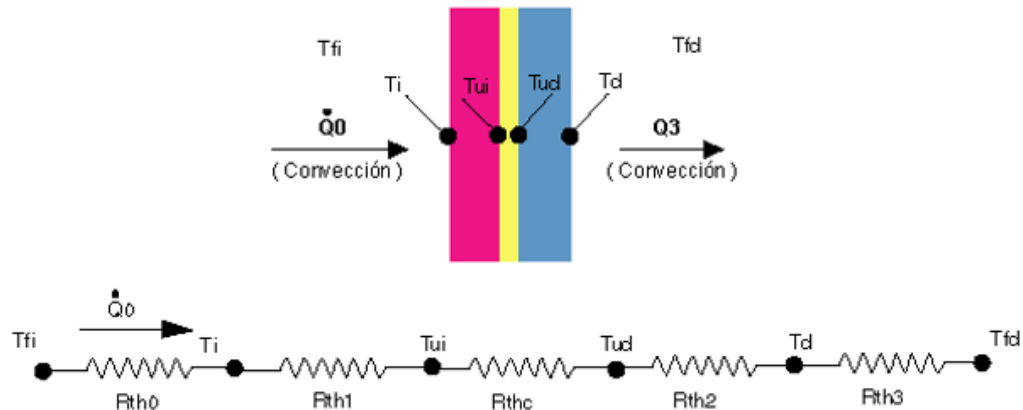
Donde en paso 1 se digitaliza los parámetros por parte del usuario en la herramienta y al finalizar se exporta a *simulink*, en el paso 2 el usuario realiza las

conexiones de los diferentes bloques en *simulink* y en el paso 3 el usuario visualiza resultados en *simlunik* y la interfaz.

1.2 MODELADO RC

Este proceso se basa en representar y/o modelar los componentes relevantes de un sistema por medio de equivalentes eléctricos como resistencias y condensadores¹, se utiliza los conceptos desarrollados en la teoría de los circuitos eléctricos. Con frecuencia se llama analogía entre el flujo de calor y la electricidad. La combinación e/λ equivale a una resistencia y la diferencia de temperatura es análoga a una diferencia de potencial, donde e es el espesor y λ es la conductividad térmica del material. La Figura 2 constituye un esquema de representaciones RC en un modelo térmico [2].

Figura 2. Resistencias térmicas [2].

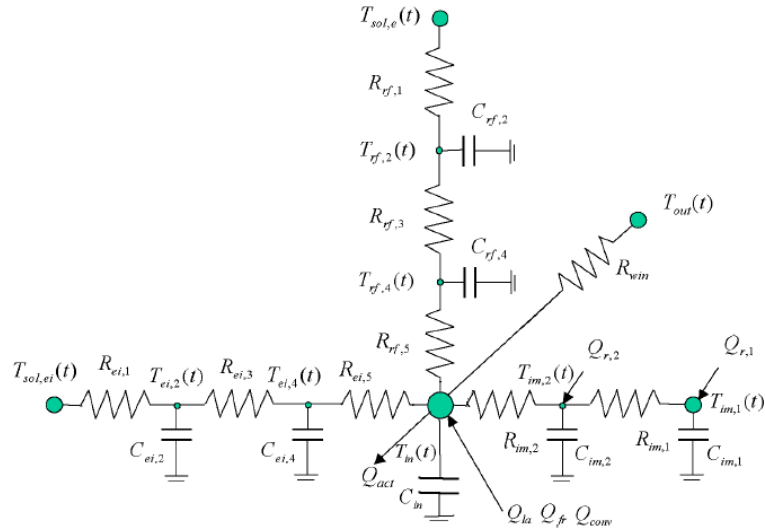


La Figura 3 ilustra un ejemplo del modelado RC de una vivienda donde los ramales que contienen tres resistencias y dos capacitancias hacen referencia a las paredes exteriores y al techo de la vivienda y el ramal que contiene dos resistencias y dos capacitores representa la masa interna del edificio, por su lado

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

la resistencia R_{win} es la representación del almacenamiento de energía de las ventanas y el capacitor C_{in} es la capacitancia del aire interno [3].

Figura 3. Modelo energético RC de una vivienda [3].



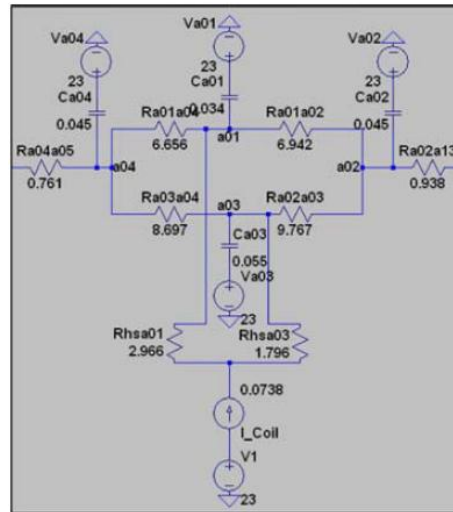
Otro ejemplo de aplicación consiste en lo planteado por Y. L. Low, B. L. Ibrahim See, C. P. H. Tan, J. Q. Mou, y E. H. Ong, quienes han extendido la vida útil de las unidades de disco duro. La unidad de disco duro (UDD) se ha utilizado extensivamente en multitud de equipos de almacenamiento de datos y productos de electrónica de consumo. Para tales usos, la UDD es a menudo sometida a un choque de temperatura debido al cambio repentino de las condiciones ambientales. Por lo tanto, la vida útil de la unidad de disco duro se puede reducir drásticamente [4].

Para solucionar este problema se ha propuesto un modelo de red térmica (MRT) para predecir la distribución de temperatura en la UDD de manera eficiente [4].

Las ventajas de tal modelo son que sólo se necesita menos de un segundo en el tiempo de resolución y es capaz de predecir la temperatura del aire interno de la

UDD. Este modelo consiste en resistencias y condensadores térmicos equivalentes al circuito eléctrico como se muestra en la Figura 4 [4].

Figura 4. Modelo de una red térmica [4].



1.3 MODELADO DE LA ILUMINACIÓN INTERIOR

La iluminación de los espacios interiores de una vivienda se basa en dos sistemas: natural y artificial.

La iluminación natural se basa en el conjunto de componentes que en un edificio o construcción se utilizan para iluminar con luz natural basándose en tres sistemas: iluminación lateral, iluminación cenital e iluminación combinada. Para uso de la herramienta en la simulación de iluminación se utiliza el sistema de iluminación lateral [5].

La iluminación natural se modeló por medio de la ecuación matemática Ec. 1.3.-
1¹.

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

$$e_{(t)natural} = 120 * G_{f(t)} * DF * Aten \text{ [Lux]} \quad \text{Ec. 1.3.-1}$$

Donde,

$e_{(t)natural}$: Iluminancia natural.

$G_{f(t)}$: Radiación solar.

DF : *Daylight* o factor promedio.

$Aten$: Atenuación del material.

La iluminación artificial se modelo con datos técnicos suministrados por el fabricante como son los lux y su potencia.

La iluminación total del espacio interior se modelo por medio de la ecuación matemática Ec. 1.3.-2¹

$$e_{(t)total} = e_{(t)natural} + e_{(t)artificial} \text{ [Lux]}$$

Ec. 1.3.-2

Donde,

$e_{(t)total}$: Iluminancia total.

$e_{(t)artificial}$: Iluminancia artificial.

$e_{(t)natural}$: Iluminancia natural.

1.4 MODELADO DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE PANELES FV.

Para la simulación de generación en sitio se implementa un sistema fotovoltaico conectado a la a la vivienda la cual también se conectada a la red generando un sistema de flujo bidireccional, el cual toma energía de la red si el sistema fotovoltaico no genera lo suficiente o entrega energía a la red en caso de que el sistema genera más de lo que se consume en la vivienda. Los principales

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

componentes del sistema son: el arreglo fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad; y un elemento acondicionador de la potencia producida (un inversor c.d./c.a.), cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta [6].

La generación en sitio se modeló por medio de ecuaciones matemáticas Ec. 1.4.-1, Ec. 1.4.-2 y Ec. 1.4.-3¹.

Generación en AC

$$P_{AC}(t) = n_{micro} * P_{DC}(t) \text{ [W]}$$

Ec. 1.4.-1

Donde,

n_{micro} : Eficiencia del micro inversor.

$P_{DC}(t)$: Generación en DC.

Generación DC

$$P_{DC}(t) = Num * P_{FV}(t) \text{ [W]}$$

Ec. 1.4.-2

Donde,

Num : Número de paneles.

$P_{FV}(t)$: Generación del panel fotovoltaico.

Generación panel fotovoltaico

$$P_{FV}(t) = n_{stc} * (1 + \beta * (T_{cell}(t) + T_{ref})) * G_h(t) * A \text{ [W]}$$

Ec. 1.4.-3

$$T_{cell} = T_{amb}(t) + \frac{G_h(t) * (NOCT - 20)}{800}$$

Ec. 1.4.-4

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

Donde,

n_{stc} : Eficiencia del panel.

β : Coeficiente de temperatura

T_{ref} : Temperatura de referencia.

$G_h(t)$: Radiación solar.

A : Área del panel solar.

$T_{amb}(t)$: Temperatura ambiente.

$NOCT$: Temperatura de trabajo de la célula del panel.

1.5 MATLAB (SIMULINK-GUIDE)

MATLAB (*MATrix LABoratory*), es una herramienta programable capaz de realizar cálculos numéricos con vectores y matrices, así como también trabajar con números escalares –tanto reales como complejos–, con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Esta herramienta permite interactuar con una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. *MATLAB* tiene también un lenguaje de programación propio.

Simulink es una de las aplicaciones que provee *MATLAB*, en la cual es posible construir y simular modelos de sistemas físicos y sistemas de control mediante diagramas de bloques. Las funciones de transferencia modelan de cierta forma el comportamiento de dichos sistemas, al igual que operaciones matemáticas y señales predefinidas que hacen parte del paquete interactivo de *Simulink* [7].

GUIDE es un entorno de programación visual que ofrece *MATLAB*, para realizar y ejecutar programas de simulación de forma simple; sus características básicas son similares a *Visual Basic* o *Visual C++* [8], [9].

Una interfaz en *GUIDE* consta de dos archivos, uno con extensión *.m* que

contiene las sentencias u órdenes correspondientes al funcionamiento de la interfaz, y otro con extensión **.fig** que contiene toda la información sobre cada uno de los objetos que conforman dicha interfaz, los cuales funcionan por medio de subrutinas *Callback*, contenidas en el archivo de extensión **.m**.

Al iniciar la operación de la interfaz gráfica *GUIDE* se crea una estructura llamada *Handles* que contiene la información de todos los elementos que la conforman, y a su vez, permite almacenar las variables que se van utilizar en su simulación.

También es necesario el uso de una sentencia u orden, para guardar datos de la aplicación, *Guidata*. Esta función guarda el contenido y las propiedades de los elementos en la estructura de datos de la aplicación [8], [9].

1.6 CONSIDERACIONES GENERALES

La Tabla 1 muestra las hipótesis tenidas en cuenta para el desarrollo de la herramienta.

Tabla 1. Consideraciones generales.

Hipótesis	Justificación
Vivienda de una o dos plantas	Las viviendas familiares por lo general se están conformadas por una planta o dos plantas.
La vivienda de dos plantas deben ser simétricas	Al ser simétricas se facilita el uso de los modelos RC.
Si la vivienda es de dos plantas, debe ser una vivienda bi-familiar	Al ser una vivienda bi-familiar se garantiza la simetría entre la planta 1 y la planta 2.
La vivienda no contiene columnas voladizas	Esto con el fin de cumplir con la simetría entre las dos plantas
El máximo de áreas de la vivienda es de 5	Con ellas se cumple un confort adecuado para el habitante de la vivienda, las cuales se distribuirían en habitaciones, sala, cocina, baño.
Datos del usuario	Con el fin de ejecutar de manera correcta el programa
Microsoft Excel será una herramienta de apoyo.	Con el fin de ejecutar de manera correcta el programa
Las áreas irregulares se aproximan a cuadrados	El programa está diseñado para crear áreas

Hipótesis	Justificación
o rectángulos	rectangulares
La radiación solar incide de manera uniforme en cada superficie de la vivienda.	Las paredes no recibirán la radiación de manera parcial, con esto aseguramos que le llega 100% o 0% al área comprometida.
Si dentro de un área se encuentra 2 o más aperturas de ventilación, se trabajara como la suma total de las áreas de las aperturas como si fuera una sola.	Por área interior solo se genera una fuente de ventilación.

2. MODELADO ENERGÉTICO POR BLOQUES DE LA VIVIENDA

La absorción de radiación de una pared se diferencia dependiendo de la estructura interna de la vivienda, dicha absorción de una pared que consta solo de una puerta va a ser distinta a la que presenta una pared con ventanas o a una que se compone de ventana y puerta; esto se debe a que los elementos de construcción de una ventana son diferentes a los de una puerta y hace que el porcentaje de absorción sea diferente.

En el análisis energético de una vivienda desempeña un papel importante los elementos constitutivos de esta; dichos elementos son las personas, los equipos electrodomésticos, las ventanas y su ventilación natural.

2.1 COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA

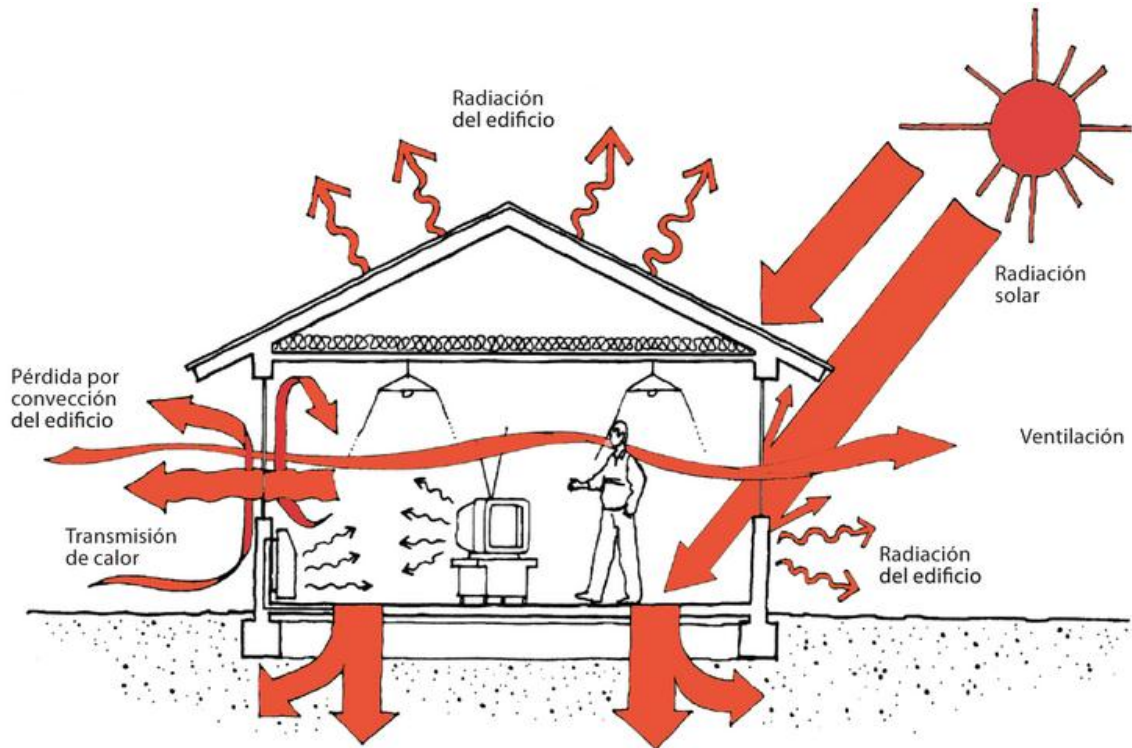
El comportamiento energético de una vivienda se ve afectado por la iluminación y la temperatura, a esta última se asocia la radiación, ventilación, equipos electrodomésticos y personas. Como se observa en la Figura 5, la interacción de estos componentes con los espacios interiores influencia el comportamiento térmico.

Si en un espacio interior la distribución de iluminación natural es deficiente, esto obliga a utilizar las luminarias artificiales por más tiempo.

Por otro lado, el cuerpo humano produce calor debido a los procesos bioquímicos que acompañan la formación de tejidos, la conversión de energía y el trabajo muscular, entre otras funciones fisiológicas además de esto el calor emitido por los equipos electrodomésticos, hacen que la temperatura de los espacios interiores

aumente y si en el espacio interior la ventilación no es muy buena, obliga a utilizar aparatos de refrigeración lo cual aumenta el consumo energético.

Figura 5. Diagrama de flujos en una vivienda



2.2 ECUACIONES DE LAS COMPONENTES RC

Los modelos son representados por medio de circuitos *RC*, cuyos componentes son capacitancias térmicas, resistencias y unas fuentes de corriente generada por la radiación solar, personas, electrodomésticos y ventilación [10]. La Tabla 2 muestra las variables que contiene cada uno de los factores influyentes en los modelos.

Tabla 2. Ecuaciones de los modelos RC¹

Factor	Ecuación	Variable
Capacitancia [F]	$C_{th} = c * m$ Ec. 2-1	(c) Capacidad térmica [J/kg*K] (m) Masa [kg]
Masa [kg]	$m = A * e * \rho$ Ec. 2-2	(A) Área de la sección [m ²] (e) Espesor [m] (ρ) Densidad [kg/m ³]
Resistencia [Ω]	$R_{th} = e/\lambda$ Ec. 2-3	(e) Espesor [m] (λ) Conductividad térmica [W/K]
Fuente de radiación [W/m ²]	$Q_r = \alpha * A * G_{(r)}$ Ec. 2-4	(α) Absorción del muro [%] (A) Área de la sección [m ²] $G_{(r)}$ Radiación incidente [W/m ²]

Las resistencias R_{conv} hacen referencia a la oposición del material a la transferencia de calor, los nodos T_1 y T_2 hacen referencia a la temperatura de cada lado de la sección de la vivienda. Las entradas de estos modelos son la radiación y temperatura su salida será la temperatura.

2.3 MODELOS REPRESENTATIVOS TIPO RC DE LOS COMPONENTES DE UNA VIVIENDA

La acción de contener el calor absorbido por el muro se ve representada por un condensador, mientras que la oposición al paso de calor de un lado del muro al otro está expresado por las resistencias. A continuación se detallan cada uno de los componentes que estructuran los circuitos internos de cada modelo:

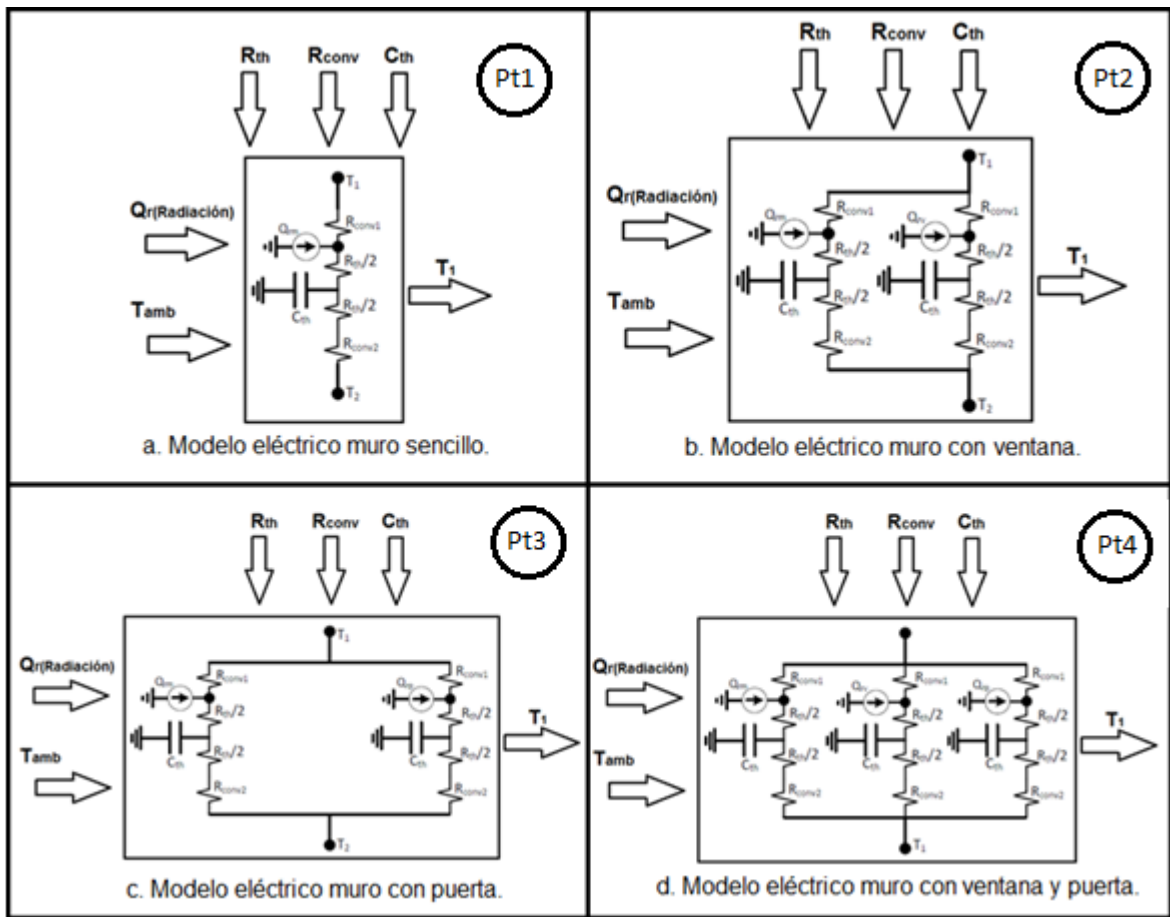
2.3.1 Paredes

Las paredes en una vivienda se constituyen de muros y diversos componentes como los son las ventanas y las puertas. Debido a esta variedad de configuración de paredes, se crearon varios tipos de paredes como se presenta a continuación.

La Figura 6 muestra la estructura del modelo eléctrico para un muro sencillo, muro con ventana, muro con puerta y muro con ventana y puerta respectivamente.

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

Figura 6. Configuraciones de los modelos eléctricos de los muros¹.

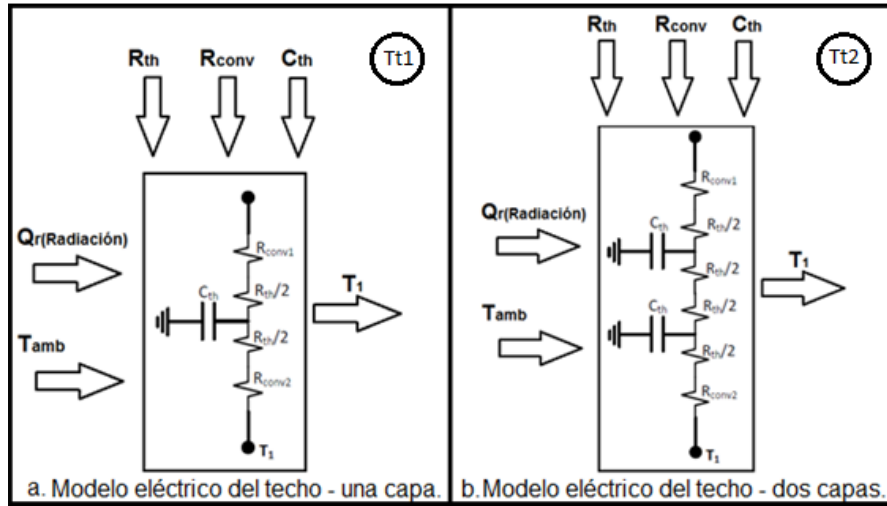


2.3.2 Techo

Actualmente, se han implementado medidas ambientales para aumentar la eficiencia energética, como los techos verdes. Los cuales consisten en agregar una capa más de techo a la estructura en vegetación, absorbiendo la radiación. Debido a esto se presentan dos tipos de techos, con una capa y de dos capas; La Figura 7 muestra la estructura del circuito eléctrico respectivamente.

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

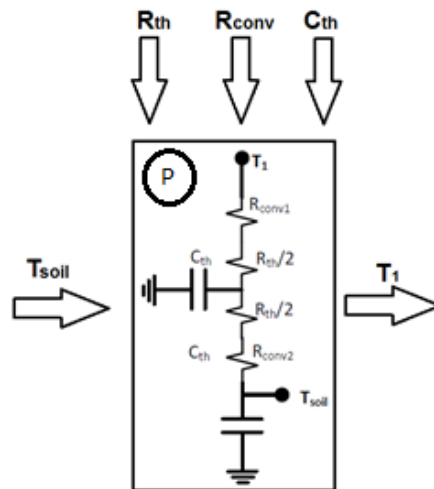
Figura 7. Modelo eléctrico del techo¹.



2.3.3 Modelo del piso

En la Figura 8 se observa la estructura del circuito que modela el piso, donde el nodo T_{soil} es la temperatura que establece el suelo durante el periodo de simulación.

Figura 8. Modelo eléctrico del piso².



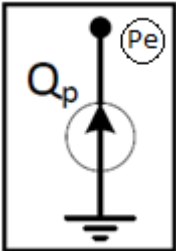
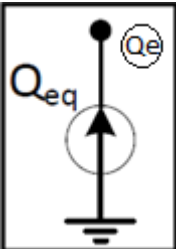
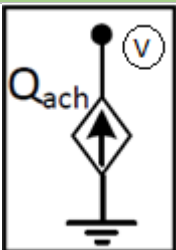
¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

² MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

2.3.4 Fuentes externas.

La Tabla 3 describe los modelos eléctricos de las personas, equipos y ventilación.

Tabla 3. Fuentes externas¹.

Fuente	Modelado	Justificación
Personas		Esta fuente representa el calor corporal emitido por las personas
Equipos		Esta fuente representa el calor emitido por los electrodomésticos cuando están energizados
Fuente	Modelado	Justificación
Ventilación		Esta fuente representa el intercambio de calor que ocurre cuando un flujo de aire entra a la vivienda

Los parámetros de las fuentes externas son los siguientes:

- Personas

Donde Q_p está dada por la Ecuación 2.1.4-1¹

$$Q_p = N_p * p_p \quad \text{Ec. 2.1.4-1}$$

Donde,

N_p : Número de personas

p_p : Calor emitido por persona

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

- Equipos

Donde Q_{eq} está dada por la Ecuación 2.1.4-2¹

$$Q_{eq} = \sum P * Q \quad \text{Ec. 2.1.4-2}$$

Donde,

P : Potencia del dispositivo

Q : Valor de potencia por unidad que se convierte en calor

- Ventilación

Donde Q_{ach} está dada por la Ecuación 2.1.4-3¹.

$$Q_{ach} = m' * C_{aire} * (T_i - T_{space}) \quad \text{Ec. 2.1.4-3}$$

$$m' = V' * \rho$$

Ec. 2.1.4-4

$$V' = A * v * \dot{v} \quad \text{Ec. 2.1.4-5}$$

Donde,

A : Área de la abertura [m^2].

V : Velocidad del aire [m/s].

V' : Flujo de aire [m^3/h].

ρ : Densidad del aire [kg/m^3].

m' : Masa del aire [kg].

C_{aire} : Calor específico del aire [$J/kg \cdot K$].

T_i : Temperatura del flujo de aire entrante [K].

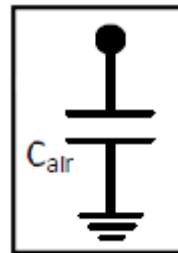
T_{space} : Temperatura del flujo de aire saliente [K].

\dot{v} : Flujo de aire en por unidad [$p.u$].

2.3.5 Capacidad térmica del aire

El aire posee la capacidad de almacenar calor, dicho esto, la Figura 9 muestra el modelo eléctrico que representa a la capacidad térmica como un condensador.

Figura 9. Capacidad térmica del aire¹.



En la Tabla 4 se observa un resumen de variables utilizadas en la herramienta.

Tabla 4. Resumen de variables^{2 3}.

Variable	Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Tt1	Tt2	P	V	G	I	Pe	E
A	Área de la sección [m ²]											
E	Espesor de la sección [m ²]											
P	Densidad de la sección [kg/m ³]											
λ	Conductividad térmica del material [W/K]											
C	Capacidad térmica del material [J/K]											
A	Porcentaje de absorción del material de la sección											
G_(r)	Radiación incidente sobre la sección											
R_{conv}	Oposición del material a la transferencia de calor											
V	Velocidad del aire											
V'	Flujo de aire											
v̇	Flujo de aire por unidad											
Q_p	Calor máximo emitido por las personas											
N_p	Número de personas											
Q_{pp}	Calor emitido por persona											
P	Potencia de los											

¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

² Los cuadros resaltados en verde oscuro establece a cual modelo pertenece la variable

³ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

Variable		Pt1	Pt2	Pt3	Pt4	Tt1	Tt2	P	V	G	I	Pe	E
	electrodomésticos [W]												
$Q_{\%}$	Porcentaje de la potencia que se convierte en calor												
Q_{Mx}	Calor máximo emitido por los equipos $Q_{Mx} = \sum P * Q_{\%}$												
T	Temperatura												
m	Masa de la sección [kg] $m = A * e * \rho$												
C_{th}	Capacitancia de la sección [J/K] $C_{th} = c * m$												
R_{th}	Resistencia térmica de la sección [mK/W] $R_{th} = e/\lambda$												
Q_{ach}	Ventilación $Q_{ach} = m' * C_{aire} * (T_i - T_{space})$												

Donde Pt1 es Pared tipo 1, Pt2 es Pared tipo 2, Pt3 es Pared tipo 3, Pt4 es Pared tipo 4, Tt1 es Techo tipo 1, Tt2 es Techo tipo 2, P es Piso, V es Ventilación, G es Generación, I es Iluminación, Pe es Personas y E es Equipos.

3. INTERFAZ GRÁFICA PARA EL ANÁLISIS ENERGÉTICO Y MODELOS EN SIMULINK

La interfaz gráfica se diseñó en GUIDE de MATLAB y los modelos se realizaron en Simulink de MATLAB.

3.1 INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz de la herramienta se diseñó para facilitar la interacción con el usuario, desde el suministro de datos requeridos se optó por enumerar las actividades necesarias para realizar la simulación los cuales son:

1. Dar un nombre al proyecto.
2. Introducir descripción geográfica de la ubicación de la vivienda.
3. Introducir datos necesarios para el desarrollo de la simulación.
4. Introducir las dimensiones de la vivienda como la altura, el ancho y el largo y si es de una planta o dos.
5. Introducir características de las áreas cercanas a la vivienda.
6. Crear las áreas internas de la vivienda.
7. Introducir parámetros descriptivos de los materiales para las secciones de las áreas de las viviendas.
8. Introducir datos de iluminación para su respectivo análisis.
9. Generar a partir de los paneles fotovoltaicos.
10. Armar los bloques respectivos de cada sección y elementos para la simulación.
11. Proceder a simular la construcción de la vivienda.

Se crearon grupos de actividades para el diseño de la interfaz gráfica y por cada grupo se diseñó una ventana, para un total de 7 ventanas.

El algoritmo del funcionamiento de la herramienta se observa en la Figura 10, donde se observa cómo se ejecuta paso a paso cada parte de la herramienta con sus respectivas entradas y salidas.

Figura 10. Algoritmo de la herramienta

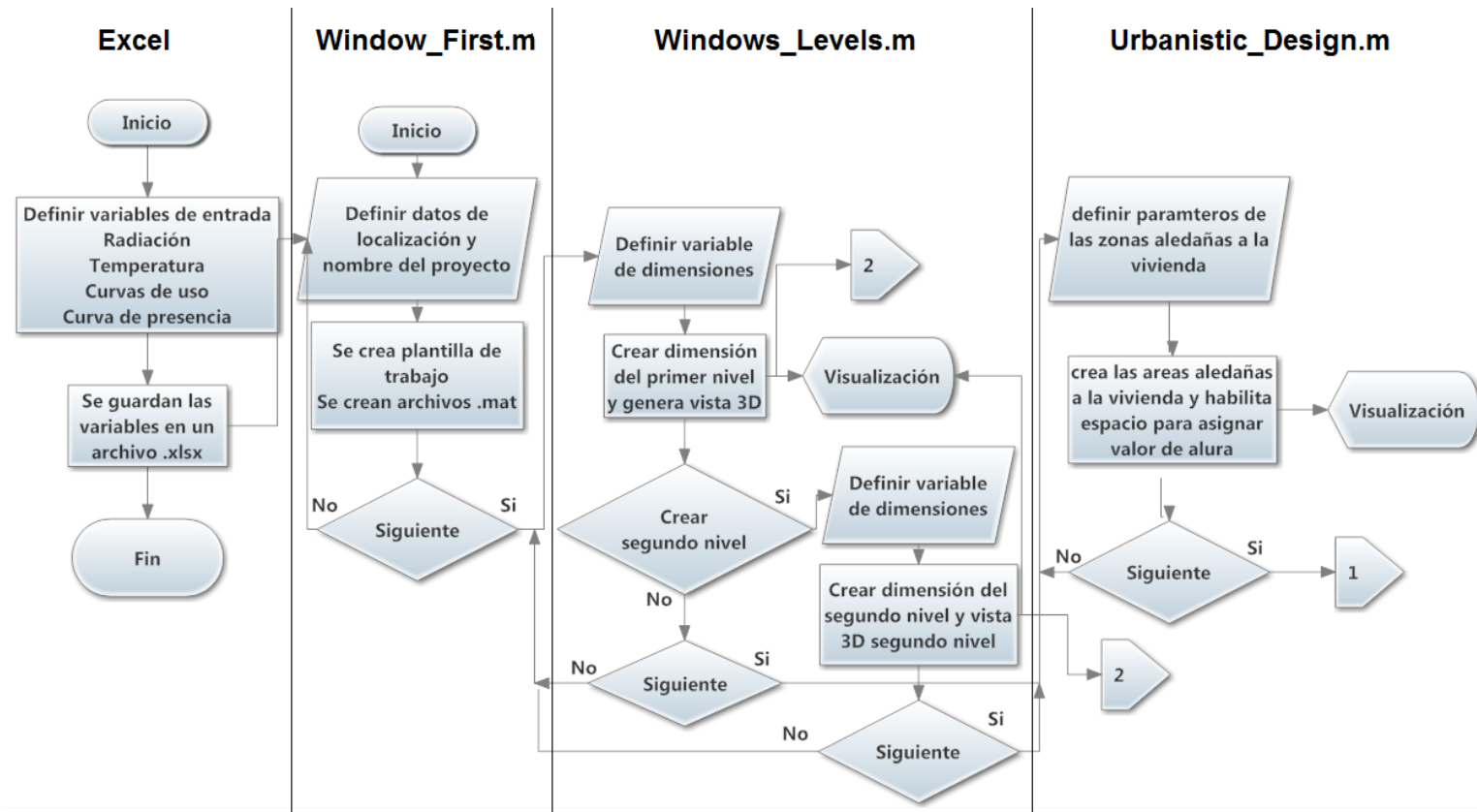


Figura 11 Algoritmo de la herramienta

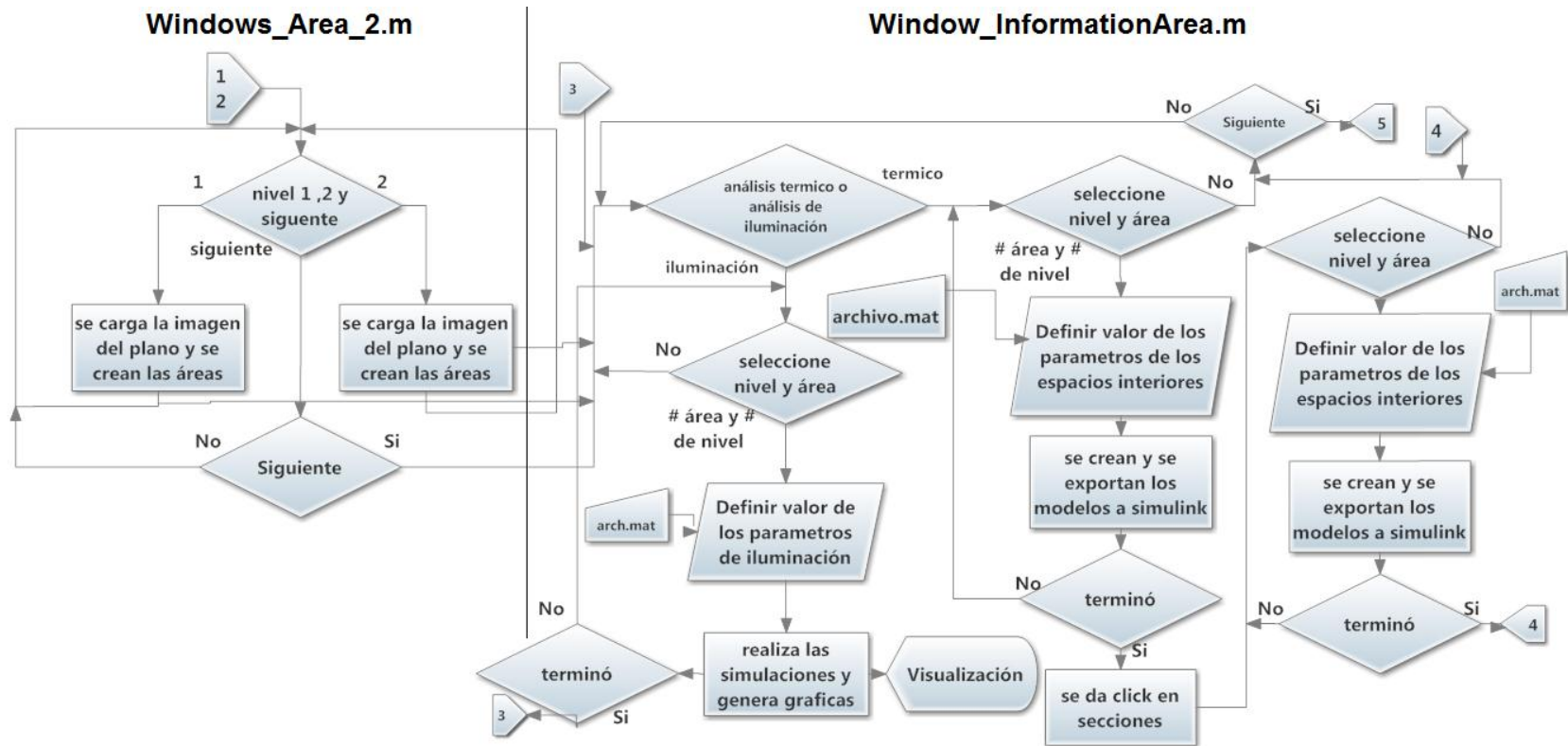
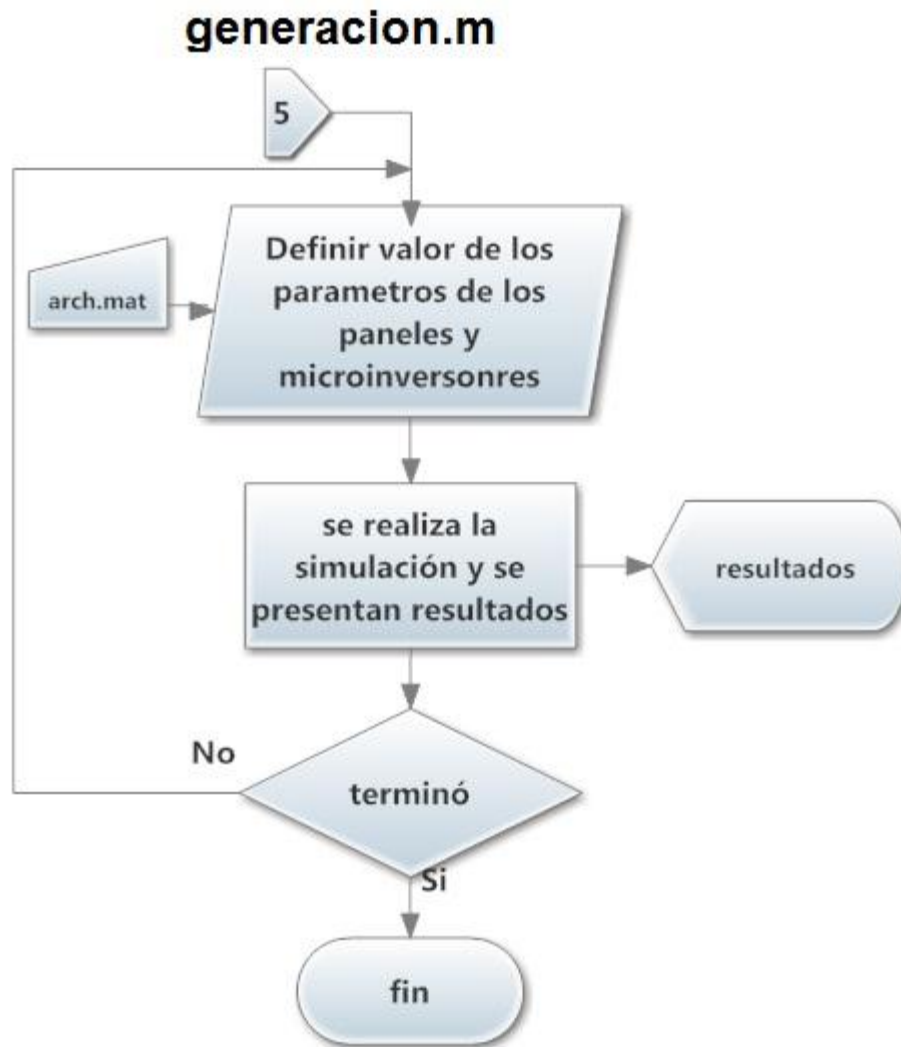


Figura 12 Algoritmo de la herramienta



3.1.3 Ventana 1. Información general del proyecto

La Figura 11 muestra el diseño de la interfaz gráfica de la ventana llamada *DATOS DE USUARIO*, La ventana es presentada para la obtención de datos generales de la vivienda y la simulación, en la cual se agruparon las actividades (1, 2, 3).

Figura 13. Datos de usuario

DATOS DE USUARIO

NOMBRE DEL PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

CIUDAD CARGAR ARCHIVO

LATITUD 

LONGITUD

ALTITUD **SIGUIENTE**

Autores:
Ing. Yeison Padilla
Ing. Diego Cotuá
Director:
German A. Osma Pinto
Trabajo realizado en el marco de la tesis de doctorado:
MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS A PARTIR DE APLICACIONES URE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
2015

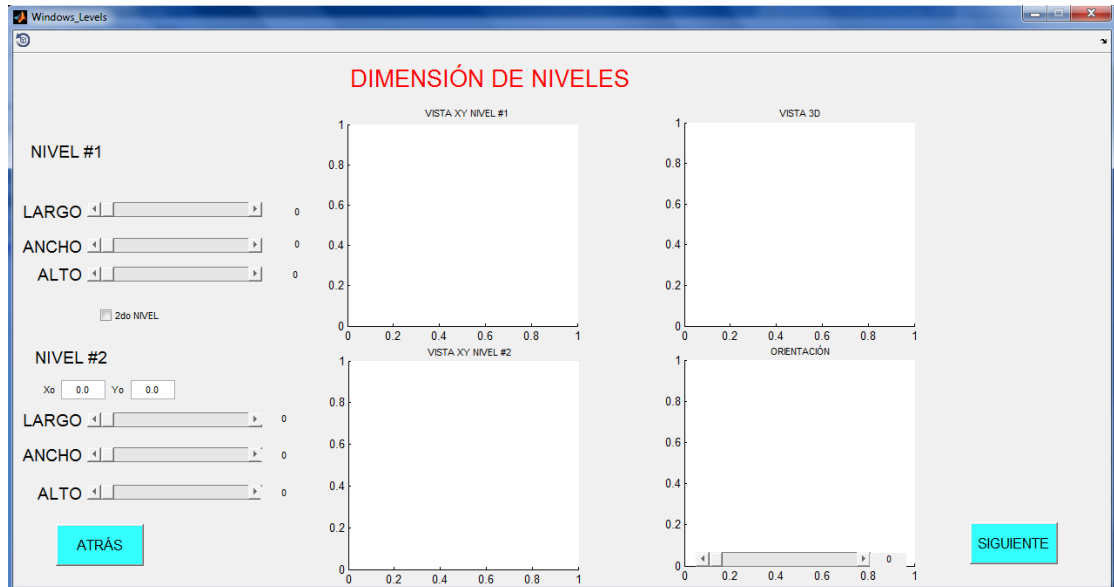
En esta ventana se requiere del usuario datos de la ubicación de la vivienda y un archivo Excel con los datos de radiación, temperaturas, velocidad del viento, para crear varios archivos *.mat* que son utilizados en los modelos a la hora de simular.

Los datos de NOMBRE DEL PROYECTO y su LOCALIZACIÓN se presentan en esta ventana pero no tienen ninguna incidencia en los resultados, esto se hace con el fin de asociarlo a una base de datos de localización para una segunda versión.

3.1.4 Ventana 2. Dimensiones de los niveles

La Figura 12 muestra el diseño de la interfaz gráfica de la ventana 2 llamada *DIMENSIÓN DE NIVELES*. Esta ventana es presentada para dimensionar la vivienda, en la cual solo se tomó la actividad 4 por su complejidad.

Figura 14. Dimensión de niveles.



Se requiere del usuario los valores de las dimensiones y orientación de la vivienda para generar una maqueta en 3D donde se visualiza la vivienda.

Los datos generados en esta se dan de forma de ilustración para que en una segunda versión se implementen planos con valores a escala real.

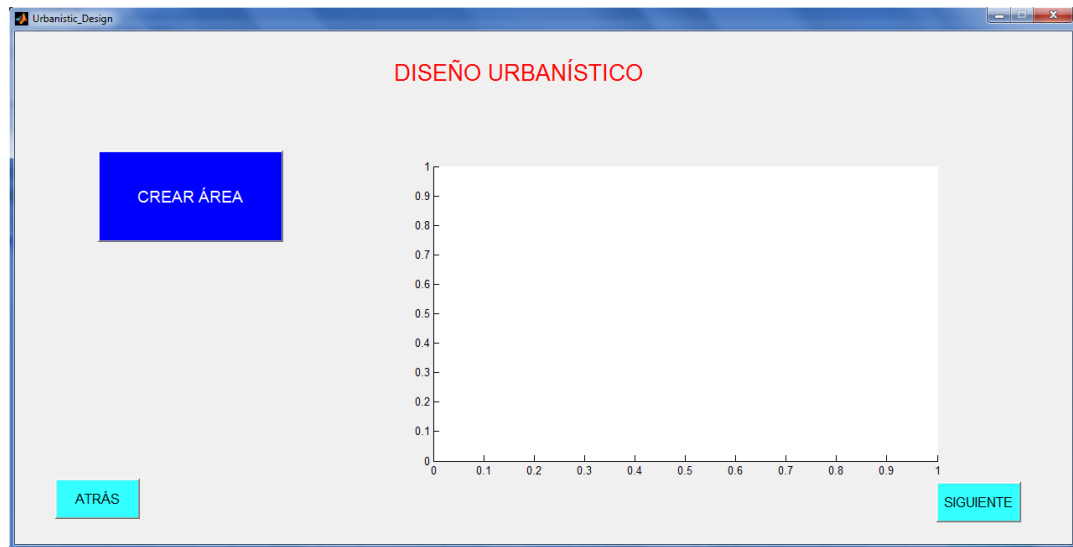
3.1.5 Ventana 3. *Diseño urbanístico*

La Figura 13 muestra el diseño de la interfaz gráfica de la ventana 3 llamada *DISEÑO URBANÍSTICO*. En esta ventana solo se tomó la actividad 5 por su función única.

Se requiere por parte del usuario crear las áreas aledañas a la vivienda. Esta ventana permite dimensionar las áreas que limitan con la vivienda.

La información generada en esta ventana se desarrolló para una segunda versión donde se puedan implementar modelos y parámetros característicos de las zonas aledañas a la vivienda.

Figura 15. Diseño urbanístico.



3.1.6 Ventanas 4 y 5. *CREACIÓN DE ÁREAS*

Las figuras 14 y 15 muestran el diseño de la interfaz gráfica de las ventanas 4 y 5 llamadas *CREACIÓN DE ÁREAS*. Éstas son presentadas para dimensionar las secciones de la vivienda en la que fueron necesario dos ventanas, solo se tomó la actividad 6 por su función única.

En la primera ventana se visualiza las áreas que se van creando y en la segunda ventana se requiere que el usuario cargue el plano a trabajar y se procede a crear las áreas.

Figura 16. Creación de áreas (1).

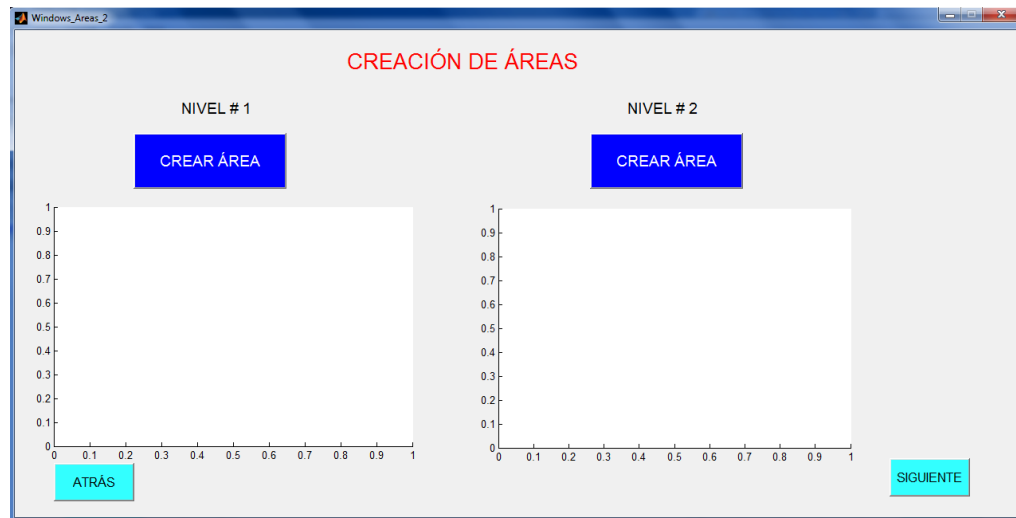
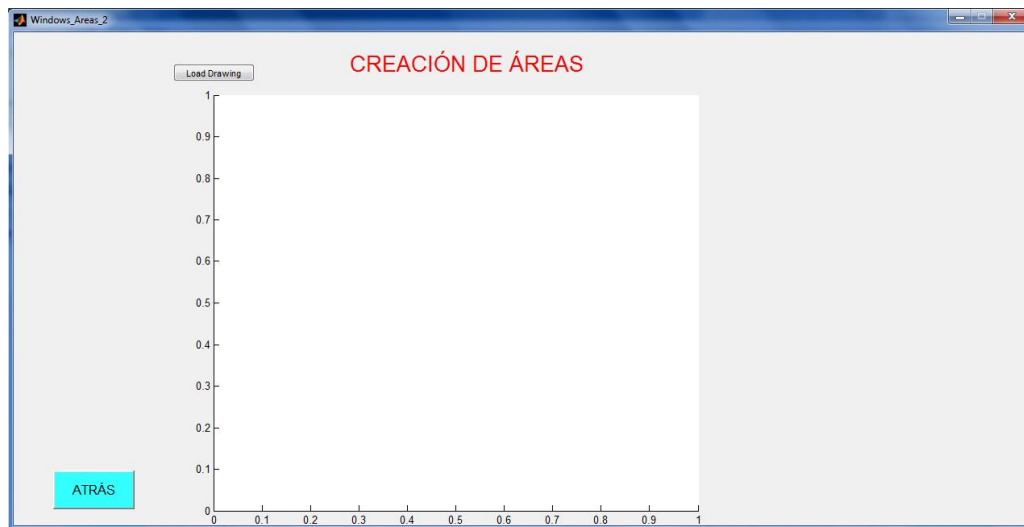


Figura 17. Creación de áreas (2).



3.1.7 Ventana 6. *Datos de las áreas*

Las figuras 16 y 17 muestra el diseño de la interfaz gráfica de la ventana 6 llamada *DATOS DE ÁREAS*. Ésta es presentada para ingresar los parámetros correspondientes a los valores eléctricos que representan las secciones de la vivienda y a la iluminación, esta ventana incluye las actividades 7 y 8.

El usuario debe ingresar los valores de las especificaciones de las secciones de las áreas, electrodomésticos y actividad de las personas, esta ventana obtiene los valores de los parámetros creando los modelos a simular en Simulink y realiza la simulación de iluminación.

Figura 18. Datos de áreas (1).

The screenshot shows the 'DATOS DE ÁREAS' window with the following components:

- NIVEL:** Radio buttons for '1' (selected) and '2'.
- ÁREA:** A dropdown menu showing 'A11'.
- 3D Model:** A 3D wireframe of a room with dimensions 5, 5, and 1.5. Below it is a 2D floor plan with colored areas labeled 'a' through 'f'.
- Panel Espacio Interior:**
 - Q personas Qp:** Input fields for N_p , Q_{pp} , and Q_{mx} .
 - Q equipos Qeq:** Input fields for $P(W)$, $Q(\%)$, and Q_{mx} .
 - Q ventilación:** Input fields for $A(m^2)$, V_{ip} , $\rho_0(kg/m^3)$, and $C(J/kgK)$.
 - Area:** Input field.
 - altura1:** Input field.
 - Ca1r:** Input field.
 - IC:** Input field.
- Panel Iluminación area1:**
 - # de iluminación:** Dropdown menu.
 - NATURAL:** Input fields for **DF** and **Atenuación**.
 - ARTIFICIAL:** Input fields for **Potencia**, **Eart**, and **Ereq**.
 - Calcular:** Button.
- Panel Radiación:**
 - Ventana1:** Dropdown menu.
 - Ventana2:** Dropdown menu.
 - Calcular:** Button.
- Navigation Buttons:** 'ATRÁS', 'SIGUIENTE', 'CERRAR FIGURAS', and 'GRAFICAR'.

Figura 19. Datos de áreas (2).

The screenshot shows the 'DATOS DE ÁREAS' window with the following components:

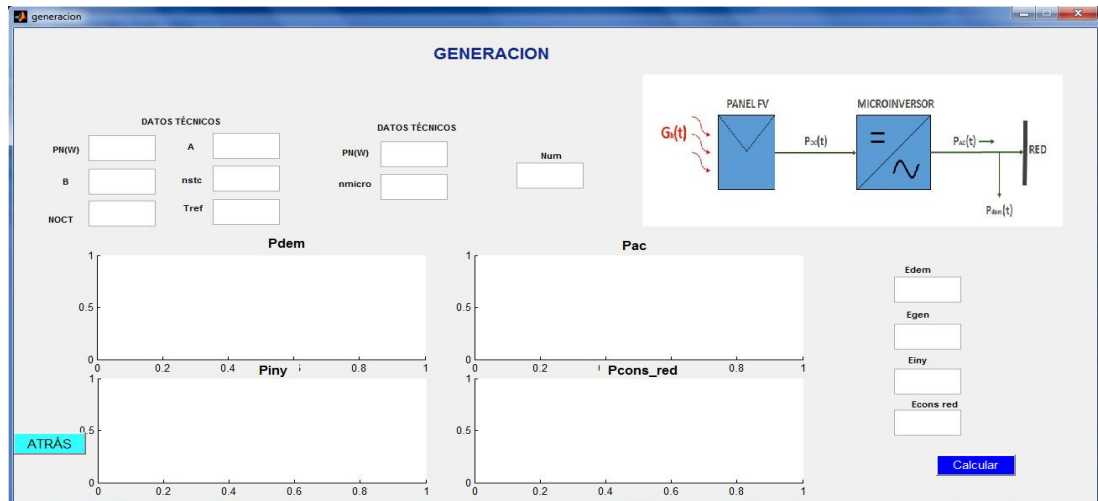
- NIVEL:** Radio buttons for '1' (selected) and '2'.
- ÁREA:** A dropdown menu showing 'A11'.
- 3D Model:** Same as in Figure 18.
- Section:** Radio buttons for 'a' (selected), 'b', 'c', 'd', 'e', and 'f'.
- Tipo:** Radio buttons for 'Pared' (selected), 'Techo', and 'Piso'.
- Panel Pared:**
 - Superficie:** Dropdown menu.
 - Material:** Dropdown menu (e.g., 'Ladrillo').
 - A(m²):** Input field.
 - e(m):** Input field.
 - C(J/kgK):** Input field.
 - $\rho_0(kg/m^3)$:** Input field.
 - lambda(W):** Input field.
 - m(kg):** Input field.
 - Rth(mKW):** Input field.
 - Cth(J/K):** Input field.
 - alpha:** Input field.
 - Superficie:** Input field (Muro, Ventana, Puerta).
 - Muro, ventana y puerta:** Dropdown menu.
 - Rconv1:** Input field.
 - Rconv2:** Input field.
 - Radiación:** Dropdown menu.
 - Calcular:** Button.
- Panel Iluminación area1:** Same as in Figure 18.
- Panel Radiación:** Same as in Figure 18.
- Navigation Buttons:** 'ATRÁS', 'SIGUIENTE', 'CERRAR FIGURAS', and 'GRAFICAR'.

3.1.8 Ventana 7. *Generación.*

La Figura 18 muestra el diseño de la interfaz gráfica de la ventana 7 llamada *GENERACIÓN*. Esta ventana es presentada para ingresar los parámetros correspondientes a los paneles solares y los micro-inversores para la generación en sitio.

El usuario debe ingresar las características de los paneles solares como los micro-inversores, esta ventana realiza la simulación de generación mostrando las gráficas de potencia.

Figura 20. Generación.

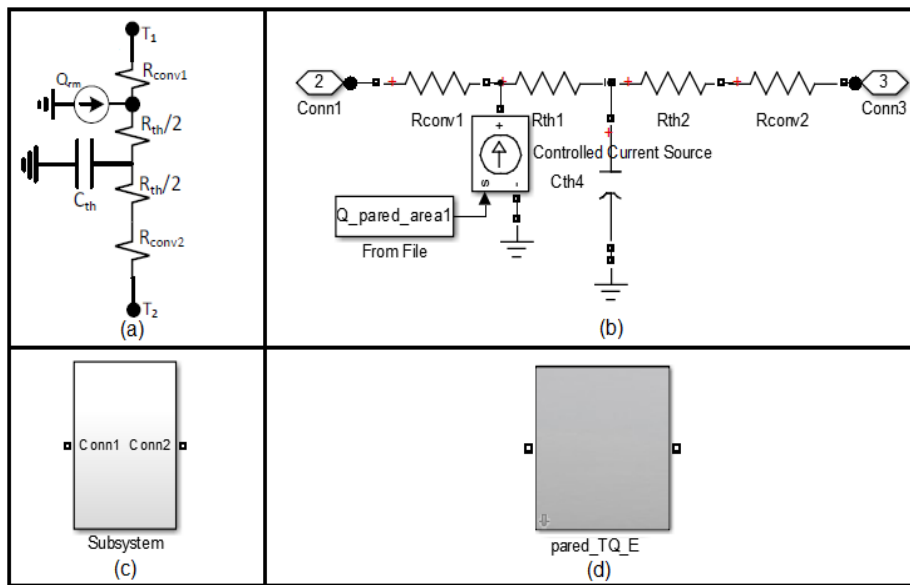


3.2 MODELOS-SIMULINK

Los modelos se crearon en la herramienta Simulink, donde el primer paso fue tomar los modelos propuestos como se observa en la Figura 19 (a) que constan de resistencias y condensadores que vienen incluidos con el paquete eléctrico que trae Simulink, los modelos contienen fuentes de corrientes las cuales dependen de datos de entrada suministrado por el usuario, para crear estas fuentes se utilizó una fuente de corriente donde la entrada es un archivo .mat. El modelo final en

Simulink quedó como se observa en la Figura 19 (b), debido a que los circuitos son muy complejos fue necesario crear subsistemas para que el usuario a la hora de conectar los circuitos se le haga más fácil la conexión. La Figura 19 (c) muestra el subsistema para el circuito de la Figura 19 (b) y para saber a qué área corresponde cada pared se implementó el sistema de máscaras como se observa en la Figura 19 (d).

Figura 21. Modelo muro sencillo.



La creación de los subsistemas se hizo seleccionando por completo el modelo eléctrico a encapsular y luego con clic derecho se escogió la opción “*Create subsystem from selection*” y a continuación aparecerá el ícono Subsystem de la Figura 19(c), luego dando clic derecho sobre este ícono se selecciona la pestaña *Mask* y seguido la opción *Create Mask* para así poder acceder a la interfaz del subsistema y editar a gusto la imagen que representará el bloque creado.

De la misma manera se crearon los modelos para la pared con ventana (Figura 20), pared con puerta (Figura 21), pared con ventana y puerta (Figura 22), techo

con capa inferior única (Figura 23), techo con dos capas (Figura 24), y el piso (Figura 25).

Figura 22. Modelo muro ventana.

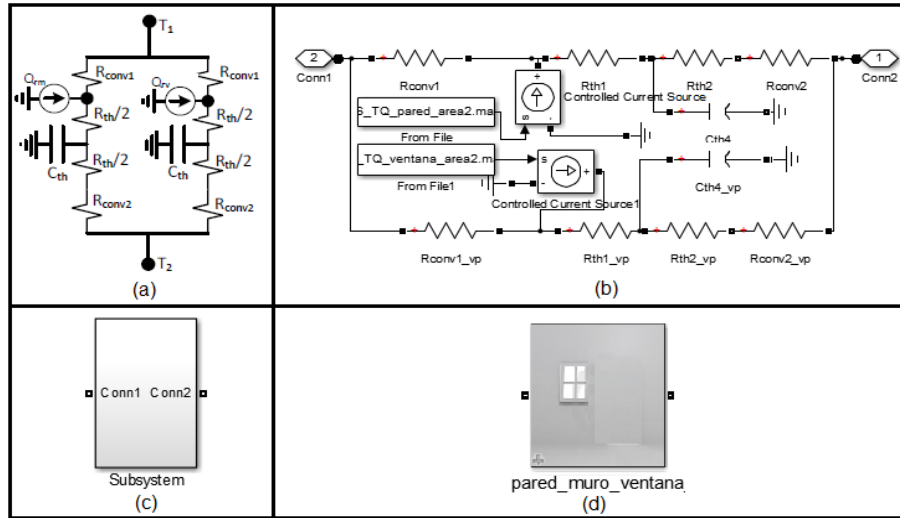


Figura 23. Modelo muro puerta.

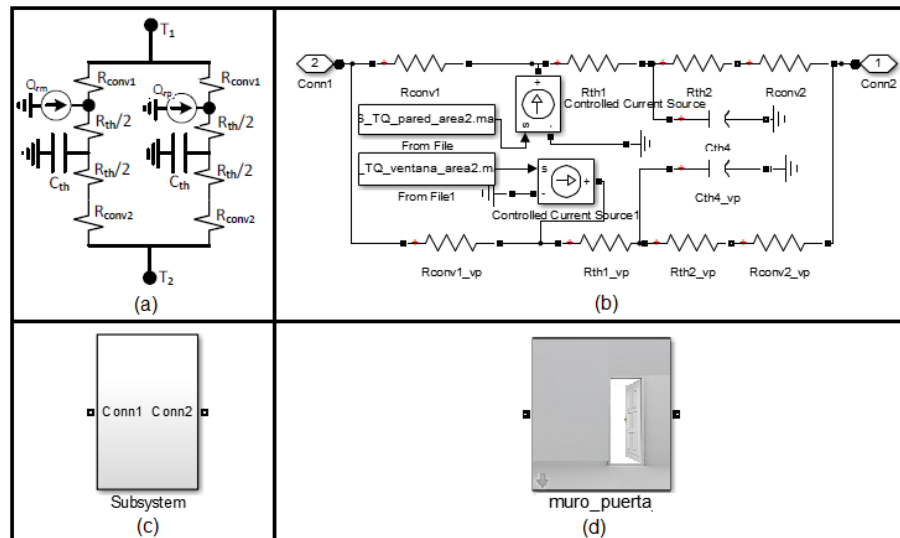


Figura 24. Modelo muro ventana y puerta.

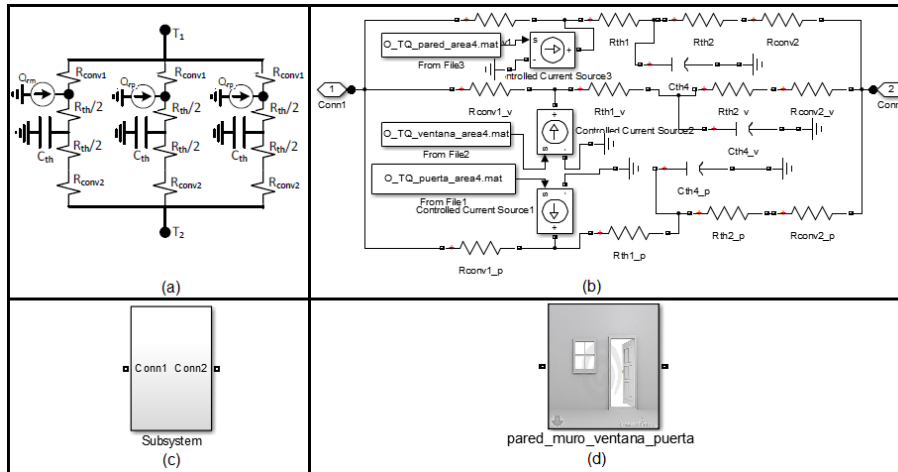


Figura 25. Modelo techo capa inferior única.

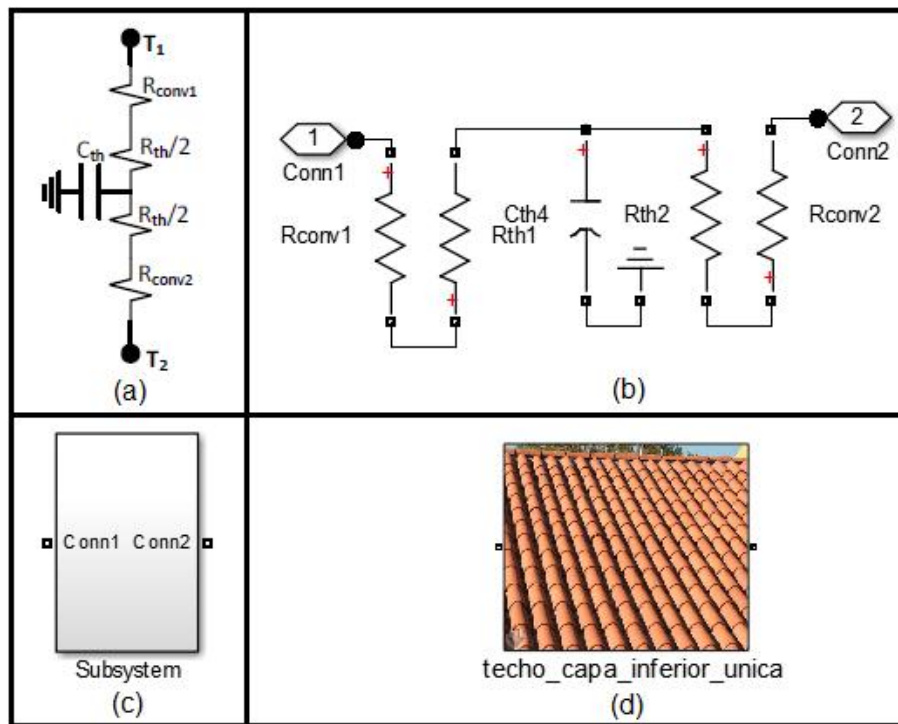


Figura 26. Modelo techo doble capa.

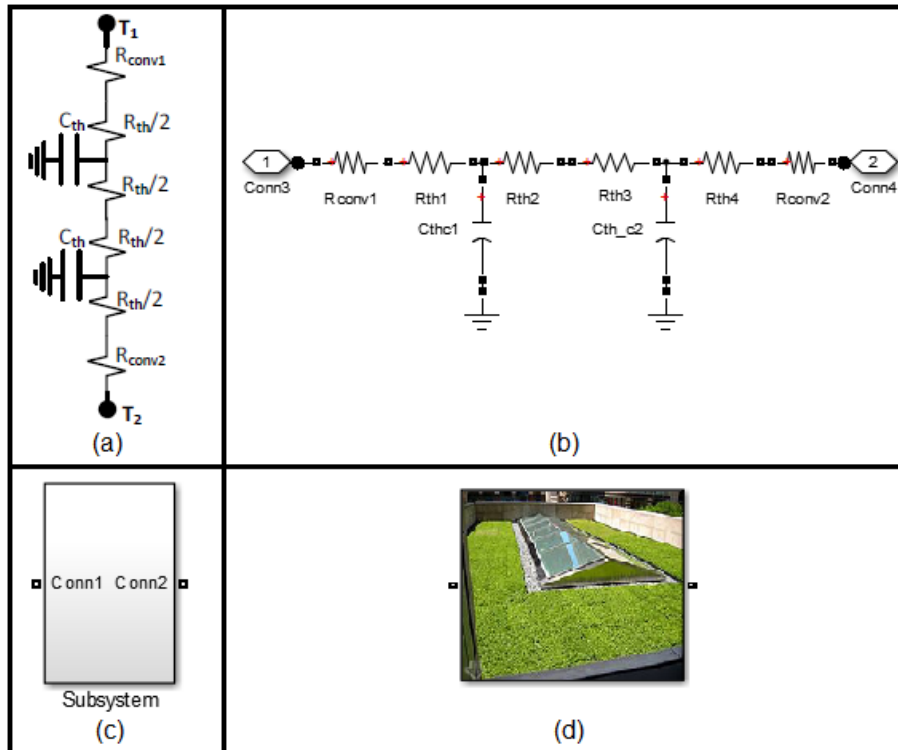
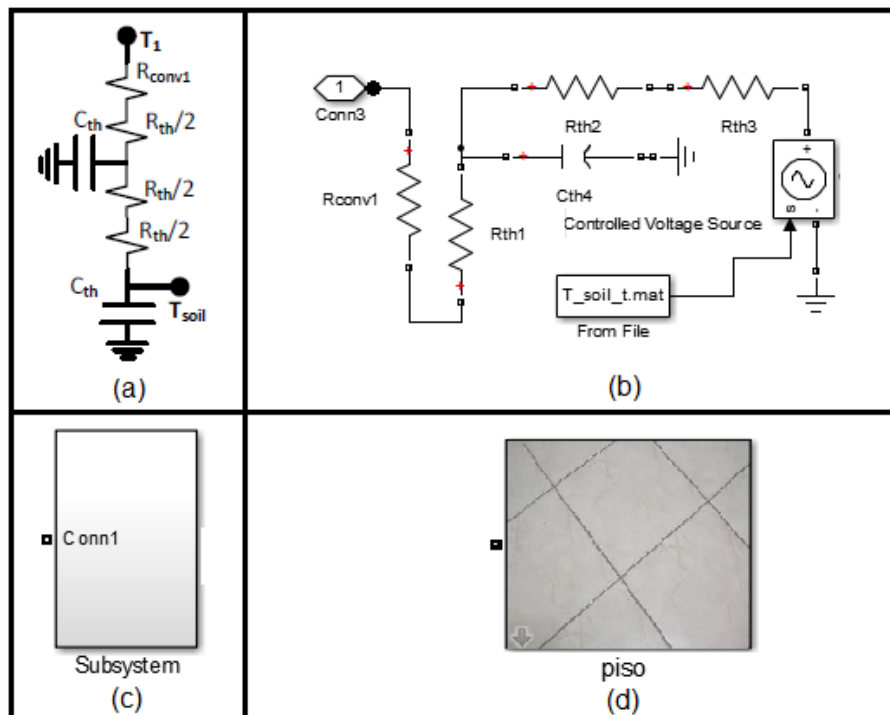


Figura 27. Modelo piso.

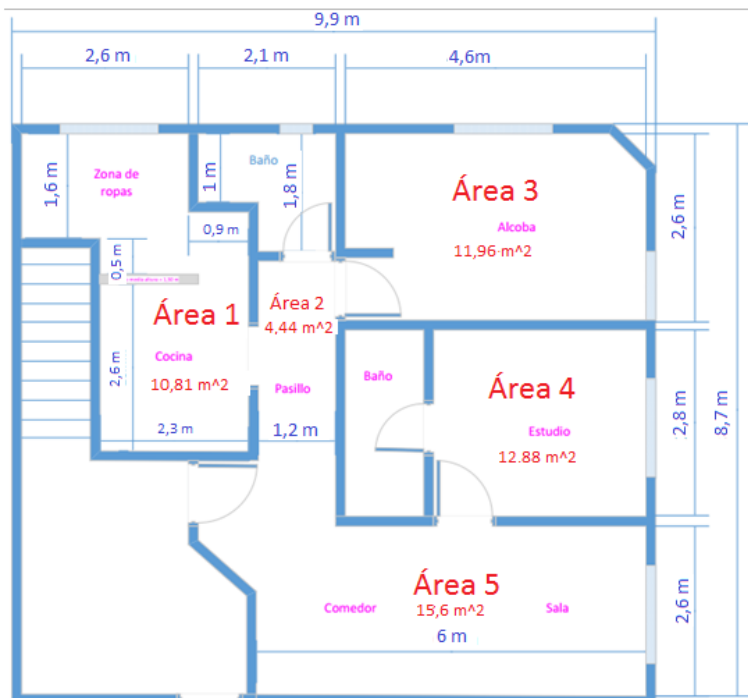


4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de resultados de esta herramienta se realizó mediante un ejemplo de aplicación para la simulación de una vivienda tipo apartamento de una sola planta. Se considera esta vivienda de estudio debido a que en la tesis doctoral¹ se paremetrizaron y caracterizaron los elementos constructivos de la vivienda.

En la Figura 26 se muestra el plano de la vivienda que se emplea para el ejemplo de aplicación. La vivienda está ubicada en la ciudad de Bucaramanga con una latitud de 7.1°, longitud de 73° 08' y una altitud de 959 msnm. Ésta se encuentra conformado por en 5 áreas, cocina, alcoba, estudio, comedor y pasillo.

Figura 28. Plano apartamento de una planta para el ejemplo de aplicación.



¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

Para realizar la simulación del ejemplo se empleó el plano constructivo de la vivienda, datos de radiación solar incidente, datos de temperatura, datos técnicos de paneles solares, micro-inversores y luminarias, y la curva de actividad de personas y electrodomésticos. La simulación se basa en el análisis de iluminación, generación y térmico.

La Figura 27 muestra los perfiles de radiación utilizados para la simulación, mientras la Tabla 5 presenta los datos técnicos de los equipos eléctricos utilizados para la simulación.

Figura 29. Datos de radiación [11].

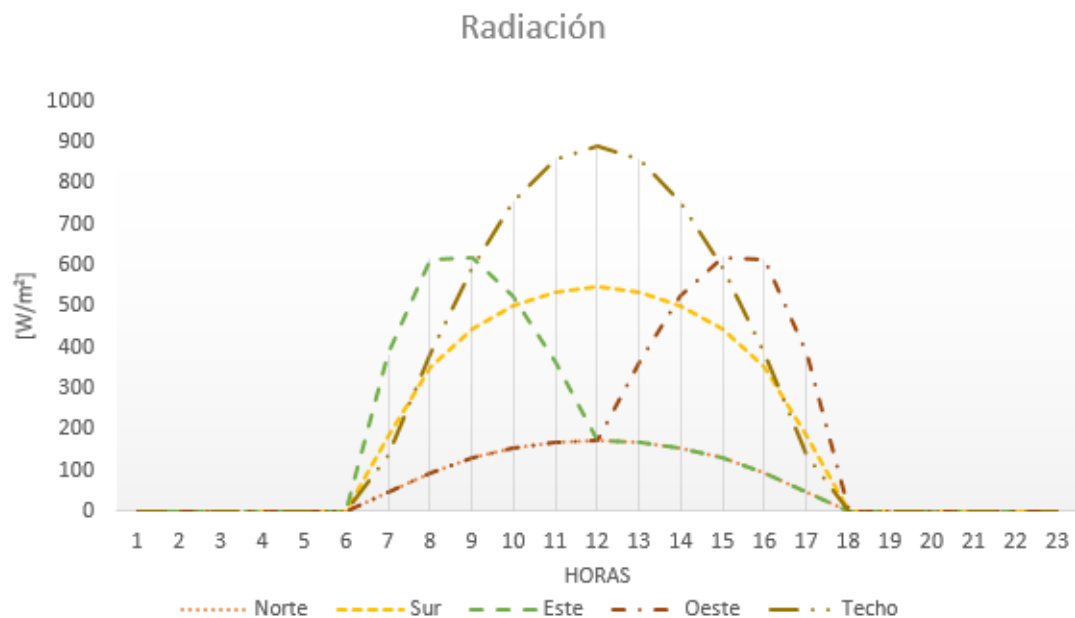


Tabla 5. Datos técnicos de equipos eléctricos[12].

Equipo	Potencia [W]	Equipo	Potencia [W]
Equipo de sonido	120	Lavadora	330
Estufa eléctrica	2000	Licudadora	450
Extractor de humo	120	Nevera	400
Horno eléctrico	790	Plancha eléctrica	1000
Ventilador de techo	70	Televisor	100
Portátil	63,5	Lámpara	11

En la Tabla 6 se muestra los datos de iluminación.

Tabla 6. Datos de iluminación¹.

Luminaria		Iluminancia	
Potencia [W]	20	[lux]	250
Iluminancia[LUX]	300	DF	4%
			Atenuación ²
			50%

En la Tabla 7 se muestra los datos de paredes, ventanas y el aire.

Tabla 7. Datos característicos de las secciones de las áreas para la simulación¹.

	e[m]	c[J/kgK]	ρ [kg/m ³]	λ [W/K]	α
Muro (Ladrillo)	0.15	840	1700	0.8	20%
Placa (Concreto)	0.30	837	2200	1.37	20%
Puerta (Madera)	0.05	400	800	0.3	8%
Ventana (Vidrio sencillo)	0.004	837	2500	0.8	80%
Aire		1003	1.03		

4.1 ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN

La simulación de iluminación se realizó área por área.

➤ Área 1-Cocina

La Figura 28 muestra la ventana donde se realiza la simulación, en esta ventana se ingresan los valores de las cantidades de ventana, atenuación, *daylight*, de donde procede la radiación, E_{art} , E_{req} .

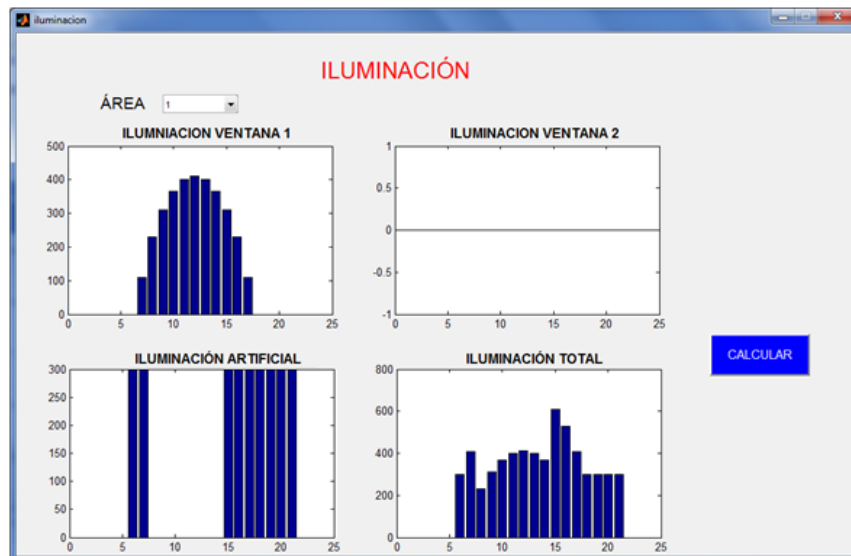
¹ MSc. German Osma Pinto, Modelado y optimización del diseño energético de viviendas tropicales a partir de aplicaciones URE. Tesis actualmente en desarrollo y prevista para finalizar año 2016

² Atenuación es el valor característico de la ventana a la oposición del paso de luz.

Figura 30. Ejecución de la iluminación Área 1.

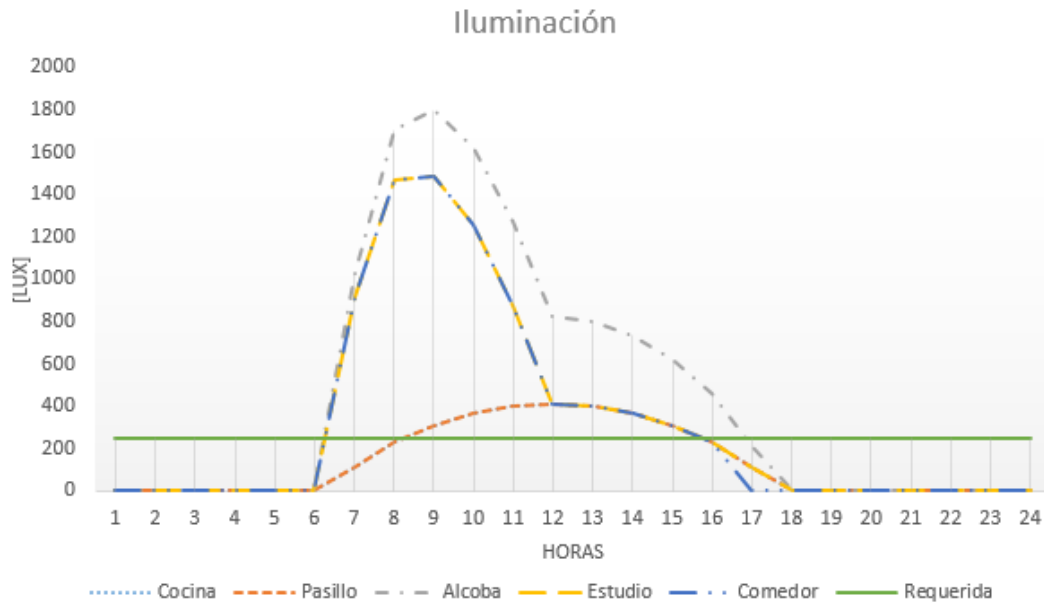
Al presionar “Calcular” se ejecuta la simulación guardando los resultados. La visualización de los resultados de la simulación se logra dando clic en “Graficar”, mostrando el panel de iluminación como se observa en la Figura 29, donde se aprecia el resultado de la simulación, mostrando el comportamiento de la iluminancia natural de cada ventana, el tiempo en el cual se utilizan las luminarias y el valor total de la luminancia en el área. La gráfica de *ILUMINACION VENTANA 1* e *ILUMINACION VENTANA 2* corresponde al nivel de luz que entra por la ventana respectiva de cada área. La *ILUMINACIÓN ARTIFICIAL* muestra si es necesario que las luces del área se enciendan o no dependiendo del nivel de luz requerida, (para este caso se utiliza una iluminancia de 250 [lux]) y la *ILUMINACIÓN TOTAL* es la suma de las anteriores.

Figura 31. Resultado de la iluminación del Área 1.



Este proceso se repite para las simulaciones de las áreas restantes arrojando como resultado una gráfica como se observa en la Figura 30.

Figura 32. Datos de salida de la simulación de iluminación



Como se observa en la Figura 30, en el rango de 8:00 am a 4:00 pm el valor de iluminancia está por encima del valor mínimo requerido como consecuencia no es necesario el uso de luminarias en ninguna de sus áreas. Esto parece ser por un buen diseño de la vivienda a la hora de ubicar las ventanas y así aprovechar la radiación incidente y generar un ambiente de iluminación natural, ayudando a un bajo consumo de energía por parte de las luminarias.

4.2 ANÁLISIS DE GENERACIÓN

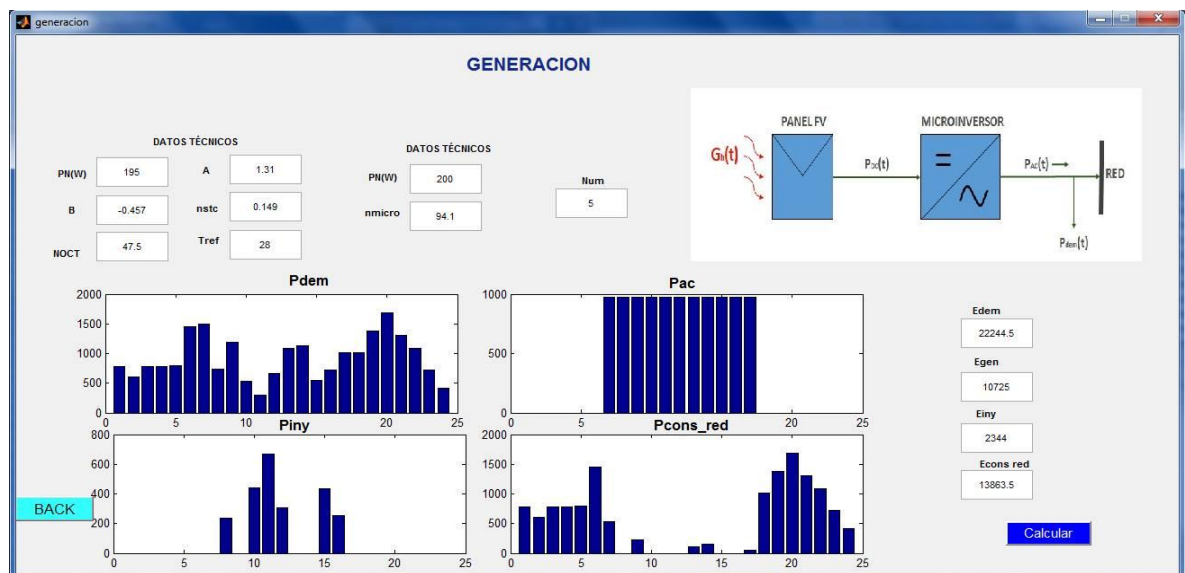
La simulación se realizó asignando electrodomésticos a cada una de las áreas.

- Área 1: Licuadora, nevera, lavadora, luminarias.
- Área 2: Luminarias.
- Área 3: Televisor, lámparas, luminarias.

- Área 4: Portátil, televisor, luminarias.
- Área 5: luminarias, equipo de sonido.

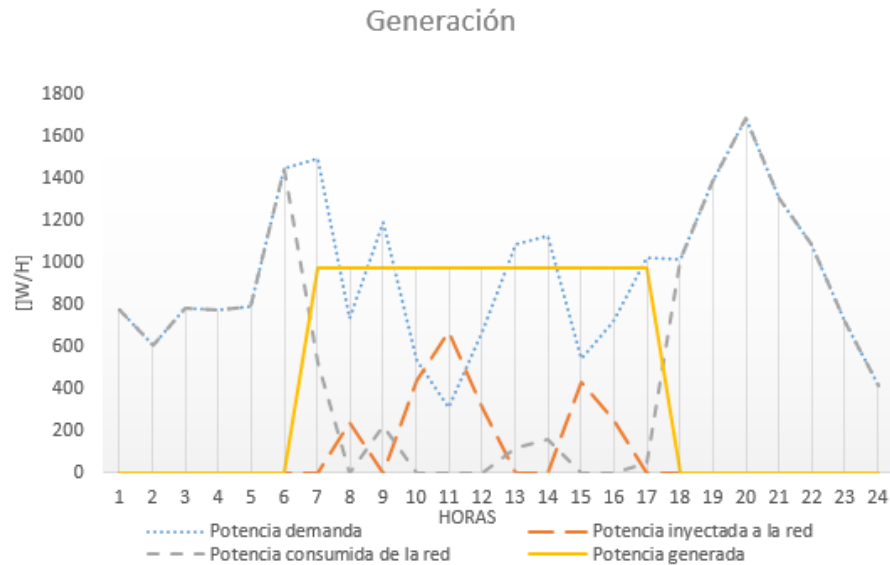
La Figura 31 permite la inclusión de los datos técnicos del panel solar como los del micro-inversor, después de dar clic en calcular se realiza la simulación arrojando los resultados de potencia demandada, potencia generada, potencia inyectada a la red y sus respectivas energías.

Figura 33. Visualización de la iluminación del ejemplo propuesto.



En la Figura 32 se muestra el resultado de la simulación una vez exportado y graficado en Excel.

Figura 34. Resultado de la simulación de generación en sitio

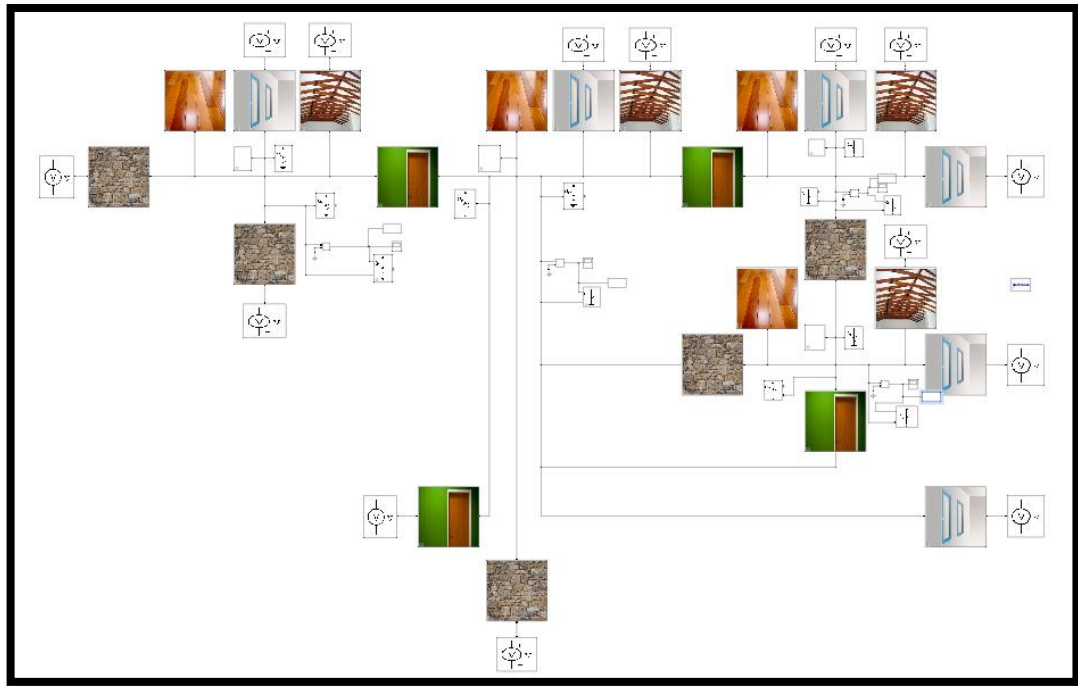


Para el ejemplo simulado, los paneles solares representan un rol importante en el consumo de energía eléctrica, como se observa en la Figura 32. En las horas 8, 10 a 12 y de 14 a 17 el sistema fotovoltaico está entregando energía a la red, esto se debe al consumo por parte de los electrodomésticos es bajo debido a la curva característica de uso de ellos. Con 5 paneles se hace un buen aporte a la gestión energética disminuyendo el consumo de energía eléctrica por que aporta en gran medida a la demanda en general.

4.3 ANÁLISIS TÉRMICO

Después de realizar las conexiones entre los modelos representativos de cada sección se observa en la Figura 33 el esquema térmico total de la vivienda en *Simulink*.

Figura 35. Estructura de la vivienda en *Simulink*.



La gráfica que muestra el comportamiento térmico de la cocina se observa en la Figura 34 donde podemos apreciar que la mayor temperatura se alcanza al mediodía. La Figura 35 representa la gráfica del comportamiento térmico del pasillo y el comedor, éstos están tomados como una sola área debido a que no hay muro entre estos dos. La Figura 36 y la Figura 37 corresponden a las gráficas de la simulación térmica de la alcoba y el comedor respectivamente. Como era de esperarse cada una de las gráficas a la hora 24 regresa al valor inicial de la hora 0, haciendo referencia al ciclo total de la temperatura en la vivienda.

Figura 36. Comportamiento térmico de la cocina.

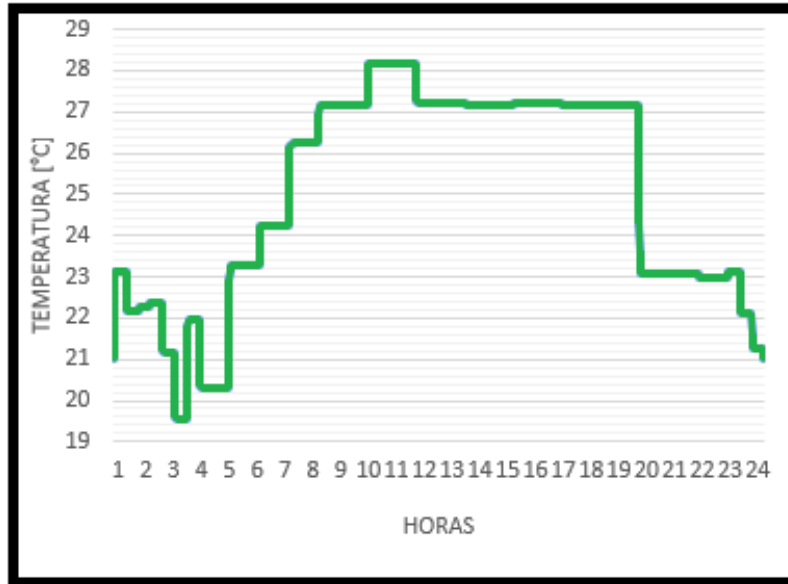


Figura 37. Comportamiento térmico del pasillo y comedor.



Figura 38. Comportamiento térmico de la alcoba.

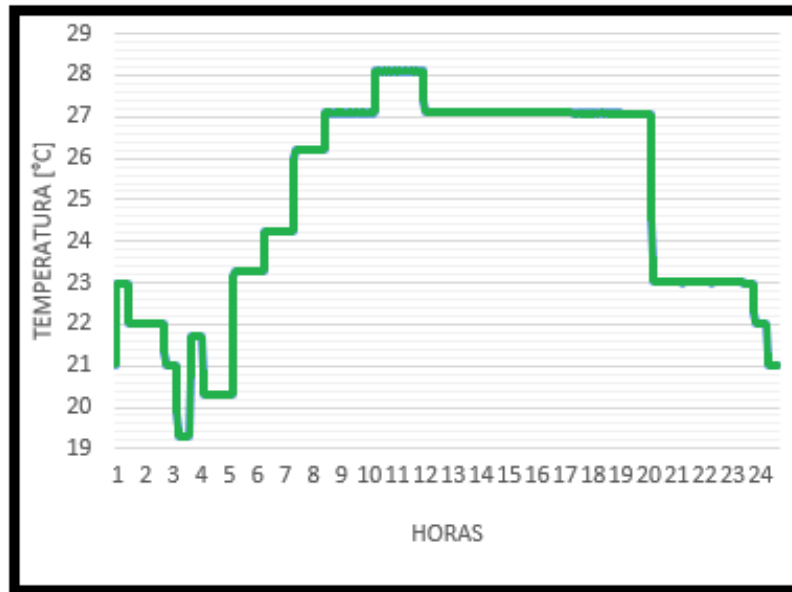
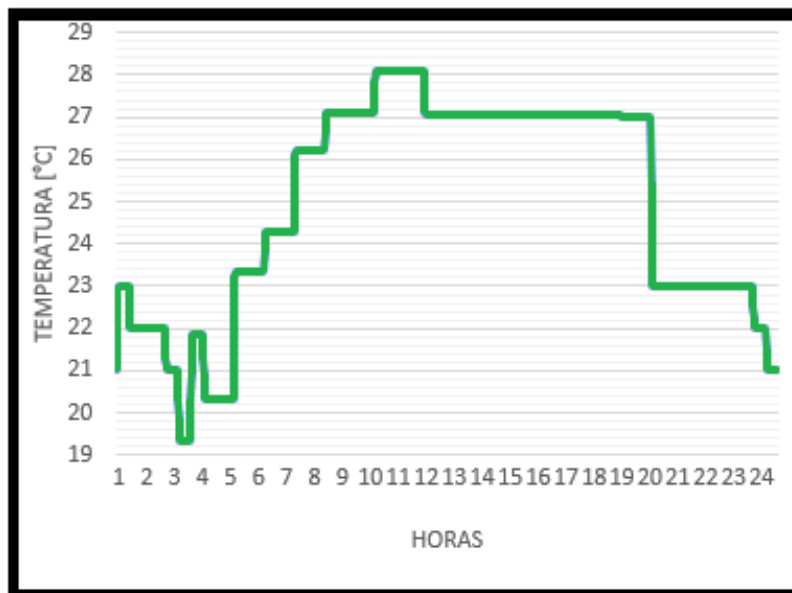
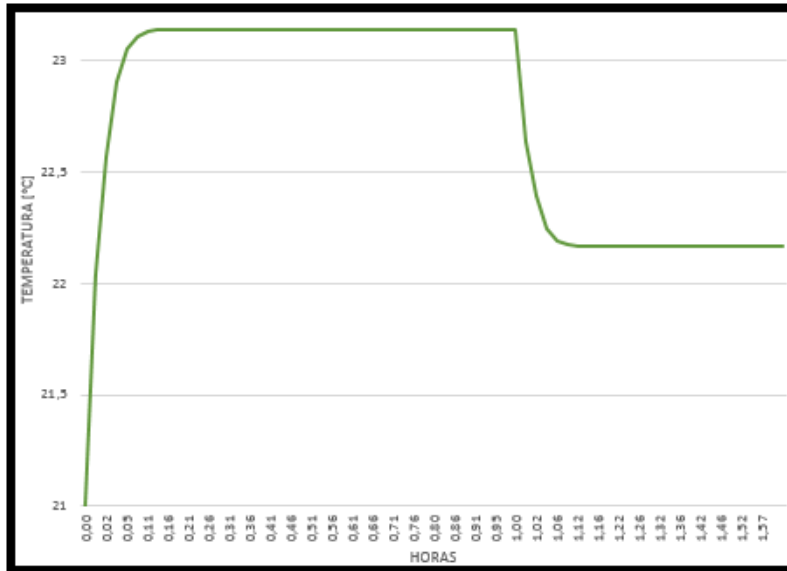


Figura 39. Comportamiento térmico del estudio.



La Figura 38 muestra el tiempo estimado en el que ocurre el transitorio en las primeras horas en el área uno, en se aprecia que el transitorio toma aproximadamente 13 minutos ($0,21 \times 60 \text{min} = 12,6$).

Figura 40. Transitorio de la temperatura del Área 1.



5. CONCLUSIONES

Este trabajo de grado tiene como finalidad proporcionar la primera versión de una herramienta computacional al Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica GISEL que permita visualizar el comportamiento energético de una vivienda teniendo en cuenta: Comportamiento térmico, generación en sitio e iluminación. Además, esta herramienta se crea como base para que posteriormente se integren nuevas características operacionales y así obtener un software para llevar a cabo el análisis energético de una vivienda.

La dinámica de los bloques es establecida de forma sencilla y con una utilidad completa, ya que le permite al usuario realizar diversas configuraciones sin tener que interactuar con las partes internas de los bloques que representan los componentes asociados a la vivienda.

El desarrollo de la interfaz permite al usuario realizar bloques donde se simplifican las características de la vivienda los cuales permiten que la vivienda sea de estudio, para posteriormente aplicar correctivos para el uso energético racional.

Una buena distribución de las ventanas ayuda a reducir el uso luminarias en la mayor parte del día incrementando significativamente el uso racional de la energía.

Obtener una mayor eficiencia y ahorro de energía en las viviendas es posible, teniendo acceso a una herramienta de simulación que facilite obtener el comportamiento energético de una vivienda. Este comportamiento permite la toma de decisiones, analizando que partes del diseño presentan mayor consumo y se deben mejorar para garantizar la eficiencia energética; todo esto antes de la

etapa de construcción, asegurando que la edificación cumplirá con las metas esperadas.

Se hace entrega de una herramienta computacional que permite realizar la simulación del comportamiento energético de una vivienda considerando tres tipos de parámetros: Comportamiento térmico, generación en sitio e iluminación.

6. RECOMENDACIONES

Para complementar la herramienta se recomienda una segunda parte que tenga en cuenta los siguientes aspectos:

- Generar una base de datos que contenga datos de radiación, características de los materiales.
- Permitir la construcción de viviendas no simétricas.
- Automatizar la selección de paredes compartidas.
- En la ventana de *DISEÑO URBANÍSTICO* se debe buscar asociar un modelo característico y paramétrico de las zonas que estén alrededor de la vivienda.
- Expandir las áreas permitidas por piso, actualmente se encuentra en 5 áreas máximas.
- Optimizar la manera de ingresar los valores de los parámetros.
- Permitir interactuar con archivos DWG.
- Realizar un análisis óptimo del diseño a estudiar.
- Automatización de las conexiones de los bloques.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Isaac Sanz Alonso, "Comportamiento de eficiencia energética de las viviendas," 2015. [Online]. Available: <http://www.tucasaemas.com/blog-tucasaes/item/comportamiento-de-eficiencia-energ%C3%A9tica-de-las-viviendas.html>. [Accessed: 05-May-2015].
- [2] S. Wang and X. Xu, "Simplified building model for transient thermal performance estimation using GA-based parameter identification," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 45, no. 4, pp. 419–432, 2006.
- [3] Universidad Nacional Experimental Francisco De Miranda, "TRANSFERENCIA DE CALOR."
- [4] Y. L. Low, B. L. Ibrahim See, C. P. H. Tan, J. Q. Mou, and E. H. Ong, "Thermal network model for temperature prediction in hard disk drive," *Microsyst. Technol.*, vol. 15, no. 10–11, pp. 1653–1656, 2009.
- [5] A. Pattini, "Luz Natural e Iluminación de Interiores," *Man. Iluminación Nat.*, pp. 2–24, 2007.
- [6] I. D. I. Electricas, "Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica," *lie*, p. 104, 2010.
- [7] J. García de Jalón, J. I. Rodríguez, and J. Vidal, *Aprenda Matlab 7.0 "Como si estuviera en primero."*
- [8] D. Barragan, "Manual de interfaz Grafica de Usuario en MATLAB," 2007.
- [9] G. Fernandez, "Creación de interfaces gráficas de Usuario (GUI) con MATLAB," 2007.
- [10] G. A. Osma Pinto, "Modelado y optimización del diseño energético de viviendas a partir de aplicaciones URE."
- [11] M. Martin Monroy, "SOLEA." 2014.
- [12] Electrocalculator, "tabla completa de aparatos eléctricos consumo." 2014.

BIBLIOGRAFIA

D. Barragan, "Manual de interfaz Gráfica de Usuario en MATLAB," 2007.

D. I. Electricas, "Sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica," *lie*, p. 104, 2010.

Electrocalculator, "tabla completa de aparatos eléctricos consumo." 2014.

G. A. Osma Pinto, "Modelado y optimización del diseño energético de viviendas a partir de aplicaciones URE."

G. Fernandez, "Creación de interfaces gráficas de Usuario (GUI) con MATLAB," 2007.

Isaac Sanz Alonso, "Comportamiento de eficiencia energética de las viviendas," 2015. [Online]. Available: <http://www.tucasaemas.com/blog-tucasaes/item/comportamiento-de-eficiencia-energ%C3%A9tica-de-las-viviendas.html>. [Accessed: 05-May-2015].

J. García de Jalón, J. I. Rodríguez, and J. Vidal, *Aprenda Matlab 7.0 "Como si estuviera en primero."* .

M. Martin Monroy, "SOLEA." 2014.

Pattini, "Luz Natural e Iluminación de Interiores," *Man. Iluminación Nat.*, pp. 2–24, 2007.

S. Wang and X. Xu, "Simplified building model for transient thermal performance estimation using GA-based parameter identification," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 45, no. 4, pp. 419–432, 2006.

Universidad Nacional Experimental Francisco De Miranda, "TRANSFERENCIA DE CALOR."

Y. L. Low, B. L. Ibrahim See, C. P. H. Tan, J. Q. Mou, and E. H. Ong, "Thermal network model for temperature prediction in hard disk drive," *Microsyst. Technol.*, vol. 15, no. 10–11, pp. 1653–1656, 2009.

ANEXOS

MANUAL DE USUARIO

Diseño de un manual de usuario

Esta herramienta computacional se diseñó con el objetivo de facilitar el análisis y comprensión del comportamiento energético de una vivienda, a partir de la simulación, y la visualización de resultados en diferentes puntos.

Con el fin de permitir el adiestramiento del usuario en el uso de la herramienta establecida, se ha creado un manual de usuario, el cual se presenta en este capítulo.

Instrucciones generales

Antes de realizar cualquier simulación es preciso que el usuario tenga conocimientos en eficiencia energética y en los aspectos básicos sobre el manejo de MATLAB y SIMULINK.

Para la utilización de esta herramienta computacional es necesario tener instalado MATLAB 2012; además, se debe asegurar que dicha versión contenga las herramientas GUIDE y SIMULINK, también deberá sustituir la carpeta **PHYSMOD** de la dirección C:\Program MATLAB\R2012b por la carpeta **PHYSMOD** adjunta. Solamente bajo estas condiciones se garantiza el funcionamiento de esta herramienta computacional.

Generalidades de Simulink

La herramienta computacional interactúa con el usuario por medio de SIMULINK, con el apoyo de algunas funciones de MATLAB y GUIDE; por lo tanto, el usuario debe tener capacidades en el manejo de MATLAB y SIMULINK; a continuación

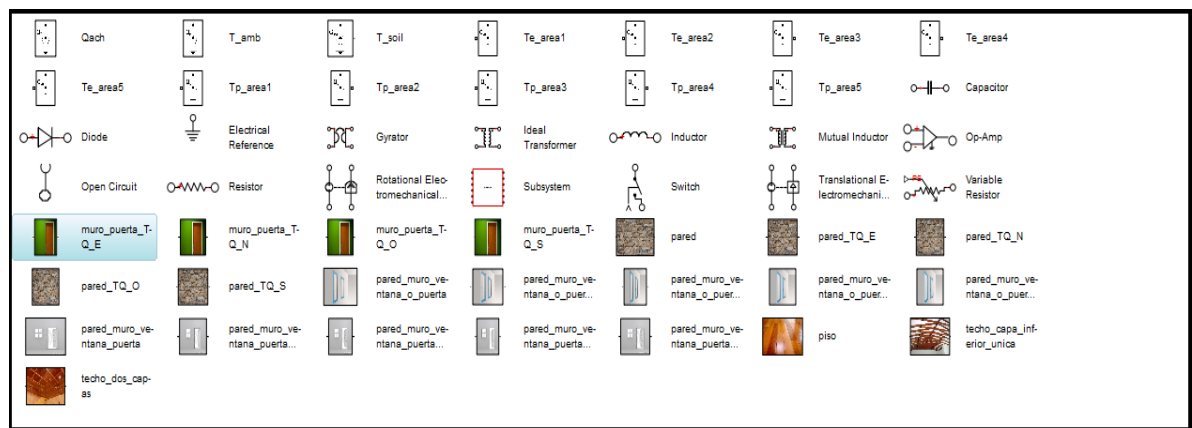
se dan algunos conceptos, descripciones y terminologías para su comprensión.

SIMULINK es un entorno gráfico de MATLAB utilizado para el análisis de cualquier tipo de sistema, algunos de estos son: sistemas de control, procesamiento digital de imágenes y video, sistemas mecánicos, etc.

Generalidades sobre la herramienta establecida

En la sección anterior, se dio una breve descripción acerca de la estructura de trabajo de SIMULINK, en donde a partir de una librería se crea una gran variedad de sistemas. La librería *ELECTRICAL ELEMENTS* contiene los bloques representativos para cada uno de los modelos que se utilizarán en la simulación, en los cuales cada parámetro eléctrico es procesado como una señal; cada bloque fue creado a partir de funciones en SIMULINK; esta librería se muestra en la Figura A1.

Figura A1. Librería para el análisis energético de viviendas.



La Figura A1 contiene los bloques que serán utilizados para realizar simulaciones del comportamiento energético de viviendas; sin embargo, estos bloques deben ser llevados a un modelo, para configurar sus parámetros característicos y así realizar una simulación correcta, tales datos se pueden modificar como sigue a

continuación; se recomienda que el usuario principiante en MATLAB y SIMULINK consulte material de apoyo del entorno de trabajo.

Pasos para realizar una simulación

1. Suministrar los datos de entrada de la simulación en el archivo de Excel “datos_project2.xlsx” el cual contiene 6 hojas, la estructura del documento de describe a continuación:

- En la figura A2 se observa la hoja 1 llamada “Radiación” en la cual se ingresaran los datos de radiación que recibe la vivienda por la parte norte, sur, este, oeste y paneles solares.

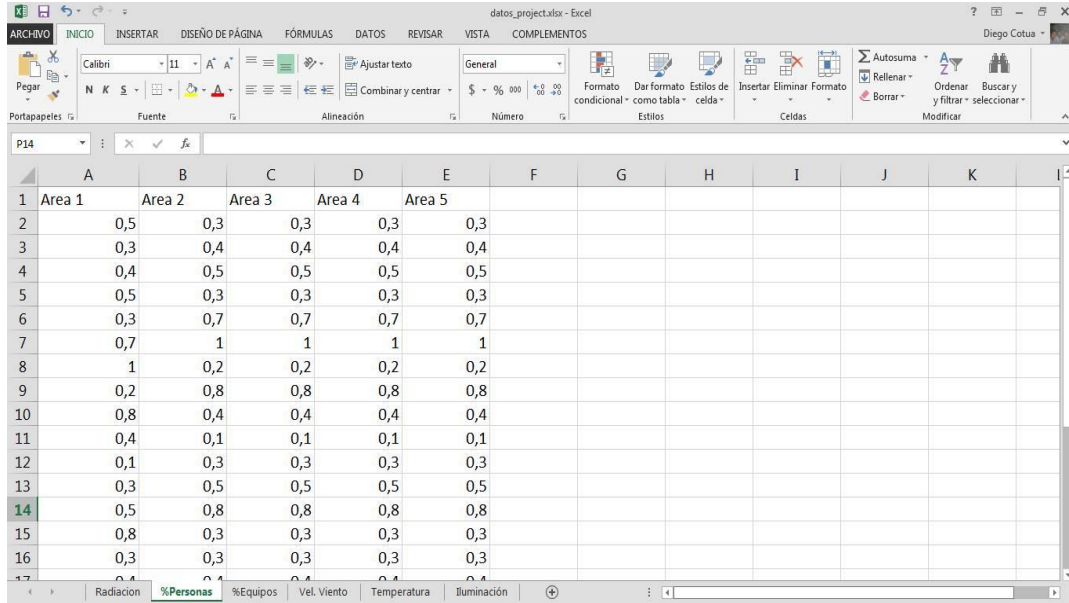
Figura A2. Hoja 1 de datos_project2.xlsx, Radiación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Norte	Sur	Este	Oeste	Paneles							
2		134	345	4	2	345						
3		14	45	55	34	45						
4		124	455	4	35	455						
5		1	565	45	545	565						
6		11	665	34	3	665						
7		24	4	343	2	4						
8		34	55	2	435	55						
9		434	5	23	5657	5						
10		4	45	32	68	45						
11		55	34	34	78	34						
12		4	343	34	7	343						
13		45	2	22	4	2						
14		34	23	22	55	23						
15		343	32	34	4	32						
16		2	34	34	45	34						
17		22	34	34	45	34						

- En la Figura A3 se observa la hoja 2 llamada “%Personas” está dividida por 5 columnas con nombres de áreas 1, 2, 3, 4 y 5 las cuales corresponde a las áreas internas de la vivienda, en la cual se ingresan los datos de la cantidad de tiempo que permanecen en el área las personas, es decir, si en la hora comprendida entre las 10:00 am y 11:00 am la persona estuvo todo el tiempo

en el área el valor a ingresar será 1.

Figura A3. Hoja 2 de datos_project2.xlsx, Personas.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5							
2		0,5	0,3	0,3	0,3	0,3						
3		0,3	0,4	0,4	0,4	0,4						
4		0,4	0,5	0,5	0,5	0,5						
5		0,5	0,3	0,3	0,3	0,3						
6		0,3	0,7	0,7	0,7	0,7						
7		0,7	1	1	1	1						
8		1	0,2	0,2	0,2	0,2						
9		0,2	0,8	0,8	0,8	0,8						
10		0,8	0,4	0,4	0,4	0,4						
11		0,4	0,1	0,1	0,1	0,1						
12		0,1	0,3	0,3	0,3	0,3						
13		0,3	0,5	0,5	0,5	0,5						
14		0,5	0,8	0,8	0,8	0,8						
15		0,8	0,3	0,3	0,3	0,3						
16		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3						
17		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4						

- En la Figura A4 se observa la hoja 3 llamada “%equipos” está dividida por 5 columnas con nombres de áreas1, 2, 3, 4 y 5 las cuales corresponde las áreas internas de la vivienda, en la cual se ingresan los datos de, que cantidad de tiempo permanecen en funcionamientos los equipos eléctricos, es decir, si en la hora comprendida entre las 10:00 am y 11:00 am el equipo estuvo en funcionamiento todo el tiempo el valor a ingresar será 1.

Figura A4. Hoja 3 de datos_project2.xlsx, Equipos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5						
2		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1					
3		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3					
4		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					
5		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8					
6		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3					
7		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4					
8		0,6	0,6	0,6	0,6	0,6					
9		0,7	0,7	0,7	0,7	0,7					
10		0	0	0	0	0					
11		0	0	0	0	0					
12		0	0	0	0	0					
13		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					
14		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1					
15		0,3	0,3	0,3	0,3	0,3					
16		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5					
17		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0					

- En la Figura A5 se observa la hoja 4 llamada “vel. viento”, en la cual se ingresan los datos referentes a la variación de la velocidad del viento en el transcurrir del día.

Figura A5. Hoja 4 de datos_project.xlsx, Velocidad del viento.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Velocidad del viento										
2		15									
3		30									
4		34									
5		43									
6		56									
7		76									
8		45									
9		34									
10		34									
11		32									
12		32									
13		12									
14		23									
15		43									
16		54									
17											

- En la Figura A6 se observa la hoja 5 llamada “Temperatura” en la cual se ingresan los datos de temperatura con los cuales interactúa cada una de las fachadas, se tienen dos valores por fachada para el caso en el cual la vivienda sea de dos plantas por que no siempre interactúan con el mismo.

Figura A6. Hoja 5 de datos_project.xlsx, Temperatura.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Norte 1	Norte 2	Sur 1	Sur 2	Este 1	Este 2	Oeste 1	Oeste 2	Techo	Suelo	
2		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
3		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
4		23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
5		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
6		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
7		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
8		26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
9		25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
11		27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
12		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
13		29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
14		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
15		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
16		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28

- En la Figura A7 se observa la hoja 6 llamada “Iluminación”, en la cual se ingresan los datos de atenuación (atem), lux requerido (Ereq) y daylight factor (DF).

Figura A7. Hoja 6 de datos_project2.xlsx, Iluminación.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	0	1	1	1
16	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	0	1	1	1	1	1	1	1	1
21	0	1	1	1	1	1	1	1	1
22	0	1	1	1	1	1	1	0	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26									
27	Df		Ereq	Atem					
28	0,04		250	0,5					

2. Declarar o copiar la ruta de la carpeta llamada 'PROYECTO_GUIDE', en donde están los archivos de las funciones que necesita cada bloque de la librería de la Figura A1 para procesar señales. A continuación se describe el procedimiento:

- Declare la ruta de la carpeta "PROYECTO_GUIDE" como ruta de trabajo de MATLAB, o bien copie todo su contenido manualmente y péguelo en la carpeta de trabajo de MATLAB, ésta usualmente se encuentra en "Mis Documentos" con el nombre de MATLAB, ahora toda la información estará cargada en "Current Directory" (Ruta principal de trabajo de MATLAB).

3. En el menú contextual de MATLAB opción "OPEN" busque la carpeta "PROYECTO_GUIDE" y abra el archivo "WINDOW_FIRST.m", como se observa en la Figura A8, se abrirá el editor de MATLAB verificar que se encuentra en editor del archivo *window_first* y a continuación ejecute el código, si no agregó la ruta manualmente, dar clic en *change folder* de la ventana emergente como se observa en la Figura A9.

Figura A8. Ejecutar la herramienta (1).

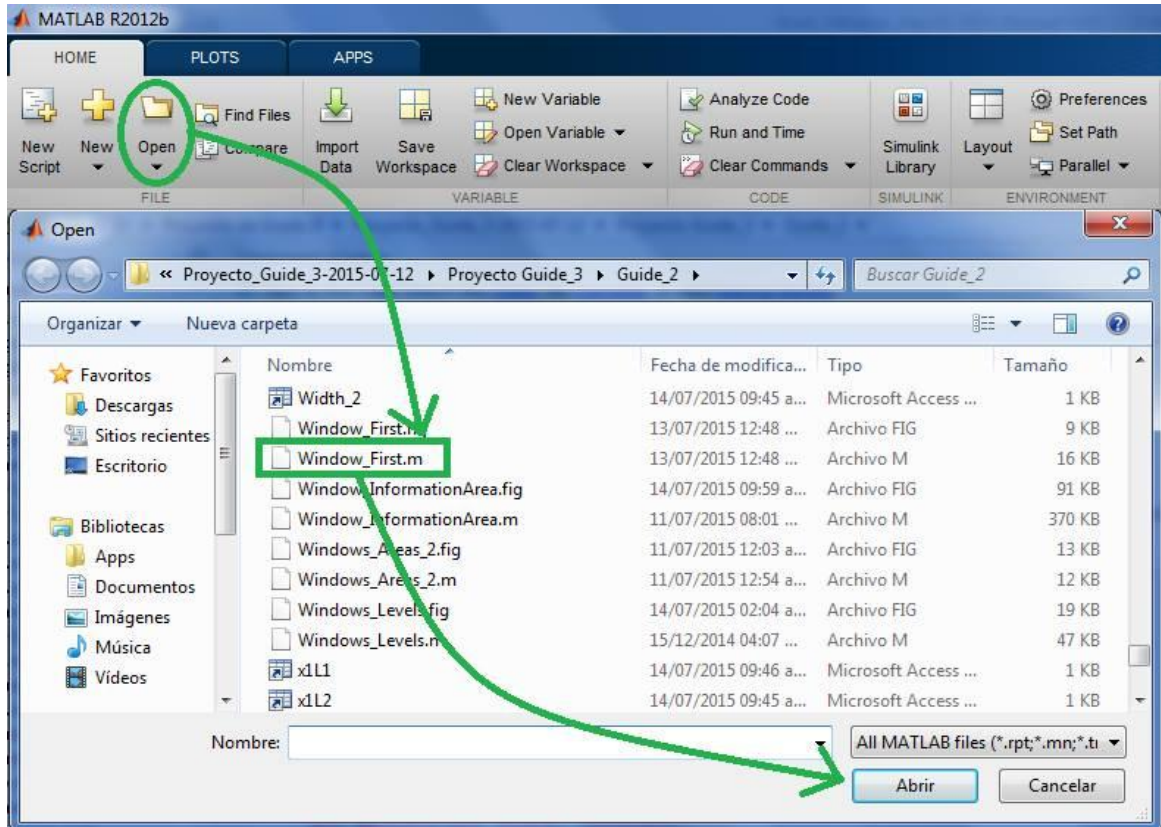
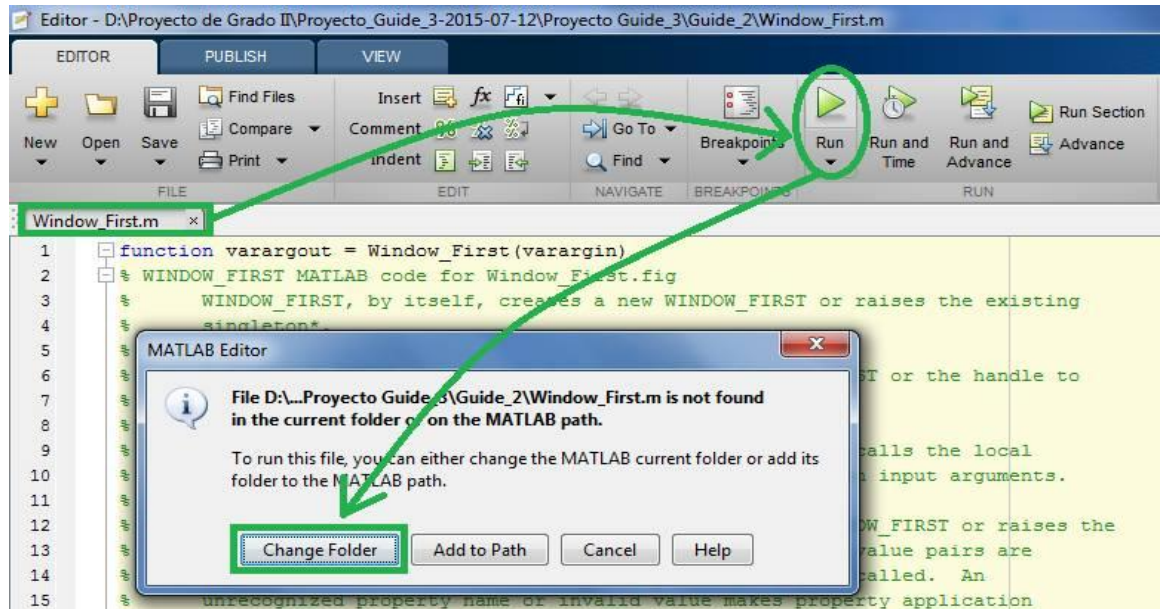


Figura A9. Ejecutar la herramienta (2).



De inmediato se abrirá la ventana de la Figura A10.

4. En la Figura A10. se ingresarán los siguientes datos: nombre del proyecto, localización y se carga el archivo de Excel datos_project2.xlsx anteriormente modificado, luego hacer clic en el botón *SIGUIENTE*.

Figura A10. DATOS DE USUARIO

Window_First

DATOS DE USUARIO

NOMBRE DEL PROYECTO:

LOCALIZACIÓN:

CIUDAD CARGAR ARCHIVO

LATITUD 

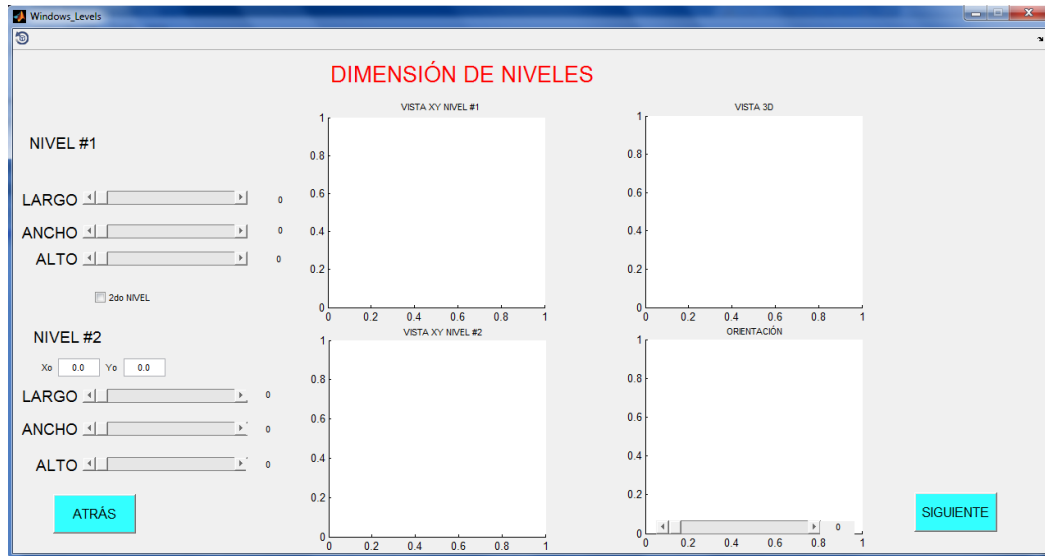
LONGITUD

ALTITUD **SIGUIENTE**

Autores:
Ing. Yeison Padilla
Ing. Diego Cotuá
Director:
German A. Osma Pinto
Trabajo realizado en el marco de la tesis de doctorado:
MODELADO Y OPTIMIZACIÓN DEL DISÑO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS A PARTIR DE APLICACIONES URE
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELCTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
2015

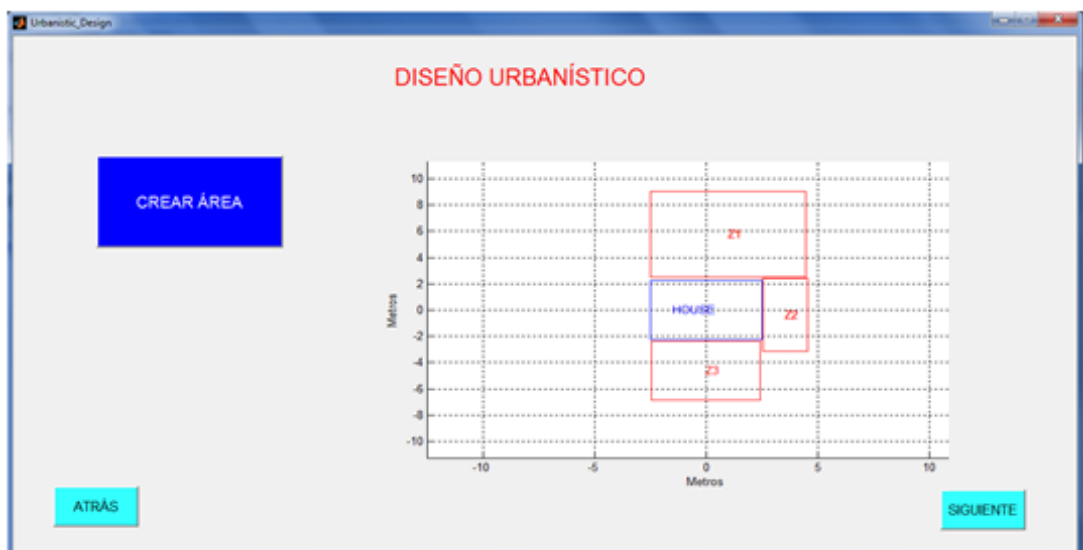
5. Se encontrará en la ventana *DIMENSIÓN DE NIVELES*, en la cual asigna los valores de las dimensiones del área 1 deslizando los *slayers* y luego escoge si la vivienda es de 2 niveles, seguidamente ingresará las dimensiones de ésta para el segundo nivel deslizando de igual manera los *slayers* hacia la derecha hasta llegar al valor deseado como se observa en la Figura A11, posteriormente hacer clic en el botón *SIGUIENTE*.

Figura A11. DIMENSIÓN DE NIVELES



6. Se procede a definir las construcciones aledañas a la vivienda con sus alturas correspondientes, se da clic cerca al perímetro de la vivienda y se vuelve a dar clic diagonal al primer clic con el tamaño deseado del área, luego se ingresa su altura correspondiente, ver Figura A12, después hacer clic en el botón *SIGUIENTE*.

Figura A12. DISEÑO URBANÍSTICO.



7. La siguiente sección consta de dos partes, la primera le permite observar cómo va quedando cada una de las áreas internas de la vivienda, ver figura A13, dar clic en *create área* y se abrirá una segunda ventana en esta cargará una imagen del plano arquitectónico de la vivienda y la creación de las áreas de este último, después de dar clic en *CARGAR PLANO*, las áreas se crean dando clic en las diagonales de las áreas solo se requiere dar dos clic ver Figura A14. Terminado de crear todas las áreas, hacer clic en el botón *SIGUIENTE* de la figura A13.

Figura A13. CREACIÓN DE ÁREAS (1).

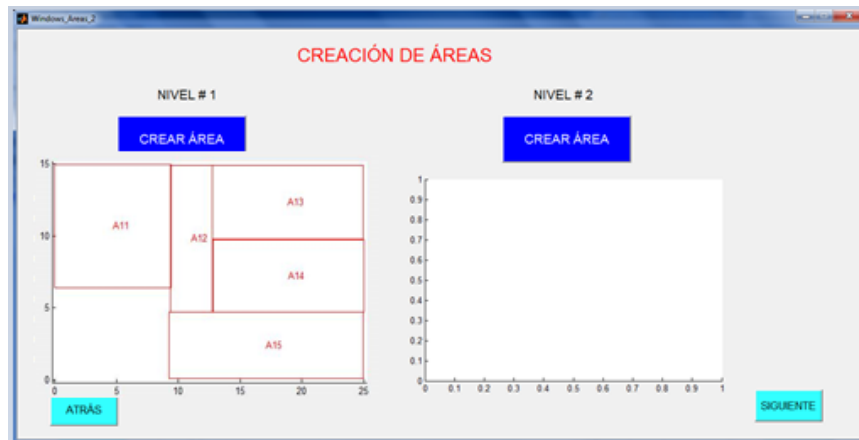
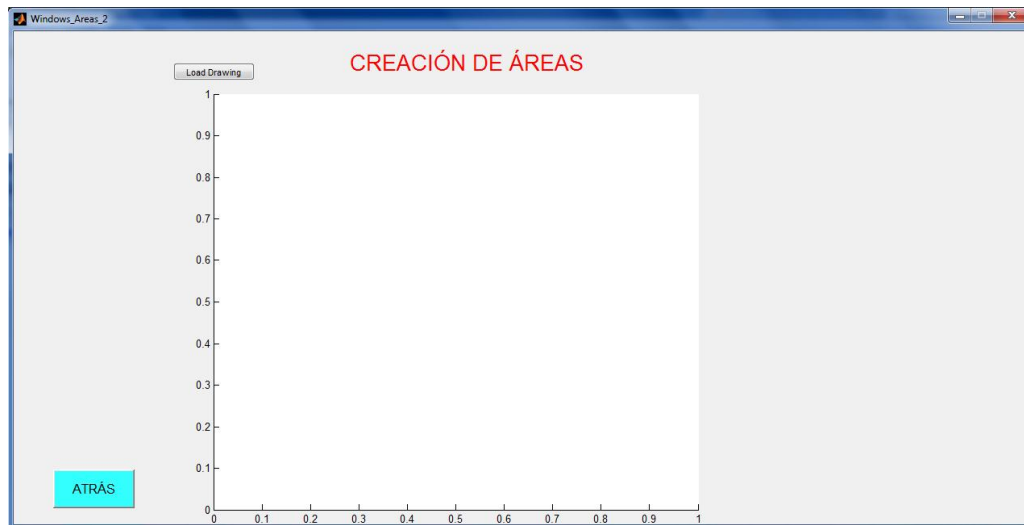


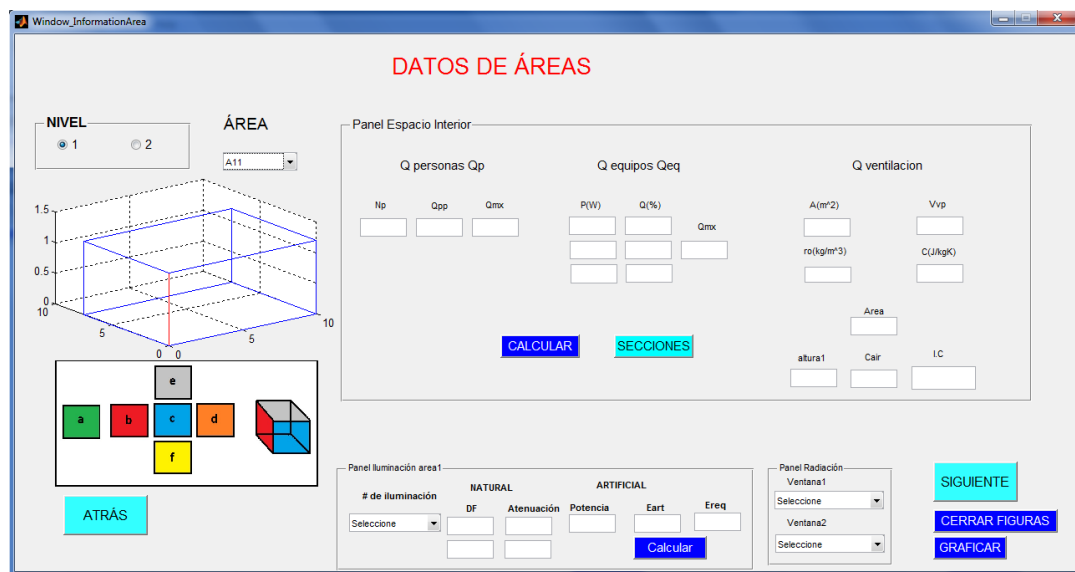
Figura A14. CREACIÓN DE ÁREAS (2).



8. En la siguiente ventana se suministran los datos para la simulación de iluminación, se crean los modelos RC representativos de las secciones de las áreas, personas y equipos. Se selecciona el área a la cual desea ingresar los datos de iluminación en la parte inferior, seguido de los valores de personas y equipos y dar clic en *CALCULAR* como se ilustra en la Figura A15, terminado este proceso se escoge otra área y se repite el proceso para las áreas creadas anteriormente, una vez terminado el proceso se da clic en *GRAFICAR* donde arrojará la simulación de la iluminación, posteriormente se da clic en *SECCIONES*, se repite el proceso de llenar la información cambiando de área y finalizando con clic en *SIGUIENTE*.

Nota: es prescindible que al presionar el botón *SECCIONES* se escoja nuevamente la opción *A11* en el menú desplegable de áreas.

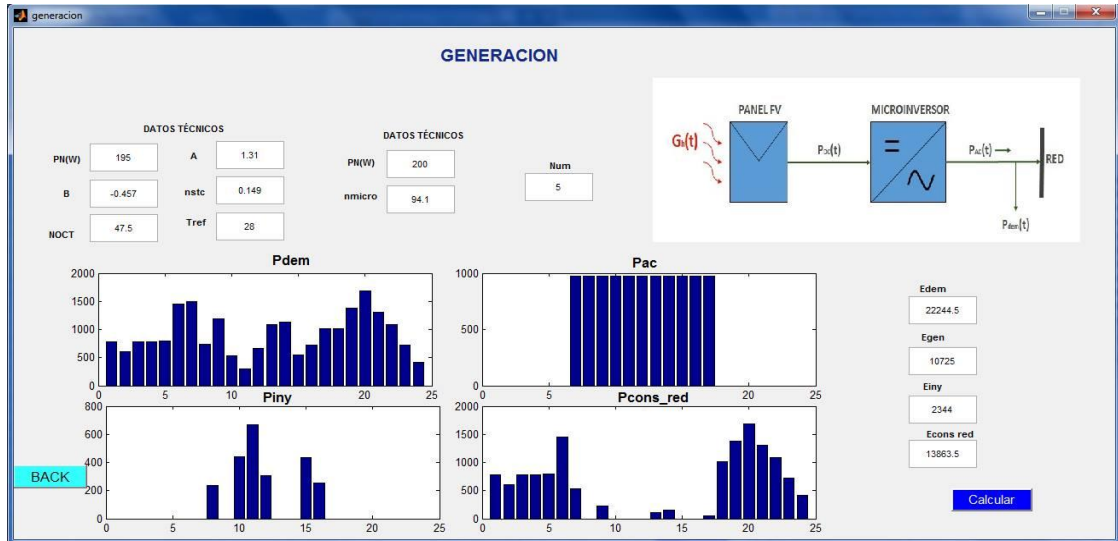
Figura A15. DATOS DE ÁREAS (1).



Al dar clic en siguiente aparecerán dos ventanas, una será la ventana de generación como se muestra en la Figura A16 y la otra será la ventana del modelo térmico de la vivienda como se observa en Figura A17.

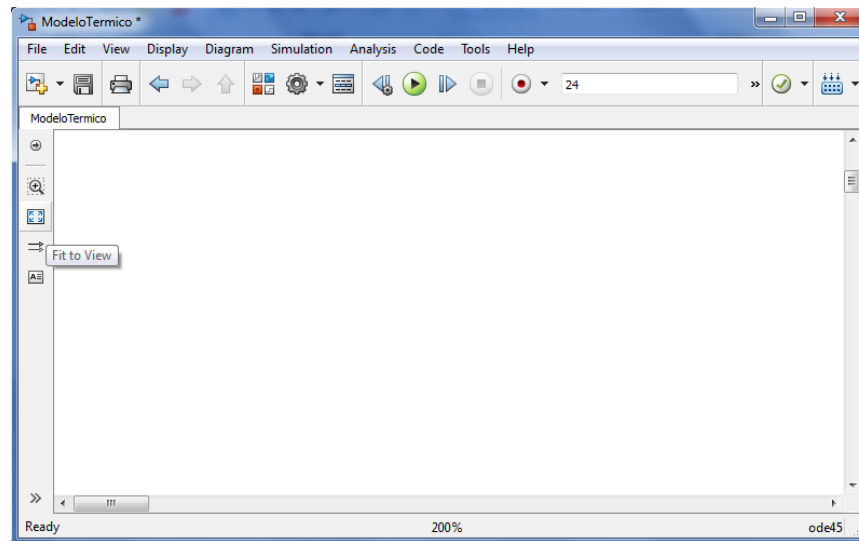
9. En ventana de generación se suministran los datos para dicha simulación y se da clic en CALCULAR como se observa en la Figura A16.

Figura A16. GENERACIÓN.



En la ventana Modelo Térmico procedemos a hacer clic en el botón *Fit to view* con el fin de ampliar todos los bloques que fueron creados previamente. En este espacio se conectarán todos los bloques que conforman la vivienda.

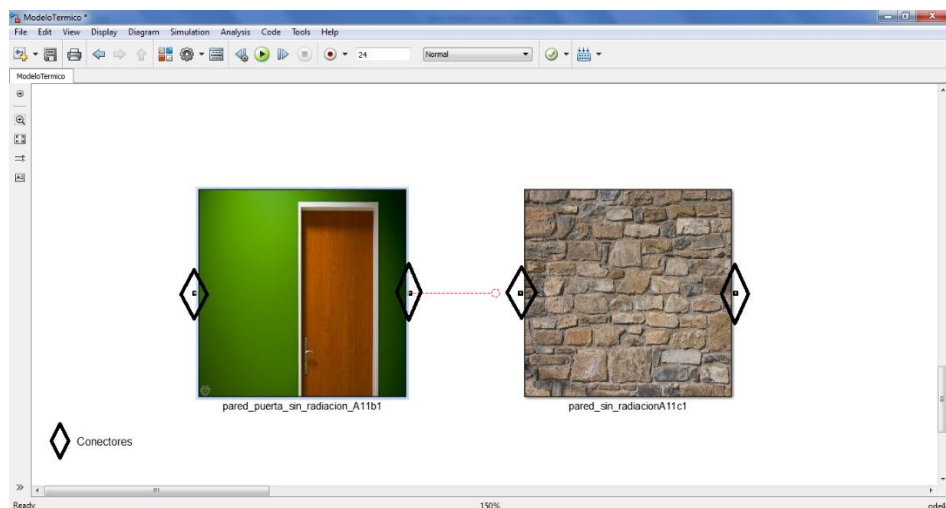
Figura A17. Modelo Térmico.



Con el fin de lograr una correcta conexión de los bloques de la vivienda se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los conectores de los bloques están ubicados por lo general en las partes laterales de estos mismos y haciendo clic sostenido sobre éste y arrastrándolo lograremos unir bloques entre sí, como se muestra en la Figura A18.

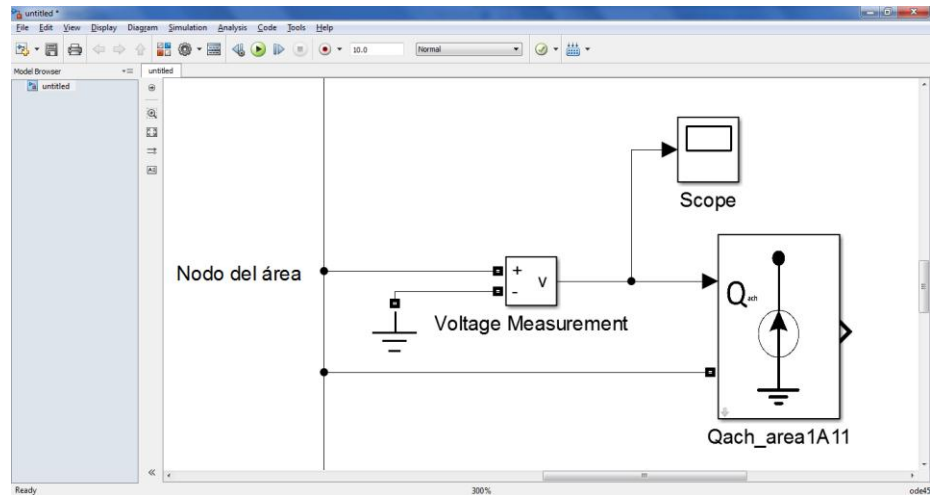
Figura A18. Conexión de bloques.



- Si desea observar el circuito interno que contiene cada bloque debe seleccionar el bloque y a continuación dar clic derecho sobre éste y en el menú desplegable seleccionar la opción *Mask* y seguido la opción *Look Under Mask* o si prefiere puede utilizar la contracción *Ctrl + U*.
- Si el bloque a conectar recibe radiación debe tener en cuenta que el lado que recibe la radiación será el conector del lado izquierdo, es decir, este conector irá conectado con la fuente de temperatura respectiva y el conector del lado derecho irá conectado al nodo central del área respectiva.
- Si desea eliminar algún bloque es preciso seleccionarlo y seguido presionar suprimir o dar clic derecho sobre el bloque a eliminar y en el menú desplegable seleccionar la opción *Delete*.

10. Al tener lista la conexión de todas las áreas con sus respectiva fuentes de temperatura, ventilación, personas, equipos y la capacidad térmica del aire procedemos a colocar los elementos de medición, para ellos nos ubicamos en la librería de *Simulink* haciendo clic en la opción *Library Browser* del menú desplegable del botón *View* ubicado en la parte superior izquierda del entorno de *Simulink*, luego en el espacio de búsqueda escribimos el comando *Voltage Measurement* y con clic sostenido lo arrastramos a nuestro entorno de trabajo del *Modelo Térmico* en *Simulink*, de la misma manera arrastraremos los bloques de *Scope*, *Ground* y *Powergui*, éste último no se tiene en cuenta para la conexión. La Figura A19 describe como se deben conectar los bloques *Scope*, *Ground*, *Voltage Measurement* y *Qach* al nodo del área respectivo.

Figura A19. Conexión de los elementos de medición.



11. Antes de realizar la simulación debemos revisar que la casilla *Simulation Stop Time* situada en la barra de herramientas de *Simulink* que por defecto tiene el valor de 10 contenga el valor de 24 y seguido presionamos el botón *Run* ubicado también en la barra de herramientas, luego esperamos a que la simulación haya terminado y para visualizar los resultados de cada área realizamos doble clic en el *Scope* que corresponde al área designada.